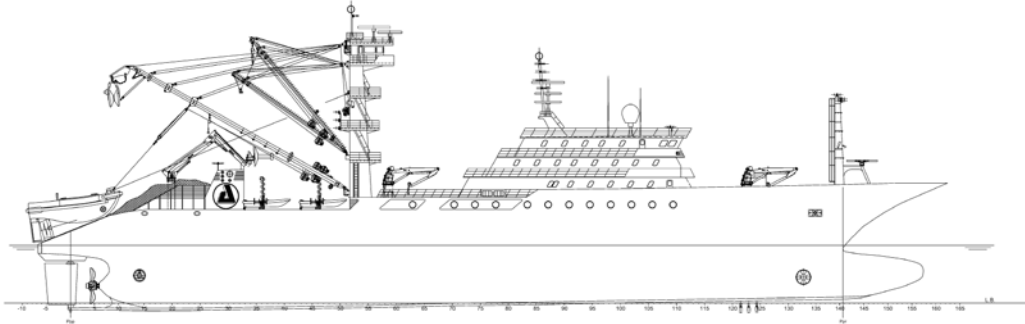


**PROYECTO FIN DE CARRERA**

*CURSO 2.015-2016*

**PROYECTO NÚMERO 16-15**



Atunero 3300m<sup>3</sup>

Cuaderno 8

Cuaderna maestra

Fernando García-Ganges Icaza

Email: [f.ggicaza@gmail.com](mailto:f.ggicaza@gmail.com)



## Contenido

<b>1-INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>2-DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA</b> .....	5
-Zona del doble fondo .....	6
-Zona de cubas .....	6
-Zona de cámara de máquinas .....	7
-Zona de pique de proa .....	7
-Zona de pique de popa .....	7
-Zona de entrepuente .....	7
<b>3- PARÁMETROS DE DISEÑO</b> .....	8
-Dimensiones y parámetros de cálculo .....	8
-Calado de escantillonado .....	8
-Flotación reglamentaria .....	9
-Eslora de escantillonado .....	9
-Manga de trazado .....	10
-Puntal .....	10
-Desplazamiento de escantillonado .....	10
-Coeficiente de bloque reglamentario .....	10
-Definición de parámetros de movimiento del buque .....	11
-Velocidad de servicio .....	11
-Número de Froude .....	11
-Coeficientes de navegación $n$ , $n_1$ .....	11
-Parámetro de ola .....	11
-Materiales .....	12
-Espesor de corrosión .....	13
<b>4- CARGAS DE DISEÑO</b> .....	13
<b>5- MÓDULO RESISTENTE Y MOMENTO DE INERCIA MÍNIMO POR REGLAMENTO</b> .....	15
-Momentos flectores .....	15
-Momento flector en aguas tranquilas ( $M_s$ ) .....	16
-Momento flector en olas ( $M_w$ ) .....	16
-Módulo resistente mínimo ( $Z$ ) .....	17
-Momento de inercia mínimo ( $I$ ) .....	18
<b>6- ESCANTILLONADO DE LA CUADERNA MAESTRA</b> .....	18
-Estructura del fondo y del doble fondo .....	18

## Cuaderno 8: Cuaderna maestra

Proyecto n° 16-15.

Fernando García-Ganges Icaza



-Descripción de la estructura .....	20
-Cargas de diseño .....	21
-Escantillonado de los elementos .....	22
<b>-Estructura de costado .....</b>	<b>26</b>
-Descripción de la estructura .....	26
-Cargas de diseño .....	27
-Escantillonado de los elementos .....	28
<b>-Estructura de cubiertas .....</b>	<b>36</b>
-Descripción de la estructura .....	36
-Cargas de diseño .....	37
-Escantillonado de los elementos .....	38
<b>-Estructura de mamparos .....</b>	<b>44</b>
-Descripción de la estructura .....	44
-Cargas de diseño .....	44
-Escantillonado de los elementos .....	45
<b>-Resumen del escantillonado .....</b>	<b>49</b>
<b>-Comprobación con DNV Parte 5, Capítulo 6 (Fishing Vessels).....</b>	<b>50</b>
<b>7- CÁLCULO DEL MÓDULO RESISTENTE DE LA CUADERNA MAESTRA .....</b>	<b>51</b>
<b>-Proceso de cálculo .....</b>	<b>51</b>
<b>-Cálculo del módulo resistente .....</b>	<b>53</b>
<b>-Comprobación de los datos obtenidos.....</b>	<b>56</b>



Escola Politécnica Superior



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

*CURSO 2.015-2016*

**PROYECTO NÚMERO 16-15**

**TIPO DE BUQUE : Atunero de 3300 M3**

**CLASIFICACIÓN , COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN : DNV.  
TORREMOLINOS MARPOL COLREG ILO 2006**

**CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA:** Atún congelado a -55°C

**VELOCIDAD Y AUTONOMÍA :** 16,5 nudos en condiciones de servicio al 85% MCR  
y 15% de MM. 6000 millas de autonomía en estas condiciones

**SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA :** Los habituales en este tipo  
de buque

**PROPULSIÓN :** Diesel eléctrica

**TRIPULACIÓN Y PASAJE :** 30 personas en camarotes individuales y dobles

**OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES :** Hélice transversal en proa y popa. Los  
habituales en este tipo de buque

Ferrol, Junio 2.016



## 1-INTRODUCCIÓN

En este cuaderno se va a definir la estructura del buque correspondiente a la cuaderna maestra, mediante el cálculo de los distintos elementos a través del reglamento de una Sociedad de Clasificación.

Los puntos a desarrollar serán los siguientes:

- Descripción de la estructura del buque
- Cargas de diseño
- Cálculo del escantillonado
- Cálculo del módulo resistente y comprobación de requerimientos mínimos establecidos por la Sociedad de Clasificación

Las características del buque proyecto son:

DIMENSIONES

<b>Lt(m)</b>	113,60
<b>Lpp(m)</b>	96,50
<b>B(m)</b>	16,70
<b>Dcp(m)</b>	8,00
<b>Dsup(m)</b>	10,70
<b>Tm(m)</b>	7,20
<b>Fn</b>	0,276
<b>Cb</b>	0,570
<b>Cp</b>	0,588
<b>Cm</b>	0,969
<b>Cf</b>	0,753
<b><math>\Delta</math> (Tn)</b>	6781
<b>Pot (kW)</b>	4750

El reglamento utilizado será la edición del 2012 del Det Norske Veritas, más concretamente las partes:

- Parte 3 (Hull), capítulo 2 (Hull Structural Design, Ships with Length Less than 100 metres)
- Parte 5 capítulo 6 (Fishing vessels)



El procedimiento seguido en el reglamento es el siguiente:

- Primeramente 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
- Seguidamente se procede al cálculo de los parámetros de movimiento del buque, de cara a calcular los esfuerzos que va a tener que soportar. Cada elemento de la estructura estará sometido a unas presiones de diseño, según su situación y según su función dentro de la estructura del buque, por lo que en función de dichas presiones se determinan los escantillones
- Se escantillona la sección maestra del buque proyecto de acuerdo con el reglamento de la Sociedad de Clasificación. Dichos escantillones se calculan con unos coeficientes de seguridad y de corrosión que varían en cada caso concreto
- Calculado todos los elementos, según los criterios del Capítulo 2 de la parte 3, se aplica lo establecido en el Capítulo 5 de la parte 6 para los buques de pesca. En el caso de que los requerimientos adicionales sean más estrictos en cuanto a las dimensiones mínimas obtenidas de los elementos, se deberá modificar lo calculado.
- Obtenido el escantillado de todos los elementos, se procede a calcular el módulo resistente a la flexión de la cuaderna maestra, y el momento de inercia de la sección. Se comprueba que estos superan los requisitos mínimos exigidos por la Sociedad de Clasificación. Si se cumplen dichos requisitos, con cierta holgura, se podría dar un segundo paso en el proceso iterativo. En este segundo paso, se podrían cambiar espesores del material, tipo de materiales, distancias entre los distintos refuerzos de la estructura, etc. Modificando todos estos parámetros de forma que se sigan cumpliendo las exigencias de la Sociedad de Clasificación, se tratará de disminuir la cantidad de material necesario para la estructura y un menor coste de construcción.

## 2-DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura del casco de un buque se compone fundamentalmente de tres elementos básicos:

- Fondo
- Costado



- Cubierta resistente

La estructura del casco debe ser diseñada de tal manera que se garantice una perfecta estanqueidad al interior del buque así como resistir los esfuerzos a los que se ve sometido. Además la estructura debe permitir una adecuada compartimentación interior del mismo.

