



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

PROYECTO FIN DE GRADO

LNG TANKER 35000 m³ PARA PROPÓSITOS DE

BUNKERING N° 16-14

Autor: Juan González Santomé

Tutor del proyecto: Fernando Lago Rodríguez

CUADERNO 8:

CUADERNA MAESTRA





DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL

CURSO 2.015-2016

PROYECTO NÚMERO 16 - 14

TIPO DE BUQUE : Gasero LNG

CLASIFICACIÓN , COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN : NK NS (LNG tipo 2G)
SOLAS MARPOL CIG

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: Carga refrigerada, 35.000 M3

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA : 18 nudos al 85% MCR y 10 % MM

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA : De acuerdo con el proyecto..

PROPULSIÓN : Diesel eléctrica dual fuel. Dos líneas de ejes

TRIPULACIÓN Y PASAJE : 29 tripulantes

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES : Hélice transversal en proa. Además, cualquier otro tipo de sistema necesario para el funcionamiento normal.

Ferrol, Febrero de 2.016

ALUMNO : D. Juan González Santomé

ÍNDICE

1.- Introducción	4
2.- Materiales a utilizar y dimensiones de los elementos	6
2.1.- Separaciones	6
2.2.- Materiales a utilizar	6
3.- Dimensiones de escantillonado	8
3.1.- Calado de escantillonado	8
3.2.- Eslora de escantillonado	9
3.3.- Manga de escantillonado	10
3.4.- Puntal de escantillonado	11
3.5.- Resumen de las dimensiones	11
4.- Solicitaciones y márgenes de escantillonado de los elementos	12
4.1.- Margenes por corrosión	12
4.2.- Cálculo de solicitaciones por aguas tranquilas	13
4.3.- Cálculo de solicitaciones por ola	20
4.4.- Cálculo de momento de inercia mínimo	22
4.5.- Cálculo de las presiones en las diferentes partes de la sección	22
4.5.1.- Presiones externas	22
4.5.2.- Presiones internas	28
5.-Escantillonado de los elementos	39
5.1.- Espesores mínimos	39
5.2.- Espesores respecto a las presiones	41
5.3.- Módulo mínimo de los elementos	50
5.4.- Perfiles de utilización	56
5.5.- Cálculo de chapa	60
5.6.- Cálculo de refuerzos primarios	63

ANEXOS

Anexo 1.- Catálogo de perfiles comerciales	65
Anexo 2.- Sección maestra	67

1.- Introducción

El objetivo de este cuadernillo es realizar el escantillonado de los diferentes elementos del buque, desde los refuerzos longitudinales secundarios del fondo hasta los refuerzos primarios de las cubiertas resistentes, además de las chapas de la sección maestra. Se tendrá que comprobar que esta estructura resiste a los momentos generados en las dos condiciones (arrufo y quebranto). Se han de dimensionar todos los elementos participantes en la resistencia longitudinal del buque.

La RPA indica que la cuaderna maestra se ha de realizar con las directrices de la sociedad de clasificación NK NS (Nipon Kaiji Kyokai)

A continuación se pueden ver los datos obtenidos en el cuaderno 1 con las diferentes correcciones halladas en los cuadernos posteriores:

LNG Bunkering	
L	168,42 m
B	30,51 m
D	17,95 m
T	8,8 m
Cb	0,68
Cp	0,71
CM	0,97
v	18 Kn
Fn	0,22
m³	35000 m³
V desplazado	31693 m³

Tabla 1: Datos del buque

También se definen las condiciones de carga obligatorias ya definidas en el cuaderno 5:

- Salida de puerto completamente cargado y con un 100% de consumos
- Llegada a puerto completamente cargado y con un 10% de consumos
- Salida de puerto en lastre y con un 100% de consumos
- Llegada a puerto en lastre y con un 10% de consumos

2.- Materiales a utilizar y dimensiones de los elementos

2.1.-Separaciones

En el cuaderno 4, al realizar la definición de los tanques, ya se han definido varias separaciones de refuerzos. Ahora, además, se definirá la separación entre los refuerzos secundarios, dependiendo de si son fondo, cubierta o forro.

La sección que más se repite en el buque se trata de la zona de la carga, en el cuerpo central del buque. Serán estas secciones las definidas como cuaderna maestra.

Se adoptará un estilo de estructura longitudinal, esto quiere decir que los refuerzos secundarios estarán orientados de forma longitudinal, siendo los primarios los que estén orientados transversalmente.

Los refuerzos secundarios a introducir en el buque serán refuerzos con perfil tipo bulbo.

A continuación se puede observar una tabla con todas las separaciones en las que se incurren:

Concepto	Distancia
Espaciado entre bulárcamas en la zona central	2400 mm
Espaciado entre longitudinales del fondo	600 mm
Espaciado entre longitudinales del forro	620 mm
Espaciado entre longitudinales de la cubierta	635 mm
Espaciado entre longitudinales en el pantoque	570 mm
Altura del doblefondo	1700 mm
Manga del doble casco	1700 mm

Tabla 2: Espaciados entre los refuerzos

2.2.-Materiales a utilizar

El material principal que se utilizará en la construcción de este buque es acero naval, que se identifica en el NK como acero de prestaciones normales. A continuación se pueden ver la tabla en la que define los diferentes materiales:

Table 1 gives the mechanical characteristics of steels currently used in the construction of ships.

Table 1 Mechanical properties of hull steels

Steel grades for plates with $t \leq 100 \text{ mm}$	Minimum yield stress R_{eH} , in N/mm^2	Ultimate tensile strength R_m , in N/mm^2
<i>A-B-D-E</i>	235	400 – 520
<i>AH32-DH32-EH32-FH32</i>	315	440 – 570
<i>AH36-DH36-EH36-FH36</i>	355	490 – 630
<i>AH40-DH40-EH40-FH40</i>	390	510 – 660

Al utilizar un acero de este tipo, tendremos que:

- El módulo de Young E es igual a $2,06 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$
- La tensión elástica a la que trabajaremos como umbral es de $235 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ Sin embargo, debido a que este análisis solo responde a la tensión provocada por los efectos del buque viga, hemos de considerar un margen bastante alto. Nuestro valor límite será de $175 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$
- El factor de este material K será de 1, definido en el reglamento (Capítulo 3, Sección 1, Punto 2):

Table 2 Material factor k

Minimum yield stress R_{eH} , in N/mm^2	k
235	1.00
315	0.78
355	0.72
390	0.68

3.- Dimensiones de escantillonado

Se han de definir las dimensiones para las que se está realizando la estructura resistente del buque.

3.1.-Calado de escantillonado

Como regla general, se utiliza el calado de verano como calado de escantillonado, ya que el buque no puede navegar con un calado superior. Se utilizará el análisis del cuaderno 1 como definición del calado de verano, además de tener en cuenta los calados obtenidos en las diferentes condiciones de carga definidas en el cuaderno 5. Sólo se utilizarán las condiciones de carga obligatorias, estas son:

- Salida de puerto completamente cargado y con un 100% de consumos
- Llegada a puerto completamente cargado y con un 10% de consumos
- Salida de puerto en lastre y con un 100% de consumos
- Llegada a puerto en lastre y con un 10% de consumos

A continuación podemos ver los calados obtenidos en estas condiciones de carga

	Condición plena carga salida	Condición plena carga llegada	Condición lastre salida	Condición lastre llegada
Calado perp. Proa	8,14	8,21	6,3	6,5
Calado perp popa	8,92	8,44	7,68	7,23
Calado sección media	8,56	8,33	7,04	6,89
Trimado (pos por popa)	0,78	0,22	1,38	0,73

Tabla 3: Condiciones de carga obligatorias

Con el análisis del francobordo de verano, obtenemos un francobordo de:

Francobordo de verano = 6951 mm

Por lo tanto, tenemos un calado de: $17,95 - 6,951 = 11$ m

Al tratarse de un buque de volumen, el análisis de francobordo nos permite una inmersión mucho más grande de la que posiblemente experimente el buque en toda su vida de operación. De esta manera, definiremos como calado de escantillonado el calado obtenido en el análisis de francobordo, siendo este de 11 m

Por si fuese de utilidad, definiremos en el Maxsurf Stability una condición de carga que tenga este calado. Las hidrostáticas obtenidas se pueden observar a continuación:

Displacement t	42533
Heel deg	0
Draft at FP m	11
Draft at AP m	11
Draft at LCF m	11
Trim (+ve by stern) m	0
WL Length m	172,81
Beam max extents on WL m	30,51
Wetted Area m ²	6913,31
Waterpl. Area m ²	4374,88
Prismatic coeff. (Cp)	0,77
Block coeff. (Cb)	0,71
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,94
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,83
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	80,08
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	78,04
KB m	6,04
KG m	8,8
BMt m	6,85
BML m	199,06
GMt m	4,09
GML m	196,3
KMt m	12,89
KML m	205,1
Immersion (TPc) tonne/cm	44,84
MTc tonne.m	495,74
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne	3038,98
Max deck inclination deg	0
Trim angle (+ve by stern) deg	0

Tabla 4: Hidrostáticas

3.2.-Eslora de escantillonado

La eslora de escantillonado se define como la eslora desde la perpendicular de popa en la condición de calado de verano hasta el corte de la flotación con la roda. Como se puede observar en las hidrostáticas anteriormente introducidas, con este calado existe una eslora total de 172,81 metros. Esta eslora considera la longitud desde la roda hasta el espejo de popa del buque.

El espejo de popa se ha definido 3 metros por detrás de la perpendicular de popa. De esta manera, la eslora de escantillonado se puede obtener sustrayendo estos 3 metros a la eslora anterior:

$$172,81 - 3 = 169,81 \text{ m}$$

El reglamento dice que la eslora de escantillonado no puede ser menor que el 96% de la eslora total de la flotación, pero que tampoco puede ser mayor que el 97%:

3.1 Rule length

3.1.1

The rule length L_{CSL-A} is the distance, in *m*, measured on the summer load waterline, from the forward side of the stem to the after side of the rudder post, or to the centre of the rudder stock where there is no rudder post. L_{CSL-A} is to be not less than 96% and need not exceed 97% of the extreme length on the summer load waterline.

Se calculan ambos valores utilizando 172,81 como valor de la eslora de flotación:

$$172,81 \cdot 0,96 = 165,9 \text{ m}$$

$$172,81 \cdot 0,97 = 167,73 \text{ m}$$

Por lo tanto, se utilizará una eslora de escantillonado de 167,73 metros.

3.3.-Manga de escantillonado

La manga de escantillonado se trata de la manga máxima definida desde la flotación de verano. Se puede observar en las hidrostáticas adjuntadas anteriormente que coincide con la manga máxima definida la inicio del proyecto:

$$\text{Manga de trazado : } 30,51 \text{ m}$$

3.4.-Puntal de escantillonado

De la misma manera que con la manga, el puntal de escantillonado se define como el puntal desde la línea de base hasta la cubierta continua más alta. Esta cubierta es la cubierta principal y, de esta manera, el puntal de escantillonado coincide con el puntal de trazado:

Puntal de trazado : 17,95 m

3.5.-Resumen de dimensiones de escantillonado

Obtenemos las dimensiones de escantillonado, resumidas en la tabla siguiente:

Calado de escantillonado	11m
Eslora de escantillonado	167,73m
Manga de escantillonado	30,51m
Puntal de escantillonado	17,95m
Desplazamiento	42533t
Cb	0,71

Tabla 5: Dimensiones de escantillonado

4.- Solicitaciones y márgenes del escantillonado de los elementos

Ahora que ya se han definido las diferentes dimensiones de escantillonado que se utilizarán para realizar el dimensionado de los elementos, se ha de atender a las diferentes prescripciones obtenidas en el reglamento de las sociedades de clasificación elegido. Existen fórmulas de solicitaciones y márgenes que se irán viendo a continuación:

4.1.-Márgenes por corrosión

Además del espesor necesario para que la estructura no colapse, se necesitan márgenes a mayores en los espacios que estén en contacto con los líquidos, ya que, a pesar de que se toman medidas contra la corrosión, el fenómeno no se puede evitar al 100% durante 15 años. A continuación se observa una tabla del NK con los espesores a añadir (Capítulo 3, Sección 3, Punto 1):

ClassNK 2013 Rules for the Survey and Construction of Steel Ships (Part CSR-B Chapter 3 Section 3)

Table 1 Corrosion addition on one side of structural members

Compartment Type	Structural member		Corrosion addition, t_{c1} or t_{c2} , in mm	
			BC-A or BC-B ships with $L_{CGP} \geq 150$ m	Other
Ballast water tank ⁽²⁾	Face plate of primary members	Within 3 m below the top of tank ⁽³⁾	2.0	
		Elsewhere	1.5	
	Other members	Within 3 m below the top of tank ⁽³⁾	1.7	
		Elsewhere	1.2	
Dry bulk cargo hold ⁽¹⁾	Transverse bulkhead	Upper part ⁽⁴⁾	2.4	1.0
		Lower stool : sloping plate, vertical plate and top plate	5.2	2.6
		Other parts	3.0	1.5
	Other members	Upper part ⁽⁴⁾	1.8	1.0
		Webs and flanges of the upper end brackets of side frames of single side bulk carriers		
		Webs and flanges of lower brackets of side frames of single side bulk carriers	2.2	1.2
		Other parts	2.0	1.2
	Sloped plating of hopper tank, inner bottom plating	Continuous wooden ceiling	2.0	1.2
		No continuous wooden ceiling	3.7	2.4
	Exposed to atmosphere	Horizontal member and weather deck ⁽⁵⁾		1.7
Non horizontal member		1.0		
Exposed to sea water ⁽⁷⁾			1.0	
Fuel oil tanks and lubricating oil tanks ⁽²⁾			0.7	
Fresh water tanks			0.7	
Void spaces ⁽⁶⁾	Spaces not normally accessed, e.g. access only through bolted manholes openings, pipe tunnels, etc.		0.7	
Dry spaces	Internal of deck houses, machinery spaces, stores spaces, pump rooms, steering spaces, etc.		0.5	
Other compartments than above			0.5	

4.2.-Cálculo de las solicitaciones por aguas tranquilas

Para comenzar a realizar el cálculo de las inercias y espesores requeridos en las chapas y los diferentes elementos longitudinales, primero hemos de calcular el momento a flexión de las situaciones de arrufo y quebranto. A continuación se exponen las fórmulas obtenidas del reglamento (Capítulo 4, Sección 3, Punto 2):

2.2 Still water bending moment

2.2.1

The design still water bending moments $M_{SW,H}$ and $M_{SW,S}$ at any hull transverse section are the maximum still water bending moments calculated, in hogging and sagging conditions, respectively, at that hull transverse section for the loading conditions, as defined in 2.1.1. Greater values may be considered if defined by the Designer.

