

Escola Politécnica Superior



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

*CURSO 2013 - 2014*

**PROYECTO NÚMERO 13-58**

**TIPO DE BUQUE:** REMOLCADOR DE PUERTO Y APOYO A BUQUES DE ALTURA.

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:** BUREAU VERITAS, SOLAS, MARPOL Y REGLAMENTACIÓN ESTÁNDAR PARA ESTE TIPO DE BUQUES.

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** BUQUE DE APOYO A MANIOBRA EN PUERTO Y APOYO A BUQUES DE ALTURA. 55 TN DE TRACCIÓN A PUNTO FIJO.

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** 13 NUDOS EN CONDICIONES DE SERVICIO (85% MCR+15% DE MARGEN DE MAR). 5000 MILLAS A LA VELOCIDAD DE SERVICIO.

**SISTEMAS DE CARGA Y DESCARGA:** LOS ESPECÍFICOS Y NORMALES PARA ESTE TIPO DE BUQUE.

**PROPULSIÓN:** DIESEL ELÉCTRICA CON 2 PROPULSORES AZIMUTALES DE PASO FIJO MONTADOS EN TOBERA A POPA.

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** 12 PERSONAS.

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:** LOS HABITUALES EN ESTE TIPO DE BUQUES.

Ferrol, Febrero de 2.014

ALUMNO: MARCOS LOUREIRO BELLÓN.

## INDICE

1. Introducción .....	3
2. Tipo de estructura .....	4
3. Material a emplear en la estructura .....	7
4. Definición de las dimensiones principales .....	7
5. Valores de los parámetros .....	10
6. Cálculos de resistencia longitudinal .....	16
7. Cálculo de elementos estructurales de la cuaderna maestra .....	17
8. Escantillonado .....	37
9. Cálculo de refuerzos .....	68
10. Resumen escantillonado .....	76
11. Cálculo del módulo resistente .....	76
12. Mamparo transversal .....	79

## 1. INTRODUCCIÓN.

En este cuaderno vamos a realizar los cálculos estructurales necesarios para el anteproyecto a realizar. Haremos varios cálculos de escantillado local, cálculos de resistencia longitudinal y los planos de la maestra y un mamparo estanco.

Todos ellos seguirán el reglamento del Bureau Veritas, del cual se adjuntan los extractos utilizados. Nos referiremos sobre todo al apartado de “Steel Ships – Part B – Chapter 8”, que es el que se refiere al escantillado de buques de eslora inferior a 65m.

El procedimiento de cálculo será:

- En primer lugar se definen una serie de parámetros previos necesarios para el cálculo de la estructura, fundamentalmente las dimensiones de escantillado del buque y los parámetros del acero a utilizar, siguiendo las indicaciones de las partes B y D del reglamento.
- En segundo lugar se procede al cálculo de los parámetros de movimiento y aceleraciones a las que va a estar sometido el buque, de cara a calcular los esfuerzos que va a tener que soportar, aplicando el capítulo 8 de la parte B para buques de eslora menor de 65 m. Cada elemento estará sometido a unas presiones de diseño, en función de su situación y función dentro de la estructura del buque, por lo que en función de dichas presiones solo queda determinar los escantillones necesarios en cada caso para poder soportar los esfuerzos a los que va a estar sometido el buque con la garantía suficiente. Dichos escantillones se calculan con unos coeficientes de seguridad y de corrosión que varían en cada caso concreto.

Una vez escantillados todos los elementos, se procede a calcular los módulos resistentes a la flexión de la cuaderna maestra para la cubierta resistente y para el fondo, comprobando que tanto dichos módulos como el momento de inercia de la sección superan lo establecido en el reglamento.

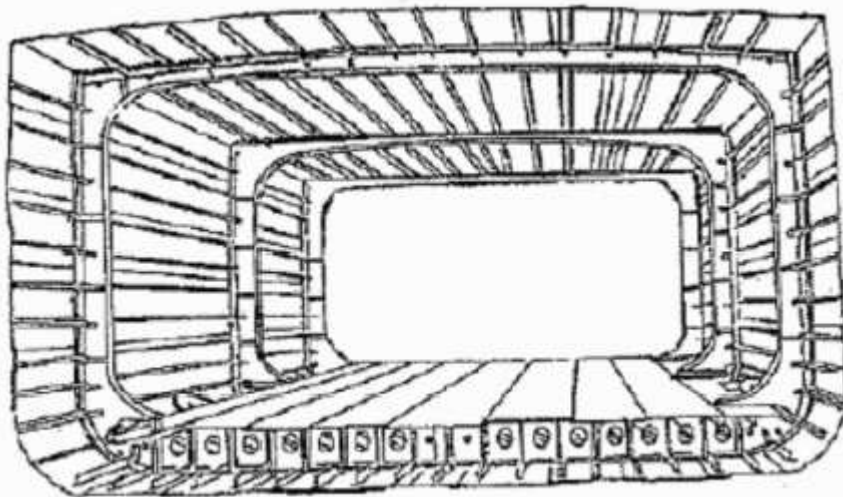
## 2. TIPO DE ESTRUCTURA.

Existen tres tipos de estructuras aplicables a un barco:

### Estructura Longitudinal.

Los buques de estructura longitudinal son especialmente de gran eslora. Se producen grandes esfuerzos en la cubierta y fondo. En este sistema de construcción, el peso total de los elementos estructurales es menor, lo que permite al buque una menor carga. Los elementos principales de ésta son los siguientes:

- Esloras: se definen como los longitudinales de cubierta que rigidizan esta parte.
- Longitudinales: rigidizan el forro.
- Vagras: rigidizan el fondo y doble fondo.



Las ventajas frente a la estructura transversal son las siguientes:

- Ahorro en peso, especialmente en buques que cuentan con una gran eslora.
- Volumen de bodega mucho más limpio, sin salientes
- Mejor resistencia a los esfuerzos de flexión.

Las desventajas frente a la estructura transversal son las siguientes:

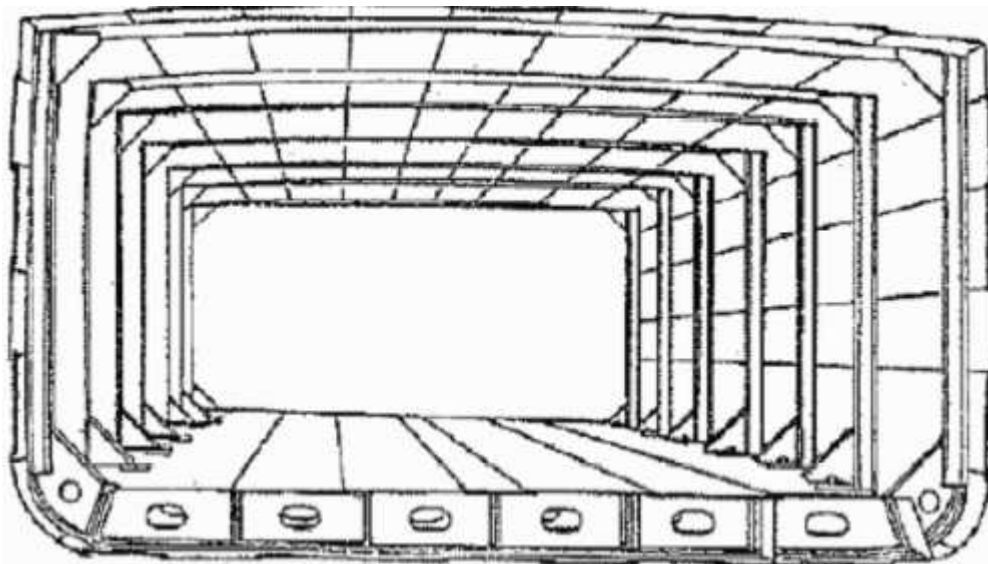
- Utilizan mayor número de elementos en la construcción.

- Peor comportamiento ante el cizallamiento.
- Mantiene peor a forma del buque establecida en la fase de proyecto.
- Tiene mejor rigidez transversal.

### Estructura transversal.

En este tipo de estructura se da preferencia a los elementos transversales, y la base de la estructura la constituyen las cuadernas, que van reforzadas en su parte inferior por las varengas.

En este tipo de estructura las varengas son continuas, no así los longitudinales, que son intercostales y aparecen a trozos entre cuadernas. Este tipo de estructura lógicamente no ofrece gran resistencia a los esfuerzos transversales, por lo que su campo de utilización es para buques de esloras no muy grandes.



Las ventajas frente a la estructura transversal son las siguientes:

- Ahorro en peso, especialmente en buques que cuentan con una gran eslora.
- Volumen de bodega mucho más limpio, sin salientes.
- Mejor resistencia a los esfuerzos de flexión.

Las desventajas frente a la estructura transversal son las siguientes:

- Utilizan mayor número de elementos en la construcción.

- Peor comportamiento ante el cizallamiento.
- Mantiene peor a forma del buque establecida en la fase de proyecto
- Tiene mejor rigidez transversal.

### **Estructura mixta.**

Normalmente, en este tipo de estructura, los costados de los buques se construyen según el sistema transversal, mientras que su fondo y cubiertas están contruidos según el sistema longitudinal. Esta disposición se utiliza en buques de mediano y gran tonelaje.

Los elementos principales de ésta son los siguientes:

- Esloras: aparecen en sistemas con baos, dando rigidez a estos.
- Palmejares: elementos que aparecen entre cubiertas. Son refuerzos locales del forro en sentido longitudinal, soportando las cuadernas, resistiendo los impactos del mar en las planchas del forro.
- Vagras: elementos longitudinales que aparecen entre las cuadernas.

Las ventajas de este tipo de estructura:

- Combina las mejores prestaciones de los dos sistemas desde el punto de vista estructural.
- Mejor resistencia al cizallamiento en los costados y fondo.
- Mejor resistencia a flexión en las cubiertas.

### **Elección del tipo de estructura.**

Después de hacer un breve resumen de los tipos de estructura y tras observar los buques que forman nuestra base de datos, hemos decidido adoptar la ESTRUCTURA DE TIPO TRANSVERSAL.

Las cuadernas están espaciadas 0,50 m. Cada cuatro cuadernas disponemos de un anillo reforzado (siempre y cuando estructuralmente sea posible), consistente en varenga, bulárcama y bao fuerte. En las cuadernas no reforzadas, la estructura transversal se compone de varenga y cuaderna y cada dos cuadernas un bao de menor tamaño al del anillo reforzado.

Disponemos de doble casco y doble fondo a lo largo de toda la eslora, y no tenemos aberturas en la cubierta de francobordo, que es la misma que la cubierta resistente.

El dimensionamiento se hará para la cuaderna maestra, es decir, a mitad de la eslora.

La posición de esta es:

$$X_{MAESTRA} = \frac{L_{pp}}{2} = \frac{22.5}{2} = 11.25 \text{ m}$$

Ésta se sitúa entre la cuaderna 22 y la 23.

### 3. MATERIAL A EMPLEAR EN LA ESTRUCTURA.

Para realizar la construcción del buque en proyecto se podrían considerar las diversas alternativas en cuanto a materiales usualmente empleados para esloras entre 25 y 40 metros:

- Construcción en acero.
- Construcción en aluminio.
- Construcción en materiales compuestos.
- Una combinación de cualquiera de los anteriores.

De todos modos, al no existir transporte de carga, ni exigencias de alta velocidad, el material a emplear será el acero dulce con un límite elástico no inferior a 235 N/mm<sup>2</sup>; ya que se trata del material más económico disponible, conocido por la mayoría de astilleros y ampliamente utilizado en la construcción de remolcadores.

### 4. DEFINICIÓN DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES.

Seguidamente, en este apartado, se concretan las principales características del buque precisas para la realización de los cálculos que se acompañan.

En todo proceso de escantillonado, siguiendo las reglas de una Sociedad de Clasificación, es necesario definir la dimensiones principales, y demás parámetros que intervienen en la formulación de dichas reglas, acorde a las definiciones, en este caso descritas por BUREAU VERITAS (Pt B, Ch 1, Sec2 "SYMBOLS AND DEFINITIONS").

### **Calado de escantillonado: T.**

Es el calado de verano medido desde el canto alto de la quilla. Este calado no podrá ser inferior al 85% de D para la determinación de escantillones.

Nuestro calado máximo corresponde a la condición de carga nº 7 y es de 3,75 m, pero el calado no puede ser inferior al 85% de D, por lo tanto será este:

$$T = 4,67 \text{ m}$$

### **Eslora de escantillonado o reglamentaria: L.**

Es la distancia (m) en la flotación de verano, entre la cara de proa de la roda y la cara de popa del codaste, o la mecha del eje del timón si aquel no existe; y no será inferior al 96 % ni precisa ser superior al 97 % de la eslora extrema en la flotación de verano. En la práctica se toma en numerosas ocasiones la Lpp.

$$L_{\text{esc}} = \text{máx.}(0,96 \cdot L_{\text{flot.}}, \text{mín.}(0,97 \cdot L_{\text{flot.}}, L_{\text{pp}}))$$

$$L_{\text{flot}} = \text{eslora en la flotación al calado de escantillonado} = 24.8 \text{ m}$$

$$L_{\text{pp}} = 22.5 \text{ m}$$

$$0,96 L_{\text{flot}} = 23.81 \text{ m}$$

$$0,97 L_{\text{flot}} = 24.06 \text{ m}$$

$$0,97 L_{\text{pp}} = 21.825 \text{ m}$$

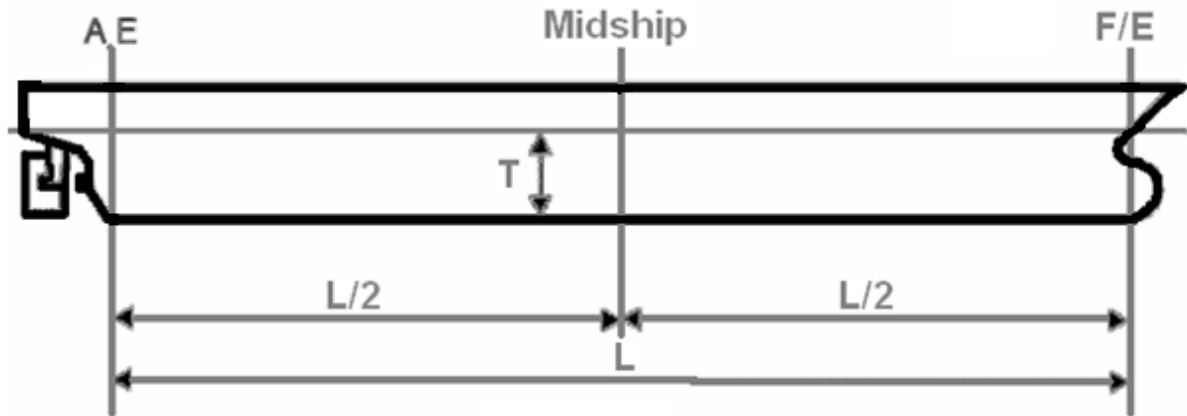
$$0,97 L_{\text{flot}} > L_{\text{pp}}$$

$$\rightarrow \text{Eslora escantillonado} = 0,96 L_{\text{flot}} = 24.06 \text{ m}$$

$$0,96 L_{\text{flot}} > L_{\text{pp}}$$

$$L_{\text{ESCANTILLONADO}} = 24.06 \text{ m}$$





**Puntal mínimo de trazado: D.**

Se medirá en (m) a la mitad de la eslora L, desde el canto alto de la quilla hasta el canto superior en el costado de la cubierta continua más alta.

$$D = 5.5 \text{ m}$$

**Manga: B**

La manga es la correspondiente a la máxima de trazado del buque, y es:

$$B = 10 \text{ m}$$

**Coefficiente de Bloque: CB.**

El correspondiente a la eslora, la manga y el calado de escantillonado. El valor del desplazamiento lo obtenemos de hidrostáticas para el calado de escantillonado, y el resultado es el siguiente:

$$C_B = \frac{\Delta}{L \times B \times T \times \rho} = \frac{700}{24.06 \times 10 \times 5.5 \times 1.025} = 0.516$$

**Clara reglamentaria entre cuadernas.**

Tras la observación de otros buques similares, especialmente el buque de referencia, se considerará una clara entre cuadernas de 0,5 m.

### **Módulo de Young.**

Para los aceros que se van a utilizar, su valor es de:

$$E = 2.06 \times 10^5 N/m^2$$

### **Coefficiente de Poisson.**

Su valor es de  $\mu = 0.3$

### **Tensión mínima de Fluencia.**

Para los aceros que se van a utilizar,  $R_y = 235 N/mm^2$

### **Factor de material.**

Para  $R_y$  igual a  $235 N/mm^2$ , su valor es de  $k=1$

## **5. VALORES DE LOS PARÁMETROS.**

Antes de iniciar los cálculos para los distintos elementos, vamos a hacer una relación de todos los valores y dimensiones o coeficientes que van a ser comunes en el cálculo de todos los elementos, así como la determinación de sus valores en caso requerido.

