



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2019/20

OFFSHORE JACK-UP INSTALLATION VESSEL

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO

Antonio Melo Bello

TUTOR

Marcos Míguez González

FECHA

Septiembre 2020

1 RPA

PROYECTO NÚMERO 1920-28

TIPO DE BUQUE:

OFFSHORE JACK-UP INSTALLATION VESSEL

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:

DNV GL 1 A 1 SELF-ELEVATING WIND TURBINE INSTALLATION, SOLAS, MARPOL

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:

AEROGENERADORES

8000 TPM

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:

10KN- VELOCIDAD DE TRÁNSITO (85% MCR, 10% MM)

12KN-MÁXIMA

30 DÍAS en operación

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:

GRÚA PARA IZAMIENTO DE LA CARGA

JACK UP SYSTEM- DOBLE ANILLO PARA CONTINUAR OPERACIÓN

PROPULSIÓN:

PRINCIPAL: 4 AZIMUTH THRUSTERS

PROPULSIÓN DIÉSEL ELÉCTRICA

BOW TUNNEL THRUSTERS: 3

TRIPULACIÓN Y PASAJE:

90 OPERARIOS

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:

HELIPUERTO, AUXILIAR DE IZAMIENTO



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2019/20**

OFFSHORE JACK-UP INSTALLATION VESSEL

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 8

CUADERNA MAESTRA

Contenido

1 RPA	2
2 Introducción	6
3 Diseño conceptual de la cuaderna maestra	7
Estructura Longitudinal	7
Dimensiones principales de la estructura del casco	8
4 Definición de parámetros	9
4.1 Origen de Coordenadas-Part 3 Ch.1 St.4	9
4.2 Eslora de Escantillonado.....	9
4.3 Manga de Escantillonado.....	9
4.4 Puntal de Escantillonado.....	10
4.5 Calado de Escantillonado	10
4.6 Coeficiente de Bloque-Desplazamiento	10
5 Cálculos previos al Escantillonado	11
5.1 Coeficiente de Ola- Pt.3 Ch.4 Sec.4	11
5.2 Momentos Flectores- Pt.3 Ch.4 Sec.4.....	11
5.3 Tensión Longitudinal- Pt.3 Ch.5 Sec.3.....	16
5.3.1 Tensión Longitudinal Aguas Tranquilas (Still Water) (Apartado 4)	16
5.3.2 Tensión Longitudinal Dinámica (Dynamic) (Apartado 4)	19
5.3.3 Tensión Longitudinal.....	22
6 Escantillonado.....	23
6.1 Altura del Doble Fondo- Pt.3 Ch.2 Sec.3	23
6.2 Escantillonado de las Chapas	24
6.2.1 Cálculo de espesor mínimo- Pt.3 Ch.6 Sec.3.....	24
6.2.2 Espesor en función de las Presiones	31
6.3 Escantillonado Refuerzos	105
6.3.1 Longitudinales- Pt.3 Ch.6 Sec.5.....	105
6.3.2 Refuerzos primarios.....	128
6.4 Módulo Mínimo	146
6.5 Comprobación Módulo	147
7 anexo.....	149
7.1 Perfil	149
7.2 Cálculos Inercia	150
7.2.1 Refuerzos Secundarios.....	150

7.2.2 Refuerzos Primarios 150

7.2.3 Resultados Finales 151

7.3 Plano Cuaderna Maestra 152

2 INTRODUCCIÓN

En el presente cuaderno se va a realizar el cálculo de los elementos estructurales correspondientes a la cuaderna maestra, de forma que se han de cumplir los criterios mínimos de resistencia longitudinal y escantillones establecidos por las sociedades de clasificación.

En este caso la sociedad de clasificación establecida en la RPA es el DNV-GL.

Se calcularán los escantillones y módulos de las planchas y refuerzos que conformarán la estructura del buque. Se comprobará el módulo de la maestra para comprobar que cumpla con lo estipulado la sociedad de clasificación (DNV-GL).

Las dimensiones del buque son las siguientes (dimensiones obtenidas de Maxsurf):

DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS		
ESLORA TOTAL (Loa)	134	m
ESLORA ENTRE PERPENDICUALRES (Lpp)	129,82	m
ESLORA EN LA FLOTACIÓN (Lwl)	133,43	m
MANGA (B)	38,7	m
PUNTAL (D)	11,57	m
CALADO (T)	6,215	m
Cb	0,812	
DESPLAZAMIENTO (Δ)	26720	t
SUPERFICIE MOJADA	6203,899	m ²
Cp	0,813	
Cm	0,999	
Cf	0,894	
VELOCIDAD trántiso	10	kn
VELOCIDAD máxima	12	kn
POTENCIA TOTAL INSTALADA	25200	kW

3 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA CUADERNA MAESTRA

El diseño de la estructura del casco ha de cumplir con unos requisitos básicos como son, permitir una adecuada compartimentación, resistir los esfuerzos a los cuales el buque se ve sometido durante la navegación debido al mar, y a su vez, la estructura ha de estar diseñada para que se mantenga la estanqueidad interior.

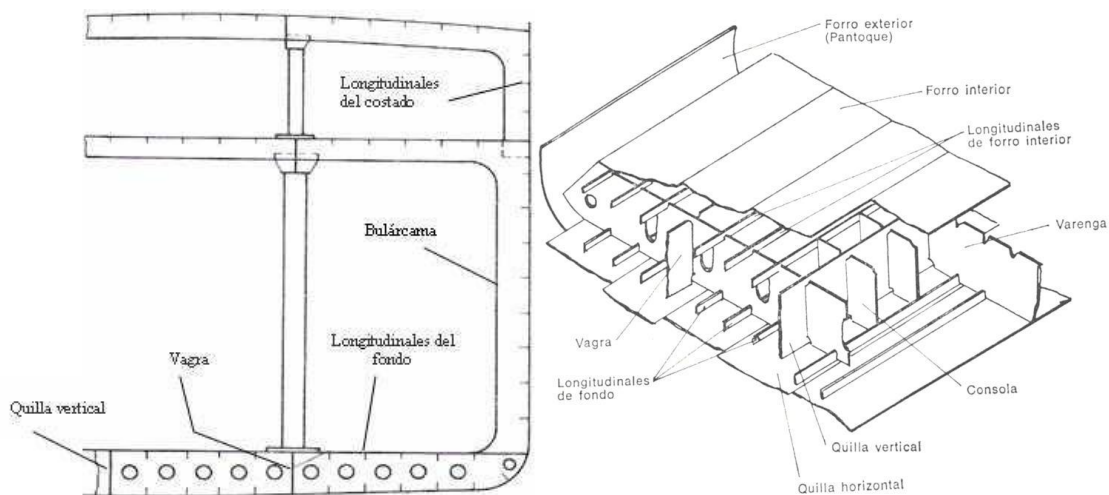
Se ha de definir la estructura en función de los elementos que la constituyen, el buque tendrá el siguiente tipo de estructura:

Estructura Longitudinal

Este tipo de diseño de la estructura se utiliza para buques que han de soportar grandes esfuerzos tanto en el fondo como en la cubierta. Los elementos más alejados del eje neutro aportarán una mayor inercia, consiguiendo de esta manera una disminución de las tensiones sobre la estructura.

Los elementos principales utilizados son:

- Esloras y Baos: Rigidizan la cubierta
- Vagras y Varengas: rigidizan el fondo y el doble fondo
- Bulárcamas y palmejares: Rigidizan el costado



Dimensiones principales de la estructura del casco

El espaciado de los refuerzos es el siguiente:

- Longitudinales Mamparo Longitudinal = 550mm
- Longitudinales Costado = 550 mm
- Longitudinales Fondo = 400mm
- Longitudinales Doble Fondo = 400mm
- Separación Bulárcamas = 3500mm
- Separación Vagras = 4000mm

4 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

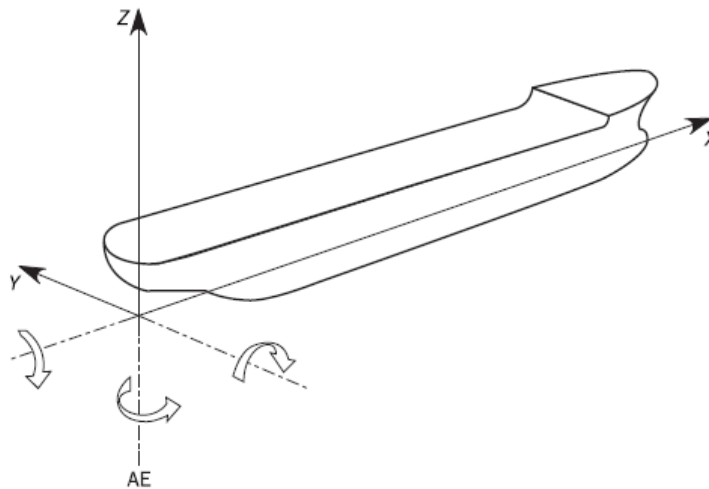
A continuación, se van a definir los parámetros reglamentarios del buque que se necesitarán para el escantillado de la Cuaderna Maestra:

4.1 Origen de Coordenadas-Part 3 Ch.1 St.4

En el punto 3.6 del convenio, se define el centro de coordenadas de la siguiente manera:

El origen se sitúa en la intersección entre el plano longitudinal de simetría del buque, la popa y la línea base.

Los ejes estarán dispuestos de la siguiente manera:



4.2 Eslora de Escantillado

La eslora de escantillado es la eslora de la flotación de verano entre la cara posterior de la mecha del timón hasta la cara anterior de la roda. En caso de no tener mecha de timón, la eslora será un 97% de la eslora de flotación:

$$L_w = 133,321 \text{ m}$$

$$L_{sc} = 0,97 * L_w = 0,97 * 133,321 = 129,321 \text{ m}$$

4.3 Manga de Escantillado

La manga se corresponde con la manga de trazado, de manera que:

$$B_{sc} = 38,7 \text{ m}$$

4.4 Puntal de Escantillonado

El puntal es la distancia al costado desde la línea base hasta la cubierta continua más alta. El puntal en este caso es la distancia de la línea base a la cubierta principal (cubierta expuesta):

$$D_{sc} = 11,57 \text{ m}$$

4.5 Calado de Escantillonado

Se corresponde con el calado máximo admisible por el francobordo:

$$T_{sc} = 8,366 \text{ m}$$

Se decide tomar este valor del calado a pesar de que es un calado muy elevado respecto del de máxima carga, pero se considera este calado puesto que sería el más desfavorable, aunque en el cuaderno 5 no esté reflejado este calado para ninguna de las condiciones de carga.

4.6 Coeficiente de Bloque-Desplazamiento

El coeficiente de bloque se obtiene de la siguiente manera:

$$C_B = \frac{\Delta}{\rho * L * B * T}$$

El coeficiente de bloque obtenido de hidrostáticas es el siguiente:

Este coeficiente de bloque es el que se tiene para el calado de escantillonado previamente indicado obtenido mediante el maxsurf modeler:

$$C_B = 0,863$$

De manera que el desplazamiento para el calado máximo de francobordo será el siguiente:

$$\Delta = L * B * T * C_B$$

$$\Delta = 129,418 * 38,7 * 8 * 0,831 = 36133,5 \text{ t}$$

5 CÁLCULOS PREVIOS AL ESCANTILLONADO

5.1 Coeficiente de Ola- Pt.3 Ch.4 Sec.4

Para cálculos posteriores será necesario el coeficiente de ola, que se calcula de la siguiente manera:

C_w = wave coefficient, shall be taken as:

$$C_w = 0.0856L \quad \text{for } L < 90$$

$$C_w = 10.75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{1.5} \quad \text{for } 90 \leq L \leq 300$$

$$C_w = 10.75 \quad \text{for } 300 < L \leq 350$$

$$C_w = 10.75 - \left(\frac{L-350}{150}\right)^{1.5} \quad \text{for } 350 < L \leq 500$$

En este caso:

$$L_{sc} = 129,418 \text{ m}$$

Por tanto, el Coeficiente ola se calculará con la siguiente fórmula:

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100}\right)^{1,5}$$

$$C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - 129,321}{100}\right)^{1,5}$$

$$C_w = 8,53$$

5.2 Momentos Flectores- Pt.3 Ch.4 Sec.4

En este apartado se va a proceder al cálculo de los momentos del buque en aguas tranquilas.

2.2 Vertical still water bending moment

2.2.1 Still water bending moment in seagoing condition

As guidance values, at a preliminary design stage, the still water bending moments, in kNm, for hogging and sagging respectively, in seagoing condition may be taken as:

Hogging conditions:

$$M_{sw-h-min} = f_{sw} (171C_w L^2 B (C_B + 0.7) 10^{-3} - M_{wv-h-mid})$$

Sagging conditions:

$$M_{sw-s-min} = -0.85f_{sw} (171C_w L^2 B (C_B + 0.7) 10^{-3} + M_{wv-s-mid})$$

Donde:

- f_{sw} = factor de distribución

f_{sw} = distribution factor along the ship length, shall be taken as, see Figure 1:

$$f_{sw} = 0.0 \quad \text{for} \quad x \leq 0$$

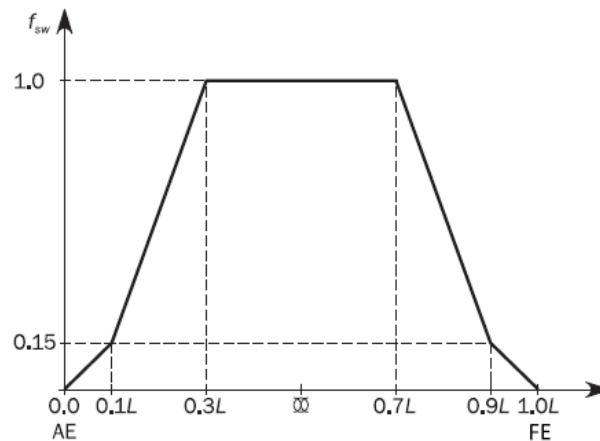
$$f_{sw} = 0.15 \quad \text{at} \quad x = 0.1 L$$

$$f_{sw} = 1.0 \quad \text{for} \quad 0.3 L \leq x \leq 0.7 L$$

$$f_{sw} = 0.15 \quad \text{at} \quad x = 0.9 L$$

$$f_{sw} = 0.0 \quad \text{for} \quad x \geq L$$

Intermediate values of f_{sw} may be obtained by linear interpolation.



Como se está estudiando la cuaderna maestra, en este caso el valor de "x" será aproximadamente $0,5 \cdot L$, de modo que f_{sw} tendrá un valor de 1.

$$f_{sw} = 1$$

- Momentos en medio del buque- Pt.3 Ch.4 Sec.4

Están definidos en el DNV-GL de la siguiente manera:

$M_{wv-h-mid}$ = vertical wave bending moment for strength assessment amidships in hogging condition, as defined in [3.1.1] using f_p and f_m equal to 1.0

$M_{wv-s-mid}$ = vertical wave bending moment for strength assessment amidships in sagging condition, as defined in [3.1.1] using f_p and f_m equal to 1.0

3.1.1 The vertical wave bending moments at any longitudinal position, in kNm, shall be taken as:

Hogging condition:

$$M_{wv-h} = 0.19 \cdot \frac{f_R}{0.85} f_{nl-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B$$

Sagging condition:

$$M_{wv-s} = -0.19 \cdot \frac{f_R}{0.85} f_{nl-vs} f_m f_p C_w L^2 B C_B$$

Donde:

f_{nl-vh} = coefficient considering non-linear effects applied to hogging, shall be taken as:
 $f_{nl-vh} = 1.0$ for strength and fatigue assessment

fnl-vh	1
--------	---

f_{nl-vs} = coefficient considering non-linear effects applied to sagging, shall be taken as:

$$f_{nl-vs} = 0.58 \left(\frac{C_B + 0.7}{C_B} \right) \quad \text{for strength assessment}$$

$$f_{nl-vs} = 1.0 \quad \text{for fatigue assessment}$$

$f_{nl-vs} = 0.58 * \left(\frac{C_B + 0.7}{C_B} \right)$

▪ $C_B = 0,863$

fnl-vs	1,050451912
--------	-------------

f_R = factor related to the operational profile, to be taken as:
 = 0.85 for strength assessment

fr	0,85
----	------

f_m = distribution factor for strength assessment for vertical wave bending moment along the ship's length, shall be taken as:

$$f_m = 0.0 \quad \text{for } x \leq 0$$

$$f_m = 1.0 \quad \text{for } 0.4 L \leq x \leq 0.65 L$$

$$f_m = 0.0 \quad \text{for } x \geq L$$

Como se ha explicado previamente, la zona de estudio de la cuaderna maestra es aproximadamente la mitad del buque, de modo que $x=0,5*L$:

fm	1
----	---

f_p = coefficient shall be taken as:

$$f_p = f_{ps} \quad \text{for strength assessment}$$

fp	1
----	---

Resumen de datos:

fnl-vh	1	
fnl-vs	1,050451912	
fr	0,85	
fp	1	
fm	1	
Cw	8,53	
Bsc	38,7	m
Lsc	129,321	m
Cbsc	0,863	

Por tanto, sustituyendo en las fórmulas para los momentos en medio del buque se tiene:

- Condición de Quebranto (Hogging Condition):

Hogging condition:

$$M_{wv-h} = 0,19 \cdot \frac{f_R}{0,85} f_{nl-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B$$

Mwv-h	905242,6064
-------	-------------

- Condición de Arrufo (Sagging Condition):

Sagging condition:

$$M_{wv-s} = -0,19 \cdot \frac{f_R}{0,85} f_{nl-vs} f_m f_p C_w L^2 B C_B$$

Mwv-s	-950913,8267
-------	--------------

Por tanto, para el cálculo de los momentos se usará la formulación mostrada previamente.

Para la condición de Quebranto:

Hogging conditions:

$$M_{sw-h-min} = f_{sw} (171 C_w L^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3} - M_{wv-h-mid})$$

Utilizando los datos indicados:

Msw-h-min	570313,3315	kN*m
-----------	-------------	------

Para la condición de Arrufo:

Sagging conditions:

$$M_{sw-s-min} = -0.85f_{sw}(171C_w L^2 B(C_B + 0.7)10^{-3} + M_{wv-s-mid})$$

Utilizando los datos indicados:

Msw-s-min	445945,7946	kN*m
-----------	-------------	------

5.3 Tensión Longitudinal- Pt.3 Ch.5 Sec.3

En el buque la cubierta expuesta no tiene aberturas, de modo que la formulación a emplear es la propuesta por el DNV-GL en el apartado 2:

2 Ships without large deck openings

2.1 Hull girder longitudinal stresses

2.1.1 Definition

For seagoing condition the hull girder longitudinal stress σ_{hg} , in N/mm^2 , induced by acting vertical and horizontal bending moments for a dynamic load case at the transverse section being considered is obtained from the following formula:

$$\sigma_{hg} = \sigma_{hg-sw} + \sigma_{hg-dyn}$$

2.1.2 Design criteria

Along the length L , the hull girder longitudinal stress σ_{hg} , in N/mm^2 , at any point being considered shall comply with the following criteria:

$$|\sigma_{hg}| \leq \sigma_{hg-perm}$$

where:

$\sigma_{hg-perm}$ = permissible longitudinal stress, in N/mm^2 , to be taken as:

$$\sigma_{hg-perm} = \frac{205}{k}$$

Donde se tiene:

5.3.1 Tensión Longitudinal Aguas Tranquilas (Still Water) (Apartado 4)

La tensión longitudinal se corresponde con los siguientes componentes:

$$\sigma_{hg-sw} = \begin{cases} \sigma_{sw-h} \\ \sigma_{sw-s} \end{cases}$$

Donde se tiene:

4.1 Longitudinal stress

4.1.1 Longitudinal stresses induced by still water vertical hull girder bending

The longitudinal stresses, in N/mm^2 , induced by acting vertical still water bending moment in seagoing condition at the transverse section being considered, are obtained from the following formula:

$$\sigma_{sw-h} = \frac{M_{sw-h}}{I_{y-n50}} (z - z_{n-n50}) 10^{-3}$$

$$\sigma_{sw-s} = \frac{M_{sw-s}}{I_{y-n50}} (z - z_{n-n50}) 10^{-3}$$

Los momentos vienen dados por Pt.3 Ch.4 Sec.4

2.2.2 Permissible vertical still water bending moment in seagoing condition

The permissible vertical still water bending moments, M_{sw-h} and M_{sw-s} , in kNm, for hogging and sagging respectively, in seagoing condition at any longitudinal position shall envelop:

- the most severe still water bending moments calculated, in hogging and sagging conditions, respectively, for the seagoing loading conditions defined in Sec.8
- the most severe still water bending moments for the seagoing loading conditions defined in the loading manual.

Se tomarán los valores de los momentos de aguas tranquilas calculados previamente para quebranto y arrufo:

- Condición de Quebranto (Hogging Condition):

M _{sw-h-min}	570313,3315	kN*m
-----------------------	-------------	------

- Condición de Arrufo (Sagging Condition):

M _{sw-s-min}	445945,7946	kN*m
-----------------------	-------------	------

“z” es el puntal de la zona de estudio, que se tomará 0, correspondiente al fondo del buque.

$$z = 0$$

Z_{n-n50} es la posición z del centro de gravedad de la cuaderna maestra (posición del eje neutro), se estimará un 60% del puntal.

Z _{n-50}	6,942
-------------------	-------

I_{n-n50} se corresponde con el momento de inercia expuesto en Pt.3 Ch.5 Sec.2:

1.5 Minimum moment of inertia at midship part

1.5.1 Application

The requirement in [1.5.2] applies to self propelled ships with length above 90 m.

1.5.2 Hull girder moment of inertia

The gross moment of inertia about the horizontal axis, in m^4 , at midship part shall not be less than the value obtained from the following formula:

$$I_{yR-gr} = 3f_r C_w L^3 B (C_B + 0.7) 10^{-8}$$

Donde:

L _{sc}	129,321	m
B _{sc}	38,7	m
C _b _{sc}	0,863	
C _w	8,53	

f_r Es el factor de reducción debido a restricciones de servicio, tomará el valor 1:

f_r = reduction factor related to service restrictions as defined in Pt.1 Ch.2 Sec.5:
 1.0 for service area notation **R0** (No reduction)
 0.9 for service area notation **R1** (10% reduction)
 0.8 for service area notation **R2** (20% reduction)

 0.7 for service area notation **R3** (30% reduction)
 0.6 for service area notation **R4** (40% reduction)
 0.5 for service area notation **RE** (50% reduction)

De Pt.1 Ch.2 Sec.5:

Table 1 Service area restrictions

Service area notations	Seasonal zones (nautical miles)			Corresponding significant wave height H_s ¹⁾ in meters
	Winter	Summer	Tropical	
R0	250	No restrictions	No restrictions	Not applicable
R1	100	200	300	$0.9C_w$
R2	50	100	200	$0.8C_w$
R3	20	50	100	$0.6C_w$
R4	5	10	20	$0.5C_w$
RE	Enclosed waters			$0.4C_w$

1) C_w is the wave coefficient as defined in Pt.3 Ch.4 Sec.4. The significant wave height (H_s) assumes reduced speed in head sea and that heading is changed when necessary to avoid resonance and extreme rolling.

$$f_r = 1$$

Por tanto, para el cálculo del momento de inercia, conocidos estos valores:

$$I_{yR-gr} = 3f_r C_w L^3 B (C_B + 0.7) 10^{-8}$$

I_{y-n50}	33,4773536	m^4
-------------	------------	-------

Resumen de datos para el cálculo de la Tensión Longitudinal:

Msw-h-min	570313,3315	$kN*m$
-----------	-------------	--------

Msw-s-min	445945,7946	$kN*m$
-----------	-------------	--------

I_{y-n50}	33,4773536	m^4
-------------	------------	-------

Z_{n-50}	6,942
------------	-------

$z(\text{fondo})$	0
-------------------	---

Aplicando la formulación previamente indicada:

- Quebrando (Hogging)

$$\sigma_{sw-h} = \frac{M_{sw-h}}{I_{y-n50}}(z - z_{n-n50})10^{-3}$$

σ_{sw-h}	-118,262489	
-----------------	-------------	--

- Arrufo (Sagging)

$$\sigma_{sw-s} = \frac{M_{sw-s}}{I_{y-n50}}(z - z_{n-n50})10^{-3}$$

σ_{sw-s}	-92,4731311	
-----------------	-------------	--

El valor de Tensión Longitudinal para Aguas tranquilas es el mayor (en valor absoluto) de los dos calculados previamente:

σ_{sw-h}	-118,262489	
-----------------	-------------	--

5.3.2 Tensión Longitudinal Dinámica (Dynamic) (Apartado 4)

La tensión longitudinal dinámica viene definida por la siguiente expresión

$$\sigma_{hg-dyn} = \sigma_{wv-LC} + \sigma_{wh-LC}$$

Siendo:

4.1.2 Longitudinal stresses induced by dynamic hull girder bending

The longitudinal stresses, in N/mm^2 , induced by acting vertical and horizontal wave bending moment for a dynamic load case and at the transverse section being considered, are obtained from the following formula:

$$\sigma_{wv-LC} = \frac{M_{wv-LC}}{I_{y-n50}}(z - z_{n-n50})10^{-3}$$

$$\sigma_{wh-LC} = -\frac{M_{wh-LC}}{I_{z-n50}}y \cdot 10^{-3}$$

5.3.2.1 WV-LC

Por una parte, se calculará el tensor longitudinal de ola vertical:

$$\sigma_{wv-LC} = \frac{M_{wv-LC}}{I_{y-n50}}(z - z_{n-n50})10^{-3}$$

Donde:

Z_{n-n50} es la posición z del centro de gravedad de la cuaderna maestra (posición del eje neutro), se estimará un 60% del puntal.

Z_{n-50}	6,942	
------------	-------	--

I_{n-n50} se corresponde con el momento de inercia expuesto en Pt.3 Ch.5 Sec.2:
(Explicado y calculado previamente)

$$I_{yR-gr} = 3f_{\tau} C_w L^3 B (C_B + 0.7) 10^{-8}$$

I_y-n50	33,4773536	m^4
---------	------------	-----

El momento de flexión vertical de ola viene dado por:

3.5.2 Vertical wave bending moment

The vertical wave bending moment, M_{WV-LC} , in kNm, shall be used for each dynamic load case in Sec.2, is defined in Table 4.

Table 4 Vertical wave bending moment for dynamic load cases

Load combination factor	M_{WV-LC}
$C_{WV} \geq 0$	$f_{\beta} C_{WV} M_{WV-h}$
$C_{WV} < 0$	$f_{\beta} C_{WV} M_{WV-s} $

where:

C_{WV} = load combination factor for vertical wave bending moment, shall be taken as specified in Sec.2

M_{WV-h}, M_{WV-s} = hogging and sagging vertical wave bending moment taking into account the considered design load scenario, as defined in [3.1.1].

Los momentos son los calculados con anterioridad

M _{wv-h}	905242,6064
M _{wv-s}	-950913,8267

Table 4 Load combination factors for HSM, HSA and FSM load cases - strength assessment

Load component	LCF	HSM-1	HSM-2	HSA-1	HSA-2	FSM-1	FSM-2	
Hull girder loads	M_{WV}	C_{WV}	-1	1	-0.7	0.7	$-0.4f_T - 0.6$	$0.4f_T + 0.6$
	Q_{WV}	C_{QW}	$-1.0f_{Tp}$	$1.0f_{Tp}$	$-0.6f_{Tp}$	$0.6f_{Tp}$	$-1.0f_{Tp}$	$1.0f_{Tp}$
	M_{WH}	C_{WH}	0	0	0	0	0	0
	M_{WT}	C_{WT}	0	0	0	0	0	0

$$C_{WV} = -1(HSM1); 1(HSM2)$$

De Pt.3 Ch.4 Sec.3:

f_{β} = heading correction factor, shall be taken as:
for strength assessment:
 $f_{\beta} = 1.0$ in general

$$f_{\beta} = 1$$

Se tendrán dos valores de los momentos:

M_wv-LCh	905242,606
M_wv-LCs	-950913,827

M_wv-LCh Calculado con Cwv=-1

M_wv-LCs Calculado con Cwv=1

A continuación, se calcula el tensor con la siguiente expresión:

$$\sigma_{wv-LC} = \frac{M_{wv-LC}}{I_{y-n50}} (z - z_{n-n50}) 10^{-3}$$

Para Quebranto:

σ_{wv-LCh}	-187,714783
-------------------	-------------

Para arrufo:

σ_{wv-LCs}	197,185353
-------------------	------------

De los dos resultados se escoge el mayor:

σ_{wv-LCs}	197,185353	(Arrufo en este caso)
-------------------	------------	-----------------------

5.3.2.2 WH-LC

El tensor viene definido por la siguiente expresión:

$$\sigma_{wh-LC} = -\frac{M_{wh-LC}}{I_{z-n50}} y \cdot 10^{-3}$$

3.5.4 Horizontal wave bending moment

The horizontal wave bending moment, in kNm, shall be used for each dynamic load case defined in [Sec.2](#), shall be taken as:

$$M_{wh-LC} = f_{\beta} C_{WH} M_{wh}$$

where:

C_{WH} = load combination factor for horizontal wave bending moment, shall be taken as specified in [Sec.2](#)

M_{wh} = horizontal wave bending moment taking into account the appropriate design load scenario, as defined in [\[3.3.1\]](#).

