



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2017/18**

Petrolero Neo-Pánamax con 200000 TPM

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 8:

CUADERNA MAESTRA

Escola Politécnica Superior



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO DE FIN DE GRADO

CURSO 2017-2018

PROYECTO NÚMERO: 18-07

TIPO DE BUQUE: PETROLERO DE CRUDOS

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:
BUREAU VERITAS, SOLAS, MARPOL NEO PANAMAX

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:

200.000 TPM. Crudos del Petróleo y sus derivados con una densidad máxima de 0,99 g/ml

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos en condiciones de servicio. 85% MCR + 15% de margen de mar. 18.000 millas a la velocidad de servicio.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: En cámara de bombas

PROPULSIÓN: Propulsión Diesel eléctrica 2 Líneas de ejes. LNG para servicios en puerto

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 30 personas en camarotes individuales

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

Ferrol, 19 Setiembre 2017

ALUMNO/A: **D. Julio Barreiro Montes**

Introducción

En el presente cuaderno se realizará el cálculo de los escantillonados de las planchas, elementos secundarios y primarios de la cuaderna maestra del buque empleando las Reglas de la Sociedad de clasificación Bureau Veritas.

Se realizará el cálculo del módulo mínimo necesario en la cuaderna maestra desde el punto de vista de la resistencia longitudinal.

A continuación se calcularán los módulos y escantillonado de los refuerzos y planchas que formarán la estructura del buque, la cual será de tipo longitudinal. Seguidamente se comprobará que cumple con lo estipulado en el BV (Es mayor al calculado en la resistencia longitudinal)

Las dimensiones de diseño son las siguientes:

Lpp	B	Cb	Desplaz	T	D	V	Fn	Peso en rosca	TPM
276	49	0,856	227611,8	19,19	25,75	16	0,158	27611,8	200000

Índice

1.- Consideraciones iniciales:	4
2.- Definición de los parámetros reglamentarios	5
2.1- Eslora de escantillonado.....	5
2.2- Manga de escantillonado	5
2.3- Puntal de escantillonado	5
2.4- Calado de escantillonado	5
2.5- Coeficiente de bloque	5
3.- Módulo mínimo requerido.....	6
4.- Presiones requeridas para los cálculos	6
4.1- Presión de aguas tranquilas:	6
4.2- Presión de las olas debajo de la línea de agua:.....	7
4.3- Presión de aguas tranquilas sobre la cubierta principal:	7
4.4- Presión de las olas sobre la cubierta principal:.....	8
4.5- Presión estática de los tanques.....	8
4.6- Presión de inercia	8
5.- Cálculo de espesores de las planchas	11
5.1-Momentos flectores verticales.....	11
5.2- Esfuerzo normal.....	13
5.3- Esfuerzo cortante	14
5.4- Fórmula para los espesores de las planchas	15
5.5- Valores finales de los espesores mínimos.....	16
6.- Dimensiones de los refuerzos	17
7.- Módulo final.....	18
8.- Elementos primarios transversales.....	22
8.1- Espesor mínimo.....	22
8.2- Varengas, Bulárcamas y Baos.....	22
8.3- Vagras y palmejares	24
9.- Bibliografía	25
Anexo: Plano de la cuaderna maestra.....	26

1.- Consideraciones iniciales:

Tratándose de un petrolero, la zona de carga debe estar limitada tanto en el costado como en el fondo por el doble casco y el doble fondo respectivamente, y esos espacios pueden estar vacíos o servir de tanques de lastre.

Nuestro buque cumple los valores del Marpol 73/78 con cierta holgura.

Según las disposiciones del reglamento y coincidiendo con el buque base, es necesario adoptar una estructura longitudinal en el fondo, doble fondo y cubierta, al tratarse de un petrolero de doble casco de más de 100 m de eslora. Este tipo de estructura soporta mejor los esfuerzos a la flexión del buque viga y ayuda a minimizar el peso del acero.

Por cuestiones e disposición general adoptamos una separación entre refuerzos longitudinales de 0,75 m, y la separación entre cuadernas de la zona de carga es de 5 metros.

El casco y la estructura del buque en general se construirán con Acero de Resistencia Normal (denominado "Acero Grado A") cuyas características son las siguientes:

Característica	Símbolo	Valor
Límite elástico	σ_Y	235 N/mm^2
Módulo de Young	E	206000 N/mm^2
Factor de resiliencia	K_L	1

2.- Definición de los parámetros reglamentarios

Los principales parámetros del buque que se necesitan para el escantillonado de la cuaderna maestra son los siguientes:

2.1- Eslora de escantillonado

Eslora en la flotación de verano entre la cara posterior de la mecha del timón hasta la cara anterior de la roda. No debe ser menor al 96% de la eslora en la flotación, ni mayor al 97% de la misma.

Con una eslora en la flotación L_w de 282 metros:

$$0,96 * L_w = 270,72 \text{ m} \qquad 0,97 * L_w = 273,54 \text{ m}$$

En nuestro caso tomamos la eslora mayor: **L = 273,54 m**

La eslora L_f es la definida en el Convenio internacional de líneas de carga:

El mayor valor entre la eslora entre perpendiculares y el 96% de la eslora total al 85% del puntal.

En nuestro caso se coge la eslora entre perpendiculares **Lf = 276 m**

2.2- Manga de escantillonado

Correspondiente a la manga de trazado, es decir: **B = 49 m**

2.3- Puntal de escantillonado

Es la distancia medida en el costado, desde la línea de base a la cubierta continua más alta (En nuestro caso la cubierta principal) Por lo que: **D = 25,75 m**

2.4- Calado de escantillonado

Se toma el calado de máxima carga definido en el Cuaderno 5 ($T = 19,158 \text{ m}$) con un cierto margen por si el buque requiere un calado mayor en alguna situación de su vida útil. De esta forma **T = 19,36 m**

2.5- Coeficiente de bloque

Se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Cb = \frac{\Delta}{1.025 * L * B * T}$$

Δ = Desplazamiento en la línea de carga de verano = 227611,8 t

B = Manga en la línea de carga de verano = 49 m

T = Calado de escantillonado = 19,36 m

L = Eslora de escantillonado = 273,54 m

Por tanto el **Cb = 0,856**

3.- Módulo mínimo requerido.

El módulo mínimo que requiere la cuaderna maestra para cumplir los requisitos de resistencia longitudinal viene indicado por la siguiente fórmula, en metros cúbicos (PartBChap6Sect2 [4.2.1]):

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

Siendo:

$$C = 10,75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{1,5} \text{ for } 90m \leq L < 300m$$

En nuestro caso $C = 10,61$

Y el Coeficiente de navegación $n = 1$ Por tener navegación sin restricciones.