Unidades utilizadas:

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

### Coeficiente de navegación.

La navegación será del tipo: “unrestricted navigation” tal y como se define el capítulo 8, Sección 1 – 1.4.

$$n = 1$$

$$n_1 = 1$$

### Parámetro de ola.

$$C = (118 - 0.36L) \frac{L}{1000} = (118 - 0.36 \times 24.06) \frac{24.06}{1000} = 2.63$$

### Número de Froude.

$$F = 0.164 \frac{V}{\sqrt{L}} = 0.164 \frac{13}{\sqrt{24.06}} = 0.434$$

**Parámetro de aceleración y movimiento.**

$$a_B = n \times \left( 0.76F + 1.875 \frac{h_w}{L} \right) = 1 \times \left( 0.76 \times 0.434 + 1.875 \frac{2.774}{24.06} \right) = 0.546$$

**Parámetro de olas, en m.**

$$h_w = 11.44 - \left| \frac{L - 250}{110} \right|^3 = 11.44 - \left| \frac{24.06 - 250}{110} \right|^3 = 2.774 \text{ m}$$

**Valor de referencia del movimiento relativo del buque, en m.**

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

El valor de referencia para el movimiento relativo se obtiene, por medio de la siguiente formulación: (PtB, Ch8, Sec 1, table 3).

$$0.3L \leq x \leq 0.7L$$

$$h_1 = 0.42 \times n \times C \times (Cb + 0.7) = 0.42 \times 1 \times 2.63 \times (0.516 + 0.7) = 1.343$$

No siendo mayor que:  $D - 0.9T = 5.5 - 0.9 \times 4.67 = 1.297$

Por tanto,  $h_1 = 1.297 \text{ m}$

**Valores máximos de referencia de las aceleraciones, en m/s<sup>2</sup>.**

X-Longitudinal:

$$a_{X1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [a_p \times g + \alpha_p \times (z - T_1)]^2} = \sqrt{0.5^2 + [0.241 \times 9.81 + 1.196 \times (0 - 4.67)]^2}$$

$$= 3.256 \text{ m/s}^2$$

Z-Vertical:

$$a_{z1} = \sqrt{a_H^2 + \alpha_p^2 \times K_X \times L^2} = \sqrt{5.356^2 + 1.196^2 \times 0.018 \times 24.06^2} = 6.60 \text{ m/s}^2$$

$$K_X = 1.2 \times \left(\frac{X}{L}\right)^2 - 1.1 \frac{X}{L} + 0.2 = 1.2 \times (0.5)^2 - 1.1 \times 0.5 + 0.2 = -0.05$$

Como  $K_X$  no será menor de 0.018  $\rightarrow K_X = 0.018$

X= cuaderna maestra. X/L= 0.5

$$a_{SU} = 0.5 \text{ m/s}^2$$

$$a_H = a_B \times g = 0.546 \times 9.81 = 5.356 \text{ m/s}^2$$

**Cabezada (amplitud, periodo y aceleración).**

$$A_p = 0.328 \times a_B \times \left(1.32 - \frac{h_w}{L}\right) \times \left(\frac{0.6}{Cb}\right)^{0.75} = 0.328 \times 0.546 \times \left(1.32 - \frac{2.774}{24.06}\right) \times \left(\frac{0.6}{0.516}\right)^{0.75}$$

$$= 0.241 \text{ rad}$$

$$\alpha_p = A_p \times \left(\frac{2 \times \pi}{T_p}\right)^2 = 0.241 \times \left(\frac{2 \times \pi}{2.82}\right)^2 = 1.196 \text{ rad/s}^2$$

$$T_p = 0.575 \times \sqrt{L} = 0.575 \times \sqrt{24.06} = 2.82 \text{ s}$$

**Presiones Máximas.**

**Presión en aguas tranquilas:  $p_s$ .**

Presión del mar: (PtB, Ch8, Sec 1, table 5).

Para planchas del fondo y costados por debajo de la flotación ( $z \leq T$ )

$$P_s = \rho g(T - z) = 1.025 \times 9.81 \times (4.67 - 0) = 46.956 \text{ KN/m}^2$$

Presión interna tanques del doble fondo (gasoil): (PtB, Ch8, Sec 1, table 7).

La presión de aguas tranquilas  $P_S$ , en  $kN/m^2$ , tomará el mayor de los valores obtenidos de las siguientes formulas:

$$P_S = \rho_L \times g \times (z_L - z) = 0.85 \times 9.81 \times (3.77 - 0) = 31.43 \text{ KN/m}^2$$

$$P_S = \rho_L \times g(z_{TOP} - z) + 100 \times p_{PV} = 0.85 \times 9.81 \times (1.54 - 0) + 100 \times 0 = 12.84 \text{ KN/m}^2$$

y no ha de ser menor que:

$$\rho_L \times g \left( \frac{0.8L_1}{420 - L_1} \right) = 0.85 \times 9.81 \left( \frac{0.8 \times 26}{420 - 26} \right) = 0.44 \text{ KN/m}^2$$

Donde:

- $\rho_L = 0.85$ : densidad, en  $tn/m^3$ , del líquido transportado.
- $z_{TOP} = 1.54$ : coordenada  $z$ , en  $m$ , del punto más alto del tanque.
- $z_L = 3.77$ : coordenada  $z$ , en  $m$ , del punto más alto del líquido:
  - $z_L = z_{TOP} + 0,5 (z_{AP} - z_{TOP}) = 3.77 \text{ m}$
- $z_{AP} = 6$ : coordenada  $z$ , en  $m$ , de la línea de trazado de la cubierta hasta la cual se extienden los atmosféricos del tanque, no tomada menor que  $z_{TOP}$ .
- $p_{PV} = 0$ : presión de ajuste, en  $bar$ , de las válvulas de seguridad.
- $l_B = 1.41$ : distancia longitudinal, en  $m$ , entre los límites transversales del tanque.

Y  $L_1$  es igual a  $L$ , pero tomada no mayor que 100 (en nuestro caso coinciden  $L_1=L=26 \text{ m}$ ).

$$P_{S \text{ MAR}} = 46.956 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{S \text{ tanques DF}} = 31.43 \text{ KN/m}^2$$

## Presión por olas $P_w$ .

Presión del mar: (PtB, Ch8, Sec 1, table 5).

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

$$P_{w\text{ mar}}(z \leq T) = \rho g h_1 e^{\frac{-2\pi(T-z)}{L}} = 1.025 \times 9.81 \times 1.343 \times e^{\frac{-2\pi(4.67-0)}{26}} = 4.368 \text{ KN/m}^2$$

Con  $h_1$  calculada anteriormente en  $x/2$  (cuaderna maestra) = 1.343 m

Presión interna tanques del doble fondo (gasoil): (PtB, Ch8, Sec 1, table 7).

Presión inercial:

$$P_w = \rho_L \left[ a_{x1} \times \frac{l_B}{2} + a_{z1}(z_{TOP} - z) \right] = 1.025 \left[ 3.256 \times \frac{1.41}{2} + 6.6(1.54 - 0) \right] = 12.771 \text{ KN/m}^2$$

Elegiremos la mayor de las presiones entre las siguientes condiciones de carga:

- Tanques vacíos. Solo la presión del mar.
  - $P_S = 46.956 \text{ kN/m}^2$
  - $P_W = 4.368 \text{ kN/m}^2$
  
- Tanques llenos. Presión diferencial.
  - $P_S = 46.956 - 31.43 = 15.526 \text{ kN/m}^2$
  - $P_W = 12.77 - 4.368 = 8.402 \text{ kN/m}^2$

Llegando a:

- $P_S = 46.956 \text{ kN/m}^2$
- $P_W = 12.77 \text{ kN/m}^2$

## RESUMEN DE RESULTADOS.

<b>L</b>	<b>24.06 m</b>
B	10 m
T	4.67 m
D	5.5 m
Cb	0.516
n	1
n <sub>1</sub>	1
C	2.63
F	0.434
V	13
a <sub>B</sub>	0.546
h <sub>w</sub>	2.774 m
h <sub>1</sub>	1.297 m
a <sub>x1</sub>	3.256 m/s <sup>2</sup>
a <sub>z1</sub>	6.6 m/s <sup>2</sup>
d <sub>0</sub>	1
A <sub>p</sub>	0.241 rad
T <sub>p</sub>	2.82 s
α <sub>p</sub>	1.196 rad/s <sup>2</sup>
a <sub>SU</sub>	0.5 m/s <sup>2</sup>
R <sub>y</sub>	235 N/mm <sup>2</sup>
P <sub>S</sub>	46.956 KN/m <sup>2</sup>
P <sub>w</sub>	12.77 KN/m <sup>2</sup>

## 6. CÁLCULOS DE RESISTENCIA LONGITUDINAL.

En nuestro caso, tenemos un buque con eslora inferior a 65 m. Según el reglamento, no es necesario hacer cálculos de resistencia longitudinal, y simplemente se exige un módulo y una inercia mínima de la cuaderna maestra que garanticen que el barco no colapse.



## 7. CÁLCULO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA CUADERNA MAESTRA.

De forma previa, a la consideración y definición definitiva, de la cuaderna maestra del buque, objeto de este proyecto, se han calculado los espesores y módulos mínimos requeridos por el reglamento B.V. de los elementos que la componen, como se muestra en las siguientes páginas.

Para la realización de todos los cálculos indicados, de la parte B (HULL AND STABILITY) de las normas de la Sociedad de Clasificación para buques de eslora inferior a 65 metros (SHIPS LESS THAN 65M IN LENGTH), además de las preceptivas indicaciones recogidas en el SERVICE NOTACIONES aplicables a remolcadores.

### 7.1. Cálculo de presiones de diseño.

Las cargas locales corresponden a presiones y fuerzas que actúan directamente sobre cada uno de los elementos de la estructura (planchas, refuerzos primarios y refuerzos secundarios). Dichas fuerzas pueden deberse al efecto del mar, o bien a las aceleraciones provocadas en cargas internas dentro del casco. En la notación utilizada por el Reglamento de Bureau Veritas, existen tres tipos de cargas que actúan localmente sobre los elementos estructurales del buque:

- a) Cargas de aguas tranquilas, que como su propio nombre indica, son aquellas que actúan sobre el buque en una situación de aguas calmada estando éste en reposo. Están constituidas por las presiones hidrostáticas externas ejercidas por el mar, y por las presiones y fuerza estáticas inducidas por los pesos internos del buque.
- b) Cargas de ola e inerciales, que son aquellas debidas a las olas y a los movimientos del buque, las cuales las consideramos con el mismo periodo que las olas inducidas. Están constituidas por las presiones externas debidas a las olas del mar, y las presiones y fuerzas inerciales debidas a las aceleraciones sobre los pesos internos del buque.
- c) Cargas dinámicas, que son aquellas cuya duración es mucho menor que el periodo de las ola inducidas y que están constituidas por las presiones de impacto y el “sloshing”. En este caso, al tratarse de un buque cuya eslora es menor de 65 metros, no se tendrán en cuenta estas cargas.

Por otra parte existen unas cargas “no locales” debidas al efecto que producen todas las fuerzas actuando de manera conjunta sobre el buque, el cual se modeliza como una viga. Son las cargas de la viga buque.

Según la Parte B, Capítulo 8, Sección 1 (1.3.2) del Reglamento los elementos de la envolvente exterior del buque se calculan según dos casos:

- a) Considerando por una parte las presiones de aguas tranquilas y olas debidas al efecto del mar (no se tienen en cuenta las cargas internas).
- b) Considerando las presiones inerciales o dinámicas debidas a cargas internas, considerando que el compartimiento adyacente al forro exterior está cargado.

Por ejemplo, las presiones en los tanques de combustible del doble fondo, se calculan por una parte considerando los efectos externos inducidos por el mar, y por otro lado los efectos que el combustible produce en el tanque, de forma independiente. Obviamente, de los resultados de presiones obtenidos se escoge el más desfavorable en el escantillonado del elemento considerado.

De manera análoga se procede en el caso de aquellos elementos que no pertenecen al forro exterior, en el que sólo se consideran las cargas internas. Si un elemento se encuentra entre dos compartimientos adyacentes, se debe calcular las presiones de forma independiente, por lo que no se consideran simultáneamente cargados.

#### **A. PRESIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL FONDO.**

- Chapa de fondo
- Chapa de pantoque
- Chapa del doble fondo
- Vagra central
- Vagras laterales
- Varenga
- Refuerzos de las varengas

## Parámetros generales.

<b>L</b>	<b>24.06 m</b>
B	10 m
T	4.67 m
$h_1$	1.297 m
$a_{x1}$	3.256 m/s <sup>2</sup>
$a_{z1}$	6.6 m/s <sup>2</sup>
$A_p$	0.241 rad
$T_p$	2.82 s
$\alpha_p$	1.196 rad/s <sup>2</sup>
$a_{SU}$	0.5 m/s <sup>2</sup>
g	9.81 m/s <sup>2</sup>

**Características del doble fondo.** *BV Rules, Pt. B, Ch 4, Section 4, [5]*

### Altura mínima doble fondo.

Según el reglamento la altura mínima del doble fondo será de:

$$h_{BD} = 3 \times \frac{B+T+10}{100} = 0.74 \text{ m (ó 0,7m, la que sea mayor)}$$

En éste caso se escoge una altura para el doble fondo de 1.54 m.

### Separación de varengas.

Según el reglamento se debe disponer de varengas llenas formados por planchas, como mínimo cada 3 metros, que para una separación de cuadernas de 500 mm supone un total de 6 claras.

Para nuestro buque la separación entre varengas será de 4 claras.

### Separación de vagras.

Según el reglamento las vagras deben ir colocadas de manera que la distancia a las vagras adyacentes sea menor de 4,5 m. En este caso se colocan 2 vagras a cada costado. Las propias vagras servirán de apoyo al polín del motor, con lo que en esa zona (coincidente con la cuaderna maestra) se reforzará con dos vagras más.

Por lo que se sitúa una a 1,686 m de crujía y la siguiente a 1,486 m de la anterior (3,17 de crujía), haciendo así coincidir el reforzado con el polín de los motores principales.

### Características de los tanques del doble fondo.

Para calcular las presiones de diseño de los elementos del doble fondo es necesario detallar las características de los tanques:

- Distancia longitudinal en m entre los límites transversales del tanque. La longitud del tanque es de 10 claras, por lo que  $l_B = 5 \text{ m}$
- Densidad, en  $\text{tn/m}^3$ , del líquido. En éste caso es Gasoil, de densidad  $\rho = 0.85 \text{ tn/m}^3$ .
- Presión, en bares, de las válvulas de seguridad. En éste caso la presión es cero, ya que la desaireación no lleva válvulas de seguridad.  $p_{PV} = 0$ .
- Coordenada, en m, del punto más alto del tanque en la dirección del eje vertical. En este caso es igual a la altura de la chapa del doble fondo.  $z_{TOP} = 1.54 \text{ m}$ . Para el pantoque:  $z_{TOP} = 5.5 \text{ m}$ .
- Coordenada vertical, en m, de la línea de la cubierta al costado hasta la cual se extiende el soplado del tanque, sin ser menor que  $z_{TOP}$ . En este caso dicho conducto está situado 500 mm por encima de la cubierta superior, a una altura:  $z_{AP} = 0.5 + 5.5 = 6 \text{ m}$ .
- Coordenada vertical, en m, del punto más alto del líquido:  $z_L = z_{TOP} + 0.5(z_{AP} - z_{TOP}) = 3.77 \text{ m}$

## 1. Chapa de fondo.

Parámetros del elemento:  $z = 0$ ,  $s = 0.5$ ,  $l_b = 3.78$  m.

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [a_p \times g + \alpha_p \times (z - T)]^2} = \sqrt{0.5^2 + [0.241 \times 9.81 + 1.196 \times (0 - 4.67)]^2}$$

$$= 3.256 \text{ m/s}^2$$

Esta zona está sometida a las cargas del mar, de los tanques de doble fondo y a la presión de prueba de estos tanques.

a. Presión del mar: (PtB, Ch8, Sec 1, table 5).

### Presiones en aguas tranquilas.

Para planchas del fondo y costados por debajo de la flotación ( $z \leq T$ )

$$P_S = \rho g(T - z) = 1.025 \times 9.81 \times (4.67 - 0) = 46.956 \text{ KN/m}^2$$

### Presión de ola.

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

$$P_{w\text{mar}}(z \leq T) = \rho g h_1 e^{\frac{-2\pi(T-z)}{L}} = 1.025 \times 9.81 \times 1.343 \times e^{\frac{-2\pi(4.67-0)}{26}} = 4.368 \text{ KN/m}^2$$

b. Presiones debidas al combustible del doble fondo: BV Rules, Pt. B, Ch. 8, Section 1.

### Presiones inerciales.

Se toma el mayor valor de los obtenidos en las siguientes fórmulas:

$$P_S = \rho_L \times g \times (z_L - z) = 1.025 \times 9.81 \times (3.77 - 0) = 37.9 \text{ KN/m}^2$$

$$P_S = \rho_L \times g(z_{TOP} - z) + 100 \times p_{PV} = 1.025 \times 9.81 \times (1.54 - 0) + 100 \times 0 = 15.48 \text{ KN/m}^2$$

No ha de ser menor que:

$$\rho_L \times g \left( \frac{0.8L_1}{420 - L_1} \right) = 1.025 \times 9.81 \left( \frac{0.8 \times 26}{420 - 26} \right) = 0.531 \text{ KN/m}^2$$

Por lo tanto  $P_S = 37.9 \text{ KN/m}^2$

### Presión dinámica.

$$P_w = \rho \left[ a_{x1} \times \frac{l_B}{2} + a_{z1}(z_{TOP} - z) \right] = 1.025 \left[ 3.256 \times \frac{3.78}{2} + 6.6(1.54 - 0) \right] = 16.72 \text{ KN/m}^2$$

## 2. Chapa del pantoque.

Parámetros del elemento:  $z = 0.607$ ,  $s = 0.5$ ,  $l_B = 1 \text{ m}$ .

$$\begin{aligned} a_{x1} &= \sqrt{a_{SU}^2 + [a_p \times g + \alpha_p \times (z - T)]^2} = \sqrt{0.5^2 + [0.241 \times 9.81 + 1.196 \times (0.607 - 4.67)]^2} \\ &= 2.545 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Presión del mar: (PtB, Ch8, Sec 1, table 5).

### Presiones en aguas tranquilas.

Para planchas del fondo y costados por debajo de la flotación ( $z \leq T$ )

$$P_S = \rho g(T - z) = 1.025 \times 9.81 \times (4.67 - 0.607) = 40.85 \text{ KN/m}^2$$

### Presión de ola.

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

$$P_{w \text{ mar}}(z \leq T) = \rho g h_1 e^{\frac{-2\pi(T-z)}{L}} = 1.025 \times 9.81 \times 1.343 \times e^{\frac{-2\pi(4.67-0.607)}{26}} = 5.058 \text{ KN/m}^2$$

Presiones debidas al combustible del doble fondo: BV Rules, Pt. B, Ch. 8, Section 1.

**Presiones inerciales.**

Se toma el mayor valor de los obtenidos en las siguientes fórmulas:

$$P_S = \rho_L \times g \times (z_L - z) = 1.025 \times 9.81 \times (3.77 - 0.607) = 31.8 \text{ KN/m}^2$$

$$P_S = \rho_L \times g(z_{TOP} - z) + 100 \times p_{PV} = 1.025 \times 9.81 \times (6 - 0.607) + 100 \times 0 = 54.228 \text{ KN/m}^2$$

No ha de ser menor que:

$$\rho_L \times g \left( \frac{0.8L_1}{420 - L_1} \right) = 1.025 \times 9.81 \left( \frac{0.8 \times 26}{420 - 26} \right) = 0.531 \text{ KN/m}^2$$

Por lo tanto  $P_S = 54.228 \text{ KN/m}^2$

**Presión dinámica.**

$$P_w = \rho \left[ a_{x1} \times \frac{l_B}{2} + a_{z1}(z_{TOP} - z) \right] = 1.025 \left[ 3.256 \times \frac{1}{2} + 6.6(6 - 0.607) \right] = 38.152 \text{ KN/m}^2$$

**3. Chapa del doble fondo.**

Parámetros del elemento:  $z = 1,54$ ,  $s = 0,5$ ,  $l = 4$ .