De la siguiente tabla se saca $C_{WH}=0$ (HSM1 Y HSM2)

Table 4 Load combination factors for HSM, HSA and FSM load cases - strength assessment

Load component	LCF	HSM-1	HSM-2	HSA-1	HSA-2	FSM-1	FSM-2	
Hull girder loads	M_{wv}	C_{wv}	-1	1	-0.7	0.7	$-0.4f_T - 0.6$	$0.4f_T + 0.6$
	Q_{wv}	C_{Qw}	$-1.0f_{ip}$	$1.0f_{ip}$	$-0.6f_{ip}$	$0.6f_{ip}$	$-1.0f_{ip}$	$1.0f_{ip}$
	M_{wh}	C_{wh}	0	0	0	0	0	0
	M_{wt}	C_{wt}	0	0	0	0	0	0

Por tanto:

M_wh-LC	0
---------	---

Calculado el momento, se calcula el tensor:

$$\sigma_{wh-LC} = -\frac{M_{wh-LC}}{I_z - n50} y \cdot 10^{-3}$$

σ_{wh-LC}	0	(Será 0 por ser Cero el momento)
------------------	---	----------------------------------

5.3.2.3 Tensión Longitudinal Dinámica

$$\sigma_{hg-dyn} = \sigma_{wv-LC} + \sigma_{wh-LC}$$

$\sigma_{hg--dyn}$	197,037561
--------------------	------------

5.3.3 Tensión Longitudinal

Como se ha explicado previamente, la tensión longitudinal viene expresada por la siguiente fórmula:

$$\sigma_{hg} = \sigma_{hg-sw} + \sigma_{hg-dyn}$$

Según lo calculado previamente se tiene:

σ_{sw-h}	-118,262489	(en valor abs)
-----------------	-------------	----------------

$\sigma_{hg--dyn}$	197,185353
--------------------	------------

Haciendo la suma de los dos como se indica:

σ_{hg}	315,447842	m ⁴
---------------	------------	----------------

6 ESCANTILLONADO

6.1 Altura del Doble Fondo- Pt.3 Ch.2 Sec.3

Para cálculos posteriores es necesario conocer la altura del doble fondo, de manera que es necesario establecerla previamente. Esta altura se calculó por formulación en cuadernos previos, pero en este caso se volverá a calcular de acuerdo a lo establecido en el DNV-GL.

2.3 Height of double bottom

Where a double bottom is required to be fitted the inner bottom shall be continued out to the ship side in such a manner as to protect the bottom to the turn of bilge. Such protection will be deemed satisfactory if the inner bottom is not lower at any part than a plane parallel with the keel line and which is located not less than a vertical distance h_{DB} measured from the keel line, in mm, as calculated by the formula:

$$h_{DB} = 1000 \cdot B/20, \text{ minimum } 760 \text{ mm}$$

Como se muestra en la norma:

$$h_{BD} = 1000 * \frac{38,7}{20} = 1935mm$$

Del buque base se tiene que la altura del doble fondo es de 2000mm, por tanto, se escoge la altura de doble fondo de 2m.

6.2 Escantillonado de las Chapas

A continuación, se va a realizar el escantillonado de las chapas de fondo, doble fondo, costados y mamparos del buque según lo expuesto en el DNG-GL.

En primer lugar, se hace el cálculo del espesor mínimo:

6.2.1 Cálculo de espesor mínimo- Pt.3 Ch.6 Sec.3

Se calculará según lo establecido en el apartado 1 del DNV-GL:

1.1 Minimum thickness requirements

1.1.1 The net thickness of plating, in mm, shall not be taken less than:

$$t = a + bL_2\sqrt{k}$$

where:

a = coefficient as defined in Table 1

b = coefficient as defined in Table 1.

Donde:

k =Factor del Material, Viene dado en Pt.3 Ch.3 Sec.1 -2.2

Table 2 Material factor k

Specified minimum yield stress R_{eH} , in N/mm^2	k
235	1.00
315	0.78
355	0.72
390	0.66/0.68 ¹⁾
460	0.62

¹⁾ $k=0.66$ for steel with $R_{eH} = 390 N/mm^2$ provided that a fatigue assessment of the structure is performed to verify compliance with the requirements of the Society as given in Ch.7 in general, in Pt.5 for different ship types and in Pt.6 Ch.1 for additional class notations. For other cases $k=0.68$ for steel with $R_{eH} = 390 N/mm^2$.

$$R_{eH} = 235 \frac{N}{mm^2}$$

$$k = 1$$

L_2 =Eslora de reglamento, definida en Pt.3 Ch1. Sec.4

L_2	rule length, L , but need not be taken greater than 300 m	m
-------	---	---

De este modo, como $L < 300 \text{ m}$; $L_2 = L = 129,418 \text{ m}$

a y b = Coeficientes de la siguiente tabla:

Table 1 Minimum net thickness for plating

Element	Location	a	b	
Shell	Keel	5.0	0.05	
	Bottom and bilge	4.5	0.035	
	Side shell and superstructure side	From upper end of bilge plating to $T_{SC} + 4.6 \text{ m}$	4.0	0.035
		From $T_{SC} + 4.6 \text{ m}$ to $T_{SC} + 6.9 \text{ m}$		0.025
		From $T_{SC} + 6.9 \text{ m}$ to $T_{SC} + 9.2 \text{ m}$		0.015
Elsewhere ⁶⁾		0.01		
Sea chest boundaries	4.5	0.05		
Deck	Weather deck ^{1),2),3),4)} , strength deck ^{2),3)} and platform deck in machinery space	4.5	0.02	
	Boundary for cargo tanks, water ballast tanks and hold intended for cargo in bulk		0.015	
	Other decks ^{3),4),5)}		0.01	
Inner bottom	Cargo spaces loaded through cargo hatches except container holds	5.5	0.025	
	Other spaces	4.5	0.02	
Bulkheads	Bulkheads for cargo tanks, water ballast tanks and hold intended for cargo in bulk	4.5	0.015	
	Peak bulkheads and machinery space end bulkheads		0.01	
	Watertight bulkheads and other tanks bulkheads			
	Non-tight bulkheads in tanks	5.0	0.005	
	Other non-tight bulkheads	0		
	Walls in accommodation	4.5	0	

A continuación, se va a calcular el espesor de chapa mínimo de los siguientes elementos utilizando la fórmula indicada previamente:

$$t = a + b * L_2 * \sqrt{k}$$

6.2.1.1 Chapa de Fondo

En primer lugar, se seleccionan los coeficientes para la zona de estudio:

Element	Location	a	b	
Shell	Keel	5.0	0.05	
	Bottom and bilge	4.5	0.035	
	Side shell and superstructure side	From upper end of bilge plating to $T_{SC} + 4.6 \text{ m}$	4.0	0.035
		From $T_{SC} + 4.6 \text{ m}$ to $T_{SC} + 6.9 \text{ m}$		0.025
		From $T_{SC} + 6.9 \text{ m}$ to $T_{SC} + 9.2 \text{ m}$		0.015
Elsewhere ⁶⁾		0.01		
Sea chest boundaries	4.5	0.05		

Elemento	a	b	t
Chapa de fondo	4,5	0,035	10 mm

El espesor obtenido mínimo es el resultado redondeado por lo alto.

6.2.1.2 Pantoque

En primer lugar, se seleccionan los coeficientes para la zona de estudio:

Element	Location	a	b	
Shell	Keel	5.0	0.05	
	Bottom and bilge	4.5	0.035	
	Side shell and superstructure side	From upper end of bilge plating to $T_{SC} + 4.6$ m	4.0	0.035
		From $T_{SC} + 4.6$ m to $T_{SC} + 6.9$ m		0.025
		From $T_{SC} + 6.9$ m to $T_{SC} + 9.2$ m		0.015
		Elsewhere ⁶⁾		0.01
Sea chest boundaries	4.5	0.05		

Elemento	a	b	t
Pantoque	4,5	0,035	10 mm

El espesor obtenido mínimo es el resultado redondeado por lo alto.

6.2.1.3 Quilla

En primer lugar, se seleccionan los coeficientes para la zona de estudio:

Element	Location	a	b	
Shell	Keel	5.0	0.05	
	Bottom and bilge	4.5	0.035	
	Side shell and superstructure side	From upper end of bilge plating to $T_{SC} + 4.6$ m	4.0	0.035
		From $T_{SC} + 4.6$ m to $T_{SC} + 6.9$ m		0.025
		From $T_{SC} + 6.9$ m to $T_{SC} + 9.2$ m		0.015
		Elsewhere ⁶⁾		0.01
Sea chest boundaries	4.5	0.05		

Elemento	a	b	t
Quilla	5	0,05	12 mm

El espesor obtenido mínimo es el resultado redondeado por lo alto.

6.2.1.4 Doble Fondo

En primer lugar, se seleccionan los coeficientes para la zona de estudio:

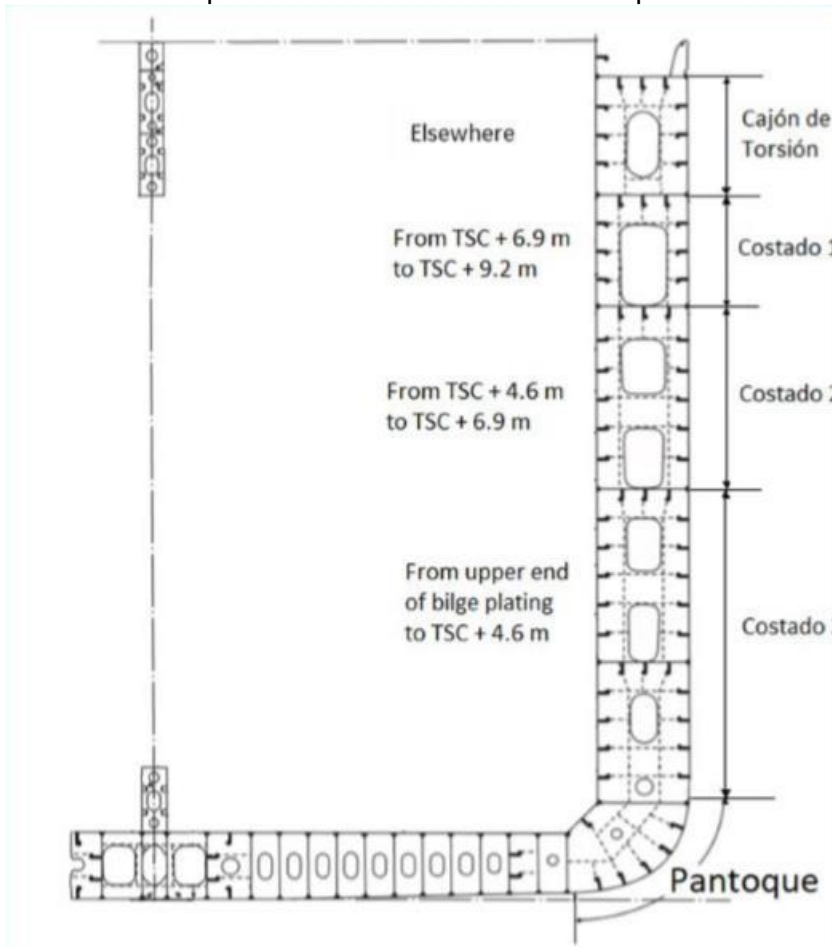
Inner bottom	Cargo spaces loaded through cargo hatches except container holds	5.5	0.025
	Other spaces	4.5	0.02
Bulkheads	Bulkheads for cargo tanks, water ballast tanks and hold intended for cargo in bulk	4.5	0.015
	Peak bulkheads and machinery space end bulkheads		0.01
	Watertight bulkheads and other tanks bulkheads		0.005
	Non-tight bulkheads in tanks	5.0	0
	Other non-tight bulkheads		0
	Walls in accommodation	4.5	0

Elemento	a	b	t
Doble Fondo	4,5	0,02	8 mm

El espesor obtenido mínimo es el resultado redondeado por lo alto.

6.2.1.5 Chapa de Costado

Para la chapa de costado se hará el cálculo para diferentes zonas del costado:



6.2.1.5.1 Chapa de Costado por encima de D/2

En primer lugar, se seleccionan los coeficientes para la zona de estudio:

Element	Location	a	b	
Shell	Keel	5.0	0.05	
	Bottom and bilge	4.5	0.035	
	Side shell and superstructure side	From upper end of bilge plating to $T_{SC} + 4.6$ m	4.0	0.035
		From $T_{SC} + 4.6$ m to $T_{SC} + 6.9$ m		0.025
		From $T_{SC} + 6.9$ m to $T_{SC} + 9.2$ m		0.015
	Elsewhere ⁶⁾	0.01		
Sea chest boundaries	4.5	0.05		

Elemento	a	b	t
----------	---	---	---

EXT. Encima D/2	4	0,015	6 mm
-----------------	---	-------	------

El espesor obtenido mínimo es el resultado redondeado por lo alto.

6.2.1.5.2 Chapa de Costado por debajo de D/2

En primer lugar, se seleccionan los coeficientes para la zona de estudio:

Element	Location	a	b	
Shell	Keel	5.0	0.05	
	Bottom and bilge	4.5	0.035	
	Side shell and superstructure side	From upper end of bilge plating to $T_{SC} + 4.6$ m	4.0	0.035
		From $T_{SC} + 4.6$ m to $T_{SC} + 6.9$ m		0.025
		From $T_{SC} + 6.9$ m to $T_{SC} + 9.2$ m		0.015
		Elsewhere ⁶⁾		0.01
Sea chest boundaries	4.5	0.05		

Elemento	a	b	t
EXT. Debajo D/2	4	0,025	8 mm

El espesor obtenido mínimo es el resultado redondeado por lo alto.

6.2.1.5.3 Unión Costado y Pantoque

En primer lugar, se seleccionan los coeficientes para la zona de estudio:

Element	Location	a	b	
Shell	Keel	5.0	0.05	
	Bottom and bilge	4.5	0.035	
	Side shell and superstructure side	From upper end of bilge plating to $T_{SC} + 4.6$ m	4.0	0.035
		From $T_{SC} + 4.6$ m to $T_{SC} + 6.9$ m		0.025
		From $T_{SC} + 6.9$ m to $T_{SC} + 9.2$ m		0.015
		Elsewhere ⁶⁾		0.01
Sea chest boundaries	4.5	0.05		

Elemento	a	b	t
Unión costado y pantoque	4	0,035	9 mm

El espesor obtenido mínimo es el resultado redondeado por lo alto.

6.2.1.5.4 Tracas de Cinta

En primer lugar, se seleccionan los coeficientes para la zona de estudio:

Element	Location	a	b	
Shell	Keel	5.0	0.05	
	Bottom and bilge	4.5	0.035	
	Side shell and superstructure side	From upper end of bilge plating to $T_{SC} + 4.6$ m	4.0	0.035
		From $T_{SC} + 4.6$ m to $T_{SC} + 6.9$ m		0.025
		From $T_{SC} + 6.9$ m to $T_{SC} + 9.2$ m		0.015
		Elsewhere ⁶⁾	0.01	
Sea chest boundaries	4.5	0.05		

Elemento	a	b	t
Tracas de Cinta	4	0,01	6 mm

El espesor obtenido mínimo es el resultado redondeado por lo alto.

6.2.1.6 Chapa de Cubierta

En primer lugar, se seleccionan los coeficientes para la zona de estudio:

Deck	Weather deck ^{1),2),3),4)} , strength deck ^{2),3)} and platform deck in machinery space	4.5	0.02
	Boundary for cargo tanks, water ballast tanks and hold intended for cargo in bulk		0.015
	Other decks ^{3),4),5)}		0.01

Elemento	a	b	t
Chapa de cubierta	4,5	0,02	8 mm

El espesor obtenido mínimo es el resultado redondeado por lo alto.

6.2.1.7 Chapa de Mamparo

En primer lugar, se seleccionan los coeficientes para la zona de estudio:

Bulkheads	Bulkheads for cargo tanks, water ballast tanks and hold intended for cargo in bulk	4.5	0.015
	Peak bulkheads and machinery space end bulkheads		0.01
	Watertight bulkheads and other tanks bulkheads		0.005
	Non-tight bulkheads in tanks	5.0	0
	Other non-tight bulkheads		0
	Walls in accommodation	4.5	0

Elemento	a	b	t
Chapa de mamparo	4,5	0,015	7 mm

El espesor obtenido mínimo es el resultado redondeado por lo alto.

6.2.2 Espesor en función de las Presiones

6.2.2.1 Chapa del Fondo

En la cuaderna maestra supuesta, no hay tanques en el doble fondo, pero para el cálculo más desfavorable considerado de la chapa del fondo, será con los tanques del doble fondo, de manera que para el cálculo de la chapa del fondo, se va a suponer que se llevan los tanques del doble fondo mencionados.

El espesor de la chapa viene definido por la siguiente expresión: (Pt.3 Ch.6 Sec.4)

1.1 General

1.1.1 Plating

The net thickness, in mm, shall not be taken less than the greatest value for all applicable design load sets, as defined in [Sec.2 \[2.1.3\]](#), given by:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

Donde:

C_a = permissible bending stress coefficient for plate taken equal to:

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}} \quad \text{not to be taken greater than } C_{a-max}$$

β_a = coefficient as defined in [Table 1](#)

α_a = coefficient as defined in [Table 1](#)

C_{a-max} = maximum permissible bending stress coefficient as defined in [Table 1](#).

Los coeficientes “ $\alpha_a, \beta_a, C_{a-max}$ ”, están definidos en la siguiente tabla:

Table 1 Plating, definition of β_a, α_a and C_{a-max}

Acceptance criteria	Structural member	β_a	α_a	C_{a-max}	
AC-I	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	0.90	0.50	0.80
		Transverse stiffened plating	0.90	1.00	0.80
	Other members		0.80	0.00	0.80
AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95
AC-III	Longitudinal bulkhead members including possible bench structures between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.5	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.0	1.15
	Other longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.10	0.50	1.00
		Transverse stiffened plating	1.10	1.00	1.00
	Transverse boundaries of ballast water tanks Transverse boundaries between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo		1.15	0.00	1.15
	Other members		1.00	0.00	1.00
	Longitudinal watertight boundaries ¹⁾	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.50	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.00	1.15
Other watertight boundaries ¹⁾		1.15	0.00	1.15	

1) Only applicable for flooding pressure

De la tabla se tiene:

$$\begin{aligned}\beta_a &= 1,05 \\ \alpha_a &= 0,5 \\ C_{a-max} &= 0,95\end{aligned}$$

Utilizando la tensión calculada previamente, se calcula C_a:

σ_{hg}	C_a
315,447842	0,37883438

α_a se obtiene de la siguiente manera:

correction factor for the panel aspect ratio to be taken as follows but not to be taken greater than 1.0:

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1a}$$

Donde a y b son:

a = Separación entre bulárcamas = 3500mm

b = Separación entre longitudinales = 400 mm

Por tanto:

alpha_p
1,146

Las presiones a tener en cuenta para el escantillonado de la chapa del fondo vienen indicadas en la siguiente tabla:

Pt.3 Ch.6 Sec.2- Table 1

Table 1 Design load sets

Structural member	Design load set	Design load scenario	Load component ⁴⁾	Draught	Acceptance criteria	Loading condition for definition of GM and k_r
External shell and exposed deck	SEA-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_S + P_W, P_D$	T_{SC}	AC-II	Full load condition
Superstructure side			$\max(P_W; P_{St})$			
External shell	SEA-2 ⁵⁾	1 ⁵⁾	P_S	T_{SC}	AC-I	-
Boundaries of water ballast tanks and ballast holds	WB-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{ls-1} + P_{ld} - (P_S + P_W)^{1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	WB-2	3	$P_{ls-2} + P_{ld} - (P_S + P_W)^{1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	WB-3	4	$\max(P_{ls-4}; P_{ls-ST}) - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-III	-
	WB-4 ⁵⁾	1 ⁵⁾	$P_{ls-3} - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-I	-
Boundaries of tanks other than ballast water tanks	TK-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{ls-1} + P_{ld} - (P_S + P_W)^{1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	TK-2	4	$P_{ls-ST} - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-III	
	TK-3 ⁵⁾	1 ⁵⁾	$P_{ls-3} - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-I	-
Internal structures in tanks	INT-1	1	P_{int}	T_{SC}	AC-I	-
Collision bulkhead					AC-I	
Watertight boundaries other than collision bulkhead	FD-1	5	P_{ls}	T_{DAM}	AC-III	-
Exposed decks and non-exposed decks and platforms with distributed load	UDL-1 ²⁾⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{dl-s} + P_{dl-d}$ $F_{U-s} + F_{U-d}$	$T_{BAL}^{3)}$	AC-II	Normal ballast condition ³⁾
	UDL-2 ²⁾⁵⁾	1 ⁵⁾	P_{dl-s} F_{U-s}	-	AC-I	-
Decks and hatch covers/ RO/RO equipments with wheel loading	WL-1 ²⁾	2	F_{wl-2}	$T_{BAL}^{3)}$	AC-II	Normal ballast condition ³⁾
	WL-2 ²⁾	1	F_{wl-1}	-	AC-I	-

Como se indica en la tabla, será necesario calcular la presión exterior al buque y la presión producida por el tanque de lastre.

P_S = Presión estática del mar

P_W = Presión hidrodinámica del mar (presión de ola)

P_{ls-1} =Presión estática de los tanques (de lastre en este caso)

P_{ld} = Presión dinámica de los tanques (de lastre en este caso)

6.2.2.1.1 Presión Estática del mar (P_s)-Pt.3 Ch.4 Sec.5

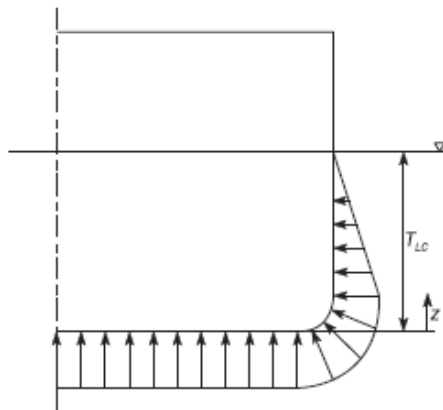
La presión hidrostática viene dada por la siguiente expresión:

1.2 Hydrostatic pressure

1.2.1 The hydrostatic pressure, P_s at any load point, in kN/m^2 , is obtained from Table 1. See also Figure 1.

Table 1 Hydrostatic pressure, P_S

Location	Hydrostatic pressure, P_S , in kN/m^2
$z \leq T_{LC}$	$\rho g (T_{LC} - z)$
$z > T_{LC}$	0



Donde:

T_{LC} definido en Pt.3 Ch.4 Sec.3

T_{LC} = draught, in m, amidships for the considered loading condition. In case loading condition is not defined, $T_{LC} = T_{SC}$ shall be applied

T_{SC} es el calado de escantillonado, definido en Pt.3 Ch1 Sec.4

T_{SC}	scantling draught	m
----------	-------------------	---

El valor del calado de escantillonado ya ha sido indicado previamente.

“z” es el punto de estudio, al ser en el fondo, será 0:

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

$$T_{LC} = 8,366 \text{ m}$$

Como se puede ver, $z < T_{LC}$

Por tanto, se puede utilizar la siguiente expresión:

$$P_s = \rho * g * (T_{LC} - z) \text{ kN/m}^2$$

Siendo:

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

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

Por tanto:

Ps (kN/m ²)	84,122
-------------------------	--------

6.2.2.1.2 Presión Hidrodinámica (P_w)- Pt.3 Ch.4 Sec.5

La presión hidrodinámica se calcula de la siguiente manera:

Table 2 Hydrodynamic pressures for HSM load cases

Load case	Wave pressure, in kN/m ²		
	$z \leq T_{LC}$	$T_{LC} < z \leq h_W + T_{LC}$	$z > h_W + T_{LC}$
HSM-1	$P_W = \max\{-P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$	$P_W = P_{W,WL} - \rho g(z - T_{LC})$	$P_W = 0.0$
HSM-2	$P_W = \max\{P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$		

Como se ha visto previamente:

$$z < T_{LC}$$

Para este caso, se tienen dos condiciones, "HSM1" y "HSM2", de modo que se calcularán los dos casos y se tendrá en cuenta el más desfavorable.

Para ello, se necesita calcular el valor de P_{HS} , puesto que el resto de datos ya han sido indicados para la presión estática.

" P_{HS} " viene dada por la siguiente expresión:

$$P_{HS} = C_{f_T} f_{ps} f_{n\ell} f_h k_a k_p f_{yz} C_w \sqrt{\frac{L_0 + \lambda - 125}{L}}$$

Donde:

$$C_{fT} = f_T + 0.5 - (0.7f_T - 0.2)C_B$$

" f_T " está definido en Pt.3 Ch.4 Sec.3:

f_T = ratio between draught at a loading condition and scantling draught, shall be taken as:

$$f_T = \frac{T_{LC}}{T_{SC}}, \text{ but shall not be taken less than } 0.5$$

Los valores de " T_{LC} " y " T_{SC} " han sido indicados con anterioridad, de modo que el valor de " f_T " será:

$$f_T = \frac{8,366}{8,366}$$

$$f_T = 1$$

El valor del coeficiente de bloque:

$$C_B = 0,863$$

De este modo:

$C_{(fT)}$	1,0685
------------	--------

$$f_{nl} = \text{coefficient considering non-linear effects, to be taken as:}$$

f_{nl} = coefficient considering non-linear effects, to be taken as:
for extreme sea loads design load scenario:

$$f_{nl} = 0.7 \text{ at } f_{xL} = 0$$

$$f_{nl} = 0.9 \text{ at } f_{xL} = 0.3$$

$$f_{nl} = 0.9 \text{ at } f_{xL} = 0.7$$

$$f_{nl} = 0.6 \text{ at } f_{xL} = 1$$

for ballast water exchange design load scenario:

$$f_{nl} = 0.85 \text{ at } f_{xL} = 0$$

$$f_{nl} = 0.95 \text{ at } f_{xL} = 0.3$$

$$f_{nl} = 0.95 \text{ at } f_{xL} = 0.7$$

$$f_{nl} = 0.80 \text{ at } f_{xL} = 1$$

Intermediate values are obtained by linear interpolation

Donde:

" f_{xL} " viene definido en Pt.3 Ch.4 Sec.2:

f_{xL} = ratio between X-coordinate of the load point and L , to be taken as:
 $f_{xL} = \frac{x}{L}$, but shall not be taken less than 0.0 or greater than 1.0

" x " es la zona de estudio que en este caso es:

x	40,72
---	-------

" L " es la eslora de escantillonado definida previamente:

L	129,321
---	---------

De este modo:

$$f_{xL} \approx 0,5$$

Con este valor, se entra en los valores definidos, obteniendo: (se ha utilizado la parte de intercambio de agua de lastre):

for ballast water exchange design load scenario:

$$f_{nl} = 0.85 \text{ at } f_{xL} = 0$$

$$f_{nl} = 0.95 \text{ at } f_{xL} = 0.3$$

$$f_{nl} = 0.95 \text{ at } f_{xL} = 0.7$$

$$f_{nl} = 0.80 \text{ at } f_{xL} = 1$$

Intermediate values are obtained by linear interpolation

f_nl	0,95
------	------

- f_{ps} = coefficient for strength assessments which is dependant on the applicable design load scenario specified in [Sec.7](#), and shall be taken as:

$$f_{ps} = 1.0 \text{ for extreme sea loads design load scenario}$$

$$f_{ps} = f_r \text{ for extreme sea loads design load scenario for vessels with service restriction}$$

$$f_{ps} = 0.8 \text{ for the ballast water exchange design load scenario}$$

$$f_{ps} = 0.8 \cdot f_r \text{ for the ballast water exchange design load scenario for vessels with service restriction}$$

Se tomará:

f_ps	1
------	---

- f_h = coefficient to be taken as:

$$f_h = 3.0(1.21 - 0.66f_T)$$

" f_T " calculado previamente:

$$f_T = 1$$

Por tanto:

f_h	1,65
-----	------

- k_a = amplitude coefficient in the longitudinal direction of the ship, to be taken as:

$$k_a = (0.5 + f_T) \left[(3 - 2\sqrt{f_{yB}}) - \frac{20}{9} f_{xL} (7 - 6\sqrt{f_{yB}}) \right] + \frac{2}{3} (1 - f_T) \quad \text{for } f_{xL} < 0.15$$

$$k_a = 1.0$$

$$\text{for } 0.15 \leq f_{xL} < 0.7$$

$$k_a = 1 + (f_{xL} - 0.7) \left\{ \left(\frac{40}{3} f_T - 5 \right) + 2 \left(1 - f_{yB} \right) \left[\frac{18}{c_B} f_T (f_{xL} - 0.7) - 0.25(2 - f_T) \right] \right\} \quad \text{for } f_{xL} \geq 0.7$$

Como se ha visto antes, $f_{xL} \approx 0,5$

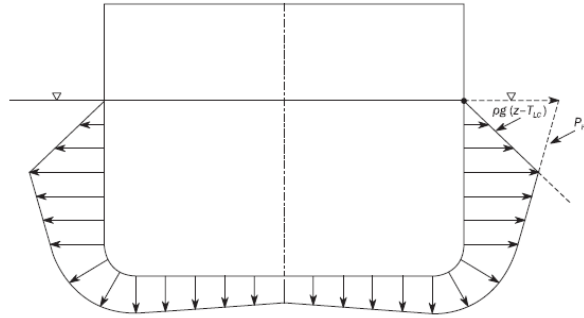
Por tanto:

k_a	1
-----	---

- k_p = phase coefficient to be obtained from Table 3. Intermediate values shall be interpolated.