2.2.2

If the design still water bending moments are not defined, at a preliminary design stage, at any hull transverse section, the longitudinal distributions shown in Fig. 2 may be considered.

In Fig. 2, M_{SW} is the design still water bending moment amidships, in hogging or sagging conditions, whose values are to be taken not less than those obtained, in $kN\cdot m$, from the following formulae:

- hogging conditions:

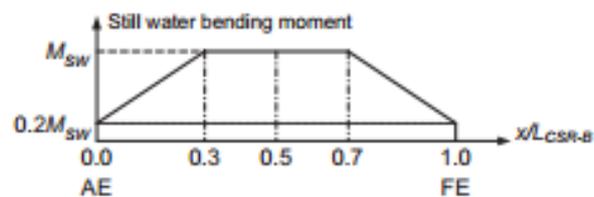
$$M_{SW,H} = 175CL_{CSR-B}^2 B(C_B + 0.7)10^{-3} - M_{WV,H}$$

- sagging conditions:

$$M_{SW,S} = 175CL_{CSR-B}^2 B(C_B + 0.7)10^{-3} - M_{WV,S}$$

where $M_{WV,H}$ and $M_{WV,S}$ are the vertical wave bending moments, in $kN\cdot m$, defined in 3.1.

Fig. 2 Preliminary still water bending moment distribution



, siendo sagging la situación de quebranto y hogging la situación de arrufo.

C es el coeficiente de ola, que se define en la misma sección que los momentos flectores. Se calcula de la siguiente manera:

C : Wave parameter, taken equal to:

$$C = 10.75 - \left(\frac{300 - L_{CSR-B}}{100} \right)^{1.5} \quad \text{for } 90m \leq L_{CSR-B} < 300m$$

$$C = 10.75 \quad \text{for } 300m \leq L_{CSR-B} < 350m$$

En este caso, se utilizará la primera, ya que la eslora de escantillonado del buque es de 167,73. De esta manera:

$$C = 10,75 - \left(\frac{300 - 167,73}{100} \right)^{1,5} = 9,23$$

El cálculo de ambos momentos generados por ola se puede deducir del reglamento un punto más adelante de esta definición (Capítulo 4, Sección 3, Punto 3):

3. Wave loads

3.1 Vertical wave bending moments

3.1.1 Intact condition

The vertical wave bending moments in intact condition at any hull transverse section are obtained, in *kN-m*, from the following formulae:

• hogging conditions:

$$M_{W,H} = 190 F_M f_p C L_{CSR-B}^2 B C_B 10^{-3}$$

• sagging conditions:

$$M_{W,S} = 110 F_M f_p C L_{CSR-B}^2 B (C_B + 0.7) 10^{-3}$$

where:

F_M : Distribution factor defined in **Table 1** (see also **Fig. 3**).

Para el cálculo de f_p se utiliza la siguiente definición:

f_p : Coefficient corresponding to the probability level, taken equal to:

$f_p = 1.0$ for strength assessments corresponding to the probability level of 10^{-8}

$f_p = 0.5$ for strength assessments corresponding to the probability level of 10^{-4}

Consideraremos los movimientos generados por olas con el nivel de probabilidad más alto (1.0):

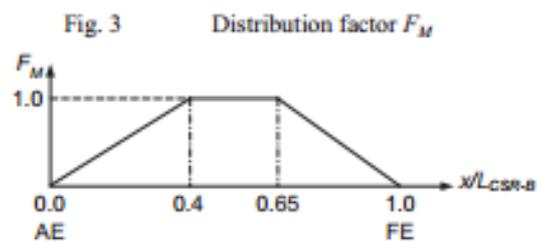
$$f_p = 1.0$$

Para el cálculo del coeficiente F_M habrá que acudir a la tabla introducida en el reglamento :

ClassNK 2013 Rules for the Survey and Construction of Steel Ships (Part CSR-B Chapter 4 Section 3)

Table 1 Distribution factor F_M

Hull transverse section location	Distribution factor F_M
$0 \leq x < 0.4L_{CSR-B}$	$2.5 \frac{x}{L_{CSR-B}}$
$0.4L_{CSR-B} \leq x \leq 0.65L_{CSR-B}$	1.0
$0.65L_{CSR-B} < x \leq L_{CSR-B}$	$2.86 \left(1 - \frac{x}{L_{CSR-B}} \right)$



De esta manera, consideraremos el coeficiente F_M igual a 1

Ahora se procederá al cálculo del coeficiente generado por olas (de arrufo y quebranto)

$$M_{WV-H} = 190 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 9,23 \cdot 167,73^2 \cdot 30,51 \cdot 0,71 \cdot 10^{-3} = 1068753,01 \text{ kNm}$$

$$M_{WV-S} = 110 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 9,23 \cdot 167,73^2 \cdot 30,51 \cdot (0,71+0,7) \cdot 10^{-3} = -1228788,68 \text{ kNm}$$

Ahora, calculando el momento de flexión por aguas tranquilas en arrufo y quebranto, se obtiene lo siguiente:

$$M_{SW-H} = 175 \cdot 167,73^2 \cdot 9,23 \cdot 30,51 \cdot (0,71 + 0,7) \cdot 10^{-3} - 1068753,01 = 841454,84 \text{ kNm}$$

$$M_{SW-S} = 175 \cdot 167,73^2 \cdot 9,23 \cdot 30,51 \cdot (0,71 + 0,7) \cdot 10^{-3} + 1229065,97 = -681419,17 \text{ kNm}$$

También se pueden calcular los esfuerzos por cortante generados por aguas tranquilas. Para su cálculo, se utilizarán las fórmulas encontradas en el mismo punto anteriormente mencionado (Parte 3, Capítulo 4, Sección 4, Punto 2):

2.3 Still water shear force

2.3.1

The design still water shear force Q_{SW} at any hull transverse section is the maximum positive or negative shear force calculated, at that hull transverse section, for the loading conditions, as defined in 2.1.1. Greater values may be considered if defined by the Designer.

Sin embargo, no es necesario para el cálculo que se está realizando en el momento, por lo que no se calculará

4.3.-Cálculo de las solicitaciones por ola

Además del momento flector generado por aguas tranquilas, se considerará un momento flector por ola, necesario, ya que es una importante solicitación en la vida del buque. Para el cálculo del momento flector debido a este fenómeno, se utilizará la formulación anteriormente mostrada, sacada del reglamento (Capítulo 4, Sección 3, Punto 3):

3. Wave loads

3.1 Vertical wave bending moments

3.1.1 Intact condition

The vertical wave bending moments in intact condition at any hull transverse section are obtained, in *kN-m*, from the following formulae:

- hogging conditions:

$$M_{W,H} = 190F_M f_p CL_{CSR-B}^2 BC_B 10^{-3}$$

- sagging conditions:

$$M_{W,S} = 110F_M f_p CL_{CSR-B}^2 B(C_B + 0.7)10^{-3}$$

where:

F_M : Distribution factor defined in **Table 1** (see also **Fig. 3**).

Para el cálculo de f_p se utiliza la siguiente definición:

$$f_p = \begin{cases} 1.0 & \text{for strength assessments corresponding to the probability level of } 10^{-6} \\ 0.5 & \text{for strength assessments corresponding to the probability level of } 10^{-4} \end{cases}$$

for strength assessment.

f_p : Coefficient corresponding to the probability level, taken equal to:

$$f_p = 1.0 \text{ for strength assessments corresponding to the probability level of } 10^{-6}$$

$$f_p = 0.5 \text{ for strength assessments corresponding to the probability level of } 10^{-4}$$

Consideraremos los movimientos generados por olas con el nivel de probabilidad más alto (1.0):

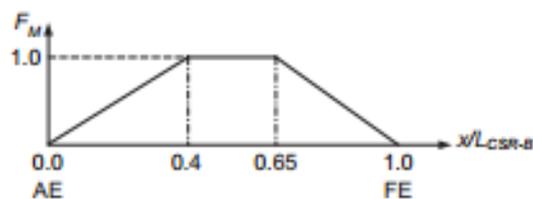
Para el cálculo del coeficiente F_M habrá que acudir a la tabla introducida en el reglamento :

ClassNK 2013 Rules for the Survey and Construction of Steel Ships (Part CSR-B Chapter 4 Section 3)

Table 1 Distribution factor F_M

Hull transverse section location	Distribution factor F_M
$0 \leq x < 0.4L_{CSR-B}$	$2.5 \frac{x}{L_{CSR-B}}$
$0.4L_{CSR-B} \leq x \leq 0.65L_{CSR-B}$	1.0
$0.65L_{CSR-B} < x \leq L_{CSR-B}$	$2.86 \left(1 - \frac{x}{L_{CSR-B}}\right)$

Fig. 3 Distribution factor F_M



De esta manera, consideraremos el coeficiente F_M igual a 1

De esta manera, obtenemos los momentos por sollicitación de ola:

$$M_{WV-H} = 0,19 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 9,23 \cdot 167,73^2 \cdot 30,51 \cdot 0,71 = 1068753,01 \text{ kNm}$$

$$M_{WV-H} = -0,19 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 9,23 \cdot 167,73^2 \cdot 30,51 \cdot 0,71 = -1229065,97 \text{ kNm}$$

Al utilizar los factores más altos, se obtienen los mismos momentos que en el apartado anterior.

De la misma manera que se ha calculado la sollicitación por cortante en aguas tranquilas, se puede calcular para olas. Se podría utilizar la formulación obtenida en este punto del reglamento:

4.3.-Cálculo del módulo requerido mínimo

Ahora que ya se han calculado los momentos debido a los diferentes fenómenos que se generan en la mar, se puede calcular un módulo requerido mínimo de la sección maestra.

Al tratarse del módulo mínimo, satisfará la condición en la que la tensión admisible sea la tensión máxima, definida anteriormente como 175 (con un gran margen, ya que las solicitaciones a las que responde en este análisis son de tipo buque viga)

Como módulo mínimo, el reglamento establece una fórmula para calcularlo dependiendo de la zona en la que nos encontremos de la eslora (Capítulo 5, Sección 1, Punto 4):

4. Section modulus and moment of inertia

4.1 General

4.1.1

The requirements in 4.2 to 4.5 provide the minimum hull net girder section modulus, complying with the checking criteria indicated in 3, and the midship net section moment of inertia required to ensure sufficient hull girder rigidity.

4.1.2

The k material factors are to be defined with respect to the materials used for the bottom and deck members contributing to the longitudinal strength according to 1. When material factors for higher strength steels are used, the requirements in 4.5 apply.

4.2 Section modulus within $0.4L_{CSR-B}$ amidships

4.2.1

The net section moduli Z_{AB} and Z_{AD} at the midship section are to be not less than the value obtained, in m^3 , from the following formula:

$$\cdot Z_{R,MIN} = 0.9CL_{CSR-B}^2 B(C_B + 0.7)k10^{-6}$$

4.2.2

In addition, the net section moduli Z_{AB} and Z_{AD} within $0.4L_{CSR-B}$ amidships are to be not less than the value obtained, in m^3 , from the following formula:

$$\cdot Z_R = \frac{M_{SR} + M_{ST}}{\sigma_{1,ALL}} 10^{-3}$$

4.2.3

Where the total breadth Σb_S of small openings, as defined in 1.2.8, is deducted from the sectional areas included in the hull girder transverse sections, the values $Z_{R,MIN}$ and Z_R defined in 4.2.1 or 4.2.2 may be reduced by 3%.

4.2.4

Scantlings of members contributing to the longitudinal strength (see 1), based on the section modulus requirement in 4.2.1, are to be maintained within $0.4L_{CSR-B}$ amidships.

4.3 Section modulus outside $0.4L_{CSR-B}$ amidships

4.3.1

The net section moduli Z_{AB} and Z_{AD} outside $0.4L_{CSR-B}$ amidships are to be not less than the value obtained, in m^3 , from the following formula:

$$\cdot Z_R = \frac{M_{SR} + M_{ST}}{\sigma_{1,ALL}} 10^{-3}$$

A continuación, el reglamento introduce valores mínimos de tensión máxima admisible dependiendo de la sección en la que se este realizando el análisis:

σ_{perm} = permissible hull girder bending stress, in kN/m², to be taken as:

$$\sigma_{perm} = \frac{125}{k} \quad \text{for} \quad \frac{x}{L} \leq 0.1$$

$$\sigma_{perm} = \frac{175}{k} \quad \text{for} \quad 0.3 \leq \frac{x}{L} \leq 0.7$$

$$\sigma_{perm} = \frac{125}{k} \quad \text{for} \quad \frac{x}{L} \geq 0.9$$

Intermediate values of σ_{perm} shall be obtained by linear interpolation.

Al tratarse de la sección maestra, se utilizará la fórmula fuera de 0,4 L_{CSR-B}. Al utilizar el acero naval de resistencia normal, el valor de 175 hipotizado al inicio del punto es correcto. Se ha de diferenciar el módulo mínimo en cubierta y el módulo mínimo en fondo, teniendo que diferenciarse además las dos condiciones de quebranto y arrufo

De esta manera, para la condición de arrufo, el módulo de fondo (la zona que se somete a tensión) ha de ser lo suficientemente grande como para aguantar el esfuerzo, mientras que para la condición de arrufo tendrá que ser la cubierta la que aguante este esfuerzo.

El módulo mínimo para la condición de quebranto será:

$$Z_{grH} = \left(\frac{841454,84 + 1068753,01}{175/1} \right) \cdot 10^{-3} = 10,92 \text{ m}^3$$

El módulo mínimo para la condición de arrufo será:

$$Z_{grH} = \left(\frac{681419,17 + 1228788,97}{175/1} \right) \cdot 10^{-3} = 10,92 \text{ m}^3$$

Para el valor mínimo dentro de 0,4 L, el valor del módulo es 10,33, por lo que se escogerán los valores anteriores (que son el mismo)

4.4.-Cálculo del momento de inercia mínimo

Además del módulo requerido mínimo para la sección media, el reglamento expone un cálculo para obtener la inercia mínima que ha de tener la sección media respecto el eje horizontal. La formulación se puede encontrar en el mismo punto que la anterior, y es la siguiente:

4.4 Midship section moment of inertia

4.4.1

The net midship section moment of inertia about its horizontal neutral axis is to be not less than the value obtained, in m^4 , from the following formula:

$$I_{IX} = 3Z'_{R,MNV} L_{CSR-B} 10^{-2}$$

where $Z'_{R,MNV}$ is the required net midship section modulus $Z_{R,MNV}$, in m^3 , calculated as specified in 4.2.1, but assuming $k = 1$.

