



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**Trabajo Fin de Grado**  
**CURSO 2017/18**

---

*BULKCARRIER NEOPANAMAX 120.000 TPM*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**ALUMNA/O**

Diego Carral Amenedo

**TUTORAS/ES**

Marcos Míguez González

**FECHA**

JULIO 2018

**GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**  
**TRABAJO FIN DE GRADO**

**PROYECTO NÚMERO: 18-12**

**TIPO DE BUQUE:** Bulkcarrier tipo “NEOPANAMAX” de 120.000 TPM adaptado a la operación en terminales graneleras del golfo de México y Asia.

**CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN:** AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, SOLAS, MARPOL y EXIGENCIAS DE LA ACP (Autoridad del Canal de Panamá).

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** 120.000 T.P.M. grano, mineral, carbón

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA:** 14 nudos en condiciones de servicio, 85% de MCR + 15% de margen de mar. 12.000 millas a la velocidad de servicio.

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA:** Escotillas de accionamiento hidráulico.

**PROPULSIÓN:** Un motor diesel acoplado a una hélice de paso fijo, motores auxiliares de tipo dual (FUEL-GNL).

**TRIPULACIÓN Y PASAJE:** 30 tripulantes en camarotes individuales.

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES:** Los habituales en este tipo de buques y posibilidad de interconexión del cuadro eléctrico del buque con la corriente de tierra.

Ferrol, 30 Octubre 2017

ALUMNO/A: **D. DIEGO CARRAL AMENEDO**



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

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

---

*BULKCARRIER NEOPANAMAX 120.000 TPM*

---

**Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

**Cuaderno 8**

**“CUADERNA MAESTRA”**

## Indice

1 RPA .....	2
2 Introducción .....	5
2.1 Diseño estructural .....	5
2.2 Elección del tipo de estructura .....	6
2.3 Forma y estructura de los mamparos y cubiertas.....	6
2.4 Características generales del buque en estudio.....	6
3 Diseño conceptual (escantillonado) de la cuaderna maestra.....	8
3.1 Definiciones dimensionales.....	8
3.1.1 Eslora de escantillonado (L).....	8
3.1.2 Calado de escantillonado (Ds).....	8
3.1.3 Coeficiente de bloque .....	8
3.1.4 Espaciado entre cuadernas y bulárcamas .....	9
3.2 Escantillonado por requerimientos locales .....	9
3.2.1 Cuadernas .....	9
3.2.2 Fondo .....	10
3.2.3 Doble Fondo.....	20
3.2.4 Cubierta.....	24
3.2.5 Forro.....	29
3.2.6 Mamparos.....	36
3.3 Resumen de escantillones .....	38
3.4 Elección de Longitudinales .....	39
4 Modulo de la cuaderna maestra .....	41
4.1 Módulo e Inercia mínimos de la cuaderna maestra .....	41
4.2 Módulo e Inercia real de la cuaderna maestra .....	43
5 Anexo 1_Cuaderna Maestra .....	47

## 2 INTRODUCCIÓN

En este Cuaderno se realizará el diseño de la cuaderna maestra mediante el cálculo de resistencia longitudinal de nuestro Buque Proyecto.

Las dimensiones y coeficientes de nuestro Buque Proyecto, obtenidas en el Cuaderno 3 “Coeficientes y Plano de Formas”, son las siguientes:

DIMENSIONES, COEFICIENTES y CARACTERÍSTICAS		
Eslora total (LOA)	250	m
Eslora entre perpendiculares (Lpp)	245,5	m
Manga (B)	42,4	m
Calado (T)	14,9	m
Puntal (D)	21,55	m
Desplazamiento ( $\Delta$ )	142652	Tn
Superficie Mojada (m <sup>2</sup> )	16380	m <sup>2</sup>
Coeficiente Bloque (Cb)	0,897	
Coeficiente Prismático (Cp)	0,901	
Coeficiente de la Maestra (Cm)	0,996	
Coeficiente de Flotación (Cf)	0,957	
Velocidad (knots)	14	knots
Potencia (kW)	21660	kW

### 2.1 Diseño estructural

La elección del tipo de estructura obedece a la necesidad de ofrecer una respuesta eficaz a las solicitaciones que actúan sobre ella. Por ello es necesario analizar estas solicitaciones, así como cuales son las respuestas de la estructura a las mismas y sus posibles modos de fallo.

En la mayoría de los casos las únicas cargas que se consideran en los cálculos estructurales son:

- Cargas estáticas generales debidas a los momentos flectores y esfuerzos cortantes verticales.
- Cargas estáticas locales debidas a presiones originadas por la carga y el agua (cargas hidrostáticas).
- Cargas dinámicas generales de baja frecuencia debidas a la variación periódica de los momentos flectores, torsores y de los esfuerzos cortantes verticales.
- Cargas dinámicas locales debidas a las presiones dinámicas originadas por la carga.

En función de estas cargas decidiremos que tipo de estructura tendrá nuestro buque para soportar mejor un tipo de esfuerzo u otro.

## **2.2 Elección del tipo de estructura**

Una de las primeras decisiones a tomar es la elección del tipo de estructura, es decir, si la estructura principal será de tipo transversal o longitudinal.

Para buques de grandes esloras (mayores de 200 m) la estructura longitudinal es, generalmente, un requisito de clasificación. Pero incluso si no es este el caso, la estructura longitudinal resultará en un menor peso de acero y será, por tanto, más económica.

En cualquier caso, la estructura de los extremos de popa y proa, y de la cámara de máquinas cuando esta está a popa, suele ser transversal.

## **2.3 Forma y estructura de los mamparos y cubiertas**

Las superficies de las cubiertas serán planas y horizontales, es decir, sin brúscas ni arrufos, excepto en las cubiertas de intemperie. La cubierta superior suele tener brúscas y se procura huír del arrufo por su coste constructivo.

Las superficies de los mamparos transversales son planas, verticales y con refuerzos de vigas rigidizadoras y soldadas. Como alternativa, se pueden construir mamparos corrugados que permiten reducir el coste de producción y el peso de la estructura, aunque reducen la capacidad de carga (excepto en el caso de líquidos o graneles de grano muy fino).

Las superficies de los mamparos longitudinales suelen ser planas y completamente verticales mientras lo permitan las formas del buque, o integradas por un conjunto de superficies planas, cuando deban seguir dichas formas en las zonas extremas del buque. Los refuerzos, de manera análoga a los mamparos transversales, pueden ser vigas rigidizadoras soldadas o bien puede sustituirse el mamparo plano por uno de tipo corrugado. Su uso y disposición sigue los mismos criterios que se han indicado para los mamparos transversales; con una salvedad, en determinados casos las corrugas se disponen horizontal en lugar de verticalmente.

## **2.4 Características generales del buque en estudio**

Nuestro Buque Proyecto es un bulkcarrier del tipo autoestibable, destinado al transporte de cargas de grano, mineral, carbón, etc... en todas sus bodegas. Al tratarse de un bulkcarrier DSS (Double Skin Side) tendrá una sola cubierta corrida, fondo, doble fondo, doble casco y tolvas predominando la estructura longitudinal.

Se dispondrá de un doble fondo continuo desde el mamparo de colisión hasta el mamparo del pique de popa, que se destinará a tanques de lastre en la zona de carga del buque.

Se dispondrán tolvas superiores en la unión del costado con la cubierta a modo de tanque de lastre. Estas tolvas superiores elevan el centro de gravedad del buque disminuyendo de este modo la altura metacéntrica y por lo tanto se aumenta el periodo de balance del buque, lo que mejora la confortabilidad de la tripulación en el buque.

Se dispondrán 7 bodegas para el transporte de cargas a granel, cada una con su escotilla de carga con tapas del tipo "Side Rolling", por lo que cada tapa estará formada por dos paneles provistos de ruedas para desplazarse sobre unas pistas de rodadura dispuestas en los laterales de las brazolas.

Otros datos a tener en cuenta para abordar los cálculos son:

- La bodega N°4 será inundable en su totalidad, la N°2 y N°6 lo serán parcialmente, y el resto no serán inundables bajo ningún concepto.
- La separación entre longitudinales de fondo y doble fondo será de 675 mm.
- La separación de longitudinales en el costado será de 750 mm, excepto en la zona superior que será de 725 mm.
- La separación de longitudinales en la cubierta será de 800 mm.
- En la Cámara de Máquinas se dispondrá una estructura transversal adecuada para asegurar una correcta resistencia y rigidez que requerirá el motor principal y el resto de maquinaria.
- El reforzado interior del fondo y de las tolvas altas y bajas se dispondrá longitudinalmente
- En la zona de bodegas de carga, la cubierta principal será de estructura longitudinal fuera de la línea de escotilla y de estructura transversal entre las mismas.
- La separación entre bodegas se realizará con mamparos con corrugas trapezoidales y estarán dispuestos de una banqueta superior y una inferior.
- El mamparo de proa de la Cámara de Máquinas será plano con refuerzos verticales. Los mamparos del pique de proa y de popa también serán planos con refuerzos verticales en el interior de dichos tanques.
- Se dispondrán bulárcamas y varengas cada cuatro claras de cuaderna. Las vagras se dispondrán cada tres claras de longitudinales de modo que las tolvas bajas descansen sobre uno de estos elementos, así como las brazolas de las escotillas, que descansarán sobre esloras y baos fuertes.

En el siguiente apartado procederemos al cálculo de la resistencia longitudinale mediante el desarrollo de lo que será la cuaderna maestra del buque y justificando los escantillones de los elementos que la forman.

También se adjuntarán planos de la cuaderna maestra y mamparo transversal típico extraídos de los documentos empleados en la asignatura Proyectos y Artefactos Marinos II impartida por el Profesor Fernando Junco.

Todos los cálculos que se realizarán en este Cuaderno proceden del reglamento de la Sociedad de Clasificación impuesta como RPA, American Bureau of Shipping 2018.

## 3 DISEÑO CONCEPTUAL (ESCANTILLONADO) DE LA CUADERNA MAESTRA

### 3.1 Definiciones dimensionales

#### 3.1.1 Eslora de escantillonado (L)

El ABS Parte 3, Capítulo 1, Sección 1 Punto 3.1 comienza definiendo la eslora de escantillonado como:

#### 3.1 Scantling Length (L) (2018)

*L* is the distance in meters (feet) on the summer load line from the fore side of the stem to the centerline of the rudder stock. For use with the Rules, *L* is not to be less than 96% and need not be greater than 97% of the **extreme** length on the summer load line. The forward end of *L* is to coincide with the fore side of the stem on the waterline on which *L* is measured.

$$L_{SC} = \max\{0,96 * L_{WL}; \min[0,97 * L_{WL}; L_{pp}]\}$$

Donde:

$$L_{WL} = \text{eslora en la flotación al calado de verano} = 250 \text{ m}$$

$$L_{pp} = 245,5 \text{ m}$$

$$L_{SC} = \max\{240; \min[242,5; 245,5]\} = 242,5 \text{ m}$$

#### 3.1.2 Calado de escantillonado (Ds)

Parte 3, Capítulo 1, sección 1 Punto 7.3 define el calado de escantillonado como el calado de la flotación de verano.

#### 7.3 Scantling Depth (D<sub>s</sub>) (1997)

The depth *D<sub>s</sub>* for use with scantling requirements is the distance in meters (feet) from the molded base line to the strength deck as defined in 3-1-1/13.5.

Para tomar cierto margen de seguridad en nuestros cálculos de la resistencia del buque le daremos 0,5 m de margen a nuestro calado máximo (14,95 m), por lo tanto:

$$D_s = 15,45 \text{ m}$$

#### 3.1.3 Coeficiente de bloque

Parte 3, Capítulo 1, sección 1 Punto 11.3 el coeficiente de bloque se calcula de la siguiente manera:

#### 11.3 Block Coefficient (C<sub>b</sub>)

*C<sub>b</sub>* is the block coefficient obtained from the following equation:

$$C_b = \Delta / 1.025 L B_{wl} d \quad (\text{SI \& MKS units})$$

$$C_b = 35 \Delta / L B_{wl} d \quad (\text{US units})$$

where

$$\Delta = \text{molded displacement, as defined in 3-1-1/11.1.}$$

$$L = \text{scantling length, as defined in 3-1-1/3.1}$$

$$d = \text{draft, as defined in 3-1-1/9}$$

$$B_{wl} = \text{the greatest molded breadth at summer load line}$$



$$Cb = \frac{\Delta}{1,025 * L * B_{WL} * d}$$

Donde  $\Delta$  es el desplazamiento definido en el punto anterior, 11.1, como el desplazamiento para el calado de escantillonado calculado con anterioridad. Este desplazamiento lo obtenemos de las curvas hidrostáticas desarrolladas en el cuaderno N°4, y que para 15,45 m es:

$$\Delta = 147998 Tn$$

$B_{WL}$  es la manga en la flotación = 42,4m

Por lo tanto, el coeficiente de bloque será:

$$Cb = \frac{147998}{1,025 * 242,5 * 42,4 * 15,45} = 0,909$$

### 3.1.4 Espaciado entre cuadernas y bulárcamas

Como se desarrolló en el Cuaderno N°4 la separación entre cuadernas será de 800 mm en la cámara de máquinas y los espacios de carga. Las bulárcamas irán espaciadas cada 4 claras de cuadernas, es decir, 3200 mm.

## 3.2 Escantillonado por requerimientos locales

### 3.2.1 Cuadernas

El ABS Parte 3, Capitulo 2, sección 5 Punto 1.7 define el espaciado entre cuadernas según la eslora del buque:

#### 1.7 Standard and Cant Frame Spacing (1997)

The standard frame spacing,  $S$ , amidships for vessels with transverse framing, may be obtained from the following equations. In vessels of fine form or high power, a closer spacing is to be considered within and adjacent to the peaks. The spacing of cant frames is not to exceed the standard frame spacing.

$$S = 2.08L + 438 \text{ mm} \quad \text{for } L \leq 270 \text{ m}$$

$$S = 1000 \text{ mm} \quad \text{for } 270 < L \leq 427 \text{ m}$$

$$S = 0.025L + 17.25 \text{ in.} \quad \text{for } L \leq 890 \text{ ft}$$

$$S = 39.5 \text{ in.} \quad \text{for } 890 < L \leq 1400 \text{ ft}$$

where

$S$  = standard frame spacing, in mm (in.)