La fórmula por tanto nos queda:

$$Z_{R,min} = 1 * 10,61 * 273,54^2 * 49 * (0,856 + 0,7) * 1 * 10^{-6} = 60,53 m^3$$

El módulo que buscaremos obtener debe de ser al menos un 30% mayor a este valor, por lo que nuestro módulo objetivo será:

$$Z_{Objetivo} = 60,53 * 1,3 = 78,69 m^3$$

4.- Presiones requeridas para los cálculos

Para los cálculos de los espesores de las planchas y los refuerzos, se requiere conocer un cierto número de presiones. Por un lado están las presiones de intemperie (PartBChap05Sect05)

4.1- Presión de aguas tranquilas:

Se trata de la presión que ejerce la columna de agua de mar a la profundidad del calado máximo de nuestro buque.

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

Tomando el punto más bajo de nuestro calado de escantillonado:

$$\rho * g * (T_1 - z) = 1.025 * 9,81 * 19,36 = 194,67 kN/m^2$$

4.2- Presión de las olas debajo de la línea de agua:

Se trata de una presión dinámica ejercida por la fuerza de las olas sobre el casco del buque

Location	Wave pressure p_w , in kN/m ²	
	Crest	Trough
Bottom and sides below the waterline ($z \leq T_1$)	$\rho g h e^{\frac{-2\pi(T_1-z)}{L}}$	$-\rho g h e^{\frac{-2\pi(T_1-z)}{L}}$ without being taken less than $\rho g (z - T_1)$
Sides above the waterline ($z > T_1$)	$\rho g (T_1 + h - z)$ without being taken, for case "a" only, less than $0,15 \phi_1 \phi_2 L$	0,0
Note 1: $h = C_{f1} h_1$ C_{f1} : Combination factor, to be taken equal to: <ul style="list-style-type: none"> • $C_{f1} = 1,0$ for load case "a" • $C_{f1} = 0,5$ for load case "b". 		

En nuestro caso suponemos el peor de las situaciones, por lo que aproximaremos a la primera de las fórmulas, por debajo de la línea de agua.

Para ello necesitamos hallar el valor de h_1 , que según el convenio sigue la siguiente expresión para una sección situada en mitad de la eslora:

$0,3 L \leq x \leq 0,7 L$	$0,42 n C (C_B + 0,7)$ without being taken greater than the minimum of T_1 and $D - 0,9 T$
---------------------------	---

Conocemos todos los valores de esta fórmula, que nos deja con $h_1 = 6,93 \text{ m}$

Con un coeficiente $C_{f1} = 1$, el valor $h = h_1 = 6,93 \text{ m}$

Por lo tanto la presión de olas bajo la línea de agua será:

$$P_x = 1.025 * 9,81 * 6,93 * e^{-2\pi * \frac{19,36}{273,54}} = 44,67 \text{ kN/m}^2$$

4.3- Presión de aguas tranquilas sobre la cubierta principal:

Este valor permite establecer una presión estática mínima que las planchas de la cubierta deben poder soportar:

The still water pressure on exposed decks is to be taken equal to $10 \cdot \phi_1 \cdot \phi_2$, where ϕ_1 is defined in Tab 2 and ϕ_2 in Tab 4.

$$P_s = 10 * \phi_1 * \phi_2 = 10 * 1 * 1 = 10 \text{ kN/m}^2$$

$\phi_1 = 1$ en cubiertas de francobordo. $\phi_2 = 1$ en buques con $L > 120 \text{ m}$

4.4- Presión de las olas sobre la cubierta principal:

Esta cifra representa una presión dinámica mínima que debe soportar la cubierta de francobordo (Producida principalmente por impactos de olas sobre la misma).

Estando la cuaderna maestra a 0,5 L:

Location	Wave pressure p_w , in kN/m^2	
	Crest	Through
$0 \leq x \leq 0,5 L$	$17,5 n \varphi_1 \varphi_2$	0

$$17,5 * n * \varphi_1 * \varphi_2 = 17,5 * 1 * 1 * 1 = \mathbf{17,5 \text{ kN/m}^2}$$

4.5- Presión estática de los tanques

Para los mamparos interiores (Doble fondo, doble casco, mamparo de crujía...) es necesario calcular las presiones que ejercen los tanques de combustible. (**PartBChap05Sect06**) La presión estática puede calcularse con la fórmula **[1.1.1]**:

The still water pressure to be used in combination with the inertial pressure in [1.1.2] is the greater of the values obtained, in kN/m^2 , from the following formulae:

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

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

In no case is it to be taken, in kN/m^2 , less than:

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

En nuestro caso el valor mínimo sería $P_s = 0,99 * 9,81 * \left(\frac{0,8*273,54}{420-273,54} \right) = 14,51$

Y el valor tomado es: $P_s = 0,99 * 9,81 * 23,25 = \mathbf{225,8 \text{ kN/m}^2}$

4.6- Presión de inercia

La presión de inercia se trata de una presión dinámica producida por el movimiento de los líquidos dentro de los tanques, y tiene un fórmula relativamente compleja que depende de las aceleraciones del centro de gravedad del tanque (**PartBChap05Sect06**):

Ship condition	Load case	Inertial pressure p_w , in kN/m^2
Upright	"a"	No inertial pressure
	"b"	$\rho_L [0,5 a_{x1} \ell_B + a_{z1} (z_{TOP} - z)]$

Las aceleraciones pueden hallarse con las fórmulas situadas en el convenio y se muestran a continuación:

Direction	Upright ship condition
X - Longitudinal a_{X1} and a_{X2} in m/s^2	$a_{X1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [A_p g + \alpha_p (z - T_1)]^2}$
Y - Transverse a_{Y1} and a_{Y2} in m/s^2	$a_{Y1} = 0$
Z - Vertical a_{Z1} and a_{Z2} in m/s^2	$a_{Z1} = \sqrt{a_H^2 + \alpha_p^2 K_X L^2}$

En las fórmulas de las aceleraciones existen varios términos que es necesario hallar con otras operaciones. Una de ellas se nos presenta al final de la tabla de aceleraciones:

$$K_X = 1,2 \left(\frac{X}{L}\right)^2 - 1,1 \frac{X}{L} + 0,2 \text{ without being taken less than } 0,018$$

En nuestro caso $K_X = 0,018$

El resto de fórmulas se obtiene en diversas partes del convenio. Las características del cabeceo o arfada se obtienen mediante las siguientes expresiones:

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

Aquí se requieren dos parámetros adicionales, el parámetro de aceleración a_b y el parámetro de olas h_W cuyas fórmulas se ven a continuación:

$$h_W = 11,44 - \left|\frac{L - 250}{110}\right|^3 \text{ for } L < 350m$$

$$h_W = 11,44 - \left(\frac{276 - 250}{110}\right)^3 = 11,43 m$$

$$a_B = n \left(0,76F + 1,875 \frac{h_W}{L} \right)$$

Siendo n el coeficiente de navegación (1) y F el número de Froude (0,158) nos queda:

$$a_b = n \left(0,76F + 1,875 * \frac{h_W}{L} \right) = 1 * \left(0,76 * 0,158 + 1,875 * \frac{11,43}{L} \right) = \mathbf{0,198}$$