Se trata de una formulación que tiene como término el módulo mínimo. No será utilizada para el escantillonado de los elementos.

4.5.-Cálculo de presiones en las diferentes partes de la sección

Además de calcular los momentos y módulos mínimos requeridos, habrá que calcular las presiones interiores y exteriores a las que se ve sometida la sección maestra.

Se irán introduciendo ejemplos de cálculo en los siguientes apartados, calculando el espesor y módulo de todas las chapas en la parte final del cuaderno.

4.5.1.- Presiones externas

En cuanto a la presión externa, se puede diferenciar entre presión hidrostática, generada por aguas tranquilas, y un aumento de presión hidrodinámico, generado por las olas que se encuentre el buque en su travesía.

Para el cálculo de presión hidrostática, se utiliza la formulación obtenida en el reglamento, que no dista de una fórmula básica de cálculo de presiones de columna de agua (Capítulo 4, Sección 5, Punto 1):

Para el caso de 11 metros de calado de escantillonado, se obtiene como presión en el punto $z=0$. Más adelante se calcularán las presiones en los diversos puntos del buque para el escantillonado:

1. External sea pressures on side shell and bottom

1.1 General

1.1.1

The total pressure p at any point of the hull, in kN/m^2 , to be obtained from the following formula is not to be negative:

$$p = p_S + p_W$$

Where:

p_S : Hydrostatic pressure defined in 1.2

p_W : Wave pressure equal to the hydrodynamic pressure defined in 1.3, 1.4 or 1.5, as the case may be, and corrected according to 1.6

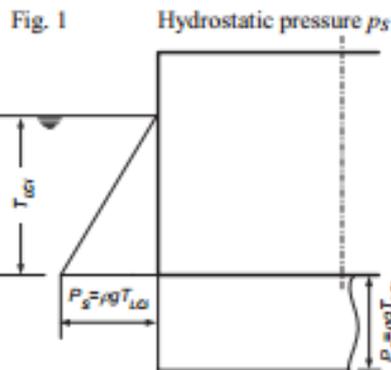
1.2 Hydrostatic pressure

1.2.1

The hydrostatic pressure p_S at any point of the hull, in kN/m^2 , corresponding to the draught in still water is obtained, for each loading condition, from the formulae in Table 1 (see also Fig. 1).

Table 1 Hydrostatic pressure p_S

Location	Hydrostatic pressure, p_S , in kN/m^2
Points at and below the waterline ($z \leq T_{LO}$)	$\rho g(T_{LO} - z)$
Points above the waterline ($z > T_{LO}$)	0



$$P_S = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (11-0) = 110,61 \text{ kN/m}^2$$

Para la presión hidrodinámica, existe una formulación en el punto siguiente dependiendo de la altura del análisis y de la condición de carga en la que se sitúe el análisis según el reglamento. Las únicas condiciones que son aplicables para el cálculo de las dimensiones de los elementos de la sección maestra son aquellas que maximizan el momento de flexión.

Estas condiciones son indicadas en el reglamento como H1 y H2 (condiciones de ola que bate contra la sección del buque).

A continuación se puede observar una tabla que define las diferentes olas diseñadas, de las cuales sólo utilizaremos las dos primeras (Capítulo 4, Sección 4, Punto 1):

2. Load cases

2.1 General

2.1.1

The load cases corresponding to the Equivalent Design Waves (*EDWs*) are defined in Table 1. The corresponding hull girder loads and motions of the ship are indicated in Table 2. If the ship structure or the ship loading condition is not symmetrical with respect to the centreline plane of ship, the load cases (R1, R2, P1 and P2) corresponding to the beam conditions in which the encounter wave comes from the starboard (in this case the starboard is the weather side), should be also included in the structural strength assessment.

Table 1 Definition of load cases

Load case	H1	H2	F1	F2	R1	R2	P1	P2
<i>EDW</i>	"H"		"F"		"R"		"P"	
Heading	Head		Follow		Beam (Port: weather side)		Beam (Port: weather side)	
Effect	Max. Bending Moment		Max. Bending Moment		Max. Roll		Max. Ext. Pressure	
	Sagging	Hogging	Sagging	Hogging	(+)	(-)	(+)	(-)

Table 2 Reference hull girder loads and motions of ship

Load case	H1	H2	F1	F2	R1	R2	P1	P2
Vert. BM & SF	Yes		Yes		.		Yes	
Hor. BM	.		.		Yes		.	
Heave	Down	Up	.	.	Down	Up	Down	Up
Pitch	Bow down	Bow up	.	.	.	.	.	.
Roll	.	.	.	.	Stbd up	Stbd down	Stbd up	Stbd down
Surge	Stern	Bow	.	.	.	.	.	.
Sway	.	.	.	.	.	.	Port	Stbd

La formulación para el cálculo de la presión a añadir debido a la ola se muestra a continuación. Sólo se mostrará como ejemplo la fórmula que existe en el primer apartado, ya que se quiere calcular la presión máxima que se genera en el fondo. Más adelante se utilizarán las siguientes fórmulas para calcular las presiones en los diversos puntos del buque (Parte 3, Capítulo 4, Sección 5, Punto 1):

1.3 Hydrodynamic pressures for load cases H1, H2, F1 and F2

1.3.1

The hydrodynamic pressures p_H and p_V , for load cases H1, H2, F1 and F2, at any point of the hull below the waterline are to be obtained, in kN/m^2 , from Table 2.

The distribution of pressure p_{F2} is schematically given in Fig. 2.

Table 2 Hydrodynamic pressures for load cases H1, H2, F1 and F2

Load case	Hydrodynamic pressure, in kN/m^2
H1	$p_{H1} = k_t k_p p_{HW}$
H2	$p_{H2} = k_t k_p p_{HW}$
F1	$p_{F1} = p_{HW}$
F2	$p_{F2} = p_{HW}$

P_{HF} se calcula de la siguiente manera:

$$p_{HW} = 3f_p f_d C \sqrt{\frac{L_{CSB-B} + \lambda - 125}{L_{CSB-B}}} \left(\frac{z}{T_{LCI}} + \frac{|2y|}{B_i} + 1 \right); \quad \text{with } \frac{|2y|}{B_i} \leq 1.0 \text{ and } z \text{ is to be taken not greater than } T_{LCI}$$

Los parámetros que se muestran en la fórmula anterior se irán calculando a continuación:

f_d : Coefficient considering nonlinear effect, taken equal to:

$$f_d = 0.9 \quad \text{for the probability level of } 10^{-6}$$

$$f_d = 1.0 \quad \text{for the probability level of } 10^{-4}$$

k_t : Amplitude coefficient in the longitudinal direction of the ship, taken equal to:

$$k_t = 1 + \frac{12}{C_B} \left(1 - \sqrt{\frac{|2y|}{B}} \right) \left| \frac{x}{L_{CSB-B}} - 0.5 \right|^2 \quad \text{for } 0.0 \leq x/L_{CSB-B} \leq 0.5$$

$$k_t = 1 + \frac{6}{C_B} \left(3 - \frac{|4y|}{B} \right) \left| \frac{x}{L_{CSB-B}} - 0.5 \right|^2 \quad \text{for } 0.5 \leq x/L_{CSB-B} \leq 1.0$$

El coeficiente f_{nl} , como se ha hecho al calcular los momentos, se considerará 1

Para el coeficiente de amplitud, se calculará el más desfavorable para ser añadido en la sección maestra. Los datos que se han de introducir en la fórmula se calcularán a continuación:

- C_B es el coeficiente de bloque, siendo 0,71 en el escantillonado
- y será la semimanga en cada uno de los puntos del buque
- La relación entre x y la eslora se escogerá la más grande y la mas pequeña, siendo 0,79 y 0,24

A continuación podemos observar el cálculo de ambas amplitudes para una manga dada para ver cual de las dos es mayor

Para la primera fórmula, con una manga de 14,97m, obtenemos:

$$1 + \left(\frac{12}{0,71}\right) \cdot \left(1 - \sqrt{\left(2 \cdot \frac{14,97}{30,51}\right)}\right) \cdot (0,26)^3 = 1$$

Para la segunda, con la misma manga:

$$1 + \left(\frac{6}{0,71}\right) \cdot \left(3 - \left(4 \cdot \frac{14,97}{30,51}\right)\right) \cdot (0,29)^3 = 1,21$$

Escogeremos, por lo tanto, la segunda fórmula

Para el coeficiente k_p , vemos la definición en el reglamento:

k_p : Phase coefficient in the longitudinal direction of the ship, taken equal to:

$$k_p = \left(1,25 - \frac{T_{LC}}{T_S}\right) \cos\left(\frac{2\pi|x - 0,5L_{CSR-B}|}{L_{CSR-B}}\right) - \frac{T_{LC}}{T_S} + 0,25, \text{ for local strength analysis in conditions other}$$

than full load condition, for direct strength analysis and for fatigue strength assessments

$k_p = -1,0$, for local strength analysis in full load condition

, siendo T_{LC} el calado de la condición de carga que se esté analizando. De las anteriores mostradas, la mayor es 8,56 metros (condición de plena carga, salida de puerto). Sin embargo, se considerará 11 metros, ya que es la condición que hemos impuesto como calado de escantillonado:

$$T_{LC}/T_S = 1$$

En este caso se considerará que nos encontramos en el centro del buque, por lo que la coordenada x será 0,5 respecto de L . De esta manera, el cálculo de K_p es el siguiente:

$$k_p = (1,25 - 1) \cos(2\pi \cdot 0 / 167,73) - 1 + 0,25 = -0,5$$

Consideraremos K_p igual a 1 ya que la cuaderna ha de aguantar la condición de plena carga

Para el cálculo de la longitud de onda, hemos de acudir a la definición siguiente:

λ : Wave length, in m , taken equal to:

$$\lambda = 0.6 \left(1 + \frac{T_{LC}}{T_S} \right) L_{CSR-B} \quad \text{for load cases H1 and H2}$$

La longitud de onda, por lo tanto, es la siguiente:

$$\lambda = 0,6 \cdot (1 + 1) \cdot 167,73 = 201,28 \text{ m}$$

Ahora se pasará a calcular P_{HF} . Para un calado de 3,2 m y una manga de 14,51 m:

$$P_{HF} = 3 \cdot 1 \cdot 9,23 \cdot \sqrt{\left(\frac{167,73 + 201,22 - 125}{167,73} \right)} \cdot \left(\frac{3,2}{11} + \frac{2 \cdot 14,51}{30,51} + 1 \right) = 74,88$$

Para estas mismas condiciones, el cálculo sería:

$$P_D = 74,88 \cdot 1,21 \cdot 1 = 74,88 \text{ kN/m}^2$$

Para las presiones externas en cubiertas expuestas, existe una tabla dos puntos más adelante que nos marca una presión mínima (Capítulo 4 Sección 5 Punto 2):

Table 4 Pressures on exposed decks for H1, H2, F1 and F2

Location	Pressure p_W , in kN/m^2	
	$L_{LL} \geq 100 \text{ m}$	$L_{LL} < 100 \text{ m}$
$0 \leq x_{LL}/L_{LL} \leq 0.75$	34.3	$14.9 + 0.195 L_{LL}$
$0.75 < x_{LL}/L_{LL} < 1$	$34.3 + (14.8 + a(L_{LL} - 100)) \left(4 \frac{x_{LL}}{L_{LL}} - 3 \right)$	$12.2 + \frac{L_{LL}}{9} \left(5 \frac{x_{LL}}{L_{LL}} - 2 \right) + 3.6 \frac{x_{LL}}{L_{LL}}$

where:

a : Coefficient taken equal to:

$a = 0.0726$ for Type B freeboard ships

$a = 0.356$ for Type B-60 or Type B-100 freeboard ships.

x_{LL} : X coordinate of the load point measured from the aft end of the freeboard length L_{LL}

Se escogerá el valor de 34,3 kN/m²

4.5.2.- Presiones internas

Para los tanques con líquidos, existe la posibilidad de que la presión que se encuentra en el interior debido al llenado del tanque favorezca o perjudique a la estructura en general. Si esta presión es alta, puede ayudar a contrarrestar la presión exterior debida al mar. En caso de ser muy alta, podría generar problemas mayores que la presión exterior si el buque se encuentra en un bajo calado.

Todos los espacios que se encuentran entre el doble casco y el doble fondo de la zona de carga se tratan de tanques de lastre.

Para presiones internas generadas por líquidos (en este caso), la presión interna estática se calculará de la misma manera que la presión estática externa. En el Capítulo 4 Sección 6 Punto 2:

2. Lateral pressure due to liquid

2.1 Pressure due to liquid in still water

2.1.1

The liquid pressure in still water p_{BS} , in kN/m^2 , is given by the greater of the following values:

$$p_{BS} = \rho_L g (z_{TOP} - z + 0.5d_{AP})$$

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

where:

P_{PV} : Setting pressure, in *bar*, of safety valves to be considered if any

For local strength assessments, the static pressure p_{BS} is to be taken not less than $25 kN/m^2$.

Se trata de un cálculo de presiones estáticas normal. Como altura se utilizará la altura hasta la cubierta de francobordo con un margen debido a los reboses. Se hipotizará una altura de reboses de 0,8 metros. De esta manera, la altura máxima que tendrán que soportar los tanques del doble fondo será de 18,75 metros. Por lo tanto, la presión máxima interna será de:

$$P_{Is-1} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (18,75 - 0) = 188,54 \text{ kN/m}^2$$

Este cálculo servirá para las paredes exteriores. En cuanto al interior, el tanque contendrá una gran cantidad de gas natural licuado. El tanque tiene una altura total de 18,15 metros, con una densidad de 0,51 t/m³

Existe la posibilidad de tener los tanques de lastre llenos y los tanques de carga vacíos. Por lo tanto, las placas y refuerzos tendrán que aguantar la presión de la columna de agua, que será mayor que la que ejerce el tanque de carga. De esta manera, para una altura de doble fondo de 1,7 metros, la placa superior tendrá que aguantar:

$$P_{Is-1} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (17,05 - 0) = 171,44 \text{ kN/m}^2$$

Para el cálculo de presiones internas dinámicas, el reglamento dice lo siguiente (Capítulo 4 Sección 6 Punto 2):

2.2 Inertial pressure due to liquid

2.2.1

The inertial pressure due to liquid p_{BW} , in kN/m^2 , for each load case is given as follows. When checking ballast water exchange operations by means of the flow through method, the inertial pressure due to ballast water is not to be considered for local strength assessments and direct strength analysis.