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [a_p \times g + \alpha_p \times (z - T)]^2} = \sqrt{0.5^2 + [0.241 \times 9.81 + 1.196 \times (1.54 - 4.67)]^2} \\ = 1.46 \text{ m/s}^2$$

Presiones debidas a la maquinaria: (PtB, Ch8, Sec 1, table 15).

### Presiones en aguas tranquilas.

Para planchas del fondo y costados por debajo de la flotación ( $z \leq T$ )

$$P_S = 10 \text{ KN/m}^2$$

### Presión de ola.

$$P_w = p_S \frac{a_{z1}}{g} = 10 \times \frac{6.6}{9.81} = 6.728 \text{ KN/m}^2$$

Presiones debidas al combustible del doble fondo: BV Rules, Pt. B, Ch. 8, Section 1.

### Presiones inerciales.

Se toma el mayor valor de los obtenidos en las siguientes fórmulas:

$$P_S = \rho_L \times g \times (z_L - z) = 1.025 \times 9.81 \times (3.77 - 1.54) = 22.423 \text{ KN/m}^2$$

$$P_S = \rho_L \times g(z_{TOP} - z) + 100 \times p_{PV} = 1.025 \times 9.81 \times (1.54 - 1.54) + 100 \times 0 = 0 \text{ KN/m}^2$$

No ha de ser menor que:

$$\rho_L \times g \left( \frac{0.8L_1}{420 - L_1} \right) = 1.025 \times 9.81 \left( \frac{0.8 \times 26}{420 - 26} \right) = 0.531 \text{ KN/m}^2$$

Por lo tanto  $P_S = 22.423 \text{ KN/m}^2$

### Presión dinámica.

$$P_w = \rho \left[ a_{x1} \times \frac{l_B}{2} + a_{z1}(z_{TOP} - z) \right] = 1.025 \left[ 3.256 \times \frac{4}{2} + 6.6(1.54 - 1.54) \right] = 6.67 \text{ KN/m}^2$$



#### 4. Vagra central.

Parámetros del elemento:  $z = 0$ ,  $s = 0.5$ ,  $l = 1.54$

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [a_p \times g + \alpha_p \times (z - T)]^2} = \sqrt{0.5^2 + [0.241 \times 9.81 + 1.196 \times (0 - 4.67)]^2} \\ = 3.26 \text{ m/s}^2$$

Presiones debidas al combustible del doble fondo: BV Rules, Pt. B, Ch. 8, Section 1.

#### Presiones inerciales.

Se toma el mayor valor de los obtenidos en las siguientes fórmulas:

$$P_S = \rho_L \times g \times (z_L - z) = 1.025 \times 9.81 \times (3.77 - 0) = 37.2 \text{ KN/m}^2$$

$$P_S = \rho_L \times g(z_{TOP} - z) + 100 \times p_{PV} = 1.025 \times 9.81 \times (1.54 - 0) + 100 \times 0 = 15.48 \text{ KN/m}^2$$

No ha de ser menor que:

$$\rho_L \times g \left( \frac{0.8L_1}{420 - L_1} \right) = 1.025 \times 9.81 \left( \frac{0.8 \times 26}{420 - 26} \right) = 0.531 \text{ KN/m}^2$$

Por lo tanto  $P_S = 37.2 \text{ KN/m}^2$

#### Presión dinámica (presión de ola).

$$P_w = \rho \left[ a_{x1} \times \frac{l_B}{2} + a_{z1}(z_{TOP} - z) \right] = 1.025 \left[ 3.256 \times \frac{1.54}{2} + 6.6(1.54 - 0) \right] = 13 \text{ KN/m}^2$$

#### 5. Vagras laterales.

Parámetros del elemento:  $z = 0.476$ ,  $s = 0.5$ ,  $l = 1.690$

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [a_p \times g + \alpha_p \times (z - T)]^2} = \sqrt{0.5^2 + [0.241 \times 9.81 + 1.196 \times (0 - 4.67)]^2} \\ = 3.26 \text{ m/s}^2$$

Presiones debidas al combustible del doble fondo: BV Rules, Pt. B, Ch. 8, Section 1.

**Presiones inerciales.**

Se toma el mayor valor de los obtenidos en las siguientes fórmulas:

$$P_S = \rho_L \times g \times (z_L - z) = 1.025 \times 9.81 \times (3.77 - 0.476) = 33.1 \text{ KN/m}^2$$

$$P_S = \rho_L \times g(z_{TOP} - z) + 100 \times p_{PV} = 1.025 \times 9.81 \times (1.54 - 0.476) + 100 \times 0 \\ = 10.69 \text{ KN/m}^2$$

No ha de ser menor que:

$$\rho_L \times g \left( \frac{0.8L_1}{420 - L_1} \right) = 1.025 \times 9.81 \left( \frac{0.8 \times 26}{420 - 26} \right) = 0.531 \text{ KN/m}^2$$

Por lo tanto  $P_S = 33.1 \text{ KN/m}^2$

**Presión dinámica (presión de ola).**

$$P_w = \rho \left[ a_{x1} \times \frac{l_B}{2} + a_{z1}(z_{TOP} - z) \right] = 1.025 \left[ 3.256 \times \frac{1.54}{2} + 6.6(1.54 - 0.476) \right] = 9.767 \text{ KN/m}^2$$

**6. Varena.**

Parámetros del elemento:  $z = 0$ ,  $s = 1.1$ ,  $l = 1.54$ .

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [a_p \times g + \alpha_p \times (z - T)]^2} = \sqrt{0.5^2 + [0.241 \times 9.81 + 1.196 \times (0 - 4.67)]^2} \\ = 3.26 \text{ m/s}^2$$

Presiones debidas al combustible del doble fondo: BV Rules, Pt. B, Ch. 8, Section 1.

### Presiones inerciales.

Se toma el mayor valor de los obtenidos en las siguientes fórmulas:

$$P_S = \rho_L \times g \times (z_L - z) = 1.025 \times 9.81 \times (3.77 - 0) = 37.2 \text{ KN/m}^2$$

$$P_S = \rho_L \times g(z_{TOP} - z) + 100 \times p_{PV} = 1.025 \times 9.81 \times (1.54 - 0) + 100 \times 0 = 15.48 \text{ KN/m}^2$$

No ha de ser menor que:

$$\rho_L \times g \left( \frac{0.8L_1}{420 - L_1} \right) = 1.025 \times 9.81 \left( \frac{0.8 \times 26}{420 - 26} \right) = 0.531 \text{ KN/m}^2$$

Por lo tanto  $P_S = 37.2 \text{ KN/m}^2$

### Presión dinámica (presión de ola).

$$P_w = \rho \left[ a_{x1} \times \frac{l_B}{2} + a_{z1}(z_{TOP} - z) \right] = 1.025 \left[ 3.256 \times \frac{1.54}{2} + 6.6(1.54 - 0) \right] = 13 \text{ KN/m}^2$$

## B. PRESIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL COSTADO.

- Chapa de costado por debajo de la cubierta principal (francobordo).
- Traca de cinta.
- Cuadernas por debajo de la cubierta principal (francobordo).

## Parámetros generales.

<b>L</b>	<b>24.06 m</b>
B	10 m
T	4.67 m
$h_1$	1.297 m
$a_{x1}$	3.256 m/s <sup>2</sup>
$a_{z1}$	6.6 m/s <sup>2</sup>
$A_p$	0.241 rad
$T_p$	2.82 s
$\alpha_p$	1.196 rad/s <sup>2</sup>
$a_{SU}$	0.5 m/s <sup>2</sup>
g	9.81 m/s <sup>2</sup>

### Características del doble casco. *BV Rules, Pt. B, Ch 4, Section 4, [5].*

Según el reglamento, se deben colocar cuadernas en cada clara.

Se coloca un palmejar a 3520 mm sobre la línea base.

El punto donde se calculan los elementos, es decir el punto donde se aplican las presiones de diseño en la dirección del eje vertical Z, es el siguiente:

- Para las planchas, es el punto más bajo de cada uno de los paneles a calcular, (1,8 m para la plancha por debajo de la cubierta de francobordo).
- Para refuerzos primarios y ordinarios es el punto medio del refuerzo. Por tanto, para los paneles inferiores a la cubierta de francobordo, será el punto medio entre el doble fondo ( $z = 1,54$  m) y la cubierta de francobordo ( $z = 5.5$  m), igual a 3.52 m (desde línea base).

### Características de los tanques del costado.

Para calcular las presiones de diseño de los elementos del doble fondo es necesario detallar las características de los tanques:

- Distancia longitudinal en m entre los límites transversales del tanque. La longitud del tanque es de 10 claras, por lo que  $l_B = 5\text{m}$  (lo calculamos para el mayor tanque).
- Densidad, en  $\text{tn/m}^3$ , del líquido. En éste caso es Gasoil, de densidad  $\rho = 0.85 \text{ tn/m}^3$ .
- Presión, en bares, de las válvulas de seguridad. En éste caso la presión es cero, ya que la desaireación no lleva válvulas de seguridad.  $\rho = 0 \text{ tn/m}^3$ .
- Coordenada, en m, del punto más alto del tanque en la dirección del eje vertical.  $z_{\text{TOP}} = 5.5 \text{ m}$ .
- Coordenada vertical, en m, de la línea de la cubierta al costado hasta la cual se extiende el soplado del tanque, sin ser menor que  $z_{\text{TOP}}$ . En este caso dicho conducto está situado 500 mm por encima de la cubierta superior, a una altura:  $z_{\text{AP}} = 0.5 + 5.5 = 6 \text{ m}$ .
- Coordenada vertical, en m, del punto más alto del líquido:  
 $z_L = z_{\text{TOP}} + 0.5(z_{\text{AP}} - z_{\text{TOP}}) = 5.75 \text{ m}$ .

### 1. Chapa del costado por debajo de la cubierta principal (francobordo).

Se calculan las presiones con las fórmulas correspondientes al forro por debajo de la flotación, ya que el tramo entre la flotación y la cubierta es estrecho, 900 mm en relación al otro tramo.

Parámetros del elemento:  $z = 1,8$ ,  $s = 0,5$ ,  $l = 3.52$

$$a_{X1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [a_p \times g + \alpha_p \times (z - T)]^2} = \sqrt{0.5^2 + [0.241 \times 9.81 + 1.196 \times (1.8 - 4.67)]^2}$$

$$= 1.18 \text{ m/s}^2$$

a. Presión del mar: (PtB, Ch8, Sec 1, table 5).

### Presiones en aguas tranquilas.

Para planchas del fondo y costados por debajo de la flotación ( $z \leq T$ )

$$P_S = \rho g(T - z) = 1.025 \times 9.81 \times (4.67 - 1.8) = 28.86 \text{ KN/m}^2$$

### Presión de ola.

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

$$P_{w \text{ mar}}(z \leq T) = \rho g h_1 e^{\frac{-2\pi(T-z)}{L}} = 1.025 \times 9.81 \times 1.343 \times e^{\frac{-2\pi(4.67-1.8)}{26}} = 6,75 \text{ KN/m}^2$$

b. Presiones debidas al combustible del costado: BV Rules, Pt. B, Ch. 8, Section 1.

### Presiones inerciales.

Se toma el mayor valor de los obtenidos en las siguientes fórmulas:

$$P_S = \rho_L \times g \times (z_L - z) = 1.025 \times 9.81 \times (3.77 - 1.8) = 19.8 \text{ KN/m}^2$$

$$P_S = \rho_L \times g(z_{TOP} - z) + 100 \times p_{PV} = 1.025 \times 9.81 \times (5.5 - 1.8) + 100 \times 0 = 37.20 \text{ KN/m}^2$$

No ha de ser menor que:

$$\rho_L \times g \left( \frac{0.8L_1}{420 - L_1} \right) = 1.025 \times 9.81 \left( \frac{0.8 \times 26}{420 - 26} \right) = 0.531 \text{ KN/m}^2$$

Por lo tanto  $P_S = 37.20 \text{ KN/m}^2$

### Presión dinámica.

$$P_w = \rho \left[ a_{x1} \times \frac{l_B}{2} + a_{z1}(z_{TOP} - z) \right] = 1.025 \left[ 3.256 \times \frac{3.52}{2} + 6.6(5.5 - 1.8) \right] = 30.9 \text{ KN/m}^2$$

## 2. Traca de cinta.

No es necesario el cálculo de presiones para el cálculo de este elemento, ya que depende exclusivamente del espesor de la plancha del forro aplicándole un margen. Este cálculo se realizará una vez calculado el espesor de la plancha del forro.

### 3. Cuadernas por debajo de la cubierta principal (francobordo).

Parámetros del elemento:  $z = 1,54$ ,  $s = 0,5$ ,  $l = 2$

$$a_{x1} = \sqrt{a_{SU}^2 + [a_p \times g + \alpha_p \times (z - T)]^2} = \sqrt{0,5^2 + [0,241 \times 9,81 + 1,196 \times (1,54 - 4,67)]^2} \\ = 1,467 \text{ m/s}^2$$

a. Presión del mar: (PtB, Ch8, Sec 1, table 5).

#### Presiones en aguas tranquilas.

Para planchas del fondo y costados por debajo de la flotación ( $z \leq T$ )

$$P_S = \rho g(T - z) = 1,025 \times 9,81 \times (4,67 - 1,54) = 31,473 \text{ KN/m}^2$$

#### Presión de ola.

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

$$P_{w \text{ mar}}(z \leq T) = \rho g h_1 e^{\frac{-2\pi(T-z)}{L}} = 1,025 \times 9,81 \times 1,343 \times e^{\frac{-2\pi(4,67-1,54)}{26}} = 6,338 \text{ KN/m}^2$$

b. Presiones debidas al combustible del costado: BV Rules, Pt. B, Ch. 8, Section 1.

#### Presiones inerciales.

Se toma el mayor valor de los obtenidos en las siguientes fórmulas:

$$P_S = \rho_L \times g \times (z_L - z) = 1,025 \times 9,81 \times (3,77 - 1,54) = 22,423 \text{ KN/m}^2$$

$$P_S = \rho_L \times g(z_{TOP} - z) + 100 \times p_{PV} = 1,025 \times 9,81 \times (5,5 - 1,54) + 100 \times 0 = 39,82 \text{ KN/m}^2$$

No ha de ser menor que:

$$\rho_L \times g \left( \frac{0.8L_1}{420 - L_1} \right) = 1.025 \times 9.81 \left( \frac{0.8 \times 26}{420 - 26} \right) = 0.531 \text{ KN/m}^2$$

Por lo tanto  $P_S = 39.82 \text{ KN/m}^2$

### Presión dinámica.

$$P_w = \rho \left[ a_{x1} \times \frac{l_B}{2} + a_{z1}(z_{TOP} - z) \right] = 1.025 \left[ 3.256 \times \frac{5}{2} + 6.6(5.5 - 1.54) \right] = 35.133 \text{ KN/m}^2$$

### C. PRESIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CUBIERTAS.

- Chapa de la cubierta principal
- Trancanil
- Baos de la cubierta principal
- Esloras de la cubierta principal
- Puntales por debajo de la cubierta principal

### Parámetros generales.

$a_{z1}$	6.6 m/s <sup>2</sup>
g	9.81 m/s <sup>2</sup>
n	1
$\varphi_1$	1
$\varphi_2$	0.42

### Características de las cubiertas. *BV Rules, Pt. B, Ch 4, Section 6, [3].*

Según el reglamento, se deben colocar baos por debajo de cada cubierta en cada clara de cuadernas, por tanto, cada 0,5 m. Los puntales van colocados desde el doble fondo a la cubierta de francobordo. Va colocado sobre la eslora situada a 1.69 m de crujía por la cara superior de la plancha del doble fondo. Se disponen dos puntales en la cámara de máquinas, separados entre sí 5 m.



En la cubierta se disponen esloras separadas 3380 mm. Por lo tanto para los cálculos  $s = 0,5$  y  $l = 3.38$  (la mayor distancia entre refuerzos).

### 1. Chapa de la cubierta principal.

Parámetros del elemento:  $z = 5.5$ ,  $s = 0,5$ ,  $l = 4$

a. Presiones debidas a carga repartida en cubierta, Pt B, Ch 8, Sec 1, 4.4.

#### Presiones inerciales.

$$p_s = \frac{75 \times 9.81}{30} = 22.1 \text{ KN/m}^2 \text{ (no será menor de 10 kN/m}^2\text{)}$$

#### Presiones dinámicas.

$$p_w = p_s \times \frac{a_{z1}}{g} = 22.1 \times \frac{6.6}{9.81} = 14.87 \text{ KN/m}^2$$

b. Presiones debidas al mar, Pt B, Ch 8, Sec 1, [3].

#### Presión de aguas tranquilas.

$$p_s = 10 \times \varphi_1 \times \varphi_2 = 10 \times 1 \times 0.42 = 4.2 \text{ KN/m}^2$$

#### Presiones de ola.

$$p_w = 17.5 \times n \times \varphi_1 \times \varphi_2 = 17.5 \times 1 \times 1 \times 0.42 = 7.35 \text{ KN/m}^2$$

c. Presiones debidas a la carga en la habilitación, Pt B, Ch 8, Sec 1, [4] Table 13.

#### Presión de aguas tranquilas.

$$p_s = 2.5 \text{ KN/m}^2$$

#### Presiones de ola.

$$p_w = p_s \times \frac{a_{z1}}{g} = 2.5 \times \frac{6.6}{9.81} = 1.682 \text{ KN/m}^2$$

## 2. Baos de la cubierta principal.

Parámetros del elemento:  $z = 5.5$ ,  $s = 0,5$ ,  $l = 4$

a. Presiones debidas a carga repartida en cubierta, Pt B, Ch 8, Sec 1, 4.4.