Con estos dos parámetros podemos hallar las características del movimiento de cabeceo:

$$\alpha_P = A_P \left(\frac{2\pi}{T_p} \right)^2 = 0,328 * a_b * \left(1,32 - \frac{h_W}{L} \right) * \left(\frac{0,6}{C_B} \right)^{0,75} * \left(\frac{2\pi}{0,575\sqrt{L}} \right)^2 = \mathbf{0,0278 \frac{rad}{s}}$$

$$A_P = 0,328 * 0,198 * \left(1,32 - \frac{11,43}{273,54} \right) * \left(\frac{0,6}{0,856} \right)^{0,75} = \mathbf{0,0636 rad}$$

Los dos últimos términos necesarios son la denominada aceleración de paso $a_{SU} = \mathbf{0,5 \frac{m}{s^2}}$ y la aceleración del vaivén vertical $a_H = a_b * g = \mathbf{1,946 \frac{m}{s^2}}$

Con todos estos datos, podemos hallar las aceleraciones como se indica a continuación:

$$a_{X1} = \sqrt{0,5^2 + [0,0636 * 9,81 + 0,0278 * (0 - 19,36)]^2} = \mathbf{0,507 m/s^2}$$

$$a_{Z1} = \sqrt{1,946^2 + 0,0278^2 * 0,018 * 273,54^2} = \mathbf{2,198 m/s^2}$$

Con estas aceleraciones es posible hallar la presión de inercia de los tanques.

$$\rho_L [0,5a_{X1}l_B + a_{Z1}(Z_{TOP} - Z)] = \mathbf{56,12 kN/m^2}$$

5.- Cálculo de espesores de las planchas

Según el método a seguir por el Bureau Veritas, el cálculo de los espesores de las planchas depende de una serie de factores, además de las presiones previamente halladas.

5.1-Momentos flectores verticales

Los momentos flectores se emplean una serie de fórmulas, aunque es importante notar que los momentos influyentes dependerán si son mayores en arrufo o en quebranto Según el convenio (**PartBChap05Sect2**):

El momento flector por olas en arrufo es:

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

Es importante notar que el factor de posición F_m es igual a 1 en el centro del buque, quedándonos por tanto:

$$\begin{aligned} M_{WV,H} &= 0,19 * 1 * 1 * 10,61 * 273,54^2 * 49 * 0,856 = \\ &= \mathbf{6326747,68 \text{ kN} * \text{m}} \end{aligned}$$

El momento flector por olas en quebranto es:

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

$$M_{WV,S} = -0,11 * 1 * 1 * 10,61 * 273,54^2 * 49 * (0,856 + 0,7) = \mathbf{-6658178,39 \text{ kN} * \text{m}}$$

El momento flector por aguas tranquilas en arrufo es el siguiente:

$$\begin{aligned} M_{SWM,H} &= 175 n_1 C L^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3} - M_{WV,H} \\ M_{SW,H} &= 0,175 * 1 * 1 * 10,61 * 273,54^2 * 49 * (0,856 + 0,7) - 6326747,6 = \\ &= \mathbf{4265808,85 \text{ kN} * \text{m}} \end{aligned}$$

El momento flector por aguas tranquilas en quebranto es el siguiente:

$$\begin{aligned} M_{SWM,S} &= 175 n_1 C L^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3} + M_{WV,S} \\ M_{SW,S} &= 0,175 * 1 * 1 * 10,61 * 273,54^2 * 49 * (0,856 + 0,7) - 6658178,39 = \\ &= \mathbf{3934378,14 \text{ kN} * \text{m}} \end{aligned}$$

Ahora sólo queda decidir cuáles de estos valores serán relevantes al calcular los esfuerzos.

La siguiente fórmula permite calcular cuál de los dos estados de navegación afecta más al buque (**PartBChap7Sect1**)

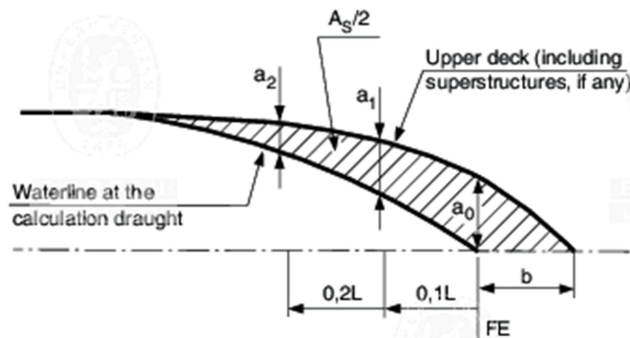
$$\frac{|\gamma_{S1} M_{SW,S} + 0,625 \gamma_{W1} C_{FV} F_D M_{WV,S}|}{\gamma_{S1} M_{SW,H} + 0,625 \gamma_{W1} C_{FV} M_{WV,H}}$$

γ_{S1} es un factor de seguridad igual a 1, mientras que γ_{W1} es igual a 1.

El valor F_d , a más de la mitad de la eslora, es igual a otro factor denominado C_D

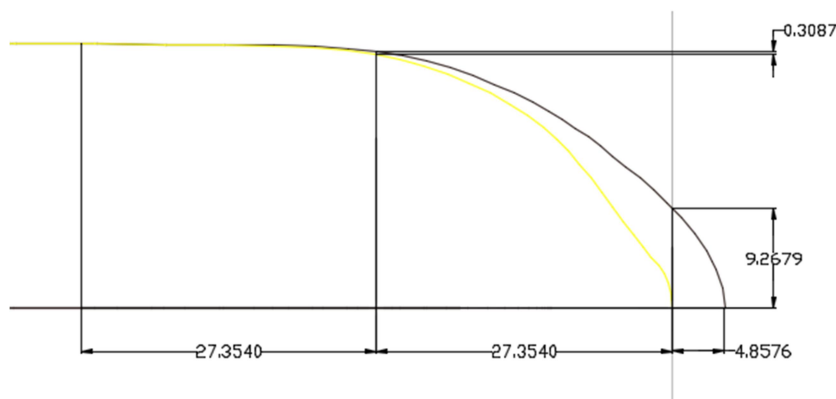
$$C_D = 262,5 \frac{A_s}{CLB(C_B + 0,7)} - 0,6 \quad \text{with} \quad 1,0 \leq C_D \leq 1,2$$

As es el área sombreada que se muestra en la figura siguiente. Se calcula mediante la expresión $A_s = b * a_0 + 0,1 * L * (a_0 + 2a_1 + a_2)$



En nuestro caso el área la hallamos con las siguientes cifras, y obtenemos

$$A = 2 * 315,42 \text{ m}^2$$



Esto acaba resultando en un factor $F_d = 0,14 < 1$, por lo que se escoge el valor mínimo 1.