- for load case H: $p_{BW} = \rho_L [a_Z(z_{TOP} - z) + a_X(x - x_B)]$
($x - x_B$) is to be taken as $0.75\ell_H$ in the load case H1 or $-0.75\ell_H$ in the load case H2 for local strength by Ch 6 and fatigue check for longitudinal stiffeners by Ch 8
- for load case F: $p_{BW} = 0$
- for load cases R and P: $p_{BW} = \rho_L [a_Z(z_B - z) + a_Y(y - y_B)]$

Para el cálculo de las aceleraciones dinámicas, se ha de acudir al Capítulo 4, Sección 2, Punto 3:

3.2 Accelerations

3.2.1

The reference values of the longitudinal, transverse and vertical accelerations at any point are obtained from the following formulae:

- In longitudinal direction:
$$a_X = C_{XG}g \sin \Phi + C_{XS}a_{surge} + C_{XP}a_{pitchx}$$
- In transverse direction:
$$a_Y = C_{YG}g \sin \theta + C_{YS}a_{sway} + C_{YP}a_{rolly}$$
- In vertical direction:
$$a_Z = C_{ZH}a_{heave} + C_{ZR}a_{rollz} + C_{ZP}a_{pitchz}$$

Las aceleraciones que se consideran en cada uno de los ejes también tienen una definición en el mismo sitio del reglamento, siendo la siguiente:

2.2 Pitch

2.2.1

The pitch period T_P , in s , and the single pitch amplitude Φ , in deg , are given by:

$$T_P = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}}$$

$$\Phi = f_p \frac{960}{L_{CSR-B}} \sqrt{\frac{V}{C_B}}$$

where:

$$\lambda = 0.6 \left(1 + \frac{T_{LC}}{T_S} \right) L_{CSR-B}$$

2.3 Heave

2.3.1

The vertical acceleration due to heave, in m/s^2 , is given by:

$$a_{heave} = a_0 g$$

2.4 Sway

2.4.1

The transverse acceleration due to sway, in m/s^2 , is given by:

$$a_{sway} = 0.3 a_0 g$$

2.5 Surge

2.5.1

The longitudinal acceleration due to surge, in m/s^2 , is given by:

$$a_{surge} = 0.2 a_0 g$$

2.1 Roll

2.1.1

The roll period T_R , in s , and the single roll amplitude θ , in deg , are given by:

$$T_R = \frac{2.3 k_r}{\sqrt{GM}}$$

$$\theta = \frac{9000(1.25 - 0.025 T_R) f_p k_b}{(B + 75)\pi}$$

where:

k_b : Coefficient taken equal to:

$k_b = 1.2$ for ships without bilge keel

$k_b = 1.0$ for ships with bilge keel

k_r : Roll radius of gyration, in m , in the considered loading condition. When k_r is not known, the values indicated in **Table 1** may be assumed.

GM : Metacentric height, in m , in the considered loading condition. When GM is not known, the values indicated in **Table 1** may be assumed.

Table 1 Values of k_r and GM

Loading condition		k_r	GM
Full load condition	Alternate or homogeneous loading	$0.35B$	$0.12B$
	Steel coil loading	$0.42B$	$0.24B$
Normal ballast condition		$0.45B$	$0.33B$
Heavy ballast condition		$0.40B$	$0.25B$

Para el cálculo de la aceleración a_0 se utiliza la siguiente fórmula definida en el mismo punto:

a_0 : Acceleration parameter, taken equal to:

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

Los cálculos se realizan de la misma manera que en el reglamento Der Norske Veritas. A continuación se muestra una tabla extraída del mismo para ver las coordenadas necesarias para el cálculo de las aceleraciones respecto a cada una de los ejes

Table 4 Load combination factors, LCFs 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
Longitudinal accelerations	a_{surge}	C_{XS}	$0.3 - 0.2f_T$	$0.2f_T - 0.3$	0.2	-0.2	$0.2 - 0.4f_T$	$0.4f_T - 0.2$
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	-0.7	0.7	-1.0	1.0	0.15	-0.15
	$g \sin\phi$	C_{XG}	0.6	-0.6	$0.4f_T + 0.4$	$-0.4f_T - 0.4$	-0.2	0.2
Transverse accelerations	a_{sway}	C_{YS}	0	0	0	0	0	0
	a_{roll-y}	C_{YR}	0	0	0	0	0	0
	$g \sin\theta$	C_{YG}	0	0	0	0	0	0
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

Los valores de los coeficientes son los siguientes:

$$C_{XS} = 0,3 - 0,2 \cdot 1 = 0,1$$

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

$$C_{XG} = 0,6$$

$$C_{YS} = 0$$

$$C_{YR} = 0$$

$$C_{YG} = 0$$

$$C_{ZH} = 0,5 \cdot 1 - 0,15 = 0,35$$

$$C_{ZR} = 0$$

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

En cuanto a las coordenadas, se han de definir respecto al centro de gravedad del tanque, como se puede observar a continuación (Parte 3, Capítulo 4, Sección 1, Punto 1 del DNV):

1.2.2 Sign convention for ship motions

The ship motions are defined with respect to the ship's centre of gravity (COG) as shown in [Figure 1](#), where:

- positive surge is translation in the X-axis direction (positive forward)
- positive sway is translation in the Y-axis direction (positive towards port side of ship)
- positive heave is translation in the Z-axis direction (positive upwards)
- positive roll motion is positive rotation about a longitudinal axis through the COG (starboard down and port up)
- positive pitch motion is positive rotation about a transverse axis through the COG (bow down and stern up)
- positive yaw motion is positive rotation about a vertical axis through the COG (bow moving to port and stern to starboard).

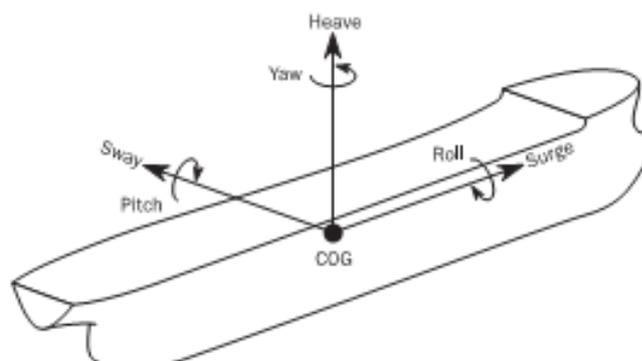


Figure 1 Definition of positive motions

Los centros de gravedad serán respecto al centro de gravedad del tanque que se esté analizando, no del buque. Para obtener la mayor presión, consideraremos que nos encontramos en el límite de las tres coordenadas en los tanques (a 14,5 metros longitudinalmente, a 6,9 verticalmente y a 0,85 metros transversalmente (el límite de los tanques de lastre)). Para los tanques de gas licuado, la altura será de 20,85 metros, por lo que nos encontraremos a 9,57 metros. De todas formas, sólo serán utilizados los tanques de lastre, ya que son los que provocan más presión en la estructura.

De esta manera, se obtienen las diferentes coordenadas:

$$x = 14,5 \text{ m}$$

$$y = 0,85 \text{ m}$$

$$z = 6,9 \text{ m}$$

El valor a_0 se trata de un parámetro de aceleración, y se calcula de la siguiente manera:

$$a_0 = (1,58 - 0,47 \cdot 0,71) \cdot \left(\frac{2,4}{\sqrt{(167,73)}} + \frac{34}{167,73} - \frac{600}{167,73^2} \right) = 0,46$$

Los diferentes periodos y ángulos se calculan como se ha indicado anteriormente:

El valor de GM se extraerá del valor de la tabla, siendo el que sigue:

$$GM = 0,12 \cdot 30,51 = 3,66$$

Para el coeficiente k_r , se ha de utilizar el valor de la tabla:

$$k_r = 0,35 \cdot 30,51 = 10,68$$

K_b será considerado 1,2

Para el valor de λ_ϕ , el reglamento dice lo siguiente:

$$\lambda_\phi = 0,6 (1 + f_T) L$$

Siendo f_r igual a 1 (relación entre escantillonado y carga). De esta manera, λ_ϕ queda:

$$\lambda_\phi = 0,6 \cdot (1 + 1) \cdot 167,73 = 201,28$$

Con todos estos datos procedemos a calcular los ángulos y períodos necesarios:

$$T_\theta = \frac{2,3 \cdot \pi \cdot 10,68}{\sqrt{(9,81 \cdot 3,66)}} = 12,88$$

$$\theta = \frac{9000 \cdot (1,25 - 0,025 \cdot 14,35) \cdot 1 \cdot 1,2}{(30,51 + 75) \cdot \pi} = 30,24$$

$$T_\phi = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 201,28}{9,81}\right)} = 11,35$$

$$\phi = (960 \cdot 1/167,73) \cdot \sqrt{\left(\frac{18}{0,71}\right)} = 12,84$$

Ahora que se han calculado los valores necesarios para calcular las aceleraciones que incurren en las presiones dinámicas, se calcularán las susodichas:

$$a_{\text{surge}} = 0,2 \cdot 0,46 \cdot 9,81 = 0,9 \text{ m/s}^2$$

$$a_{\text{sway}} = 0,3 \cdot 0,46 \cdot 9,81 = 1,35 \text{ m/s}^2$$

$$a_{\text{roll}} = 1 \cdot 30,24 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{12,88}\right)^2 = 0,13 \text{ m/s}^2$$

$$a_{\text{heave}} = \left(1,15 - \frac{6,5}{\sqrt{(9,81 \cdot 167,73)}}\right) \cdot 1 \cdot 0,46 \cdot 9,81 = 0,43 \text{ m/s}^2$$

$$a_{\text{pitch}} = 1 \cdot \left(1,75 - \frac{22}{\sqrt{(9,81 \cdot 167,73)}}\right) \cdot 0,45 \frac{\pi}{180} \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{11,35}\right)^2 = 1,75 \text{ m/s}^2$$

Con estas aceleraciones y los datos anteriormente calculados se podrán calcular las presiones en cualquier punto para el cálculo de presiones dinámicas. Faltaría por calcular R, definido en la sección 3 de este capítulo:

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

$$R = \min\left(\frac{D}{4} + \frac{T_{LC}}{2}, \frac{D}{2}\right) \quad (1)$$

Ambas formulaciones dan lo mismo, por lo que R es igual a:

$$R = 11/2 = 5,5 \text{ m}$$

De esta manera, calculamos las aceleraciones:

$$a_x = 1 \cdot ((-0,6 \cdot 9,81 \cdot \sin(0,45)) + 0,1 \cdot 1,48 + -0,7 \cdot 1,75 \cdot (6,9-5,5)) = -4,13 \text{ m/s}^2$$

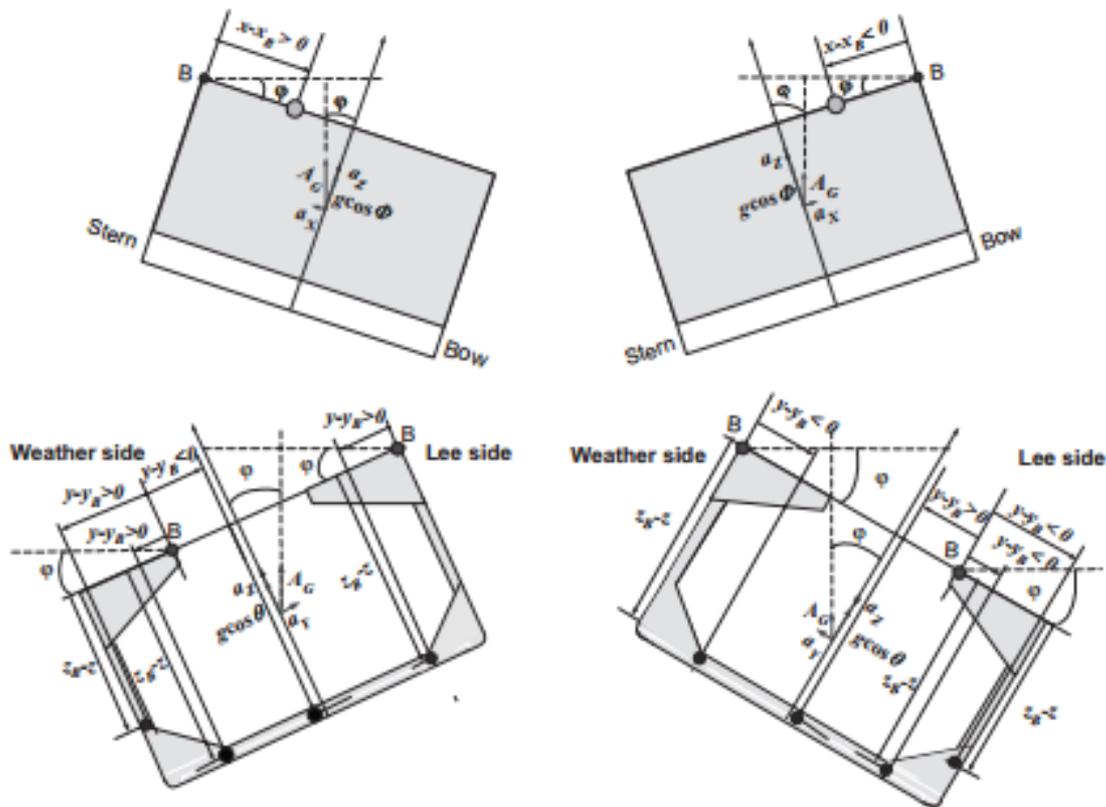
$$a_y = 0$$

$$a_z = 1 \cdot ((0,35 \cdot 0,43) + 0 + -0,7 \cdot 1,75 \cdot (14,5-0,45 \cdot 29)) = 1,93 \text{ m/s}^2$$

Estas aceleraciones serán para la situación de arrufo. Para la situación de quebranto, los signos se cambian.

Antes de calcular las presiones, se han de calcular los puntos de referencia. Estos puntos de referencia será un punto de la tapa superior del tanque. El punto de referencia responde al siguiente gráfico:

Fig. 3 Definition of x_B and y_B



V_j es mayor cuanto más alejado esté el punto del centro de gravedad del tanque. Por lo tanto, se puede concluir que el punto en la esquina interior superior del tanque es el punto con un V_j mayor.