$L$  = scantling length of vessel, as defined in 3-1-1/3.1, in m (ft)

Para el caso de eslora inferior a 270 m, que es el caso de nuestro Buque Proyecto, será:

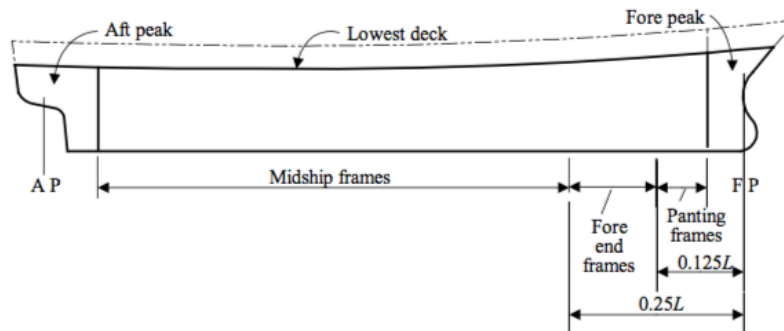
$$S_{max} = 2,08 * L + 438 \text{ (mm)}$$

$$S_{max} = 2,08 * 242,5 + 438 = 942 \text{ mm}$$

De modo que el espaciado de cuadernas máximo será de 942 mm, nuestro espaciado:

$$S = 800 \text{ mm}$$

**FIGURE 1**  
**Zones of Framing**



### 3.2.2 Fondo

#### 3.2.2.1 Altura Doble Fondo

El valor mínimo de la altura del doble fondo viene definido en Parte 3, Capítulo 2, sección 4 Punto 3.1.1(c) en función de la eslora de nuevo:

#### 3.1.1(c) Depth

$$d_{DB} = 32B + 190\sqrt{d} \quad \text{mm} \quad \text{for } L \leq 427 \text{ m}$$

El caso aplicable a nuestro buque será el de eslora inferior a 427 m:

$$d_{DB} = 32 * B + 190\sqrt{d} \quad (\text{mm})$$

Donde:

B = manga = 42,4 m

D = calado de escantillonado = 15,45 m

$$d_{DB} = 32 * 42,4 + 190\sqrt{15,45} = 2100 \text{ mm}$$

#### 3.2.2.2 Espesor Varengas

En esta misma sección del ABS, pero en el punto 5.1 se indica que la separación entre varengas no será superior a 3,66 m, indicando después la expresión para calcular el espesor de las varengas llenas en buques de eslora inferior a 427 m:

#### 5.1 General (2001)

Solid floors (see 3-2-4/Figure 1) of the thickness obtained from the following equations (and 3-2-4/5.5, where applicable), are to be fitted on every frame under machinery and transverse boiler bearers, under the outer ends of bulkhead stiffener brackets and at the forward end (see 3-2-4/13.5 or 3-2-4/13.7, as appropriate). Elsewhere, they may have a maximum spacing of 3.66 m (12 ft) in association with intermediate open floors (see 3-2-4/7), or longitudinal framing of the bottom or inner bottom plating. With the latter, the floors are to have stiffeners at each longitudinal, or an equivalent arrangement is to be provided. Where floors are fitted on every frame, the thickness need not exceed 14.0 mm (0.55 in.), provided the buckling strength is proven adequate (see 5C-1-A2/3, 5C-3-A2/3 or 5C-5-A2/3, as appropriate, where  $t_n = 12.5$  mm (0.49 in.) in FOT or 12.0 mm (0.47 in.) for others). Where boilers are mounted on the tank top, the floors and intercostals in way of the boilers are to have an additional 1.5 mm (0.06 in.) added to their thickness after all other requirements have been satisfied.

$$t = 0.036L + 4.7 + c \quad \text{mm} \quad \text{for } L \leq 427 \text{ m}$$

$$t = 0.00043L + 0.185 + c \quad \text{in.} \quad \text{for } L \leq 1400 \text{ ft}$$

where

$t$  = thickness, in mm (in.)

$L$  = length of vessel, as defined in 3-1-1/3.1, in m (ft)

$c$  = 1.5 mm (0.06 in.) for floors where the bottom shell and inner bottom are longitudinally framed

= 0 mm (0 in.) for side girders and brackets, and for floors where the bottom shell and inner bottom are transversely framed

$$t = 0,036 * L + 4,7 + c \quad (mm)$$

Siendo:

C = 1,5 mm para fondo que se extiende en sentido longitudinal

$$t_{varengas} = 0,036 * 242,5 + 4,7 + 1,5 = 14,93 \approx \mathbf{15 \text{ mm}}$$

### 3.2.2.3 Espesor Quilla Vertical

El espesor de la quilla vertical viene dado por la expresión del ABS Parte 3, Capítulo 2, sección 4 Punto 3.1.1(a):

#### 3.1.1(a) Thickness Amidships

$$t = 56L \cdot 10^{-3} + 5,5 \quad \text{mm} \quad \text{for } L \leq 427 \text{ m}$$

$$t = 56 * L * 10^{-3} + 5,5 \quad (mm)$$

$$t_{quilla\_vertical} = 56 * 242,5 * 10^{-3} + 5,5 = 19,08 \text{ mm} \approx \mathbf{20 \text{ mm}}$$

### 3.2.2.4 Espesor Vagras Laterales

Para las vagras laterales aplicaremos la regla Parte 3, Capítulo 2, sección 4 Punto 3.1.1(b) que nos indica que el valor no debe ser inferior al 85% del espesor de la quilla vertical:

#### 3.1.1(b) Thickness at Ends

85% of the thickness required amidships

Por lo tanto:

$$t_{vagras\_laterales} = 0,85 * 20 = \mathbf{18 \text{ mm}}$$

### 3.2.2.5 Espesor Laterales Tunel Tuberías

En caso de disponer de túnel central de tuberías en lugar de quilla vertical, como es nuestro caso, en la Parte 3, Capítulo 2, sección 4 Punto 3.3 nos indica que el espesor de los costados del túnel no debe ser inferior al requerido para las cubiertas de tanques laterales.

#### 3.3 Pipe Tunnels (Note: An alternative arrangement of center girders)

A pipe tunnel, or tunnels, may be substituted for the center girder provided that the thickness of the sides of the pipe tunnel(s) is not less than is required for tank-end floors. The construction arrangement and details of pipe tunnels are to be clearly shown on the plans submitted for approval.

En el punto 5.3 nos indica que este espesor debe ser el mayor entre el anteriormente calculado en el punto 3.1.1(a) y el requerido para el mamparo de tanques profundos, el cual se puede calcular mediante la expresión de Parte 3, Capítulo 2, sección 10 Punto 3.1:

### 5.3 Tank-end Floors (1997)

Tank-end floor thickness is to be not less than required for deep tank bulkhead plating or 3-2-4/5.1, whichever is greater.

#### 3.1 Plating (2017)

Plating is to be of thickness obtained from the following equation:

$$t = (sk \sqrt{qh} / 254) + 2.5 \text{ mm} \quad \text{but not less than } 6.5 \text{ mm or } s/150 + 2.5 \text{ mm, whichever is greater.}$$

$$t = (sk \sqrt{qh} / 460) + 0.10 \text{ in.} \quad \text{but not less than } 0.25 \text{ in. or } s/150 + 0.10 \text{ in., whichever is greater.}$$

where

- $t$  = thickness, in mm (in.)
- $s$  = stiffener spacing, in mm (in.)
- $k$  =  $(3.075 \sqrt{\alpha} - 2.077)/(\alpha + 0.272)$  where  $1 \leq \alpha \leq 2$   
 = 1.0 where  $\alpha > 2$
- $\alpha$  = aspect ratio of the panel (longer edge/shorter edge)
- $q$  =  $235/Y$  N/mm<sup>2</sup> ( $24/Y$  kgf/mm<sup>2</sup>,  $34,000/Y$  psi)
- $Y$  = specified minimum yield point or yield strength, in N/mm<sup>2</sup> (kgf/mm<sup>2</sup>, psi), as defined in 2-1-1/13, for the higher-strength material or 72% of the specified minimum tensile strength, whichever is the lesser
- $h$  = the greatest of the following distances, in m (ft), from the lower edge of the plate to:
- a point located two-thirds of the distance from the top of the tank to the top of the overflow
  - a point located above the top of the tank at a distance not less than given in column (e) of 3-2-7/Table 1, appropriate to the vessel's length
  - the load line
  - a point located at two-thirds of the distance to the bulkhead or freeboard deck

$h$  is also not to be less than  $h_1$  or  $h_0$  where rupture disks or spill valves are fitted, as obtained below:

$$h_1 = \rho h_t + h_a \text{ m (ft)}$$

$$h_0 = (2/3)(\rho h_s + 9.95 P_s) \text{ m} \quad (P_s \text{ in bar})$$

$$= (2/3)(\rho h_s + 9.75 P_s) \text{ m} \quad (P_s \text{ in kgf/cm}^2)$$

$$= (2/3)(\rho h_s + 2.25 P_s) \text{ ft} \quad (P_s \text{ in lbf/in}^2)$$

where

- $\rho$  = 1.0 where the specific gravity of liquid is 1.05 or less  
 = specific gravity of liquid where it is in excess of 1.05  
 (The provisions under 3-2-10/3 need not be applied in addition hereto)
- $h_t$  = head from the center of the supported area or lower edge of the plating to the deck at side or, where such is fitted, to the top of the trunk deck at side for tanks within trunk
- $h_a$  =  $9.95 p_v$  ( $9.75 p_v$ ,  $2.25 p_v$ )
- $p_v$  = pressure/vacuum valve pressure setting, in bar (kgf/cm<sup>2</sup>, lbf/in<sup>2</sup>)
- $h_s$  = head to the spill valve or rupture disc, where fitted, in m (ft)
- $P_s$  = relieving pressure of spill valve or rupture disc, where fitted, in bar (kgf/cm<sup>2</sup>, lbf/in<sup>2</sup>)

Por lo tanto:

$$t = \max \left\{ \frac{s * k * \sqrt{q * h}}{254} + 2,5 \text{ mm}; 6,5; \frac{s}{150} + 2,5 \right\}$$

Siendo:

$s$  = separación entre refuerzos en esta chapa = 675 mm

$a$  = relación de aspecto del panel =  $\frac{3200}{675} = 4,741$

$k$  = coef. en función de la relación de aspecto:

$$\text{si } a > 2 \quad k = 1$$

$$\text{si } 1 \leq a \leq 2 \quad k = \frac{3,075\sqrt{\alpha}-2,077}{\alpha+0,272}$$

$$q = \frac{235}{Y} \text{ N/mm}^2 = 1$$

$Y = 235$  para acero de resistencia normal

$h = \max(h_1, h_2, h_3, h_4)$  medido desde el punto medio del refuerzo hasta.

$h_1$  = Punto situado a 2/3 de la distancia desde lo alto del tanque hasta el punto más alto del rebose. Para un rebose de una altura máxima de 800mm, siendo el doble fondo de 2100 mm, este tendrá el valor de:

$$\text{altura} = \frac{2}{3} * (21,55 - 2,1 + 0,8) = 13,5 \text{ m}$$

$$h_1 = 13,5 + 2,1 = 15,6 \text{ m}$$

$h_2$  = Punto situado sobre lo alto del tanque, a una distancia no inferior a la proporcionada por la tabla de Parte 3, Capítulo 2, sección 7 tabla1:

$L$	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	$f$	$g$
90	2.56	2.26	1.51	1.20	1.05	0.90	0.46
100	2.76	2.29	1.69	1.30	1.15	0.91	0.46
110	2.90	2.29	1.90	1.44	1.15	0.91	0.46
120	2.90	2.29	1.98	1.64	1.27	0.91	0.46
122 and above	2.90	2.29	1.98	1.68	1.30	0.91	0.46

3-2-7 Tabla 1

Para  $L > 122$  m, este valor es de 1,3 m

$$h_2 = 1,3 + 21,55 = 22,85 \text{ m}$$

$h_3$  = Punto situado sobre la línea de flotación de carga

$$h_3 = 15,45 \text{ m}$$

$h_4$  = Punto situado a 2/3 de la distancia hasta la cubierta de francobordo, en este caso:

$$h_4 = 14,36 \text{ m}$$

Finalmente el valor de  $h$  será el máximo de estos 4 valores, por lo tanto:

$$h = 22,85 \text{ m}$$

Y sustituyendo obtendremos el valor del espesor:

$$t = \max \left\{ \frac{675 * 1 * \sqrt{1 * 22,85}}{254} + 2,5; 6,5; \frac{675}{150} + 2,5 \right\}$$

$$t = \max\{15,2 ; 6,5 ; 7\} = 15,2 \approx 16 \text{ mm}$$

Como este espesor es inferior al calculado en el apartado 3-2-4/3.1.1(a) según el cual  $t = 20\text{mm}$ , el espesor mínimo será el mayor de estos dos, por lo tanto:

$$t_{\text{lateral\_tunnel\_tuberías}} = 20 \text{ mm}$$

### 3.2.2.6 Espesor Chapa de Fondo

Para la chapa de fondo nos referiremos a Parte 3, Capítulo 2, sección 2 Punto 13.2, la cual nos indica que el espesor será el máximo entre el espesor calculado en este mismo apartado y el que se obtiene en Parte 3, Capítulo 2, sección 2 Punto 3.17.