$$\frac{|\gamma_{S1} * M_{SW,S} + 0,625 * \gamma_{W1} * C_{FV} * F_D M_{WV,S}|}{\gamma_{S1} * M_{SW,H} + 0,625 * \gamma_{W1} * C_{FV} * F_D M_{WV,H}} = 0,09 < 1$$

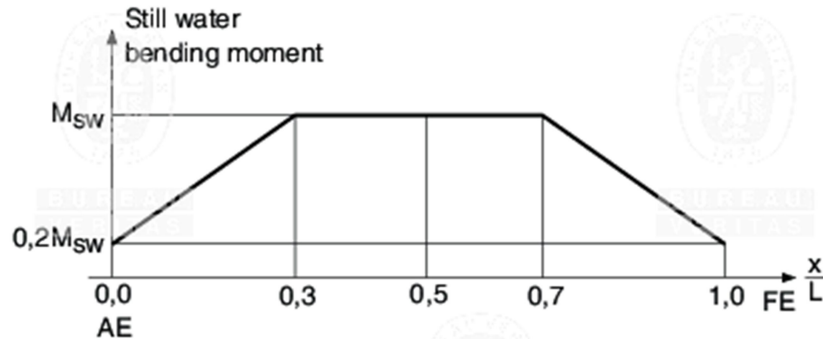
Vistos los resultados, los momentos más influyentes según el BV son los de arrufo.

En el cálculo de esfuerzos emplearemos los siguientes valores máximos:

$$M_{SW,H} = 4265808,85 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{WV,H} = 6326747,68 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

La magnitud de los momentos está distribuida como se muestra en la siguiente gráfica:



De tal modo que el momento es el máximo entre 82,8 m y 193,2 m de eslora, y alcanza un mínimo en la proa y la popa de 853161,77 kN*m.

Nosotros calcularemos la sección maestra, exactamente a 0,5 L por lo que los valores serán los máximos calculados por el convenio.

5.2- Esfuerzo normal

Para hallar el esfuerzo producido por la flexión (σ_{X1}) es necesario realizar ciertos cálculos. Para todas las piezas del buque que contribuyen a la resistencia longitudinal, la fórmula es la siguiente: **(PartBChap7Sect1)**

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

En nuestra condición de carga normal, con nuestro buque en vertical los factores de combinación C_{ft} y C_{fv} son iguales a 1, mientras que C_{fh} y $C_{f\Omega}$ son 0.

Siendo también $\gamma_{S1} = 1$ y $\gamma_{W1} = 1,15$ la fórmula nos queda:

$$\sigma_{X1} = 1 * \sigma_{S1} + 1,15 * \sigma_{WV1}$$

Los valores de σ_{S1} y σ_{WV1} dependen de los momentos empleados, al ser más significativo el arrufo, las expresiones son las mostradas a continuación:

$$\left| \frac{M_{SW,H}}{I_Y} (z - N) \right| 10^{-3} \quad \left| \frac{0,625 M_{WV,H}}{I_Y} (z - N) \right| 10^{-3}$$

La inercia I_Y es la de la sección media y puede aproximarse de la siguiente manera:

$$I_{YR} = 0,03 * N * Z_{R,min} * L = 496,71 \text{ m}^4$$

Siendo el valor del módulo mínimo el calculado anteriormente $Z_{R,min} = 60,53$

$$\sigma_{Permitido} = \frac{175}{k} = 175 \text{ kN/mm}^2 \text{ para la sección media.}$$

El valor N es el del centro de gravedad, el cual puede aproximarse para nuestro buque como 11,7 metros sobre la línea base. Los valores de σ_{S1} y σ_{WV1} varían según la posición del elemento a evaluar, dependiendo de su altura Z sobre la línea base.

Esto a su vez hace variar el espesor mínimo.

En el caso de la **cubierta**, donde $Z = 25,75$ m

$$\sigma_{S1} = \left| \frac{4265808,85}{496,71} (25,75 - 11,7) \right| * 10^{-3} = 120,66 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{WV1} = \left| \frac{2666130,53}{496,71} (25,75 - 11,7) \right| * 10^{-3} = 75,41 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{X1} = 1 * 120,66 + 1,15 * 75,41 = 207,38 \text{ N/mm}^2$$

Más adelante se verá una tabla con todos los valores.

5.3- Esfuerzo cortante

En lo que respecta al esfuerzo cortante, la fórmula empleada es:

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

Los factores γ_{S1} , C_{FV} y γ_{W1} tienen los mismos valores que se mostraron anteriormente.

Los valores de τ_{S1} y τ_{W1} son idénticos, y su valor (τ_0) viene determinado por la siguiente expresión:

$$\tau_0 = \frac{47}{k} \left\{ 1 - \frac{6,3}{\sqrt{L_1}} \right\} \text{ N/mm}^2$$

Con un acero de resistencia normal ($k = 1$) eso da $29,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ en la sección media.

En el caso de la cubierta, fondo y doble fondo, este valor es 0, por lo que empleamos uno de los costados para mostrar el cálculo. Por tanto:

$$\tau_{\text{Costado}} = 1 * 29,1 + 0,625 * 1 * 1,15 * 29,1 = 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

5.4- Fórmula para los espesores de las planchas

El espesor de una plancha con refuerzos longitudinales se muestra con la fórmula siguiente (PartBChap7Sect1 [3.3.1]):

$$t = 14,9 c_a c_r s \sqrt{\gamma_r \gamma_m \frac{\gamma_{S2} P_S + \gamma_{W2} P_W}{\lambda_L R_y}}$$

En esta fórmula hay varios valores que requieren mayor explicación:

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

C_a es el ratio de aspecto del panel, y es igual a:

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

Ése valor no debe ser mayor que 1

C_r es el coeficiente de curvatura, $C_r = 1 - 0,5 * s/r$ y no menor que 0,5

En nuestro caso $C_r = 1$ por ser las placas básicamente planas.

s es la longitud en metros del lado más corto de la plancha = **0,75 m**

l es la longitud en metros del lado más largo de la plancha = **5 m**

R_y es el límite elástico: **235 N/mm²**

$\gamma_r, \gamma_m, \gamma_{S2}, \gamma_{W2}$ son los factores de seguridad, que equivalen a:

$$\gamma_r = 1,2; \quad \gamma_m = 1,02; \quad \gamma_{S2} = 1; \quad \gamma_{W2} = 1,2;$$

Ya se han calculado anteriormente las presiones, y los esfuerzos que aparecen en ambas fórmulas y lo usaremos a continuación.