Los elementos estructurales del casco han de soportar los esfuerzos a los que se ve sometido el buque, tanto con mar agitado como en calma.

En este apartado, se define el tipo de estructura que se suele adoptar en este tipo de buques.

Para analizar la estructura del buque proyecto dividiremos el casco en 6 zonas y se diseñará la estructura de cada zona de acuerdo a sus condiciones de trabajo.

El castillo de proa y el puente no serán objeto de estudio en el proyecto. En estas estructuras se adopta un reforzado transversal, ya que son zonas donde no se producen grandes esfuerzos y porque disponen de gran número de ventanas.

Se ha de considerar que las zonas de proa y popa del casco están sometidas a esfuerzos como los producidos por los golpes de mar y por tanto se sobredimensionan los espesores correspondientes a estas zonas.

En el Cuaderno 4, se indica y se justifica la separación de cuadernas, bulárcamas, mamparos y altura de doble fondo.

### -Zona del doble fondo

La zona del doble fondo, va a adoptar un tipo de estructura transversal. Se dispondrá a lo largo de ella y del resto del buque una quilla de cajón. El acero de ésta y la zona de aparcadura, serán de un espesor mayor con el fin de compensar la disminución de rigidez longitudinal que supone la estructura transversal del doble fondo.

### -Zona de cubas

Las formas en este tipo de buques tienden a ser muy finas, por lo que se ha de procura que el espacio de cubas, comprendido entre el techo del doble fondo y la cubierta principal, sea lo más amplio posible por los siguientes motivos:

- Para evitar que se estropee el pescado al introducirlo en las cubas
- Para reducir las pérdidas caloríficas que supondrían los refuerzos, ya que actuarían como aletas térmicas introduciendo calor en las cubas
- El coste de construcción es más elevado



Los refuerzos que se instalen en esta zona de las cubas, no deben de superar el espesor del aislante instalado en las cubas, que tendrá un espesor aproximado de unos 250 mm y estará condicionada por la disposición de los elementos aislantes que soportan las cubas.

Por todo lo dicho anteriormente esta zona tendrá una estructura de tipo longitudinal porque ofrece un volumen de bodegas mucho más limpio, que permite aprovechar de mejor modo el espacio. También se va a adoptar este tipo de estructura en la zona comprendida entre la cubierta principal y la superior ya que por su distancia al eje neutro esta estructura va a contribuir en gran medida a la resistencia longitudinal del buque.

### -Zona de cámara de máquinas

La zona de cámara de máquinas no está sometida a las mismas condiciones de carga que la zona de cubas, por lo que se va a adoptar una estructura de tipo transversal en la zona situada bajo la cubierta principal.

Si se tiene en cuenta que el buque se puede asimilar a una viga paralelepípedica, los máximos esfuerzos cortantes, en una primera aproximación, se producen a una distancia de proa y popa igual a  $\frac{1}{4}$  de la eslora y con un valor aproximado de 16% del desplazamiento del buque. Por esta razón, en estas zonas, se suele instalar una estructura de tipo transversal en la zona situada bajo la cubierta principal, puesto que este tipo de estructura permite absorber mejor los esfuerzos cortantes.

### -Zona de pique de proa

En esta zona se adoptará estructura transversal por las mismas razones que se acaba de ver en el apartado anterior, aunque se mantendrá este tipo de estructura por encima de la cubierta principal de la zona de proa.

### -Zona de pique de popa

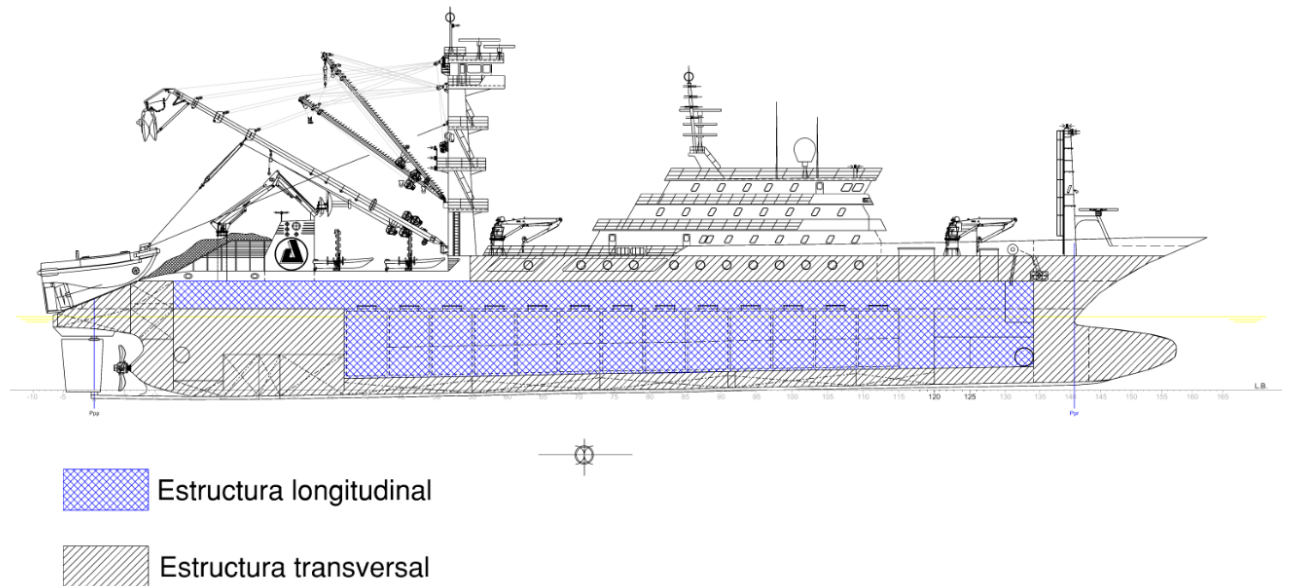
En este caso, teniendo en cuenta que los momentos flectores a los que están sometidas estas zonas son relativamente bajos, se va a optar por una estructura de tipo transversal a lo largo de toda la sección de popa.

### -Zona de entrepuente





Se adoptará una estructura longitudinal entre la cubierta principal y superior así como en la zona del costado comprendida entre ambas cubiertas. Sobre la cubierta superior, en la zona de castillo, será una estructura de tipo transversal, pero esta, como se ha comentado, no se tendrá en cuenta en el estudio.



### 3- PARÁMETROS DE DISEÑO

Para aplicar el reglamento del DNV hay que definir una serie de variables que aparecerán en las expresiones de los cálculos a realizar. Estas variables o definiciones se encuentran en la Parte 3, Cap. 1, Secc. 4.

#### -Dimensiones y parámetros de cálculo

##### -Calado de escantillado

El calado de escantillado es el calado de verano, pero se suele tomar un valor ligeramente mayor para tener un margen ante un posible aumento del peso en rosca, del peso muerto o incremento de calado tras una avería.

Se ha considerado como calado de escantillado el calado de la flotación de proyecto de 7,2 m., ya que permite un margen para cálculo al ser mayor que el calado de verano. Este incremento supondrá un nuevo desplazamiento de 6.811 Tn.



$$T = 7,20 \text{ m}$$

### -Flotación reglamentaria

Para el calado de escantillonado,  $T=7,20 \text{ m.}$ , se extraen los siguientes valores de las hidrostáticas:

Draft Amidships m	7,200
Displacement t	6811
Heel deg	0,0
Draft at FP m	7,200
Draft at AP m	7,200
Draft at LCF m	7,200
Trim (+ve by stern) m	0,000
WL Length m	100,835
Beam max extents on WL m	16,724
Max sect. area m <sup>2</sup>	116,855
Wetted Area m <sup>2</sup>	2289,42
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	1269,51
Prismatic coeff. (Cp)	0,564
Block coeff. (Cb)	0,503
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,952
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,753
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	46,963
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	40,896
KB m	4,007
KG m	7,200
BMt m	3,395
BML m	111,967
GMt m	0,202
GML m	108,774
KMt m	7,402
KML m	115,974
Immersion (TPc) tonne/cm	13,013
KN m	-0,001
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000

### -Eslora de escantillonado

Es la distancia en m., medida al calado de escantillonado, desde la cara de proa de la roda a la parte de popa del codaste popel, o al centro de la mecha del timón si no hay codaste popel. L no ha de ser menor que el 96% y necesariamente no ha de exceder del 97% de la eslora en la flotación al calado T considerado.