#### 3.17 Minimum Thickness

After all other requirements are met, the thickness,  $t_{\min}$ , of the shell plating amidships below the upper turn of bilge is not to be less than obtained from the following equations:

##### 3.17.1 Transverse Framing

$$t_{\min} = s(L + 45.73)/(25L + 6082) \text{ mm} \quad \text{for } L \leq 183 \text{ m}$$

$$t_{\min} = s(L + 150)/(25L + 19950) \text{ in.} \quad \text{for } L \leq 600 \text{ ft}$$

where

$s$  = frame spacing, in mm (in.), but is not to be less than that given in 3-2-5/1.7

$L$  = length of vessel, as defined in 3-1-1/3.1, in m (ft)

##### 3.17.2 Longitudinal Framing

$$t_{\min} = s(L - 18.3)/(42L + 1070) \text{ mm} \quad \text{for } L \leq 427 \text{ m}$$

$$t_{\min} = s(L - 60)/(42L + 3510) \text{ in.} \quad \text{for } L \leq 1400 \text{ ft}$$

where

$s$  = frame spacing, in mm (in.), but is not to be less than 88% of that given in 3-2-5/1.7 or 813 mm (32 in.), whichever is less

$L$  = length of vessel, as defined in 3-1-1/3.1, in m (ft)

Where the bottom hull girder section modulus  $SM_A$  is greater than required by 3-2-1/3.7.1, and still-water bending moment calculations are submitted, the thickness of bottom shell plating amidships, obtained from the above equations, may be multiplied by the factor,  $R_b$ .

$$R_b = \sqrt{SM_R / SM_A} \quad \text{but is not to be taken less than 0.85} \quad (d/D_s \geq 0.65)$$

$$= 1.0 \quad (d/D_s \leq 0.0433L/D_s)$$

$$= \text{by linear interpolation} \quad (0.0433L/D_s < d/D_s < 0.65)$$

where  $SM_R$  and  $SM_A$  are as defined in 3-2-2/3.13.2.

For transverse framing,  $R_b$  is to be not less than  $1.2285 - L/533.55$  for SI or MKS units ( $1.2285 - L/1750$  for US units), where  $L$  is as defined above, but is not to be taken as less than 122 m (400 ft).

Special consideration will be given to vessels constructed of higher-strength steel.

Para estos cálculos debemos tener en cuenta que en el fondo tenemos estructura longitudinal, por lo que la expresión a emplear será la de 3-2-2/3.13.2(b) para la eslora adecuada, en este caso:

## 3.13.2(b) For Vessels with Longitudinally-framed Bottoms

$$\begin{aligned}
 t &= (s/671) \sqrt{(L-18.3)(d/D_s)} + 2.5 \text{ mm} && \text{for } L \leq 122 \text{ m} \\
 t &= (s/508) \sqrt{(L-62.5)(d/D_s)} + 2.5 \text{ mm} && \text{for } 122 \leq L \leq 305 \text{ m} \\
 t &= (s/661) \sqrt{(L+105)(d/D_s)} + 2.5 \text{ mm} && \text{for } 305 < L \leq 427 \text{ m} \\
 t &= (s/1215) \sqrt{(L-60)(d/D_s)} + 0.1 \text{ in.} && \text{for } L < 400 \text{ ft} \\
 t &= (s/920) \sqrt{(L-205)(d/D_s)} + 0.1 \text{ in.} && \text{for } 400 \leq L \leq 1000 \text{ ft} \\
 t &= (s/1197) \sqrt{(L+344.5)(d/D_s)} + 0.1 \text{ in.} && \text{for } 1000 < L \leq 1400 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

where  $L$ ,  $d$ ,  $s$ , and  $D_s$  are as defined in 3-2-2/3.9.

The actual ratio of  $d/D_s$  is to be used in the above equations, but the ratio is not to be taken less than  $0.0433 L/D_s$ .

After all corrections have been made, the bottom shell thickness amidships is not to be less than the thickness obtained by 3-2-2/5.1 using 610 mm (24 in.) as the frame spacing.

Where the actual bottom hull girder section modulus  $SM_A$  is greater than required by 3-2-1/3.7.1, and still-water bending moment calculations are submitted, the thickness of the bottom shell may be obtained from the above equations multiplied by the factor  $R_n$  defined as follows:

$$\begin{aligned}
 R_n &= \sqrt{\frac{1}{(f_p / \sigma_t)(1 - SM_R / SM_A) + 1}} \text{ but is not to be taken less than } 0.85 \quad (d/D_s \geq 0.65) \\
 &= 1.0 && (d/D_s \leq 0.0433L/D_s) \\
 &= \text{by linear interpolation} && (0.0433L/D_s < d/D_s < 0.65)
 \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned}
 f_p &= \text{nominal permissible bending stress, in kN/cm}^2 \text{ (tf/cm}^2 \text{, Ltf/in}^2 \text{), as given in} \\
 &\quad \text{3-2-1/3.7.1} \\
 \sigma_t &= KP_t(s/t)^2, \text{ in kN/cm}^2 \text{ (tf/cm}^2 \text{, Ltf/in}^2 \text{)} \\
 K &= 0.5 \text{ for transverse framing and } 0.34 \text{ for longitudinal framing} \\
 P_t &= (0.638H + d)a \text{ kN/cm}^2 \text{ (tf/cm}^2 \text{, Ltf/in}^2 \text{)} \\
 a &= 1.005 \times 10^{-3} \text{ (} 1.025 \times 10^{-4} \text{, } 1.984 \times 10^{-4} \text{)} \\
 SM_R &= \text{hull girder section modulus required by 3-2-1/3.7.1, in cm}^2\text{-m (in}^2\text{-ft)} \\
 SM_A &= \text{bottom hull girder section modulus, in cm}^2\text{-m (in}^2\text{-ft), of the vessel with the} \\
 &\quad \text{greater of the bottom shell plating thickness obtained when applying } R_n \text{ or } R_b \\
 t &= \text{bottom shell plating thickness required by 3-2-2/3.13.2(a) or 3-2-2/3.13.2(b),} \\
 &\quad \text{in mm (in.)} \\
 H &= \text{wave parameter, in m (ft)} \\
 &= 0.0172L + 3.653 \text{ m} && 90 \leq L \leq 150 \text{ m} \\
 &= 0.0181L + 3.516 \text{ m} && 150 < L \leq 220 \text{ m} \\
 &= [4.50L - 0.0071L^2 + 103]10^{-2} \text{ m} && 220 < L \leq 305 \text{ m} \\
 &= 8.151 \text{ m} && 305 < L \leq 427 \text{ m} \\
 &= 0.0172L + 11.98 \text{ ft} && 295 < L \leq 490 \text{ ft} \\
 &= 0.0181L + 11.535 \text{ ft} && 490 \leq L \leq 720 \text{ ft} \\
 &= [4.50L - 0.00216L^2 + 335]10^{-2} \text{ ft} && 720 < L \leq 1000 \text{ ft} \\
 &= 26.750 \text{ ft} && 1000 < L \leq 1400 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$L$ ,  $d$  and  $D_s$  are as defined in 3-2-2/3.9.

$R_b$  is defined in 3-2-2/3.17.2.

$SM_R/SM_A$  is not to be taken as less than 0.70

Special consideration will be given to vessels constructed of higher-strength steel.

Entonces:

$$si \quad 122 \leq L \leq 305 \quad \rightarrow \quad t = \left(\frac{s}{508}\right) \sqrt{(L - 62,5) * \left(\frac{d}{Ds}\right)} + 2,5 \text{ mm}$$

Donde:

s = separación entre long. de fondo = 675

d = 15,45 m

Ds = 21,55 m

El resto de valores son conocidos

$$t = \left(\frac{675}{508}\right) \sqrt{(242,5 - 62,5) * \left(\frac{15,45}{21,55}\right)} + 2,5 = 17,59 \approx 18 \text{ mm}$$

Debemos comprobar que valor es mayor comparándolo con el obtenido en la Parte 3, Capítulo 2, sección 2 Punto 3.17:

$$t_{min} = s_0 * \frac{L - 18,3}{42 * L + 1070} \text{ (mm)}$$

Siendo:

$$s_0 = \max\{s; \min[813; 0,88 * s_{3-2-571.7}]\} = 813$$

s = 675 mm

$s_{3-2-571.7}$  = espaciado entre cuadernas calculado de la expresión 3-2-5/1.7

$$s_{3-2-571.7} = 2,08 * L + 438 = 942 \quad \rightarrow \quad 0,88 * s_{3-2-571.7} = 829$$

Sustituyendo en la expresión del espesor:

$$t_{min} = 813 * \frac{242,5 - 18,3}{42 * 242,5 + 1070} = 16,19 \approx 17 \text{ mm}$$

El espesor mínimo en los extremos de proa y popa se obtiene según Parte 3, Capítulo 2, sección 2 Punto 5.1

### 5.1 Minimum Shell Plating Thickness

The minimum shell plating thickness  $t$  at the ends is to be obtained from the following equations and is not to extend for more than  $0.1L$  at the ends. Between the amidship  $0.4L$  and the end  $0.1L$ , the thickness of the plating may be gradually tapered.

$$t = 0.035(L + 29) + 0.009s \text{ mm} \quad \text{for } 90 \leq L \leq 305 \text{ m}$$

$$t = (11.70 + 0.009s)\sqrt{D/35} \text{ mm} \quad \text{for } 305 < L \leq 427 \text{ m}$$

$$t = 0.00042(L + 95) + 0.009s \text{ in.} \quad \text{for } 295 \leq L \leq 1000 \text{ ft}$$

$$t = (0.46 + 0.009s)\sqrt{D/114.8} \text{ in.} \quad \text{for } 1000 < L \leq 1400 \text{ ft}$$

where

s = fore or aft peak frame spacing, in mm (in.)

L = length of vessel, as defined in 3-1-1/3.1, in m (ft)

D = molded depth, in m (ft), as defined in 3-1-1/7.1 or 35 m (114.8 ft), whichever is greater

Where the strength deck at the ends is above the freeboard deck, the thickness of the side plating above the freeboard deck may be reduced to the thickness given for forecastle and poop sides at the forward and after ends respectively.



$$t = 0,035 * (L + 29) + 0,009 * s$$

Con:

s = espaciado entre cuadernas en piques de proa y popa = 600 mm

$$t = 0,035 * (242,5 + 29) + 0,009 * 600 = 14,9 \approx 15 \text{ mm}$$

Por último debemos calcular el espesor del fondo como tanque profundo. Para ello será utilizada la expresión de Parte 3, Capítulo 2, sección 10 Punto 3.1, ya vista anteriormente:

$$t = \frac{s * k * \sqrt{q * h}}{254} + 2,5 \text{ mm}$$

Donde todos los valores se han definido anteriormente como:

$$s = 675 \text{ mm}$$

$$k = 1$$

$$q = 1$$

$$h = 22,85$$

Por lo tanto:

$$t = \frac{675 * 1 * \sqrt{1 * 22,85}}{254} + 2,5 = 15,2 \approx 16 \text{ mm}$$

Finalmente, el espesor de la chapa de fondo será el mayor de los valores calculados:

$$t_{chapa\_fondo} = \max\{18; 17; 15; 16\} = \mathbf{18 \text{ mm}}$$

### 3.2.2.7 Módulo Longitudinales Fondo

Ahora pasamos a calcular el módulo requerido de los longitudinales de fondo, los cuales estarán separados entre ellos 675mm y tendrán que hacer frente a una luz de 3,2 m (separación entre bulárcamas). En la Parte 3, Capítulo 2, sección 4 Punto 11.3 indica que cada longitudinal del fondo con su plancha asociada tendrá un módulo no menor al obtenido con la expresión:

#### 11.3 Bottom Longitudinals

Each bottom longitudinal frame similar to that shown in 3-2-4/Figure 3, in association with the plating to which it is attached, is to have a section modulus  $SM$  not less than that obtained from the following equation:

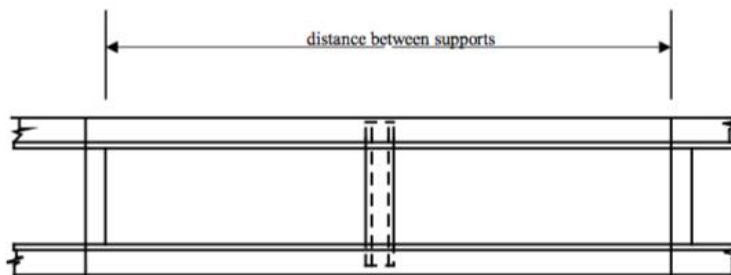
$$SM = 7.8chs\ell^2 \text{ cm}^3$$

$$SM = 0.0041chs\ell^2 \text{ in}^3$$

where

- $c$  = 1.3 without struts  
 = 0.715 with effective struts
- $h$  = distance, in m (ft), from the keel to the load line, or two-thirds of the distance to the bulkhead or freeboard deck, whichever is the greater.
- $s$  = spacing of longitudinals, in m (ft)
- $\ell$  = distance, in m (ft), between the supports, but is not to be taken as less than 1.83 m (6 ft) without struts or 2.44 m (8 ft) with struts. Where effective struts are fitted and the tank top is intended to be uniformly loaded with cargo,  $\ell$  may be taken as 81% of the distance between supports subject to above minimum.

**FIGURE 3**  
**Bottom Longitudinal Frame**



The section modulus  $SM$  of the bottom longitudinals may be obtained from the above equations multiplied by the factor  $R_\ell$  where,

- The bottom hull girder section modulus  $SM_A$  is greater than required by 3-2-1/3.7.1, at least throughout  $0.4L$  amidships,
- Still-water bending moment calculations are submitted, and
- Adequate buckling strength is maintained.

$$R_\ell = n/[n + f_p(1 - SM_R/SM_A)] \quad \text{but is not to be taken less than 0.69}$$

where

- $n$  = 8.278 (0.852, 5.36)
- $f_p$  = nominal permissible bending stress, as given in 3-2-1/3.7.1
- $SM_R$  = hull girder section modulus required by 3-2-1/3.7.1, in  $\text{cm}^2\text{-m}$  ( $\text{in}^2\text{-ft}$ )
- $SM_A$  = bottom hull girder section modulus, in  $\text{cm}^2\text{-m}$  ( $\text{in}^2\text{-ft}$ ), with the longitudinals modified as permitted above.

Bottom longitudinals, with this modified section modulus are to meet all other Rule requirements including side longitudinals in 3-2-5/3.17.