Table 3 Definition of phase coefficient K_p

f_{xL}	0	$0.3 - 0.1 f_T$	$0.35 - 0.1 f_T$	$0.8 - 0.2 f_T$	$0.9 - 0.2 f_T$	1.0
k_p	$-0.25 f_T(1 + f_{yB})$	-1	1	1	-1	-1



Como se calculó previamente; $f_{xL} \approx 0,5$

Que el valor está entre los valores que se obtienen de las siguientes fórmulas, es decir:

$$0,35 - 0,1 * f_T < f_{xL} < 0,8 - 0,2 * f_T$$

$$f_T = 1$$

El valor de k_p por tanto es:

k_P	1
-------	---

- f_{yz} = girth distribution coefficient, to be taken as:

$$f_{yz} = C_x \cdot \frac{z}{T_{LC}} + (2 - C_x) f_{yB} + 1$$

Donde:

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

$$T_{LC} = 8,366 \text{ m}$$

C_x = coefficient to be taken as:

$$C_x = 1.5 - \frac{|x - 0.5L|}{L}$$

$$x = 40,72 \text{ m}$$

$$L = 129,321 \text{ m}$$

$$C_x = 1,315$$

f_{yB} = ratio between Y-coordinate of the load point and B_x , to be taken as:

$$f_{yB} = \frac{|zy|}{B_x} \quad \text{but not greater than 1.0}$$

$$f_{yB} = 0 \text{ when } B_x = 0$$

Como se está trabajando en la zona del fondo, $f_{yB} = 0$, puesto que $B_x = 0$

Por tanto:

f_yz	1
------	---

- C_w = wave coefficient defined in [Sec.4](#)

Calculado previamente:

$$C_w = 8,53$$

- λ = wave length of the dynamic load case, in m, to be taken as:

$$\lambda = 0.6(1 + f_T)L$$

Donde:

$$f_T = 1$$

$$L = 129,321 \text{ m}$$

Por tanto:

lambda	155,186
--------	---------

• L_0

rule length, L , but not to be taken less than 110 m

Como:

$$L = 129,321 \text{ m} > 110 \text{ m}$$

Por tanto,

$$L_0 = 129,321 \text{ m}$$

Cálculo de P_{HS} :

$$P_{HS} = C_{f_T} f_{ps} f_{n\ell} f_h k_a k_p f_{yz} C_w \sqrt{\frac{L_0 + \lambda - 125}{L}}$$

$P_{HS}(\text{kN/m}^2)$	15,867
-------------------------	--------

Como se indicó previamente:

Table 2 Hydrodynamic pressures for HSM load cases

Load case	Wave pressure, in kN/m^2		
	$z \leq T_{LC}$	$T_{LC} < z \leq h_W + T_{LC}$	$z > h_W + T_{LC}$
HSM-1	$P_W = \max\{-P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$	$P_W = P_{W,WL} - \rho g(z - T_{LC})$	$P_W = 0.0$
HSM-2	$P_W = \max\{P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$		

Donde:

$$P_{HS} = 15,867 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\rho * g * (z - T_{LC}) = 1,025 * 9,81 * (0 - 8) = -80,442$$

$$HSM1 \rightarrow P_W = \max\{-P_{HS}; \rho * g * (z - T_{LC})\}$$

$$HSM1 \rightarrow P_W = \max\{-15,867; -84,144\}$$

$$HSM1 \rightarrow P_W = -15,867 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$HSM2 \rightarrow P_W = \max \{P_{HS}; \rho * g * (z - T_{LC})\}$$

$$HSM2 \rightarrow P_W = \max\{15,867; -84,144\}$$

$$HSM2 \rightarrow P_W = 15,867 \frac{kN}{m^2}$$

6.2.2.1.3 Presión total debido al mar ($P_S + P_W$)

A continuación, se calcula la presión total debida al mar según las presiones obtenidas previamente:

$$HSM1 \rightarrow P_S + P_W = 84,144 + (-15,867) = 68,256 kN/m^2$$

$$HSM2 \rightarrow P_S + P_W = 84,144 + 15,867 = 99,989 kN/m^2$$

6.2.2.1.4 Presión de los tanques

En este caso se calculará la presión ocasionada por los tanques de lastre en el fondo del buque. Según el DNV-GL en Pt.3 Ch.6 Sec.2, la presión de los tanques:

Internal structures in tanks	INT-1	1	P_{int}	T_{sc}	AC-I	-
------------------------------	-------	---	-----------	----------	------	---

La presión Interna está definida en Pt.3 Ch.4 Sec.6:

1 Pressures due to liquids

1.1 Total pressure

1.1.1 Pressures for the strength and fatigue assessments of intact conditions

The internal pressure due to liquid acting on any load point of a tank and ballast hold boundary, in kN/m^2 , for the static (S) design load scenarios, given in [Sec.7](#), shall be taken as:

$$P_{in} = P_{ts} \text{ but not less than } 0$$

The internal pressure due to liquid acting on any load point of a tank and ballast hold boundary, in kN/m^2 , for the static plus dynamic (S+D) design load scenarios shall be derived for each dynamic load case and shall be taken as:

$$P_{in} = P_{ts} + P_{td} \text{ but not less than } 0$$

where:

P_{ts} = static pressure due to liquid in tanks and ballast holds, in kN/m^2 , as defined in [\[1.2.1\]](#) to [\[1.2.6\]](#)

P_{td} = dynamic inertial pressure due to liquid in tanks and ballast holds, in kN/m^2 , as defined in [\[1.3\]](#).

- Presión estática del tanque. P_{ts}
- Presión Dinámica del tanque. P_{td}

6.2.2.1.4.1 Presión Estática del tanque – Pt.3 Ch.4 Sec.6

Como se ha explicado previamente, se va a calcular el espesor de la chapa del fondo teniendo en cuenta los tanques del doble fondo llenos, considerando que los tanques se sitúan en la cuaderna maestra, a pesar de que éstos, estén situados algo más a proa.

1.2 Static liquid pressure**1.2.1 Normal operations at sea**

The static pressure, in kN/m^2 , in tanks and ballast holds for normal operations at sea, shall be taken as:

$$P_{\ell s-1} = f_{cd} \rho_L g (z_{top} - z) + P_{PV} \quad \text{for tanks arranged with pressure relief valves}$$

$$P_{\ell s-1} = \rho_L g (z_{top} - z) \quad \text{for other cases.}$$

En este caso se va a tomar que no hay válvulas de alivio, por tanto, se toma la segunda expresión de la norma:

$$P_{ls-1} = \rho_l * g * (z_{top} - z)$$

Donde:

$$\rho_l = 1,025 \frac{t}{m^3} \text{ (Densidad líquido tanque)}$$

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

$$z_{top} = 2 \text{ m (punto más alto del tanque)}$$

$$z = 0 \text{ m (punto más bajo del tanque)}$$

Por tanto:

P _{ls-1}	20,111
-------------------	--------

6.2.2.1.4.2 Presión Dinámica del tanque-Pt.3 Ch.4 Sec.6

La presión dinámica viene definida por:

1.3 Dynamic liquid pressure

1.3.1 The dynamic pressure due to liquid in tanks and ballast holds, in kN/m^2 shall be taken as:

$$P_{\ell d} = f_{cd} \rho_L [a_z(z_0 - z) + f_{ull-\ell} a_x(x_0 - x) + f_{ull-t} a_y(y_0 - y)]$$

Donde:

6.2.2.1.4.2.1 Coeficientes

$f_{ull-\ell}$ = longitudinal acceleration correction factor for the ullage space above the liquid in tanks and ballast holds, taken as:

for strength assessment:

$f_{ull-\ell} = 0.62$ for cargo tanks filled with any liquids inclusive water ballast

$f_{ull-\ell} = 1.0$ for other cases

Se tomará $f_{ull-l} = 1$

f_{ull-t} = transverse acceleration correction factor to account for the ullage space above the liquid in tanks and ballast holds, taken as:

for strength assessment:

$f_{ull-t} = 0.67$ for cargo tanks filled with any liquids inclusive water ballast

$f_{ull-t} = 1.0$ for other cases

Se tomará $f_{ull-t} = 1$

f_{cd} = factor for joint probability of occurrence of liquid cargo density and maximum sea state in 25 years design life, to be taken as:

$f_{cd} = 0.88$ for strength assessment with FE analysis of cargo tanks filled with for oil or oil products cargo with $\rho_L \leq 1.025 \text{ t/m}^3$

$f_{cd} = 1.0$ for other cases

Se tomará $f_{ull-l} = 1$

ρ_L = density of liquid in the tank and ballast hold, in t/m^3 , normally not to be taken less than:

1) *Strength assessment:*

$\rho_L = 1.025$ for all liquids including oil and product cargoes. If a tank filled at 98% is intended to carry heavier liquid cargoes than 1.025 (i.e. $\rho_{max-LM} > 1.025$), then $\rho_L =$

Se tomará $\rho_l = 1,025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$

6.2.2.1.4.2.2 Aceleraciones -Pt.3 Ch.4 Sec.3

En primer lugar, se van a definir componentes para las aceleraciones que se calcularán a continuación:

- Aceleración Parámetro:

a_0 = acceleration parameter, shall be taken as:

$$a_0 = \left(1.58 - 0.47C_B\right)\left(\frac{2.4}{\sqrt{L}} + \frac{34}{L} - \frac{600}{L^2}\right)$$

Donde:

$$L_{SC} = 129,321 \text{ m}$$

$$C_B = 0,863$$

Por tanto:

a_0	0,48626865
-----	------------

- Coordenada vertical del centro de rotación del buque:

R = vertical coordinate, in m, of the ship rotation centre, shall be taken as:

$$R = \min\left(\frac{D}{4} + \frac{T_{LC}}{2}, \frac{D}{2}\right)$$

$$R = \min\left(\frac{11,57}{4} + \frac{8}{2}, \frac{11,57}{2}\right) = \min(6,8925; 5,785)$$

$$R = 5,785 \text{ m}$$

- Coordenadas del punto considerado:

La coordenada se hallará con la resta de las coordenadas de la cuaderna maestra y las coordenadas del centro de gravedad del buque. El centro de gravedad del buque, es el obtenido en el cuaderno 5 por maxsurf para la condición de máxima carga.

XG_buque	KG_buque	XG_maestra	KG_maestra
59,9	19,444	41,5	4,785

Realizando las restas:

xg	kg
-18,4	-14,659

6.2.2.1.4.2.2.1 Aceleración Longitudinal – Pt.3 Ch.4 Sec.3

3.2.1 Longitudinal acceleration

The longitudinal acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_x = f_\beta \left[\left(-C_{xG} g \sin \varphi \right) + C_{xS} a_{surge} + C_{xP} a_{pitch}(z - R) \right]$$

Donde:

6.2.2.1.4.2.2.1.1 Coeficientes

f_β = heading correction factor, shall be taken as:

for strength assessment:

$$f_\beta = 1.0 \text{ in general}$$

$$f_\beta = 0.8 \text{ for BSR and BSP load cases for the extreme sea loads design load scenario}$$

Se tomará $f_\beta = 1$

f_T = ratio between draught at a loading condition and scantling draught, shall be taken as:

$$f_T = \frac{T_{LC}}{T_{SC}}, \text{ but shall not be taken less than } 0.5$$

Los valores de " T_{LC} " y " T_{SC} " han sido indicados con anterioridad, de modo que el valor de " f_T " será:

$$f_T = 1$$

$$L_1 = 129,321 \text{ m (Definido con anterioridad)}$$

Table 4 Load combination factors for HSM, HSA and FSM load cases - strength assessment

Load component	LCF	HSM-1	HSM-2	HSA-1	HSA-2	FSM-1	FSM-2	
Longitudinal accelerations	a_{surge}	C_{XS}	$0.6 - 0.2f_T$	$0.2f_T - 0.6$	0.2	-0.2	$0.2 - 0.4f_T$	$0.4f_T - 0.2$
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	$-0.15 - L_1/300$	$0.15 + L_1/300$	-1.0	1.0	0.15	-0.15
	$g \sin\phi$	C_{xG}	0.6	-0.6	$0.4f_T + 0.1$	$-0.4f_T - 0.1$	-0.2	0.2

- HSM1:

$$C_{XS} = 0,6 - 0,2 * f_T$$

$$C_{XP} = -0,15 - \frac{L_1}{300}$$

$$c_{xG} = 0,6$$

Por tanto, se tienen los siguientes resultados:

C_xs	C_xp	C_xG
0,4	-0,58107123	0,6

- HSM2:

$$C_{xs} = 0,2 * f_T - 0,6$$

$$C_{xp} = 0,15 + \frac{L_1}{300}$$

$$c_{xG} = -0,6$$

Por tanto, se tienen los siguientes resultados:

C_xs	C_xp	C_xG
-0,4	0,58107123	-0,6

6.2.2.1.4.2.2.1.2 Componentes para el cálculo a_x

- Gravedad:

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

- $sen(\gamma)$:

Para el cálculo de γ , se sigue el siguiente proceso:

The pitch period, in s, shall be taken as:

$$T_\varphi = \sqrt{\frac{2\pi\lambda_\varphi}{g}}$$

where:

$$\lambda_\varphi = 0.6(1 + f_T)L$$

$$f_T = 1$$

$$L = 129,321 \text{ m}$$

Por tanto:

lambda_phi	155,185644
------------	------------

A continuación, se calcula el Periodo:

T_phi	9,9696754
-------	-----------

Con todo esto calculado previamente, ya se está en condiciones de calcular el ángulo de cabeceo (NO Superior a 20°):

The pitch angle, in deg, shall be taken as given in formula below and need not to be taken greater than 20 degree.

$$\varphi = 920 f_p L^{-0.84} \left\{ 1,0 + \left(\frac{2,57}{\sqrt{gL}} \right)^{1,2} \right\}$$

where:

f_p = coefficient shall be taken as:

$f_p = f_{ps}$ for strength assessment

$f_p = f_R \left[(0,27 - 0,02 f_T) - (13 - 5 f_T) \cdot L \cdot 10^{-5} \right]$ for fatigue assessment.

$f_p = f_{ps} = 1$ Definido con anterioridad

$L = 129,321 \text{ m}$

Por tanto:

phi(pitch angle)	16,03453139
------------------	-------------

Con el ángulo, se calcula el seno:

$$\text{sen}(\gamma) = \text{sen}(16,035)$$

$$\text{sen}(\gamma) = 0,276$$

- Aceleración de ola (a_surge):

2.2 Ship accelerations at the centre of gravity

2.2.1 Surge acceleration

The longitudinal acceleration due to surge, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_{\text{surge}} = 0,2 \left(1,6 + \frac{1,5}{\sqrt{gL}} \right) f_p a_0 g$$

where:

$$f_p = \begin{cases} \text{coefficient shall be taken as:} \\ f_p = f_{ps} \text{ for strength assessment} \\ f_p = f_R [0,27 - (15 + 4f_T)L \cdot 10^{-5}] \text{ for fatigue assessment.} \end{cases}$$

Donde:

$$f_p = f_{ps} = 1 \text{ Definido con anterioridad}$$

$$L = 129,321 \text{ m}$$

$$a_0 = 0,486$$

Por tanto:

a_surge	0,36017879
---------	------------

- Aceleración de Cabeceo (a_{pitch}):

2.2.5 Pitch acceleration

The pitch acceleration, in rad/s^2 , shall be taken as:

$$a_{pitch} = 0.8(1 + 0.05v)f_p \left(0.72 + \frac{2L}{700}\right) \left(1.75 - \frac{22}{\sqrt{gL}}\right) \varphi \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T\varphi}\right)^2 \quad L < 100 \text{ m}$$

$$a_{pitch} = \left(0.4 + \frac{L}{250}\right) \left(1 + 0.05v\left(3 - \frac{L}{50}\right)\right) f_p \left(1.75 - \frac{22}{\sqrt{gL}}\right) \varphi \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T\varphi}\right)^2 \quad 100 \leq L < 150 \text{ m}$$

$$a_{pitch} = f_p \left(1.75 - \frac{22}{\sqrt{gL}}\right) \varphi \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T\varphi}\right)^2 \quad L \geq 150 \text{ m}$$

where:

φ = pitch angle in deg, using f_p equal to 1.0

v = as defined in [2.2.3]

f_p = coefficient shall be taken as:

$$f_p = f_{ps} \quad \text{for strength assessment}$$

$$f_p = f_R [0.28 - (5 + 6f_T)L \cdot 10^{-5}] \quad \text{for fatigue assessment.}$$

Donde:

$100\text{m} < L = 129,321 \text{ m} < 150\text{m} \rightarrow$ Se escoge la segunda expresión para el cálculo.

Como se puede observar, para el cálculo de v , teniendo en cuenta el valor de la eslora dentro del rango especificado:

v = unless otherwise specified in Pt.5, to be taken as:

0 kt for $L < 100 \text{ m}$

5 kt for $L \geq 150 \text{ m}$

linear interpolation for L between 100 m and 150 m.

Se realiza una interpolación lineal para el cálculo de v :

$$v = 2,942 \text{ kt}$$

Para el cálculo de la aceleración de cabeceo, se tienen todos los datos, calculados previamente:

a_{pitch}	0,12245447
-------------	------------

6.2.2.1.4.2.2.1.3 Resultado de la Aceleración Longitudinal $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

Para el cálculo de la aceleración se utilizará la ecuación indicada previamente:

$$a_x = f_\beta \left[\left(-C_{XG} g \sin \varphi \right) + C_{XS} a_{surge} + C_{XP} a_{pitch} (z - R) \right]$$

Donde todos los datos necesarios para el cálculo se han hallado con anterioridad, por tanto, la aceleración longitudinal tendrá los siguientes valores:

- HSM1

a_x	3,49
-----	------

- HSM2

a_x	-3,49
-----	-------

6.2.2.1.4.2.2.2 Aceleración Transversal – Pt.3 Ch.4 Sec.3

3.2.2 Transverse acceleration

The transverse acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_y = f_\beta \left[C_{YG} g \sin \theta + C_{YS} a_{sway} - C_{YR} a_{roll} (z - R) \right]$$

6.2.2.1.4.2.2.2.1 Coeficientes

f_β = heading correction factor, shall be taken as:

for strength assessment:

$f_\beta = 1.0$ in general

$f_\beta = 0.8$ for BSR and BSP load cases for the extreme sea loads design load scenario

Se tomará $f_\beta = 1$

f_T = ratio between draught at a loading condition and scantling draught, shall be taken as:

$$f_T = \frac{T_{LC}}{T_{SC}}, \text{ but shall not be taken less than } 0.5$$

Los valores de " T_{LC} " y " T_{SC} " han sido indicados con anterioridad, de modo que el valor de " f_T " será:

$$f_T = 1$$

$$L_1 = 129,321 \text{ m (Definido con anterioridad)}$$

Table 4 Load combination factors for HSM, HSA and FSM load cases - strength assessment

Load component	LCF	HSM-1	HSM-2	HSA-1	HSA-2	FSM-1	FSM-2
Transverse accelerations	a_{sway}	C_{YS}	0	0	0	0	0
	a_{roll-y}	C_{yR}	0	0	0	0	0
	$g \sin\theta$	C_{yG}	0	0	0	0	0

- HSM1:

$$C_{ys} = 0$$

$$C_{yR} = 0$$

$$C_{yG} = 0$$

Por tanto, se tienen los siguientes resultados:

C_{ys}	C_{yR}	C_{yG}
0	0	0

- HSM2:

$$C_{ys} = 0$$

$$C_{yR} = 0$$

$$C_{yG} = 0$$

Por tanto, se tienen los siguientes resultados:

C_{ys}	C_{yR}	C_{yG}
0	0	0

6.2.2.1.4.2.2.2 Componentes para el cálculo a_y

- Gravedad:

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

- $sen(\theta)$:

Para el cálculo de θ , se sigue el siguiente proceso:

2.1.1 Roll motion

The roll period, in s, shall be taken as:

$$T_{\theta} = \frac{2,3\pi k_r}{\sqrt{g GM}}$$

Donde:

k_r = roll radius of gyration, in m, in the considered loading condition. In case k_r has not been calculated, the following values may be used

$k_r = 0,39 B$ in general

$k_r = 0,35 B$ for tankers in ballast

For fatigue, default values are given in Ch.9.

GM = metacentric height, in m, in the considered loading condition, minimum $0,05 B$. In case GM has not been calculated, the following values may be adopted:

$GM = 0,07 B$ in general

$GM = 0,12 B$ for tankers

$GM = 0,05 B$ for container ship with $B \leq 32,2$ m

$GM = 0,11 B$ for container ship with $B \geq 40,0$ m

Se tomarán:

$$\begin{aligned} k_r &= 0,39 * B \\ GM &= 0,07 * B \\ B &= 38,7 \text{ m} \end{aligned}$$

De este modo:

k _r	GM
15,093	2,709

A continuación, se calcula el Periodo:

T _{thita}	21,16
--------------------	-------

Con todo esto calculado previamente, ya se está en condiciones de calcular el ángulo de balanceo:

The roll angle, in deg, shall be taken as:

$$\theta = \frac{9000(1,4 - 0,035T_{\theta})f_p f_{BK}}{(1,15B + 55)\pi}$$

Donde:

$$f_p = f_{ps} = 1 \text{ Definido con anterioridad}$$

f_{BK} = shall be taken as:

$$f_{BK} = 1.2 \text{ for ships without bilge keel}$$

$$f_{BK} = 1.0 \text{ for ships with bilge keel}$$

$$f_{BK} = 1,2 \text{ se toma sin quilla de balance}$$

Por tanto:

Thita	22,787
-------	--------

- Aceleración de balanceo (a_{sway}):

2.2.2 Sway acceleration

The transverse acceleration due to sway, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_{sway} = 0,3 \left(2,25 - \frac{20}{\sqrt{gL}} \right) f_p a_0 g$$

where:

f_p = coefficient shall be taken as:

$$f_p = f_{ps} \text{ for strength assessment}$$

Donde:

$$f_p = f_{ps} = 1 \text{ Definido con anterioridad}$$

$$L = 129,321 \text{ m}$$

$$a_0 = 0,486$$

Por tanto:

a_{sway}	2,416
------------	-------

- Aceleración de Balanceo (a_{roll}):

2.2.4 Roll acceleration

The roll acceleration, a_{roll} , in rad/s^2 , shall be taken as:

$$a_{roll} = f_p \theta \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T_\theta} \right)^2$$

where:

θ = roll angle in deg, using f_p equal to 1.0

f_p = coefficient shall be taken as:

$$f_p = f_{ps} \text{ for strength assessment}$$

$$f_p = f_{ps} = 1 \text{ Definido con anterioridad}$$

$$\theta = 22,787^\circ$$

Para el cálculo de la aceleración de balanceo, se tienen todos los datos, calculados previamente:

a_roll	0,035
--------	-------

6.2.2.1.4.2.2.3 Resultado de la Aceleración Transversal $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

Para el cálculo de la aceleración se utilizará la ecuación indicada previamente:

$$a_Y = f_{\beta} [C_{YG}g\sin\theta + C_{YS}a_{sway} - C_{YR}a_{roll}(z - R)]$$

Donde todos los datos necesarios para el cálculo se han hallado con anterioridad, por tanto, la aceleración transversal tendrá los siguientes valores:

- HSM1

a_y	0
-----	---

- HSM2

a_y	0
-----	---

6.2.2.1.4.2.2.3 Aceleración Vertical – Pt.3 Ch.4 Sec.3

3.2.3 Vertical acceleration

The vertical acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_z = f_\beta [C_{ZH}a_{heave} + C_{ZR}a_{roll}y - C_{ZP}a_{pitch}(x - 0.45L)]$$

6.2.2.1.4.2.2.3.1 Coeficientes

f_β = heading correction factor, shall be taken as:

for strength assessment:

$$f_\beta = 1.0 \text{ in general}$$

$f_\beta = 0.8$ for BSR and BSP load cases for the extreme sea loads design load scenario

Se tomará $f_\beta = 1$

f_T = ratio between draught at a loading condition and scantling draught, shall be taken as:

$$f_T = \frac{T_{LC}}{T_{SC}}, \text{ but shall not be taken less than } 0.5$$

Los valores de " T_{LC} " y " T_{SC} " han sido indicados con anterioridad, de modo que el valor de " f_T " será:

$$f_T = 1$$

$$L = 129,321 \text{ m (Definido con anterioridad)}$$

Table 4 Load combination factors for HSM, HSA and FSM load cases - strength assessment

Load component	LCF	HSM-1	HSM-2	HSA-1	HSA-2	FSM-1	FSM-2	
Vertical accelerations	a_{heave}	C_{ZH}	$0.5f_T - 0.15$	$0.15 - 0.5f_T$	0.4	-0.4	0	0
	a_{roll-z}	C_{ZR}	0	0	0	0	0	0
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	-0.7	0.7	-1.0	1.0	0.15	-0.15

- HSM1:

$$C_{ZH} = 0,5 * f_t - 0,15$$

$$C_{ZR} = 0$$

$$C_{ZP} = -0,7$$

Por tanto, se tienen los siguientes resultados:

C _{zH}	C _{zR}	C _{zP}
0,35	0	-0,7

- HSM2:

$$C_{zH} = 0,15 - 0,5 * f_t$$

$$C_{zR} = 0$$

$$C_{zP} = 0,7$$

Por tanto, se tienen los siguientes resultados:

C _{zH}	C _{zR}	C _{zP}
-0,35	0	0,7

6.2.2.1.4.2.2.3.2 Componentes para el cálculo a_z

- Gravedad:

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

- θ, γ : Calculados para “a_y” y “a_x”
- Aceleración de Balanceo (a_{roll}):

2.2.4 Roll acceleration

The roll acceleration, \bar{a}_{roll} , in rad/s², shall be taken as:

$$a_{roll} = f_p \theta \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T_\theta} \right)^2$$

where:

θ = roll angle in deg, using f_p equal to 1.0

f_p = coefficient shall be taken as:

$$f_p = f_{ps} \quad \text{for strength assessment}$$

$f_p = f_{ps} = 1$ Definido con anterioridad

$\theta = 22,787^\circ$

Para el cálculo de la aceleración de balanceo, se tienen todos los datos, calculados previamente:

a_roll	0,035
--------	-------

- Aceleración de Cabeceo (a_{pitch}):

2.2.5 Pitch acceleration

The pitch acceleration, in rad/s², shall be taken as:

$$a_{pitch} = 0.8(1 + 0.05v)f_p \left(0.72 + \frac{2L}{700} \right) \left(1.75 - \frac{22}{\sqrt{gL}} \right) \varphi \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T_\varphi} \right)^2 \quad L < 100 \text{ m}$$

$$a_{pitch} = \left(0.4 + \frac{L}{250} \right) \left(1 + 0.05v \left(3 - \frac{L}{50} \right) \right) f_p \left(1.75 - \frac{22}{\sqrt{gL}} \right) \varphi \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T_\varphi} \right)^2 \quad 100 \leq L < 150 \text{ m}$$

$$a_{pitch} = f_p \left(1.75 - \frac{22}{\sqrt{gL}} \right) \varphi \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T_\varphi} \right)^2 \quad L \geq 150 \text{ m}$$

where:

φ = pitch angle in deg, using f_p equal to 1.0

v = as defined in [2.2.3]

f_p = coefficient shall be taken as:

$$f_p = f_{ps} \quad \text{for strength assessment}$$

$$f_p = f_R [0.28 - (5 + 6f_T)L \cdot 10^{-5}] \quad \text{for fatigue assessment.}$$

Calculada con anterioridad:

a_pitch	0,122
---------	-------

• Aceleración (a_heave):

2.2.3 Heave acceleration

The vertical acceleration due to heave, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_{heave} = 0.8(1 + 0.03v)\left(0.72 + \frac{2L}{700}\right)\left(1.15 - \frac{6.5}{\sqrt{gL}}\right)f_p a_0 g \quad L < 100 \text{ m}$$

$$a_{heave} = \left(0.4 + \frac{L}{250}\right)\left(1 + 0.03v\left(3 - \frac{L}{50}\right)\right)\left(1.15 - \frac{6.5}{\sqrt{gL}}\right)f_p a_0 g \quad 100 \leq L < 150 \text{ m}$$

$$a_{heave} = \left(1.15 - \frac{6.5}{\sqrt{gL}}\right)f_p a_0 g \quad L \geq 150 \text{ m}$$

where:

v = unless otherwise specified in Pt.5, to be taken as:
 0 kt for $L < 100$ m
 5 kt for $L \geq 150$ m
 linear interpolation for L between 100 m and 150 m.

f_p = coefficient shall be taken as:

$$f_p = f_{ps} \quad \text{for strength assessment}$$

$$f_p = f_R \left[(0.27 + 0.02f_T) - 17L \cdot 10^{-5} \right] \text{ for fatigue assessment.}$$

Donde:

$100m < L = 129,418 \text{ m} < 150m$ -> Se escoge la segunda expresión para el cálculo.