$$L_{pp} = 96,50 \text{ m}$$

$$L_f = 100,83 \text{ m}$$

$$L_{min} = 0,96 \times 100,83 = 96,80 \text{ m}$$

$$L_{max} = 0,97 \times 100,83 = 97,80 \text{ m}$$

Al ser menor la  $L_{pp}$  que la  $L_{min}$ , la eslora de escantillonado queda:

$$L = 96,80 \text{ m}$$

#### -Manga de trazado

Es la manga de trazado o manga máxima del buque medida en m. en el centro del buque:

$$B = 16,70 \text{ m}$$

#### -Puntal

Se mide en la mitad de  $L$  desde la cara superior de la quilla hasta la cara superior del bao de la cubierta continua más alta, medido en el costado.

$$D = 10,70 \text{ m}$$

#### -Desplazamiento de escantillonado

Desplazamiento en el calado de escantillonado, en un agua de mar de peso específico 1,025 Tn./m<sup>3</sup>:

$$\Delta = 6811 \text{ Tn}$$

#### -Coeficiente de bloque reglamentario

Es el coeficiente de bloque correspondiente al calado de escantillonado, la eslora de escantillonado, y la manga de trazado:



$$Cb = \frac{\Delta}{1,025 \times L \times B \times T} = 0,571$$

## -Definición de parámetros de movimiento del buque

-Velocidad de servicio

Según el RPA la velocidad de servicio del buque es de 16,5 nudos:

$$Vel = 16,5 \times 0,5144 = 8,49 \text{ m/seg}$$

-Número de Froude

$$Fn = \frac{Vel}{\sqrt{g \times L}} = 0,275$$

-Coeficientes de navegación n, n1

Para navegación sin restricciones se considera igual a 1 en ambos casos

$$n = 1$$

$$n1 = 1$$

-Parámetro de ola

Para buques con L igual o menor a 100 m:

$$CW = 0,0792 \times L = 7,66$$



## -Materiales

No existen unas reglas fijas respecto al material que debe utilizarse, aunque si es de esperar que el material empleado tenga unas características mínimas como son alta resistencia, facilidad de trabajo y su alto grado de soldabilidad.

El acero utilizado en la construcción naval es el acero dulce con un contenido en carbono del 0,15% al 0,23%. Este tipo de acero tiene una gran ventaja y es que posee una buena relación resistencia-peso mientras que el costo del material no es excesivamente elevado.

Las propiedades que se requieren de un acero naval son las siguientes:

- Costo razonable
- Ha de ser fácilmente soldable mediante técnicas y equipos sencillos
- Ductilidad y homogeneidad
- El valor de la tensión correspondiente al punto de fluencia ha de ser un tanto por ciento muy elevado de la máxima tensión admisible
- Composición química adecuada que permita el oxicorte sin que se origine endurecimiento
- Resistencia a la corrosión

Este tipo de aceros dulces son designados por la sociedad de clasificación como Aceros grado A-E.

Las principales propiedades de estos tipos de aceros dulces son:

- Módulo de Young (módulo de elasticidad):  $E = 2,06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2 = 20,60 \text{ Kg./cm}^2$
- Carga de rotura:  $\sigma_R = 400-490 \text{ N/mm}^2 = 4.000 - 4.900 \text{ Kg./cm}^2$
- Límite elástico:  $\sigma_E = 235 \text{ N/mm}^2 = 2.350 \text{ Kg./cm}^2$
- Factor de material: para  $\sigma_E = 235 \text{ N/mm}^2$ ,  $f_1 = 1$ .
- Coeficiente de Poisson:  $\mu = 0,3$
- Alargamiento:  $\epsilon = 22\%$



Para todos aquellos lugares cuya temperatura sea inferior a  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  de temperatura y espesores inferiores a 12,5 mm, como es en el caso de la zona interior de las cubas, se utilizará acero dulce de calidad D/DH:

Table 2.2.3 Grades of steel for minimum design temperatures below 0 C

Minimum design temperature, in $^{\circ}\text{C}$	Thickness, in mm	Grades of steel
0 to $-10$	$t \leq 12,5$ $12,5 < t \leq 25,5$ $t > 25,5$	E/AH D/DH E/EH
$-10$ to $-25$	$t \leq 12,5$ $t > 12,5$	D/DH E/EH
$-25$ to $-40$	$t \leq 12,5$ $t > 12,5$	E/EH FH/LT-FH, see also Pt 2, Ch 3.6

Para el buque de proyecto se va a emplear acero de 6 mm de espesor de calidad D/DH como forro interior de las cubas.

### -Espesor de corrosión

A los cálculos de espesores de plancha hay que añadirles un espesor adicional  $t_k$  en previsión del desgaste por corrosión durante su uso normal. Se utilizará  $t_k = 1$  para la realización de este cuaderno.

## 4- CARGAS 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 a fuerzas externas como el efecto del mar, o bien a las aceleraciones provocadas en cargas internas dentro del casco.

En el reglamento (Parte 3, Cap. 2, Secc. 5, apartado B “Design loads”) establece que las presiones internas y externas que influyen en el escantillonado de las planchas son las siguientes:

- Presiones marinas estáticas y dinámicas
- Presiones estáticas y dinámicas de líquidos en tanques
- Presiones estáticas y dinámicas de carga y equipo



Las presiones marinas de diseño se asume que actúan por la parte exterior de las planchas del buque a pleno calado.

La presión marina que actúa en el costado, fondo y cubierta de abrigo deben ser tomadas como suma de las presiones estáticas y dinámicas, dadas por:

- Por debajo de la línea de francobordo de verano:

$$P_1 = 10 \cdot T + P_{dp} \quad (\text{kN/m}^2) \text{ Para el fondo}$$

$$P_1 = 10 \cdot h_0 + P_{dp} \quad (\text{kN/m}^2) \text{ Para el costado}$$

- Por encima de la línea de francobordo de verano:

$$P_2 = (P_{dp} - (4 + 0,2 \cdot K_s) \cdot h_0) \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$P_2 = \text{mínimo } 6,25 + 0,025L \text{ para costados}$$

$$P_2 = \text{mínimo } 5 \text{ para cubierta de abrigo}$$

Los datos mencionados anteriormente se pueden expresar como:

- La presión  $P_{dp}$  se puede expresar como:

$$P_{dp} = P_1 + 135 \cdot \frac{y}{B + 75} - 1,2 \cdot (T - z) \quad (\text{kN/m}^2)$$

Siendo:

$$P_1 = K_s \cdot C_w + K_f$$

$$\text{Si } \frac{V}{\sqrt{L}} > 1,5 \Rightarrow P_1 = (K_s \cdot C_w + K_f)(0,8 + 0,15 \frac{V}{\sqrt{L}})$$

$$K_s = 3Cb + \frac{2,5}{\sqrt{Cb}} \quad \text{En la PPpp y hacia popa}$$

$$K_s = 2, \text{ entre } 0,2L \text{ y } 0,7L \text{ desde PPpp}$$

$$K_s = 3Cb + \frac{4}{Cb}, \text{ en la PPpr y hacia proa}$$

Entre estos valores  $K_s$  varía linealmente.

- $T$  = calado de reglamento
- $a = 1$  para costados y cubiertas de abrigo hacia proa de  $0,15L$  desde PPpr. =  $0,8$  para el resto de cubiertas de abrigo



- $h_0$  = distancia vertical desde la línea de agua de T hasta el punto de carga (m.)
- $z$  = distancia vertical desde la línea de base hasta el punto de carga (m.)
- $y$  = distancia horizontal desde crujía hasta el punto de carga (m.), mínimo  $B/4$
- $C_w = 0,0792L$  (para buques de  $L < 100$  m.)
- $k_f$  = el menor de T y f
- $f$  = distancia vertical desde el calado hasta parte superior del costado en la sección considerada, máximo  $0,8C_w$

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. Estas son las cargas de la viga buque.

Según la Parte 3, Cap. 2, Secc. 4 (Longitudinal Strength) del Reglamento los elementos de la envolvente exterior del buque se calculan según dos casos:

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

## 5- MÓDULO RESISTENTE Y MOMENTO DE INERCIA MÍNIMO POR REGLAMENTO

Una vez se tenga diseñada la cuaderna maestra, se hará una comprobación de los valores del módulo resistente y del momento de inercia obtenidos, para asegurarse que se superan los valores mínimos exigidos por el reglamento del DNV.

Para obtener el módulo resistente mínimo, se necesita calcular previamente los momentos flectores de diseño en aguas tranquilas y en olas, según la Parte 3, Cap. 2 Secc. 4, de DNV. Como no se comprobará los momentos flectores en las condiciones de carga del buque, se tomarán estos valores mínimos de los momentos flectores, para obtener el módulo resistente mínimo, siguiendo la expresión dada por el reglamento.