### Presiones inerciales.

$$p_s = \frac{75 \times 9.81}{30} = 22.1 \text{ KN/m}^2 \text{ (no será menor de 10 kN/m}^2\text{)}$$

### Presiones dinámicas.

$$p_w = p_s \times \frac{a_{z1}}{g} = 22.1 \times \frac{6.6}{9.81} = 14.87 \text{ KN/m}^2$$

b. Presiones debidas al mar, Pt B, Ch 8, Sec 1, [3].

### Presión de aguas tranquilas.

$$p_s = 10 \times \varphi_1 \times \varphi_2 = 10 \times 1 \times 0.42 = 4.2 \text{ KN/m}^2$$

### Presiones de ola.

$$p_w = 17.5 \times n \times \varphi_1 \times \varphi_2 = 17.5 \times 1 \times 1 \times 0.42 = 7.35 \text{ KN/m}^2$$

c. Presiones debidas a la carga en la habilitación, Pt B, Ch 8, Sec 1, [4] Table 13.

### Presión de aguas tranquilas.

$$p_s = 2.5 \text{ KN/m}^2$$

### Presiones de ola.

$$p_w = p_s \times \frac{a_{z1}}{g} = 2.5 \times \frac{6.6}{9.81} = 1.682 \text{ KN/m}^2$$

### 3. Esloras de la cubierta principal.

Parámetros del elemento:  $z = 5.5$ ,  $s = 1.69$  (separación entre dos esloras),  $l = 2$  (distancia entre puntales).

a. Se considera una carga repartida en cubierta, Pt B, Ch 8, Sec 1, 4.4.

#### Presiones inerciales.

$$p_s = \frac{75 \times 9.81}{30} = 22.1 \text{ KN/m}^2 \text{ (no será menor de 10 kN/m}^2\text{)}$$

#### Presiones dinámicas.

$$p_w = p_s \times \frac{a_{z1}}{g} = 22.1 \times \frac{6.6}{9.81} = 14.87 \text{ KN/m}^2$$

b. Presiones debidas al mar, Pt B, Ch 8, Sec 1, [3].

#### Presión de aguas tranquilas.

$$p_s = 10 \times \varphi_1 \times \varphi_2 = 10 \times 1 \times 0.42 = 4.2 \text{ KN/m}^2$$

#### Presiones de ola.

$$p_w = 17.5 \times n \times \varphi_1 \times \varphi_2 = 17.5 \times 1 \times 1 \times 0.42 = 7.35 \text{ KN/m}^2$$

c. Presiones debidas a la carga en la habitación, Pt B, Ch 8, Sec 1, [4] Table 13.

#### Presión de aguas tranquilas.

$$p_s = 2.5 \text{ KN/m}^2$$

#### Presiones de ola.

$$p_w = p_s \times \frac{a_{z1}}{g} = 2.5 \times \frac{6.6}{9.81} = 1.682 \text{ KN/m}^2$$

#### 4. Puntales debajo de la cubierta principal.

Parámetros del elemento:  $z = 5.5$ ,  $s = 2$ ,  $l = 4$  (distancia entre puntales).

a. Se considera una carga repartida en cubierta, Pt B, Ch 8, Sec 1, 4.4.

##### Presiones inerciales.

$$p_s = \frac{75 \times 9.81}{30} = 22.1 \text{ KN/m}^2 \text{ (no será menor de 10 kN/m}^2\text{)}$$

##### Presiones dinámicas.

$$p_w = p_s \times \frac{a_{z1}}{g} = 22.1 \times \frac{6.6}{9.81} = 14.87 \text{ KN/m}^2$$

b. Presiones debidas al mar, Pt B, Ch 8, Sec 1, [3].

##### Presión de aguas tranquilas.

$$p_s = 10 \times \varphi_1 \times \varphi_2 = 10 \times 1 \times 0.42 = 4.2 \text{ KN/m}^2$$

##### Presiones de ola.

$$p_w = 17.5 \times n \times \varphi_1 \times \varphi_2 = 17.5 \times 1 \times 1 \times 0.42 = 7.35 \text{ KN/m}^2$$

c. Presiones debidas a la carga en la habitación, Pt B, Ch 8, Sec 1, [4] Table 13.

##### Presión de aguas tranquilas.

$$p_s = 2.5 \text{ KN/m}^2$$

##### Presiones de ola.

$$p_w = p_s \times \frac{a_{z1}}{g} = 2.5 \times \frac{6.6}{9.81} = 1.682 \text{ KN/m}^2$$

## 8. ESCANTILLONADO.

Para cada una de las zonas del buque a escantillonar (fondo, costados y cubiertas) se procede a enumerar previamente todos los parámetros generales que van a ser utilizados posteriormente en los cálculos de los elementos de dicha zona. Aquellos parámetros que varían su valor para cada elemento, son detallados de manera independiente en el apartado correspondiente a cada uno de ellos. Todos estos parámetros han sido calculados y/o justificados anteriormente, por lo que aquí sólo aparecen sus valores numéricos.

**Margen por corrosión:** BV Rules, Pt. B, Ch. 4, Section 2, [3].

Los valores de la adición por corrosión se aplican, según el reglamento, a cada una de las caras expuestas del elemento. Por ejemplo, en el caso del fondo habrá que añadir un margen debido al contacto de la plancha con el mar por una cara y otro debido al contacto de la plancha con el gasoil del doble fondo por la otra.

### A. ESCANTILLONADO DEL FONDO.

- Chapa de fondo
- Chapa de pantoque
- Vagra central
- Vagras laterales
- Varenga
- Refuerzos de las varengas

#### Parámetros generales.

El coeficiente de curvatura del panel  $C_R$ , vale 1 para todas las planchas, exceptuando la de pantoque, dónde su valor es calculado con la fórmula correspondiente.

<b>L</b>	26 m
<b>D</b>	5.5 m
<b><math>C_R</math></b>	1
<b>k</b>	1
<b><math>R_Y</math></b>	235 N/mm <sup>2</sup>

Factores de seguridad parciales planchas:

$Y_R$	1.2
$Y_M$	1.02
$Y_{S2}$	1,00
$Y_{W2}$	1,20
<b>R</b>	1.41 N/mm <sup>2</sup>

**Margen por corrosión.** BV Rules, Pt. B, Ch. 4, Section 2, [3].

A continuación se justificarán los valores para cada zona expuesta, dejando para cada elemento particular la suma correspondiente.

- Contacto con el mar o aire: 0,5 mm.
- Tanque de gasoil (superficie horizontal): 0,75 mm.
- Tanque de gasoil (superficie no horizontal): 0,5 mm.
- Otros compartimentos: 0,50 mm

### 1. Chapa de fondo.

Parámetros del elemento:  $z = 0$  m,  $s = 0.5$  m,  $l = 3.78$  m.

#### Presiones de diseño.

- **Debidas al mar.**

$$P_{S\text{MAR}} = 46.956 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W\text{MAR}} = 4.368 \text{ KN/m}^2$$

- **Debidas al gasoil del doble fondo.**

$$P_{S\text{Tanque}} = 37.9 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W\text{Tanque}} = 16.72 \text{ KN/m}^2$$

#### Cálculo de parámetros.

$C_a$ = Razón de aspecto del panel, igual a:

$$C_a = \min \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0.69 \times \frac{s}{l} ; 1 \right] = 1$$

$$C_a = \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{0.5}{3.78}\right)^2} - 0.69 \times \frac{0.5}{3.78} \right] = 1.3$$

$c_R$ = Coeficiente de curvatura del panel, igual a:

$$c_R = 1 - 0.5 \times \frac{s}{r} = 1$$

Que no ha de tomarse menor de 0.75. Por lo tanto tomaremos  $c_R=1$  por tratarse de una chapa plana.

$$\lambda_T = 1 - 0.89 \times Y_m \times \frac{\sigma_{X1}}{R_Y} = 1 - 0.89 \times 1.02 \times \frac{100}{235} = 0.613$$

Donde:

$$\sigma_{X1} = \max \left\{ \text{abs} \left[ 100 \times \left( 1 - \frac{z}{0.5 \times D} \right) \right] ; 65 \right\} = 100 \text{ N/mm}^2$$

a. Espeor mínimo neto requerido: *Pt B, Ch 8, Sec 3, table 2.*

En cualquier caso el espesor obtenido de las planchas para estructura transversal, ha de ser mayor que el obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$t = 4.1 + 0.018 \times L \times k^{0.5} + 1.5 \times s = 4.1 + 0.018 \times 26 \times 1^{0.5} + 1.5 \times 0.5 = 5.318 \text{ mm}$$

b. Espeor de la chapa de fondo según la presión a la que está sometida: *Pt.B, Ch.8, Secc. 3, [3.4.1].*

$$t = 17.2 \times c_a \times c_r \times s \times \sqrt{\gamma_R \times \gamma_m \times \frac{\gamma_{S2} \times P_S \times \gamma_{W2} \times P_W}{\lambda_T \times R_Y}}$$

Presiones debidas al mar.

$$t = 17.2 \times 1 \times 1 \times 0.5 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \frac{1 \times 46.956 + 1.2 \times 4.368}{0.613 \times 235}} = 5.727 \text{ mm}$$

Presiones debidas al combustible.

$$t = 17.2 \times 1 \times 1 \times 0.5 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \frac{1 \times 37.9 + 1.2 \times 16.72}{0.613 \times 235}} = 4.72 \text{ mm}$$

Se toma como espesor neto  $t = 5.727 \text{ mm}$ .

c. Margen de corrosión:

El margen de corrosión a añadir será:

0.75 (tanques de combustible) + 0.5 (contacto con el mar) = 1.25 mm

$$t = 5.727 + 1.25 = 6.977 \text{ mm}$$

**2. Chapa de pantoque.**

Parámetros del elemento:  $z = 0.607 \text{ m}$ ,  $s = 0.5 \text{ m}$ ,  $l = 1 \text{ m}$ .

**Presiones de diseño.**

- **Debidas al mar.**

$$P_{S\text{MAR}} = 40.85 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W\text{MAR}} = 5.058 \text{ KN/m}^2$$

- **Debidas al gasoil del doble fondo.**

$$P_{S\text{Tanque}} = 54.228 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W\text{Tanque}} = 38.152 \text{ KN/m}^2$$

**Cálculo de parámetros.**

$C_a$  = Razón de aspecto del panel, igual a:



$$C_a = \min \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0.69 \times \frac{s}{l} ; 1 \right]$$

$$C_a = \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{0.5}{1}\right)^2} - 0.69 \times \frac{0.5}{1} \right] = 0.914$$

$c_R$ = Coeficiente de curvatura del panel, igual a:

$$c_R = 1 - 0.5 \times \frac{s}{r} = 0.84$$

Que no ha de tomarse menor de 0.75. Por lo tanto tomaremos  $c_R=0,84$  (el pantoque es recto pero estimamos  $r=1,6$  m)

$$\lambda_T = 1 - 0.89 \times Y_m \times \frac{\sigma_{X1}}{R_Y} = 1 - 0.89 \times 1.02 \times \frac{77.93}{235} = 0.698$$

Donde:

$$\sigma_{X1} = \max \left\{ \text{abs} \left[ 100 \times \left( 1 - \frac{z}{0.5 \times D} \right) \right] ; 65 \right\} = 77.93 \text{ N/mm}^2$$

a. Espesor mínimo neto requerido: *Pt B, Ch 8, Sec 3, table 2.*

En cualquier caso el espesor obtenido de las planchas para estructura transversal, ha de ser mayor que el obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$t = 4.1 + 0.018 \times L \times k^{0.5} + 1.5 \times s = 4.1 + 0.018 \times 26 \times 1^{0.5} + 1.5 \times 0.5 = 5.318 \text{ mm}$$

b. Espesor de la chapa de fondo según la presión a la que está sometida: *Pt.B, Ch.8, Secc. 3, [3.4.1].*

$$t = 17.2 \times c_a \times c_r \times s \times \sqrt{\gamma_R \times \gamma_m \times \frac{\gamma_{S2} \times P_S \times \gamma_{W2} \times P_W}{\lambda_T \times R_Y}}$$

Presiones debidas al mar.

$$t = 17.2 \times 0.94 \times 0.84 \times 0.5 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \frac{1 \times 40.85 + 1.2 \times 5.058}{0.698 \times 235}} = 4.02 \text{ mm}$$

Presiones debidas al combustible.

$$t = 17.2 \times 0.94 \times 0.84 \times 0.5 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \frac{1 \times 54.228 + 1.2 \times 38.152}{0.698 \times 235}} = 5.866 \text{ mm}$$

Se toma como espesor neto  $t = 5.866 \text{ mm}$ .

**c. Margen de corrosión:**

El margen de corrosión a añadir será:

$$0.75 \text{ (tanques de combustible)} + 0.5 \text{ (contacto con el mar)} = 1.25 \text{ mm}$$

En cualquier caso la chapa del pantoque no tendrá menor espesor que las adyacentes de fondo y costado. Es decir como mínimo el espesor será de 7.07 mm (espesor del fondo).

$$t = 5.866 + 1.25 = 7.116 \text{ mm}$$

**3. Chapa de doble fondo.**

Parámetros del elemento:  $z = 1.54 \text{ m}$ ,  $s = 0.5 \text{ m}$ ,  $l = 4 \text{ m}$ .

**Presiones de diseño.**

- **Debidas a la maquinaria.**

$$P_{S \text{ Maquinaria}} = 10 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W \text{ Maquinaria}} = 6.728 \text{ KN/m}^2$$

- **Debidas al gasoil del doble fondo.**

$$P_{S \text{ Tanque}} = 22.423 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W \text{ Tanque}} = 6.67 \text{ KN/m}^2$$

**Cálculo de parámetros.**

$C_a$  = Razón de aspecto del panel, igual a:

$$c_a = \min \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0.69 \times \frac{s}{l} ; 1 \right] = 1$$

$$c_a = \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{0.5}{4}\right)^2} - 0.69 \times \frac{0.5}{4} \right] = 1.127$$

$c_R$  = Coeficiente de curvatura del panel, igual a:

$$c_R = 1 - 0.5 \times \frac{s}{r} = 1$$

Que no ha de tomarse menor de 0.75. Por lo tanto tomaremos  $c_R = 1$  por tratarse de una chapa plana.

$$\lambda_T = 1 - 0.89 \times Y_m \times \frac{\sigma_{X1}}{R_Y} = 1 - 0.89 \times 1.02 \times \frac{65}{235} = 0.749$$

Donde:

$$\sigma_{X1} = \max \left\{ \text{abs} \left[ 100 \times \left( 1 - \frac{z}{0.5 \times D} \right) \right] ; 65 \right\} = 65 \text{ N/mm}^2$$

a. Espesor mínimo neto requerido: *Pt B, Ch 8, Sec 3, table 2.*

En cualquier caso el espesor obtenido de las planchas para estructura transversal, ha de ser mayor que el obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$t = 1.9 + 0.024 \times L \times k^{0.5} + 1.5 \times s = 1.9 + 0.024 \times 26 \times 1^{0.5} + 1.5 \times 0.5 = 3.274 \text{ mm}$$

b. Espesor de la chapa de fondo según la presión a la que está sometida: *Pt.B, Ch.8, Secc. 3, [3.4.1].*

$$t = 17.2 \times c_a \times c_r \times s \times \sqrt{\gamma_R \times \gamma_m \times \frac{\gamma_{S2} \times P_S \times \gamma_{W2} \times P_W}{\lambda_T \times R_Y}}$$

Presiones debidas a la maquinaria.

$$t = 17.2 \times 1 \times 1 \times 0.5 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \frac{1 \times 10 + 1.2 \times 6.728}{0.749 \times 235}} = 3.05 \text{ mm}$$

Presiones debidas al combustible.

$$t = 17.2 \times 1 \times 1 \times 0.5 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \frac{1 \times 22.423 + 1.2 \times 6.67}{0.749 \times 235}} = 3.84 \text{ mm}$$

Se toma como espesor neto  $t = 3.84 \text{ mm}$ .

c. Margen de corrosión:

El margen de corrosión a añadir será:

0.75 (tanques de combustible) + 0.5 (contacto con el mar) = 1.25 mm

$$t = 3.64 + 1.25 = 5.09 \text{ mm}$$

**4. Vagra central.**

Parámetros del elemento:  $z = 0 \text{ m}$ ,  $s = 0.5 \text{ m}$ ,  $l = 1.54 \text{ m}$ .

**Presiones de diseño.**

- **Debidas al gasoil del doble fondo.**

$$P_{S \text{ Tanque}} = 37.2 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W \text{ Tanque}} = 13 \text{ KN/m}^2$$

**Cálculo de parámetros.**

$C_a$  = Razón de aspecto del panel, igual a:

$$C_a = \min \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0.69 \times \frac{s}{l} ; 1 \right] = 1$$

$$C_a = \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{0.5}{1.54}\right)^2} - 0.69 \times \frac{0.5}{1.54} \right] = 1.006$$

$c_R$  = Coeficiente de curvatura del panel, igual a:

$$c_R = 1 - 0.5 \times \frac{S}{r} = 1$$

Que no ha de tomarse menor de 0.75. Por lo tanto tomaremos  $c_R = 1$  por tratarse de una chapa plana.

$$\lambda_T = 1 - 0.89 \times Y_m \times \frac{\sigma_{X1}}{R_Y} = 1 - 0.89 \times 1.02 \times \frac{100}{235} = 0.613$$

Donde:

$$\sigma_{X1} = \max \left\{ \text{abs} \left[ 100 \times \left( 1 - \frac{z}{0.5 \times D} \right) \right] ; 65 \right\} = 100 \text{ N/mm}^2$$

a. Espesor mínimo neto requerido: *Pt B, Ch 8, Sec 3, table 2.*

En cualquier caso el espesor obtenido de las planchas para estructura transversal, ha de ser mayor que el obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$t = 2.1 + L^{\frac{1}{3}} \times k^{\frac{1}{6}} = 2.1 + 26^{\frac{1}{3}} \times 1^{\frac{1}{6}} = 5.06 \text{ mm}$$

b. Espesor de la chapa de fondo según la presión a la que está sometida: *Pt.B, Ch.8, Secc. 3, [3.4.1].*

$$t = 17.2 \times c_a \times c_r \times s \times \sqrt{\gamma_R \times \gamma_m \times \frac{\gamma_{S2} \times P_S \times \gamma_{W2} \times P_W}{\lambda_T \times R_Y}}$$

Presiones debidas al combustible.

$$t = 17.2 \times 1 \times 1 \times 0.5 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \frac{1 \times 37.2 + 1.2 \times 13}{0.613 \times 235}} = 5.76 \text{ mm}$$

Se toma como espesor neto  $t = 5.7 \text{ mm}$ .

c. Margen de corrosión:

El margen de corrosión a añadir será:

0.75 (tanques de combustible, refuerzo primario) = 0.75 mm

$$t = 5.7 + 0.75 = 6.51 \text{ mm}$$

## 5. Vagras laterales.

Parámetros del elemento:  $z = 0.476 \text{ m}$ ,  $s = 0.5 \text{ m}$ ,  $l = 1.54 \text{ m}$ .