Entonces:

$$SM = 7,8 * c * h * s * l^2$$

Donde:

$c = 1,3$  (consideraremos que no existen consolas efectivas)

$$h = \max\left\{d_{sc}; \frac{2}{3} * D\right\} = \max\{15,45; 14,36\} = 15,45 \text{ m}$$

$s = 0,675 \text{ m}$  (separación entre refuerzos)

$l = 3,2 \text{ m}$

Sustituyendo:

$$SM = 7,8 * 1,3 * 15,45 * 0,675 * 3,2^2 = 1082,85 \text{ cm}^3$$

Empleamos Parte 3, Capitulo 2, sección 10 Punto 3.3 para calcular el módulo requerido para los longitudinales de fondo como tanque profundo:

### 3.3 Stiffeners

Each stiffener, in association with the plating to which it is attached, is to have section modulus  $SM$  not less than obtained from the following equation:

$$SM = 7.8chs\ell^2 \text{ cm}^3$$

$$SM = 0.0041chs\ell^2 \text{ in}^3$$

where

- |        |   |  |
|--------|---|--|
| $c$    | = | 0.594 for stiffeners having effective bracket attachments at both ends   |
|        | = | 0.747 for stiffeners having effective bracket attachment at one end and supported by clip connections or by horizontal girders at the other end  |
| $c$    | = | 0.900 for stiffeners having clip attachments to decks or flats at both ends or having such attachments at one end with the other end supported by horizontal girders   |
|        | = | 1.00 for stiffeners supported at both ends by horizontal girders   |
| $s$    | = | spacing of the stiffeners, in m (ft)   |
| $h$    | = | greatest of the following distances, in m (ft), from the middle of $\ell$ to: <ul style="list-style-type: none"> <li>• a point located at two-thirds of the distance from the top of the tank to the top of the overflow</li> <li>• a point located above the top of the tank a distance not less than given in column (e) of 3-2-7/Table 1, appropriate to the vessel's length</li> <li>• the load line</li> <li>• a point located at two-thirds of the distance to the bulkhead or freeboard deck</li> </ul> |
| $\ell$ | = | distance, in m (ft), between the heels of the end attachments; where horizontal girders are fitted, $\ell$ is the distance from the heel of the end attachment to the first girder or the distance between the horizontal girders.   |

An effective bracket for the application of these values of  $c$  is to have the scantlings not less effective than shown in 3-2-9/Table 1 and is to extend onto the stiffener for a distance at least one-eighth of the length  $\ell$  of the stiffener.

$$SM = 7,8 * c * h * s * l^2$$

Donde:

$c = 1$

$s = \text{espaciado entre longitudinales} = 0,675 \text{ m}$

$h = \max\{h_1, h_2, h_3, h_4\}$

$$h_1 = \left[\frac{2}{3} * (21,55 - 2,1 + 0,8)\right] + 2,1 = 15,6 \text{ m}$$

$$h_2 = 1,3 + 21,55 = 22,85 \text{ m}$$

$$h_3 = 15,45 \text{ m}$$

$$h_4 = 14,36 \text{ m}$$

$$h = \max\{15,6; 22,85; 15,45; 14,36\} = 22,85$$

$$l = 3,2 \text{ m}$$

Y sustituyendo:

$$SM = 7,8 * 1 * 22,85 * 0,675 * 3,2^2 = 1231,92 \text{ cm}^3$$

Finalmente, el módulo requerido por los longitudinales de fondo es el máximo de estos dos valores obtenidos por métodos distintos:

$$SM_F = 1231,92 \text{ cm}^3$$

### 3.2.3 Doble Fondo

#### 3.2.3.1 Espesor Doble Fondo

Según el ABS en Parte 3, Capítulo 2, sección 4 Punto 9.1 indica que el espesor del doble fondo debe ser calculado mediante la siguiente expresión:

##### 9.1 Inner-bottom Plating Thickness (1997)

Inner-bottom plating thickness is not to be less than obtained from the following equation or as required by 3-2-10/3.5, or by 3-2-1/19, whichever is the greatest:

$$t = 37.0L \cdot 10^{-3} + 0.009s - c \text{ mm} \quad \text{for } L \leq 427 \text{ m}$$

$$t = 44.4L \cdot 10^{-5} + 0.009s - c \text{ in.} \quad \text{for } L \leq 1400 \text{ ft}$$

where

$L$  = scantling length of vessel, as defined in 3-1-1/3.1, in m (ft)

$s$  = frame spacing, in mm (in.)

$c$  = 0.5 mm (0.02 in.) with transverse framing

= 1.5 mm (0.06 in.) with longitudinal framing

Where close ceiling, as defined in 3-2-18/1, is not fitted on the inner bottom in way of hatchways, the thickness  $t$ , as determined above, is to be increased by 2.0 mm (0.08 in.), except in holds designated exclusively for the carriage of containers on the inner bottom.

$$t = 37 * L * 10^{-3} + 0,009s - c$$

Donde:

$s$  = separación entre cuadernas = 800 mm

$c$  = 1,5 por tratarse de estructura longitudinal

Sustituyendo:

$$t = 37 * 242,5 * 10^{-3} + 0,009 * 800 - 1,5 = 14,67 \approx 15 \text{ mm}$$

Ahora debemos comprobar que cumple el mínimo fijado en el apartado 3-2-4/9.11 :

### 9.11 Inner Bottom Plating for Vessels Intended to Use Grabs (2018)

For vessels regularly engaged in trades where the cargo is handled by grabs, or similar mechanical appliances, it is recommended that flush inner-bottom plating be adopted throughout the cargo space.

The thickness of the inner bottom plating is not to be taken less than  $t_{g1}$ , obtained from the following equation:

$$t_{g1} = (0.037L + 0.009s)\sqrt{Q} + 5.5 \text{ mm}$$

$$= (0.000444L + 0.009s)\sqrt{Q} + 0.217 \text{ in.}$$

where

$$L = \text{length of vessel, in m (ft), as defined in 3-1-1/3.1}$$

$$s = \text{spacing of inner bottom longitudinals, in mm (in.)}$$

$Q$  is as defined in 3-2-1/5.5.

The thickness of sloping bulkhead plating of lower wing tanks and lower stool plating of transverse bulkheads within a vertical extent of 1.5 m (0.06 in.) above the inner bottom is not to be taken less than  $t_{g1}$  with the actual spacing of the sloping bulkhead and stool stiffeners.

If the vessel is designed to discharge its cargo by a means other than by grabs, or similar mechanical appliances, which would negate the  $t_{g1}$  inner bottom thickness requirement, it is to be recorded in the vessel's Loading Manual that grabs, or similar mechanical appliances, are not to be used to discharge cargo.

$$Q = 0.78 \text{ for H32 strength steel}$$

$$Q = 0.72 \text{ for H36 strength steel}$$

$$Q = 0.68 \text{ for H40 strength steel}$$

H32, H36, H40 = as specified in Section 2-1-3.

$$t = (0,037 * L + 0,009s)\sqrt{Q} + 5,5 \text{ (mm)}$$

Donde:

s = separación entre cuadernas = 800 mm

Q = 0,78 por tratarse de acero H32

Y sustituyendo:

$$t = (0,037 * 242,5 + 0,009 * 800)\sqrt{0,78} + 5,5 = 19,78 \approx 20 \text{ mm}$$

Este último apartado también nos indica que el espesor mínimo para un espaciado de cuadernas de 610 mm debe ser de 12,5 mm, y para 915 mm de espaciado de cuadernas el espesor mínimo será de 19 mm. El espesor mínimo para separaciones intermedias debe ser calculado por interpolación lineal. Por lo tanto, para una separación de 800 mm el espesor mínimo requerido es de:

$$t_{3-2-4/9.11} = 16,55 \text{ mm}$$

El espesor del doble fondo también debe ser calculado como tanque profundo, para lo que se volverá a emplear la expresión del 3-2-10/3.1 (adjuntado anteriormente):

$$t = \frac{s * k * \sqrt{q * h}}{254} + 2,5 \text{ (mm)}$$

Siendo:

$s$  = separación entre long. de doble fondo = 675 mm

$a$  = relación de aspecto del panel =  $\frac{3200}{675} = 4,741$

$k$  = coef. en función de la relación de aspecto =

$$\text{si } a > 2 \quad k = 1$$

$$\text{si } 1 \leq a \leq 2 \quad k = \frac{3,075\sqrt{\alpha} - 2,077}{\alpha + 0,272}$$

$$q = \frac{235}{Y} N/mm^2 = 1$$

$Y = 235$  para acero de resistencia normal

$$h = \max\{h_1, h_2, h_3, h_4\}$$

$$h_1 = \frac{2}{3} * (21,55 - 2,1 + 0,8) = 13,5 \text{ m}$$

$$h_2 = 21,55 + 1,3 - 2,1 = 20,75 \text{ m}$$

$$h_3 = 15,45 - 2,1 = 13,35 \text{ m}$$

$$h_4 = \frac{2}{3}(21,55 - 2,1) = 12,96 \text{ m}$$

$$h = \max\{13,5; 20,75; 13,35; 12,96\} = 20,75$$

Y sustituyendo:

$$t = \frac{675 * 1 * \sqrt{1 * 20,75}}{254} + 2,5 = 14,6 \approx 15 \text{ mm}$$

El espesor mínimo del doble fondo es el máximo de los 3 espesores calculados hasta ahora, por lo tanto:

$$t_{Doble\_Fondo} = 20 \text{ mm}$$

### 3.2.3.2 Módulo Longitudinales Doble fondo

Una vez determinado el espesor mínimo del doble fondo pasamos a calcular el valor del módulo mínimo para los longitudinales de doble fondo. Estos tendrán una separación entre refuerzos de 675 mm y tendrán que soportar una luz de 3,2 m (separación entre bulárcamas). La Parte 3, Capítulo 2, sección 4 Punto 11.5 indica que el módulo de los longitudinales del doble fondo con su plancha asociada debe tener un valor mínimo no inferior al 85% del requerido para los longitudinales del fondo:

#### 11.5 Inner-bottom Longitudinals

Inner-bottom longitudinals are to have values of  $SM$  at least 85% of that required for the bottom longitudinals.

$$SM_{DF} = 85\% SM_F = 0,85 * 1232 = 1047,2 \text{ cm}^3$$

Además debemos calcular el módulo requerido como tanque profundo, utilizando nuevamente la expresión del apartado 3-2-10/3.3(adjuntado anteriormente):

$$SM = 7,8 * c * h * s * l^2$$

Donde:

$$c = 1$$

$$s = \text{espaciado entre longitudinales} = 0,675 \text{ m}$$

$$h = \max\{h_1, h_2, h_3, h_4\}$$

$$h_1 = \frac{2}{3} * (21,55 - 2,1 + 0,8) = 13,5 \text{ m}$$

$$h_2 = 21,55 + 1,3 - 2,1 = 20,75 \text{ m}$$

$$h_3 = 15,45 - 2,1 = 13,35 \text{ m}$$

$$h_4 = \frac{2}{3}(21,55 - 2,1) = 12,96 \text{ m}$$

$$h = \max\{13,5; 20,75; 13,35; 12,96\} = 20,75$$

$$l = 3,2 \text{ m}$$

Y sustituyendo:

$$SM = 7,8 * 1 * 20,75 * 0,675 * 3,2^2 = 1118,7 \text{ cm}^3$$

Además, teniendo en cuenta que la Bodega N°4 es inundable:

$$SM = 7,8 * c * h * s * l^2$$

Donde:

$$c = 1$$

$$s = \text{espaciado entre longitudinales} = 0,675 \text{ m}$$

$$h = \max\{h_1, h_2, h_3, h_4\}$$

$$h_1 = \frac{2}{3} * (21,55 - 2,1 + 0,8 + 2,1) = 14,9 \text{ m}$$

$$h_2 = 21,55 + 1,3 - 2,1 + 2,1 = 22,85 \text{ m}$$

$$h_3 = 15,45 - 2,1 + 2,1 = 15,45 \text{ m}$$

$$h_4 = \frac{2}{3}(21,55 - 2,1 + 2,1) = 14,36 \text{ m}$$

$$h = \max\{14,9; 22,85; 15,45; 14,36\} = 22,85$$

$$l = 3,2 \text{ m}$$

Y sustituyendo:

$$SM = 7,8 * 1 * 22,85 * 0,675 * 3,2^2 = 1231,92 \text{ cm}^3$$

El módulo mínimo de los longitudinales del doble fondo será el valor máximo de los obtenidos con anterioridad:

$$SM_{DF} = \max\{1047; 1118; 1232\} = 1232 \text{ cm}^3$$

$$\mathbf{SM_{DF} = 1232 \text{ cm}^3}$$

### 3.2.4 Cubierta

#### 3.2.4.1 Espesor Cubierta

El espesor mínimo de cubierta se calcula según lo expuesto en el apartado 3-2-3/5.1 del ABS.

#### 5.1 Thickness (1997)

The thickness of deck plating is to be not less than obtained from the equations specified in 3-2-3/Table 1.