### **-Momentos flectores**





Se determinarán los momentos flectores de diseño en aguas tranquilas y momentos flectores de diseño en olas siguiendo, en ambos casos, las expresiones del apartado B de la Parte 3, Cap. 2 Secc. 4, “Longitudinal strength” de DNV.

#### -Momento flector en aguas tranquilas ( $M_s$ )

Los momentos flectores de diseño en aguas tranquilas dentro de 0,4L de la sección media no debe tomarse inferior a:

$$M_{S0} = 0,0052 \cdot L^3 \cdot B \cdot (C_b + 0,7) \quad (\text{kNm})$$

$$M_{S0} = 100.113 \text{ kNm}$$

Fuera de 0,4L de la sección media,  $M_{s0}$  disminuye gradualmente hasta cero, en la PPpr y en la PPpp.

Como se ha comentado anteriormente, se va a tomar el valor de diseño calculado, ya que en este cuaderno no se van estudiar los momentos flectores en las distintas condiciones de carga del buque.

Por tanto:

$$M_s = M_{S0} = 100.113 \text{ kNm}$$

#### -Momento flector en olas ( $M_w$ )

El momento flector inducido por las en la cuaderna maestra está dada por la siguiente expresión:

$$M_{W0} = 0,11 \cdot C_W \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_b + 0,7) \quad (\text{kNm}) \quad \text{en arrufo}$$

$$M_{W0} = 0,19 \cdot C_W \cdot L^2 \cdot B \cdot C_b \quad (\text{kNm}) \quad \text{en quebranto}$$

$C_b$  no debe ser menor de 0,6.

$$M_{W0} = 171.408 \quad (\text{kNm}) \quad \text{en arrufo}$$

$$M_{W0} = 136.647 \quad (\text{kNm}) \quad \text{en quebranto}$$

$M_w$  debe tomarse igual a  $M_{w0}$  entre 0,4L y 0,65L desde la PPpp. Fuera de esta región,  $M_w$  se reduce linealmente hasta cero tanto hacia la PPpr. como a la PPpp.



Del mismo modo que en el caso de  $M_s$ , y según lo comentado, se va a tomar para  $M_w$  el valor de diseño calculado.

Se toma por tanto la situación de arrufo al ser esta la más desfavorable:

$$M_w = M_{w0} = 171.408 \text{ (kNm)}$$

## -Módulo resistente mínimo (Z)

A partir de las expresiones del apartado C de la Parte 3, Cap. 2 Secc. 4, “Longitudinal strength” de DNV., se obtiene una estimación del módulo resistente mínimo con el que se comienza a trabajar para realizar los cálculos estructurales. Posteriormente, una vez que la sección esté completamente definida, se calculará el verdadero módulo resistente de la sección, el cual debe ser mayor al módulo resistente mínimo que se calcula por reglamento.

Tal y como se ha mencionado, los valores de diseño obtenidos para los momentos flectores en aguas tranquilas y en olas, serán las utilizadas en este cuaderno para el cálculo del módulo resistente mínimo de la cuaderna maestra (Z) por reglamento, sin embargo, si en las condiciones de carga del buque se obtienen unos momentos flectores que exceden los valores de diseño calculados, serían estos valores mayores los que se sean usados en la expresión dada por DNV para el cálculo de  $Z_{min}$ , obteniéndose, por consiguiente un incremento del valor, que deberá ser cumplido por el Z real obtenido tras el escantillado de la cuaderna maestra.

En este cuaderno se ha realizado de este modo debido a que no se van a estudiar los momentos flectores en las distintas condiciones de carga del buque, lo cual no implica variación en la metodología o procedimiento de cálculo, sino una simplificación en el proceso de partida.

El módulo resistente de la sección requerido respecto al eje neutro transversal dentro de 0,4L de la sección media, basado en las condiciones de carga está dado por:

$$Z = \frac{M_s + M_w}{175} \cdot 10^3 \text{ (cm}^3\text{)}$$

Los valores mínimos para  $M_s$  y  $M_w$  calculados son:

$$M_s = M_{s0} = 100.113 \text{ (kNm)}$$

$$M_w = M_{w0} = 171.408 \text{ (kNm)}$$

Con estos valores obtenemos:

$$Z = 1.551.549 \text{ cm}^3$$



De todas formas, el módulo de la sección, respecto al eje neutro transversal, no debe ser inferior a:

$$Z_0 = C_{wo} \cdot L^2 \cdot B \cdot (Cb + 0,7) \quad (cm^3)$$

siendo:

- $C_{wo} = 5,7 + 0,022L$ , con valor mínimo 7,0. Este buque no tiene servicio restringido, por lo que no sufrirá ninguna reducción.
- $C_b$  no debe tomarse menor que 0,5.

$$Z_0 = 1,56 \text{ m}^3$$

Por tanto, se toma este último valor obtenido como el  $Z$  mínimo:

$$Z_{\min} = 1,56 \text{ m}^3$$

## -Momento de inercia mínimo (I)

A partir de la expresión de la Parte 3, Cap. 2 Secc. 4, “Longitudinal strength” de DNV., el momento de inercia mínimo en la cuaderna maestra respecto del eje neutro transversal no será inferior a:

$$I_{\min} = 3C_w \cdot L^3 \cdot B \cdot (Cb + 0,7) \text{ cm}^4$$

$$I_{\min} = 442 \cdot 10^6 \text{ cm}^4 = 4,42 \text{ m}^4$$

## 6- ESCANTILLONADO DE LA CUADERNA MAESTRA

Se realizará el cálculo del escantillonado de los distintos elementos según las indicaciones de las distintas secciones de la Parte 3, Cap. 2 del reglamento del DNV.

## -Estructura del fondo y del doble fondo

Se sigue la Parte 3, Cap. 2, Secc. 5 del reglamento del DNV.

La nomenclatura necesaria para este apartado, se muestra a continuación:

## Cuaderno 8: Cuaderna maestra

Proyecto nº 16-15.

Fernando García-Ganges Icaza



- $t$  = espesor de plancha en mm
- $Z$  = módulo de la sección en  $\text{cm}^3$
- $k_a$  = factor de corrección por relación de aspecto:

$$k_a = \left(1,1 - 0,25 \frac{s}{l}\right)^2$$

Siendo el valor máximo 1 y el mínimo 0,72

- $s$  = espacio en metros entre los refuerzos medidos a lo largo de la plancha correspondiente
- $l$  = “luz” de los refuerzos
- $t_k$  = corrección por corrosión, cuyos valores son: 1,5 mm. para tanques de lastre y 1mm. para tanques de carga de gasoil
- $w_k$  = factor de corrección por corrosión en el módulo de la sección en tanques, y cuyo valor es:

$$w_k = 1 + 0,05 t_k$$

- $\sigma$  = tensión nominal admisible en  $\text{N/mm}^2$  debido a la presión lateral

$$\sigma = 235 \text{ N/mm}^2$$

- $Z_B$  = módulo de la sección de la maestra en  $\text{cm}^3$  en el fondo del buque
- $Z_R$  = módulo de la sección de la maestra en  $\text{cm}^3$  según reglamento:

$$Z_R = 1560 \text{ cm}^3$$

- $p$  = presión de diseño en  $\text{kN/mm}^2$
- $T$  = calado de reglamento
- $a = 1$  para costados y cubiertas de abrigo hacia proa de 0,15L desde  $PP_{pr} = 0,8$  para el resto de cubiertas de abrigo
- $h_0$  = distancia vertical desde la línea de agua de  $T$  hasta el punto de carga, (m.)
- $z$  = distancia vertical desde la línea de base hasta el punto de carga, máximo  $T$  (m.)
- $y$  = distancia horizontal desde crujía hasta el punto de carga (m.), mínimo  $B/4$



- $C_w = 0,0792L$  (para buques de  $L < 100$  m.)
- $k_f =$  el menor de  $T$  y  $f$
- $f =$  distancia vertical desde el calado hasta parte superior del costado en la sección considerada, máximo  $0,8C_w$
- $h_s =$  distancia vertical en metros desde el punto de carga hasta el punto más alto del tanque
- $h_p =$  distancia vertical entre el punto de aplicación de la carga y el punto alto de aireación de los tanques
- $\rho =$  densidad de la carga líquida. Normalmente no debe tomarse menor de  $\rho = 1,025 \text{ Tn/m}^3$
- $p_0 = 0,3L - 5$  (kN/m<sup>2</sup>), valor mínimo 10. En este caso  $p_0 = 24,04$  kN/m<sup>2</sup>
- $b =$  manga del tanque en m
- $l =$  eslora total de los tanques en m
- $\Delta p_{\text{dyn}} = 25$  kN/m<sup>2</sup> para tanques de lastre y 0 para otros tanques
- $g_0 = 9,81$  m/seg<sup>2</sup>
- $f_1 =$  factor de material.  $f_1 = 1$

### -Descripción de la estructura

Atendiendo a las dimensiones de la sección, tanto fondo como doble fondo, se reforzará adecuadamente con refuerzos equidistantes entre sí, consiguiendo así un reparto homogéneo de los refuerzos en toda la estructura.