### Presiones de diseño.

- Debidas al gasoil del doble fondo.

$$P_{S \text{ Tanque}} = 33.1 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W \text{ Tanque}} = 9.767 \text{ KN/m}^2$$

### Cálculo de parámetros.

$C_a$  = Razón de aspecto del panel, igual a:

$$C_a = \min \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0.69 \times \frac{s}{l}; 1 \right] = 1$$

$$C_a = \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{0.5}{1.54}\right)^2} - 0.69 \times \frac{0.5}{1.54} \right] = 1.006$$

$c_R$  = Coeficiente de curvatura del panel, igual a:

$$c_R = 1 - 0.5 \times \frac{s}{r} = 1$$

Que no ha de tomarse menor de 0.75. Por lo tanto tomaremos  $c_R = 1$  por tratarse de una chapa plana.

$$\lambda_T = 1 - 0.89 \times Y_m \times \frac{\sigma_{X1}}{R_Y} = 1 - 0.89 \times 1.02 \times \frac{100}{235} = 0.613$$

Donde:

$$\sigma_{X1} = \max \left\{ \text{abs} \left[ 100 \times \left( 1 - \frac{z}{0.5 \times D} \right) \right]; 65 \right\} = 100 \text{ N/mm}^2$$

a. Espesor mínimo neto requerido: *Pt B, Ch 8, Sec 3, table 2.*

En cualquier caso el espesor obtenido de las planchas para estructura transversal, ha de ser mayor que el obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$t = 2.1 + L^{\frac{1}{3}} \times k^{\frac{1}{6}} = 2.1 + 26^{\frac{1}{3}} \times 1^{\frac{1}{6}} = 5.06 \text{ mm}$$

b. Espesor de la chapa de fondo según la presión a la que está sometida: *Pt.B, Ch.8, Secc. 3, [3.4.1].*

$$t = 17.2 \times c_a \times c_r \times s \times \sqrt{\gamma_R \times \gamma_m \times \frac{\gamma_{S2} \times P_S \times \gamma_{W2} \times P_W}{\lambda_T \times R_\gamma}}$$

Presiones debidas al combustible.

$$t = 17.2 \times 1 \times 1 \times 0.5 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \frac{1 \times 33.1 + 1.2 \times 9.767}{0.613 \times 235}} = 5.3 \text{ mm}$$

Se toma como espesor neto  $t = 5.3 \text{ mm}$ .

c. Margen de corrosión:

El margen de corrosión a añadir será:

0.75 (tanques de combustible, refuerzo primario) = 0.75 mm

$$t = 5.3 + 0.75 = 6.05 \text{ mm}$$

## 6. Varenga.

La varenga no contribuye en la resistencia longitudinal, con lo que la fórmula del espesor de plancha sujeta a presión lateral difiere de los otros casos.

Parámetros del elemento:  $z = 0 \text{ m}$ ,  $s = 1.1 \text{ m}$ ,  $l = 1.54 \text{ m}$ .

### Presiones de diseño.

- Debidas al gasoil del doble fondo.

$$P_{S\text{Tanque}} = 37.2 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W\text{Tanque}} = 13 \text{ KN/m}^2$$

### Cálculo de parámetros.

$C_a$  = Razón de aspecto del panel, igual a:

$$C_a = \min \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{S}{l}\right)^2} - 0.69 \times \frac{S}{l}; 1 \right]$$

$$C_a = \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{1.1}{1.54}\right)^2} - 0.69 \times \frac{1.1}{1.54} \right] = 0.815$$

$c_R$  = Coeficiente de curvatura del panel, igual a:

$$c_R = 1 - 0.5 \times \frac{S}{r} = 1$$

$$\lambda_T = 1 - 0.89 \times Y_m \times \frac{\sigma_{X1}}{R_Y} = 1 - 0.89 \times 1.02 \times \frac{100}{235} = 0.613$$

Donde:

$$\sigma_{X1} = \max \left\{ \text{abs} \left[ 100 \times \left( 1 - \frac{z}{0.5 \times D} \right) \right]; 65 \right\} = 100 \text{ N/mm}^2$$

- a. Espesor mínimo neto requerido: Pt B, Ch 8, Sec 3, table 2.

En cualquier caso el espesor obtenido de las planchas para estructura transversal, ha de ser mayor que el obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$t = 1.4 + L^{\frac{1}{3}} \times k^{\frac{1}{6}} = 1.4 + 26^{\frac{1}{3}} \times 1^{\frac{1}{6}} = 4.36 \text{ mm}$$



- b. Espesor de la chapa de fondo según la presión a la que está sometida: Pt.B, Ch.8, Secc. 3, [3.4.1].

$$t = 14.9 \times c_a \times c_r \times s \times \sqrt{\gamma_R \times \gamma_m \times \frac{\gamma_{S2} \times P_S \times \gamma_{W2} \times P_W}{\lambda_T \times R_\gamma}}$$

Presiones debidas al líquido del doble fondo.

$$t = 14.9 \times 0.815 \times 1 \times 0.5 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \frac{1 \times 37.2 + 1.2 \times 13}{0.613 \times 235}} = 4.07 \text{ mm}$$

Se toma como espesor neto  $t = 4.825 \text{ mm}$ .

- c. Margen de corrosión:

El margen de corrosión a añadir será:

0.75 (tanques de combustible, refuerzo primario) = 0.75 mm

$$t = 4.07 + 0.75 = 4,82 \text{ mm}$$

## 7. Refuerzos varengas.

Según el reglamento, cuando la altura del doble fondo supera, como en este caso, los 0,9 m. de altura (en este caso 1.54 m), se deben disponer pletinas verticales en las varengas, separadas a una distancia no superior a 1,5 m. Teniendo en cuenta que se dispone de una vagra central y 2 laterales a cada costado (a una separación de 1.686 m. y 3.17 m. de la central respectivamente). En la varenga central se colocan dos refuerzos verticales y equidistantes. En el resto de varengas se dispondrá de un refuerzo vertical

Los refuerzos consisten en pletinas de anchura no menor a un décimo de la altura de la varenga, y un espesor no menor que  $0,8 \cdot L^{0,5} = 4,08 \text{ mm}$ . La altura máxima de la varenga es igual a la altura del doble fondo (1,54 m), por lo que la anchura de los refuerzos no tiene por que superar los 154 mm., ya que ningún refuerzo sobrepasa dicha altura. Por tanto se opta por colocar una pletina por varenga, con una anchura de 90 mm. y un espesor de 5 mm con la disposición mencionada anteriormente.

## B. ESCANTILLONADO DEL COSTADO.

- Chapa de costado por debajo de la cubierta principal
- Traca de cinta
- Cuadernas por debajo de la cubierta principal

### Parámetros generales.

El coeficiente de curvatura del panel  $C_R$ , vale 1 para todas las planchas, exceptuando la de pantoque, dónde su valor es calculado con la fórmula correspondiente.

<b>L</b>	26 m
<b>D</b>	5.5 m
<b>C<sub>R</sub></b>	1
<b>k</b>	1
<b>R<sub>Y</sub></b>	235 N/mm <sup>2</sup>

Factores de seguridad parciales planchas:

<b>Y<sub>R</sub></b>	1.2
<b>Y<sub>M</sub></b>	1.02
<b>Y<sub>S2</sub></b>	1,00
<b>Y<sub>W2</sub></b>	1,20
<b>R</b>	1.41 N/mm <sup>2</sup>

Factores de seguridad parciales refuerzos primarios:

<b>Y<sub>R</sub></b>	1.15
<b>Y<sub>M</sub></b>	1.02
<b>Y<sub>S2</sub></b>	1,00
<b>Y<sub>W2</sub></b>	1,20

Factores de seguridad parciales refuerzos ordinarios:

<b>Y<sub>R</sub></b>	1.15
<b>Y<sub>M</sub></b>	1.02

$Y_{S2}$	1,00
$Y_{W2}$	1,20

**Margen por corrosión.** BV Rules, Pt. B, Ch. 4, Section 2, [3].

A continuación se justificarán los valores para cada zona expuesta, dejando para cada elemento particular la suma correspondiente.

- Contacto con el mar o aire: 0,5 mm.
- Otros compartimentos: 0,50 mm

### 1. Chapa de costado por debajo de la cubierta principal.

Parámetros del elemento:  $z = 1.8$  m,  $s = 0.5$  m,  $l = 3.52$  m.

#### Presiones de diseño.

- **Debidas al mar.**

$$P_{S\text{MAR}} = 28.86 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W\text{MAR}} = 6.75 \text{ KN/m}^2$$

- **Debidas al gasoil del costado.**

$$P_{S\text{Tanque}} = 37.20 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W\text{Tanque}} = 30.9 \text{ KN/m}^2$$

#### Cálculo de parámetros.

$C_a$  = Razón de aspecto del panel, igual a:

$$C_a = \min \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0.69 \times \frac{s}{l}; 1 \right] = 1$$

$$C_a = \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{0.5}{3.52}\right)^2} - 0.69 \times \frac{0.5}{3.52} \right] = 1.11$$

$c_R$  = Coeficiente de curvatura del panel, igual a:

$$c_R = 1 - 0.5 \times \frac{s}{r} = 1$$

Que no ha de tomarse menor de 0.75. Por lo tanto tomaremos  $c_R = 1$  por tratarse de una chapa plana.

$$\lambda_T = 1 - 0.89 \times Y_m \times \frac{\sigma_{X1}}{R_Y} = 1 - 0.89 \times 1.02 \times \frac{65}{235} = 0.749$$

Donde:

$$\sigma_{X1} = \max \left\{ \text{abs} \left[ 100 \times \left( 1 - \frac{z}{0.5 \times D} \right) \right] ; 65 \right\} = 65 \text{ N/mm}^2$$

a. Espesor mínimo neto requerido: *Pt B, Ch 8, Sec 3, table 2.*

En cualquier caso el espesor obtenido de las planchas para estructura transversal, ha de ser mayor que el obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$t = 3.1 + 0.018 \times L \times k^{0.5} + 4.5 \times s = 3.1 + 0.018 \times 26 \times 1^{0.5} + 4.5 \times 0.5 = 5.818 \text{ mm}$$

b. Espesor de la chapa de fondo según la presión a la que está sometida: *Pt.B, Ch.8, Secc. 3, [3.4.1].*

$$t = 17.2 \times c_a \times c_r \times s \times \sqrt{\gamma_R \times \gamma_m \times \frac{\gamma_{S2} \times P_S \times \gamma_{W2} \times P_W}{\lambda_T \times R_Y}}$$

Presiones debidas al mar.

$$t = 17.2 \times 1 \times 1 \times 0.5 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \frac{1 \times 28.86 + 1.2 \times 6.75}{0.749 \times 235}} = 4.36 \text{ mm}$$

Presiones debidas al gasoil del costado.

$$t = 17.2 \times 1 \times 1 \times 0.5 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \frac{1 \times 37.20 + 1.2 \times 30.9}{0.749 \times 235}} = 6.18 \text{ mm}$$

Se toma como espesor neto  $t = 6.18$  mm.

c. Margen de corrosión:

El margen de corrosión a añadir será:

$$0.75 \text{ (tanques de combustible)} + 0.5 \text{ (contacto con el mar)} = 1.25 \text{ mm}$$

En cualquier caso la chapa del pantoque no tendrá menor espesor que las adyacentes de fondo y costado. Es decir como mínimo el espesor será de 7.07 mm (espesor del fondo).

$$t = 6.18 + 1.25 = 7.43 \text{ mm}$$

**2. Traca de cinta.**

*BV Rules, Pt. B, Ch. 4, Section 5, [1].*

Según el reglamento, la anchura mínima de la traca de cinta será de:

$$b = 0.715 + 0.425 \times \frac{L}{100} = 0.715 + 0.425 \times \frac{26}{100} = 0.825 \text{ mm}$$

La anchura tomada en este caso será de 1m. El espesor de la traca se debe incrementar un 40%, con lo que al obtener un espesor del costado por debajo de la cubierta principal de 7,55 mm, el espesor mínimo de la traca de cinta será de:

$$t = 7.55 \times 1.40 = 10.57 \text{ mm}$$

**3. Cuadernas por debajo de la cubierta principal.** *BV Rules, Pt. B, Ch. 4, Section 4, [3.4.4]*

Parámetros del elemento:  $z = 1.54$  m,  $s = 0.5$  m,  $l = 2$  m.

### Presiones de diseño.

- **Debidas al mar.**

$$P_{S\text{MAR}} = 31.473 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W\text{MAR}} = 6.338 \text{ KN/m}^2$$

- **Debidas a los tanques laterales.**

$$P_{S\text{Tanque}} = 39.82 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W\text{Tanque}} = 35.133 \text{ KN/m}^2$$

Para el cálculo de los parámetros  $\lambda_b$  y  $\lambda_s$ , se necesitan las presiones en los extremos superior e inferior del refuerzo.

- **Debidas al mar:**

- o Límite inferior:

$$z = 0; P_{Sd} = 46.956 \text{ kN/mm}^2; P_{Wd} = 4.368 \text{ kN/mm}^2$$

- o Límite superior:

$$z = 5.5; P_{Su} = 0 \text{ kN/mm}^2; P_{Wu} = 12.77 \text{ kN/mm}^2$$

Por tanto:

$$\begin{aligned} \lambda_b &= 1 + 0.2 \times \frac{\gamma_{S2} \times (\rho_{SD} - \rho_{SU}) + \gamma_{W2} \times (\rho_{WD} - \rho_{WU})}{\gamma_{S2} \times (\rho_{SD} + \rho_{SU}) + \gamma_{W2} \times (\rho_{WD} + \rho_{WU})} \\ &= 1 + 0.2 \times \frac{1 \times (46.956 - 0) + 1.20 \times (4.368 - 12.77)}{1 \times (46.956 + 0) + 1.20 \times (4.368 + 12.77)} = 1.109 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_s &= 1 + 0.4 \times \frac{\gamma_{S2} \times (\rho_{SD} - \rho_{SU}) + \gamma_{W2} \times (\rho_{WD} - \rho_{WU})}{\gamma_{S2} \times (\rho_{SD} + \rho_{SU}) + \gamma_{W2} \times (\rho_{WD} + \rho_{WU})} \\ &= 1 + 0.4 \times \frac{1 \times (46.956 - 0) + 1.20 \times (4.368 - 12.77)}{1 \times (46.956 + 0) + 1.20 \times (4.368 + 12.77)} = 1.218 \end{aligned}$$

- **Debidas a los tanques:**

- Límite inferior:

$$z = 0; P_{SD} = 37.20 \text{ kN/mm}^2; P_{WD} = 33.374 \text{ kN/mm}^2$$

- Límite superior:

$$z = 5.5; P_{SU} = 0 \text{ kN/mm}^2; P_{WU} = 12.77 \text{ kN/mm}^2$$

Por tanto:

$$\begin{aligned} \lambda_b &= 1 + 0.2 \times \frac{\gamma_{S2} \times (\rho_{SD} - \rho_{SU}) + \gamma_{W2} \times (\rho_{WD} - \rho_{WU})}{\gamma_{S2} \times (\rho_{SD} + \rho_{SU}) + \gamma_{W2} \times (\rho_{WD} + \rho_{WU})} \\ &= 1 + 0.2 \times \frac{1 \times (37.20 - 0) + 1.20 \times (33.374 - 12.77)}{1 \times (37.20 + 0) + 1.20 \times (33.374 + 12.77)} = 1.133 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_s &= 1 + 0.4 \times \frac{\gamma_{S2} \times (\rho_{SD} - \rho_{SU}) + \gamma_{W2} \times (\rho_{WD} - \rho_{WU})}{\gamma_{S2} \times (\rho_{SD} + \rho_{SU}) + \gamma_{W2} \times (\rho_{WD} + \rho_{WU})} \\ &= 1 + 0.4 \times \frac{1 \times (37.20 - 0) + 1.20 \times (33.374 - 12.77)}{1 \times (37.20 + 0) + 1.20 \times (33.374 + 12.77)} = 1.267 \end{aligned}$$

**Cálculo de los parámetros.**

Los coeficientes  $\beta_b$  y  $\beta_s$  vienen definidos en la tabla 2.

$$\begin{aligned} \beta_b &= 0.9 \quad \beta_s = 0.926 \\ \sigma_{x1} &= 100 \times \left(1 - \frac{z}{0.5 \times D}\right) \\ \sigma_{x1} &= 44 \end{aligned}$$

**Cálculo del módulo resistente.**

El módulo resistente y el área a cortadura mínimos para el refuerzo se obtienen de las siguientes fórmulas, con los valores de presiones de diseño calculadas anteriormente, escogiendo el caso que proporciona valores mayores.