Como punto de referencia se tomará el centro de gravedad del tanque. Los tanques de lastre tienen una eslora de 29 metros, una manga de 1,7 metros y un puntal de 13,8 metros. El punto de referencia estará en la mitad de todos ellos,

$$P_D = 1 \cdot 1,025 \cdot (1,93 \cdot (0 - 6,9)) + 0,62 \cdot (-4,13 \cdot (0 - 14,5)) = 50,78 \text{ kN/m}^2$$

En cuanto al tanque de carga, se calcula de la misma manera, simplemente cambiando la altura del tanque. Esta vez se tomará el tanque de carga, ya que tiene una presión dinámica mayor:

$$P_D = 1 \cdot 1,025 \cdot (1,93 \cdot (9,57)) + 0,62 \cdot (-4,13 \cdot (0-14,5)) = 56,06 \text{ kN/m}^2$$

Por lo tanto, la presión interna debido a la columna de líquido en un tanque de lastre es como máximo:

$$P_{\text{intL}} = 50,78 + 188,54 = 239,31 \text{ kN/m}^2$$

Para los refuerzos interiores, las presiones cambian:

$$P_{\text{intC}} = 171,44 + 56,06 = 146,87 \text{ kN/m}^2$$

Para los tanques que estén en contacto con el mar, esta presión interna ayudará a aliviar las tensiones por flexión debido a las presiones interiores. Ahora, para saber exactamente que presión existe aplicada a la placa y los refuerzos, habrá que considerar dos condiciones:

Para la condición de arrufo (en caso de quebranto, las aceleraciones son negativas, por lo que generan una situación más favorable):

- Calado mínimo (de la condición de carga más baja) con tanques de lastre llenos
- Calado de escantillonado y tanques de lastre vacíos (presión máxima)

La condición de carga más baja establecida es una condición con un sólo tanque de carga lleno y sin consumos. Esta tiene un calado de 6,57 m de calado medio. La presión en el exterior del buque será:

$$P_{\text{extE}} = 1,025 \cdot 9,81 \cdot (6,57-0) = 66,06 \text{ kN/m}^2$$

En cuanto a la presión dinámica, se alcanza el máximo en la suma de presión dinámica y estática a una altura de 0,45 metros, en el pantoque del buque. Esta suma es igual a 91,58 kN/m²

La presión interna total es de 234,79 kN/m², por lo tanto, la presión que se ejerce en el forro exterior es, como máximo:

$$P_{\text{TF1}} = 234,31 - 91,58 = 98,66 \text{ kN/m}^2$$

Para el segundo caso, los tanques de lastre en el interior del buque están vacíos, por lo que la presión interior es 0. La presión exterior ha sido calculada anteriormente, siendo un total de 136,13 kN/m²

Este valor es mayor que el anterior calculado, siendo el mayor que se puede producir (las presiones han sido calculadas en el fondo, donde la presión estática exterior es máxima). Los espesores a calcular serán teniendo en cuenta la presión de:

$$P_{TF2} = 136,13 \text{ kN/m}^2$$

5.- Escantillonado de los elementos

5.1.- Espesores mínimos

Sin tener consideración de las presiones laterales, el reglamento da unas fórmulas para calcular un espesor mínimo en las diferentes zonas del buque que no han de sobrepasar. De esta manera, para forros exteriores y placas, se extrae de la Capítulo 6, Sección 1, Punto 1:

2.2 Minimum net thicknesses

2.2.1

The net thickness of plating is to be not less than the values given in Table 2.

In addition, in the cargo area, the net thickness of side shell plating, from the normal ballast draught to $0.25T_S$ (minimum 2.2 m) above T_S , is to be not less than the value obtained, in mm, from the following formula:

$$t = 28(s + 0.7) \frac{(BT_s)^{0.25}}{\sqrt{R_{st}}}$$

Table 2 Minimum net thickness of plating

Plating	Minimum net thickness, in mm
Keel	$7.5 + 0.03L_{CSR-B}$
Bottom, inner bottom	$5.5 + 0.03L_{CSR-B}$
Weather strength deck and trunk deck, if any	$4.5 + 0.02L_{CSR-B}$
Side shell, bilge	$0.85L_{CSR-B}^{1/2}$
Inner side, hopper sloping plate and topside sloping plate	$0.7L_{CSR-B}^{1/2}$
Transverse and longitudinal watertight bulkheads	$0.6L_{CSR-B}^{1/2}$
Wash bulkheads	6.5
Accommodation deck	5.0

Para el coeficiente L_2 se escogerá la eslora de escantillonado del buque, siendo ésta 167,73 metros.

Se calcularán los espesores mínimos para la cuaderna maestra:

Espesor de la quilla

$$t = 7,5 + 0,03 \cdot 167,73 = 12,53 \text{ mm}$$

$$t = 13 \text{ mm}$$

Espesor del fondo:

$$t = 5,5 + 0,03 \cdot 167,73 = 10,53 \text{ mm}$$

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

Forro desde fondo hasta 15,6 m:

$$t = 0,85 \cdot 167,73^{1/2} = 9,87 \text{ mm}$$

$$t = 10 \text{ mm}$$

Forro desde 15,6 hasta cubierta:

$$t = 0,85 \cdot 167,73^{1/2} = 9,87 \text{ mm}$$

$$t = 10 \text{ mm}$$

Cubierta principal:

$$t = 4,5 + 0,02 \cdot 167,73 = 7,85 \text{ mm}$$

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

Fondo de los tanques de carga:

$$t = 4,5 + 0,02 \cdot 167,73 = 7,85 \text{ mm}$$

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

Mamparos longitudinales (delimitación entre lastre y carga):

$$t = 4,5 + 0,015 \cdot 167,73 = 7,02 \text{ mm}$$

$$t = 7,5 \text{ mm}$$

Todas las medidas anteriores han sido aumentadas hasta espesores convencionales, normalizados para la construcción.

5.2.- Espesores respecto a las presiones

Se han definido los espesores mínimos de la chapa . Sin embargo, no se ha tenido en cuenta la presión a la que están sometidos los diferentes elementos. A continuación se calcularán los espesores teniendo en cuenta las presiones en las que se incurren, extraídas de los datos anteriormente calculados. También tendrán en cuenta las tensiones admisibles máximas en las que incurre el material.

Para las placas, tenemos que (Parte 3, Capítulo 6, Sección 4, Punto 1):

3.2 Plating thickness

3.2.1 Intact conditions

The net thickness of laterally loaded plate panels is to be not less than the value obtained, in *mm*, from the following formula:

$$t = 15.8 c_a c_r s \sqrt{\frac{p_s + p_w}{\lambda_p R_T}}$$

where:

λ_p : Coefficient defined in Table 6

Table 6 Coefficient λ_p

Plating		Coefficient λ_p
Contributing to the hull girder longitudinal strength	Longitudinally framed plating	$0.95 - 0.45 \frac{\sigma_x}{R_T}$, without being taken greater than 0.9
	Transversely framed plating	$0.95 - 0.90 \frac{\sigma_x}{R_T}$, without being taken greater than 0.9
Not contributing to the hull girder longitudinal strength		0.9

Para los valores que no se expresan en la referencia al reglamento tenemos que:

$P_s + P_w$ es la presión a la que está sometida la placa

R_T es la tensión considerada admisible del material, siendo 235 N / mm²

λ es el coeficiente indicado: $0,95 - 0,45 \cdot (175/235) = 0,62$

La tabla en la que se definen los demás valores se muestra a continuación:

c_a : Coefficient of aspect ratio of the plate panel, equal to:

$$c_a = 1.21 \sqrt{1 + 0.33 \left(\frac{s}{\ell} \right)^2} - 0.69 \frac{s}{\ell}, \text{ to be taken not greater than } 1.0$$

c_r : Coefficient of curvature of the panel, equal to:

$$c_r = 1 - 0.5 \frac{s}{r}, \text{ to be taken not less than } 0.4$$

r : Radius of curvature, in m .

ℓ : Length, in m , of the longer side of the elementary plate panel, measured along the chord

s : Length, in m , of the shorter side of the elementary plate panel, measured along the chord at mid-span of ℓ

l será considerado 2,4 m . S será considerado 0,6 m en este ejemplo (las distancias cambian en los diferentes puntos del buque). Para las placas que sean rectas, el radio de curvatura es infinito, por lo que C_r se considerará en la gran mayoría de los casos igual a 1.

Para el cálculo de c_a :

$$c_a = 1,21 \cdot \sqrt{\left(1 + 0,33 \cdot \left(\frac{0,6}{2,4}\right)^2\right)} - 0,69 \cdot \frac{0,6}{2,4} = 1,05$$

Se calcularán los espesores necesarios para la cuaderna maestra, indicando los valores de los coeficientes:

Espesor del fondo:

$$C_R = 1$$

$$C_a = 1,05$$

$$s = 0,6$$

$$t = 15,8 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\left(\frac{166,23}{0,62 \cdot 235}\right)} = 10,63 \text{ mm} \quad t = 11 \text{ mm}$$

Forro:

$$C_R = 1$$

$$C_a = 1,05$$

$$s = 0,650$$

$$t = 15,8 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,650 \cdot \sqrt{\left(\frac{119,06}{0,62 \cdot 235}\right)} = 8,93 \text{ mm} \quad t = 9 \text{ mm}$$

Cubierta principal:

$$C_R = 1$$

$$C_a = 1,04$$

$$s = 0,635$$

$$t = 15,8 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,635 \cdot \sqrt{\left(\frac{34,3}{0,62 \cdot 235}\right)} = 5,17 \text{ mm} \quad t = 5,5 \text{ mm}$$

Mamparos longitudinales (delimitación entre lastre y carga):

$$C_R = 1$$

$$C_a = 1,04$$

$$s = 0,635$$

$$t = 15,8 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,635 \cdot \sqrt{\left(\frac{213,1}{0,62 \cdot 235}\right)} = 12,44 \text{ mm} \quad t = 12,5 \text{ mm}$$

Ahora, se compararán estos espesores con los mínimos, decidiéndose así los espesores de las chapas y el forro:

Fondo:

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

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

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

Forro:

$$t_m = 10 \text{ mm}$$

$$t_p = 9 \text{ mm}$$

$$t = 10 \text{ mm}$$

Cubierta principal:

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

$$t_p = 5,5 \text{ mm}$$

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

Mamparos longitudinales:

$$t_m = 8 \text{ mm} / 7,5 \text{ mm}$$

$$t_p = 12,5 \text{ mm}$$

$$t = 12,5 \text{ mm}$$

A continuación se pasará al cálculo de los espesores de los refuerzos secundarios por el reglamento DNV. Según el reglamento, Parte 3, Capítulo 6, Sección 5, Punto 1:

1 Stiffeners subject to lateral pressure

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:

$$t_w = \frac{f_{shr} |P| s_{shr}}{d_{shr} C_t e_H}$$

where:

f_{shr} = shear force distribution factor as defined in Table 1. For stiffeners with end fixity deviating from the ones included in Table 1, with complex load pattern, or being part of a grillage, the requirements given in [1.2] apply.

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

C_t = permissible shear stress coefficient for the acceptance criteria being considered, as defined in Table 2

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

Se tomará el valor de f_{shr} como 0,7, ya que se tratan de refuerzos secundarios ininterrumpidos por las bulárcamas (refuerzos primarios)

C_t , está definido para los diferentes criterios de aceptación. Se utilizará el mismo criterio que al dimensionar el espesor de las placas.

l_{shr} es la longitud efectiva de los refuerzos secundarios. Dependiendo de donde se encuentren los refuerzos secundarios y que tipo de estructura sea (longitudinal o transversal), se tomarán diferentes longitudes. Para este caso, la longitud normal a utilizar será la longitud entre refuerzos secundarios, 2,4 m, ya que es la separación entre las bulárcamas

d_{shr} se define en la Parte 3, Capítulo 3 , Sección 7, Punto 1 de este reglamento. El reglamento dice lo siguiente:

1.4.3 Effective shear depth of stiffeners

The effective shear depth of stiffeners, in mm, shall be taken as:

$$d_{shr} = (h_{stf} + t_p) \sin \varphi_w$$

where:

h_{stf} = height of stiffener, in mm, as defined in [Sec.2 Figure 1](#)

t_p = net thickness of the attached plating, in mm, as defined in [Sec.2 Figure 1](#)

φ_w = angle, in deg, as defined in [Figure 17](#).

h_{stf} se trata de la altura del refuerzo. Debido a que aun no se saben los espesores e inercias mínimas para estos refuerzos, se supondrá una altura de 300 mm.

El espesor t_p es el espesor del ala o apéndice que exista en el refuerzo, en caso de haberlo. En este caso, se ha decidido la introducción de refuerzos tipo bulbo, por lo que no se introduce espesor.

El ángulo indicado es el correspondiente a el alma del refuerzo con la chapa. En este caso será siempre de 90 grados, por lo que obtendremos un coeficiente de 1.

De esta forma, obtenemos un d_{shr} de:

$$d_{shr} = (300 + 0) \cdot 1 = 300 \text{ mm}$$

Para el cálculo de la tensión admisible a cortante, se ha de acudir a la Parte 3, Capítulo 1, Sección 4, Punto 2, en la que se define de la siguiente manera:

τ_{eH}	specified shear yield stress, $\tau_{eH} = \frac{R_{eH}}{\sqrt{3}}$	N/mm^2
-------------	--	----------

Por lo tanto, la tensión admisible a cortante es:

$$\tau_{eH} = \frac{235}{\sqrt{3}} = 135,38 \text{ N/mm}^2$$

Para el coeficiente s, se trata de la media de la separación entre refuerzos, tanto de un lado como de otro. En nuestro caso, se tomará como 600 mm

Ahora que se han definido todos los coeficientes, se podrá calcular el espesor por presión medio de los refuerzos secundarios con la fórmula anteriormente mencionada, dependiendo de en donde se encuentren los mismos:

Refuerzos en el fondo:

$$C_t = 0,9$$

$$t = \frac{0,7 \cdot 130,11 \cdot 2,4 \cdot 600}{300 \cdot 0,9 \cdot 135,38} = 3,58 \text{ mm} \quad t = 4 \text{ mm}$$

Refuerzos forro:

$$C_t = 0,9$$

$$t = \frac{0,5 \cdot 99,15 \cdot 2,4 \cdot 600}{300 \cdot 0,9 \cdot 135,38} = 1,95 \text{ mm} \quad t = 2 \text{ mm}$$

Cubierta principal:

$$C_t = 0,9$$

$$t = \frac{0,7 \cdot 34,3 \cdot 2,4 \cdot 600}{300 \cdot 0,9 \cdot 135,38} = 0,94 \text{ mm} \quad t = 1 \text{ mm}$$

Zona de carga/mamparos longitudinales:

$$C_t = 0,75$$

$$t = \frac{0,5 \cdot 146,87 \cdot 2,4 \cdot 600}{300 \cdot 0,75 \cdot 135,38} = 3,47 \text{ mm} \quad t = 3,5 \text{ mm}$$

Ahora se compararán estos espesores con el mínimo calculado anteriormente, para saber el espesor requerido para los refuerzos secundarios:

Refuerzos en el fondo:

$$t_m = 6,5 \text{ mm}$$

$$t_p = 4 \text{ mm}$$

$$t = 6,5 \text{ mm}$$

Refuerzos forro:

$$t_m = 6,5 \text{ mm}$$

$$t_p = 2 \text{ mm}$$

$$t = 6,5 \text{ mm}$$

Cubierta principal:

$$t_m = 6,5 \text{ mm}$$

$$t_p = 1 \text{ mm}$$

$$t = 6,5 \text{ mm}$$

Zona de carga/mamparos longitudinales:

$$t_m = 6,5 \text{ mm}$$

$$t_p = 3,5 \text{ mm}$$

$$t = 6,5 \text{ mm}$$

Este cálculo se ha realizado de forma anecdótica, ya que no es necesario para el escantillonado en caso de comprar perfiles. No se tendrá en cuenta este valor

El reglamento no da ningún tipo de regla para el dimensionamiento de las vagras, refuerzos longitudinales primarios, ya que responden a un problema que no se trata de la tensión generada por el buque viga. Se propondrán unos espesores mayores que los mínimos para estos refuerzos:

Refuerzo primario central:

$$t = 25 \text{ mm}$$

Otros refuerzos primarios del fondo:

$$t = 20 \text{ mm}$$

Refuerzos en los tanques de lastre:

$$t = 17 \text{ mm}$$

Refuerzos en la parte superior de los tanques de lastre:

$$t = 17 \text{ mm}$$

5.3.- Módulo mínimo de los elementos

Ahora que se han determinado los espesores mínimos, algunos elementos tienen referencias en el reglamento de acuerdo al módulo mínimo que han de aportar a la estructura.