Este apartado indica que el espesor de cubierta no debe ser menor al obtenido de las ecuaciones especificadas en la tabla 3-2-3/Tabla1:

**TABLE 1**  
**Applicable Thickness Equations (1997)**

<i>Decks</i>	<i>Minimum Thickness Equation in Table 2</i>
A. Strength Deck Outside Line of Openings	
1. With Transverse Beams	1a and 1b <sup>(note 1)</sup>
2. With Longitudinal Beams	2a and 2b <sup>(note 1)</sup>
B. Exposed Strength Deck within Line of Openings	3 <sup>(note 2)</sup>
C. Enclosed Strength Deck within Line of Openings	5
D. Effective Lower Decks	
1. Second Deck:	
a. $D_S > 15.2$ m (50 ft)	1a
b. $15.2$ m (50 ft) $\geq D_S \geq 12.8$ m (42 ft)	2a
c. $D_S < 12.8$ m (42 ft)	3
2. Third Deck:	
a. $D_S > 17.7$ m (58 ft)	1a
b. $17.7$ m (58 ft) $\geq D_S \geq 13.4$ m (44 ft)	2a
c. $13.4$ m (44 ft) $\geq D_S \geq 9.8$ m (32 ft)	3
d. $D_S < 9.8$ m (32 ft)	4
E. Exposed Forecastle Decks	
1. $L > 122$ m (400 ft)	2a
2. $L \leq 122$ m (400 ft)	3
F. Exposed Poop Decks	
1. $L > 100$ m (330 ft)	3
2. $L \leq 100$ m (330 ft)	5
G. Exposed Bridge Deck	4
H. Long Deckhouse Top	5
I. Platform Decks in Enclosed Cargo Spaces	6 <sup>(note 3)</sup>
J. Platform Decks in Enclosed Accommodation Spaces	7 <sup>(note 3)</sup>

Esta tabla nos indica que debemos utilizar las ecuaciones 2a y 2b de 3-2-3/Tabla2:



2a (notes 1,2)	$t = 0.009s_b + 2.4 \text{ mm}$ $t = 0.006s_b + 4.7 \text{ mm}$ $t = 0.009s_b + 0.095 \text{ in.}$ $t = 0.006s_b + 0.185 \text{ in.}$	for $s_b \leq 760 \text{ mm}$ for $s_b > 760 \text{ mm}$ for $s_b \leq 30 \text{ in.}$ for $s_b > 30 \text{ in.}$
2b (notes 1,3)	$t = \frac{s_b(L + 48.76)}{26L + 8681} \text{ mm}$ $t = \frac{24.38s_b}{1615.4 - 1.1L} \text{ mm}$ $t = \frac{s_b(L + 160)}{26L + 28482} \text{ in.}$ $t = \frac{80s_b}{5300 - 1.1L} \text{ in.}$	for $L \leq 183 \text{ m}$ for $183 < L \leq 427 \text{ m}$ for $L \leq 600 \text{ ft}$ for $600 < L \leq 1400 \text{ ft}$

Ecuación 2a:

$$t = 0,006 * S_b + 4,7$$

Donde:

$$S_b = 800 \text{ mm}$$

Por lo tanto:

$$t = 0,006 * 800 + 4,7 = 9,5 \approx 10 \text{ mm}$$

Ecuación 2b:

$$t = \frac{24,38 * S_b}{1615,4 - 1,1 * L}$$

Donde:

$$S_b = 800 \text{ mm}$$

Por lo tanto:

$$t = \frac{24,38 * 800}{1615,4 - 1,1 * 242,5} = 14,46 \approx 15 \text{ mm}$$

Además, debemos calcular el espesor mínimo como techo de tanque de lastre por medio de la expresión del apartado 3-2-10/3.5 que es la siguiente:

### 3.5 Tank-top Plating

Tops of tanks are to have plating 1 mm (0.04 in.) thicker than would be required for vertical plating at the same level; the thickness is not to be less than required for deck plating. Beams, girders and pillars are to be as required by Section 3-2-7 and Section 3-2-8.

De forma que el espesor será 1 mm mayor que el necesario para una chapa vertical al mismo nivel que la cubierta, por lo tanto:

$$t = \frac{s * k * \sqrt{q * h}}{254} + 2,5 + 1 \text{ (mm)}$$

Siendo:

s = separación entre long. De cubierta = 800 mm

$$a = \text{relación de aspecto del panel} = \frac{3200}{800} = 4$$

k = coef. en función de la relación de aspecto:

$$\text{si } a > 2 \quad k = 1$$

$$\text{si } 1 \leq a \leq 2 \quad k = \frac{3,075\sqrt{\alpha} - 2,077}{\alpha + 0,272}$$

$$q = \frac{235}{Y} \text{ N/mm}^2 = 1$$

Y = 235 para acero de resistencia normal

$$h = \max\{h_1, h_2\}$$

$$h_1 = \frac{2}{3} * 0,8 = 0,533$$

$$h_2 = 1,3$$

$$h = \max\{0,533; 1,3\} = 1,3$$

Y sustituyendo:

$$t = \frac{800 * 1 * \sqrt{1 * 1,3}}{254} + 2,5 + 1 = 7,09 \approx 8 \text{ mm}$$

Pero debemos comprobar si este valor es superior a:

$$t = \frac{s}{150} + 2,5 + 1 = \frac{800}{150} + 2,5 + 1 = 8,83 \approx 9 \text{ mm}$$

Finalmente, el espesor mínimo requerido para la cubierta será el máximo de todos los calculados, por lo tanto:

$$t_{\text{cubierta}} = \max\{10; 15; 8; 9\} = \mathbf{15 \text{ mm}}$$

### 3.2.4.2 Módulo Longitudinales Cubierta

Para calcular el módulo mínimo de los longitudinales de cubierta, cuya separación será de 800 mm, empleamos la expresión del apartado 3-2-7/3.1:

## 3 Beams

### 3.1 Strength Requirement

Each beam, in association with the plating to which it is attached, is to have a section modulus  $SM$  as obtained from the following equation:

$$SM = 7.8chs\ell^2 \text{ cm}^3$$

$$SM = 0.0041chs\ell^2 \text{ in}^3$$

where

- |        |   |  |
|--------|---|--|
| $c$    | = | 0.540 for half beams, for beams with centerline support only, for beams between longitudinal bulkheads, and for beams over tunnels or tunnel recesses  |
|        | = | 0.585 for beams between longitudinal deck girders. For longitudinal beams of platform decks and between hatches at all decks   |
|        | = | 0.90 for beams at deep-tank tops supported at one or both ends at the shell or on longitudinal bulkheads   |
|        | = | 1.00 for beams at deep-tank tops between longitudinal girders  |
|        | = | $1/(1.709 - 0.651k)$ for longitudinal beams of strength decks and of effective lower decks   |
| $k$    | = | $SM_R Y / I_A$   |
| $SM_R$ | = | required hull girder section modulus amidships in 3-2-1/3.7.1 or 3-2-1/5.5, whichever is applicable, in $\text{cm}^2\text{-m}$ ( $\text{in}^2\text{-ft}$ )   |
| $Y$    | = | distance, in m (ft), from the neutral axis to the deck being considered, always to be taken positive   |
| $I_A$  | = | hull girder moment of inertia of the vessel amidships, in $\text{cm}^2\text{-m}^2$ ( $\text{in}^2\text{-ft}^2$ )<br>The values of $I_A$ and $Y$ are to be those obtained using the area of the longitudinal beams given by the above equation. |
| $s$    | = | spacing of beams, in m (ft)  |

Part	3	Hull Construction and Equipment
Chapter	2	Hull Structures and Arrangements
Section	7	Beams

3-2-7

- $\ell$  = distance, in m (ft), from the inner edge of the beam knee to the nearest line of girder support or between girder supports, whichever is greater. Normally  $\ell$  is not to be less than  $0.2B$ . Under the top of deep tanks and in way of bulkhead recesses, the supports are to be arranged to limit the span to not over 4.57 m (15 ft)
- $h$  = height, in m (ft), as follows
- = is normally to be the height measured at the side of the vessel, of the cargo space wherever stores or cargo may be carried. Where the cargo load differs from  $7.04 \text{ kN/m}^3$  ( $718 \text{ kgf/m}^3$ ,  $44.8 \text{ lbf/ft}^3$ ) multiplied by the tween-deck height, in m (ft), the height is to be proportionately adjusted.
  - = for bulkhead recesses and tunnel flats is the height, in m (ft), to the bulkhead deck at the centerline; where that height is less than 6.10 m (20 ft), the value of  $h$  is to be taken as 0.8 times the actual height plus 1.22 m (4 ft).
  - = for deep-tank tops is not to be less than two-thirds of the distance from the top of the tank to the top of the overflow; it is not to be less than given in column (e) of 3-2-7/Table 1, appropriate to the length of the vessel, the height to the load line or two-thirds of the height to the bulkhead or freeboard deck, whichever is greatest. The section modulus is not to be less than would be required for cargo beams.

Elsewhere, the value of  $h$  may be taken from the appropriate column of 3-2-7/Table 1, as follows.

<i>Weather deck and decks covered only by houses:</i>	<i>Column</i>
Freeboard decks having no decks below	a
Freeboard decks having decks below	b
Forecastle decks (first above freeboard deck) See Note 1	c
Bridge decks (first above freeboard deck)	c
Short bridges, not over $0.1L$ (first above freeboard deck)	d
Poop decks (first above freeboard deck)	d
Long superstructures (first above freeboard deck) forward of midship half-length	b
Long superstructures (first above freeboard deck) abaft midship half-length forward and forward of midship $\frac{1}{3}$ length aft	c
Long superstructures (first above freeboard deck) abaft midship $\frac{1}{3}$ length	d
Superstructure decks (second above freeboard deck) See Note 2	d
Superstructure decks (third and higher above freeboard deck) which contain only accommodation spaces	f
<i>Lower decks and decks within superstructures:</i>	
Decks below freeboard decks	c
Freeboard decks	c
Superstructure decks	d
Accommodation decks	f
<i>Decks to which side shell plating does not extend, tops of houses, etc.:</i>	
First tier above freeboard deck	d
Second tier above freeboard deck See Note 3	e
Third and higher tiers above freeboard deck See Note 3	f

**Notes**

- 1 See also 3-2-11/9.
- 2 Where superstructures above the first superstructure extend forward of the amidship  $0.5L$ , the value of  $h$  may be required to be increased.
- 3 Where decks to which the side shell does not extend and are generally used only as weather covering, the value of  $h$  may be reduced, but in no case is it to be less than in column (g).
- 4 Buckling strength of the plating and framing of all decks is to be considered where they are part of the hull girder.

$$SM = 7,8 * c * h * s * l^2$$

Donde:

$$c = \frac{1}{1,709 - 0,651 * k} = 0,914$$

$$k = 1$$

$$s = 0,8 \text{ m}$$

$$l = \max\{0,2 * B; 6,4\} = \max\{8,48; 6,4\} = 8,48$$

h = su valor se extrae de la tabla 3-2-7/Tabla1

<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>
90	2.56	2.26	1.51	1.20	1.05	0.90	0.46
100	2.76	2.29	1.69	1.30	1.15	0.91	0.46
110	2.90	2.29	1.90	1.44	1.15	0.91	0.46
120	2.90	2.29	1.98	1.64	1.27	0.91	0.46
122 and above	2.90	2.29	1.98	1.68	1.30	0.91	0.46

$$h = 2,9$$

Entonces, sustituyendo:

$$SM_c = 7,8 * 0,914 * 2,9 * 0,8 * 8,48^2 = 1189 \text{ cm}^3$$

### 3.2.5 Forro

#### 3.2.5.1 Espesor Forro

El espesor mínimo en los extremos de proa y popa ( $0,1 * L$ ) viene dado por la expresión del apartado 3-2-2/5.1 (adjuntada anteriormente), que es la siguiente:

$$t = 0,035 * (L + 29) + 0,009 * s$$

Donde:

s = separación entre cuadernas en los extremos del buque = 600 mm

Entonces:

$$t_{\text{Forro\_ProaPopa}} = 0,035 * (L + 29) + 0,009 * 600 = 14,9 \approx 15 \text{ mm}$$

Este apartado indica que para la zona comprendida entre  $0,4 * L$  y  $0,1 * L$  la disminución del espesor deberá realizarse de forma gradual.

### Zona Tanque lateral bajo

Para calcular el espesor mínimo en la zona central del buque ( $0,4L$ ) se empleará la expresión del apartado 3-2-2/3.9:

#### 3.9 Side Shell Plating

The minimum thickness,  $t$ , of the side shell plating throughout the amidship  $0.4L$ , for vessels having lengths not exceeding 427 m (1400 ft), is to be obtained from the following equations:

$$t = (s/645) \sqrt{(L-15.2)(d/D_s)} + 2.5 \text{ mm} \quad \text{for } L \leq 305 \text{ m}$$

$$t = (s/828) \sqrt{(L+175)(d/D_s)} + 2.5 \text{ mm} \quad \text{for } 305 < L \leq 427 \text{ m}$$

$$t = (s/1170) \sqrt{(L-50)(d/D_s)} + 0.1 \text{ in.} \quad \text{for } L \leq 1000 \text{ ft}$$

$$t = (s/1500) \sqrt{(L+574)(d/D_s)} + 0.1 \text{ in.} \quad \text{for } 1000 < L \leq 1400 \text{ ft}$$

where

$s$  = spacing of transverse frames or longitudinals, in mm (in.)

$L$  = length of vessel, as defined in 3-1-1/3.1, in m (ft)

$d$  = molded draft, as defined in 3-1-1/9, in m (ft)

$D_s$  = molded depth, in m (ft), as defined in 3-2-2/3.1 through 3-2-2/3.7

The actual ratio of  $d/D_s$  is to be used in the above equations, except that the ratio is not to be taken less than  $0.0433 L/D_s$ .