- Presiones debidas al mar:

$$\begin{aligned}
 w &= \gamma_R \times \gamma_M \times \lambda_b \times \beta_b \times \frac{\gamma_{S2} \times \rho_S + \gamma_{W2} \times \rho_W}{12 \times R_y} \times \left(1 - \frac{s}{2 \times l}\right) \times s \times l^2 \times 10^3 \\
 &= 1.15 \times 1.02 \times 1.127 \times 0.9 \times \frac{1 \times 31.473 + 1.2 \times 6.338}{12 \times 235} \times \left(1 - \frac{0.5}{2 \times 2}\right) \times 0.5 \\
 &\quad \times 2^2 \times 10^3 = 28.85 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{SH} &= 10 \times \gamma_R \times \gamma_M \times \lambda_S \times \beta_S \times \frac{\gamma_{S2} \times \rho_S + \gamma_{W2} \times \rho_W}{R_y} \times \left(1 - \frac{s}{2 \times l}\right) \times s \times l \\
 &= 10 \times 1.15 \times 1.02 \times 1.254 \times 0.926 \times \frac{1 \times 31.473 + 1.2 \times 6.338}{235} \times \left(1 - \frac{0.5}{2 \times 2}\right) \\
 &\quad \times 0.5 \times 2 = 1.99 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

- Presiones debidas a los tanques:

$$\begin{aligned}
 w &= \gamma_R \times \gamma_M \times \lambda_b \times \beta_b \times \frac{\gamma_{S2} \times \rho_S + \gamma_{W2} \times \rho_W}{12 \times R_y} \times \left(1 - \frac{s}{2 \times l}\right) \times s \times l^2 \times 10^3 \\
 &= 1.15 \times 1.02 \times 1.127 \times 0.9 \times \frac{1 \times 39.82 + 1.2 \times 35.133}{12 \times 235} \times \left(1 - \frac{0.5}{2 \times 2}\right) \times 0.5 \\
 &\quad \times 2^2 \times 10^3 = 60.53 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{SH} &= 10 \times \gamma_R \times \gamma_M \times \lambda_S \times \beta_S \times \frac{\gamma_{S2} \times \rho_S + \gamma_{W2} \times \rho_W}{R_y} \times \left(1 - \frac{s}{2 \times l}\right) \times s \times l \\
 &= 10 \times 1.15 \times 1.02 \times 1.254 \times 0.926 \times \frac{1 \times 39.82 + 1.2 \times 35.133}{235} \times \left(1 - \frac{0.5}{2 \times 2}\right) \\
 &\quad \times 0.5 \times 2 = 4.157 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Se toma como módulo mínimo neto  $w = 60.53 \text{ cm}^3$  y como área a cortadura mínima  $A_{SH} = 4.157 \text{ cm}^2$ .

**Espesor mínimo neto:** (Pt B, Ch 8, Sec 4, 2.2.1).

$$t_{min} = \left(0.8 + 0.004 \times L \times k^{\frac{1}{2}} + 4.5 \times s\right) \times c_T$$

$$c_T \text{ (para } L=26 \text{ m), será: } c_T = 0.85 + \frac{2T}{L} = 0.85 + \frac{2 \times 4.67}{26} = 1.21$$



$$t_{min} = \left(0.8 + 0.004 \times 26 \times 1^{\frac{1}{2}} + 4.5 \times 0.5\right) \times 1.21 = 3.816 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 3.816 \text{ mm}$$

#### 4. Palmejar.

**Espesor mínimo neto:** (Pt B, Ch 8, Sec 5, 2.2.1).

$$t_{min} = \left(3.7 + 0.015 \times L \times k^{\frac{1}{2}}\right) \times c_T = \left(3.7 + 0.015 \times 26 \times 1^{\frac{1}{2}}\right) \times 1.21 = 4.95 \text{ mm}$$

**Escantillado de la esloro,** (Pt B, Ch 8, Sec 5, 3.5.2).

- **Módulo:**

$$\begin{aligned} w &= \gamma_R \times \gamma_M \times \beta_b \times \frac{\gamma_{S2} \times \rho_S + \gamma_{W2} \times \rho_W}{12 \times (R_y - \gamma_R \times \gamma_M \times \sigma_{X1})} \times s \times l^2 \times 10^3 \\ &= 1.15 \times 1.02 \times 0.9 \times \frac{1 \times 28.86 + 1.2 \times 6.75}{12 \times (235 - 1.2 \times 1.02 \times 0)} \times 0.5 \times 2^2 \times 10^3 \\ &= 27.673 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Donde  $\sigma_{X1} = 0 \text{ KN/m}^2$

- **Área neta:**

$$\begin{aligned} A_{SH} &= 10 \times \gamma_R \times \gamma_M \times \beta_S \times \frac{\gamma_{S2} \times \rho_S + \gamma_{W2} \times \rho_W}{R_y} \times s \times l \\ &= 10 \times 1.15 \times 1.02 \times 0.926 \times \frac{1 \times 28.86 + 1.2 \times 6.75}{235} \times 0.5 \times 2 = 1.71 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Se toma como módulo mínimo neto  $w = 27.673 \text{ cm}^3$  y como área a cortadura mínima  $A_{SH} = 1.71 \text{ cm}^2$ .

### C. ESCANTILLONADO DE LAS CUBIERTAS

- Chapa de la cubierta principal
- Trancanil
- Baos de la cubierta principal
- Esloras de la cubierta principal
- Puntales por debajo de la cubierta principal

#### Parámetros generales.

<b>L</b>	26 m
<b>D</b>	5.5 m
<b>C<sub>R</sub></b>	1
<b>k</b>	1
<b>R<sub>Y</sub></b>	235 N/mm <sup>2</sup>

Factores de seguridad parciales planchas:

<b>Y<sub>R</sub></b>	1.2
<b>Y<sub>M</sub></b>	1.02
<b>Y<sub>S2</sub></b>	1,00
<b>Y<sub>W2</sub></b>	1,20

Factores de seguridad parciales refuerzos primarios y secundarios:

<b>Y<sub>R</sub></b>	1.20
<b>Y<sub>M</sub></b>	1.02
<b>Y<sub>S2</sub></b>	1,00
<b>Y<sub>W2</sub></b>	1,20

Parámetros exclusivos para los puntales:

<b>Y<sub>R</sub></b>	2
<b>Y<sub>M</sub></b>	1.02
<b>Y<sub>S1</sub></b>	1,00
<b>Y<sub>W1</sub></b>	1,15

$R_{eH}$	$235 \text{ N/mm}^2$
----------	----------------------

$f = 0,5$  (ambos extremos empotrados)

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

**Margen por corrosión:** *BV Rules, Pt. B, Ch. 4, Section 2, [3].*

A continuación se justificarán los valores para cada zona expuesta, dejando para cada elemento particular la suma correspondiente.

- Contacto con el mar o aire: 0,50 mm
- Otros compartimentos: 0,50 mm

### 1. Chapa de la cubierta principal.

Parámetros del elemento:  $z = 5.5 \text{ m}$ ,  $s = 0.5 \text{ m}$ ,  $l = 4 \text{ m}$ .

#### Presiones de diseño.

- **Debidas al mar.**

$$P_{S \text{ MAR}} = 4.2 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W \text{ MAR}} = 7.35 \text{ KN/m}^2$$

- **Debidas a la carga en cubierta.**

$$P_{S \text{ Tanque}} = 22.1 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W \text{ Tanque}} = 14.87 \text{ KN/m}^2$$

#### Cálculo de parámetros.

$C_a$  = Razón de aspecto del panel, igual a:

$$C_a = \min \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0.69 \times \frac{s}{l}; 1 \right] = 1$$

$$C_a = \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{0.5}{4}\right)^2} - 0.69 \times \frac{0.5}{4} \right] = 1.12$$

$c_R$  = Coeficiente de curvatura del panel, igual a:

$$c_R = 1 - 0.5 \times \frac{s}{r} = 1$$

Que no ha de tomarse menor de 0.75. Por lo tanto tomaremos  $c_R=1$  por tratarse de una chapa plana.

$$\lambda_T = 1 - 0.89 \times Y_m \times \frac{\sigma_{X1}}{R_Y} = 1 - 0.89 \times 1.02 \times \frac{100}{235} = 0.613$$

Donde:

$$\sigma_{X1} = \max \left\{ \text{abs} \left[ 100 \times \left( 1 - \frac{z}{0.5 \times D} \right) \right] ; 65 \right\} = 100 \text{ N/mm}^2$$

a. Espesor mínimo neto requerido: *Pt B, Ch 8, Sec 3, table 2.*

En cualquier caso el espesor obtenido de las planchas para estructura transversal, ha de ser mayor que el obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$t = 9.7 \times s \times k^{0.5} = 9.7 \times 0.5 \times 1^{0.5} = 4.85 \text{ mm}$$

b. Espesor de la chapa de fondo según la presión a la que está sometida: *Pt.B, Ch.8, Secc. 3, [3.4.1].*

$$t = 17.2 \times c_a \times c_r \times s \times \sqrt{\gamma_R \times \gamma_m \times \frac{\gamma_{S2} \times P_S \times \gamma_{W2} \times P_W}{\lambda_T \times R_Y}}$$

Presiones debidas al mar.

$$t = 17.2 \times 1 \times 1 \times 0.5 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \frac{1 \times 4.2 + 1.2 \times 7.35}{0.613 \times 235}} = 2.86 \text{ mm}$$

Presiones debidas al combustible.

$$t = 17.2 \times 1 \times 1 \times 0.5 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \frac{1 \times 22.1 + 1.2 \times 14.87}{0.613 \times 235}} = 5.01 \text{ mm}$$

Se toma como espesor neto  $t = 5.01 \text{ mm}$ .

**c. Margen de corrosión:**

El margen de corrosión a añadir será:

0.5 (otros compartimentos) + 0.5 (contacto con el mar) = 1 mm

$$t = 5.01 + 1 = 6.01 \text{ mm}$$

**2. Trancanil.**

*BV Rules, Pt.B, Ch. 4, Section 6, [1]*

Según el reglamento, la anchura mínima del trancanil será de:

$$b = 0.35 + 0.5 \times \frac{L}{100} = 0.35 + 0.5 \times \frac{26}{100} = 0.48 \text{ mm}$$

La anchura tomada en este caso será de 0.5 m.

**3. Baos de la cubierta principal.**

*BV Rules, Pt. B, Ch. 4, Section 4, [3.4.3]*

Parámetros del elemento:  $z = 5.5 \text{ m}$ ,  $s = 0.5 \text{ m}$ ,  $l = 4 \text{ m}$ .

**Presiones de diseño.**

- **Debidas al mar.**

$$P_{S \text{ MAR}} = 4.2 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W \text{ MAR}} = 7.35 \text{ KN/m}^2$$

- **Debidas a la carga en cubierta.**

$$P_{S\ Tanque} = 22.1\ KN/m^2 \quad P_{W\ Tanque} = 14.87\ KN/m^2$$

**Cálculo de los parámetros.**

Los coeficientes  $\beta_b$  y  $\beta_s$  vienen definidos en la tabla 2.

$$\beta_b = 0.9 \quad \beta_s = 0.926$$

$$\sigma_{X1} = \frac{100}{k} \times \left( \frac{z}{0.5 \times D} - 1 \right) \text{ para } 0,5D < z \leq D \text{ con } z = 5.5$$

$$\sigma_{X1} = 100, \text{ pero como no contribuye a la resistencia longitudinal: } \sigma_{X1} = 0$$

**Cálculo del módulo resistente.**

El módulo resistente y el área a cortadura mínimos para el refuerzo se obtienen de las siguientes fórmulas, con los valores de presiones de diseño calculadas anteriormente, escogiendo el caso que proporciona valores mayores.

- **Presiones debidas al mar:**

$$\begin{aligned} w &= \gamma_R \times \gamma_M \times \beta_b \times \frac{\gamma_{S2} \times \rho_S + \gamma_{W2} \times \rho_W}{12 \times (R_y - \gamma_R \times \gamma_M \times \sigma_{X1})} \times \left( 1 - \frac{s}{2 \times l} \right) \times s \times l^2 \times 10^3 \\ &= 1.15 \times 1.02 \times 0.9 \times \frac{1 \times 4.2 + 1.2 \times 7.35}{12 \times (235 - 1.15 \times 1.02 \times 0)} \times \left( 1 - \frac{0.5}{2 \times 4} \right) \times 0.5 \times 4^2 \\ &\times 10^3 = 36.56\ cm^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{SH} &= 10 \times \gamma_R \times \gamma_M \times \beta_s \times \frac{\gamma_{S2} \times \rho_S + \gamma_{W2} \times \rho_W}{R_y} \times \left( 1 - \frac{s}{2 \times l} \right) \times s \times l \\ &= 10 \times 1.15 \times 1.02 \times 0.926 \times \frac{1 \times 4.2 + 1.2 \times 7.35}{235} \times \left( 1 - \frac{0.5}{2 \times 4} \right) \times 0.5 \times 4 \\ &= 1.128\ cm^2 \end{aligned}$$

- Presiones debidas a los tanques:

$$\begin{aligned}
 w &= \gamma_R \times \gamma_M \times \beta_b \times \frac{\gamma_{S2} \times \rho_S + \gamma_{W2} \times \rho_W}{12 \times (R_y - \gamma_R \times \gamma_M \times \sigma_{X1})} \times \left(1 - \frac{s}{2 \times l}\right) \times s \times l^2 \times 10^3 \\
 &= 1.15 \times 1.02 \times 0.9 \times \frac{1 \times 22.1 + 1.2 \times 14.87}{12 \times (235 - 1.15 \times 1.02 \times 0)} \times \left(1 - \frac{0.5}{2 \times 4}\right) \times 0.5 \times 4^2 \\
 &\times 10^3 = 112.15 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{SH} &= 10 \times \gamma_R \times \gamma_M \times \beta_S \times \frac{\gamma_{S2} \times \rho_S + \gamma_{W2} \times \rho_W}{R_y} \times \left(1 - \frac{s}{2 \times l}\right) \times s \times l \\
 &= 10 \times 1.15 \times 1.02 \times 0.926 \times \frac{1 \times 22.1 + 1.2 \times 14.87}{235} \times \left(1 - \frac{0.5}{2 \times 4}\right) \times 0.5 \times 4 \\
 &= 3.46 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Se toma como módulo mínimo neto  $w = 112.15 \text{ cm}^3$  y como área a cortadura mínima  $A_{SH} = 3.46 \text{ cm}^2$ .

**Espesor mínimo neto:** (Pt B, Ch 8, Sec 4, 2.2.1).

$$t_{min} = \left(0.8 + 0.004 \times L \times k^{\frac{1}{2}} + 4.5 \times s\right) \times c_T$$

$$c_T \text{ (para } L=26 \text{ m), será: } c_T = 0.85 + \frac{2T}{L} = 0.85 + \frac{2 \times 4.67}{26} = 1.21$$

$$t_{min} = \left(0.8 + 0.004 \times 26 \times 1^{\frac{1}{2}} + 4.5 \times 0.5\right) \times 1.21 = 3.816 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 3.816 \text{ mm}$$

**4. Esloras de la cubierta principal.**

*BV Rules, Pt. B, Ch. 4, Section 4, [3.4.3]*

Parámetros del elemento:  $z = 5.5 \text{ m}$ ,  $s = 1.69 \text{ m}$  (luz entre esloras),  $l = 5 \text{ m}$  (separación entre puntales).

### Presiones de diseño.

- **Debidas al mar.**

$$P_{S\text{MAR}} = 4.2 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W\text{MAR}} = 7.35 \text{ KN/m}^2$$

- **Debidas a la carga en cubierta.**

$$P_{S\text{Tanque}} = 22.1 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W\text{Tanque}} = 14.87 \text{ KN/m}^2$$

### Cálculo de los parámetros.

Los coeficientes  $\beta_b$  y  $\beta_s$  vienen definidos en la tabla 2.

$$\beta_b = 0.9 \quad \beta_s = 0.926$$

$$\sigma_{X1} = \frac{100}{k} \times \left( \frac{z}{0.5 \times D} - 1 \right) \text{ para } 0,5D < z \leq D \text{ con } z = 5.5$$

$$\sigma_{X1} = 100$$

### Cálculo del módulo resistente.

El módulo resistente y el área a cortadura mínimos para el refuerzo se obtienen de las siguientes fórmulas, con los valores de presiones de diseño calculadas anteriormente, escogiendo el caso que proporciona valores mayores.

- **Presiones debidas al mar:**

$$\begin{aligned} w &= \gamma_R \times \gamma_M \times \beta_b \times \frac{\gamma_{S2} \times \rho_S + \gamma_{W2} \times \rho_W}{12 \times (R_y - \gamma_R \times \gamma_M \times \sigma_{X1})} \times \left( 1 - \frac{s}{2 \times l} \right) \times s \times l^2 \times 10^3 \\ &= 1.15 \times 1.02 \times 0.9 \times \frac{1 \times 4.2 + 1.2 \times 7.35}{12 \times (235 - 1.15 \times 1.02 \times 100)} \times \left( 1 - \frac{1.69}{2 \times 5} \right) \times 1.69 \times 5^2 \\ &\times 10^3 = 341.68 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 A_{SH} &= 10 \times \gamma_R \times \gamma_M \times \beta_S \times \frac{\gamma_{S2} \times \rho_S + \gamma_{W2} \times \rho_W}{R_y} \times \left(1 - \frac{s}{2 \times l}\right) \times s \times l \\
 &= 10 \times 1.15 \times 1.02 \times 0.926 \times \frac{1 \times 4.2 + 1.2 \times 7.35}{235} \times \left(1 - \frac{1.69}{2 \times 5}\right) \times 1.69 \times 5 \\
 &= 4.226 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Se toma como módulo mínimo neto  $w = 341.68 \text{ cm}^3$  y como área a cortadura mínima  $A_{SH} = 4.226 \text{ cm}^2$ .

**Espesor mínimo neto:** (Pt B, Ch 8, Sec 4, 2.2.1).

$$t_{min} = \left(0.8 + 0.004 \times L \times k^{\frac{1}{2}} + 4.5 \times s\right) \times c_T$$

$$c_T \text{ (para } L=26 \text{ m), será: } c_T = 0.85 + \frac{2T}{L} = 0.85 + \frac{2 \times 4.67}{26} = 1.21$$

$$t_{min} = \left(0.8 + 0.004 \times 26 \times 1^{\frac{1}{2}} + 4.5 \times 0.5\right) \times 1.21 = 3.816 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 3.816 \text{ mm}$$

## 5. Puntales debajo de la cubierta principal.

El área de la cubierta soportada por cada puntal es igual al producto de la distancia que separa dos puntales longitudinalmente (5 m.) por la distancia entre crujía y la mitad de la distancia entre el costado y la fila de puntales de ese costado (la fila de puntales están a crujía y a 1 m. del costado). La luz del puntal es igual a la distancia entre el doble fondo y la cubierta, que es de 4 m.