Usaremos la cubierta como ejemplo:

$$\tau_{cubierta} = 0,$$

$$\sigma_{cubierta} = 207,38 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{S \text{ Cubierta}} = 10 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{W \text{ Cubierta}} = 17,5 \text{ kN/m}^2$$

Con estos valores podemos hallar:

$$\lambda_{cubierta} = \sqrt{1 - 0,95 \left(1,02 * \frac{207,38}{235} \right)^2 - 0,225 * 1,02 * \frac{207,38}{235}} = 0,277$$

$$t = 14,9 * 1 * 1 * 0,75 * \sqrt{1,2 * 1,02 * \frac{1 * 10 + 1,2 * 17,7}{0,277 * 235}} = 8,53 \text{ mm}$$

5.5- Valores finales de los espesores mínimos

Lo realizado con la cubierta puede aplicarse al resto de elementos, quedando:

	Cubierta	Fondo	Forro	Doble f.	Mamparos
Posición Z	25,75	0	12,875	2,5	12,875
Sigma S1	120,66	100,48	10,1	79,01	10,1
Sigma WV1	75,41	62,8	6,3	49,38	6,3
Sigma X	207,39	172,7	17,34	135,8	17,34
Tau	0	0	50	0	50
Lambda	0,28	0,51	0,91	0,69	0,91
Grosor en mm	8,53	17,72	13,34	16,67	14,5

Cabe destacar que el valor de los espesores mínimos puede no coincidir, o tan siquiera acercarse al valor final de los espesores de las planchas, dependiendo de las exigencias del módulo final del buque.

6.- Dimensiones de los refuerzos

Las siguientes fórmulas nos dan el módulo (W) en centímetros cúbicos y el área (A_{Sh}) en centímetros cuadrados (**PartBChap7Sect2 [3.7.3]**):

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

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

Los coeficientes β_b y β_s dependen del número de soportes que tienen los refuerzos. En nuestro caso no los tienen, por lo que ambos coeficientes son **1**.

El valor m puede referirse como coeficiente de límite. En nuestro caso puede suponerse como **12**, pues están sujetos en ambos extremos por las cuerdas.

Cabe notar que los refuerzos los supondremos construidos con acero de alta resistencia, por lo que en las fórmulas anteriores $R_y = 315 \text{ N/mm}^2$, aunque los esfuerzos mantienen su valor al tratarse de lo que puede soportar las planchas que sostienen a los refuerzos.

El resto de los valores son conocidos, y sustituyendo nos quedan unas expresiones aplicables a cada uno de los elementos examinados.

$$w = 1,2 * 1,02 * 1 * \frac{1 * p_S + 1,2 * p_W}{12 * (315 - 1,2 * 1,02 * \sigma_{X1})} \left(1 - \frac{0,75}{2 * 5}\right) 0,75 * 5^2 * 10^3 =$$

$$w = 21228,75 * \frac{p_S + 1,2 * p_W}{3780 - 14,688 * \sigma_{X1}}$$

$$A_{Sh} = 10 * 1,2 * 1,02 * 1 * \frac{1 * p_S + 1,2 * p_W}{315} \left(1 - \frac{0,75}{2 * 5}\right) 0,75 * 5$$

$$A_{Sh} = 42,4575 * \frac{p_S + 1,2 * p_W}{315}$$

En estas expresiones sólo nos queda sustituir las incógnitas por los datos obtenidos:

	Sigma X	Ps	Pw	Resultado Módulo	Resultado Área	Valor Módulo	Valor Área
Cubierta	207,39	10	17,5	896,75	4,18	897	4,5
Fondo	172,7	194,67	44,67	4238,95	33,46	4239	34
Forro	17,34	194,67	44,67	1495,08	33,46	1495	34
Doble f.	135,8	225,8	56,12	3485,59	39,5	3486	40
Mamparos	17,34	225,8	56,12	1912,3	39,5	1913	40

7.- Módulo final

El módulo definitivo de la cuaderna maestra se calculará con los nuevos espesores y refuerzos.

Antes de ver los cálculos concretos es necesario tener en cuenta algunas cosas:

Por un lado la cuaderna maestra seguirá el modelo de la de nuestro buque base, y sus elementos estarán distribuidos de la misma manera.



Las **planchas del pantoque** se calculan como parte del forro con la altura equivalente H_{eq} .

Como nuestra cuaderna maestra es prácticamente cuadrada, tenemos un ángulo de curvatura del pantoque de 90°. Con un radio de $R_T = 2,65$ metros y un espesor de plancha igual al del forro exterior ($16 \text{ mm} = 0,016 \text{ m}$) podemos hallar el centro de gravedad y la altura equivalente del pantoque con las siguientes fórmulas:

$$Y_G = 0,3634 * R_T - 0,3183 * l = 0,3634 * 2,65 - 0,3183 * 0,016 = 0,958 \text{ m}$$

$$H_{eq} = 1,066 * \left(R_T + \frac{l}{2} \right) = 1,066 * (2,65 + 0,008) = 2,833 \text{ m}$$

Esta plancha la contamos como una ampliación del forro, con una mayor altura y un centro de gravedad disminuido.

También es necesario mencionar que para que la cubierta lograra el módulo mínimo, se ha ampliado el espesor y el tamaño de los refuerzos de la misma.

Todos los refuerzos cogidos serán de tipo T, contando con un alma y un ala soldadas la una a la otra (No cogemos perfiles comerciales de una única pieza)

Las características de finales de cada refuerzo son las que se ofrecen a continuación:

	Longit. pl. Asociada	Esp. Pl. Asociada	Altura Alma	Esp. Alma	Longit. Plat.	Esp. Plat.	Ien (eje x)	Wplan (eje x)	Área Total
Elementos	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	m ²
Cubierta	750	26	1035	15	200	35	784272,8	20294	0,022525
Fondo	750	19	630	12	200	30	215345,6	9013	0,01356
Forro	750	17	425	12	120	25	63161,7	4984	0,0081
D. Fondo	750	18	585	12	150	35	170125,8	7887	0,01227
Mamparos	750	16	425	12	120	25	61922,0	4747	0,0081
Lado interior	750	16	425	12	120	25	61922,0	4747	0,0081
Esquinas	750	18	585	12	150	35	170125,8	7887	0,01227

Con todos estos datos, mostramos a continuación las tablas empleadas para calcular nuestro módulo final:

Elementos	nº elem.	Ancho mm	Longitud m	Área (m ²)	Zg m	In forma m ⁴	In posic m ⁴	In Total m ⁴
Cubierta	1	26	49	1,274	25,763	32,822062	7,17687E-05	221,7583971
Fondo	1	19	49	0,931	0	0	2,80076E-05	147,0942001
Forro	2	17	28,583	0,971822	11,82	11,48693604	66,16390036	0,546129202
Doble fond	1	18	34,6	0,6228	2,5	1,557	1,68156E-05	63,15049056
Mamparos	1	16	25,75	0,412	12,875	5,3045	22,76514583	0,03841614
Lado interior	2	16	17,6	0,5632	16,95	9,54624	14,53806933	10,80641676
Esquinas	2	18	7,35	0,2646	5,325	1,408995	0,699023019	13,88749088
Ref cub	63	15	1,035	1,419075	25,7575	36,55182431	0,49409199	246,8049269
Ref fond	63	12	0,63	0,85428	0,315	0,2690982	0,13566798	128,2925827
Ref DF	46	12	0,585	0,56442	2,5	1,41105	0,07825796	57,23089255
Esquinas	18	12	0,585	0,2133	5,325	1,1358225	0,03062268	11,19501816
Ref lado int 1	2	12	0,425	0,0156	24,985	0,389766	0,00123844	2,404601098
Ref lado int 2	2	12	0,425	0,0156	24,22	0,389766	0,00123844	2,117400861
Ref lado int 3	2	12	0,425	0,0156	23,455	0,389766	0,00123844	1,848459643
Ref lado int 4	2	12	0,425	0,0156	22,69	0,389766	0,00123844	1,597777446
Ref lado int 5	2	12	0,425	0,0156	21,925	0,389766	0,00123844	1,365354269
Ref lado int 6	2	12	0,425	0,0156	21,16	0,389766	0,00123844	1,151190112
Ref lado int 7	2	12	0,425	0,0156	20,395	0,389766	0,00123844	0,955284975
Ref lado int 8	2	12	0,425	0,0156	19,63	0,389766	0,00123844	0,777638857
Ref lado int 9	2	12	0,425	0,0156	18,865	0,389766	0,00123844	0,61825176
Ref lado int 10	2	12	0,425	0,0156	18,1	0,389766	0,00123844	0,477123683
Ref lado int 11	2	12	0,425	0,0156	17,335	0,389766	0,00123844	0,354254626
Ref lado int 12	2	12	0,425	0,0156	16,57	0,389766	0,00123844	0,249644589
Ref lado int 13	2	12	0,425	0,0156	15,805	0,389766	0,00123844	0,163293571
Ref lado int 14	2	12	0,425	0,0156	15,04	0,389766	0,00123844	0,095201574
Ref lado int 15	2	12	0,425	0,0156	14,275	0,389766	0,00123844	0,045368597
Ref lado int 16	2	12	0,425	0,0156	13,51	0,389766	0,00123844	0,01379464
Ref lado int 17	2	12	0,425	0,0156	12,745	0,389766	0,00123844	0,000479703
Ref lado int 18	2	12	0,425	0,0156	11,98	0,389766	0,00123844	0,005423785
Ref lado int 19	2	12	0,425	0,0156	11,215	0,389766	0,00123844	0,028626888
Ref lado int 20	2	12	0,425	0,0156	10,45	0,389766	0,00123844	0,070089011
Ref lado int 21	2	12	0,425	0,0156	9,685	0,389766	0,00123844	0,129810154
Ref lado int 22	2	12	0,425	0,0156	8,92	0,389766	0,00123844	0,207790317
Ref lado int 23	2	12	0,425	0,0156	8,155	0,389766	0,00123844	0,304029499

Elementos	nº elem.	Ancho mm	Longitud m	Área (m ²)	Zg m	In forma m ⁴	In posic. m ⁴	In Total m ⁴
Ref forro 1	2	12	0,425	0,0162	24,985	0,404757	0,00126324	2,4971
Ref forro 2	2	12	0,425	0,0162	24,22	0,392364	0,00126324	2,1988
Ref forro 3	2	12	0,425	0,0162	23,455	0,379971	0,00126324	1,9195
Ref forro 4	2	12	0,425	0,0162	22,69	0,367578	0,00126324	1,659
Ref forro 5	2	12	0,425	0,0162	21,925	0,355185	0,00126324	1,4177
Ref forro 6	2	12	0,425	0,0162	21,16	0,342792	0,00126324	1,1955
Ref forro 7	2	12	0,425	0,0162	20,395	0,330399	0,00126324	0,9920
Ref forro 8	2	12	0,425	0,0162	19,63	0,318006	0,00126324	0,8075
Ref forro 9	2	12	0,425	0,0162	18,865	0,305613	0,00126324	0,6420
Ref forro 10	2	12	0,425	0,0162	18,1	0,29322	0,00126324	0,4955
Ref forro 11	2	12	0,425	0,0162	17,335	0,280827	0,00126324	0,3679
Ref forro 12	2	12	0,425	0,0162	16,57	0,268434	0,00126324	0,2592
Ref forro 13	2	12	0,425	0,0162	15,805	0,256041	0,00126324	0,1698
Ref forro 14	2	12	0,425	0,0162	15,04	0,243648	0,00126324	0,0989
Ref forro 15	2	12	0,425	0,0162	14,275	0,231255	0,00126324	0,0471
Ref forro 16	2	12	0,425	0,0162	13,51	0,218862	0,00126324	0,0143
Ref forro 17	2	12	0,425	0,0162	12,745	0,206469	0,00126324	0,0005
Ref forro 18	2	12	0,425	0,0162	11,98	0,194076	0,00126324	0,0056
Ref forro 19	2	12	0,425	0,0162	11,215	0,181683	0,00126324	0,0297
Ref forro 20	2	12	0,425	0,0162	10,45	0,16929	0,00126324	0,0728
Ref forro 21	2	12	0,425	0,0162	9,685	0,156897	0,00126324	0,1348
Ref forro 22	2	12	0,425	0,0162	8,92	0,144504	0,00126324	0,2158
Ref forro 23	2	12	0,425	0,0162	8,155	0,132111	0,00126324	0,3157
Ref forro 24	2	12	0,425	0,0162	7,39	0,119718	0,00126324	0,4346
Ref forro 25	2	12	0,425	0,0162	6,625	0,107325	0,00126324	0,5725
Ref forro 26	2	12	0,425	0,0162	5,86	0,094932	0,00126324	0,7293
Ref forro 27	2	12	0,425	0,0162	5,095	0,082539	0,00126324	0,9051
Ref forro 28	2	12	0,425	0,0162	4,33	0,070146	0,00126324	1,1
Ref forro 29	2	12	0,425	0,0162	3,565	0,057753	0,00126324	1,3135
Ref forro 30	2	12	0,425	0,0162	2,8	0,04536	0,00126324	1,5462
Ref forro 31	2	12	0,425	0,0162	2,035	0,032967	0,00126324	1,7978
Ref forro 32	2	12	0,425	0,0162	1,27	0,020574	0,00126324	2,0684
Ref forro 33	2	12	0,425	0,0162	0,505	0,008181	0,00126324	2,358