La estructura está reforzada con varengas aligeradas cada 700 mm entre el mamparo de prensaestopas y el de colisión y cada 600 mm en los piques de proa y popa. Los aligeramientos son pasos de hombre de  $600 \times 400$  mm.

El resultado es una estructura transversal, con una quilla de cajón formada por una plancha horizontal en la parte inferior, y dos planchas verticales laterales y en su interior, se dispondrá de consolas transversales coincidentes con todas las varengas.

En el interior del doble fondo, y en la zona de crujía, se dispondrá de una sobrequilla. A cada banda se dispondrán tres vagras, que conectan fondo y doble fondo, la vagra media, situada entre las otras dos, coincidente verticalmente con el mamparo



logitudinal lateral del túnel central entre cubas. Las tres vagras disponen del espacio necesario para los pasos de hombre de 600 x 400 mm.

En la zona de pantoque se dispondrán de consolas transversales con todas las cuadernas.

### -Cargas de diseño

Todas las cargas son medidas en kN/m<sup>2</sup>

- Exteriores:

- Carga por acción del mar:

$$p_1 = 10 T + p_{dp}$$

Siendo  $p_{dp}$ :

$$p_{dp} = p_l + 135 \frac{y}{B + 75} - 1.2 (T - z) \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$P_1 = (K_s \cdot C_W + K_f) \left( 0,8 + 0,15 \frac{V}{\sqrt{L}} \right) \quad \text{si } \frac{V}{\sqrt{L}} > 1,5$$

$k_s = 2$  al estar la cuaderna comprendida entre 0,2L y 0,7L desde Pppp.

- Carga por carga líquida en tanque sobre la chapa de fondo:

$$p_2 = g_0 \rho h_s$$

- Dentro del doble fondo:

- Presión debida a las cargas transportadas en los tanques de carga:

$$p_3 = 1.3 g_0 \rho_c H_C$$



- Carga debida a líquidos en tanque superior:

$$p_4 = 1.3 g_0 \rho h_s$$

$$p_5 = 0.67 (\rho g_0 h_p + \Delta p_{dyn})$$

$$p_6 = \rho g_0 h_s + p_0$$

$$p_7 = \rho g_0 (h_s + 0.3 b)$$

$$p_8 = \rho g_0 (h_s + 0.1 l)$$

- Mínima presión:

$$p_9 = 10 T$$

- Doble fondo y vagras:

- Carga en las fronteras del tanque en el doble fondo:

$$p_{10} = 0.67 (10 h_p + \Delta p_{dyn})$$

$$p_{11} = 10 h_s + p_0$$

#### -Escantillonado de los elementos

- Chapa de apurada:

Se extiende a lo largo de toda la eslora del buque. Su ancho no debe ser menor de:

$$b = 800 + 5L = 1.284 \text{ mm}$$

Su espesor no debe ser menor de:

$$t = 7 + 0,05L + t_k = 12,84 \text{ mm}$$



De este modo el espesor mínimo obtenido para dicha plancha es de 12,84 mm. De todas formas se va a incrementar bastante este espesor porque esta chapa debe tener un espesor mayor que las chapas de fondo, adoptándose un espesor de 16 mm.

$$t = 16 \text{ mm}$$

- Quillote o quilla cajón:

En el reglamento no se escantillona la quilla de cajón. Sólo se escantillona en el caso de tratarse de una quilla de barra. Se adopta para la quilla el mismo espesor que el de la chapa de apadadura.

$$t = 16 \text{ mm}$$

- Planchas de fondo y pantoque:

Su espesor viene dado por:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$$

Siendo  $p$  la máxima presión entre  $p_1$  y  $p_2$  a partir de las expresiones definidas anteriormente:

$$p_1 = 98,09 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 = 12,06 \text{ kN/m}^2$$

Por tanto  $p = p_1 = 98,09 \text{ kN/m}^2$

El valor de  $\sigma$  se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\sigma = 60(Z_B/Z_R) = 120 \text{ N/mm}^2$$

El valor de  $k_a$  se calcula siendo a partir de la siguiente expresión:

$$k_a = \left(1,1 - 0,25 \frac{s}{l}\right)^2 = 1,12, \text{ máximo } 1$$

Siendo  $s = 0,7 \text{ m}$  la separación de los refuerzos a lo largo de la chapa y  $l = 4,2 \text{ m}$  la luz de los refuerzos longitudinales dispuestos cada 6 claras espaciadas 700 mm.

Con estos datos obtenemos en siguiente espesor:





$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k = 10,99 \text{ mm}$$

Como comprobación, el mínimo exigido por el DNV se puede calcular a partir de la expresión que se muestra a continuación:

$$t = 5 + 0,04L + t_k = 9,87 \text{ mm}$$

El cálculo anterior cumple esta condición.

De forma definitiva, se adopta para las chapas de fondo y las chapas de pantoque un espesor de 14 mm. De esta forma se cumplirá, en un principio, las condiciones respecto del espesor de las chapas adyacentes.

$$t = 14 \text{ mm}$$

- Plancha del doble fondo:

Su espesor viene dado por:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$$

Siendo p la mayor de entre las cargas de p<sub>4</sub> a p<sub>8</sub>:

Para estas cargas se ha tomado la densidad de la salmuera (1,26 t/m<sup>3</sup>)

$$P_4 = 101,23 \text{ kN/m}^2$$

$$P_5 = 79,50 \text{ kN/m}^2$$

$$P_6 = 101,91 \text{ kN/m}^2$$

$$P_7 = 132,94 \text{ kN/m}^2$$

$$P_8 = 83,06 \text{ kN/m}^2$$

Por tanto  $p = p_7 = 132,94 \text{ kN/m}^2$

El valor de  $\sigma$  para la zona 0,4L respecto de la cuaderna maestra es de 140 N/mm<sup>2</sup>.

$$k_a = \left(1,1 - 0,25 \frac{s}{l}\right)^2 = 0,96$$



Con estos datos obtenemos en siguiente espesor:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k = 11,77 \text{ mm}$$

Siendo  $s$  la separación de las vagras,  $s = 2,1 \text{ m}$

Como comprobación, se calcula también el valor mínimo que podría tener esta plancha a partir de la siguiente expresión:

$$t = t_0 + 0,03L + t_k = 8,90 \text{ mm}$$

Siendo  $t_0$  una constante que toma el valor de 5,0 en este caso.

Vemos que el cálculo anterior cumple esta condición.

En este caso se toma un valor incrementado final de 14 mm.

$$t = 14 \text{ mm}$$

- Vagras y varengas:

El espesor de estos elementos viene dado por la siguiente expresión:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$$

Siendo  $p$  la mayor de entre las cargas de  $p_9$  a  $p_{11}$ :

$$p_9 = 72 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{10} = 64,32 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{11} = 87,04 \text{ kN/m}^2$$

Por tanto:  $p = p_{11} = 87,04 \text{ kN/m}^2$

El valor de  $\sigma$  para la zona  $0,4L$  respecto de la cuaderna maestra es de  $130 \text{ N/mm}^2$ .

$$k_a = \left(1,1 - 0,25 \frac{s}{l}\right)^2 = 0,96$$



Siendo  $s$  la separación entre vagras,  $s = 2,1$  m

Con estos datos obtenemos en siguiente espesor:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k = 10,05 \text{ mm}$$

Como comprobación, se calcula también el valor mínimo para las varengas y vagras a partir de la siguiente expresión:

$$t = 6 + k L + t_k = 10,87$$

Siendo  $k$  una constante que toma un valor para este caso de 0,04.

Como el valor calculado es menor que el mínimo establecido se utilizará este último.

En este caso se toma el valor redondeado a un espesor comercial por lo que se seleccionan unas varengas y vagras de 12 mm de espesor.

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

- Sobrequilla:

Se tomará el mismo espesor que las vagras, 12 mm.