*BV Rules, Pt. B, Ch. 4, Section 4, [3.4.3]*

Parámetros del elemento:  $l = 4$ ;  $A_D = 12.5 \text{ m}^2$

### Presiones de diseño.

- **Debidas al mar.**

$$P_{S\text{MAR}} = 4.2 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W\text{MAR}} = 7.35 \text{ KN/m}^2$$

- **Debidas a la carga en cubierta.**

$$P_{S\text{Tanque}} = 22.1 \text{ KN/m}^2 \quad P_{W\text{Tanque}} = 14.87 \text{ KN/m}^2$$

### Características geométricas del puntal.

Para poder calcular el puntal, se deben definir previamente sus características geométricas. Una vez hecho esto se debe comprobar que cumple las exigencias del reglamento, siendo este un proceso iterativo hasta llegar a una solución óptima en la que el puntal cumpla las exigencias y al mismo tiempo no esté sobredimensionado.

En este caso, se va a comprobar que con las siguientes dimensiones se cumple los criterios establecidos en el reglamento sobre las relaciones geométricas del puntal y la comprobación de su resistencia al pandeo. El tipo de pilar escogido es del tipo tubular, con un diámetro de 200 mm y un espesor de 25 mm.

$$d = 20 \text{ cm}$$

$$t = 2.5 \text{ cm}$$

$$A = \pi \times \left( \left( \frac{d}{2} \right)^2 - \left( \frac{d-2t}{2} \right)^2 \right) = 137.44 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{\pi}{4} \times \left( \left( \frac{d}{2} \right)^4 - \left( \frac{d-2t}{2} \right)^4 \right) = 5368.93 \text{ cm}^2$$

Las condiciones que debe cumplir son las siguientes:

- Condiciones geométricas:

$$\frac{d}{t} = 8 \leq 55 \rightarrow OK \quad t = 25 \text{ mm} \geq 5.5 \text{ mm} \rightarrow OK$$

- Comprobación de pandeo.

$$\frac{\sigma_{CB}}{\gamma_R \times \gamma_m} \geq 10 \times \frac{F_A}{A}$$

Carga axial soportada por el puntal:

$$F_A = A_D \times (\gamma_S \times p_S + \gamma_W \times p_W) + \sum_{i=1}^n r_i \times (\gamma_S \times Q_{i,S} + Q_{i,W})$$

Donde  $r_i$  es un coeficiente al igual que  $Q_{i,S}$  y  $Q_{i,W}$ , que dependen de la posición de los pilares situados inmediatamente por encima del pilar considerado.

En este caso no hay puntales por encima de la cubierta superior por lo que la fórmula anterior se reduce al primer sumando.

Vamos a utilizar sólo la carga sobre cubierta ya que es mayor que la del agua.

$$F_A = 11.45 \times (1 \times 22.1 + 1.15 \times 14.87) = 448.84 \text{ KN}$$

Calculamos a continuación la tensión crítica de pandeo de los puntales: *BV Rules, Part B, Chapter 8, Section 5, [4]*.

$$\sigma_{CB} = \sigma_{E1} \rightarrow \sigma_{E1} \leq \frac{R_{eH}}{2}$$

$$\sigma_{CB} = R_{eH} \times \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \times \sigma_{E1}}\right) \rightarrow \sigma_{E1} > \frac{R_{eH}}{2}$$

$$\frac{R_{eH}}{2} = 117.5 \text{ N/mm}^2$$

Donde:

$$\begin{aligned} \sigma_{E1} &= \pi^2 \times E \times \frac{I}{A \times (f \times l)^2} < \times 10^{-4} = \pi^2 \times 2.06 \times 10^5 \times \frac{5368.93}{137.44 \times (0.5 \times 4)^2} \times 10^{-4} \\ &= 1985 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > 117.5 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{CB} = R_{eH} \times \left(1 - \frac{R_{eH}}{4 \times \sigma_{E1}}\right) = 235 \times \left(1 - \frac{235}{4 \times 1985}\right) = 228.04$$

$$\frac{\sigma_{CB}}{\gamma_R \times \gamma_m} = \frac{228.04}{1.15 \times 1.02} = 194.4 \geq 10 \times \frac{F_A}{A} = 10 \times \frac{448.84}{137.44} = 32.65 \rightarrow OK$$

Por tanto queda comprobado que el puntal cumple las exigencias del reglamento.

## 9. CÁLCULO DE REFUERZOS.

- Cuadernas por debajo de la cubierta principal.
- Baos de la cubierta principal.
- Esloras de la cubierta principal.

A continuación se procede al cálculo y comprobación de las características geométricas exigidas a todos los refuerzos y cuyos valores mínimos han sido calculados previamente según la parte B del reglamento. Dichos valores mínimos exigidos se exponen a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 1. Requisitos mínimos de los refuerzos.

	W (cm <sup>3</sup> )	A (cm <sup>2</sup> )
<b>Bao cubierta</b>	112.15	3.46
<b>Eslora cubierta</b>	341.68	4.226
<b>Cuaderna por debajo de la cubierta principal</b>	60.53	4.157
<b>Palmejar</b>	27.673	1.71

Para el cálculo del módulo y el área de cortadura de los refuerzos propuestos es necesario determinar previamente el espesor y el ancho de la plancha asociada a cada uno. El espesor neto de la plancha asociada se calcula al restar al espesor grueso obtenido en cada elemento el margen de corrosión establecido para ese mismo elemento.

El ancho de dicha plancha asociada será igual al parámetro s (longitud del lado corto del panel) en el caso de los refuerzos ordinarios y del mínimo entre ese mismo parámetro y el producto 0,2·l (lado largo del panel) para los refuerzos primarios. En la siguiente tabla se muestran las medidas de todos los perfiles utilizados.

	TIPO	DIMENSIONES
<b>Bao cubierta</b>	L	150X90X9
<b>Eslora cubierta</b>	T	200X200X16
<b>Cuaderna por debajo de la cubierta principal</b>	L	100X100X6
<b>Palmejar</b>	T	50X50X5

Figura 2 – Dimensiones netas de refuerzo en T.

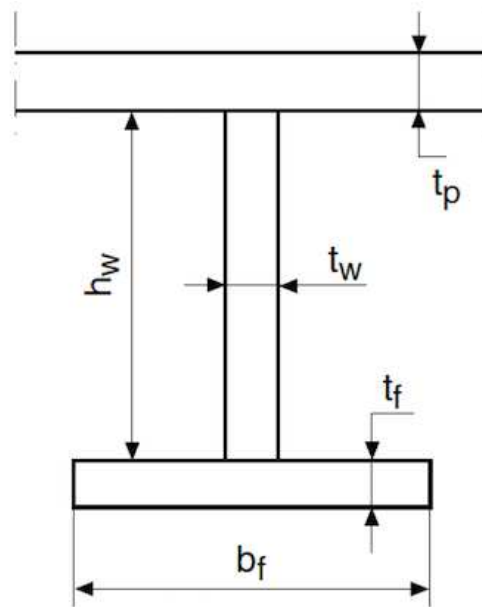
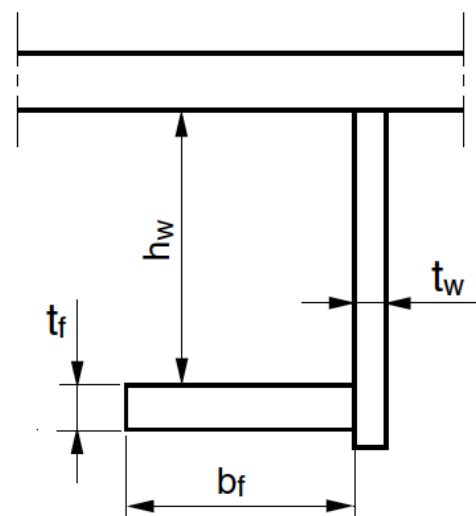


Figura 3 – Dimensiones netas de un angular.



Con los refuerzos propuestos es necesario comprobar que cumplen con unas relaciones geométricas válidas exigidas en el reglamento, así como que superan los requerimientos mínimos de área a cortadura y módulo resistente.

### **BAO CUBIERTA.**

El refuerzo propuesto es un angular de lados desiguales L 150x90x9. El margen de corrosión en cada cara de cada plancha del refuerzo es de 0,5 mm (1,0 mm. en total).

$$h_w = 141 \text{ mm} \quad t_w = 9 \text{ mm} \quad b_f = 81 \text{ mm} \quad t_f = 9 \text{ mm}$$

**Comprobación de las características geométricas:** *BV Rules, Part B, Chapter 8, Section 4.*

$$\frac{h_w}{t_w} = 15.67 \leq 55 \times \sqrt{k} = 55 \rightarrow OK$$

$$\frac{b_f}{t_f} = 9 \leq 16.5 \times \sqrt{k} = 16.5 \rightarrow OK$$

$$b_f \times t_f = 729 \geq \frac{h_w \times t_f}{6} = 211.5 \rightarrow OK$$

El refuerzo propuesto cumple las exigencias del reglamento en cuanto a sus relaciones geométricas.

**Cálculo del módulo resistente del conjunto refuerzo-plancha asociada por cálculo directo.**

Los valores obtenidos son los siguientes:

BAO CUBIERTA	a (cm)	b (cm)	área (cm <sup>2</sup> )	Yg (cm)	A*Yg (cm <sup>3</sup> )	A*y <sup>2</sup>	A*yg <sup>2</sup>	I <sub>0</sub>
Chapa asociada	50,00	0,70	35,00	0,45	15,75	7,09	544,21	1,43
Alma	0,90	14,10	12,69	8,40	106,60	895,41	203,73	210,24
Ala	8,10	0,90	7,29	16,35	119,19	1948,78	1042,22	0,49
<b>TOTAL</b>			54,98		241,54	2851,27	1790,16	212,16

Yg (cm)	4,39
I <sub>en</sub> (cm <sup>4</sup> )	2002,32
Y <sub>sup</sub> (cm)	14,80
Y <sub>inf</sub> (cm)	4,39
W <sub>min</sub> (cm <sup>3</sup> )	135,32

Como se puede observar, el valor mínimo obtenido del módulo resistente (135.32 cm<sup>3</sup>), es superior al mínimo exigido de 112,15 cm<sup>3</sup>, con lo que el refuerzo propuesto es válido ya que también supera con creces el mínimo exigido para el área de cortadura.

#### CUADERNAS POR DEBAJO DE LA CUBIERTA PRINCIPAL.

El refuerzo propuesto es un angular de lados iguales L 100x100x6. El margen de corrosión en cada cara de cada plancha del refuerzo es de 0,5 mm (1,0 mm. en total).

$$h_w = 94 \text{ mm}$$

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

$$b_f = 94 \text{ mm}$$

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

**Comprobación de las características geométricas:** *BV Rules, Part B, Chapter 8, Section 4.*

$$\frac{h_w}{t_w} = 15.6 \leq 55 \times \sqrt{k} = 55 \rightarrow OK$$

$$\frac{b_f}{t_f} = 15.6 \leq 16.5 \times \sqrt{k} = 16.5 \rightarrow OK$$

$$b_f \times t_f = 564 \geq \frac{h_w \times t_f}{6} = 564 \rightarrow OK$$

El refuerzo propuesto cumple las exigencias del reglamento en cuanto a sus relaciones geométricas.

**Cálculo del módulo resistente del conjunto refuerzo-plancha asociada por cálculo directo.**

Los valores obtenidos son los siguientes:

CUADERNA BAJO CUBIERTA PPAL	a (cm)	b (cm)	área (cm <sup>2</sup> )	Yg (cm)	A*Yg (cm <sup>3</sup> )	A*y <sup>2</sup>	A*yg <sup>2</sup>	I <sub>0</sub>
Chapa asociada	50,00	0,70	35,00	0,45	15,75	7,09	295,68	1,43
Alma	0,60	9,40	5,64	8,40	47,38	397,96	143,46	41,53
Ala	9,40	0,60	5,64	16,35	92,21	1507,70	952,20	0,17
<b>TOTAL</b>			46,28		155,34	1912,74	1391,34	43,13

Yg (cm)	3,36
I <sub>en</sub> (cm <sup>4</sup> )	1434,47
Y <sub>sup</sub> (cm)	14,28
Y <sub>inf</sub> (cm)	3,36
W <sub>min</sub> (cm <sup>3</sup> )	100,47

Como se puede observar, el valor mínimo obtenido del módulo resistente (100.47 cm<sup>3</sup>), es superior al mínimo exigido de 60.53 cm<sup>3</sup>, con lo que el refuerzo propuesto es válido ya que también supera con creces el mínimo exigido para el área de cortadura.



## ESLORAS DE LA CUBIERTA SUPERIOR.

El refuerzo propuesto es un angular de lados iguales T 200x200x16. El margen de corrosión en cada cara de cada plancha del refuerzo es de 0,5 mm (1,0 mm. en total).

$$h_w = 184 \text{ mm} \quad t_w = 16 \text{ mm} \quad b_f = 200 \text{ mm} \quad t_f = 16 \text{ mm}$$

**Comprobación de las características geométricas:** *BV Rules, Part B, Chapter 8, Section 4.*

$$\frac{h_w}{t_w} = 11.5 \leq 55 \times \sqrt{k} = 55 \rightarrow OK$$

$$\frac{b_f}{t_f} = 12.5 \leq 16.5 \times \sqrt{k} = 16.5 \rightarrow OK$$

$$b_f \times t_f = 3200 \geq \frac{h_w \times t_f}{6} = 490 \rightarrow OK$$

El refuerzo propuesto cumple las exigencias del reglamento en cuanto a sus relaciones geométricas.

**Cálculo del módulo resistente del conjunto refuerzo-plancha asociada por cálculo directo.**

Los valores obtenidos son los siguientes:

ESLORAS DE LA CUBIERTA SUPERIOR	a (cm)	b (cm)	área (cm <sup>2</sup> )	Yg (cm)	A*Yg (cm <sup>3</sup> )	A*y <sup>2</sup>	A*yg <sup>2</sup>	I <sub>0</sub>
Chapa asociada	169,00	0,70	118,30	0,45	53,24	23,96	2020,67	4,83
Alma	1,60	18,40	29,44	8,40	247,30	2077,29	428,95	830,60
Ala	20,00	1,60	32,00	16,35	523,20	8554,32	4430,87	6,83
<b>TOTAL</b>			179,74		823,73	10655,56	6880,48	842,26

<b>Y<sub>g</sub> (cm)</b>	4,58
<b>I<sub>en</sub> (cm<sup>4</sup>)</b>	7722,74
<b>Y<sub>sup</sub> (cm)</b>	14,89
<b>Y<sub>inf</sub> (cm)</b>	4,58
<b>W<sub>min</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	518,60

Como se puede observar, el valor mínimo obtenido del módulo resistente (518.60 cm<sup>3</sup>), es superior al mínimo exigido de 341.68 cm<sup>3</sup>, con lo que el refuerzo propuesto es válido ya que también supera con creces el mínimo exigido para el área de cortadura.

#### **PALMEJAR.**

El refuerzo propuesto es un angular de lados iguales T 50x50x8. El margen de corrosión en cada cara de cada plancha del refuerzo es de 0,5 mm (1,0 mm. en total).

$$h_w = 42 \text{ mm}$$

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

$$b_f = 50 \text{ mm}$$

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

**Comprobación de las características geométricas:** *BV Rules, Part B, Chapter 8, Section 4.*

$$\frac{h_w}{t_w} = 5.25 \leq 55 \times \sqrt{k} = 55 \rightarrow OK$$

$$\frac{b_f}{t_f} = 6.25 \leq 16.5 \times \sqrt{k} = 16.5 \rightarrow OK$$

$$b_f \times t_f = 400 \geq \frac{h_w \times t_f}{6} = 56 \rightarrow OK$$

El refuerzo propuesto cumple las exigencias del reglamento en cuanto a sus relaciones geométricas.

**Cálculo del módulo resistente del conjunto refuerzo-plancha asociada por cálculo directo.**

Los valores obtenidos son los siguientes:

<b>PALMEJAR</b>	<b>a (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Yg (cm)</b>	<b>A*Yg (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>A*y<sup>2</sup></b>	<b>A*yg<sup>2</sup></b>	<b>I<sub>o</sub></b>
<b>Chapa asociada</b>	396,00	0,80	316,80	0,45	142,56	64,15	10,18	16,90
<b>Alma</b>	0,50	4,50	2,25	8,40	18,90	158,76	135,87	3,80
<b>Ala</b>	5,00	0,50	2,50	16,35	40,88	668,31	617,86	0,05
<b>TOTAL</b>			321,55		202,34	891,22	763,90	20,74

<b>Yg (cm)</b>	0,63
<b>I<sub>en</sub> (cm<sup>4</sup>)</b>	784,64
<b>Y<sub>sup</sub> (cm)</b>	12,91
<b>Y<sub>inf</sub> (cm)</b>	0,63
<b>W<sub>min</sub> (cm<sup>3</sup>)</b>	60,76

Como se puede observar, el valor mínimo obtenido del módulo resistente (60.76 cm<sup>3</sup>), es superior al mínimo exigido de 27.67 cm<sup>3</sup>, con lo que el refuerzo propuesto es válido ya que también supera con creces el mínimo exigido para el área de cortadura.

## 10. RESUMEN DE ESCANTILLONADO.

ESCANTILLONADO DE:	VALOR CALCULADO (mm)	VALOR UTILIZADO (mm)
Chapa de fondo	7,1	8
Chapa de pantoque	7,1	8
Chapa de doble fondo	4,9	6
Vagra central	6,5	7
Vagras laterales	6,5	7
Varenga	5,6	6
Chapa de costado por debajo de la cubierta principal	7,6	8
Traca de cinta	10,6	12
Chapa de la cubierta principal	6,0	7
Cuadernas por debajo de la cubierta principal	L 100X100X6	
Baos de la cubierta principal	L 150X90X9	
Esloras de la cubierta principal	T 200X200X16	
Palmejar	T 50X50X5	
Puntales por debajo de la cubierta principal	Diámetro 200X20	

## 11. CÁLCULO DEL MÓDULO RESISTENTE.

En este apartado se va a calcular el módulo resistente mínimo de la sección transversal del buque en la cuaderna maestra. Debido a que el buque tiene una eslora de escantillonado menor de 65 metros se aplica un capítulo específico del reglamento (Capítulo 8 de la parte B), que únicamente fija un momento de inercia y un módulo resistente mínimos que se deben cumplir.

Esto es debido a que este tipo de buque no suele presentar ningún tipo de problema en cuanto a su resistencia longitudinal, de hecho es frecuente que el módulo resistente obtenido sea muy superior al exigido.