Como se puede observar, para el cálculo de v , teniendo en cuenta el valor de la eslora dentro del rango especificado:

v = unless otherwise specified in Pt.5, to be taken as:
 0 kt for $L < 100$ m
 5 kt for $L \geq 150$ m
 linear interpolation for L between 100 m and 150 m.

Se realiza una interpolación lineal para el cálculo de v :

$$v = 2,94 \text{ kt}$$

Para el cálculo de la aceleración, se tienen todos los datos, calculados previamente:

a_heave	4,388
---------	-------

6.2.2.1.4.2.2.3.3 Resultado de la Aceleración Vertical $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

Para el cálculo de la aceleración se utilizará la ecuación indicada previamente:

$$a_Z = f_{\beta} [C_{ZH} a_{heave} + C_{ZR} a_{roll} y - C_{ZP} a_{pitch} (x - 0.45L)]$$

Donde todos los datos necesarios para el cálculo se han hallado con anterioridad, por tanto, la aceleración vertical tendrá los siguientes valores:

- HSM1

a_Z	-5,03
-----	-------

- HSM2

a_Z	5,03
-----	------

6.2.2.1.4.2.3 Cálculo de x_0, y_0, z_0 – Pt.3 Ch.4 Sec.6

Estas coordenadas, corresponden con las coordenadas del punto de referencia:

- x_0 = X coordinate, in m, of the reference point
- y_0 = Y coordinate, in m, of the reference point
- z_0 = Z coordinate, in m, of the reference point.

Se tomarán los valores de la siguiente manera:

The reference point shall be taken as the point with the highest value of V_j , calculated for all points that define the upper boundary of the tank or ballast hold as follows:

$$V_j = a_x(x_j - x_G) + a_y(y_j - y_G) + (a_z + g)(z_j - z_G)$$

Lo que significa, que los valores para las coordenadas del punto de referencia se obtienen con el valor máximo de V_j , por tanto, quedarán unos valores de x_j, y_j, z_j máximos, y serán las coordenadas del punto de referencia.

- x_j = X coordinate, in m, of the point j on the upper boundary of the tank or ballast hold
- y_j = Y coordinate, in m, of the point j on the upper boundary of the tank or ballast hold
- z_j = Z coordinate, in m, of the point j on the upper boundary of the tank or ballast hold.

The following simplified method of determination of the reference point assuming a rectangular shape with area equal A_{top} of the top of the tank or the ballast hold hatch coaming is acceptable, see [Figure 1](#):

$$x_j = x_{top} \pm 0.5 \ell_{fs}$$

$$y_j = y_{top} \pm 0.5b_{top}$$

Siendo:

X_top	Y_top	l_fs	b_top
41,53	15,44	14,7	11,55

Se tienen dos valores de x_j, y_j :

X_j-1	X_j-2	Y_j-1	Y_j-2
48,88	34,18	21,215	9,665

Siendo x_G, y_G, z_G las coordenadas del centro de gravedad del tanque:

X_top	Y_top
41,53	15,44

Con estos datos se procede a calcular V_j , y se escogerán los valores de x_j, y_j, z_j , que dan el valor mayor:

- HSM1

V_{j1}	V_{j2}
25,63	-25,63

En este caso:

X_{j-1}	X_{j-2}	Y_{j-1}	Y_{j-2}
48,88	34,18	21,215	9,665

- HSM2

V_{j1}	V_{j2}
-25,63	25,63

En este caso:

X_{j-1}	X_{j-2}	Y_{j-1}	Y_{j-2}
48,88	34,18	21,215	9,665

6.2.2.1.4.2.4 Cálculo Presión:

Se recuerda:

La formulación para la presión dinámica de los tanques:

$$P_{\ell d} = f_{cd} \rho_L [a_z(z_0 - z) + f_{ull-\ell} a_x(x_0 - x) + f_{ull-t} a_y(y_0 - y)]$$

- Coordenadas para la fórmula:

- x, y, z :

xg	kg
-18,4	-14,659

- x_0, y_0, z_0 :

- HSM1

X _{j-1}	X _{j-2}	Y _{j-1}	Y _{j-2}
48,88	34,18	21,215	9,665

- HSM2

X _{j-1}	X _{j-2}	Y _{j-1}	Y _{j-2}
48,88	34,18	21,215	9,665

- Aceleraciones:

- HSM1

a _x	a _y	a _z
3,49	0,00	-5,03

○ HSM2

a_x	a_y	a_z
-3,49	0,00	5,03

Con todos estos datos, se calcula la presión dinámica:

● HSM1

P_ld
154,579

● HSM2

P_ld
-102,040

6.2.2.1.5 Presión Total Chapa de Fondo

En este apartado se va a calcular la presión total máxima que se tendrá en cuenta para el escantillonado de la chapa del fondo.

Se recuerdan las presiones calculadas:

- HSM1:

DINÁMICA TANQUE	ESTÁTICA TANQUE	PRESIONES HIDROSTÁTICAS CARENA
P _{ld}	P _{ls}	Ps+Pw
154,579	20,1105	68,25554923

- HSM2:

DINÁMICA TANQUE	ESTÁTICA TANQUE	PRESIONES HIDROSTÁTICAS CARENA
P _{ld}	P _{ls}	Ps+Pw
-102,040	20,1105	99,98889377

Para las presiones totales, se utiliza el resultado máximo entre presión del tanque o presión del mar:

- HSM1

P	174,690
---	---------

- HSM2

P	99,989
---	--------

6.2.2.1.6 Espesor Chapa Fondo

Se recuerda la fórmula y el espesor mínimo calculado:

$$t = 0.0158\alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_e H}}$$

$$t_{min} = 10 \text{ mm}$$

Con los datos obtenidos previamente, se tiene:

- HSM1

$$t = 11 \text{ mm}$$

- HSM2

$$t = 8 \text{ mm}$$

Por tanto, el espesor de la chapa de fondo, será el espesor que sea mayor que t_{min} , y en caso de que los espesores obtenidos, superen el valor, se escogería el mayor de los dos, en este caso:

$$t_{fondo} = 11 \text{ mm}$$

Como se verá, la chapa del costado que va desde $z=0$ hasta la altura del doble fondo (2m), tendrá el mismo espesor que para el fondo, mientras que la chapa del costado que va desde el doble fondo hasta la cubierta principal, tendrá más espesor.

6.2.2.2 Chapa del Doble Fondo

En la chapa del doble fondo como se ha mencionado previamente, irán los tanques de DO, de modo el fondo tendrá que estar dimensionado para poder soportar las cargas debido al mar y al tanque de lastre.

El espesor de la chapa viene definido por la siguiente expresión: (Pt.3 Ch.6 Sec.4)

1.1 General

1.1.1 Plating

The net thickness, in mm, shall not be taken less than the greatest value for all applicable design load sets, as defined in [Sec.2 \[2.1.3\]](#), given by:

$$t = 0.0158\alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_e H}}$$

Donde:

C_a = permissible bending stress coefficient for plate taken equal to:

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}} \quad \text{not to be taken greater than } C_{a-max}$$

β_a = coefficient as defined in Table 1

α_a = coefficient as defined in Table 1

C_{a-max} = maximum permissible bending stress coefficient as defined in Table 1.

Los coeficientes “ $\alpha_a, \beta_a, C_{a-max}$ ”, están definidos en la siguiente tabla:

Table 1 Plating, definition of β_a, α_a and C_{a-max}

Acceptance criteria	Structural member		β_a	α_a	C_{a-max}
AC-I	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	0.90	0.50	0.80
		Transverse stiffened plating	0.90	1.00	0.80
	Other members		0.80	0.00	0.80
AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95
AC-III	Longitudinal bulkhead members including possible bench structures between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.5	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.0	1.15
	Other longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.10	0.50	1.00
		Transverse stiffened plating	1.10	1.00	1.00
	Transverse boundaries of ballast water tanks				
	Transverse boundaries between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo		1.15	0.00	1.15
	Other members		1.00	0.00	1.00
	Longitudinal watertight boundaries ¹⁾	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.50	1.15
Transverse stiffened plating		1.15	1.00	1.15	
Other watertight boundaries ¹⁾		1.15	0.00	1.15	

1) Only applicable for flooding pressure

De la tabla se tiene:

$$\begin{aligned} \beta_a &= 1,05 \\ \alpha_a &= 0,5 \\ C_{a-max} &= 0,95 \end{aligned}$$

Utilizando la tensión calculada previamente, se calcula C_a :

σ_{hg}	C_a
315,447842	0,37883438

α_p se obtiene de la siguiente manera:

correction factor for the panel aspect ratio to be taken as follows but not to be taken greater than

$$\alpha_p = 1.0:$$

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1 a}$$

Donde a y b son:

a = Separación entre bulárcamas =3500mm

b = Separación entre longitudinales = 400 mm

Por tanto:

alpha_p
1,14557823

Las presiones a tener en cuenta para el escantillonado de la chapa del fondo vienen indicadas en la siguiente tabla:

Pt.3 Ch.6 Sec.2- Table 1

Table 1 Design load sets

Structural member	Design load set	Design load scenario	Load component ⁴⁾	Draught	Acceptance criteria	Loading condition for definition of GM and k_r
External shell and exposed deck	SEA-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_S + P_W, P_D$	T_{SC}	AC-II	Full load condition
Superstructure side			$\max(P_W; P_{St})$			
External shell	SEA-2 ⁵⁾	1 ⁵⁾	P_S	T_{SC}	AC-I	-
Boundaries of water ballast tanks and ballast holds	WB-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{Is-1} + P_{Id} - (P_S + P_W)^{1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	WB-2	3	$P_{Is-2} + P_{Id} - (P_S + P_W)^{1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	WB-3	4	$\max(P_{Is-4}; P_{Is-St}) - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-III	-
	WB-4 ⁵⁾	1 ⁵⁾	$P_{Is-3} - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-I	-
Boundaries of tanks other than ballast water tanks	TK-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{Is-1} + P_{Id} - (P_S + P_W)^{1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	TK-2	4	$P_{Is-St} - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-III	-
	TK-3 ⁵⁾	1 ⁵⁾	$P_{Is-3} - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-I	-
Internal structures in tanks	INT-1	1	P_{int}	T_{SC}	AC-I	-
Collision bulkhead	FD-1	5	P_{Is}	T_{DAM}	AC-I	-
Watertight boundaries other than collision bulkhead					AC-III	
Exposed decks and non-exposed decks and platforms with distributed load	UDL-1 ²⁾⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{dl-s} + P_{dl-d}$ $F_{U-s} + F_{U-d}$	$T_{BAL}^{3)}$	AC-II	Normal ballast condition ³⁾
	UDL-2 ²⁾⁵⁾	1 ⁵⁾	P_{dl-s} F_{U-s}	-	AC-I	-
Decks and hatch covers/ RO/RO equipments with wheel loading	WL-1 ²⁾	2	P_{wl-2}	$T_{BAL}^{3)}$	AC-II	Normal ballast condition ³⁾
	WL-2 ²⁾	1	P_{wl-1}	-	AC-I	-

Como se indica en la tabla, será necesario calcular la presión producida por el tanque del tanque de Diesel Oil.

P_{Is-1} =Presión estática de los tanques (de lastre en este caso)

P_{Id} = Presión dinámica de los tanques (de lastre en este caso)

6.2.2.2.1 Presión de los tanques

En este caso se calculará la presión ocasionada por los tanques de lastre en el fondo del buque. Según el DNV-GL en Pt.3 Ch.6 Sec.2, la presión de los tanques:

Internal structures in tanks	INT-1	1	P_{int}	T_{sc}	AC-I	-
------------------------------	-------	---	-----------	----------	------	---

La presión Interna está definida en Pt.3 Ch.4 Sec.6:

1 Pressures due to liquids

1.1 Total pressure

1.1.1 Pressures for the strength and fatigue assessments of intact conditions

The internal pressure due to liquid acting on any load point of a tank and ballast hold boundary, in kN/m^2 , for the static (S) design load scenarios, given in Sec.7, shall be taken as:

$$P_{in} = P_{ts} \text{ but not less than } 0$$

The internal pressure due to liquid acting on any load point of a tank and ballast hold boundary, in kN/m^2 , for the static plus dynamic (S+D) design load scenarios shall be derived for each dynamic load case and shall be taken as:

$$P_{in} = P_{ts} + P_{td} \text{ but not less than } 0$$

where:

P_{ts} = static pressure due to liquid in tanks and ballast holds, in kN/m^2 , as defined in [1.2.1] to [1.2.6]

P_{td} = dynamic inertial pressure due to liquid in tanks and ballast holds, in kN/m^2 , as defined in [1.3].

- Presión estática del tanque. P_{ts}
- Presión Dinámica del tanque. P_{td}

6.2.2.2.1.1 Presión Estática del tanque – Pt.3 Ch.4 Sec.6

La presión estática viene dada:

1.2 Static liquid pressure

1.2.1 Normal operations at sea

The static pressure, in kN/m^2 , in tanks and ballast holds for normal operations at sea, shall be taken as:

$$P_{ts-1} = f_{cd} \rho_L g (z_{top} - z) + P_{PV} \quad \text{for tanks arranged with pressure relief valves}$$

$$P_{ts-1} = \rho_L g (z_{top} - z) \quad \text{for other cases.}$$

En este caso se va a tomar que no hay válvulas de alivio, por tanto, se toma la segunda expresión de la norma:

$$P_{ts-1} = \rho_l * g * (z_{top} - z)$$

Donde:

$$\rho_l = 1,025 \frac{t}{m^3} \text{ (Para todo tipo de líquidos)}$$

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

$$z_{top} = 11,57 \text{ m (punto más alto del tanque)}$$

$$z = 2 \text{ m (punto más bajo del tanque)}$$

Por tanto:

P_ls-1	96,229
--------	--------

6.2.2.2.1.2 Presión Dinámica del tanque-Pt.3 Ch.4 Sec.6

La presión dinámica viene definida por:

1.3 Dynamic liquid pressure

1.3.1 The dynamic pressure due to liquid in tanks and ballast holds, in kN/m² shall be taken as:

$$P_{\ell d} = f_{cd} \rho_L [a_z(z_0 - z) + f_{ull-\ell} a_x(x_0 - x) + f_{ull-t} a_y(y_0 - y)]$$

Donde:

6.2.2.2.1.2.1 Coeficientes

$f_{ull-\ell}$ = longitudinal acceleration correction factor for the ullage space above the liquid in tanks and ballast holds, taken as:

for strength assessment:

$f_{ull-\ell} = 0.62$ for cargo tanks filled with any liquids inclusive water ballast

$f_{ull-\ell} = 1.0$ for other cases

Se tomará $f_{ull-\ell} = 1$

f_{ull-t} = transverse acceleration correction factor to account for the ullage space above the liquid in tanks and ballast holds, taken as:

for strength assessment:

$f_{ull-t} = 0.67$ for cargo tanks filled with any liquids inclusive water ballast

$f_{ull-t} = 1.0$ for other cases

Se tomará $f_{ull-t} = 1$

f_{cd} = factor for joint probability of occurrence of liquid cargo density and maximum sea state in 25 years design life, to be taken as:

$f_{cd} = 0.88$ for strength assessment with FE analysis of cargo tanks filled with for oil or oil products cargo with $\rho_L \leq 1.025 \text{ t/m}^3$

$f_{cd} = 1.0$ for other cases

Se tomará $f_{cd} = 1$

ρ_L = density of liquid in the tank and ballast hold, in t/m³, normally not to be taken less than:

1) *Strength assessment:*

$\rho_L = 1.025$ for all liquids including oil and product cargoes. If a tank filled at 98% is intended to carry heavier liquid cargoes than 1.025 (i.e. $\rho_{max-LM} > 1.025$), then $\rho_L =$

Se tomará $\rho_L = 1,025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$

6.2.2.2.1.2.2 Aceleraciones -Pt.3 Ch.4 Sec.3

Las aceleraciones son las siguientes:

3.2 Accelerations for dynamic load cases

3.2.1 Longitudinal acceleration

The longitudinal acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_x = f_{\beta} \left[\left(-C_{XG} g \sin \varphi \right) + C_{XS} a_{surge} + C_{XP} a_{pitch}(z - R) \right]$$

3.2.2 Transverse acceleration

The transverse acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_y = f_{\beta} \left[C_{YG} g \sin \theta + C_{YS} a_{sway} - C_{YR} a_{roll}(z - R) \right]$$

3.2.3 Vertical acceleration

The vertical acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_z = f_{\beta} \left[C_{ZH} a_{heave} + C_{ZR} a_{roll} y - C_{ZP} a_{pitch}(x - 0.45L) \right]$$

El cálculo y los resultados son los mismos que en el cálculo de la chapa de fondo. A continuación, se muestran los resultados:

- HSM1

a_x	a_y	a_z
3,48695561	0	-5,02990051

- HMS2

a_x	a_y	a_z
-3,48695561	0	5,02990051

6.2.2.2.1.2.3 Cálculo de x_0, y_0, z_0 – Pt.3 Ch.4 Sec.6

Estas coordenadas, corresponden con las coordenadas del punto de referencia:

- x_0 = X coordinate, in m, of the reference point
- y_0 = Y coordinate, in m, of the reference point
- z_0 = Z coordinate, in m, of the reference point.

Se tomarán los valores de la siguiente manera:

The reference point shall be taken as the point with the highest value of V_j , calculated for all points that define the upper boundary of the tank or ballast hold as follows:

$$V_j = a_x(x_j - x_G) + a_y(y_j - y_G) + (a_z + g)(z_j - z_G)$$

Lo que significa, que los valores para las coordenadas del punto de referencia se obtienen con el valor máximo de V_j , por tanto, quedarán unos valores de x_j, y_j, z_j máximos, y serán las coordenadas del punto de referencia.

- x_j = X coordinate, in m, of the point j on the upper boundary of the tank or ballast hold
- y_j = Y coordinate, in m, of the point j on the upper boundary of the tank or ballast hold
- z_j = Z coordinate, in m, of the point j on the upper boundary of the tank or ballast hold.

The following simplified method of determination of the reference point assuming a rectangular shape with area equal A_{top} of the top of the tank or the ballast hold hatch coaming is acceptable, see [Figure 1](#):

$$x_j = x_{top} \pm 0.5 \ell_{fs}$$

$$y_j = y_{top} \pm 0.5b_{top}$$

Siendo:

X_top	Y_top	l_fs	b_top
41,53	17,4	15,5	3,9

Se tienen dos valores de x_j, y_j :

X _{j-1}	X _{j-2}	Y _{j-1}	Y _{j-2}
49,28	33,78	19,35	15,45

Siendo x_G, y_G, z_G las coordenadas del centro de gravedad del tanque:

X_top	Y_top
41,53	17,4

Con estos datos se procede a calcular V_j , y se escogerán los valores de x_j, y_j, z_j , que dan el valor mayor:

- HSM1

V_{j1}	V_{j2}
----------	----------

27,024	-27,024
--------	---------

En este caso:

X_{j-1}	X_{j-2}	Y_{j-1}	Y_{j-2}
49,28	33,78	19,35	15,45

Se escogen los datos de 2

- HSM2

V_{j1}	V_{j2}
----------	----------

-27,024	27,024
---------	--------

En este caso:

X_{j-1}	X_{j-2}	Y_{j-1}	Y_{j-2}
49,28	33,78	19,35	15,45

Se escogen los datos de 1

6.2.2.2.1.2.4 Cálculo Presión:

Se recuerda:

La formulación para la presión dinámica de los tanques:

$$P_{\ell d} = f_{cd} \rho_L [a_z(z_0 - z) + f_{ull-\ell} a_x(x_0 - x) + f_{ull-t} a_y(y_0 - y)]$$

- Coordenadas para la fórmula:

- x, y, z :

-18,4	-14,659
-------	---------

- x_0, y_0, z_0 :

- HSM1

x_{j-1}	x_{j-2}	y_{j-1}	y_{j-2}
49,28	33,78	19,35	15,45

Se escogen los datos de 2

- HSM2

x_{j-1}	x_{j-2}	y_{j-1}	y_{j-2}
49,28	33,78	19,35	15,45

Se escogen los datos de 1

- Aceleraciones:

- HSM1

a_x	a_y	a_z
3,49	0,00	-5,03

- HSM2

a_x	a_y	a_z
-3,49	0,00	5,03

Con todos estos datos, se calcula la presión dinámica:

- HSM1

P_ld
106,6695924

- HSM2

P_ld
-51,27058521

6.2.2.2.2 Presión Total Chapa de Doble Fondo

En este apartado se va a calcular la presión total máxima que se tendrá en cuenta para el escantillonado de la chapa del fondo.

Se recuerdan las presiones calculadas:

- HSM1:

DINÁMICA TANQUE	ESTÁTICA TANQUE	PRESIONES HIDROSTÁTICAS CARENA
P _{ld}	P _{ls}	Ps+Pw
106,6695924	96,2287425	0

- HSM2:

DINÁMICA TANQUE	ESTÁTICA TANQUE	PRESIONES HIDROSTÁTICAS CARENA
P _{ld}	P _{ls}	Ps+Pw
-51,27058521	96,2287425	0

Para las presiones totales, se utiliza el resultado máximo de las sumas de la presión del tanque:

- HSM1

P	202,898335
---	------------

- HSM2

P	44,9581573
---	------------

6.2.2.2.3 Espesor Chapa del Doble Fondo

Se recuerda la fórmula y el espesor mínimo calculado:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_e H}}$$

$$t_{min} = 8 \text{ mm}$$

Con los datos obtenidos previamente, se tiene:

- HSM1

$$t = 11 \text{ mm}$$

- HSM2

$$t = 6 \text{ mm}$$

Por tanto, el espesor de la chapa de doble fondo será el espesor que sea mayor que t_{min} , y en caso de que los espesores obtenidos, superen el valor, se escogería el mayor de los dos, en este caso:

$$t_{DF} = 11 \text{ mm}$$

6.2.2.3 Chapa del Costado

El procedimiento de cálculo del espesor va a seguir los mismos pasos que para el cálculo de la chapa de fondo, ya que los tanques de lastre son los mismos que para el cálculo del fondo, y se va a suponer que el costado va desde el fondo hasta la cubierta de cierre, por tanto, los resultados para la chapa del costado serán los mismos que para el fondo.

En este apartado se va a detallar el procedimiento sin los cálculos.

El espesor de la chapa viene definido por la siguiente expresión: (Pt.3 Ch.6 Sec.4)

1.1 General

1.1.1 Plating

The net thickness, in mm, shall not be taken less than the greatest value for all applicable design load sets, as defined in Sec.2 [2.1.3], given by:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

Donde:

C_a = permissible bending stress coefficient for plate taken equal to:

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}} \quad \text{not to be taken greater than } C_{a-max}$$

β_a = coefficient as defined in Table 1

α_a = coefficient as defined in Table 1

C_{a-max} = maximum permissible bending stress coefficient as defined in Table 1.

Los coeficientes " $\alpha_a, \beta_a, C_{a-max}$ ", están definidos en la siguiente tabla:

Table 1 Plating, definition of β_a , α_a and C_{a-max}

Acceptance criteria	Structural member	β_a	α_a	C_{a-max}	
AC-I	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	0.90	0.50	0.80
		Transverse stiffened plating	0.90	1.00	0.80
	Other members		0.80	0.00	0.80
AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95
AC-III	Longitudinal bulkhead members including possible bench structures between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.5	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.0	1.15
	Other longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.10	0.50	1.00
		Transverse stiffened plating	1.10	1.00	1.00
	Transverse boundaries of ballast water tanks		1.15	0.00	1.15
	Transverse boundaries between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo				
	Other members		1.00	0.00	1.00
	Longitudinal watertight boundaries ¹⁾	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.50	1.15
Transverse stiffened plating		1.15	1.00	1.15	
Other watertight boundaries ¹⁾		1.15	0.00	1.15	

1) Only applicable for flooding pressure

De la tabla se tiene:

$$\begin{aligned}\beta_a &= 1,05 \\ \alpha_a &= 0,5 \\ C_{a-max} &= 0,95\end{aligned}$$

Utilizando la tensión calculada previamente, se calcula C_a:

σ_{hg}	C_a
315,447842	0,37883438

α_p se obtiene de la siguiente manera:

correction factor for the panel aspect ratio to be taken as follows but not to be taken greater than 1.0:

$$\alpha_p = 1,2 - \frac{b}{2,1a}$$

Donde a y b son:

a = Separación entre bulárcamas = 3500mm

b = Separación entre longitudinales = 550 mm

Por tanto:

alpha_p
1,12517007

Las presiones a tener en cuenta para el escantillonado de la chapa del fondo vienen indicadas en la siguiente tabla:

Pt.3 Ch.6 Sec.2- Table 1

Table 1 Design load sets

Structural member	Design load set	Design load scenario	Load component ⁴⁾	Draught	Acceptance criteria	Loading condition for definition of GM and k_r
External shell and exposed deck	SEA-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_S + P_W, P_D$	T_{SC}	AC-II	Full load condition
Superstructure side			$\max(P_W; P_{St})$			
External shell	SEA-2 ⁵⁾	1 ⁵⁾	P_S	T_{SC}	AC-I	-
Boundaries of water ballast tanks and ballast holds	WB-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{ls-1} + P_{ld} - (P_S + P_W)^{1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	WB-2	3	$P_{ls-2} + P_{ld} - (P_S + P_W)^{1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	WB-3	4	$\max(P_{ls-4}; P_{ls-ST}) - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-III	-
	WB-4 ⁵⁾	1 ⁵⁾	$P_{ls-3} - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-I	-
Boundaries of tanks other than ballast water tanks	TK-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{ls-1} + P_{ld} - (P_S + P_W)^{1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	TK-2	4	$P_{ls-ST} - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-III	
	TK-3 ⁵⁾	1 ⁵⁾	$P_{ls-3} - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-I	-
Internal structures in tanks	INT-1	1	P_{int}	T_{SC}	AC-I	-
Collision bulkhead					AC-I	
Watertight boundaries other than collision bulkhead	FD-1	5	P_{ls}	T_{DAM}	AC-III	-
Exposed decks and non-exposed decks and platforms with distributed load	UDL-1 ²⁾⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{dl-s} + P_{dl-d}$ $F_{U-s} + F_{U-d}$	$T_{BAL}^{3)}$	AC-II	Normal ballast condition ³⁾
	UDL-2 ²⁾⁵⁾	1 ⁵⁾	P_{dl-s} F_{U-s}	-	AC-I	-
Decks and hatch covers/ RO/RO equipments with wheel loading	WL-1 ²⁾	2	P_{wl-2}	$T_{BAL}^{3)}$	AC-II	Normal ballast condition ³⁾
	WL-2 ²⁾	1	P_{wl-1}	-	AC-I	-

Como se indica en la tabla, será necesario calcular la presión exterior al buque y la presión producida por el tanque de lastre.