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

## -Estructura de costado

Se sigue la Parte 3, Cap. 2, Secc. 6 del reglamento del DNV.

Toda la nomenclatura necesaria en este apartado ya ha sido definida en puntos anteriores, por lo que no es necesario definir ninguna más.

### -Descripción de la estructura

La estructura de costado, es de tipo longitudinal. Consta de un forro exterior que va desde el pantoque hasta la cubierta superior.



El forro irá reforzado con perfiles longitudinales espaciados cada 700 mm por debajo de la cubierta principal y cada 675 mm en la zona de entrepuente, que es, atendiendo a las dimensiones del costado, la distancia que permite un reforzado más uniforme.

En la zona de entrepuente, se dispondrán bulárcamas o cuadernas reforzadas cada seis claras de cuaderna (4,2 m.) en toda la zona central.

El diseño de la estructura de costado se realiza siguiendo los mismos objetivos y criterios que la estructuras de fondo.

### -Cargas de diseño

Todas las cargas son medidas en kN/m<sup>2</sup> y se tomarán a 1/3 de las planchas.

- Exteriores:
  - Presión del mar por debajo de calado de verano:

$$p_1 = 10 h_0 + p_{dp} )$$

Siendo  $p_{dp}$ :

$$p_{dp} = p_l + 135 \frac{y}{B + 75} - 1.2 (T - z) \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$P_1 = (K_s \cdot C_W + K_f) \left( 0,8 + 0,15 \frac{V}{\sqrt{L}} \right) \quad \text{si } \frac{V}{\sqrt{L}} > 1,5$$

$k_s = 2$  al estar la cuaderna comprendida entre 0,2L y 0,7L desde PPpp.

- Presión del mar por encima del calado de verano:

$$p_2 = (p_{dp} - (4 + 0.2 k_s) h_0)$$

No pudiendo ser menor este valor al que se obtiene con la siguiente fórmula:

$$6,25 + 0,025L$$

- Interiores:



- Carga o líquido en tanques en general: se toma el valor máximo de las siguientes expresiones:

$$p_3 = k \rho g_0 h_s$$

$$p_4 = \rho g_0 h_s + p_0$$

$$p_5 = 0.67 (\rho g_0 h_p + \Delta p_{\text{dyn}})$$

$$p_6 = \rho g_0 (h_s + 0.3 b)$$

$$p_7 = \rho g_0 (h_s + 0.1 l)$$

#### -Escantillonado de los elementos

- Planchas de costado:

El cálculo del espesor de las plancha de costado, se realiza con la siguiente expresión:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$$

Siendo p la mayor de entre las cargas de p<sub>1</sub> a p<sub>7</sub>.

Dentro de este apartado vamos a distinguir tres zonas:

- Zona próxima al doble fondo:

$$p_1 = 77,42 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 = 8,67 \text{ kN/m}^2$$

$$p_3 = 105,68 \text{ kN/m}^2$$

$$p_4 = 94,49 \text{ kN/m}^2$$

$$p_5 = 72,38 \text{ kN/m}^2$$

$$p_6 = 100,49 \text{ kN/m}^2$$

$$p_7 = 75,64 \text{ kN/m}^2$$

Por lo tanto  $p = p_3 = 105,68 \text{ kN/m}^2$



Para estas cargas se ha tomado la densidad de la salmuera (1,26 t/m<sup>3</sup>)

El valor de  $\sigma$  para la zona 0,4L respecto de la cuaderna maestra es de 120 N/mm<sup>2</sup>.

$$s = 0,7 \text{ m}$$

$$l = 4,2 \text{ m}$$

$$k_a = \left(1,1 - 0,25 \frac{s}{l}\right)^2 = 1,12, \text{ máximo } 1$$

Con estos datos obtenemos en siguiente espesor:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k = 10,38 \text{ mm}$$

Como comprobación, se calcula también el valor mínimo que podría tener esta plancha a partir de la siguiente expresión:

$$t = 5,0 + k L + t_k = 9,87 \text{ mm}$$

Siendo k una constante que vale 0,04 en este caso.

Vemos que el cálculo anterior cumple esta condición.

En este caso se toma un valor incrementado final de la placa de costado n°1 de 13 mm.

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

o Zona intermedia:

$$p_1 = 54,50 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 = 18,068 \text{ kN/m}^2$$

$$p_3 = 57,10 \text{ kN/m}^2$$

$$p_4 = 62,11 \text{ kN/m}^2$$

$$p_5 = 50,76 \text{ kN/m}^2$$

$$p_6 = 68,10 \text{ kN/m}^2$$

$$p_7 = 43,26 \text{ kN/m}^2$$



Por lo tanto  $p = p_6 = 68,10 \text{ kN/m}^2$

Para estas cargas se ha tomado la densidad de la salmuera ( $1,26 \text{ t/m}^3$ )

El valor de  $\sigma$  para la zona  $0,4L$  respecto de la cuaderna maestra es de  $120 \text{ N/mm}^2$ .

$s = 0,7 \text{ m}$

$l = 4,2 \text{ m}$

$$k_a = \left(1,1 - 0,25 \frac{s}{l}\right)^2 = 1,12, \text{ máximo } 1$$

Con estos datos obtenemos en siguiente espesor:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k = 9,33 \text{ mm}$$

Como comprobación, se calcula también el valor mínimo que podría tener esta plancha a partir de la siguiente expresión:

$$t = 5,0 + k L + t_k = 9,87 \text{ mm}$$

Siendo  $k$  una constante que vale  $0,04$  en este caso.

Como el valor calculado es menor que el mínimo establecido se utilizará este último.

En este caso se toma un valor incrementado final de la placa de costado n°2 de  $13 \text{ mm}$ , para tener el mismo espesor que en la placa de costado n°1.

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

○ Zona próxima a la cubierta principal:

$$p_1 = 36,93 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 = 30,74 \text{ kN/m}^2$$

$$p_3 = 20,02 \text{ kN/m}^2$$

$$p_4 = 37,39 \text{ kN/m}^2$$

$$p_5 = 34,23 \text{ kN/m}^2$$



$$p_6 = 43,38 \text{ kN/m}^2$$

$$p_7 = 18,54 \text{ kN/m}^2$$

Por lo tanto  $p = p_6 = 43,38 \text{ kN/m}^2$

Para estas cargas se ha tomado la densidad de la salmuera (1,26 t/m<sup>3</sup>)

El valor de  $\sigma$  para la zona 0,4L respecto de la cuaderna maestra es de 120 N/mm<sup>2</sup>.

$$s = 0,7 \text{ m}$$

$$l = 4,2 \text{ m}$$

$$k_a = \left(1,1 - 0,25 \frac{s}{l}\right)^2 = 1,12, \text{ máximo } 1$$

Con estos datos obtenemos en siguiente espesor:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k = 7,65 \text{ mm}$$

Como comprobación, se calcula también el valor mínimo que podría tener esta plancha a partir de la siguiente expresión:

$$t = 5,0 + k L + t_k = 9,87 \text{ mm}$$

Siendo k una constante que vale 0,04 en este caso.

Como el valor calculado es menor que el mínimo establecido se utilizará este último.

En esta zona tendremos la traca de cinta, en el siguiente punto se realizará el cálculo de su espesor final.

o Zona de entrepuente:

En esta zona del buque no se tienen tanques, por lo que sólo se tendrá en cuenta la presión exterior por encima de la flotación:

$$p_2 = 28,22 \text{ kN/m}^2$$





Por lo tanto  $p = p_2 = 28,22 \text{ kN/m}^2$

El valor de  $\sigma$  para la zona  $0,4L$  respecto de la cuaderna maestra es de  $120 \text{ N/mm}^2$ .

$s = 0,675 \text{ m}$

$l = 4,2 \text{ m}$

$$k_a = \left(1,1 - 0,25 \frac{s}{l}\right)^2 = 1,12, \text{ máximo } 1$$

Con estos datos obtenemos en siguiente espesor:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k = 6,17 \text{ mm}$$

Como comprobación, se calcula también el valor mínimo que podría tener esta plancha a partir de la siguiente expresión:

$$t = 5,0 + kL + t_k = 9,87 \text{ mm}$$

Siendo  $k$  una constante que vale  $0,04$  en este caso.

Como el valor calculado es menor que el mínimo establecido se utilizará este último.

Teniendo en cuenta este resultado, se toma un valor incrementado final de la placa de costado de entrepuente n°1 y n° 2 de  $11 \text{ mm}$ .