The side shell thickness amidships is to be not less than the thickness obtained by 3-2-2/5.1 using 610 mm (24 in.) as the frame spacing.

$$t = \frac{s}{645} * \sqrt{\frac{(L - 15.2) * d}{D_s}} + 2,5 \text{ (mm)}$$

donde:

$s$  = separación entre longitudinales de costado = 750 mm

$d$  = 15,45 m

$D_s$  = 21,55 m

Debemos comprobar que:

$$\frac{d}{D_s} > 0,0433 * \frac{L}{D_s}$$

En caso de no cumplirse emplearíamos el segundo valor de esta expresión en lugar del primero.

$$\frac{d}{D_s} = 0,7169 > 0,4872 = 0,0433 * \frac{L}{D_s}$$

En nuestro caso cumplimos, entonces:

$$t = \frac{750}{645} * \sqrt{\frac{(242,5 - 15.2) * 15,45}{21,55}} + 2,5 = 17,34 \approx 18 \text{ mm}$$

Para calcular el espesor del forro como tanque profundo debemos, una vez más, emplear la expresión del apartado 3-2-10/3.1 (adjuntada anteriormente):

$$t = \frac{s * k * \sqrt{q * h}}{254} + 2,5 \quad (mm)$$

Siendo:

s = separación entre long. de forro = 750 mm

a = relación de aspecto del panel =  $\frac{3200}{675} = 4,741 > 2$

k = coef. en función de la relación de aspecto = 1

$$\text{si } a > 2 \quad k = 1$$

$$\text{si } 1 \leq a \leq 2 \quad k = \frac{3,075\sqrt{\alpha} - 2,077}{\alpha + 0,272}$$

$$q = \frac{235}{Y} \text{ N/mm}^2 = 1$$

Y = 235 para acero de resistencia normal

$$h = \max\{h_1, h_2, h_3, h_4\}$$

$$h_1 = \frac{2}{3} * (21,55 - 2,1 + 0,8) = 13,5 \text{ m}$$

$$h_2 = 21,55 + 1,3 - 2,1 = 20,75 \text{ m}$$

$$h_3 = 15,45 - 2,1 = 13,35 \text{ m}$$

$$h_4 = \frac{2}{3} (21,55 - 2,1) = 12,96 \text{ m}$$

$$h = \max\{13,5; 20,75; 13,35; 12,96\} = 20,75$$

Y sustituyendo:

$$t = \frac{750 * 1 * \sqrt{1 * 20,75}}{254} + 2,5 = 15,95 \approx 16 \text{ mm}$$

Entonces el espesor mínimo de forro será el mayor de los dos valores calculados:

$$t_{\text{Forro_Central_TanqueBajo}} = \max\{18; 16\} = \mathbf{18 \text{ mm}}$$

### Zona de bodega

El valor obtenido por la expresión del apartado 3-2-2/3.9 (adjuntada anteriormente) coincide con el obtenido para la zona de tanque lateral bajo, ya que la separación entre longitudinales continúa siendo de 750 mm, y por tanto el valor del espesor será:

$$t = \frac{s}{645} * \sqrt{\frac{(L - 15,2) * d}{D_s}} + 2,5 \quad (mm)$$

donde:

s = separación entre longitudinales de costado = 750 mm

d = 15,45 m

$$D_s = 21,55 \text{ m}$$

Debemos comprobar que:

$$\frac{d}{D_s} > 0,0433 * \frac{L}{D_s}$$

En caso de no cumplirse emplearíamos el segundo valor de esta expresión en lugar del primero.

$$\frac{d}{D_s} = 0,7169 > 0,4872 = 0,0433 * \frac{L}{D_s}$$

En nuestro caso cumplimos, entonces:

$$t = \frac{750}{645} * \sqrt{\frac{(242,5 - 15,2) * 15,45}{21,55}} + 2,5 = 17,34 \approx 18 \text{ mm}$$

Para calcular el espesor como tanque profundo en zona de bodega inundable utilizamos nuevamente la expresión del apartado 3-2-10/3.1:

$$t = \frac{s * k * \sqrt{q * h}}{254} + 2,5 \text{ (mm)}$$

Siendo:

s = separación entre long. de forro = 750 mm

a = relación de aspecto del panel =  $\frac{3200}{675} = 4,741 > 2$

k = coef. en función de la relación de aspecto = 1

$$\text{si } a > 2 \quad k = 1$$

$$\text{si } 1 \leq a \leq 2 \quad k = \frac{3,075\sqrt{a}-2,077}{a+0,272}$$

$$q = \frac{235}{Y} \text{ N/mm}^2 = 1$$

Y = 235 para acero de resistencia normal

$$h = \max\{h_1, h_2, h_3, h_4\}$$

$$h_1 = \frac{2}{3} * (21,55 - 5,79 + 2,1 + 0,8) = 12,36 \text{ m}$$

$$h_2 = 21,55 - 5,79 + 1,3 + 2,1 = 19,05 \text{ m}$$

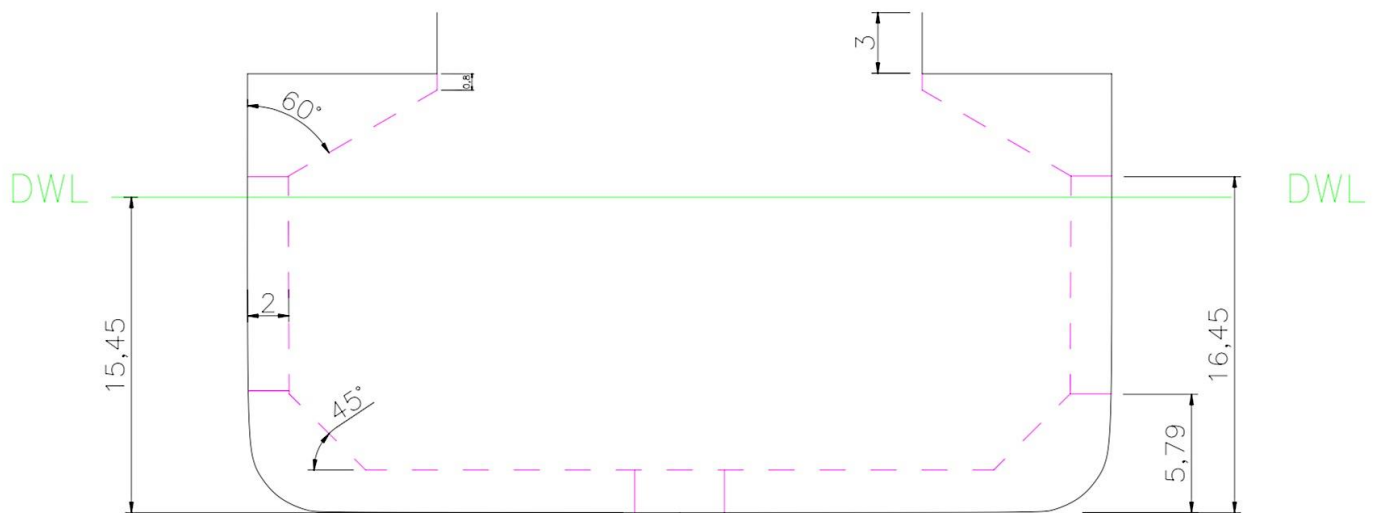
$$h_3 = 15,45 - 5,79 + 2,1 = 11,65 \text{ m}$$

$$h_4 = \frac{2}{3}(21,55 - 5,79 + 2,1) = 11,83 \text{ m}$$

$$h = \max\{12,36; 19,05; 11,65; 11,83\} = 19,05 \text{ m}$$

La relación entre estas alturas la podemos comprobar en el siguiente croquis de nuestra cuaderna maestra:





Y sustituyendo:

$$t = \frac{750 * 1 * \sqrt{1 * 19,05}}{254} + 2,5 = 15,38 \approx 16 \text{ mm}$$

El espesor mínimo del forro en la zona de bodega será por tanto el valor máximo de los valores anteriormente calculados:

$$t_{\text{Forro\_Central\_Bodega}} = \max\{18; 16\} = \mathbf{18 \text{ mm}}$$

### Zona Tanque lateral alto

Para esta zona la expresión del apartado 3-2-2/5.1 (adjuntada anteriormente) da el mismo valor que en las zonas anteriores por no variar los parámetros de la expresión.

En cambio, el espesor en esta zona calculado por medio de la expresión del apartado 3-2-2/3.9 (adjuntada anteriormente):

$$t = \frac{s}{645} * \sqrt{\frac{(L - 15.2) * d}{D_s}} + 2,5 \text{ (mm)}$$

donde:

s = separación entre longitudinales de costado = 700 mm

d = 15,45 m

D<sub>s</sub> = 21,55 m

Debemos comprobar que:

$$\frac{d}{D_s} > 0,0433 * \frac{L}{D_s}$$

En caso de no cumplirse emplearíamos el segundo valor de esta expresión en lugar del primero.

$$\frac{d}{D_s} = 0,7169 > 0,4872 = 0,0433 * \frac{L}{D_s}$$

En nuestro caso cumplimos, entonces:

$$t = \frac{700}{645} * \sqrt{\frac{(242,5 - 15,2) * 15,45}{21,55}} + 2,5 = 16,35 \approx 17 \text{ mm}$$

El apartado 3-2-2/3.1 que nos da el valor del espesor como tanque profundo da un valor menor al obtenido por este último criterio ya que el tanque alto está situado por encima de la zona media, y por tanto las alturas que tiene en cuenta la fórmula serán menores. Por lo tanto el valor mínimo del espesor del forro es:

$$t_{\text{Forro\_Central\_TanqueAlto}} = 17 \text{ mm}$$

Pasamos a calcular el módulo mínimo de los longitudinales del forro.

### 3.2.5.2 Módulo Longitudinales Forro

#### Zona del tanque lateral bajo

Comenzamos calculando el módulo mínimo de los longitudinales del forro, los cuales estarán separados entre ellos 750 mm y tendrán que soportar una luz de 3,2 m. Emplearemos la expresión del apartado 3-2-5/3.17:

#### 3.17 Longitudinal Frames (1995)

The section modulus  $SM$  of each longitudinal side frame is to be not less than obtained from the following equation:

$$SM = 7.8 \text{ } chs\ell^2 \text{ cm}^3$$

$$SM = 0.0041 \text{ } chs\ell^2 \text{ in}^3$$

where

- $s$  = spacing of longitudinal frames, in m (ft)
- $c$  = 0.95
- $h$  = above 0.5D from the keel, the vertical distance, in m (ft), from the longitudinal frame to the bulkhead or freeboard deck, but is not to be taken as less than 2.13 m (7.0 ft).
- = at and below 0.5D from the keel, 0.75 times the vertical distance, in m (ft), from the longitudinal frame to the bulkhead or freeboard deck, but not less than 0.5D.
- $\ell$  = the unsupported span, in m (ft)

$$SM = 7,8 * c * h * s * \ell^2$$

Donde:

$$c = 0,95$$

$$s = \text{espaciado entre longitudinales} = 0,75 \text{ m}$$

$$h = \max\{h_1; h_2\}$$

Si el longitudinal se encuentra por encima de  $0,5 * D_s$ :

$$h_1 = \max\{2,13; D_s - h_0\}$$

Si el longitudinal se encuentra por debajo de  $0,5 * D_s$ :

$$h_2 = \max\{0,5 * D_s; 0,75 * (D_s - h_0)\}$$

La situación más desfavorable se da para el longitudinal más próximo al fondo cuya distancia a la cubierta es:  $D_s - h_0 = 4$

En nuestro caso el longitudinal se encuentra por debajo de  $0,5 * D_s$ , por lo tanto:

$$h_2 = \max\{0,5 * 21,55 = 10,775; 0,75 * (21,55 - 4) = 13,16\}$$

$$h = h_2 = 13,16 (> 0,5 * D_s = 10,755)$$

$$l = 3,2 \text{ m}$$

Y sustituyendo:

$$SM = 7,8 * 1 * 13,16 * 0,75 * 3,2^2 = 788,48 \text{ cm}^3$$

Para el cálculo como refuerzos de tanque profundo será empleada nuevamente la expresión del apartado 3-2-10/3.3 (adjuntada anteriormente):

$$SM = 7,8 * c * h * s * l^2$$

Donde:

$$c = 1$$

$$s = \text{espaciado entre longitudinales} = 0,75 \text{ m}$$

$$h = \max\{h_1, h_2, h_3, h_4\}$$

$$h_1 = \frac{2}{3} * (21,55 + 0,8) = 22,35 \text{ m}$$

$$h_2 = 21,55 + 1,3 = 22,85 \text{ m}$$

$$h_3 = 15,45 \text{ m}$$

$$h_4 = \frac{2}{3} * 21,55 = 14,36 \text{ m}$$

$$h = \max\{22,35; 22,85; 15,45; 14,36\} = 22,85$$

$$l = 3,2 \text{ m}$$

Y sustituyendo:

$$SM = 7,8 * 1 * 22,85 * 0,75 * 3,2^2 = 1368,8 \text{ cm}^3$$

El módulo mínimo de los refuerzos del forro en tanque lateral bajo es el máximo de los dos valores obtenidos:

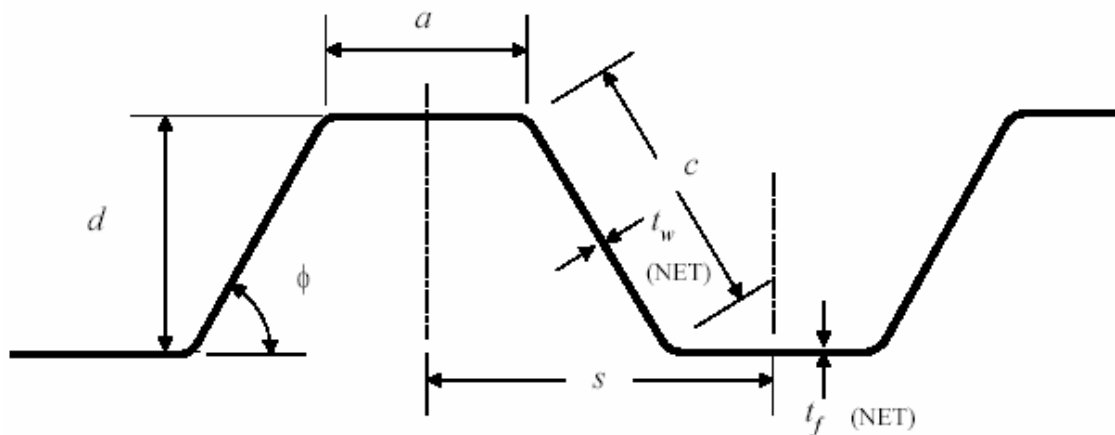
$$SM_{\text{Forro}} = 1369 \text{ cm}^3$$

### 3.2.6 Mamparos

Comenzaremos por calcular las dimensiones de los mamparos corrugados de la bodega inundable de forma que las dimensiones calculadas minimicen el valor del peso de dichos mamparos.

La configuración de estos mamparos será la siguiente:

**FIGURE 11**  
**Definition of Parameters for Corrugated Bulkhead**



Basándonos en las dimensiones de los buques de referencia empleados y en las dimensiones comunes de bulkcarriers destinados al transporte de carga similar a la nuestra hemos decidido emplear las siguientes medidas consideradas como “estándar”:

$$d = 800 \text{ mm}$$

$$a = 700 \text{ mm}$$

$$s = 1000 \text{ mm}$$

$$c = \sqrt{d^2 + (s - a)^2} = \sqrt{800^2 + (1000 - 700)^2} = 855 \text{ mm}$$

Considerando el mamparo corrugado como plancha, el espesor nos vendrá dado por la expresión del apartado 3-2-9/5.1:

## 5 Construction of Watertight Bulkheads

### 5.1 Plating

Plating is to be of the thickness obtained from the following equation:

$$t = sk\sqrt{qh}/c + 1.5 \text{ mm} \quad \text{but not less than 6 mm or } s/200 + 2.5 \text{ mm, whichever is greater}$$

$$t = sk\sqrt{qh}/c + 0.06 \text{ in.} \quad \text{but not less than 0.24 in. or } s/200 + 0.10 \text{ in., whichever is greater}$$

where

$t$  = thickness, in mm (in).