P_S = Presión estática del mar

P_W = Presión hidrodinámica del mar (presión de ola)

P_{ls-1} =Presión estática de los tanques (de lastre en este caso)

P_{ld} = Presión dinámica de los tanques (de lastre en este caso)

6.2.2.3.1 Presión Estática del mar (P_s)-Pt.3 Ch.4 Sec.5

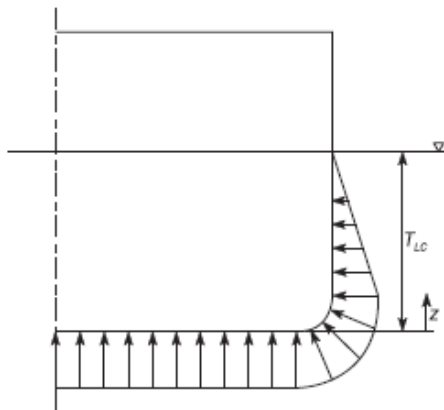
La presión hidrostática viene dada por la siguiente expresión:

1.2 Hydrostatic pressure

1.2.1 The hydrostatic pressure, P_s at any load point, in kN/m^2 , is obtained from Table 1. See also Figure 1.

Table 1 Hydrostatic pressure, P_s

Location	Hydrostatic pressure, P_s , in kN/m^2
$z \leq T_{LC}$	$\rho g (T_{LC} - z)$
$z > T_{LC}$	0



Donde:

T_{LC} definido en Pt.3 Ch.4 Sec.3

T_{LC} = draught, in m, amidships for the considered loading condition. In case loading condition is not defined, $T_{LC} = T_{SC}$ shall be applied

T_{SC} es el calado de escantillonado, definido en Pt.3 Ch1 Sec.4

T_{SC}	scantling draught	m
----------	-------------------	---

El valor del calado de escantillonado ya ha sido indicado previamente.

En este caso se estudiará la zona del casco a partir del doble fondo, puesto que en la zona del costado situada por debajo del doble fondo, se supondrá que tendrá el mismo espesor que para el fondo.

“z” es el punto de estudio, al ser en el fondo, será 0:

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

$$T_{LC} = 8,366 \text{ m}$$

Como se puede ver, $z < T_{LC}$

Por tanto, se puede utilizar la siguiente expresión:

$$P_s = \rho * g * (T_{LC} - z) \text{ kN/m}^2$$

Siendo:

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

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

Por tanto:

Ps (kN/m ²)	64,012
-------------------------	--------

6.2.2.3.2 Presión Hidrodinámica (P_w)- Pt.3 Ch.4 Sec.5

La presión hidrodinámica se calcula de la siguiente manera:

Table 2 Hydrodynamic pressures for HSM load cases

Load case	Wave pressure, in kN/m ²		
	$z \leq T_{LC}$	$T_{LC} < z \leq h_W + T_{LC}$	$z > h_W + T_{LC}$
HSM-1	$P_W = \max\{-P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$	$P_W = P_{W,WL} - \rho g(z - T_{LC})$	$P_W = 0.0$
HSM-2	$P_W = \max\{P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$		

Como se ha visto previamente:

$$z < T_{LC}$$

Para este caso, se tienen dos condiciones, “HSM1” y “HSM2”, de modo que se calcularán los dos casos y se tendrá en cuenta el más desfavorable.

Para ello, se necesita calcular el valor de P_{HS} , puesto que el resto de los datos ya han sido indicados para la presión estática.

“ P_{HS} ” viene dada por la siguiente expresión:

$$P_{HS} = C_{f_T} f_{ps} f_{nl} f_h k_a k_p f_{yz} C_w \sqrt{\frac{L_0 + \lambda - 125}{L}}$$

Datos:

C _(ft)	f _{nl}	f _{yz}	C _x	f _h	k _a	lambda	f _T	f _{ps}	f _{xl}	f _{yB}	k _P
1,0685	0,95	1,34974468	1,315	1,65	1	155,186	1	1	0,5	0,05167959	1

Por tanto:

P_HS(kN/m ²)	21,416
--------------------------	--------

Como se indicó previamente:

Table 2 Hydrodynamic pressures for HSM load cases

Load case	Wave pressure, in kN/m ²		
	$z \leq T_{LC}$	$T_{LC} < z \leq h_W + T_{LC}$	$z > h_W + T_{LC}$
HSM-1	$P_W = \max\{-P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$	$P_W = P_{W,WL} - \rho g(z - T_{LC})$	$P_W = 0.0$
HSM-2	$P_W = \max\{P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$		

Donde:

$$P_{HS} = 21,416 \frac{kN}{m^2}$$

$$\rho * g * (z - T_{LC}) = 1,025 * 9,81 * (2 - 8,366) = -64,012$$

$$HSM1 \rightarrow P_W = \max\{-P_{HS}; \rho * g * (z - T_{LC})\}$$

$$HSM1 \rightarrow P_W = \max\{-21,416; -64,012\}$$

$$HSM1 \rightarrow P_W = -21,416 \frac{kN}{m^2}$$

$$HSM2 \rightarrow P_W = \max\{P_{HS}; \rho * g * (z - T_{LC})\}$$

$$HSM2 \rightarrow P_W = \max\{21,416; -64,012\}$$

$$HSM2 \rightarrow P_W = 21,416 \frac{kN}{m^2}$$

6.2.2.3 Presión total debido al mar ($P_S + P_W$)

A continuación, se calcula la presión total debida al mar según las presiones obtenidas previamente:

$$HSM1 \rightarrow P_S + P_W = 64,012 + (-21,416) = 42,596 \text{ kN/m}^2$$

$$HSM2 \rightarrow P_S + P_W = 64,012 + 21,416 = 85,428 \text{ kN/m}^2$$

6.2.2.3.4 Presión de los tanques

En este caso se calculará la presión ocasionada por los tanques de lastre en el costado del buque. Según el DNV-GL en Pt.3 Ch.6 Sec.2, la presión de los tanques:

Internal structures in tanks	INT-1	1	P_{int}	T_{sc}	AC-I	-
------------------------------	-------	---	-----------	----------	------	---

La presión Interna está definida en Pt.3 Ch.4 Sec.6:

1 Pressures due to liquids

1.1 Total pressure

1.1.1 Pressures for the strength and fatigue assessments of intact conditions

The internal pressure due to liquid acting on any load point of a tank and ballast hold boundary, in kN/m^2 , for the static (S) design load scenarios, given in [Sec.7](#), shall be taken as:

$$P_{in} = P_{ts} \text{ but not less than } 0$$

The internal pressure due to liquid acting on any load point of a tank and ballast hold boundary, in kN/m^2 , for the static plus dynamic (S+D) design load scenarios shall be derived for each dynamic load case and shall be taken as:

$$P_{in} = P_{ts} + P_{td} \text{ but not less than } 0$$

where:

P_{ts} = static pressure due to liquid in tanks and ballast holds, in kN/m^2 , as defined in [\[1.2.1\]](#) to [\[1.2.6\]](#)
 P_{td} = dynamic inertial pressure due to liquid in tanks and ballast holds, in kN/m^2 , as defined in [\[1.3\]](#).

- Presión estática del tanque. P_{ts}
- Presión Dinámica del tanque. P_{td}

6.2.2.3.4.1 Presión Estática del tanque – Pt.3 Ch.4 Sec.6

La presión estática viene dada:

1.2 Static liquid pressure

1.2.1 Normal operations at sea

The static pressure, in kN/m^2 , in tanks and ballast holds for normal operations at sea, shall be taken as:

$$P_{\ell s-1} = f_{cd} \rho_L g (z_{top} - z) + P_{PV} \quad \text{for tanks arranged with pressure relief valves}$$

$$P_{\ell s-1} = \rho_L g (z_{top} - z) \quad \text{for other cases.}$$

P_ls-1	96,229
--------	--------

6.2.2.3.4.2 Presión Dinámica del tanque-Pt.3 Ch.4 Sec.6

La presión dinámica viene definida por:

1.3 Dynamic liquid pressure

1.3.1 The dynamic pressure due to liquid in tanks and ballast holds, in kN/m^2 shall be taken as:

$$P_{\ell d} = f_{cd} \rho_L [a_z (z_0 - z) + f_{ull-\ell} a_x (x_0 - x) + f_{ull-t} a_y (y_0 - y)]$$

- Coordenadas para la fórmula:

- x, y, z :

xg	kg
-18,4	-14,659

- x_0, y_0, z_0 :

- HSM1

X_j-1	X_j-2	Y_j-1	Y_j-2
49,28	33,78	19,35	15,45

- HSM2

X _{j-1}	X _{j-2}	Y _{j-1}	Y _{j-2}
49,28	33,78	19,35	15,45

- Aceleraciones:

- HSM1

a _x	a _y	a _Z
3,49	0,00	-5,03

- HSM2

a _x	a _y	a _Z
-3,49	0,00	5,03

Con todos estos datos, se calcula la presión dinámica:

- HSM1

P _{ld}
106,6695924

- HSM2

P _{ld}
-51,27058521

6.2.2.3.5 Presión Total Chapa de Costado

En este apartado se va a calcular la presión total máxima que se tendrá en cuenta para el escantillonado de la chapa del costado.

Se recuerdan las presiones calculadas:

- HSM1:

DINÁMICA TANQUE	ESTÁTICA TANQUE	PRESIONES HIDROSTÁTICAS CARENA
P _{ld}	P _{ls}	Ps+Pw
106,6695924	96,2287425	42,59576507

- HSM2:

DINÁMICA TANQUE	ESTÁTICA TANQUE	PRESIONES HIDROSTÁTICAS CARENA
P _{ld}	P _{ls}	Ps+Pw
-51,27058521	96,2287425	85,42767793

Para las presiones totales, se utiliza el resultado máximo entre presión del tanque o presión del mar:

- HSM1

P	202,898335
---	------------

- HSM2

P	85,4276779
---	------------

6.2.2.3.6 Espesor Chapa Costado

Se recuerda la fórmula y el espesor mínimo calculado:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

$$t_{min} = 8 \text{ mm}$$

Con los datos obtenidos previamente, se tiene:

- HSM1

$$t = 15 \text{ mm}$$

- HSM2

$$t = 10 \text{ mm}$$

Por tanto, el espesor de la chapa del costado será el espesor que sea mayor que t_{min} , y en caso de que los espesores obtenidos, superen el valor, se escogería el mayor de los dos, en este caso:

$$t_{costado} = 15 \text{ mm}$$

6.2.2.4 Chapa Mamparo Longitudinal

El procedimiento de cálculo del espesor va a seguir los mismos pasos que para el cálculo de la chapa de fondo, y se va a suponer que el mamparo longitudinal va desde el fondo hasta la cubierta de cierre, por tanto, los resultados para la chapa del mamparo longitudinal serán los mismos que para el fondo, excepto que no hará falta el cálculo de la presión exterior.

El mamparo longitudinal va desde la chapa del doble fondo hasta la cubierta, de modo que la presión que se utilizará en este apartado será la presión existente en Z=2

En este apartado se va a detallar el procedimiento sin los cálculos.

El espesor de la chapa viene definido por la siguiente expresión: (Pt.3 Ch.6 Sec.4)

1.1 General

1.1.1 Plating

The net thickness, in mm, shall not be taken less than the greatest value for all applicable design load sets, as defined in Sec.2 [2.1.3], given by:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

Donde:

C_a = permissible bending stress coefficient for plate taken equal to:

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}} \quad \text{not to be taken greater than } C_{a-max}$$

β_a = coefficient as defined in Table 1

α_a = coefficient as defined in Table 1

C_{a-max} = maximum permissible bending stress coefficient as defined in Table 1.

Los coeficientes " $\alpha_a, \beta_a, C_{a-max}$ ", están definidos en la siguiente tabla:

Table 1 Plating, definition of β_a, α_a and C_{a-max}

Acceptance criteria	Structural member	β_a	α_a	C_{a-max}	
AC-I	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	0.90	0.50	0.80
		Transverse stiffened plating	0.90	1.00	0.80
	Other members		0.80	0.00	0.80
AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95
AC-III	Longitudinal bulkhead members including possible bench structures between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.5	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.0	1.15
	Other longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.10	0.50	1.00
		Transverse stiffened plating	1.10	1.00	1.00
	Transverse boundaries of ballast water tanks				
	Transverse boundaries between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo		1.15	0.00	1.15
	Other members		1.00	0.00	1.00
	Longitudinal watertight boundaries ¹⁾	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.50	1.15
Transverse stiffened plating		1.15	1.00	1.15	
Other watertight boundaries ¹⁾		1.15	0.00	1.15	

1) Only applicable for flooding pressure

De la tabla se tiene:

$$\beta_a = 1,05$$

$$\alpha_a = 0,5$$

$$C_{a-max} = 0,95$$

Utilizando la tensión calculada previamente, se calcula C_a :

σ_{hg}	C_a
315,447842	0,37883438

α_a se obtiene de la siguiente manera:

correction factor for the panel aspect ratio to be taken as follows but not to be taken greater than 1.0:

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1 a}$$

Donde a y b son:

a = Separación entre bulárcamas = 3500mm

b = Separación entre longitudinales = 550 mm

Por tanto:

alpha_p
1,125

Las presiones a tener en cuenta para el escantillonado de la chapa del fondo vienen indicadas en la siguiente tabla:

Pt.3 Ch.6 Sec.2- Table 1

Table 1 Design load sets

Structural member	Design load set	Design load scenario	Load component ⁴⁾	Draught	Acceptance criteria	Loading condition for definition of GM and k_r
External shell and exposed deck	SEA-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_S + P_W, P_D$	T_{SC}	AC-II	Full load condition
Superstructure side			$\max(P_W; P_{St})$			
External shell	SEA-2 ⁵⁾	1 ⁵⁾	P_S	T_{SC}	AC-I	-
Boundaries of water ballast tanks and ballast holds	WB-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{Is-1} + P_{Id} - (P_S + P_W)^{1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	WB-2	3	$P_{Is-2} + P_{Id} - (P_S + P_W)^{1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	WB-3	4	$\max(P_{Is-4}; P_{Is-St}) - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-III	-
	WB-4 ⁵⁾	1 ⁵⁾	$P_{Is-3} - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-I	-
Boundaries of tanks other than ballast water tanks	TK-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{Is-1} + P_{Id} - (P_S + P_W)^{1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	TK-2	4	$P_{Is-St} - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-III	
	TK-3 ⁵⁾	1 ⁵⁾	$P_{Is-3} - P_S^{1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-I	-
Internal structures in tanks	INT-1	1	P_{int}	T_{SC}	AC-I	-
Collision bulkhead					AC-I	
Watertight boundaries other than collision bulkhead	FD-1	5	P_{Is}	T_{DAM}	AC-III	-
Exposed decks and non-exposed decks and platforms with distributed load	UDL-1 ²⁾⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{dl-s} + P_{dl-d}$ $F_{U-s} + F_{U-d}$	$T_{BAL}^{3)}$	AC-II	Normal ballast condition ³⁾
	UDL-2 ²⁾⁵⁾	1 ⁵⁾	P_{dl-s} F_{U-s}	-	AC-I	-
Decks and hatch covers/ RO/RO equipments with wheel loading	WL-1 ²⁾	2	F_{wl-2}	$T_{BAL}^{3)}$	AC-II	Normal ballast condition ³⁾
	WL-2 ²⁾	1	F_{wl-1}	-	AC-I	-

Como se indica en la tabla, será necesario calcular la presión exterior al buque y la presión producida por el tanque de lastre.

P_{Is-1} =Presión estática de los tanques (de lastre en este caso)

P_{Id} = Presión dinámica de los tanques (de lastre en este caso)

6.2.2.4.1 Presión de los tanques

En este caso se calculará la presión ocasionada por los tanques de lastre en el fondo del buque. Según el DNV-GL en Pt.3 Ch.6 Sec.2, la presión de los tanques:

Internal structures in tanks	INT-1	1	P_{int}	T_{SC}	AC-I	-
------------------------------	-------	---	-----------	----------	------	---

La presión Interna está definida en Pt.3 Ch.4 Sec.6:

1 Pressures due to liquids

1.1 Total pressure

1.1.1 Pressures for the strength and fatigue assessments of intact conditions

The internal pressure due to liquid acting on any load point of a tank and ballast hold boundary, in kN/m^2 , for the static (S) design load scenarios, given in [Sec.7](#), shall be taken as:

$$P_{in} = P_{ts} \text{ but not less than } 0$$

The internal pressure due to liquid acting on any load point of a tank and ballast hold boundary, in kN/m^2 , for the static plus dynamic (S+D) design load scenarios shall be derived for each dynamic load case and shall be taken as:

$$P_{in} = P_{ts} + P_{td} \text{ but not less than } 0$$

where:

P_{ts} = static pressure due to liquid in tanks and ballast holds, in kN/m^2 , as defined in [\[1.2.1\]](#) to [\[1.2.6\]](#)

P_{td} = dynamic inertial pressure due to liquid in tanks and ballast holds, in kN/m^2 , as defined in [\[1.3\]](#).

- Presión estática del tanque. P_{ts}
- Presión Dinámica del tanque. P_{td}

6.2.2.4.1.1 Presión Estática del tanque – Pt.3 Ch.4 Sec.6

La presión estática viene dada (para Z=0 como se ha indicado previamente):

1.2 Static liquid pressure

1.2.1 Normal operations at sea

The static pressure, in kN/m², in tanks and ballast holds for normal operations at sea, shall be taken as:

$$P_{\ell s-1} = f_{cd} \rho_L g(z_{top} - z) + P_{PV} \quad \text{for tanks arranged with pressure relief valves}$$

$$P_{\ell s-1} = \rho_L g(z_{top} - z) \quad \text{for other cases.}$$

P _{ls-1}	96,229
-------------------	--------

6.2.2.4.1.2 Presión Dinámica del tanque-Pt.3 Ch.4 Sec.6

La presión dinámica viene definida por:

1.3 Dynamic liquid pressure

1.3.1 The dynamic pressure due to liquid in tanks and ballast holds, in kN/m² shall be taken as:

$$P_{\ell d} = f_{cd} \rho_L [a_z(z_0 - z) + f_{ull-\ell} a_x(x_0 - x) + f_{ull-t} a_y(y_0 - y)]$$

- Coordenadas para la fórmula:

- x, y, z:

xg	kg
-18,4	-14,659

- x₀, y₀, z₀:

- HSM1

X _{j-1}	X _{j-2}	Y _{j-1}	Y _{j-2}
49,28	33,78	19,35	15,45

- HSM2

X _{j-1}	X _{j-2}	Y _{j-1}	Y _{j-2}
49,28	33,78	19,35	15,45

- Aceleraciones:

- HSM1

a _x	a _y	a _Z
3,49	0,00	-5,03

- HSM2

a _x	a _y	a _Z
-3,49	0,00	5,03

Con todos estos datos, se calcula la presión dinámica:

- HSM1

P _{ld}
106,670

- HSM2

P _{ld}
-51,271

6.2.2.4.2 Presión Total Mamparo Longitudinal

En este apartado se va a calcular la presión total máxima que se tendrá en cuenta para el escantillonado de la chapa del mamparo longitudinal.

Se recuerdan las presiones calculadas:

- HSM1:

DINÁMICA TANQUE	ESTÁTICA TANQUE	PRESIONES HIDROSTÁTICAS CARENA
P _{ld}	P _{ls}	Ps+Pw
106,670	96,2287425	0

- HSM2:

DINÁMICA TANQUE	ESTÁTICA TANQUE	PRESIONES HIDROSTÁTICAS CARENA
P _{ld}	P _{ls}	Ps+Pw
-51,271	96,2287425	0

Para las presiones totales, se utiliza el resultado máximo entre presión del tanque o presión del mar:

- HSM1

P	202,898335
---	------------

- HSM2

P	44,9581573
---	------------

6.2.2.4.3 Espesor Mamparo Longitudinal

Se recuerda la fórmula y el espesor mínimo calculado:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

$$t_{min} = 10 \text{ mm}$$

Con los datos obtenidos previamente, se tiene:

- HSM1

$$t = 15 \text{ mm}$$

- HSM2

$$t = 7 \text{ mm}$$

Por tanto, el espesor de la chapa del mamparo longitudinal será el espesor que sea mayor que t_{min} , y en caso de que los espesores obtenidos, superen el valor, se escogería el mayor de los dos, en este caso:

$$t_{mamparolong} = 15 \text{ mm}$$

6.2.2.5 Chapa Cubierta

El procedimiento para la chapa de la cubierta será un poco diferente del resto, ya que se tendrá en cuenta la carga y la presión debida al agua

El espesor de la chapa viene definido por la siguiente expresión: (Pt.3 Ch.6 Sec.4)

1.1 General

1.1.1 Plating

The net thickness, in mm, shall not be taken less than the greatest value for all applicable design load sets, as defined in Sec.2 [2.1.3], given by:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

Donde:

C_a = permissible bending stress coefficient for plate taken equal to:

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}} \quad \text{not to be taken greater than } C_{a-max}$$

β_a = coefficient as defined in Table 1

α_a = coefficient as defined in Table 1

C_{a-max} = maximum permissible bending stress coefficient as defined in Table 1.

Los coeficientes " $\alpha_a, \beta_a, C_{a-max}$ ", están definidos en la siguiente tabla:

Table 1 Plating, definition of β_a, α_a and C_{a-max}

Acceptance criteria	Structural member	β_a	α_a	C_{a-max}	
AC-I	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	0.90	0.50	0.80
		Transverse stiffened plating	0.90	1.00	0.80
	Other members		0.80	0.00	0.80
AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95
AC-III	Longitudinal bulkhead members including possible bench structures between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.5	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.0	1.15
	Other longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.10	0.50	1.00
		Transverse stiffened plating	1.10	1.00	1.00
	Transverse boundaries of ballast water tanks				
	Transverse boundaries between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo		1.15	0.00	1.15
	Other members		1.00	0.00	1.00
	Longitudinal watertight boundaries ¹⁾	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.50	1.15
Transverse stiffened plating		1.15	1.00	1.15	
Other watertight boundaries ¹⁾		1.15	0.00	1.15	

1) Only applicable for flooding pressure

De la tabla se tiene:

$$\begin{aligned} \beta_a &= 1,05 \\ \alpha_a &= 0,5 \\ C_{a-max} &= 0,95 \end{aligned}$$

Utilizando la tensión calculada previamente, se calcula C_a:

σ_{hg}	C_a
315,447842	0,37883438

α_p se obtiene de la siguiente manera:

correction factor for the panel aspect ratio to be taken as follows but not to be taken greater than 1.0:

$$\alpha_p = 1.0;$$

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1 a}$$

Donde a y b son:

a = Separación entre bulárcamas = 3500mm

b = Separación entre longitudinales = 800 mm

Por tanto:

alpha_p
1,091

6.2.2.5.1 Presiones

Las presiones a tener en cuenta para el escantillonado la presión de la carga que se llevará en cubierta y la presión del agua en cubierta:

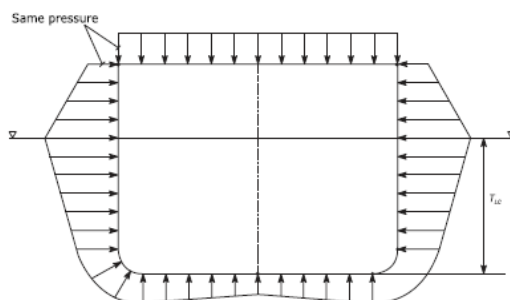
6.2.2.5.1.1 Presión Agua

A continuación, se muestra la presión a tener en cuenta debida al agua en cubierta:

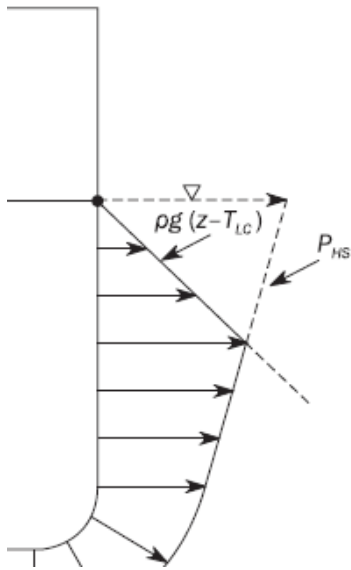
Table 2 Hydrodynamic pressures for HSM load cases

Load case	Wave pressure, in kN/m ²		
	$z \leq T_{LC}$	$T_{LC} < z \leq h_W + T_{LC}$	$z > h_W + T_{LC}$
HSM-1	$P_W = \max\{-P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$	$P_W = P_{W,WL} - \rho g(z - T_{LC})$	$P_W = 0.0$
HSM-2	$P_W = \max\{P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$		

Tendrá la siguiente forma:



La presión en la línea de agua, será P_{HS} como se puede ver en la siguiente imagen:



Como se puede ver en la imagen, el valor a la altura del calado será la presión P_{HS} e irá disminuyendo en $\rho * g * (z - T_{LC})$.

Siendo z la zona de estudio, de modo que será de 11,57m.

El valor de $P_{W,WL}$ es el valor de la presión en la línea de flotación, como se explica:

$P_{W,WL}$ = wave pressure at the waterline, kN/m^2 , for the considered dynamic load case

$$P_{W,WL} = P_W \quad \text{for } z = T_{LC} \quad \begin{matrix} y = B_w/2 \text{ when } y \geq 0 \\ y = -B_w/2, \text{ when } y < 0 \end{matrix}$$

Por tanto:

$$P_{W,WL} = P_{HS}$$

La presión P_{HS} se ha calculado previamente

$$P_{HS} = 53,14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Por tanto:

$$P_W = P_{W,WL} - \rho * g * (z - T_{LC})$$

$$P_W = 53,14 - \rho * g * (11,57 - 8,366) = 15,75$$

$$P_W = 15,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

6.2.2.5.1.2 Presión de la Carga

Como se ha visto en el desglose de cada parte del aerogenerador se realiza en el cuaderno 5. A continuación, se muestra la tabla resumen de los diversos componentes:

	TORRE	NACELLE	HUB	PALAS(u)
LONGITUD		15,5	5,5	61,5
ANCHO	(bott)6-3,87(top)	5,85	3	4
ALTURA	87,6	5,5	3	4
PESO	496,4	342,9	81,1	26,3
CG	38,234		1,5	20,475

El componente de mayor peso es la torre, pero se considera que al ser una corona circular la base de la torre, se tendrá una fuerza mayor apoyada por metro cuadrado, de manera que se supone que para las torres sería necesario realizar un escantillado local específico para las torres, de modo que para el cálculo del espesor de cubierta, se ha decidido tomar el valor de la nacelle.

Como se ha explicado, para la disposición de la carga, la nacelle irá junto con el hub, de manera que el peso total de los dos elementos, se contarán sobre la misma área de apoyo, la de la nacelle.

$$A_{Nacelle} = 15,5 * 5,85 = 90,675 \text{ m}^2$$

$$P_{Carga} = Peso * \frac{g}{A_{Nacelle}} = (342,9 + 81,1) * \frac{9,81}{90,675} = 45,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

6.2.2.5.1.3 Presión Total -Pt.3 Ch.4 Sec.5

La presión de la cubierta viene dada por la siguiente expresión:

2.2.3 HSM, HSA and FSM load cases

The external pressure, P_D , for HSM, HSA and FSM load cases, at any load point of an exposed deck shall be obtained, in kN/m^2 , from the following formula, see Figure 2 and Figure 3:

$$P_D = \max (\chi P_{D-min}, P_{W,D} - \rho g (z - z_{dk})), \text{ but not to be taken less than } 0$$

Donde:

- $P_{W,D}$ es la presión debida al agua y a la carga.
- χ factor de reducción.
- z punto de consideración de la carga (desde la línea base).
- z_{dk} punto más bajo de la zona de la carga (desde la línea base).
- P_{D-min} presión mínima, dada:

Table 31 Minimum pressures on exposed decks for HSM, HSA, FSM load cases

Location	Minimum pressure on exposed freeboard deck, P_{D-min} , in kN/m^2	
	$L_{LL} \geq 100 \text{ m}$	$L_{LL} < 100 \text{ m}$
$\frac{x_{LL}}{L_{LL}} \leq 0,75$	34,3	$14,9 + 0,195 L_{LL}$
$\frac{x_{LL}}{L_{LL}} > 0,75$	$34,3 + [14,8 + a(L_{LL} - 100)] \left(4 \frac{x_{LL}}{L_{LL}} - 3 \right)$	$12,2 + \frac{L_{LL}}{9} \left(5 \frac{x_{LL}}{L_{LL}} - 2 \right) + 3,6 \frac{x_{LL}}{L_{LL}}$

where:

a = coefficient taken equal to:

$a = 0,356$ for type A, type B-60 and type B-100 freeboard ships

$a = 0,0726$ for type B freeboard ships

x_{LL} = X-coordinate of the load point measured from the aft end of the freeboard length L_{LL} .