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

- Traca de cinta:

La anchura de la traca de cinta no puede ser menor del valor que se obtiene con la relación que se muestra a continuación:

$$b = 800 + 5 \cdot L = 1.284 \text{ mm}$$

Su espesor no debe ser inferior a:

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} = 9,93 \text{ mm}$$



donde:

$t_1$  = espesor de plancha requerido en mm = 9,87 mm

$t_2$  = espesor en la cubierta resistente en mm., que no puede ser menor que  $t_1 = 10$  mm

Finalmente se incrementará el espesor de la traca de cinta hasta 10 mm.

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

- Refuerzos longitudinales de costado:

El módulo requerido para los refuerzos longitudinales de costado viene dada por la siguiente expresión:

$$Z = \frac{83l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} \quad (\text{cm}^3) \quad \text{mínimo } 15\text{cm}^3$$

Distinguimos dos zonas verticales:

- Zona por debajo de la cubierta principal:

Siendo  $p$  la mayor de entre las cargas de  $p_1$  a  $p_7$ , que en este caso se ha determinado anteriormente que es:

$$p = p_3 = 105,68 \text{ kN/m}^2$$

Correspondiente a la zona cercana al doble fondo.

y los valores de  $l$ ,  $\sigma$ ,  $s$  y  $w_k$ :

$$l = 4,20 \text{ m}$$

$$s = 0,70 \text{ m}$$

$$\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$$

$$w_k = 1,05$$

Con estos valores obtenemos un módulo de:

$$Z = \frac{83l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} = 710,78 \text{ cm}^3$$

$$t = 4,5 + k + t_k = 6,47 \text{ mm}$$



$$t = 1,5 + \frac{h_w \sqrt{f_1}}{g} + t_k = 4,9 \text{ mm}$$

Siendo:

$$k = 0,01L = 0,968$$

$h_w$  la altura del perfil en mm = 180 mm

$g = 75$  para perfiles con ala

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para los refuerzos longitudinales de costado por debajo de la cubierta principal un perfil en L de lados iguales de 180×180×20:

$$L \ 180 \times 180 \times 20 \ (W_x = 740 \text{ cm}^3)$$

- Zona de entrepuente:

En este caso el valor de  $p$  será:

$$p = p_2 = 28,22 \text{ kN/m}^2$$

y los valores de  $l$ ,  $\sigma$ ,  $s$  y  $w_k$ :

$$l = 4,20 \text{ m}$$

$$s = 0,675 \text{ m}$$

$$\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$$

$$w_k = 1,05$$

Con estos valores obtenemos un módulo de:

$$Z = \frac{831^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} = 183,02 \text{ cm}^3$$

El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

$$t = 4,5 + k + t_k = 6,47 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 + \frac{h_w \sqrt{f_1}}{g} + t_k = 7,34 \text{ mm}$$

Siendo:



$$k = 0,01L = 0,968$$

$h_w$  la altura del perfil en mm =200 mm

$g = 41$  para perfiles con bulbo

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para los refuerzos longitudinales de la zona de entrepuente un perfil con bulbo  $\square$  de 200×9 mm.

$$\square 200 \times 9 \text{ (} W_x = 225 \text{ cm}^3 \text{)}$$

Se ha decidido instalar este tipo de perfil en la cubierta superior porque dentro de los perfiles que proporcionan el módulo resistente requerido, su instalación es más cómoda y sencilla, además requiere menos tiempo de instalación, lo cual va a influir en el coste final del buque.

- Bulárcamas de entrepuente:

El módulo requerido viene dado por el mayor valor de las siguientes expresiones:

$$Z = 0,55l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k \quad (\text{cm}^3)$$

$$Z = K\sqrt{L} \quad (\text{cm}^3)$$

En este caso el valor de  $p$  será la presión  $p_2$  correspondiente a la zona de entrepuente:

$$p = p_2 = 28,22 \text{ kN/m}^2$$

y el valor de  $k$ ,  $l$ ,  $s$  y  $w_k$ :

$$l = 2,70 \text{ m}$$

$$s = 4,20 \text{ m}$$

$$k = 4,0$$

$$w_k = 1,05$$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = 0,55l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k = 498,98 \text{ cm}^3$$

$$Z = K\sqrt{L} = 39,35 \text{ cm}^3$$

Se toma el mayor de los dos:



$$Z = 498,98 \text{ cm}^3$$

El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

$$t = 4,5 + k + t_k = 6,47 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 + \frac{h_w \sqrt{f_1}}{g} + t_k = 7,83 \text{ mm}$$

Siendo:

$$k = 0,01L = 0,968$$

$h_w$  la altura del perfil en mm = 400 mm

$g = 75$  para perfiles con ala

Se selecciona para las bulárcamas de entrepuente, un perfil conjunto de chapa 400x9 mm con ala de pletina 160x10 aligerado, para que cumpla el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de costado teniendo en cuenta los aligeramientos. Serán dispuestas cada 6 claras (cada 4,20 m.).

## -Estructura de cubiertas

Se sigue la Parte 3, Cap. 2, Secc. 7 del reglamento del DNV. Toda la nomenclatura necesaria en este apartado ya ha sido definida en puntos anteriores, por lo que no es necesario definir ninguna más.

### -Descripción de la estructura

La estructura de cubierta principal y superior, es de tipo longitudinal. Las cubiertas van de costado a costado, sin brusca. El espacio entre los refuerzos longitudinales es de 700 mm, al igual que los refuerzos verticales de mamparos transversales.

En la cubierta superior, los baos reforzados, acompañando a las bulárcamas de costado, se sitúan cada seis claras de cuaderna.

El diseño de la estructura de cubierta se realiza siguiendo los mismos objetivos y criterios que las estructuras de fondo y costado.



### -Cargas de diseño

Todas las cargas son medidas en kN/m<sup>2</sup> y se tomarán a 1/3 de las planchas.

- Cubierta a la intemperie o superior:

$$p_1 = a (p_{dp} - (4 + 0.2 k_s) h_0) \\ = \text{minimum } 5.0$$

Siendo  $p_{dp}$ :

$$p_{dp} = p_l + 135 \frac{y}{B + 75} - 1.2 (T - z) \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$P_1 = (K_s \cdot C_W + K_f) \left( 0.8 + 0.15 \frac{V}{\sqrt{L}} \right) \quad \text{si } \frac{V}{\sqrt{L}} > 1.5$$

$k_s = 2$  al estar la cuaderna comprendida entre  $0,2L$  y  $0,7L$  desde PPpp.

$a = 0,8$  para cubiertas a la intemperie.

- Cubierta de entrepuente:

Se dividen en: cargas en entrepuente y cargas en tanques.

- Las cargas de diseño en la cubierta de entrepuente según reglamento:

$$p_2 = k g_0 q \\ p_3 = k \rho_c g_0 H_C$$

donde  $q$  representa la carga sobre cubierta expresada en Tn./m<sup>2</sup>

- Cargas debida a líquidos en tanques: se toma el valor máximo de las siguientes expresiones:

$$p_6 = k \rho g_0 h_s \\ p_7 = 0.67 (\rho g_0 h_p + \Delta p_{dyn}) \\ p_8 = \rho g_0 h_s + p_0 \\ p_9 = \rho g_0 (h_s + 0.3 b) \\ p_{10} = \rho g_0 (h_s + 0.1 l)$$



### -Escantillonado de los elementos

- Chapa de trancanil:

El ancho de la chapa de trancanil, no debe ser menor que el valor obtenido de la siguiente expresión:

$$b = 800 + 5 \cdot L = 1.284 \text{ mm}$$

- Plancha de la cubierta principal:

El espesor necesario para este elemento de la sección se debe calcular a partir de la siguiente expresión:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$$

Siendo  $p$  la mayor de entre las cargas que correspondan de  $p_2$  y  $p_3$ , y de  $p_6$  a  $p_{10}$ :

$$p_2 = 14,715 \text{ kN/m}^2$$

$$p_3 = 25,82 \text{ kN/m}^2$$

tomando como  $\rho_c = 0,65 \text{ Tn./m}^3$  y  $H_c = 2,7 \text{ m}$ . la altura entrecubiertas. Se plantea con estos datos, pero sería un caso que nunca se produciría.

$$p_6 = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$p_7 = 23,19 \text{ kN/m}^2$$

$$p_8 = 24,04 \text{ kN/m}^2$$

$$p_9 = 30,03 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{10} = 5,19 \text{ kN/m}^2$$

Por lo tanto  $p = p_9 = 30,03 \text{ kN/m}^2$

El valor de  $\sigma$  para la zona  $0,4L$  respecto de la cuaderna maestra es de  $120 \text{ N/mm}^2$ .



$$s = 0,70 \text{ m}$$

$$l = 4,2 \text{ m}$$

$$k_a = \left(1,1 - 0,25 \frac{s}{l}\right)^2 = 1,12, \text{ máximo } 1$$

Con estos datos obtenemos en siguiente espesor:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k = 6,53 \text{ mm}$$

El valor del espesor no podrá ser inferior al que se obtiene de calcular la siguiente expresión:

$$t = t_0 + kL + t_k = 7,47 \text{ mm}$$

Siendo:

$$t_0 = 5,5$$

$$k = 0,01$$

Como el valor calculado es menor que el mínimo establecido se utilizará este último.