$s$  = spacing of stiffeners, in mm (in.)

$k$  =  $(3.075\sqrt{\alpha} - 2.077)/(\alpha + 0.272)$  where  $1 \leq \alpha \leq 2$   
 = 1.0 where  $\alpha > 2$

$\alpha$  = aspect ratio of the panel (longer edge/shorter edge)

$q$  =  $235/Y$  N/mm<sup>2</sup> ( $24/Y$  kgf/mm<sup>2</sup>,  $34,000/Y$  psi)

$Y$  = specified minimum yield point or yield strength, in N/mm<sup>2</sup> (kgf/mm<sup>2</sup>, psi), as defined in 2-1-1/13, for the higher-strength material or 72% of the specified minimum tensile strength, whichever is the lesser

$h$  = (1998) distance from the lower edge of the plate to the deepest equilibrium waterline in the one compartment damaged condition, in m (ft).

- For passenger vessels,  $h$  is to be taken as not less than the distance to the margin line.
- For cargo vessels,  $h$  is to be not less than the distance to the bulkhead deck at center unless a deck lower than the uppermost continuous deck is designated as the freeboard deck, as allowed in 3-1-1/13.1. In such case,  $h$  is to be not less than the distance to the designated freeboard deck at center.

$c$  = 254 (254, 460) for collision bulkhead

= 290 (290, 525) for other watertight bulkhead

The plating of afterpeak bulkheads below the lowest flat is not to be less than required for solid floors in the after peak space. See 3-2-5/9.

$$t = \frac{s * k * \sqrt{q * h}}{c'} + 1,5 \text{ (mm)}$$

Siendo:

$$s = \max\{a, c\} = \max\{700; 855\} = 855 \text{ mm}$$

$$a = \text{relación de aspecto del panel} = \frac{3200}{675} = 4,741 > 2$$

$k$  = coef. en función de la relación de aspecto = 1

$$\text{si } a > 2 \quad k = 1$$

$$\text{si } 1 \leq a \leq 2 \quad k = \frac{3,075\sqrt{\alpha} - 2,077}{\alpha + 0,272}$$

$$q = \frac{235}{Y} \text{ N/mm}^2 = 1$$

$Y$  = 235 para acero de resistencia normal

$$h = D - d_{DF} = 21,55 - 2,1 = 19,45 \text{ m}$$

$$c' = 290 \text{ (mamparo estanco)}$$

Y sustituyendo:

$$t = \frac{855 * 1 * \sqrt{1 * 19,45}}{290} + 1,5 = 15,5 \approx 16 \text{ mm}$$

$$t_{\text{mamparo\_corrugado}} = 16 \text{ mm}$$

El módulo de los refuerzos no es necesario calcularlo porque un mamparo corrugado actúa como una chapa con refuerzos, de forma que definiendo su espesor estamos fijando también su módulo. La estructura formada por las corrugas actúa de refuerzo en sí mismo de modo que con el espesor estaría perfectamente definido el mamparo.

### 3.3 Resumen de escantillones

A continuación presentamos los principales datos empleados para el escantillonado:

Datos dimensionamiento	
Eslora de escantillonado ( $L_{sc}$ )	242,5
Manga de escantillonado ( $M_{sc}$ )	42,4
Calado de escantillonado ( $T_s$ )	15,45
Puntal de escantillonado ( $D_{sc}$ )	21,55
Coefficiente de bloque ( $C_b$ )	0,909

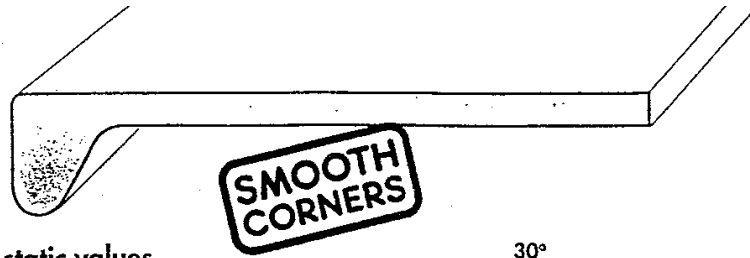
Con estos datos hemos obtenido los siguientes valores mínimos de escantillonado de chapas y de módulo de sus refuerzos según el ABS recogidos en la siguiente tabla:

Elemento	Espesor (mm)	Modulo (cm <sup>3</sup> )	Espaciado (mm)
Varengas	15		
Quilla Vertical	20		
Vagras Laterales	17		
Laterales Tunel Tuberías	20		
Chapa de fondo	18		
Longitudinales de fondo		1232	675
Vagras	18		
Chapa del doble fondo	20		
Longitud. del Doble Fondo		1232	675
Chapa cubierta	15		
Longitudinales de cubierta		1189	800
Chapa del forro Proa y Popa	15		
Chapa del forro central			
- Tanque Alto	17		
- Zona Bodega	18		
- Tanque Bajo	18		
Longitud. del costado		1369	750
Mamparo Corrugado	16		

### 3.4 Elección de Longitudinales

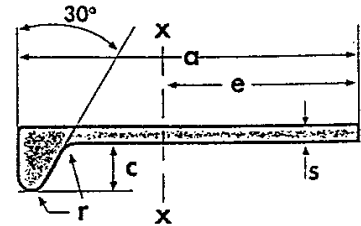
Se dispondrán perfiles tipo llanta de bulbo. Para los modulos indicados se han seleccionado los refuerzos a partir del siguiente catálogo comercial:

## Bulb Flats



Dimension range, weight/m and static values

Width a mm	Thickness s mm	Height c mm	Radius r mm	Area A cm <sup>2</sup>	Weight kg/m	e cm	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> * cm <sup>3</sup>
60	4	13	3.5	3.58	2.81	3.82	12.2	13
	5	13	3.5	4.18	3.28	3.70	14.4	14
	6	13	3.5	4.78	3.75	3.62	16.4	16
80	5	14	4	5.40	4.24	4.89	33.8	23
	6	14	4	6.20	4.87	4.78	39.0	25
	7	14	4	7.00	5.50	4.69	43.3	27
Delivery by special agreement. Standard lengths 6–12 m								
100	6	15.5	4.5	7.74	6.08	5.98	76.1	38
	7	15.5	4.5	8.74	6.86	5.87	85.3	41
	8	15.5	4.5	9.74	7.65	5.78	94.3	45
120	6	17	5	9.31	7.31	7.20	133	54
	7	17	5	10.5	8.25	7.07	148	59
	8	17	5	11.7	9.19	6.96	164	63
140	7	19	5.5	12.4	9.74	8.31	241	80
	8	19	5.5	13.8	10.8	8.18	266	87
	9	19	5.5	15.2	11.9	8.07	291	93
160	7	22	6	14.6	11.4	9.66	373	110
	8	22	6	16.2	12.7	9.49	411	118
	9	22	6	17.8	14.0	9.36	448	126
180	8	25	7	18.9	14.8	10.9	609	157
	9	25	7	20.7	16.2	10.7	663	166
	10	25	7	22.5	17.6	10.6	717	177
200	9	28	8	23.6	18.5	12.1	941	225
	10	28	8	25.6	20.1	11.9	1020	237
	11.5	28	8	28.6	22.5	11.7	1126	255
220	10	31	9	29.0	22.8	13.4	1400	302
	11.5	31	9	32.3	25.4	13.1	1550	323
240	10	34	10	32.4	25.4	14.7	1860	368
	11	34	10	34.9	27.4	14.6	2000	391
	12	34	10	37.3	29.3	14.4	2130	406
260	10	37	11	36.1	28.3	16.2	2477	455
	11	37	11	38.7	30.3	16.0	2610	474
	12	37	11	41.3	32.4	15.8	2770	493
280	11	40	12	42.6	33.5	17.4	3330	566
	12	40	12	45.5	35.7	17.2	3550	590
300	11	43	13	46.7	36.7	18.9	4190	671
	12	43	13	49.7	39.0	18.7	4460	701
	13	43	13	52.8	41.5	18.5	4720	728
320	12	46	14	54.2	42.5	20.1	5530	819
	13	46	14	57.4	45.0	19.9	5850	849
340	12	49	15	58.8	46.1	21.5	6760	947
	14	49	15	65.5	51.5	21.1	7540	1014
370	13	53.5	16.5	69.6	54.6	23.5	9470	1210
	15	53.5	16.5	77.0	60.5	23.0	10490	1278
400	14	58	18	81.4	63.9	25.5	12930	1580
	16	58	18	89.4	70.2	25.0	14220	1666
430	15	62.5	19.5	94.1	73.9	27.4	17260	1935
	17	62.5	19.5	103.0	80.6	26.9	18860	2036



#### Standard lengths

6–18 m.

Other lengths by special agreement

Plate cross sectional area 60 cm<sup>2</sup>

#### Orders

must include the following measurements: a x s.

Plate cross sectional area 100 cm<sup>2</sup>

Plate cross sectional area 150 cm<sup>2</sup>

\* Inclusive plate as noted

Siguiendo ese catálogo comercial, los valores que hemos decidido emplear para nuestros refuerzos son los siguientes:

	<b>Módulo requerido (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Módulo disponible (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Tipo refuerzo (mm · mm)</b>
<b>Longitudinales del fondo (21)</b>	1232	1666	Acero RN/ bulbo 400 x 16
<b>Longitudinales del doble fondo (18)</b>	1232	1580	Acero RN/ bulbo 400 x 14
<b>Longitudinales de cubierta (11)</b>	1189	1666	Acero RN/ bulbo 400 x 16
<b>Longitudinales del costado (23)</b>	1369	1666	Acero RN/ bulbo 400 x 16

Cabe mencionar que, aunque el módulo requerido individualmente por el reglamento sea mucho menor que el módulo de los refuerzos seleccionados, esto se debe a que los refuerzos se escogen en función del módulo y la inercia total requerida en nuestra cuaderna maestra. De este modo los refuerzos no están sobredimensionados aunque su módulo individual sea mayor al requerido, y por tanto lo parezca



## 4 MODULO DE LA CUADERNA MAESTRA

### 4.1 Módulo e Inercia mínimos de la cuaderna maestra

Por último calcularemos el módulo mínimo de la cuaderna maestra exigido por el ABS según la fórmula recogida en el apartado 3-2-1/3.7.1(b):

*3.7.1(b) Minimum Section Modulus.* The minimum hull girder section modulus amidships is not to be less than obtained from the following equation:

$$SM = C_1 C_2 L^2 B (C_b + 0.7) \text{ cm}^2 \cdot \text{m (in}^2 \cdot \text{ft)}$$

where

$$C_1 = \text{as defined in 3-2-1/3.5}$$

$$C_2 = 0.01 \text{ (0.01, } 1.44 \times 10^{-4}\text{)}$$

$$L = \text{length of vessel, as defined in 3-1-1/3.1, in m (ft)}$$

$$B = \text{breadth of vessel, as defined in 3-1-1/5, in m (ft)}$$

$$C_b = \text{block coefficient, as defined in 3-1-1/11.3, but is not to be taken less than 0.6}$$

$$SM_{MIN} = C_1 * C_2 * L^2 * B * (C_b + 0,7)$$

Donde:

$$\begin{aligned} C_1 &= 10.75 - \left( \frac{300 - L}{100} \right)^{1.5} && 90 \leq L \leq 300 \text{ m} \\ &= 10.75 && 300 < L < 350 \text{ m} \\ &= 10.75 - \left( \frac{L - 350}{150} \right)^{1.5} && 350 \leq L \leq 500 \text{ m} \end{aligned}$$

$$C_2 = 0,01$$

Y el resto de valores ya son conocidos.

Sustituyendo:

$$SM_{MIN} = \left( 10,75 - \left( \frac{300 - 242,5}{100} \right)^{1,5} \right) * 0,01 * 242,5^2 * 42,4 * (0,909 + 0,7) = 413\,782 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

De modo que el módulo mínimo de la sección maestra es:

$$SM_{MIN} = 413\,782 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

Este módulo se supone con acero de resistencia normal, pero en previsión de tener muy ajustado el módulo en la cubierta, como es normal en este tipo de buques debido a las escotillas, vamos a calcular el módulo mínimo requerido para la cubierta teniendo en cuenta que usaremos acero de alta resistencia en su chapa. Para ello debemos estimar el momento flector del buque en aguas tranquilas a partir del módulo obtenido por el reglamento de la siguiente forma:

$$SM_{MIN} = \frac{M_{SW}}{\sigma_c}$$

Debemos tener en cuenta que:

$$\sigma_{c\_RN} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c\_AR} = 390 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{SW} = cte$$

Por lo tanto:

$$SM_{MIN} = \frac{M_{SW}}{\sigma_{c\_RN}} \rightarrow M_{SW} = SM_{MIN} \cdot \sigma_c = 413\,782 \cdot 235 = 9\,723\,870$$

$$\mathbf{M_{SW} = 9\,723\,870}$$

Entonces, aplicando ahora el valor de sigma para acero de alta resistencia:

$$SM_{MIN\_CUBIERTA} = \frac{M_{SW}}{\sigma_{c\_AR}} = \frac{9\,723\,870}{390} = 249\,330 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}$$

Recopilando:

$$\mathbf{SM_{MIN} = 413\,782 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}}$$

$$\mathbf{SM_{MIN\_CUBIERTA} = 249\,330 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}}$$

Ahora calculamos la inercia mínima de la sección maestra mediante el apartado 3-2-1/3.7.2:

### 3.7.2 Hull Girder Moment of Inertia

The hull girder moment of inertia,  $I$ , amidships, is to be not less than:

$$I = L \cdot SM / 33.3 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^2 \text{ (in}^2 \cdot \text{ft}^2\text{)}$$

where

$L$  = length of vessel, as defined in 3-1-1/3.1, in m (ft)

$SM$  = required hull girder section modulus, in  $\text{cm}^2 \cdot \text{m}$  ( $\text{in}^2 \cdot \text{ft}$ ). See 3-2-1/3.7.1.

$$I = \frac{L \cdot SM}{33} = \frac{242,5 \cdot 413\,782}{33} = 3\,040\,670 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^2$$

$$\mathbf{I = 3\,040\,670 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^2}$$

## 4.2 Módulo e Inercia real de la cuaderna maestra

Para el cálculo del módulo de la cuaderna maestra se han tenido en cuenta los elementos escantillonados con anterioridad, así como otros cogidos de buques similares.