Donde:

- L_{LL} eslora de la zona de carga.

$$L_{LL} \approx 98,81 \text{ m}$$

- x_{LL} zona de estudio de la carga.

$$x_{LL} = 40,72 \text{ m}$$

De este modo:

$$\frac{x_{LL}}{L_{LL}} = \frac{40,72}{98,81} = 0,412 < 0,75$$

Por lo tanto:

$$P_{D-min} = 14,9 + 0,195 * L_{LL} = 34,17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Con todo calculado, se tiene la fórmula indicada previamente:

$$P_D = \max (\chi P_{D-min}, P_{W,D} - \rho g (z - z_{dk})), \text{ but not to be taken less than 0}$$

$$P_{D-min} = 14,9 + 0,195 * L_{LL} = 34,17 \frac{kN}{m^2}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_W = 15,75 \frac{kN}{m^2} \\ P_{Carga} = 45,9 \frac{kN}{m^2} \end{array} \right\} P_{W,D} = 61,65 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_D = \max(1 * 34'17; 61'65 - 9'81 * 1'025 * (11'57 - 11'57))$$

$$P_D = 61,65 \frac{kN}{m^2}$$

6.2.2.5.2 Espesor de la chapa de cubierta

El espesor viene dado por la expresión indicada previamente:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

Siendo:

$$\beta_a = 1,05$$

$$\alpha_a = 0,5$$

$$C_{a-max} = 0,95$$

a = Separación entre bulárcamas = 3500mm

b = Separación entre longitudinales = 800 mm

El espesor de la chapa de cubierta tendrá el siguiente valor:

$$t_{min} = 8 \text{ mm (valor calculado previamente)}$$

$$t_{cubierta} = 12 \text{ mm}$$

6.3 Escantillonado Refuerzos

6.3.1 Longitudinales- Pt.3 Ch.6 Sec.5

A continuación, se realizarán los cálculos para el escantillonado de los longitudinales según la zona en la que se encuentren:

6.3.1.1 Fondo y Doble Fondo

En primer lugar, se calculará el espesor mínimo de los longitudinales para el fondo y el doble fondo, en este caso, se utilizará la presión más desfavorable para que de esta manera, el escantillonado sirva para los dos casos. Por tanto, el escantillonado se realizará para el fondo.

6.3.1.1.1 Espesor mínimo- Pt.3 Ch.6 Sec.3

El espesor mínimo viene expresado en la siguiente tabla:

Table 2 Minimum net thickness for stiffeners and tripping brackets

<i>Element</i>	<i>Location</i>	<i>Net thickness</i>
Stiffeners and attached end brackets	Tank boundary	$4.5 + 0.01 L_1$
	Structures in deckhouse and superstructure and decks for vessels with more than 2 continuous decks above 0.7 D from baseline	4.0
	Other structure	$4.5 + 0.005 L_1$
Tripping brackets		$4.5 + 0.01 L_1$

Como en el fondo está situado con el tanque de lastre, se usa la fórmula indicada:

$$t = 4,5 + 0,01 * L_1$$

Donde L_1 es la eslora de escantillonada indicada al principio del cuaderno.

$$L_{sc} = 129,321 \text{ m}$$

Por tanto:

$$t_{min} = 5,79 \text{ mm}$$

6.3.1.1.2 Módulo de los Elementos (Fondo y DF) -Pt.3 Ch.6 Sec.5

En primer lugar, se calculará el módulo mínimo para luego calcular de manera que luego se pueda calcular el espesor de los refuerzos.

Para el módulo de los refuerzos se utiliza la siguiente expresión:

1.1.2 Section modulus

The minimum net section modulus, in cm^3 , shall not be taken less than the greatest value calculated for all applicable design load sets as defined in Sec.2 [2.1.3], given by:

$$Z = \frac{f_u |P| s \varphi_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s R_{eH}}$$

Donde:

- f_u = Factor para perfiles asimétricos:
 f_u = factor for unsymmetrical profiles, to be taken as:
 = 1.00 for flat bars and symmetrical profiles (T-profiles)
 = 1.03 for bulb profiles
 = 1.15 for unsymmetrical profiles (L-profiles)

Como se trabaja con llanta bulbo, $f_u = 1,03$

- $|P|$ es la Presión de la zona de estudio:

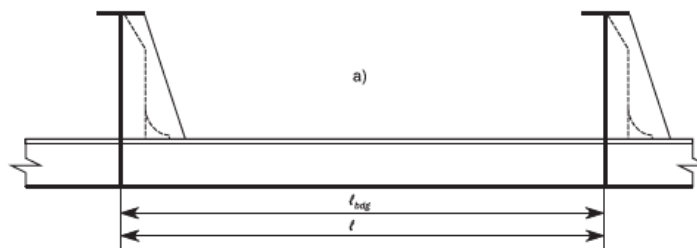
$$|P_{fondo}| = 174,7 \frac{kN}{m^2}$$

$$|P_{doblefondo}| = 202,9 \frac{kN}{m^2}$$

- "s" es la separación de los refuerzos longitudinales:

$$s = 400 \text{ mm}$$

- l_{bdg} es la longitud o tramo efectivo de flexión en el refuerzo. Se tomará:



$$l = l_{bdg} = 3,5m \text{ (separación bulárcamas)}$$

- $f_{bd,g}$ es un factor del momento flector, de la siguiente tabla:

Table 5 Stiffeners, definition of $f_{bd,g}$ and f_m

Coefficient	Acceptance criteria	For continuous stiffeners with fixed ends		For continuous stiffeners with one fixed end and one simply supported end	For non-continuous stiffeners with simply supported ends
		Horizontal stiffeners and upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	Horizontal and vertical stiffeners	Horizontal and vertical stiffeners
$f_{bd,g}$	AC-I, AC-II, AC-III	12.00	10.00	8.00	8.00
f_m	AC-I	2.00	2.33	1.77	-
	AC-II, AC-III	1.60	1.86	1.42	

$$f_{bd,g} = 12$$

- C_s coeficiente elástico permisible:

C_s = permissible stress coefficient to be taken as:

$C_s = 0.70$ for AC-I

$C_s = 0.85$ for AC-II and AC-III.

$$C_s = 0,85$$

- R_{eH} Límite elástico del material:

$$R_{eH} = 235 \frac{N}{mm^2}$$

Con todos estos datos, se puede calcular el módulo necesario para escoger el perfil:

- Fondo

$$Z = 358,63cm^3$$

De la tabla de perfiles del Anexo:

LLANTA BULBO								
a	s	c	r	A	weight	e	L_x	W
240	11	34	10	34,9	27,4	14,6	2000	391

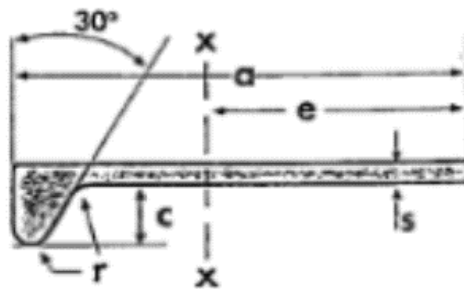
- o Doble Fondo

$$Z = 427,21 \text{ cm}^3$$

De la tabla de perfiles del Anexo:

LLANTA BULBO									
a	s	c	r	A	weight	e	I _x	W	
260	10	37	11	36,1	28,3	16,2	2477	455	

Donde:



6.3.1.1.3 Espesor de los Elementos (Fondo y DF) -Pt.3 Ch.6 Sec.5

El espesor de los elementos viene dado por:

1.1 General

1.1.1 Web plating

The minimum net web thickness, in mm, shall not be taken less than the greatest value calculated for all applicable design load sets as defined in Sec.2 [2], given by:

$$t_w = \frac{f_{shr}|P|s \ell_{shr}}{d_{shr} C_{t^r} eH}$$

Donde:

- f_{shr} es el factor de distribución de la fuerza cortante:

Table 1 Definition of f_{shr}

Coefficient	For continuous stiffeners with fixed end			For non-continuous stiffeners with simply supported ends
	Horizontal stiffeners	Upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	All stiffeners
f_{shr}	0.5	0.4	0.7	0.5

$$f_{shr} = 0,5$$

- $|P|$ es la Presión de la zona de estudio:

$$|P_{fondo}| = 174,69 \frac{kN}{m^2}$$

$$|P_{doblefondo}| = 202,89 \frac{kN}{m^2}$$

- "s" es la separación de los refuerzos longitudinales:

$$s = 400 \text{ mm}$$

- l es la separación de refuerzos primarios

$$l = 3,5 \text{ m}$$

- l_{shr} es el tramo cortante efectivo del reforzado:

$$l_{shr} = l - \frac{s}{2000}$$

$$l_{shr} = 3,3$$

- d_{shr} es la profundidad de corte efectiva para los refuerzos, viene definido por:

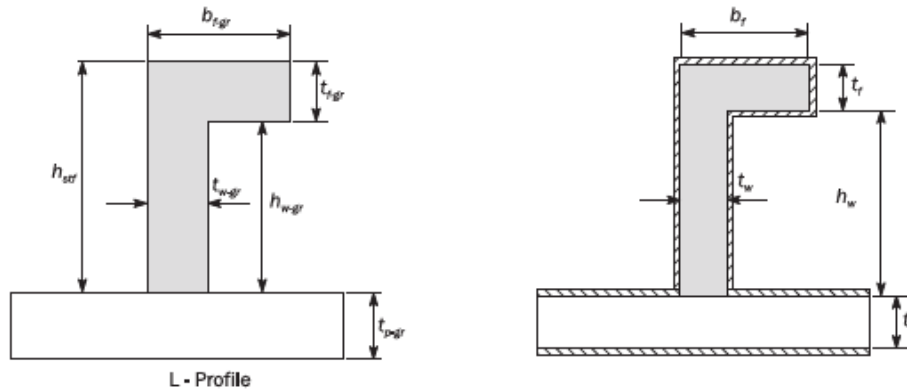
1.4.3 Effective shear depth of stiffeners

The effective shear depth of stiffeners, in mm, shall be taken as:

$$d_{shr} = h_{stf} + t_p \quad \text{for } 75^\circ \leq \phi_w \leq 90^\circ$$

$$d_{shr} = (h_{stf} + t_p) \sin \phi_w \quad \text{for } \phi_w < 75^\circ$$

Donde:



h_{stf} es la altura del refuerzo teniendo en cuenta la corrosión
 t_p es el espesor de la chapa sin contar el aumento de espesor por corrosión

Para el aumento de espesor por corrosión:

1.2 Corrosion addition determination

1.2.1 The total corrosion addition, t_c in mm, for both sides of the structural member is obtained by the following formula:

$$t_c = t_{c1} + t_{c2} + t_{res}$$

Siendo:

$$t_{res} = 0,5 \text{ mm}$$

t_{c1}, t_{c2} definidos en la siguiente tabla:

Table 1 Corrosion addition for one side of a structural member

Compartment type	Structural member	t_{c1} or t_{c2}
Tanks for cargo oil and liquid chemicals	All members	1.0
Dry bulk, container and general cargo holds	Lower part ¹⁾ for vessels with Grab(3-X) notation	2.5
	Lower part ²⁾ for other vessels	1.0
	Other members	0.5
External surfaces	All members	0.5
Ballast water tank	All members	1.0
Tanks for RSW, mud ⁴⁾	All members	0.5
Tanks for fresh water, fuel oil and lube oil	All members	0.0
Tanks for brine, urea, bilge tank, drain storage, chain locker	All members	1.0
Accommodation spaces	All members	0.0
Void, dry spaces and compartment types not mentioned above ^{3) 6)}	Upper surface of decks or bottom plate of the compartment ⁵⁾	0.5
	Elsewhere	0.0
Stainless steel and aluminium (Independent of compartment type)	All members	0.0

Por tanto, utilizando también las tablas y utilizando el espesor de las chapas calculadas previamente:

- Fondo:

$$\begin{aligned}
 t_{res} &= 0,5 \\
 t_{c1} &= 1 \\
 t_{c2} &= 1 \\
 h_{stf-fondo}(a) &= 240 \\
 d_{shr} &= h_{stf} + t_{res} + t_{c1} + t_{c2} + t_p(\text{espesor chapa}) \\
 d_{shr} &= 254,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Doble Fondo:

$$\begin{aligned}
 t_{res} &= 0,5 \\
 t_{c1} &= 0 \\
 t_{c2} &= 0 \\
 h_{stf-DF}(a) &= 260 \\
 d_{shr} &= h_{stf} + t_{res} + t_{c1} + t_{c2} + t_p(\text{espesor chapa}) \\
 d_{shr} &= 271,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- C_t es la tensión de corte permisible, definida en la siguiente tabla:

Table 2 Stiffeners, definition of C_t

Acceptance criteria	Structural member	C_t
AC-I	All stiffeners	0.75
AC-II	All stiffeners	0.90
AC-III	All stiffeners	0.95

$$C_t = 0,9$$

- τ_{eH} es el fuerza límite cortante:

$$\tau_{eH} \left| \begin{array}{l} \text{specified shear yield stress,} \\ \tau_{eH} = \frac{R_{eH}}{\sqrt{3}} \end{array} \right| \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{eH} = \frac{235}{\sqrt{3}} = 135,68 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Con todos los datos calculados se tienen los siguientes espesores:

- Fondo:

$$t_w = 3,71 \text{ mm}$$

- Doble Fondo:

$$t_w = 4,04 \text{ mm}$$

6.3.1.1.4 Conclusiones

Se han escogido los elementos con las siguientes características:

- Fondo

De la tabla de perfiles del Anexo:

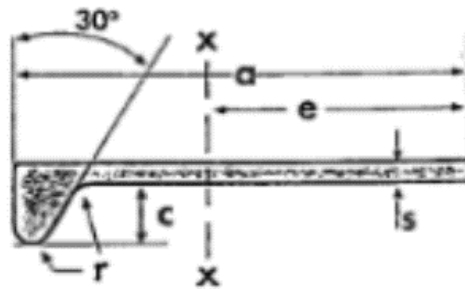
LLANTA BULBO									
a	s	c	r	A	weight	e	I _x	W	
240	11	34	10	34,9	27,4	14,6	2000	391	

- Doble Fondo

De la tabla de perfiles del Anexo:

LLANTA BULBO									
a	s	c	r	A	weight	e	I _x	W	
260	10	37	11	36,1	28,3	16,2	2477	455	

Donde:



6.3.1.2 Costado y Mamparo Longitudinal

En primer lugar, se calculará el espesor mínimo de los longitudinales para el fondo y el doble fondo, en este caso, se utilizará la presión más desfavorable para que de esta manera, el escantillonado sirva para los dos casos. Por tanto, el escantillonado se realizará para el fondo.

6.3.1.2.1 Espesor mínimo- Pt.3 Ch.6 Sec.3

El espesor mínimo viene expresado en la siguiente tabla:

Table 2 Minimum net thickness for stiffeners and tripping brackets

<i>Element</i>	<i>Location</i>	<i>Net thickness</i>
Stiffeners and attached end brackets	Tank boundary	$4.5 + 0.01 L_1$
	Structures in deckhouse and superstructure and decks for vessels with more than 2 continuous decks above 0.7 <i>D</i> from baseline	4.0
	Other structure	$4.5 + 0.005 L_1$
Tripping brackets		$4.5 + 0.01 L_1$

Como en el fondo está situado con el tanque de lastre, se usa la fórmula indicada:

$$t = 4,5 + 0,01 * L_1$$

Donde L_1 es la eslora de escantillónada indicada al principio del cuaderno.

$$L_{sc} = 129,321 \text{ m}$$

Por tanto:

$$t_{min} = 5,79 \text{ mm}$$

6.3.1.2.2 Módulo de los Elementos (Costado y Mamparo) -Pt.3 Ch.6 Sec.5

En primer lugar, se calculará el módulo mínimo para luego calcular de manera que luego se pueda calcular el espesor de los refuerzos.

Para el módulo de los refuerzos se utiliza la siguiente expresión:

1.1.2 Section modulus

The minimum net section modulus, in cm^3 , shall not be taken less than the greatest value calculated for all applicable design load sets as defined in Sec.2 [2.1.3], given by:

$$Z = \frac{f_u |P| s \ell_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s R_{eH}}$$

Donde:

- f_u = Factor para perfiles asimétricos:
 - f_u = factor for unsymmetrical profiles, to be taken as:
 - = 1.00 for flat bars and symmetrical profiles (T-profiles)
 - = 1.03 for bulb profiles
 - = 1.15 for unsymmetrical profiles (L-profiles)

Como se trabaja con llanta bulbo, $f_u = 1,03$

- $|P|$ es la Presión de la zona de estudio:

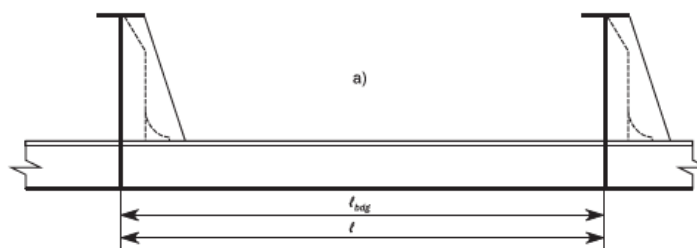
$$|P_{costado}| = 202,9 \frac{kN}{m^2}$$

$$|P_{mamparo}| = 202,9 \frac{kN}{m^2}$$

- "s" es la separación de los refuerzos longitudinales:

$$s = 550 \text{ mm}$$

- l_{bdg} es la longitud o tramo efectivo de flexión en el refuerzo. Se tomará:



$$l = l_{bdg} = 3,5m \text{ (separación bulárcamas)}$$

- $f_{bd,g}$ es un factor del momento flector, de la siguiente tabla:

Table 5 Stiffeners, definition of $f_{bd,g}$ and f_m

Coefficient	Acceptance criteria	For continuous stiffeners with fixed ends		For continuous stiffeners with one fixed end and one simply supported end	For non-continuous stiffeners with simply supported ends
		Horizontal stiffeners and upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	Horizontal and vertical stiffeners	Horizontal and vertical stiffeners
$f_{bd,g}$	AC-I, AC-II, AC-III	12.00	10.00	8.00	8.00
f_m	AC-I	2.00	2.33	1.77	-
	AC-II, AC-III	1.60	1.86	1.42	

$$f_{bd,g} = 12$$

- C_s coeficiente elástico permisible:

C_s = permissible stress coefficient to be taken as:

$C_s = 0.70$ for AC-I

$C_s = 0.85$ for AC-II and AC-III.

$$C_s = 0,85$$

- R_{eH} Límite elástico del material:

$$R_{eH} = 235 \frac{N}{mm^2}$$

Con todos estos datos, se puede calcular el módulo necesario para escoger el perfil:

- Costado

$$Z = 587,42 \text{ cm}^3$$

De la tabla de perfiles del Anexo:

LLANTA BULBO								
a	s	c	r	A	weight	e	L_x	W
280	12	40	12	45,5	35,7	17,2	3550	590

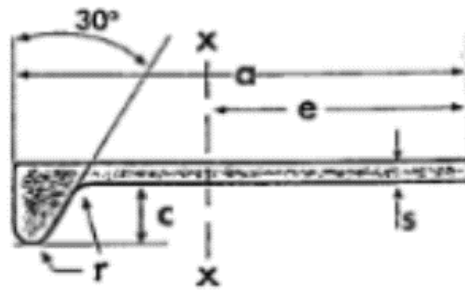
- o Mamparo

$$Z = 587,42 \text{ cm}^3$$

De la tabla de perfiles del Anexo:

LLANTA BULBO									
a	s	c	r	A	weight	e	I_x	W	
280	12	40	12	45,5	35,7	17,2	3550	590	

Donde:



6.3.1.2.3 Espesor de los Elementos (Costado y Mamparo) -Pt.3 Ch.6 Sec.5

El espesor de los elementos viene dado por:

1.1 General

1.1.1 Web plating

The minimum net web thickness, in mm, shall not be taken less than the greatest value calculated for all applicable design load sets as defined in Sec.2 [2], given by:

$$t_w = \frac{f_{shr}|P|s \ell_{shr}}{d_{shr} C_{teH}}$$

Donde:

- f_{shr} es el factor de distribución de la fuerza cortante:

Table 1 Definition of f_{shr}

Coefficient	For continuous stiffeners with fixed end			For non-continuous stiffeners with simply supported ends
	Horizontal stiffeners	Upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	All stiffeners
f_{shr}	0.5	0.4	0.7	0.5

$$f_{shr} = 0,5$$

- $|P|$ es la Presión de la zona de estudio:

$$|P_{costado}| = 202,9 \frac{kN}{m^2}$$

$$|P_{mamparo}| = 202,9 \frac{kN}{m^2}$$

- "s" es la separación de los refuerzos longitudinales:

$$s = 550 \text{ mm}$$

- l es la separación de refuerzos primarios

$$l = 3,5 \text{ m}$$

- l_{shr} es el tramo cortante efectivo del reforzado:

$$l_{shr} = l - \frac{s}{2000}$$

$$l_{shr} = 3,225$$

- d_{shr} es la profundidad de corte efectiva para los refuerzos, viene definido por:

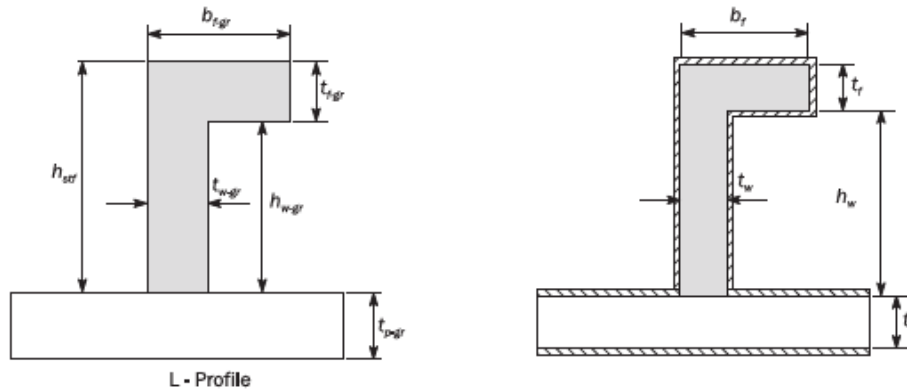
1.4.3 Effective shear depth of stiffeners

The effective shear depth of stiffeners, in mm, shall be taken as:

$$d_{shr} = h_{stf} + t_p \quad \text{for } 75^\circ \leq \phi_w \leq 90^\circ$$

$$d_{shr} = (h_{stf} + t_p) \sin \phi_w \quad \text{for } \phi_w < 75^\circ$$

Donde:



h_{stf} es la altura del refuerzo teniendo en cuenta la corrosión
 t_p es el espesor de la chapa sin contar el aumento de espesor por corrosión

Para el aumento de espesor por corrosión:

1.2 Corrosion addition determination

1.2.1 The total corrosion addition, t_c in mm, for both sides of the structural member is obtained by the following formula:

$$t_c = t_{c1} + t_{c2} + t_{res}$$

Siendo:

$t_{res} = 0,5 \text{ mm}$

t_{c1}, t_{c2} definidos en la siguiente tabla:

Table 1 Corrosion addition for one side of a structural member

Compartment type	Structural member	t_{c1} or t_{c2}
Tanks for cargo oil and liquid chemicals	All members	1.0
Dry bulk, container and general cargo holds	Lower part ¹⁾ for vessels with Grab(3-X) notation	2.5
	Lower part ²⁾ for other vessels	1.0
	Other members	0.5
External surfaces	All members	0.5
Ballast water tank	All members	1.0
Tanks for RSW, mud ⁴⁾	All members	0.5
Tanks for fresh water, fuel oil and lube oil	All members	0.0
Tanks for brine, urea, bilge tank, drain storage, chain locker	All members	1.0
Accommodation spaces	All members	0.0
Void, dry spaces and compartment types not mentioned above ^{3) 6)}	Upper surface of decks or bottom plate of the compartment ⁵⁾	0.5
	Elsewhere	0.0
Stainless steel and aluminium (Independent of compartment type)	All members	0.0

Por tanto, utilizando también las tablas y utilizando el espesor de las chapas calculadas previamente:

- Costado:

$$\begin{aligned}
 t_{res} &= 0,5 \\
 t_{c1} &= 1 \\
 t_{c2} &= 1 \\
 h_{stf-costado}(a) &= 280 \\
 d_{shr} &= h_{stf} + t_{res} + t_{c1} + t_{c2} + t_p(\text{espesor chapa}) \\
 d_{shr} &= 298,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Mamparo:

$$\begin{aligned}
 t_{res} &= 0,5 \\
 t_{c1} &= 1 \\
 t_{c2} &= 1 \\
 h_{stf-mamparo}(a) &= 280 \\
 d_{shr} &= h_{stf} + t_{res} + t_{c1} + t_{c2} + t_p(\text{espesor chapa}) \\
 d_{shr} &= 297,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- C_t es la tensión de corte permisible, definida en la siguiente tabla:

Table 2 Stiffeners, definition of C_t

Acceptance criteria	Structural member	C_t
AC-I	All stiffeners	0.75
AC-II	All stiffeners	0.90
AC-III	All stiffeners	0.95

$$C_t = 0,9$$

- τ_{eH} es el fuerza límite cortante:

$$\tau_{eH} \left| \begin{array}{l} \text{specified shear yield stress,} \\ \tau_{eH} = \frac{R_{eH}}{\sqrt{3}} \end{array} \right| \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{eH} = \frac{235}{\sqrt{3}} = 135,68 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Con todos los datos calculados se tienen los siguientes espesores:

- Costado:

$$t_w = 4,94 \text{ mm}$$

- Mamparo:

$$t_w = 4,954 \text{ mm}$$

6.3.1.2.4 Conclusiones

Se han escogido los elementos con las siguientes características:

- Costado

De la tabla de perfiles del Anexo:

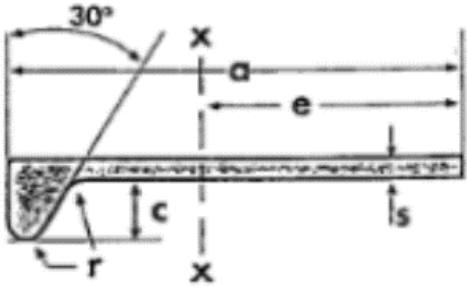
LLANTA BULBO									
a	s	c	r	A	weight	e	I _x	W	
280	12	40	12	45,5	35,7	17,2	3550	590	

- Mamparo

De la tabla de perfiles del Anexo:

LLANTA BULBO									
a	s	c	r	A	weight	e	I _x	W	
280	12	40	12	45,5	35,7	17,2	3550	590	

Donde:



6.3.1.3 Cubierta

En primer lugar, se calculará el espesor mínimo de los longitudinales para la cubierta.

6.3.1.3.1 Espesor mínimo- Pt.3 Ch.6 Sec.3

El espesor mínimo viene expresado en la siguiente tabla:

Table 2 Minimum net thickness for stiffeners and tripping brackets

<i>Element</i>	<i>Location</i>	<i>Net thickness</i>
Stiffeners and attached end brackets	Tank boundary	$4.5 + 0.01 L_1$
	Structures in deckhouse and superstructure and decks for vessels with more than 2 continuous decks above 0.7 D from baseline	4.0
	Other structure	$4.5 + 0.005 L_1$
Tripping brackets		$4.5 + 0.01 L_1$

Como en el fondo está situado con el tanque de lastre, se usa la fórmula indicada:

$$t = 4,5 + 0,01 * L_1$$

Donde L_1 es la eslora de escantillonada indicada al principio del cuaderno.

$$L_{sc} = 129,321 \text{ m}$$

Por tanto:

$$t_{min} = 5,79 \text{ mm}$$

6.3.1.3.2 Módulo de los Elementos (Cubierta) -Pt.3 Ch.6 Sec.5

En primer lugar, se calculará el módulo mínimo para luego calcular de manera que luego se pueda calcular el espesor de los refuerzos.