En cuanto a las placas y forro, aportarán el módulo que aporten de acuerdo a sus dimensiones. Sin embargo, para los refuerzos primarios y refuerzos secundarios, si existe un módulo requerido mínimo.

Para los refuerzos secundarios, en el Capítulo 6, Sección 2, Punto 2 del reglamento, se puede leer lo siguiente:

3.2.3 Net section modulus and net shear sectional area of single span ordinary stiffeners under intact conditions

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

$$w = \frac{(p_s + p_w) s \ell^2}{m \lambda_s R_y} 10^3$$

$$A_{sk} = \frac{S(p_s + p_w) s \ell}{\tau_a \sin \phi}$$

where:

λ_s : Coefficient defined in Table 3.

ϕ : Angle, in *deg*, between the stiffener web and the shell plate, measured at the middle of the stiffener span; the correction is to be applied when ϕ is less than 75 *deg*.

Table 3 Coefficient λ_s

Ordinary stiffener	Coefficient λ_s
Longitudinal stiffener contributing to the hull girder longitudinal strength	$1.2 \left(1.0 - 0.85 \left| \frac{\sigma_x}{R_y} \right| \right)$, without being taken greater than 0.9
Other stiffeners	0.9

No podemos saber la masa del elemento antes de haberlo decidido, y se decidirá cuando se sepa el módulo mínimo. Por ello, calcularemos el módulo mínimo con el reglamento DNV y después verificaremos los módulos obtenidos con el área y la densidad del acero naval.

En la Parte 3, Capítulo 6, Sección 5, Punto 1 del reglamento DNV, se puede leer lo siguiente:

1.1.2 Section modulus

The minimum net section modulus, in cm³, 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:

$$Z = \frac{f_u |P| s t_{bdg}^2}{f_{bdg} C_s R_{eH}}$$

where:

- f_{bdg} = bending moment factor as defined in [Table 5](#). For stiffeners with end fixity deviating from the ones included in [Table 5](#), with complex load pattern, or being part of a grillage, the requirement given in [\[1.2\]](#) applies
- f_m = bending moment ratio between end support and midspan as defined in [Table 5](#)
- 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)
- C_s = permissible bending stress coefficient as defined in [Table 3](#) for the acceptance criteria given in [Table 4](#)
- C_{s-max} = coefficient, as defined in [Table 4](#)
- α_s = coefficient, as defined in [Table 4](#)
- β_s = coefficient, as defined in [Table 4](#).

f_u , como indica en la referencia, será tomado 1,03 para los refuerzos tipo bulbo.

Para todos los demás coeficientes, es necesario acudir a las tablas que están a continuación de esta referencia. Se adjuntan todas ellas para el cálculo de los coeficientes:

Table 3 Stiffeners, definition of C_s

Structural member	Sign of hull girder stress, σ_{hg}	Lateral pressure acting on	Coefficient C_s
For continuous stiffeners	Tension (positive)	Stiffener side	$C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}$ but not to be taken greater than C_{s-max}
	Compression (negative)	Plate side	
	Tension (positive)	Plate side	$C_s = f_m \left(\beta_s - \alpha_s \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}} \right)$ but not to be taken greater than C_{s-max}
	Compression (negative)	Stiffener side	
For non-continuous stiffeners	Tension (positive)	Plate side	$C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eh}}$ but not to be taken greater than C_{s-max}
	Compression (negative)	Stiffener side	
	Tension (positive)	Stiffener side	$C_s = C_{s-max}$
	Compression (negative)	Plate side	

Table 4 Stiffeners, definition of β_s , α_s and C_{s-max}

Acceptance criteria	Structural member	β_s	α_s	C_{s-max}
AC-I	Longitudinal members	0.95	1.00	0.85
	Other members	0.85	0.00	0.85
AC-II	Longitudinal members	1.10	1.00	0.95
	Other members	0.95	0.00	0.95
AC-III	Longitudinal members	1.20	1.00	1.00
	Other members	1.00	0.00	1.00

Table 5 Stiffeners, definition of f_{bdg} 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_{bdg}	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	

Se procederá al cálculo de todos los coeficientes necesarios para la obtención del módulo mínimo de los refuerzos secundarios:

Refuerzos en el fondo:

$$P = 130,11 \text{ kN / m}^2$$

$$s = 600$$

$$l_{bdg} = 2,4$$

Al tratarse de refuerzos secundarios continuos (existen huecos en los refuerzos primarios que dejan pasar a los secundarios), y son verticales:

$$f_{bdg} = 10$$

De la misma manera que se calculó para el forro en tensión de placas:

$$\beta_a = 1,05$$

$$\alpha_a = 0,5$$

$$C_{a-max} = 0,95$$

$$C_a = 1,05 - 0,5 \cdot \frac{175}{235} = 0,68 \text{ , aunque se toma la máxima}$$

$$R_{eH} = 235$$

$$Z = \frac{1,03 \cdot 130,11 \cdot 2,4^2 \cdot 600}{10 \cdot 0,95 \cdot 235} = 207,46 \text{ cm}^3$$

Refuerzos forro:

$$P = 130,11 \text{ kN / m}^2$$

$$s = 600$$

$$l_{bdg} = 2,4$$

Al tratarse de refuerzos secundarios continuos (existen huecos en los refuerzos primarios que dejan pasar a los secundarios), y son horizontales:

$$f_{bdg} = 12$$

De la misma manera que se calculó para el forro en tensión de placas:

$$\beta_a = 1,05$$

$$\alpha_a = 0,5$$

$$C_{a-max} = 0,95$$

$$C_a = 1,05 - 0,5 \cdot \frac{175}{235} = 0,68 \text{ , aunque se toma la máxima}$$

$$R_{eH} = 235$$

$$Z = \frac{1,03 \cdot 110,78 \cdot 2,4^2 \cdot 570}{12 \cdot 0,95 \cdot 235} = 139,83 \text{ cm}^3$$

Cubierta principal:

$$P = 34,3 \text{ kN / m}^2$$

$$s = 650$$

$$l_{bdg} = 2,4$$

Al tratarse de refuerzos secundarios no continuos (cada vez que hay un refuerzo primario son soportados por ellos:

$$f_{bdg} = 8$$

De la misma manera que se calculó para el forro en tensión de placas:

$$\beta_a = 1,05$$

$$\alpha_a = 0,5$$

$$C_{a-max} = 0,85$$

$$C_a = 1,05 - 0,5 \cdot \frac{175}{235} = 0,68 \text{ , aunque se toma la máxima}$$

$$R_{eH} = 235$$

$$Z = \frac{1,03 \cdot 34,3 \cdot 2,4^2 \cdot 650}{10 \cdot 0,85 \cdot 235} = 57,88 \text{ cm}^3$$

En los puntos finales del cuaderno se mostrará un cálculo detallado de todo el módulo requerido para todos los refuerzos secundarios. Se han de agrupar los refuerzos secundarios ya que, al ser comprados por perfilería industrial, no se pueden comprar de forma individual y separada. Se realizarán conjuntos de 3 refuerzos, supeditados al más desfavorable de ellos (que será el que esté sometido a mayor presión)

El módulo obtenido en este apartado es el módulo que ha de aportar el refuerzo secundario longitudinal sin su chapa asociada. Se tendrá que introducir en el cálculo el módulo que se añade por esta chapa. Normalmente se escoge 60 veces el espesor de los refuerzos.

Con estos refuerzos se confirma un total de 27 toneladas por refuerzo y se confirman los módulos

En los puntos finales del cuaderno se mostrará un cálculo detallado de todo el módulo requerido para todos los refuerzos secundarios. Se han de agrupar los refuerzos secundarios ya que, al ser comprados por perfilería industrial, no se pueden comprar de forma individual y separada. Se realizarán conjuntos de 3 refuerzos, supeditados al más desfavorable de ellos (que será el que esté sometido a mayor presión)

El módulo obtenido en este apartado es el módulo que ha de aportar el refuerzo secundario longitudinal y su chapa asociada (una porción de la chapa adosada al refuerzo ayuda al mismo). Normalmente se escoge un espesor de la chapa de 60 veces el valor del espesor.

Para los refuerzos primarios, las fórmulas son orientativas, ya que, como se dijo anteriormente, estos refuerzos soportan a los refuerzos primarios transversales reduciendo la luz de los mismos. Se volverá a calcular con el DNV, ya que en el NK no existe este tipo de formulación

El módulo mínimo requerido para estos refuerzos es, según el reglamento (Parte 3, Capítulo 6, Sección 6, Punto 2):

2.1.1 Net section modulus

The net section modulus, in cm³, 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:

$$Z_{n50} = 1000 \frac{|P| S_{bdg}^2}{f_{bdg} c_{sRH}}$$

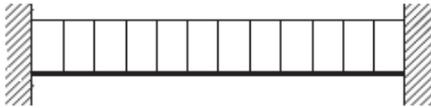
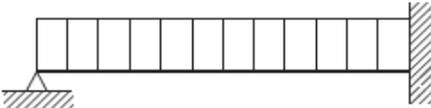
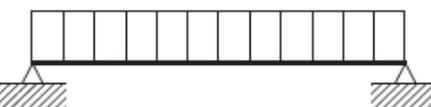
Existen 11 refuerzos primarios longitudinales. La forma del cálculo se realiza de la misma manera que cuando se hizo con los refuerzos secundarios longitudinales. Son necesarias las mismas tablas que se han mostrado anteriormente. Como ejemplo, se realizará el refuerzo primario de la quilla. Las tablas diferenciadas de las del cálculo de los refuerzos secundarios son las siguientes:

C_t = permissible shear stress coefficient to be taken as:

$C_t = 0.70$ for AC-I

$C_t = 0.85$ for AC-II and AC-III.

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
B				- 0.38	14.2 -	8.0 0.63
C				- 0.50	8.0 -	- 0.50

Por lo tanto, para el refuerzo de la quilla, se utilizará un $C_t = 0,85$ y un f_{bdg} igual a 12

Refuerzo de la quilla:

$$Z_{n50} = 1000 \cdot \frac{130,11 \cdot 0,6^2 \cdot 2400}{12 \cdot 0,85 \cdot 235} = 46898,22 \text{ cm}^3$$

5.4.- Perfiles de utilización

Ahora que ya se saben los módulos mínimos requeridos para cada refuerzo, es necesario elegir los que utilizaremos para la construcción. Habrá que mirar un catálogo de perfiles prefabricados para introducir en nuestro buque.

Como se dijo anteriormente, los longitudinales secundarios se agruparán en grupos de 3 para su dimensionamiento, siendo delimitados por el refuerzo que esté a una presión mayor. También se hará un cálculo para la chapa asociada.

En el anexo 1 se podrá observar el catálogo utilizado para la elección de la perfilería.