Los cálculos se muestran en la siguiente tabla, donde se calcula la posición del eje neutro, la inercia y el módulo en fondo y cubierta.

Las expresiones utilizadas son las siguientes:

Inercia propia:

$$I_0 = \frac{1}{12} * b * h_{eq}^3 = \frac{1}{12} * Area * h_{eq}^2$$

Para los perfiles la inercia se ha obtenido del catálogo comercial que se adjunta

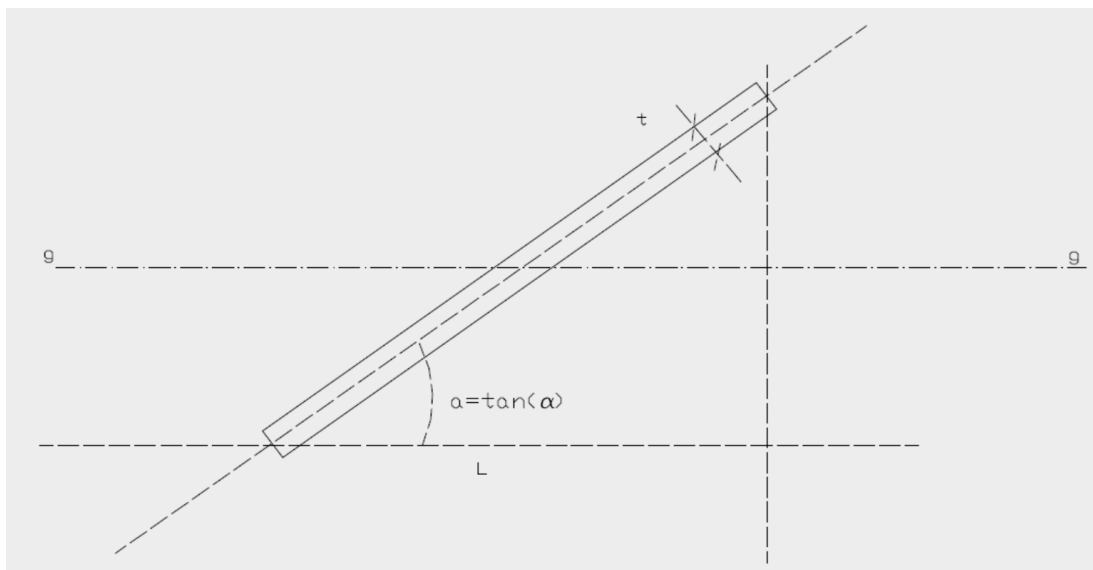
Posición del eje neutro:  $Y_f = \frac{\sum A * Y_G}{\sum A}$

Módulo en el fondo:  $W_F = \frac{I}{Y_F}$

Módulo en cubierta:  $W_C = \frac{I}{Y_C}$

Inercia de la sección maestra:  $I = 2 * I_0 + \sum A * y^2 - \sum A * Y_f^2$

El cálculo de la inercia de las planchas inclinadas se ha realizado de la siguiente manera:



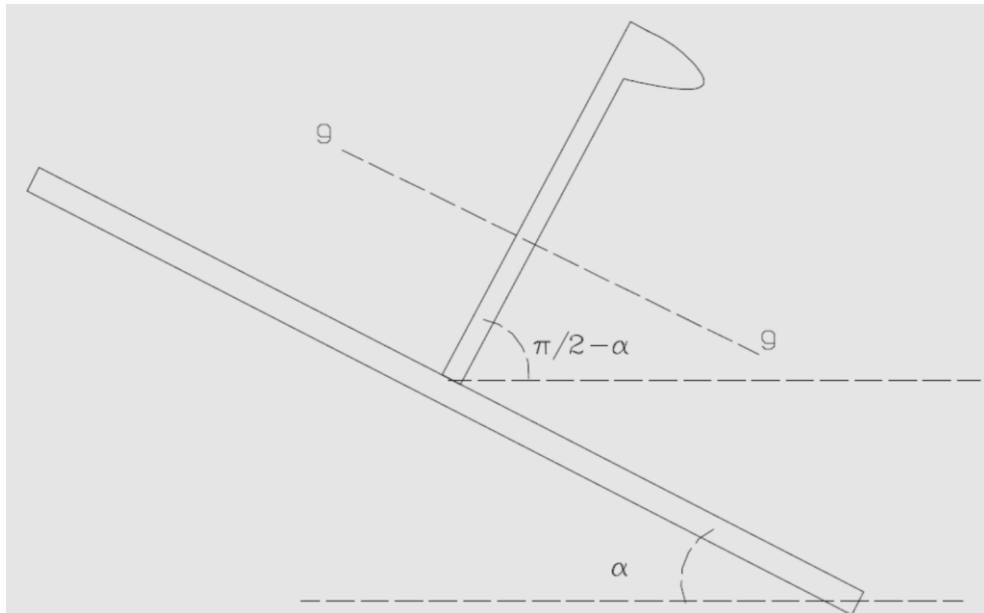
$$I_0 = \frac{1}{12} * t * a * (1 + a^2) * L^3$$

Para automatizar la tabla que veremos a continuación, este valor se iguala:

$$I_0 = \frac{1}{12} * Area * h_{eq}^3$$

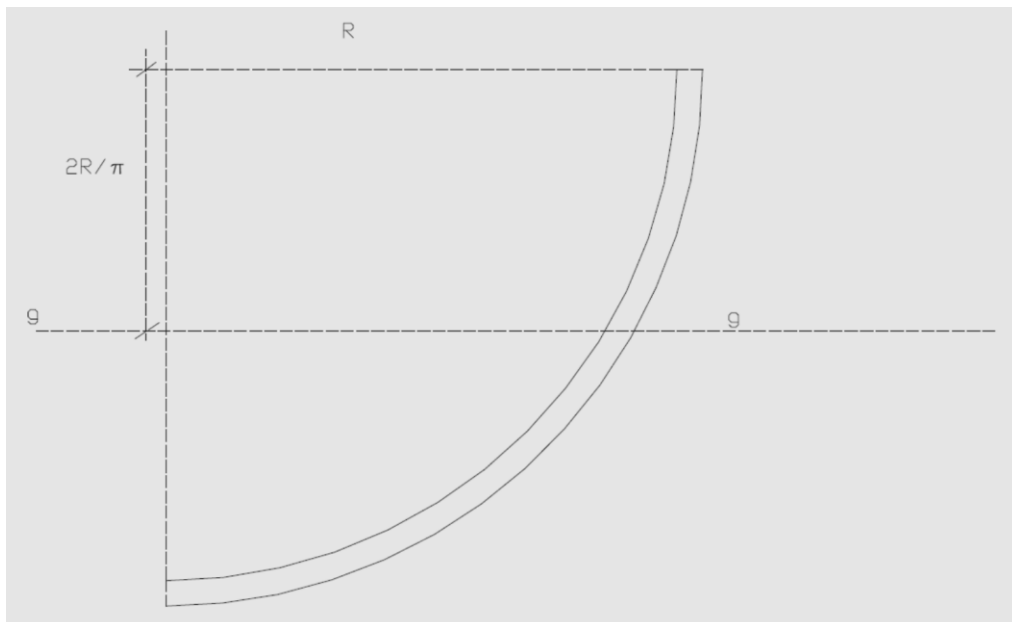
Y de aquí se despeja el valor de  $h_{eq}$

Para los refuerzos sobre planchas inclinadas se ha procedido de forma similar obteniendo una altura equivalente, pero para el cálculo final de  $I_0$  la altura equivalente se multiplica por  $\text{Sen}\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right)$ .



Para el pantoque se ha empleado la siguiente expresión:

$$I_0 = \frac{1}{4 * \pi} * R^3 * (\pi^2 - 8) * t$$



En las hojas siguientes se muestra la tabla y los resultados obtenidos:



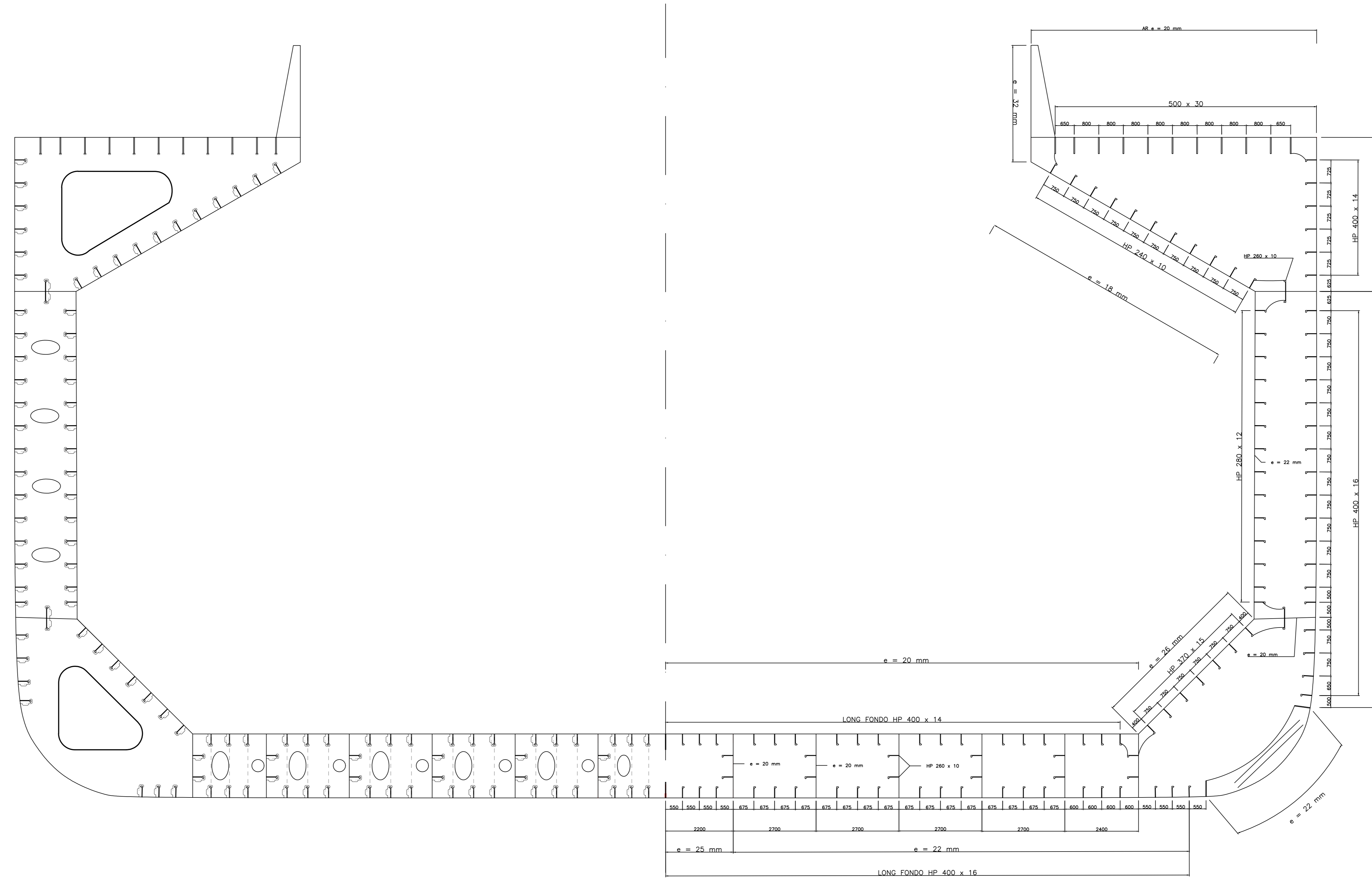
Y los valores obtenidos finalmente son los siguientes:

			<b>DATOS GENERALES</b>
<b>Area total de la sección (A)</b>	<b>63.033,72</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>	
<b>Situación del eje neutro respecto al fondo (Y<sub>f</sub>)</b>	<b>830,2</b>	<b>cm</b>	Lpp= 245,5 m
Situación del eje neutro respecto a la cubierta (Y <sub>c</sub> )	1.324,8	cm	B= 42,4 m
Inercia de la maestra respecto a LB	84.662.683.781	cm <sup>4</sup>	D= 21,55 m
<b>Inercia de la maestra respecto al eje neutro</b>	<b>41.216.651.114</b>	<b>cm<sup>4</sup></b>	T= 14,95 m
Inercia mínima de la maestra	30.406.700.000	cm <sup>4</sup>	hdf= 2,1 m
<b>Módulo obtenido en el fondo (W<sub>f</sub>)</b>	<b>49.645.983</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>	Rpant= 3,15 m
<b>Módulo obtenido en la cubierta (W<sub>c</sub>)</b>	<b>31.111.866</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>	e= 0,018 m
Módulo mínimo (acero RN)	41.378.200	cm <sup>3</sup>	
Módulo mínimo cubierta (acero AR)	24.933.000	cm <sup>3</sup>	
<b>Márgenes</b>			
Margen módulo fondo (RN)	20,0%		
Margen módulo cubierta (AR)	24,8%		
Margen Inercia	35,6%		

Como podemos comprobar cumplimos ampliamente con el requerimiento fijado por el reglamento, el margen de módulo está dentro de lo recomendable, cercano al 20%, para asegurarnos de que cumplimos con cualquier solicitud estructural que se pueda presentar.

Por último presentamos el plano de la Cuaderna Maestra de nuestro Buque Proyecto, el cual se encuentra en el **Anexo 1\_Cuaderna Maestra**.

## **5 ANEXO 1\_CUADERNA MAESTRA**



Alumno		Diego Carral Amenedo			
		BULKCARRIER NEOPANAMAX 120.000 TPM			
		TITULO DEL PLANO CUADERNA MAESTRA			
PROYECTO N° 18-12		FECHA	JULIO 2018	FORMATO	A3
		ESCALA	1/200	HOJA	1/1