Elementos	n° elem.	Ancho mm	Longitud m	Área (m ²)	Zg m	In forma m ⁴	In posic m ⁴	In Total m ⁴
Ref mamp 1	1	12	0,425	0,0081	24,985	0,2023785	0,000619	1,248542878
Ref mamp 2	1	12	0,425	0,0081	24,22	0,196182	0,000619	1,099419678
Ref mamp 3	1	12	0,425	0,0081	23,455	0,1899855	0,000619	0,959777123
Ref mamp 4	1	12	0,425	0,0081	22,69	0,183789	0,000619	0,829615212
Ref mamp 5	1	12	0,425	0,0081	21,925	0,1775925	0,000619	0,708933947
Ref mamp 6	1	12	0,425	0,0081	21,16	0,171396	0,000619	0,597733327
Ref mamp 7	1	12	0,425	0,0081	20,395	0,1651995	0,000619	0,496013352
Ref mamp 8	1	12	0,425	0,0081	19,63	0,159003	0,000619	0,403774022
Ref mamp 9	1	12	0,425	0,0081	18,865	0,1528065	0,000619	0,321015337
Ref mamp 10	1	12	0,425	0,0081	18,1	0,14661	0,000619	0,247737297
Ref mamp 11	1	12	0,425	0,0081	17,335	0,1404135	0,000619	0,183939902
Ref mamp 12	1	12	0,425	0,0081	16,57	0,134217	0,000619	0,129623152
Ref mamp 13	1	12	0,425	0,0081	15,805	0,1280205	0,000619	0,084787047
Ref mamp 14	1	12	0,425	0,0081	15,04	0,121824	0,000619	0,049431587
Ref mamp 15	1	12	0,425	0,0081	14,275	0,1156275	0,000619	0,023556772
Ref mamp 16	1	12	0,425	0,0081	13,51	0,109431	0,000619	0,007162601
Ref mamp 17	1	12	0,425	0,0081	12,745	0,1032345	0,000619	0,000249076
Ref mamp 18	1	12	0,425	0,0081	11,98	0,097038	0,000619	0,002816196
Ref mamp 19	1	12	0,425	0,0081	11,215	0,0908415	0,000619	0,014863961
Ref mamp 20	1	12	0,425	0,0081	10,45	0,084645	0,000619	0,036392371
Ref mamp 21	1	12	0,425	0,0081	9,685	0,0784485	0,000619	0,067401426
Ref mamp 22	1	12	0,425	0,0081	8,92	0,072252	0,000619	0,107891126
Ref mamp 23	1	12	0,425	0,0081	8,155	0,0660555	0,000619	0,157861471
Ref mamp 24	1	12	0,425	0,0081	7,39	0,059859	0,000619	0,217312461
Ref mamp 25	1	12	0,425	0,0081	6,625	0,0536625	0,000619	0,286244096
Ref mamp 26	1	12	0,425	0,0081	5,86	0,047466	0,000619	0,364656376
Ref mamp 27	1	12	0,425	0,0081	5,095	0,0412695	0,000619	0,452549301
Ref mamp 28	1	12	0,425	0,0081	4,33	0,035073	0,000619	0,54992287
Ref mamp 29	1	12	0,425	0,0081	3,565	0,0288765	0,000619	0,656777085
Ref mamp 30	1	12	0,425	0,0081	2,8	0,02268	0,000619	0,773111945
Ref mamp 32	1	12	0,425	0,0081	1,27	0,010287	0,000619	1,0342236

La inercia total resulta en **1061,28 m⁴**

El centro de gravedad Zg se sitúa a **12,57 metros**

Con estas cifras puede hallarse el módulo real de la cuaderna maestra en sus zonas de mayor riesgo: la cubierta y el fondo.

$$\text{Módulo fondo: } \frac{I_{total}}{Z_G} = \frac{1061,28}{12,57} = 84,432 \text{ m}^3 > 78,69 \text{ m}^3$$

$$\text{Módulo cubierta: } \frac{I_{total}}{D - Z_G} = \frac{1033,26}{25,75 - 12,72} = 80,52 \text{ m}^3 > 78,69 \text{ m}^3$$

Como puede comprobarse, ambos módulos son superiores al módulo mínimo, y por tanto, nos resultan válidos.

En el Anexo 1 ver se un esquema de la estructura final de la cuaderna maestra del buque en base a los cálculos anteriores.

8.- Elementos primarios transversales

A continuación se procede con el dimensionamiento de los refuerzos primarios del buque, empleando la normativa Bureau Veritas (**PartB, Ch7, Sec3**)

Los elementos transversales forman un anillo que sirve como soporte de los elementos de la estructura longitudinal. El anillo se repite cada 5 metros, dada la separación de las cuadernas; y coincide con los mamparos transversales.

8.1- Espesor mínimo.

Según el convenio, el espesor mínimo de cualquiera de los refuerzos primarios es el siguiente, en milímetros.

$$t_{MIN} = 3,7 + 1,8 k^{1/2} \text{ for } L \geq 120 \text{ m}$$

- K es el factor del material, que en el caso del acero es igual a 1
- L es la eslora de escantillonado (276 m > 120 m)

$$t_{MIN} = 3,7 + 1,8 * \sqrt{1} = 5,5 \text{ mm}$$

8.2- Varengas, Bulárcamas y Baos.

Estos tres elementos se dimensionan de igual modo que chapas que no contribuyen a la resistencia longitudinal.

El **baos** debe tener una longitud suficiente para abarcar los refuerzos longitudinales secundarios de la cubierta (Cuya alma mide 1035 mm como se estimó anteriormente) Las **varengas** se consideran situadas entre el fondo y el doble fondo, y las **bulárcamas** entre el forro y el doble casco.

La fórmula empleada para hallar su espesor es la siguiente: **(BV, PtB, Ch7, Sec 3.5.2)**

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

Los valores a emplear de serán los mismos que en los de las planchas asociadas.

$$\begin{array}{llll} c_a = c_r = 1 & s = 0,75 \text{ m} & l = 5 \text{ m} & R_Y: 235 \text{ N/mm}^2 \\ \gamma_R = 1,2 & \gamma_m = 1,02 & \gamma_{S2} = 1 & \gamma_{W2} = 1,2 \end{array}$$

Las presiones variarán dependiendo de la chapa:

En las **Varengas**, las presiones serán las máximas calculadas para la chapa del doble fondo.

$$P_S = 225,8 \text{ kN/m}^2 \quad P_W = P_{inercia} = 56,12 \text{ kN/m}^2$$

Por tanto el espesor mínimo de las varengas será igual a:

$$t = 14,9 * 1 * 1 * 0,75 * \sqrt{1,2 * 1,02 * \frac{1 * 225,8 + 1,2 * 56,12}{235}} = 13,8 \approx \mathbf{14 \text{ mm}}$$

Para el caso de las **Bulárcamas**, las presiones empleadas serán las máximas que se hayan calculado para el forro exterior.

$$P_S = 194,67 \text{ kN/m}^2 \quad P_W = P_{inercia} = 44,67 \text{ kN/m}^2$$

El espesor mínimo de las bulárcamas puede calcularse como:

$$t = 14,9 * 1 * 1 * 0,75 * \sqrt{1,2 * 1,02 * \frac{1 * 194,67 + 1,2 * 44,67}{235}} = 12,7 \approx \mathbf{13 \text{ mm}}$$