A continuación vemos una tabla con todos los refuerzos secundarios, con la notación que se mostrará en el plano de la cuaderna maestra. Las inercias y módulos son extraídos directamente del catálogo utilizado

Refuerzos	Módulo mínimo	Refuerzo	Modulo del refuerzo
RSE1	207,46	300x11	220,8
RSE2	208,37	300x11	220,8
RSE3	209,27	300x11	220,8
RSE4	210,17	300x11	220,8
RSE5	211,98	300x11	220,8
RSE6	212,88	300x11	220,8
RSE7	213,78	300x11	220,8
RSE8	214,68	300x11	220,8
RSE9	215,31	300x11	220,8
RSE10	215,67	300x11	220,8
RSE11	216,14	300x11	220,8
RSE12	216,51	300x11	220,8
RSE13	216,21	300x11	220,8
RSE14	217,05	300x11	220,8
RSE15	216,77	300x11	220,8
RSE16	216,05	300x11	220,8
RSE17	214,57	300x11	220,8
RSE18	212,13	300x11	220,8
RSE19	203,33	280x12	205
RSE20	172,1	280x12	205

RSE21	167,34	280x12	205
RSE22	162,52	260x12	174,6
RSE23	157,5	260x12	174,6
RSE24	139,83	260x12	174,6
RSE25	135,19	300x11	220,8
RSE26	217,94	300x11	220,8
RSE27	219,94	300x11	220,8
RSE28	212,39	300x11	220,8
RSE29	203,51	300x11	220,8
RSE30	196,62	300x11	220,8
RSE31	188,41	280x11	190,2
RSE32	180,06	280x11	190,2
RSE33	172,64	280x11	190,2
RSE34	164,69	260x12	174,6
RSE35	156,87	260x12	174,6
RSE36	149,06	260x12	174,6
RSE37	141,17	240x11,5	141,5
RSE38	133,29	240x11,5	141,5
RSE39	125,34	240x11,5	141,5
RSE40	117,52	220x12	121,6
RSE41	101,62	220x12	121,6
RSE42	55,6	220x12	121,6
RSE43	55,6	180x9	61,6
RSE44	55,6	180x9	61,6
RSE45	59,25	180x9	61,6
RSE46	59,25	180x9	61,6
RSE47	59,25	180x9	61,6
RSE48	59,25	180x9	61,6
RSE49	59,25	180x9	61,6
RSE50	59,25	180x9	61,6
RSE51	59,25	180x9	61,6
RSE52	59,25	180x9	61,6
RSE53	59,25	180x9	61,6
RSE54	59,25	180x9	61,6
RSE55	59,25	180x9	61,6
RSE56	59,25	180x9	61,6
RSE57	59,25	180x9	61,6
RSE58	57,88	180x9	61,6
RSE59	57,88	180x9	61,6
RSE60	57,88	180x9	61,6
RSE61	57,88	180x9	61,6
RSE62	57,88	180x9	61,6
RSE63	57,88	180x9	61,6
RSE64	57,88	180x9	61,6
RSE65	57,88	180x9	61,6
RSE66	57,88	180x9	61,6
RSE67	57,88	180x9	61,6
RSE68	57,88	180x9	61,6
RSE69	57,88	180x9	61,6

RSI1	362,75	340x15	377
RSI2	362,75	340x15	377
RSI3	362,75	340x15	377
RSI4	362,75	340x15	377
RSI5	362,75	340x15	377
RSI6	362,75	340x15	377
RSI7	362,75	340x15	377
RSI8	362,75	340x15	377
RSI9	362,75	340x15	377
RSI10	362,75	340x15	377
RSI11	362,75	340x15	377
RSI12	362,75	340x15	377
RSI13	362,75	340x15	377
RSI14	375,86	340x15	377
RSI15	367,79	340x15	377
RSI16	359,61	340x15	377
RSI17	351,5	340x15	377
RSI18	343,35	340x15	377
RSI19	335,21	340x14	355,2
RSI20	272,55	340x14	355,2
RSI21	266,19	340x14	355,2
RSI22	244,72	300x13	254,9
RSI23	236,16	300x13	254,9
RSI24	227,6	300x13	254,9
RSI25	219,04	280x13	219,6
RSI26	210,48	280x13	219,6
RSI27	201,92	280x13	219,6
RSI28	193,36	280x12	205
RSI29	184,8	280x12	205
RSI30	176,24	280x12	205
RSI31	167,68	280x11	190,2
RSI32	159,12	280x11	190,2
RSI33	180,67	280x11	190,2
RSI34	170,4	260x12	174,6
RSI35	160,13	260x12	174,6
RSI36	122,54	260x12	174,6
RSI37	120,69	220x12	121,6
RSI38	116,45	220x12	121,6
RSI39	112,22	220x12	121,6
RSI40	107,98	220x11	112,7
RSI41	96,65	220x11	112,7
RSI42	93,86	220x11	112,7
RSI43	93,86	200x11,5	95,3
RSI44	94,6	200x11,5	95,3
RSI45	94,6	200x11,5	95,3
RSI46	94,6	200x11,5	95,3
RSI47	94,6	200x11,5	95,3

RSI48	94,6	200x11,5	95,3
RSI49	94,6	200x11,5	95,3
RSI50	94,6	200x11,5	95,3
RSI51	94,6	200x11,5	95,3
RSI52	94,6	200x11,5	95,3
RSI53	94,6	200x11,5	95,3
RSI54	94,6	200x11,5	95,3
RSI55	94,6	200x11,5	95,3

Tablas : Refuerzos primarios y sus dimensiones.

Para los refuerzos primarios, no se utilizará perfilera, si no que se calcularán como si fuesen mamparos longitudinales, con un espesor de chapa determinado ya anteriormente.

5.5.- Cálculos de chapa

Se ha calculado la inercia de la chapa, sin considerarla dentro de los refuerzos secundarios. Los refuerzos anteriores se han calculado sin chapa asociada ya que es necesario un sobredimensionamiento. Al realizar el cálculo del módulo total, se ha visto que se necesita más módulo que el aportado por todos los elementos. La inercia de las diversas placas que conforman la estructura del buque tienen una inercia similar a la de un rectángulo, $(1/12) \cdot t \cdot l^3$

A continuación se pueden observar los espesores de la chapa, cotejados por los espesores mínimos y los espesores por las cargas de presión. También se pueden observar las inercias respecto a su eje horizontal. Los espesores a añadir por corrosión no han sido introducidos aún, se podrán ver reflejados en el plano de la sección maestra:

Refuerzos	Espesores chapa	Inercia	
RSE1		9	0,46
RSE2		9	0,46
RSE3		9	0,46
RSE4		9	0,46
RSE5		9	0,46
RSE6		9	0,46
RSE7		9	0,46
RSE8		9	0,46
RSE9		9	0,46
RSE10		9	0,46
RSE11		9	0,46
RSE12		9	0,46
RSE13		9	0,46
RSE14		9	0,46
RSE15		9	0,46
RSE16		9	0,46
RSE17		9	0,46
RSE18		9	0,46

RSE19	8,5	0,38
RSE20	8	0,3
RSE21	8	0,3
RSE22	8	0,3
RSE23	8	0,3
RSE24	7,5	109958,34
RSE25	7,5	109958,34
RSE26	9,5	109958,34
RSE27	10	130555,94
RSE28	9,5	130555,94
RSE29	9,5	130555,94
RSE30	9,5	130555,94
RSE31	9	130555,94
RSE32	9	130555,94
RSE33	9	130555,94
RSE34	8,5	130555,94
RSE35	8,5	130555,94
RSE36	8	130555,94
RSE37	8	130555,94
RSE38	7,5	130555,94
RSE39	7,5	130555,94
RSE40	7,5	130555,94
RSE41	7	130555,94
RSE42	5,5	144227,51
RSE43	5,5	144227,51
RSE44	5,5	144227,51
RSE45	5,5	185944,01
RSE46	5,5	185944,01
RSE47	5,5	0,11
RSE48	5,5	0,11
RSE49	5,5	0,11
RSE50	5,5	0,11
RSE51	5,5	0,11
RSE52	5,5	0,11
RSE53	5,5	0,11
RSE54	5,5	0,11
RSE55	5,5	0,11
RSE56	5,5	0,11
RSE57	5,5	0,11
RSE58	5,5	0,11
RSE59	5,5	0,11
RSE60	5,5	0,11
RSE61	5,5	0,11
RSE62	5,5	0,11
RSE63	5,5	0,11
RSE64	5,5	0,11
RSE65	5,5	0,11
RSE66	5,5	0,11
RSE67	5,5	0,11
RSE68	5,5	0,11
RSE69	5,5	0,11

RSI1	13	1,37
RSI2	13	1,37
RSI3	13	1,37
RSI4	13	1,37
RSI5	13	1,37
RSI6	13	1,37
RSI7	13	1,37
RSI8	13	1,37
RSI9	13	1,37
RSI10	13	1,37
RSI11	13	1,37
RSI12	13	47729,71
RSI13	13	47729,71
RSI14	13,5	59879,57
RSI15	13,5	59879,57
RSI16	13,5	59879,57
RSI17	13	59879,57
RSI18	13	59879,57
RSI19	13	59879,57
RSI20	13	59879,57
RSI21	12,5	59879,57
RSI22	12	54419
RSI23	12	153920,17
RSI24	11,5	153920,17
RSI25	11,5	153920,17
RSI26	11	153920,17
RSI27	11	153920,17
RSI28	10,5	153920,17
RSI29	10,5	153920,17
RSI30	10	153920,17
RSI31	10	153920,17
RSI32	9,5	153920,17
RSI33	9,5	153920,17
RSI34	9	153920,17
RSI35	9	153920,17
RSI36	8	54419
RSI37	8	65741,14
RSI38	8	65741,14
RSI39	7,5	65741,14
RSI40	7,5	65741,14
RSI41	7	58015,76
RSI42	7	58015,76
RSI43	7	58015,76
RSI44	7	0,23
RSI45	7	0,23
RSI46	7	0,23
RSI47	7	0,23
RSI48	7	0,23
RSI49	7	0,23
RSI50	7	0,23

RSI51	7	0,23
RSI52	7	0,23
RSI53	7	0,23
RSI54	7	0,23
RSI55	7	0,23

Tablas: Dimensiones de chapas

5.6.- Cálculos de refuerzos primarios

Como se hizo con los elementos anteriores, también se ha calculado la inercia respecto al eje neutro de cada uno de los refuerzos primarios. Existe una operación en todos los elementos que no se ha mostrado anteriormente, que se trata de calcular la inercia respecto al eje neutro de la sección maestra. Se trata de un simple cálculo de movimiento del eje de inercia mediante el Teorema de Steiner. La inercia respecto al eje neutro de los refuerzos se calcula de la misma manera que se hizo con la chapa

A continuación podemos ver los momentos respecto al centro de gravedad de cada uno de los refuerzos y respecto al eje neutro de la sección maestra (los totales):

	Longitud	Espesor	Inercia	Steiner	TOTAL
RP1	170	2,5	1023541,67	281983051,16	283006592,83
RP2	168	2	790272	223480195,51	224270467,51
RP3	161	2	695546,83	212857499,84	213553046,67
RP4	139	2	447603,17	177497099,02	177944702,19
RP5	2	408	272	433119059,62	433119331,62
RP6	1,7	157	64,28	23813056,64	23813120,92
RP7	1,7	240	98,26	173070917,55	173071015,81
RP8	1,7	164	67,14	223975674,59	223975741,74
RP9	218	1,7	1467699,53	528740202,87	530207902,41
RP10	218	1,7	1467699,53	528740202,87	530207902,41
RP11	218	1,7	1467699,53	528740202,87	530207902,41

También se ha realizado con los elementos anteriores, aunque, al tratarse de tantos, no se ha mostrado en las tablas. El módulo total aportado por estos elementos es la suma de todos los totales dividida por el eje neutro de la sección maestra. Existirán dos módulos, el de cubierta y el de fondo, siendo calculados con la división del eje neutro o con la resta del calado menos el eje neutro.

Eje neutro de la sección maestra:

Eje neutro de la sección maestra	899,55
Eje neutro respecto a cubierta	895,45

Y los módulos aportados por los tres tipos de elementos son los siguientes:

Refuerzos primarios:

TOTAL	cm ³
Modulo en fondo	3716728,01
Modulo en cubierta	3733734,72

Refuerzos secundarios y chapa:

Modulo en cubierta (cm3)	7560897,36
Modulo en fondo (cm3)	7526458,38

El total de todos los elementos es el siguiente:

TOTAL

Módulo en cubierta	11294632,07 cm ³
Modulo en fondo	11260193,1 cm ³

Y, como se calculó al inicio del cuaderno, el módulo requerido es:

Módulo mínimo sección maestra

11,170806146 m ³
11170806,15 cm ³

Módulo requerido mínimo quebranto

10,92 m³

Módulo requerido mínimo arrufo

10,92 m³

Por lo tanto, la sección maestra cumple con los mínimos requeridos por el reglamento de sociedades de clasificación DNV

Se podría optimizar la estructura reduciendo los diferentes espesores para un mayor aprovechamiento de inercia, aunque sería una operación posterior que no se realizará en el anteproyecto.

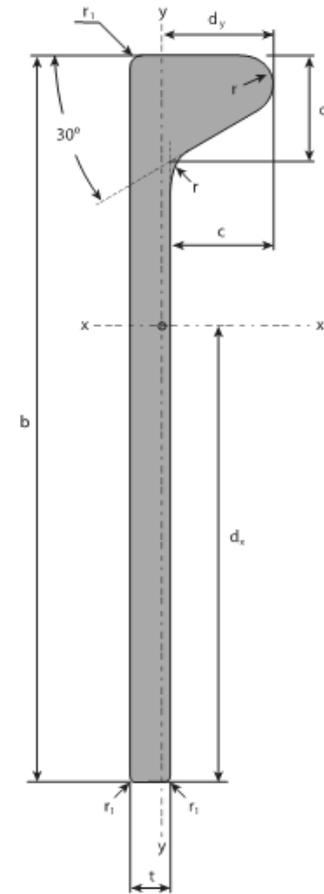
ANEXO I.- Catálogo de perfiles comerciales