Para el módulo de los refuerzos se utiliza la siguiente expresión:

1.1.2 Section modulus

The minimum net section modulus, in cm^3 , shall not be taken less than the greatest value calculated for all applicable design load sets as defined in Sec.2 [2.1.3], given by:

$$Z = \frac{f_u |P| s l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s R_{eH}}$$

Donde:

- f_u = Factor para perfiles asimétricos:
 f_u = factor for unsymmetrical profiles, to be taken as:
 = 1.00 for flat bars and symmetrical profiles (T-profiles)
 = 1.03 for bulb profiles
 = 1.15 for unsymmetrical profiles (L-profiles)

Como se trabaja con llanta bulbo, $f_u = 1,03$

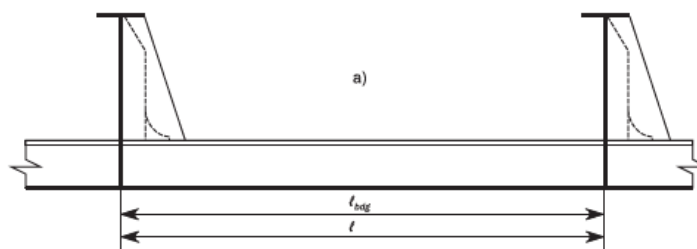
- $|P|$ es la Presión de la zona de estudio:

$$|P_{cubierta}| = 61,63 \frac{kN}{m^2}$$

- "s" es la separación de los refuerzos longitudinales:

$$s = 800 \text{ mm}$$

- l_{bdg} es la longitud o tramo efectivo de flexión en el refuerzo. Se tomará:



$$l = l_{bdg} = 3,5m \text{ (separación bulárcamas)}$$

- $f_{bd,g}$ es un factor del momento flector, de la siguiente tabla:

Table 5 Stiffeners, definition of $f_{bd,g}$ and f_m

Coefficient	Acceptance criteria	For continuous stiffeners with fixed ends		For continuous stiffeners with one fixed end and one simply supported end	For non-continuous stiffeners with simply supported ends
		Horizontal stiffeners and upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	Horizontal and vertical stiffeners	Horizontal and vertical stiffeners
$f_{bd,g}$	AC-I, AC-II, AC-III	12.00	10.00	8.00	8.00
f_m	AC-I	2.00	2.33	1.77	-
	AC-II, AC-III	1.60	1.86	1.42	

$$f_{bd,g} = 12$$

- C_s coeficiente elástico permisible:

C_s = permissible stress coefficient to be taken as:

$$C_s = 0.70 \text{ for AC-I}$$

$$C_s = 0.85 \text{ for AC-II and AC-III.}$$

$$C_s = 0,85$$

- R_{eH} Límite elástico del material:

$$R_{eH} = 235 \frac{N}{mm^2}$$

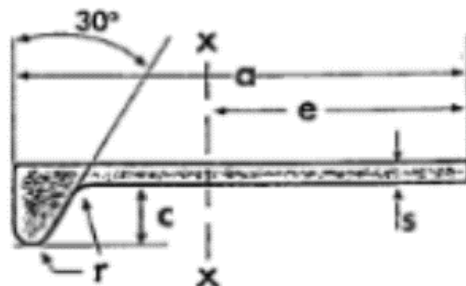
Con todos estos datos, se puede calcular el módulo necesario para escoger el perfil:

$$Z = 259,5 \text{ cm}^3$$

De la tabla de perfiles del Anexo:

LLANTA BULBO								
a	s	c	r	A	weight	e	L _x	W
220	10	31	9	29	22,8	13,4	1400	302

Donde:



6.3.1.3.3 Espesor de los Elementos (Cubierta) -Pt.3 Ch.6 Sec.5

El espesor de los elementos viene dado por:

1.1 General

1.1.1 Web plating

The minimum net web thickness, in mm, shall not be taken less than the greatest value calculated for all applicable design load sets as defined in Sec.2 [2], given by:

$$t_w = \frac{f_{shr}|P|s \ell_{shr}}{d_{shr} C_{t^r} eH}$$

Donde:

- f_{shr} es el factor de distribución de la fuerza cortante:

Table 1 Definition of f_{shr}

Coefficient	For continuous stiffeners with fixed end			For non-continuous stiffeners with simply supported ends
	Horizontal stiffeners	Upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	All stiffeners
f_{shr}	0.5	0.4	0.7	0.5

$$f_{shr} = 0,5$$

- $|P|$ es la Presión de la zona de estudio:

$$|P_{cubierta}| = 61,63 \frac{kN}{m^2}$$

- "s" es la separación de los refuerzos longitudinales:

$$s = 800 \text{ mm}$$

- l es la separación de refuerzos primarios

$$l = 3,5 \text{ m}$$

- l_{shr} es el tramo cortante efectivo del reforzado:

$$l_{shr} = l - \frac{s}{2000}$$

$$l_{shr} = 3,1$$

- d_{shr} es la profundidad de corte efectiva para los refuerzos, viene definido por:

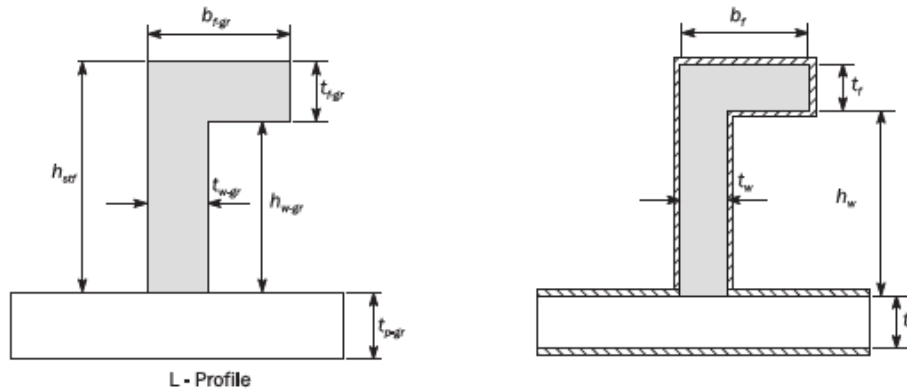
1.4.3 Effective shear depth of stiffeners

The effective shear depth of stiffeners, in mm, shall be taken as:

$$d_{shr} = h_{stf} + t_p \quad \text{for } 75^\circ \leq \phi_w \leq 90^\circ$$

$$d_{shr} = (h_{stf} + t_p) \sin \phi_w \quad \text{for } \phi_w < 75^\circ$$

Donde:



h_{stf} es la altura del refuerzo teniendo en cuenta la corrosión
 t_p es el espesor de la chapa sin contar el aumento de espesor por corrosión

Para el aumento de espesor por corrosión:

1.2 Corrosion addition determination

1.2.1 The total corrosion addition, t_c in mm, for both sides of the structural member is obtained by the following formula:

$$t_c = t_{c1} + t_{c2} + t_{res}$$

Siendo:

$t_{res} = 0,5 \text{ mm}$

t_{c1}, t_{c2} definidos en la siguiente tabla:

Table 1 Corrosion addition for one side of a structural member

Compartment type	Structural member	t_{c1} or t_{c2}
Tanks for cargo oil and liquid chemicals	All members	1.0
Dry bulk, container and general cargo holds	Lower part ¹⁾ for vessels with Grab(3-X) notation	2.5
	Lower part ²⁾ for other vessels	1.0
	Other members	0.5
External surfaces	All members	0.5
Ballast water tank	All members	1.0
Tanks for RSW, mud ⁴⁾	All members	0.5
Tanks for fresh water, fuel oil and lube oil	All members	0.0
Tanks for brine, urea, bilge tank, drain storage, chain locker	All members	1.0
Accommodation spaces	All members	0.0
Void, dry spaces and compartment types not mentioned above ^{3) 6)}	Upper surface of decks or bottom plate of the compartment ⁵⁾	0.5
	Elsewhere	0.0
Stainless steel and aluminium (Independent of compartment type)	All members	0.0

Por tanto, utilizando también las tablas y utilizando el espesor de las chapas calculadas previamente:

$$\begin{aligned}
 t_{res} &= 0,5 \\
 t_{c1} &= 1 \\
 t_{c2} &= 1 \\
 h_{stf-cubierta}(a) &= 220 \\
 d_{shr} &= h_{stf} + t_{res} + t_{c1} + t_{c2} + t_p(\text{espesor chapa}) \\
 d_{shr} &= 234,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- C_t es la tensión de corte permisible, definida en la siguiente tabla:

Table 2 Stiffeners, definition of C_t

Acceptance criteria	Structural member	C_t
AC-I	All stiffeners	0.75
AC-II	All stiffeners	0.90
AC-III	All stiffeners	0.95

$$C_t = 0,9$$

- τ_{eH} es el fuerza límite cortante:

$$\tau_{eH} \left| \begin{array}{l} \text{specified shear yield stress,} \\ \tau_{eH} = \frac{R_{eH}}{\sqrt{3}} \end{array} \right| \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{eH} = \frac{235}{\sqrt{3}} = 135,68 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Con todos los datos calculados se tienen los siguientes espesores:

$$t_w = 2,67 \text{ mm}$$

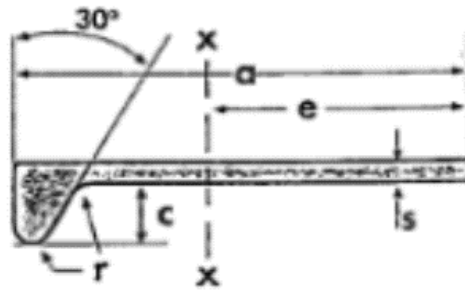
6.3.1.3.4 Conclusiones

Se han escogido los elementos con las siguientes características:

De la tabla de perfiles del Anexo:

LLANTA BULBO									
a	s	c	r	A	weight	e	I _x	W	
220	10	31	9	29	22,8	13,4	1400	302	

Donde:



6.3.2 Refuerzos primarios

A continuación, se van a calcular los refuerzos primarios según la zona en la que se encuentren:

6.3.2.1 Baos (Cubierta)

Se realizarán los siguientes cálculos:

6.3.2.1.1 Espesor

- Espesor Mínimo-Pt.3 Ch.6 Sec.3

En primer lugar, se calculará el espesor de los baos de la cubierta de la siguiente manera:

3 Primary supporting members

3.1 Minimum thickness requirements

3.1.1 The net thickness of web plating and flange of primary supporting members in mm, shall not be taken less than:

$$t = a + bL_2\sqrt{k}$$

where:

a = coefficient as defined in Table 3

b = coefficient as defined in Table 3.

De la tabla 3:

Table 3 Minimum net thickness for primary supporting members

Element	a	b
Bottom centreline girder and lower strake of centreline wash bulkhead	5.0	0.03
Other bottom girders	5.0	0.017
Floors	5.0	0.015
PSM supporting side shell, ballast tank, cargo tank and hold intended for cargo in bulk ^{2),3)}	4.5	0.015
Other PSM	4.5	0.01
PSM in peak tanks	5.0	0.025 ¹⁾

1) The value of bL_2 does not need to be greater than 5.0.
 2) For stringers in double side next to dry space not intended for cargo in bulk, the value of bL_2 does not need to be taken greater than 2.5.
 3) Other specific requirements related to ship types are given in Pt.5.

Donde:

$$a = 5$$

$$b = 0,017$$

$$L_2 = L_{sc} = 129,321 \text{ m}$$

$$k = 1$$

Por tanto:

$$t_{min} = 7,2 \text{ mm}$$

- Espesor en función de la presión-Pt.3 Ch.6 Sec.4

Se calculará de la siguiente manera:

1 Plating subjected to lateral pressure

1.1 General

1.1.1 Plating

The net thickness, in mm, shall not be taken less than the greatest value for all applicable design load sets, as defined in Sec.2 [2.1.3], given by:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

where:

C_a = permissible bending stress coefficient for plate taken equal to:

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}} \quad \text{not to be taken greater than } C_{a-max}$$

β_a = coefficient as defined in Table 1

α_a = coefficient as defined in Table 1

C_{a-max} = maximum permissible bending stress coefficient as defined in Table 1.

Donde como se ha visto:

correction factor for the panel aspect ratio to be taken as follows but not to be taken greater than

$$\alpha_p = 1.0:$$

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1 a}$$

Table 1 Plating, definition of β_a , α_a and C_{a-max}

Acceptance criteria	Structural member		β_a	α_a	C_{a-max}
AC-I	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	0.90	0.50	0.80
		Transverse stiffened plating	0.90	1.00	0.80
	Other members		0.80	0.00	0.80
AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95
AC-III	Longitudinal bulkhead members including possible bench structures between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.5	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.0	1.15
	Other longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.10	0.50	1.00
		Transverse stiffened plating	1.10	1.00	1.00
	Transverse boundaries of ballast water tanks Transverse boundaries between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo		1.15	0.00	1.15
	Other members		1.00	0.00	1.00
	Longitudinal watertight boundaries ¹⁾	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.50	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.00	1.15
Other watertight boundaries ¹⁾		1.15	0.00	1.15	

1) Only applicable for flooding pressure

Donde:

$$a = 11570 \text{ mm} (\text{distancia del bao, desde crujía hasta el mamparo long})$$

$$b = 360 \text{ mm} (\text{altura del refuerzo, ver 6.3.2.1.2})$$

$$\alpha_a = 0,5$$

$$\beta_a = 1,25$$

$$\alpha_p = 1 (\text{no se tomará superior a 1})$$

$$C_{a-max} = 1,15$$

$$C_a = 0,57$$

Utilizando la presión de la cubierta, se calcula el espesor con la expresión indicada previamente:

$$|P_{cubierta}| = 61,62 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto:

$$t = 3,83 \text{ mm}$$

6.3.2.1.2 Módulo Mínimo

El módulo viene dado por la siguiente expresión:

2 Primary supporting members

2.1 Scantling requirements

2.1.1 Section modulus

The section modulus, in cm^3 , of primary supporting members subjected to lateral pressure shall not be taken less than the greatest value for all applicable design load sets defined in [Sec.2 \[2\]](#), given by:

$$Z = 1000 \frac{|P| s e_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s R_e H}$$

Donde:

- $|P|$ es la presión de la zona de estudio:

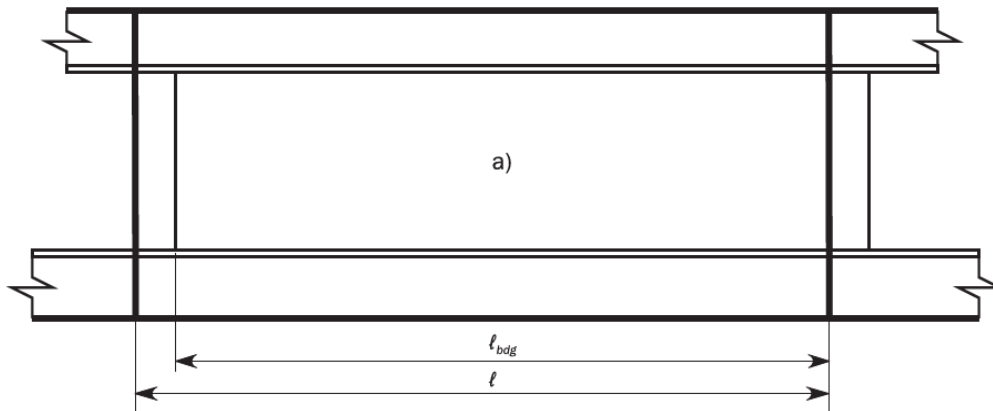
$$|P_{cubierta}| = 61,62 \frac{kN}{m^2}$$

- "s" es la separación de las bulárcamas:

$$s = 3500 \text{ mm}$$

- l_{bdg} es el tramo de flexión efectivo, el cual no será la separación entre refuerzos primarios. Se considerará un 95% de esta separación, de modo que:

$$l_{bdg} = 95\% * s$$



$$l_{bdg} = 0,95 * 3,5 = 3,325 \text{ m}$$

- C_s coeficiente elástico permisible:

C_s = permissible stress coefficient to be taken as:

$C_s = 0.70$ for AC-I

$C_s = 0.85$ for AC-II and AC-III.

$$C_s = 0,85$$

- R_{eH} límite elástico del acero naval

$$R_{eH} = 235 \text{ MPa}$$

- f_{bdg} se obtiene de la siguiente tabla:

Table 1 Definition of bending moment and shear force factors, f_{bdg} and f_{shr}

Load and boundary condition				Bending moment and shear force distribution factors (based on load at mid span, where load varies)		
Position				1	2	3
Load model	1 Support	2 Field	3 Support	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} -	f_{bdg3} f_{shr3}
A				12.0 0.50	24.0 -	12.0 0.50

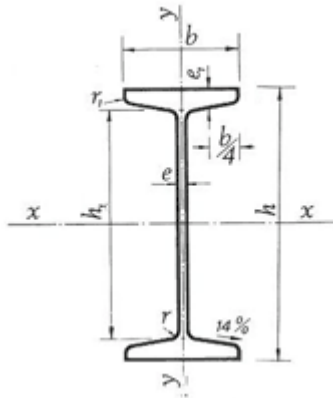
$$f_{bdg} = 12$$

Con todos estos datos, se calcula el módulo mínimo para los baos:

$$Z = 994,8 \text{ cm}^3$$

Para el caso de los baos, se escogerá un perfil de doble T que cumpla con el módulo calculado, y se comprobará que cumpla con el espesor indicado en el apartado anterior. Entrando en catálogo, se tiene el siguiente perfil:

IPN	Dimensiones (mm)						Sección A(cm ²)	Peso P(Kg/m)	Referido eje x-x			Referido eje y-y			u m ² /m	IPN
	h	b	e,r	e1	r1	h1			Ix(cm ⁴)	Wx(cm ³)	ix(cm)	Iy(cm ⁴)	Wy(cm ³)	iy(cm)		
360	360	143	13,0	19,5	7,8	290	97,1	76,2	19610	1090	14,2	818	114	2,90	1,208	360



Como se puede comprobar, cumple con el espesor y módulo mínimo.

6.3.2.2 Varengas (Fondo y Doble Fondo)

Se realizarán los siguientes cálculos:

6.3.2.2.1 Espesor

- Espesor Mínimo-Pt.3 Ch.6 Sec.3

En primer lugar, se calculará el espesor de las Varengas de la siguiente manera:

3 Primary supporting members

3.1 Minimum thickness requirements

3.1.1 The net thickness of web plating and flange of primary supporting members in mm, shall not be taken less than:

$$t = a + bL_2\sqrt{k}$$

where:

a = coefficient as defined in Table 3

b = coefficient as defined in Table 3.

De la tabla 3:

Table 3 Minimum net thickness for primary supporting members

Element	a	b
Bottom centreline girder and lower strake of centreline wash bulkhead	5.0	0.03
Other bottom girders	5.0	0.017
Floors	5.0	0.015
PSM supporting side shell, ballast tank, cargo tank and hold intended for cargo in bulk ^{2),3)}	4.5	0.015
Other PSM	4.5	0.01
PSM in peak tanks	5.0	0.025 ¹⁾
1) The value of bL_2 does not need to be greater than 5.0. 2) For stringers in double side next to dry space not intended for cargo in bulk, the value of bL_2 does not need to be taken greater than 2.5. 3) Other specific requirements related to ship types are given in Pt.5.		

Donde:

$$a = 5$$

$$b = 0,03$$

$$L_2 = L_{sc} = 129,321m$$

$$k = 1$$

Por tanto:

$$t_{min} = 8,88 mm$$

- Espesor en función de la presión-Pt.3 Ch.6 Sec.4

Se calculará de la siguiente manera:

1 Plating subjected to lateral pressure

1.1 General

1.1.1 Plating

The net thickness, in mm, shall not be taken less than the greatest value for all applicable design load sets, as defined in Sec.2 [2.1.3], given by:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

where:

C_a = permissible bending stress coefficient for plate taken equal to:

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}} \quad \text{not to be taken greater than } C_{a-max}$$

β_a = coefficient as defined in Table 1

α_a = coefficient as defined in Table 1

C_{a-max} = maximum permissible bending stress coefficient as defined in Table 1.

Donde como se ha visto:

α_p = correction factor for the panel aspect ratio to be taken as follows but not to be taken greater than 1.0:

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1 a}$$

Table 1 Plating, definition of β_a , α_a and C_{a-max}

Acceptance criteria	Structural member	β_a	α_a	C_{a-max}	
AC-I	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	0.90	0.50	0.80
		Transverse stiffened plating	0.90	1.00	0.80
	Other members		0.80	0.00	0.80
AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95
AC-III	Longitudinal bulkhead members including possible bench structures between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.5	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.0	1.15
	Other longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.10	0.50	1.00
		Transverse stiffened plating	1.10	1.00	1.00
	Transverse boundaries of ballast water tanks				
	Transverse boundaries between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo		1.15	0.00	1.15
	Other members		1.00	0.00	1.00
	Longitudinal watertight boundaries ¹⁾	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.50	1.15
Transverse stiffened plating		1.15	1.00	1.15	
Other watertight boundaries ¹⁾		1.15	0.00	1.15	

1) Only applicable for flooding pressure

Donde:

$$a = 4000\text{mm}$$

$$b = 500\text{ mm}(\text{separación longitudinales})$$

$$\alpha_a = 0,5$$

$$\beta_a = 1,25$$

$$\alpha_p = 1(\text{no se tomará superior a 1})$$

$$C_{a-max} = 0,95$$

$$C_a = 0,57$$

“a” es el lado largo del refuerzo mientras que b sería el corto, para este caso, el lado largo es la separación entre vagras y b, debería ser la altura del doble fondo, pero se dispone de un refuerzo en la mitad de la varenga para acortar la luz de este refuerzo, ya que si se pone como lado corto la altura del doble fondo, se tendría un espesor muy elevado.

Utilizando la presión de la cubierta, se calcula el espesor con la expresión indicada previamente:

$$|P_{fondo}| = 202,9 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto:

$$t = 9,65\text{ mm}$$

6.3.2.2.2 Módulo Mínimo

El módulo viene dado por la siguiente expresión:

2 Primary supporting members

2.1 Scantling requirements

2.1.1 Section modulus

The section modulus, in cm^3 , of primary supporting members subjected to lateral pressure shall not be taken less than the greatest value for all applicable design load sets defined in Sec.2 [2], given by:

$$Z = 1000 \frac{|P| s^2 l_{bdg}}{f_{bdg} C_s R_{eH}}$$

Donde:

- $|P|$ es la presión de la zona de estudio:

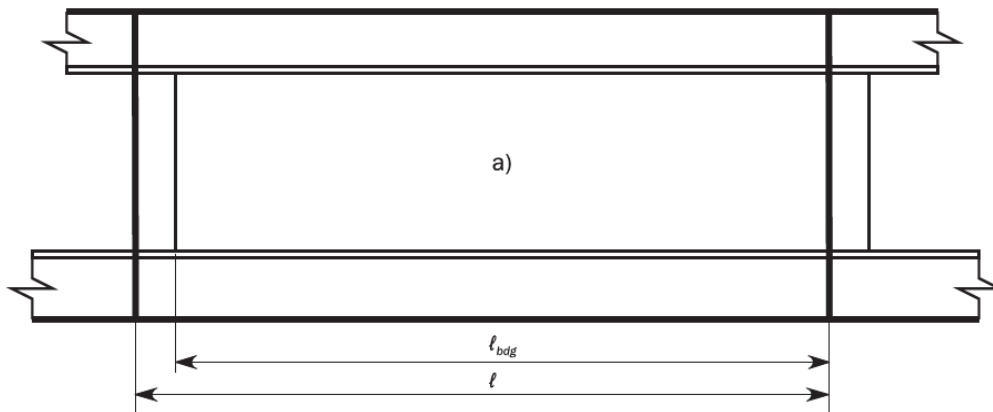
$$|P_{fondo}| = 202,9 \frac{kN}{m^2}$$

- "s" es la separación de las bulárcamas:

$$s = 3500\text{ mm}$$

- l_{bdg} es el tramo de flexión efectivo, el cual no será la separación entre refuerzos primarios. Se considerará un 95% de esta separación, de modo que:

$$l_{bdg} = 95\% * s$$



$$l_{bdg} = 0,95 * 3,5 = 3,325 \text{ m}$$

- C_s coeficiente elástico permisible:

C_s = permissible stress coefficient to be taken as:
 $C_s = 0.70$ for AC-I
 $C_s = 0.85$ for AC-II and AC-III.

$$C_s = 0,85$$

- R_{eH} límite elástico del acero naval

$$R_{eH} = 235 \text{ MPa}$$

- f_{bdg} se obtiene de la siguiente tabla:

Table 1 Definition of bending moment and shear force factors, f_{bdg} and f_{shr}

Load and boundary condition				Bending moment and shear force distribution factors (based on load at mid span, where load varies)		
Position				1	2	3
Load model	1 Support	2 Field	3 Support	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} -	f_{bdg3} f_{shr3}
A				12.0 0.50	24.0 -	12.0 0.50

$$f_{bdg} = 12$$

Con todos estos datos, se calcula el módulo mínimo para las varengas:

$$Z = 3275,381 \text{ cm}^3$$

6.3.2.3 Vagras (Fondo y Doble Fondo)

Se realizarán los siguientes cálculos:

6.3.2.3.1 Espesor

- Espesor Mínimo-Pt.3 Ch.6 Sec.3

En primer lugar, se calculará el espesor de las Varengas de la siguiente manera:

3 Primary supporting members

3.1 Minimum thickness requirements

3.1.1 The net thickness of web plating and flange of primary supporting members in mm, shall not be taken less than:

$$t = a + bL_2\sqrt{k}$$

where:

a = coefficient as defined in Table 3

b = coefficient as defined in Table 3.

De la tabla 3:

Table 3 Minimum net thickness for primary supporting members

Element	a	b
Bottom centreline girder and lower strake of centreline wash bulkhead	5.0	0.03
Other bottom girders	5.0	0.017
Floors	5.0	0.015
PSM supporting side shell, ballast tank, cargo tank and hold intended for cargo in bulk ^{2),3)}	4.5	0.015
Other PSM	4.5	0.01
PSM in peak tanks	5.0	0.025 ¹⁾
1) The value of bL_2 does not need to be greater than 5.0. 2) For stringers in double side next to dry space not intended for cargo in bulk, the value of bL_2 does not need to be taken greater than 2.5. 3) Other specific requirements related to ship types are given in Pt.5.		

Donde:

$$a = 5$$

$$b = 0,03$$

$$L_2 = L_{sc} = 129,321 \text{ m}$$

$$k = 1$$

Por tanto:

$$t_{min} = 8,88 \text{ mm}$$

- Espesor en función de la presión-Pt.3 Ch.6 Sec.4

Se calculará de la siguiente manera:

1 Plating subjected to lateral pressure

1.1 General

1.1.1 Plating

The net thickness, in mm, shall not be taken less than the greatest value for all applicable design load sets, as defined in Sec.2 [2.1.3], given by:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

where:

C_a = permissible bending stress coefficient for plate taken equal to:

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}} \quad \text{not to be taken greater than } C_{a-max}$$

β_a = coefficient as defined in Table 1

α_a = coefficient as defined in Table 1

C_{a-max} = maximum permissible bending stress coefficient as defined in Table 1.

Donde como se ha visto:

α_p = 1.0: correction factor for the panel aspect ratio to be taken as follows but not to be taken greater than

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1 a}$$

Table 1 Plating, definition of β_a , α_a and C_{a-max}

Acceptance criteria	Structural member	β_a	α_a	C_{a-max}	
AC-I	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	0.90	0.50	0.80
		Transverse stiffened plating	0.90	1.00	0.80
	Other members		0.80	0.00	0.80
AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95
AC-III	Longitudinal bulkhead members including possible bench structures between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.5	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.0	1.15
	Other longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.10	0.50	1.00
		Transverse stiffened plating	1.10	1.00	1.00
	Transverse boundaries of ballast water tanks Transverse boundaries between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo		1.15	0.00	1.15
	Other members		1.00	0.00	1.00
	Longitudinal watertight boundaries ¹⁾	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.50	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.00	1.15
Other watertight boundaries ¹⁾		1.15	0.00	1.15	

1) Only applicable for flooding pressure

Donde:

$$a = 3500 \text{ mm} (\text{separación bulárcamas})$$

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$\alpha_a = 0,5$$

$$\beta_a = 1,25$$

$$\alpha_p = 0,927891 (\text{no se tomará superior a } 1)$$

$$C_{a-max} = 0,95$$

$$C_a = 0,57$$

Utilizando la presión de la cubierta, se calcula el espesor con la expresión indicada previamente:

$$|P_{fondo}| = 202,9 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto:

$$t = 9,65 \text{ mm}$$

El valor de b, lado corto, se toma de 500mm por el mismo razonamiento que en las varengas.