Al calcular los **Baos** se emplean las presiones que se ejercen en la cubierta:

$$P_S = 10 \text{ kN/m}^2 \quad P_W = P_{inercia} = 17,5 \text{ kN/m}^2$$

Y con esos datos el espesor mínimo para la plancha de cubierta sería:

$$t = 14,9 * 1 * 1 * 0,75 * \sqrt{1,2 * 1,02 * \frac{1 * 10 + 1,2 * 17,5}{235}} = 4,49 \approx \mathbf{5 \text{ mm}}$$

No obstante es extremadamente importante que los refuerzos ofrezcan sujeción a las planchas a las que van acoplados. Si bien las varengas y las bulárcamas tienen un espesor mínimo similar al de sus planchas asociadas, el espesor de la cubierta estimado es de 26 mm, que es más de cinco veces el espesor mínimo estimado para el bao. Incluso los refuerzos longitudinales poseen un mayor espesor (15 mm)

Por ese motivo, un bao con un espesor de 20 mm es más razonable para conseguir la sujeción buscada en la plancha de cubierta.

8.3- Vagras y palmejares

Al igual que las varengas, las **vagras** sitúan entre el fondo y el doble fondo.

Los **palmejares** se sitúan entre el forro y el doble casco.

Estos elementos sí contribuyen a la resistencia longitudinal, por lo que su fórmula resulta la misma que las de las planchas a las que van asociadas:

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

Las presiones y esfuerzos empleados en las **vagras** son los mismos que los del fondo:

$$\tau_{Fondo} = 0$$

$$\sigma_{Fondo} = 172,7 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{S \text{ Fondo}} = 194,67 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{W \text{ Fondo}} = 44,67 \text{ kN/m}^2$$

Eso implica que el espesor mínimo de las vagras será el mismo que el del fondo: **17,72 mm**

Escogeremos un espesor de vagra de **18 mm**

Las presiones y esfuerzos empleados en los **palmejares** son los mismos que los del forro.

$$\tau_{Forro} = 50 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Forro} = 17,34 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{S \text{ Forro}} = 194,67 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{W \text{ Forro}} = 44,67 \text{ kN/m}^2$$

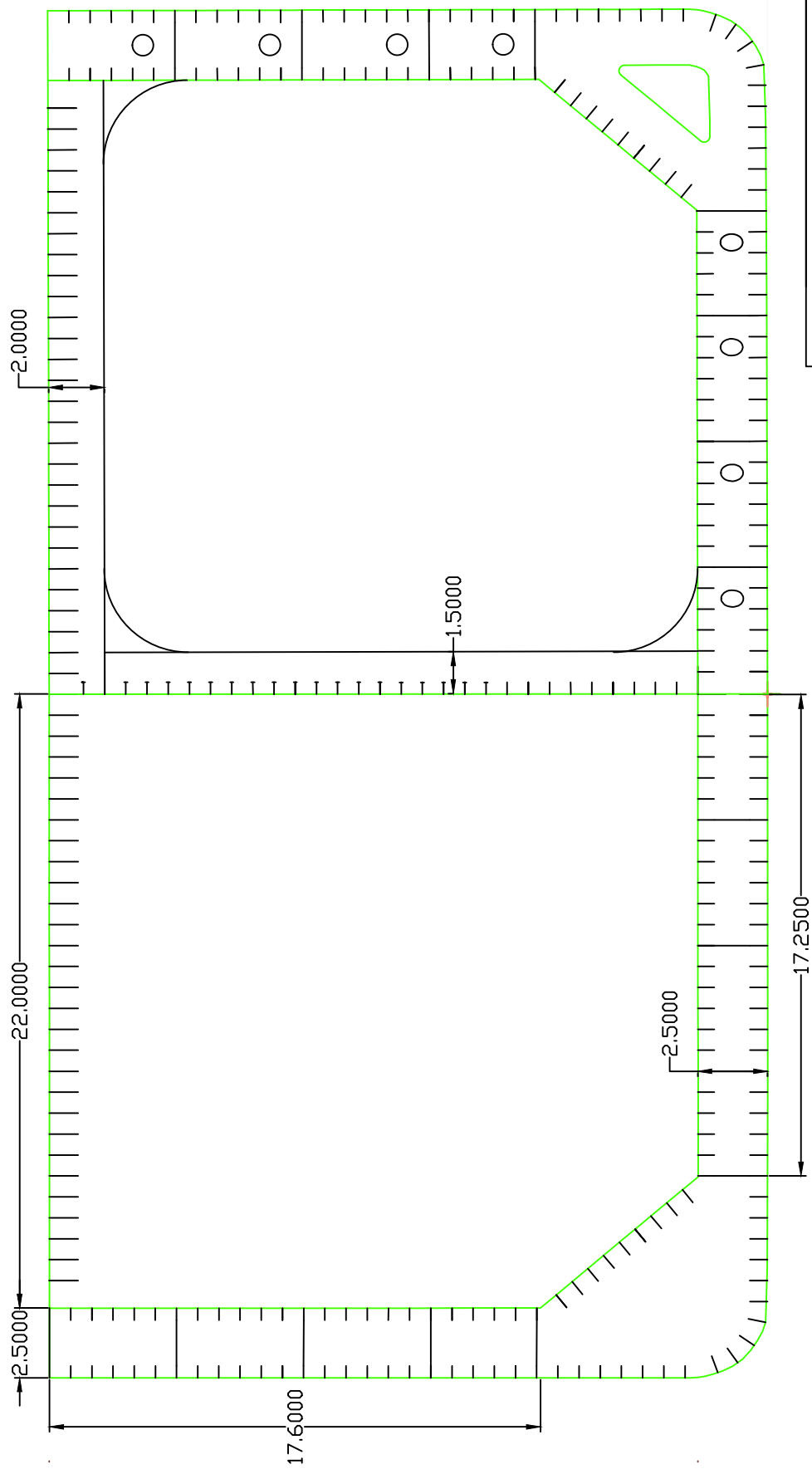
Por tanto el espesor mínimo de los palmejares será el mismo que el del forro: **13,34 mm**

Elegiremos una espesor de palmejares de **14 mm**

9.- Bibliografía

1. JUNCO OCAMPO, Fernando; DÍAZ CASAS, Vicente. Asignatura de “*Proyectos de buques y artefactos marinos 2*”. Universidad de A Coruña, Escuela Politécnica Superior de Ferrol, Curso 2017-2018.
2. *Rules for the Classification of Steel Ships. Part B: Hull and Stability*, Bureau Veritas, January 2018.

Anexo: Plano de la cuaderna maestra



E.P.S Grado Ingeniería naval y Océánica Plano cuaderna maestra	
Título del proyecto: Petrolero Neo-Panamax 200000 TPM	
Trabajo fin de grado Proyecto número 18-07	Escala: 1:225
Autor: Julio Barreiro Montes	Fecha: 16-07-2018