En primer lugar hay que definir qué elementos de la estructura son los que contribuyen a la resistencia longitudinal, ya que serán estos mismos los que se incluyan en

el cálculo del módulo resistente. El reglamento indica que se deben incluir aquellos elementos que se encuentren por debajo de la cubierta resistente cuya longitud dentro del intervalo de  $0,4 \cdot L$  ( $0,2 \cdot L$  a popa y proa respectivamente desde la maestra), sea mayor que  $0,15 \cdot L$ .

En el caso de las planchas calculadas previamente está claro que aquellas que forman parte del forro exterior contribuyen a la resistencia longitudinal, es decir las planchas de fondo, pantoque, traca de cinta y costado.

También las de las cubiertas de francobordo y resistente, ya que son continuas a lo largo de toda la eslora del buque. La plancha del doble fondo no es continua, pero su longitud entra dentro del rango por lo que también debe ser considerada.

En el caso de los refuerzos, se tienen en cuenta aquellos que tienen una distribución longitudinal a lo largo del buque, es decir las vagras y esloras. No se tienen en cuenta por tanto, las cuadernas y baos. Los refuerzos que constan de dos partes (ala y alma) se separan, y sus características se incluyen por separado.

Debido a la simetría existente entre ambos costados se toman en consideración únicamente los elementos en uno sólo, y se multiplican por dos los resultados obtenidos. En el caso de la vagra central, al estar situada sobre la línea de simetría (crujía), se considera también en dos partes, por lo que se debe dividir por la mitad su espesor total.

El método de cálculo utilizado es el siguiente:

Para los elementos rectos no inclinados, como en el caso de las planchas de las cubiertas, doble fondo, quilla de cajón, el costado por encima de la cubierta de francobordo, la traca de cinta, las vagras, y las planchas de las esloras, se definen en primer lugar sus dimensiones en el sentido horizontal ( $a$ ) y vertical ( $b$ ), y la altura de su centro de gravedad respecto a la línea base. La altura equivalente del refuerzo en este caso será igual a su dimensión en sentido vertical " $b$ ". En el caso del costado por debajo de la cubierta de francobordo se considera que su dimensión vertical " $b$ " es igual a la distancia entre la cubierta y el final del pantoque, para facilitar el cálculo, aunque realmente tiene una ligera curvatura. En el caso de éste último, la diferencia sí que hace que se plantee otro cálculo más riguroso, como se verá más adelante.

Para los elementos rectos pero inclinados, como es el caso de la chapa de fondo, el área será igual a  $\frac{a \times b}{\cos \alpha}$ , siendo  $\alpha$  el ángulo de inclinación de dichas planchas con respecto a la línea base. Dicho ángulo se calcula conociendo el valor de la astilla muerta y la semimanga del buque.

Por tanto para hallar el área con el mismo procedimiento que el utilizado en los elementos anteriores, se utiliza como dimensión vertical de los elementos el valor  $\frac{b}{\cos \alpha}$ , que al multiplicarlo por "a", dará como resultado el área total del elemento.

	a (cm)	b (cm)	Ángulo	Nº de elementos	área unitaria (cm <sup>2</sup> )	área total (cm <sup>2</sup> )	Yg (cm)	A*Yg (cm <sup>3</sup> )	A*Y <sup>2</sup>	A*Yg <sup>2</sup>	I <sub>0</sub>
Plancha de cubierta	500,00	0,70	0,00	2,00	350,00	700,00	550,35	385245,00	212019585,75	212019585,75	28,58
Plancha de costado	0,80	396,00	0,00	2,00	316,80	633,60	352,00	223027,20	78505574,40	78505574,40	8279884,80
Plancha doble fondo	400,00	0,60	0,00	2,00	240,00	480,00	154,00	73920,00	11383680,00	11383680,00	14,40
Plancha pantoque	142,00	0,80	45,00	2,00	160,65	321,31	107,35	34492,56	3702775,85	3702775,85	17,14
Plancha fondo	378,00	0,80	9,00	2,00	306,17	612,34	20,00	12246,78	244935,56	244935,56	32,66
Vagra lateral	0,70	106,00	0,00	2,00	74,20	148,40	101,00	14988,40	1513828,40	1513828,40	138951,87
Vagra central	0,70	154,00	0,00	1,00	107,80	107,80	77,00	8300,60	639146,20	639146,20	213048,73
Palmejar	5,00	0,50	0,00	2,00	2,50	5,00	352,00	1760,00	619520,00	619520,00	0,10
Alma eslora	1,60	20,00	0,00	3,00	32,00	96,00	541,60	51993,60	28159733,76	28159733,76	3200,00
Ala eslora	20,00	1,60	0,00	3,00	32,00	96,00	533,60	51225,60	27333980,16	27333980,16	20,48
<b>TOTAL</b>						3200,45		857199,73	364122760,08	364122760,08	8635198,76

<b>Altura eje neutro Yg (m)</b>	2,68
<b>Inercia respecto eje neutro I<sub>en</sub> (m<sup>4</sup>)</b>	3,73
<b>Distancia eje neutro a cubierta Y<sub>sup</sub> (m)</b>	2,82
<b>Distancia eje neutro a fondo Y<sub>inf</sub> (m)</b>	2,68
<b>Módulo cubierta W<sub>min</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	1,32

### Mínimo módulo resistente y mínimo momento de inercia.

A continuación se calculará el valor del módulo resistente mínimo admisible, así como el valor del momento de inercia mínimo de la sección según *Pt.B, Ch. 8, Section 2, [2.2]*:

$$Z_{R \min} = n_1 \times C \times L^2 \times B \times (C_B + 0.7) \times k \times 10^{-6}$$

Donde todos los parámetros han sido definidos anteriormente.

$$Z_{R \min} = 1 \times 2.63 \times 26^2 \times 10 \times (0.516 + 0.7) \times 1 \times 10^{-6} = 0.0216 \text{ m}^3$$

El mínimo valor del momento de inercia de la sección respecto al eje neutro, no deberá ser menor que:

$$I_{YR} = 3 \times Z_{R \min} \times L \times 10^{-2} = 3 \times 0.0216 \times 26 \times 10^{-2} = 0.0168 \text{ m}^4$$

Por tanto:

	Mínimo	Real
$Z_R \text{ (m}^3\text{)}$	0.0216	1.32
$I_{YR} \text{ (m}^4\text{)}$	0.0168	3.73

Se cumplen los requerimientos de la sociedad de clasificación.

Como Anexo 1 a este cuaderno se incluye el plano de la sección de la cuaderna maestra.

## 12. MAMPARO TRANSVERSAL.

Se ha realizado el croquis del mamparo transversal estanco situado a popa de la cámara de máquinas, en la cuaderna 10. Este mamparo tiene a proa la cámara de máquinas, y a popa tanques de combustible. El mamparo se extiende entre la parte superior del doble fondo y la cubierta, y tiene un refuerzo horizontal en mitad de la altura (a 3,52 m de la línea base), altura coincidente con la del palmejar que se puede observar en el esquema de la maestra, así como 18 refuerzos verticales, separados 550 mm entre sí (lo que supone un espesor de 5.5 mm cada uno). Bajo este mamparo tenemos una varenga estanca, que lo continúa hasta el fondo. Se pueden observar también los refuerzos longitudinales de cubierta, con sus cierres estancos, así como su separación.

Para este caso tenemos:

- $Z = 1.54$
- $s = 0.55 \text{ m}$
- $l = 1.98 \text{ m}$

**Presiones internas y fuerzas:** (Pt B, Ch 8, Sec 1, [4.8] Table 16).

### Aguas tranquilas.

Se elige el máximo de:

$$P_S = \rho_L \times g \times (z_F - z) = 1.025 \times 9.81 \times (5.5 - 1.54) = 39.82 \text{ KN/m}^2$$

$$P_S = 0.4 \times g \times d_0 = 0.4 \times 9.81 \times 1 = 3.924 \text{ KN/m}^2$$

Donde  $d_0=1$  ( $L \leq 50$ ).

### Presión de ola.

$$P_W = 0.6 \times \rho \times a_{z1}(z_F - z) = 0.6 \times 1.025 \times 6.6 \times (5.5 - 1.54) = 16.07 \text{ KN/m}^2$$

Nunca menor de:  $0.4 \times g \times d_0$

### Espesor de la chapa.

### Cálculo de parámetros.

$C_a$ = Razón de aspecto del panel, igual a:

$$C_a = \min \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{s}{l}\right)^2} - 0.69 \times \frac{s}{l}; 1 \right] = 1$$

$$C_a = \left[ 1.21 \times \sqrt{1 + 0.33 \times \left(\frac{0.55}{1.98}\right)^2} - 0.69 \times \frac{0.55}{1.98} \right] = 1.048$$



$c_R$  = Coeficiente de curvatura del panel, igual a:

$$c_R = 1 - 0.5 \times \frac{s}{r} = 1$$

Por lo tanto tomaremos  $c_R = 1$  por tratarse de una chapa plana.

$$\lambda_T = 1 - 0.89 \times Y_m \times \frac{\sigma_{X1}}{R_Y} = 1 - 0.89 \times 1.02 \times \frac{65}{235} = 0.749$$

Donde:

$$\sigma_{X1} = \max \left\{ \text{abs} \left[ 100 \times \left( 1 - \frac{z}{0.5 \times D} \right) \right] ; 65 \right\} = 65 \text{ N/mm}^2$$

Espesor mínimo neto requerido: *Pt B, Ch 8, Sec 3, table 2.*

$$t = 1.3 + 0.04 \times L \times k^{0.5} + 4.5 \times s = 1.3 + 0.04 \times 26 \times 1^{0.5} + 4.5 \times 0.55 = 5.049 \text{ mm}$$

Espesor requerido según la presión a la que está sometida: *Pt.B, Ch.8, Secc. 3, [3.4.1].*

$$t = 17.2 \times c_a \times c_r \times s \times \sqrt{\gamma_R \times \gamma_m \times \frac{\gamma_{S2} \times P_S \times \gamma_{W2} \times P_W}{\lambda_T \times R_Y}}$$

$$t = 17.2 \times 1 \times 1 \times 0.55 \times \sqrt{1.2 \times 1.02 \times \frac{1 \times 39.82 + 1.2 \times 16.07}{0.749 \times 235}} = 6.061 \text{ mm}$$

Si le añadimos 1.25 mm de margen de corrosión, **t = 7.311 mm.**

### Refuerzos del mamparo.

Para este caso tenemos:

- Z = 3.52
- s = 0.5 m
- l = 1.98 m

**Presiones internas y fuerzas:** (Pt B, Ch 8, Sec 1, [4.8] Table 16).

**Aguas tranquilas.**

Se elige el máximo de:

$$P_S = \rho_L \times g \times (z_F - z) = 1.025 \times 9.81 \times (5.5 - 3.52) = 19.91 \text{ KN/m}^2$$

$$P_S = 0.4 \times g \times d_0 = 0.4 \times 9.81 \times 1 = 3.924 \text{ KN/m}^2$$

Donde  $d_0=1$  ( $L \leq 50$ ).

**Presión de ola.**

$$P_W = 0.6 \times \rho \times a_{z1}(z_F - z) = 0.6 \times 1.025 \times 6.6 \times (5.5 - 3.52) = 8.037 \text{ KN/m}^2$$

Nunca menor de:  $0.4 \times g \times d_0$

**Escantillonado del refuerzo.**

$$\sigma_{x1} = \frac{100}{k} \times \left( \frac{z}{0.5 \times D} - 1 \right) = \frac{100}{1} \times \left( \frac{3.52}{0.5 \times 5.5} - 1 \right) = 28; \text{ no será menor que } 65 \text{ KN/mm}^2$$

$$\begin{aligned} w &= \gamma_R \times \gamma_M \times \beta_b \times \frac{\gamma_{S2} \times \rho_S + \gamma_{W2} \times \rho_W}{12 \times (R_y - \gamma_R \times \gamma_M \times \sigma_{x1})} \times \left( 1 - \frac{s}{2 \times l} \right) \times s \times l^2 \times 10^3 \\ &= 1.15 \times 1.02 \times 0.9 \times \frac{1 \times 19.91 + 1.2 \times 8.037}{12 \times (235 - 1.15 \times 1.02 \times 65)} \times \left( 1 - \frac{0.5}{2 \times 1.98} \right) \times 0.5 \\ &\quad \times 1.98^2 \times 10^3 = 28.05 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{SH} &= 10 \times \gamma_R \times \gamma_M \times \beta_S \times \frac{\gamma_{S2} \times \rho_S + \gamma_{W2} \times \rho_W}{R_y} \times \left( 1 - \frac{s}{2 \times l} \right) \times s \times l \\ &= 10 \times 1.15 \times 1.02 \times 0.926 \times \frac{1 \times 19.91 + 1.2 \times 8.037}{235} \times \left( 1 - \frac{0.5}{2 \times 1.98} \right) \times 0.5 \\ &\quad \times 1.98 = 1.1816 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Se toma como módulo mínimo neto  $w = 28.05 \text{ cm}^3$  y como área a cortadura mínima  $A_{SH} = 1.1816 \text{ cm}^2$ .

**Espesor mínimo neto:** (Pt B, Ch 8, Sec 4, 2.2.1).

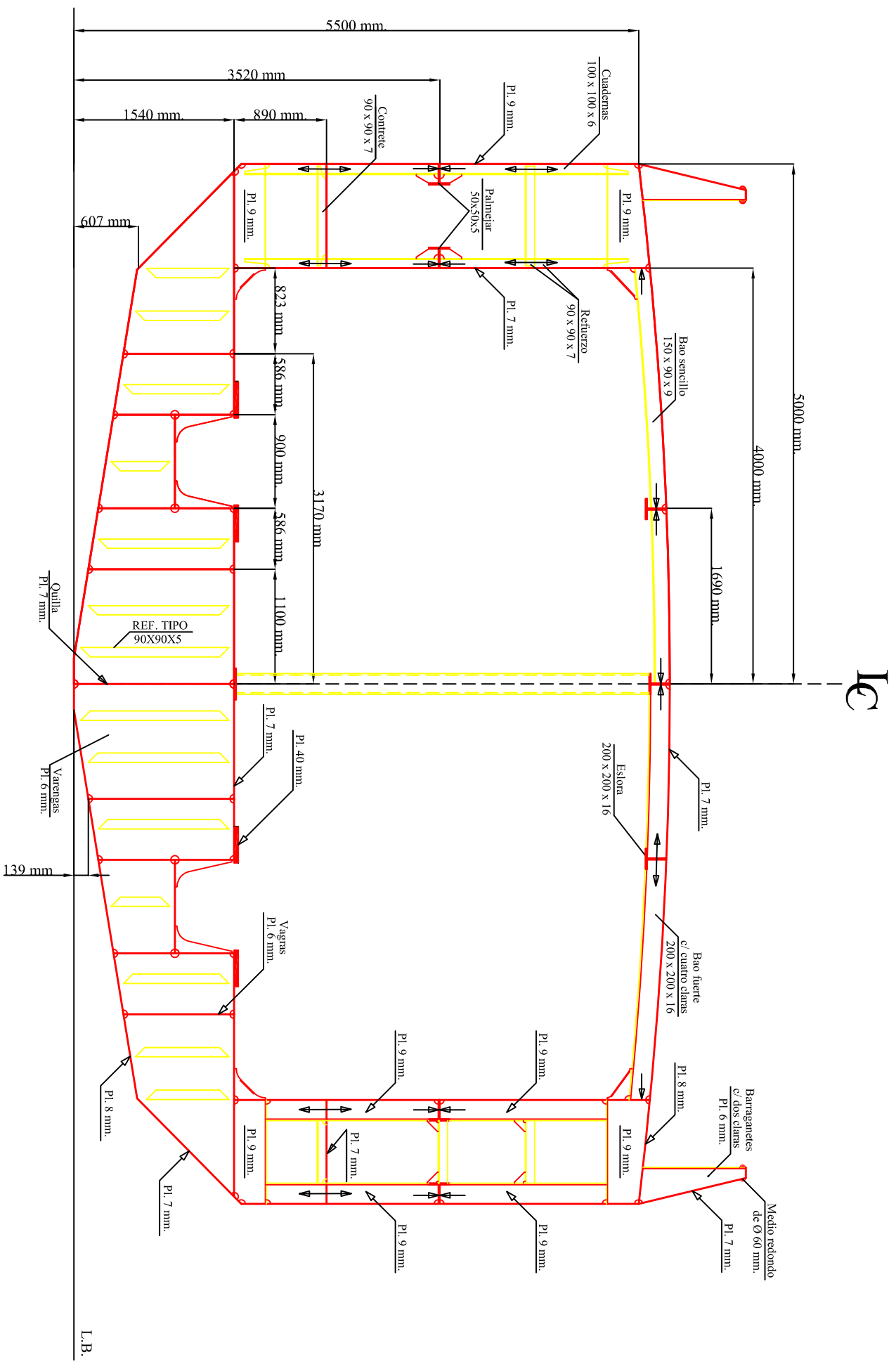
$$t_{min} = \left( 0.8 + 0.004 \times L \times k^{\frac{1}{2}} + 4.5 \times s \right) \times c_T$$

$$c_T \text{ (para } L=26 \text{ m), será: } c_T = 0.85 + \frac{2T}{L} = 0.85 + \frac{2 \times 4.67}{26} = 1.21$$

$$t_{min} = \left( 0.8 + 0.004 \times 26 \times 1^{\frac{1}{2}} + 4.5 \times 0.5 \right) \times 1.21 = 3.816 \text{ mm}$$

$$\mathbf{t_{min} = 3.816 \text{ mm}}$$

# ANEXO 1



CUADERNA MAESTRA  
MIRANDO A PROA

L.B.

ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR UNIVERSIDADE DA COCUBA	
ALUMNO : MARCOS LOUREIRO BELLÁN	
TFG Nº 13 - 58 REMOLCADOR DE PUERTO Y APOYO A BUQUES DE ALTURA	
PLANO DE CUADERNA MAESTRA	
e : 1/50	DIMENSIONES PRINCIPALES TFG:
HOLA 1 de 1	ESLORA ENTRE PERPENDICULARES ——— 26,00 m
REV.0	MANGA MÁXIMA ——— 10,00 m
	PUNTA DE TRAZADO ——— 5,50 m
	CALADO DE DISEÑO ——— 3,70 m