Bulb Flats Tolerances

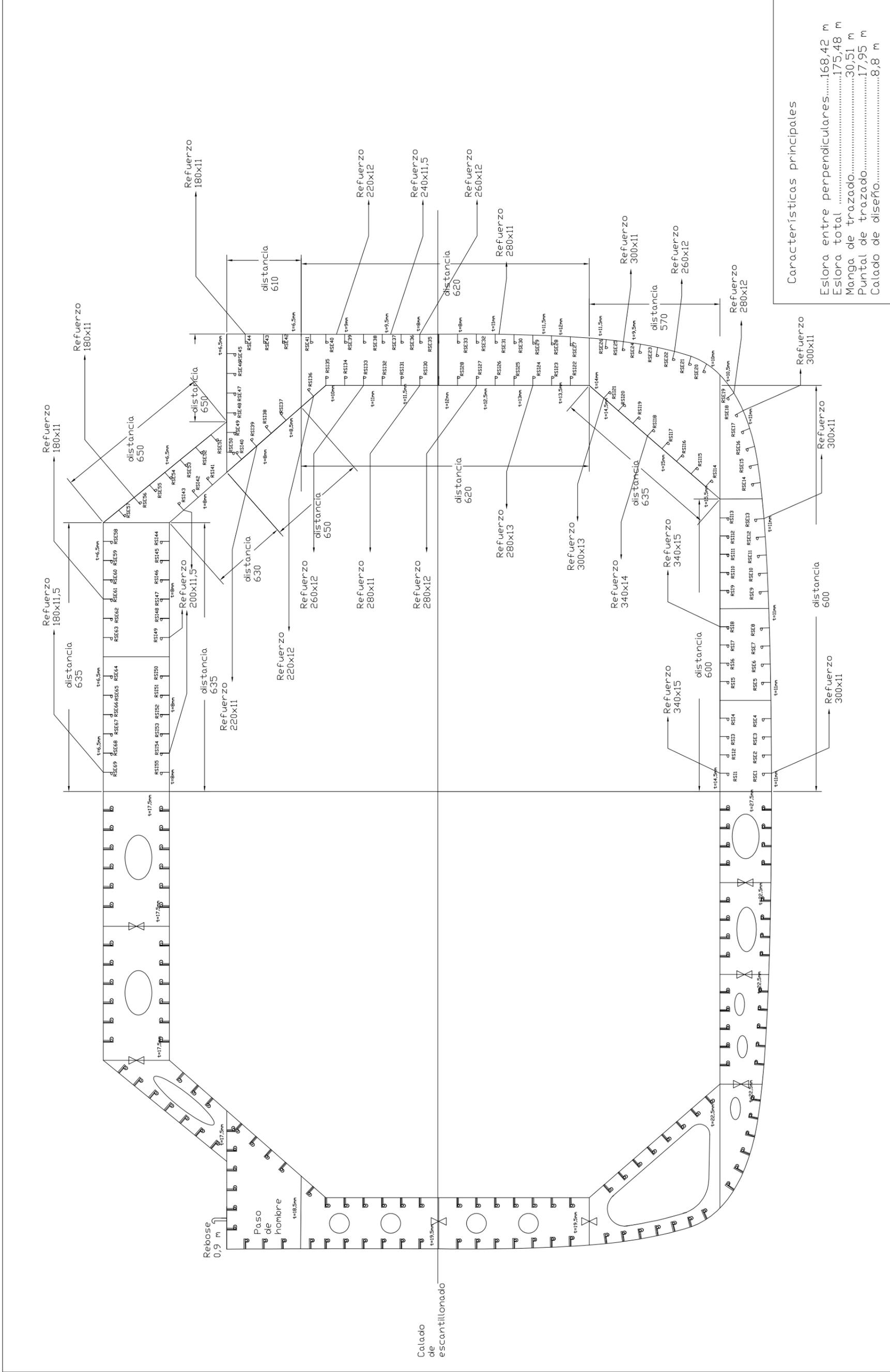
Dimensions and Properties

Section Description	Section Description					Mass per metre G kg/m	Area of section F cm ²	Surface area per metre U m ² /m	Distance to Centre of Gravity		Second Moment of Area	
	b mm	t mm	c mm	d mm	r mm				dx mm	dy mm	Ix cm ⁴	Iy cm ⁴
160x7	160	7.0	22.0	22.2	6.0	11.44	14.58	0.365	96.7	6.5	371.10	5.85
160x8	160	8.0	22.0	22.2	6.0	12.70	16.18	0.367	95.1	6.8	409.27	6.54
160x9	160	9.0	22.0	22.2	6.0	13.95	17.78	0.370	93.7	7.1	446.70	7.31
160x10	160	10.0	22.0	22.2	6.0	15.19	19.34	0.371	92.6	7.5	481.31	8.15
160x11	160	11.0	22.0	22.2	6.0	16.44	20.94	0.373	91.7	7.9	517.81	9.09
160x11.5	160	11.5	22.0	22.2	6.0	17.07	21.74	0.374	91.3	8.1	535.93	9.60
180x8	180	8.0	25.0	25.5	7.0	14.78	18.83	0.412	109.0	7.4	606.55	9.89
180x9	180	9.0	25.0	25.5	7.0	16.20	20.63	0.414	107.4	7.7	661.09	10.92
180x10	180	10.0	25.0	25.5	7.0	17.59	22.40	0.416	106.0	8.1	711.72	12.03
180x11	180	11.0	25.0	25.5	7.0	19.00	24.20	0.418	104.8	8.4	764.60	13.25
180x11.5	180	11.5	25.0	25.5	7.0	19.70	25.10	0.419	104.3	8.6	790.81	13.90
200x8.5	200	8.5	28.0	28.8	8.0	17.77	22.63	0.458	122.2	8.2	901.07	15.06
200x9	200	9.0	28.0	28.8	8.0	18.55	23.63	0.459	121.3	8.4	939.14	15.75
200x10	200	10.0	28.0	28.8	8.0	20.10	25.60	0.460	119.7	8.7	1010.47	17.18
200x11	200	11.0	28.0	28.8	8.0	21.67	27.60	0.463	118.3	9.0	1084.33	18.75
200x11.5	200	11.5	28.0	28.8	8.0	22.45	28.60	0.464	117.6	9.2	1120.89	19.57
200x12	200	12.0	28.0	28.8	8.0	23.24	29.60	0.465	117.0	9.4	1157.23	20.43
220x9	220	9.0	31.0	32.1	9.0	21.02	26.78	0.504	135.5	9.1	1290.48	22.01
220x10	220	10.0	31.0	32.1	9.0	22.72	28.94	0.505	133.7	9.3	1387.89	23.86
220x11	220	11.0	31.0	32.1	9.0	24.45	31.14	0.507	132.0	9.7	1488.07	25.83
220x11.5	220	11.5	31.0	32.1	9.0	25.31	32.24	0.509	131.2	9.8	1537.57	26.87
220x12	220	12.0	31.0	32.1	9.0	26.17	33.34	0.510	130.5	10.0	1586.73	27.94
230x11	230	11.0	32.5	33.75	9.5	25.88	32.97	0.530	138.9	10.0	1724.98	30.05
240x9.5	240	9.5	34.0	35.4	10.0	24.51	31.23	0.549	148.9	9.9	1787.40	31.12
240x10	240	10.0	34.0	35.4	10.0	25.46	32.43	0.550	147.9	10.0	1854.67	32.30
240x10.5	240	10.5	34.0	35.4	10.0	26.40	33.63	0.551	146.9	10.2	1921.25	33.52
240x11	240	11.0	34.0	35.4	10.0	27.34	34.83	0.552	145.9	10.3	1987.20	34.78
240x11.5	240	11.5	34.0	35.4	10.0	28.28	36.03	0.554	145.1	10.5	2052.60	36.06
240x12	240	12.0	34.0	35.4	10.0	29.22	37.23	0.555	144.3	10.6	2117.50	37.39
260x10	260	10.0	37.0	38.7	11.0	28.30	36.05	0.595	162.3	10.7	2421.72	42.80
260x11	260	11.0	37.0	38.7	11.0	30.34	38.65	0.597	160.1	11.0	2593.45	45.86
260x12	260	12.0	37.0	38.7	11.0	32.38	41.25	0.600	158.2	11.3	2762.00	49.07
260x13	260	13.0	37.0	38.7	11.0	34.43	43.85	0.602	156.5	11.6	2927.94	52.45
280x10.5	280	10.5	40.0	42.0	12.0	32.36	41.22	0.641	175.7	11.6	3210.10	57.50
280x11	280	11.0	40.0	42.0	12.0	33.46	42.62	0.642	174.5	11.7	3318.79	59.39
280x12	280	12.0	40.0	42.0	12.0	35.66	45.42	0.645	172.4	11.9	3532.99	63.29
280x13	280	13.0	40.0	42.0	12.0	37.86	48.22	0.647	170.5	12.2	3743.56	67.37
300x11	300	11.0	43.0	45.3	13.0	36.69	46.73	0.687	189.1	12.4	4175.43	75.68
300x12	300	12.0	43.0	45.3	13.0	39.04	49.73	0.690	186.7	12.7	4443.49	80.39
300x13	300	13.0	43.0	45.3	13.0	41.40	52.73	0.692	184.6	12.9	4706.64	85.27
320x11.5	320	11.5	46.0	48.6	14.0	41.28	52.59	0.733	202.5	13.3	5342.16	97.86
320x12	320	12.0	46.0	48.6	14.0	42.54	54.19	0.735	201.3	13.4	5506.76	100.69
320x12.5	320	12.5	46.0	48.6	14.0	43.79	55.79	0.736	200.1	13.5	5669.75	103.58
320x13	320	13.0	46.0	48.6	14.0	45.05	57.39	0.737	199.0	13.6	5831.26	106.51
320x13.5	320	13.5	46.0	48.6	14.0	46.27	58.94	0.737	198.0	13.7	5977.59	109.44
320x14	320	14.0	46.0	48.6	14.0	47.53	60.54	0.738	197.0	13.9	6136.58	112.48
340x12	340	12.0	49.0	52.0	15.0	46.15	58.78	0.780	216.0	14.1	6736.30	124.57
340x12.5	340	12.5	49.0	52.0	15.0	47.48	60.48	0.781	214.7	14.2	6934.97	127.98
340x13	340	13.0	49.0	52.0	15.0	48.81	62.18	0.782	213.5	14.3	7131.73	131.44
340x14	340	14.0	49.0	52.0	15.0	51.45	65.54	0.784	211.3	14.6	7504.42	138.47
340x15	340	15.0	49.0	52.0	15.0	54.12	68.94	0.786	209.2	14.8	7886.99	145.80
370x12.5	370	12.5	53.5	56.9	16.5	53.22	67.79	0.848	236.9	15.4	9184.55	172.23
370x13	370	13.0	53.5	56.9	16.5	54.67	69.64	0.850	235.5	15.5	9444.05	176.62
370x14	370	14.0	53.5	56.9	16.5	57.54	73.30	0.851	233.0	15.7	9936.79	185.49
370x15	370	15.0	53.5	56.9	16.5	60.44	77.00	0.854	230.7	15.9	10440.07	194.68
370x16	370	16.0	53.5	56.9	16.5	63.35	80.70	0.857	228.6	16.1	10955.90	204.14
400x13	400	13.0	58.0	61.9	18.0	60.78	77.43	0.918	257.9	16.6	12234.74	232.34
400x14	400	14.0	58.0	61.9	18.0	63.88	81.38	0.919	255.1	16.8	12872.91	243.41
400x15	400	15.0	58.0	61.9	18.0	67.02	85.38	0.922	252.5	17.0	13521.89	254.79
400x16	400	16.0	58.0	61.9	18.0	70.16	89.38	0.925	250.2	17.2	14160.53	266.45
430x14	430	14.0	62.5	66.8	19.5	70.48	89.78	0.987	277.5	18.0	16366.61	313.68
430x15	430	15.0	62.5	66.8	19.5	73.85	94.08	0.990	274.6	18.1	17189.22	327.65
430x17	430	17.0	62.5	66.8	19.5	80.60	102.68	0.995	269.6	18.5	18794.22	356.44
430x18	430	18.0	62.5	66.8	19.5	83.98	106.98	0.998	267.4	18.8	19579.84	371.35
430x19	430	19.0	62.5	66.8	19.5	87.36	111.28	1.001	265.4	19.0	20355.95	386.65
430x20	430	20.0	62.5	66.8	19.5	90.73	115.58	1.004	263.5	19.3	21123.62	402.40

Elastic Modulus		Radius of Gyration		Warping Constant	Torsional Constant
Zx cm ²	Zy cm ²	rx cm	ry cm	H cm ⁴ /10 ³	J cm ⁴
38.4	9.0	5.05	0.63	1.11	3.65
43.0	9.7	5.03	0.64	1.15	4.57
47.7	10.3	5.01	0.64	1.19	5.73
52.0	10.9	4.99	0.65	1.22	7.12
56.5	11.5	4.97	0.66	1.26	8.86
58.7	11.9	4.96	0.66	1.29	9.85
55.6	13.3	5.67	0.72	2.41	6.24
61.6	14.1	5.66	0.73	2.47	7.57
67.1	14.9	5.64	0.73	2.52	9.15
72.9	15.7	5.62	0.74	2.60	11.13
75.8	16.1	5.61	0.74	2.64	12.26
73.7	18.3	6.31	0.82	4.71	9.20
77.4	18.8	6.30	0.82	4.76	10.00
84.4	19.8	6.28	0.82	4.83	11.78
91.7	20.8	6.27	0.82	4.95	14.01
95.3	21.3	6.26	0.83	5.02	15.28
98.9	21.8	6.25	0.83	5.09	16.65
95.2	24.3	6.94	0.91	8.61	13.17
103.8	25.5	6.92	0.91	8.72	15.16
112.7	26.8	6.91	0.91	8.90	17.65
117.2	27.4	6.91	0.91	8.99	19.06
121.6	28.0	6.90	0.92	9.10	20.60
124.2	30.1	7.23	0.95	11.69	19.81
120.0	31.4	7.57	1.00	14.83	18.25
125.4	32.2	7.56	1.00	14.94	19.46
130.8	33.0	7.56	1.00	15.06	20.78
136.2	33.8	7.55	1.00	15.19	22.22
141.5	34.5	7.55	1.00	15.33	23.79
146.8	35.2	7.54	1.00	15.48	25.49
149.2	39.9	8.20	1.09	24.54	24.85
162.0	41.8	8.19	1.09	24.87	27.91
174.6	43.6	8.18	1.09	25.25	31.50
187.0	45.3	8.17	1.09	25.69	35.69
182.7	49.7	8.82	1.18	39.05	33.16
190.2	50.8	8.82	1.18	39.27	34.90
205.0	53.0	8.82	1.18	39.77	38.84
219.6	55.1	8.81	1.18	40.34	43.42
220.8	60.9	9.45	1.27	60.10	43.42
238.0	63.5	9.45	1.27	60.72	47.73
254.9	66.1	9.45	1.27	61.45	52.71
263.8	73.7	10.08	1.36	89.86	55.95
273.6	75.3	10.08	1.36	90.25	58.38
283.4	76.8	10.08	1.36	90.68	60.99
293.1	78.3	10.08	1.36	91.15	63.79
301.9	79.7	10.07	1.36	91.35	66.51
311.5	81.1	10.07	1.36	91.89	69.71
311.9	88.2	10.70	1.46	131.02	71.06
323.1	89.9	10.71	1.45	131.53	73.88
334.1	91.7	10.71	1.45	132.09	76.91
355.2	95.0	10.70	1.45	132.97	83.29
377.0	98.3	10.70	1.45	134.41	90.88
387.8	112.1	11.64	1.59	221.07	97.62
401.0	114.2	11.64	1.59	221.76	101.01
426.5	118.5	11.64	1.59	222.83	108.11
452.5	122.6	11.64	1.59	224.72	116.55
478.4	126.6	11.64	1.59	226.88	126.04
474.5	139.7	12.57	1.73	357.80	131.25
504.7	145.0	12.58	1.73	358.96	139.13
535.5	150.1	12.58	1.73	361.32	148.48
566.1	154.9	12.59	1.73	364.08	158.97
589.9	174.7	13.50	1.87	559.02	177.41
626.0	180.8	13.52	1.87	561.76	187.72
697.1	192.5	13.53	1.86	569.01	212.09
732.2	197.9	13.53	1.86	573.41	226.30
767.0	203.4	13.52	1.86	578.26	241.98
801.6	208.6	13.52	1.87	583.53	259.20



ANEXO II.- Sección maestra



Características principales

Eslera entre perpendiculares.....	168,42 m
Eslera total	175,48 m
Manga de trazado.....	30,51 m
Puntal de trazado.....	17,95 m
Calado de diseño.....	8,8 m

LNG para propósitos de bunkering 35000 m3

Escala 1:400 Juan González Santomé