En caso de poner una vagra sin el elemento que haga que se acorte la luz del refuerzo, el espesor en lugar de casi 10mm como se tiene, se necesitarían vagras con un espesor del orden de 35mm.

6.3.2.3.2 Módulo Mínimo

El módulo viene dado por la siguiente expresión:

2 Primary supporting members

2.1 Scantling requirements

2.1.1 Section modulus

The section modulus, in cm^3 , of primary supporting members subjected to lateral pressure shall not be taken less than the greatest value for all applicable design load sets defined in Sec.2 [2], given by:

$$Z = 1000 \frac{|P| s^2 t_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s R_{eH}}$$

Donde:

- $|P|$ es la presión de la zona de estudio:

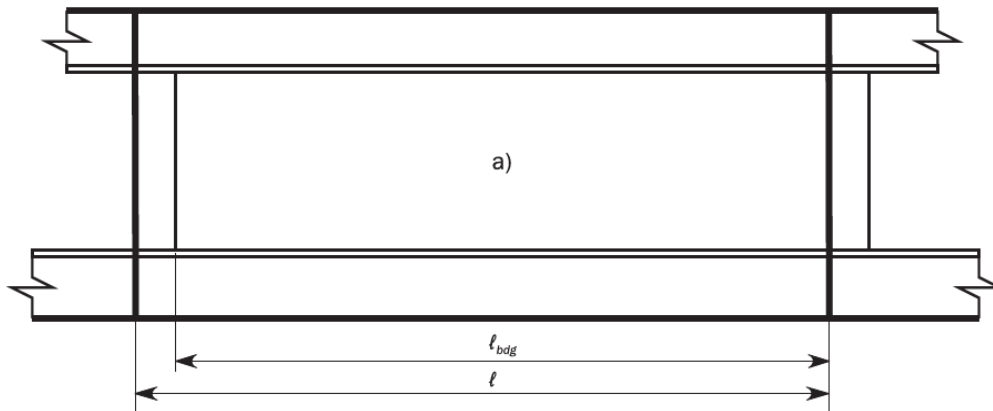
$$|P_{fondo}| = 202,9 \frac{kN}{m^2}$$

- "s" es la separación de las bulárcamas:

$$s = 3500 \text{ mm}$$

- l_{bdg} es el tramo de flexión efectivo, el cual no será la separación entre refuerzos primarios. Se considerará un 95% de esta separación, de modo que:

$$l_{bdg} = 95\% * s$$



$$l_{bdg} = 0,95 * 3,5 = 3,325 \text{ m}$$

- C_s coeficiente elástico permisible:

C_s = permissible stress coefficient to be taken as:

$C_s = 0.70$ for AC-I

$C_s = 0.85$ for AC-II and AC-III.

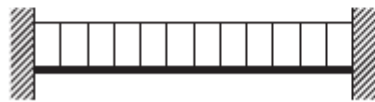
$$C_s = 0,85$$

- R_{eH} límite elástico del acero naval

$$R_{eH} = 235 \text{ MPa}$$

- f_{bdg} se obtiene de la siguiente tabla:

Table 1 Definition of bending moment and shear force factors, f_{bdg} and f_{shr}

Load and boundary condition				Bending moment and shear force distribution factors (based on load at mid span, where load varies)		
Position				1	2	3
Load model	1 Support	2 Field	3 Support	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} -	f_{bdg3} f_{shr3}
A				12.0 0.50	24.0 -	12.0 0.50

$$f_{bdg} = 12$$

Con todos estos datos, se calcula el módulo mínimo para las vagras:

$$Z = 3275,381 \text{ cm}^3$$

6.3.2.4 Bulárcamas (Costado)

Se realizarán los siguientes cálculos:

6.3.2.4.1 Espesor

- Espesor Mínimo-Pt.3 Ch.6 Sec.3

En primer lugar, se calculará el espesor de las Varengas de la siguiente manera:

3 Primary supporting members

3.1 Minimum thickness requirements

3.1.1 The net thickness of web plating and flange of primary supporting members in mm, shall not be taken less than:

$$t = a + bL_2\sqrt{k}$$

where:

a = coefficient as defined in Table 3

b = coefficient as defined in Table 3.

De la tabla 3:

Table 3 Minimum net thickness for primary supporting members

Element	a	b
Bottom centreline girder and lower strake of centreline wash bulkhead	5.0	0.03
Other bottom girders	5.0	0.017
Floors	5.0	0.015
PSM supporting side shell, ballast tank, cargo tank and hold intended for cargo in bulk ^{2),3)}	4.5	0.015
Other PSM	4.5	0.01
PSM in peak tanks	5.0	0.025 ¹⁾
1) The value of bL_2 does not need to be greater than 5.0. 2) For stringers in double side next to dry space not intended for cargo in bulk, the value of bL_2 does not need to be taken greater than 2.5. 3) Other specific requirements related to ship types are given in Pt.5.		

Donde:

$$a = 4,5$$

$$b = 0,015$$

$$L_2 = L_{sc} = 129,321 \text{ m}$$

$$k = 1$$

Por tanto:

$$t_{min} = 6,44 \text{ mm}$$

- Espesor en función de la presión-Pt.3 Ch.6 Sec.4

Se calculará de la siguiente manera:

1 Plating subjected to lateral pressure

1.1 General

1.1.1 Plating

The net thickness, in mm, shall not be taken less than the greatest value for all applicable design load sets, as defined in Sec.2 [2.1.3], given by:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

where:

C_a = permissible bending stress coefficient for plate taken equal to:

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}} \quad \text{not to be taken greater than } C_{a-max}$$

β_a = coefficient as defined in Table 1

α_a = coefficient as defined in Table 1

C_{a-max} = maximum permissible bending stress coefficient as defined in Table 1.

Donde como se ha visto:

α_p = 1.0: correction factor for the panel aspect ratio to be taken as follows but not to be taken greater than

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1 a}$$

Table 1 Plating, definition of β_a , α_a and C_{a-max}

Acceptance criteria	Structural member	β_a	α_a	C_{a-max}	
AC-I	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	0.90	0.50	0.80
		Transverse stiffened plating	0.90	1.00	0.80
	Other members		0.80	0.00	0.80
AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95
AC-III	Longitudinal bulkhead members including possible bench structures between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.5	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.0	1.15
	Other longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.10	0.50	1.00
		Transverse stiffened plating	1.10	1.00	1.00
	Transverse boundaries of ballast water tanks		1.15	0.00	1.15
	Transverse boundaries between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo				
	Other members		1.00	0.00	1.00
	Longitudinal watertight boundaries ¹⁾	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.50	1.15
Transverse stiffened plating		1.15	1.00	1.15	
Other watertight boundaries ¹⁾		1.15	0.00	1.15	

1) Only applicable for flooding pressure

Donde:

$$a = 9570 \text{ mm} (\text{altura del DF a la cubierta})$$

$$b = 450 \text{ mm} (\text{longitud del refuerzo, ver 6.3.2.4.2})$$

$$\alpha_a = 0,5$$

$$\beta_a = 1,25$$

$$\alpha_p = 1 (\text{no se tomará superior a 1})$$

$$C_{a-max} = 1,15$$

$$C_a = 0,57$$

Utilizando la presión de la cubierta, se calcula el espesor con la expresión indicada previamente:

$$|P_{costado}| = 202,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Por tanto:

$$t = 8,68 \text{ mm}$$

6.3.2.4.2 Módulo Mínimo

El módulo viene dado por la siguiente expresión:

2 Primary supporting members

2.1 Scantling requirements

2.1.1 Section modulus

The section modulus, in cm^3 , of primary supporting members subjected to lateral pressure shall not be taken less than the greatest value for all applicable design load sets defined in [Sec.2 \[2\]](#), given by:

$$Z = 1000 \frac{|P| s e_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s R_{eH}}$$

Donde:

- $|P|$ es la presión de la zona de estudio:

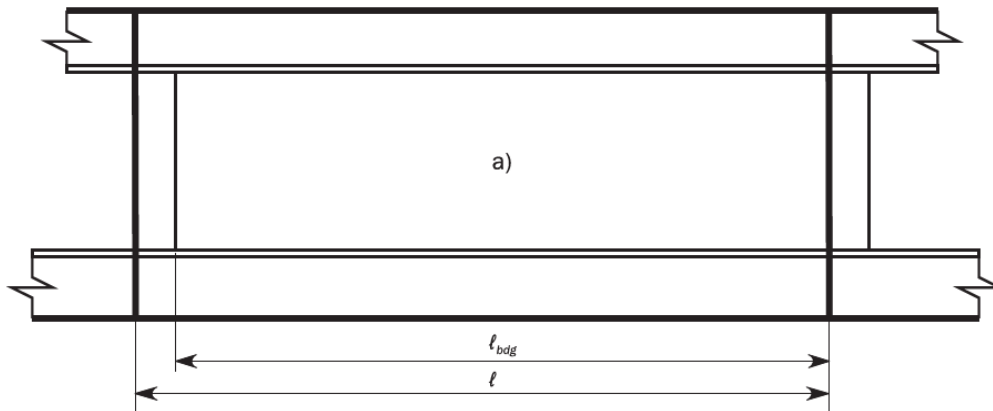
$$|P_{fondo}| = 202,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- "s" es la separación de las bulárcamas:

$$s = 3500 \text{ mm}$$

- l_{bdg} es el tramo de flexión efectivo, el cual no será la separación entre refuerzos primarios. Se considerará un 95% de esta separación, de modo que:

$$l_{bdg} = 95\% * s$$



$$l_{bdg} = 0,95 * 3,5 = 3,325 \text{ m}$$

- C_s coeficiente elástico permisible:

C_s = permissible stress coefficient to be taken as:

$C_s = 0.70$ for AC-I

$C_s = 0.85$ for AC-II and AC-III.

$$C_s = 0,85$$

- R_{eH} límite elástico del acero naval

$$R_{eH} = 235 \text{ MPa}$$

- f_{bdg} se obtiene de la siguiente tabla:

Table 1 Definition of bending moment and shear force factors, f_{bdg} and f_{shr}

Load and boundary condition				Bending moment and shear force distribution factors (based on load at mid span, where load varies)		
Position				1	2	3
Load model	1 Support	2 Field	3 Support	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} -	f_{bdg3} f_{shr3}
A				12.0 0.50	24.0 -	12.0 0.50

$$f_{bdg} = 24$$

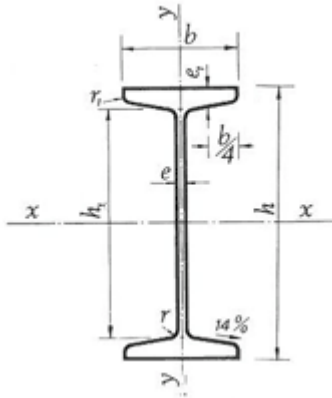
Con todos estos datos, se calcula el módulo mínimo para las vagras:

$$Z = 1937,69 \text{ cm}^3$$

De la misma manera que para los baos, para el dimensionamiento de las bulárcamas se escogerá un perfil de doble T que cumpla con el módulo calculado, y se comprobará que cumpla con el espesor indicado en el apartado anterior.

Entrando en catálogo, se tiene el siguiente perfil:

IPN	Dimensiones (mm)						Sección	Peso	Referido eje x-x			Referido eje y-y			u	IPN
	h	b	e,r	e1	r1	h1			A(cm ²)	P(Kg/m)	Ix(cm ⁴)	Wx(cm ³)	ix(cm)	Iy(cm ⁴)		
450	450	170	16,2	24,3	9,7	363	147	115	45850	2040	17,7	1730	203	3,43	1,478	450



Como se puede comprobar, cumple con el espesor y módulo mínimo.

6.3.2.4.3 Características refuerzos Primarios

A continuación, se muestran las dimensiones calculadas de los refuerzos primarios:

ELEMENTO	t(mm)	Z(cm ³)	ALTURA (cm)
BAOS	13	1090	36
VARENGAS	9,65	3275,38075	200
VAGRAS	9,65	3275,38075	200
BULÁRCAMAS	16,2	1637,69	45

6.4 Módulo Mínimo

A continuación, se calcula el módulo mínimo de la cuaderna maestra de la siguiente manera propuesta en la sociedad de clasificación:

Según DNV Pt.3 Ch.5 Sec.2, se tiene:

1.3 Minimum section modulus at midship part

The gross section modulus, in m^3 , at equivalent deck line as defined in [1.2.3], and bottom at midship part shall not be less than the value obtained from the following formula:

$$Z_{R-gr} = k \left(\frac{1+f_r}{2} \right) C_{w0} L^2 B (C_B + 0.7) 10^{-6}$$

where:

- f_r = reduction factor related to service restrictions, defined in Ch.4 Sec.3.
- C_{w0} = wave parameter taken as:
 - = C_w for $L > 90$ m
 - = $5.7 + 0.0222L$ for $L \leq 90$ m

Donde:

Lsc	129,321	m
Bsc	38,7	m
k	1	
Cw	8,53	
Cbsc	0,863	
f_r	1	

Con estos datos, se tiene el siguiente módulo mínimo:

Z_R-gr	8,63	m ³
--------	------	----------------

6.5 Comprobación Módulo

A continuación, se calcula el módulo real de la sección que se ha seleccionado como cuaderna maestra, utilizando los datos obtenidos de los refuerzos y los espesores de chapa.

La formulación empleada para este cálculo es la siguiente:

- Inercia respecto de la línea base del buque

$$I_0 = \sum A_i x Z_{Gi}^2 + \sum I_{fi}$$

- Posición del eje neutro respecto del fondo

$$e_B = \frac{\sum A_i x Z_{Gi}}{\sum A}$$

- Posición del eje neutro respecto de cubierta

$$e_D = D - e_B$$

- Inercia respecto del eje neutro

$$I = I_0 - \sum A x e_B^2$$

- Módulo del fondo

$$W_B = \frac{I}{e_B}$$

- Módulo en cubierta

$$W_D = \frac{I}{e_D}$$

Los cálculos están en el ANEXO

Los resultados de este cálculo son los siguientes:

INERCIA RESPECTO DE LA LÍNEA BASE	10229,220	m ⁴
ÁREA TOTAL	119,180	m ²
POSICIÓN EJE NEUTRO RESPECTO LB	3,368	m
POSICIÓN EJE NEUTRO EN CUBIERTA	8,202	m
INERCIA EJE NEUTRO	8877,480	m ⁴
MÓDULO CUBIERTA	1082,328	m ³
MÓDULO FONDO	2635,993	m ³

La comprobación de si es válido el módulo calculado es la siguiente:

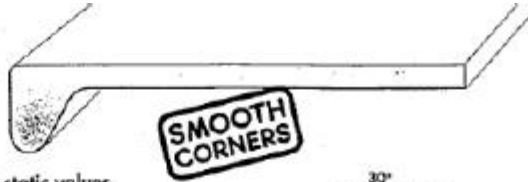
ZONA	MÓDULO MÍNIMO	MÓDULO CALCULADO	VERIFICACIÓN
CUBIERTA	8,63	1082,33	VÁLIDO
FONDO	8,63	2635,99	VÁLIDO

Como se puede ver, los dos módulos calculados para el fondo y la cubierta son válidos.

7 ANEXO

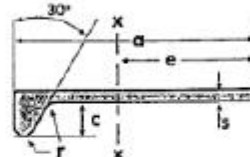
7.1 Perfil

Bulb Flats



Dimension range, weight/m and static values

Width a mm	Thickness s mm	Height c mm	Radius r mm	Area A cm ²	Weight kg/m	e cm	I _x cm ⁴	W _x * cm ³
60	4	13	3.5	3.58	2.81	3.82	12.2	13
	5	13	3.5	4.18	3.28	3.70	14.1	14
	6	13	3.5	4.78	3.75	3.62	16.4	16
80	5	14	4	5.40	4.24	4.89	33.6	23
	6	14	4	6.20	4.87	4.78	39.0	25
	7	14	4	7.00	5.50	4.69	43.3	27
Delivery by special agreement: Standard lengths 6-12 m								
100	6	15.5	4.5	7.74	6.08	5.93	76.1	38
	7	15.5	4.5	8.74	6.86	5.87	85.2	41
	8	15.5	4.5	9.74	7.65	5.78	94.2	45
120	6	17	5	9.31	7.31	7.20	133	54
	7	17	5	10.5	8.23	7.07	148	59
	8	17	5	11.7	9.19	6.96	164	63
140	7	19	5.5	12.4	9.74	8.31	241	80
	8	19	5.5	13.8	10.8	8.18	266	87
	9	19	5.5	15.2	11.9	8.07	291	93
160	7	22	6	14.6	11.4	9.66	373	110
	8	22	6	16.2	12.7	9.49	411	118
	9	22	6	17.8	14.0	9.34	448	126
180	8	25	7	18.9	14.8	10.9	609	157
	9	25	7	20.7	16.2	10.7	663	166
	10	25	7	22.5	17.6	10.6	717	177
200	9	28	8	23.6	18.5	12.1	941	225
	10	28	8	25.6	20.1	11.9	1020	237
	11.5	28	8	28.6	22.5	11.7	1126	253
220	10	31	9	29.0	22.8	13.4	1400	302
	11.5	31	9	32.3	25.4	13.1	1550	323
240	10	34	10	32.4	25.4	14.7	1860	368
	11	34	10	34.9	27.4	14.6	2000	391
	12	34	10	37.3	29.3	14.4	2130	405
260	10	37	11	36.1	28.3	16.2	2477	455
	11	37	11	38.7	30.3	16.0	2610	474
	12	37	11	41.3	32.4	15.8	2770	493
280	11	40	12	42.6	33.5	17.4	3330	566
	12	40	12	45.5	35.7	17.2	3590	590
300	11	43	13	46.7	34.7	18.9	4190	671
	12	43	13	49.2	36.0	18.7	4460	701
	13	43	13	52.8	41.5	18.5	4720	728
320	12	46	14	54.2	42.5	20.1	5590	819
	13	46	14	57.4	45.0	19.9	5850	849
340	12	49	15	58.8	46.1	21.5	6760	947
	14	49	15	63.5	51.5	21.1	7540	1014
370	13	53.5	16.5	69.6	54.6	23.5	9470	1210
	15	53.5	16.5	77.0	60.8	23.6	10490	1278
400	14	58	18	81.4	63.9	25.5	12930	1580
	16	58	18	89.4	70.2	25.0	14720	1666
430	15	62.5	19.5	94.1	73.9	27.4	17940	1935
	17	62.5	19.5	103.0	80.6	26.9	18840	2034



Standard lengths

6-18 m.

Other lengths by special agreement

Plate cross sectional area 60 cm²

Orders

must include the following measurements:
a x s.

Plate cross sectional area 100 cm²

Plate cross sectional area 150 cm²

* Inclusive plate as noted

7.2 Cálculos Inercia

7.2.1 Refuerzos Secundarios

REFUERZOS	TIPO DE REFUERZO	Nº	A_REFUERZO	A_TOTAL	Z_G	A*Z_G	A*Z_G ²	I_p	I_t	I_t_TOTAL	
FONDO Y DOBLE FONDO	Longitudinales fondo	240x11	80	0,00349	0,2792	0,141	0,00049209	6,93847E-05	0,2477	0,247769385	80,24776938
	Longitudinales doble fondo	260x10	89	0,00361	0,32129	1,749	0,00631389	0,011042994	0,2	0,211042994	89,21104299
COSTADO Y MAMP LONG	Longitudinales Costado 1	280x12	6	0,00455	0,0273	2,562	0,0116571	0,02986549	0,355	0,38486549	6,38486549
	Longitudinales Costado 2	280x12	6	0,00455	0,0273	3,112	0,0141596	0,040064675	0,355	0,399064675	6,399064675
	Longitudinales Costado 3	280x12	6	0,00455	0,0273	3,662	0,0166621	0,06101661	0,355	0,41601661	6,41601661
	Longitudinales Costado 4	280x12	6	0,00455	0,0273	4,212	0,0191646	0,080721295	0,355	0,435721295	6,435721295
	Longitudinales Costado 5	280x12	6	0,00455	0,0273	4,762	0,0216671	0,1017873	0,355	0,45817873	6,45817873
	Longitudinales Costado 6	280x12	6	0,00455	0,0273	5,312	0,0241696	0,128388915	0,355	0,483388915	6,483388915
	Longitudinales Costado 7	280x12	6	0,00455	0,0273	5,862	0,0266721	0,15635185	0,355	0,51135185	6,51135185
	Longitudinales Costado 8	280x12	6	0,00455	0,0273	6,412	0,0291746	0,187067535	0,355	0,542067535	6,542067535
	Longitudinales Costado 9	280x12	6	0,00455	0,0273	6,962	0,0316771	0,22053997	0,355	0,57553997	6,57553997
	Longitudinales Costado 10	280x12	6	0,00455	0,0273	7,512	0,0341796	0,256757155	0,355	0,611757155	6,611757155
	Longitudinales Costado 11	280x12	6	0,00455	0,0273	8,062	0,0366821	0,29573109	0,355	0,65073109	6,65073109
	Longitudinales Costado 12	280x12	6	0,00455	0,0273	8,612	0,0391846	0,337457775	0,355	0,692457775	6,692457775
	Longitudinales Costado 13	280x12	6	0,00455	0,0273	9,162	0,0416871	0,38193721	0,355	0,73693721	6,73693721
	Longitudinales Costado 14	280x12	6	0,00455	0,0273	9,712	0,0441896	0,429169395	0,355	0,784169395	6,784169395
	Longitudinales Costado 15	280x12	6	0,00455	0,0273	10,262	0,0466921	0,47915433	0,355	0,83415433	6,83415433
CUBIERTA	Longitudinales Cubierta	220x10	47	0,0029	0,1363	11,338	0,0328802	0,372795708	0,14	0,512795708	47,51279571

7.2.2 Refuerzos Primarios

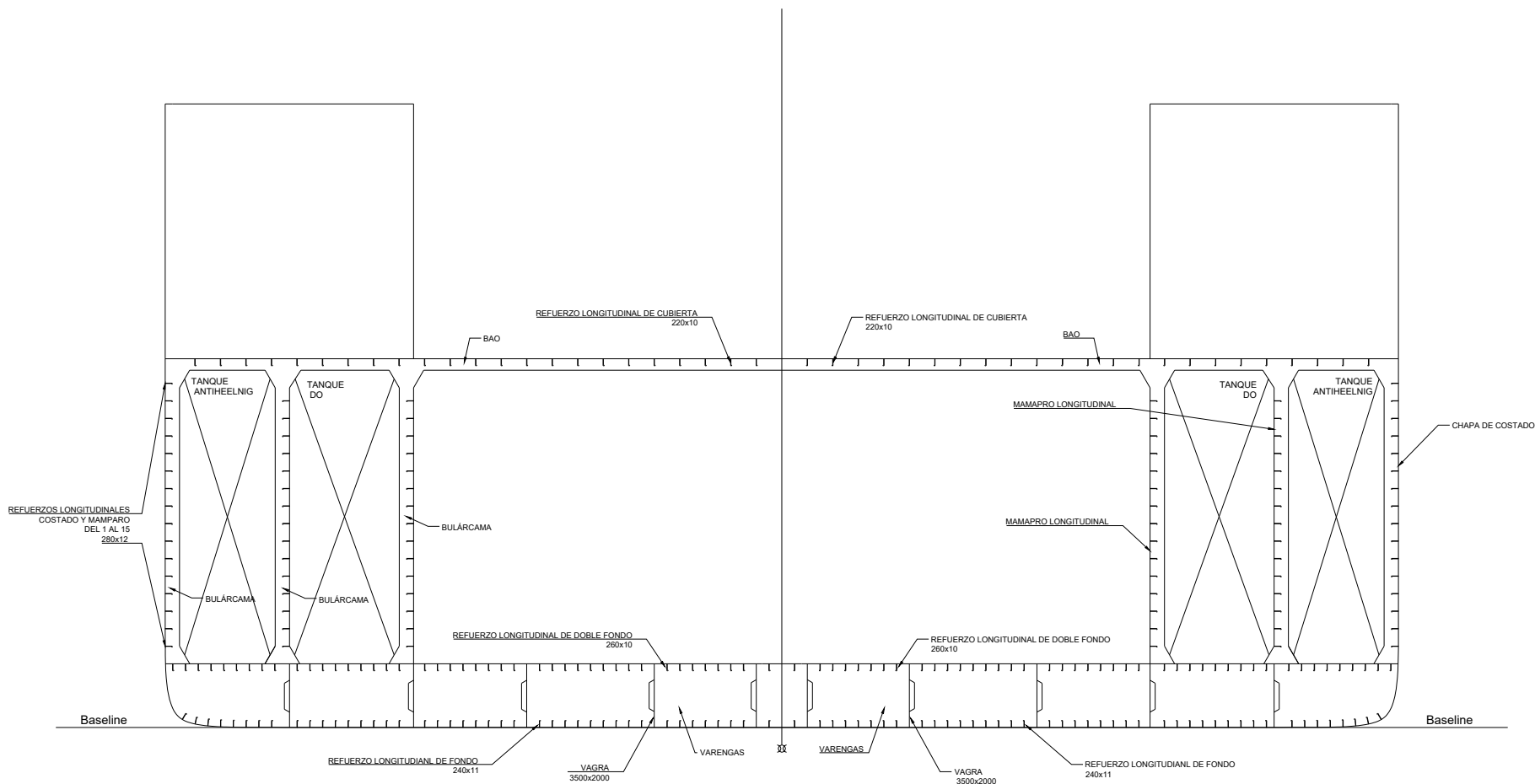
REFUERZOS	Nº	L_y	L_x	A	Z_G	A*Z_G	A*Z_G ²	I_p	I_t	I_t_TOTAL	
FONDO Y DOBLE FONDO	CHAPA DE FONDO	2	19,35	0,011	0,21285	0,0055	0,001170675	6,43871E-06	2,14624E-06	8,58495E-06	1,71609E-05
	CHAPA DE DOBLE FONDO	2	11,55	0,011	0,12705	2,0055	0,51098943	1,28109E-06	0,511000224	1,022000449	
	VAGRAS	10	0,009648399	2	0,019296797	1,011	0,019509062	0,019723662	0,006432266	0,026155928	0,261559277
	VARENGAS	11	4	2	8	1,011	8,088	8,176968	2,666666667	10,84363467	119,2799813
CUBIERTA	CHAPA DE CUBIERTA	2	19,35	0,012	0,2322	11,564	2,6851608	31,05119949	2,7864E-06	31,05120228	62,10240456
	BAOS	2	19,35	0,36	6,966	11,378	79,259148	901,8105859	0,0752328	901,8858187	1803,771637
COSTADOS Y MAMP	CHAPA COSTADO	2	0,015	11,57	0,17355	5,785	1,00398675	5,808063349	1,936021116	7,744084465	15,48816893
	BILÁRCANA	6	4,5	9,57	43,065	4,785	206,066025	986,0259296	328,6753099	1314,70124	7888,207437
	CHAPA MAMPARO LONG	4	0,015	9,57	0,14355	5,785	0,83043675	4,804076599	1,05584366	5,899660965	23,59864386

7.2.3 Resultados Finales

INERCIA RESPECTO DE LA LÍNEA BASE	10229,220	m ⁴
ÁREA TOTAL	119,180	m ²
POSICIÓN EJE NEUTRO RESPECTO LB	3,368	m
POSICIÓN EJE NEUTRO EN CUBIERTA	8,202	m
INERCIA EJE NEUTRO	8877,480	m ⁴
MÓDULO CUBIERTA	1082,328	m ³
MÓDULO FONDO	2635,993	m ³

ZONA	MÓDULO MÍNIMO	MÓDULO CALCULADO	VERIFICACIÓN
CUBIERTA	8,63	1082,33	VÁLIDO
FONDO	8,63	2635,99	VÁLIDO

7.3 Plano Cuaderna Maestra



- ESPEORES
- CHAPA DE FONDO..... 11mm
 - CHAPA DE DOBLE FONDO..... 11 mm
 - CHAPA DE COSTADO..... 15 mm
 - CHAPA DE MAMPAROS LONG..... 15 mm
 - CHAPA DE CUBIERTA..... 12 mm
 - VAGRAS..... 9,65 mm
 - VARENGAS..... 9,65 mm

ESCALA	SISTEMA		SISTEMA		FORMATO	CUADERNA MAESTRA
1:200					UNE A-4	
AUTOR	NOMBRE		FECHA	FIRMA		
COMPROBADO	MELO BELLO, ANTONIO			AMB		
DIRECTOR PROYECTO	MÍGUEZ GONZÁLEZ, MARCOS					HOJA 1 DE 1