Teniendo en cuenta este resultado, se adopta para la chapa de cubierta principal, un espesor de 10 mm, para que se cumpla la condición de comprobación de espesor de la traca de cinta realizado anteriormente. Además, un incremento de espesor es adecuado, debido a que esta cubierta no dispondrá de cubertada de madera, ni tampoco ningún tipo de proyectado antideslizante, por lo que estará más dispuesta al desgaste por trabajos en el parque de pesca.

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

- Plancha de la cubierta superior:

El espesor necesario para este elemento de la sección se debe calcular a partir de la siguiente expresión:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$$

La p en este caso será p1:





$$p_1 = 16,47 \text{ kN/m}^2$$

El valor de  $\sigma$  para la zona  $0,4L$  respecto de la cuaderna maestra es de  $160 \text{ N/mm}^2$ .

$$s = 0,70 \text{ m}$$

$$l = 4,2 \text{ m}$$

$$k_a = \left(1,1 - 0,25 \frac{s}{l}\right)^2 = 1,12, \text{ máximo } 1$$

Con estos datos obtenemos en siguiente espesor:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k = 4,54 \text{ mm}$$

El valor del espesor no podrá ser inferior al que se obtiene de calcular la siguiente expresión:

$$t = t_0 + t_k = 6,5 \text{ mm}$$

Siendo:

$$t_0 = 5,5$$

Como el valor calculado es menor que el mínimo establecido se utilizará este último.

Se toma como espesor un valor incrementado, igual al tomado para la cubierta principal por los mismos motivos. Además, como la cubierta no dispone de brusca, con un mayor espesor se evita imperfecciones en la superficie por deformación debida a la soldadura, evitando así acumulaciones locales de agua sobre cubierta.

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

- Refuerzos longitudinales de cubierta principal:

El módulo requerido para los refuerzos longitudinales de cubierta superior viene dada por la siguiente expresión:

$$Z = \frac{83l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} \text{ (cm}^3\text{) mínimo } 15\text{cm}^3$$

Siendo  $p$  la mayor de entre las cargas que correspondan de  $p_2$  y  $p_3$ , y de  $p_6$  a  $p_{10}$ :



La presión para este caso será la  $p$  para el cálculo de la chapa de cubierta principal:

$$\text{Por lo tanto } p = p_9 = 30,03 \text{ kN/m}^2$$

y el valor de  $l$ ,  $\sigma$ ,  $s$  y  $w_k$ :

$$s = 0,7 \text{ m}$$

$$l = 4,2 \text{ m}$$

$$\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$$

$$w_k = 1,05$$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = \frac{83l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} = 201,98 \text{ cm}^3$$

El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

$$t = 4,5 + k + t_k = 6,47 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 + \frac{h_w \sqrt{f_1}}{g} + t_k = 4,9 \text{ mm}$$

Siendo:

$$k = 0,01L = 0,968$$

$h_w$  la altura del perfil en mm = 180 mm

$g = 75$  para perfiles con ala

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para los refuerzos longitudinales de costado por debajo de la cubierta principal un perfil en L de lados iguales de 180×180×18 que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de cubierta. Estos perfiles servirán de apoyo para los aisladores Elecqui que soportan la cuba.

L 180x180x18

- Refuerzos longitudinales de cubierta superior:



El módulo requerido para los refuerzos longitudinales de cubierta superior viene dada por la siguiente expresión:

$$Z = \frac{83l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} \quad (\text{cm}^3) \quad \text{mínimo } 15\text{cm}^3$$

Siendo p la presión para este caso la p para el cálculo de la chapa de cubierta superior:

Por lo tanto  $p = p_1 = 16,47 \text{ kN/m}^2$

y el valor de l,  $\sigma$ , s y  $w_k$ :

$s = 0,7 \text{ m}$

$l = 4,2 \text{ m}$

$\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$

$w_k = 1,05$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = \frac{83l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} = 110,77 \text{ cm}^3$$

El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

$$t = 4,5 + k + t_k = 6,47 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 + \frac{h_w \sqrt{f_1}}{g} + t_k = 6,40 \text{ mm}$$

Siendo:

$$k = 0,01L = 0,968$$

$h_w$  la altura del perfil en mm = 160 mm

$g = 41$  para perfiles con bulbo

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para los refuerzos longitudinales de la zona de entrepuente un perfil con bulbo  $\square$  de 160×9 mm que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de cubierta.

$\square$  160×9



- Baos fuertes de cubierta superior

El módulo requerido para los baos de cubierta superior viene dada por la siguiente expresión:

$$Z = 0,63l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k \text{ (cm}^3\text{) mínimo 15 cm}^3$$

Siendo  $p$  la presión para este caso la  $p$  para el cálculo de la chapa de cubierta superior:

$$\text{Por lo tanto } p = p_1 = 16,47 \text{ kN/m}^2$$

y el valor de  $l$ ,  $s$  y  $w_k$ :

$$s = 4,2 \text{ m}$$

$l = 5,8 \text{ m}$ . máxima luz, que existe entre puntales.

$$w_k = 1,05$$

Con estos valores se obtiene el siguiente módulo:

$$Z = 0,63l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k = 807,18 \text{ cm}^3$$

El valor del espesor del alma y ala de estos refuerzos no debe ser menor que el mayor de los dos siguientes valores:

$$t = 4,5 + k + t_k = 6,47 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 + \frac{h_w \sqrt{f_1}}{g} + t_k = 6,50 \text{ mm}$$

Siendo:

$$k = 0,01L = 0,968$$

$h_w$  la altura del perfil en mm =300 mm

$g = 75$  para perfiles con ala

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para los baos fuertes de cubierta superior, un perfil compuesto por chapa de 300x10 mm con un ala de pletina soldada de 160x10 mm aligerado, que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de cubierta, teniendo en cuenta los aligeramientos. Estarán dispuestas cada 6 claras (cada 4,20 m.).



## -Estructura de mamparos

Se sigue la Parte 3, Cap. 2, Secc. 8 del reglamento del DNV. Toda la nomenclatura necesaria en este apartado ya ha sido definida en puntos anteriores, por lo que no es necesario definir ninguna más.

### -Descripción de la estructura

Se han empleado mamparos planos tanto para los transversales como para los longitudinales. Dispondrán de refuerzos verticales. En el caso de los mamparos transversales, los refuerzos están separados cada 700 mm. En el caso de los mamparos longitudinales, los refuerzos coinciden con la separación de cuadernas, 700 mm en la zona central, y 600 mm en las zonas de popa y de proa. La separación vertical de los refuerzos longitudinales de los mamparos longitudinales será de 700 mm.

En el caso de los mamparos entre cubas, que son los que se estudian en este cálculo de escantillonado, son los catalogados por DNV (Parte 5, Cap. 6, Secc.2, Fishing vessels) como mamparos tipo C (Tank bulkheads), ya que son mamparos para bodegas de carga de pescado a granel del tipo RSW.

El diseño de la estructura de los mamparos se realiza siguiendo los mismos objetivos y criterios que las estructuras de fondo, costado y cubierta.

### -Cargas de diseño

Todas las cargas son medidas en kN/m<sup>2</sup> y se tomarán a 1/3 de las planchas.

- Mamparos estancos:

$$p_1 = 10 h_b$$

- Mamparos de bodegas de carga:

$$p_2 = k \rho_c g_0 K h_c$$

- Mamparos de tanques:

$$p_3 = k \rho g_0 h_s$$

$$p_4 = 0.67 (\rho g_0 h_p + \Delta p_{dyn})$$

$$p_5 = \rho g_0 h_s + p_0$$



$$p_6 = \rho g_0 (h_s + 0.3 b)$$

$$p_7 = \rho g_0 (h_s + 0.1 l)$$

$$p_8 = \rho \left[ 4 - \left( \frac{L}{200} \right) \right] l_b$$

### -Escantillonado de los elementos

- Plancha de mamparo transversal estanco:

Teniendo en cuenta que son mamparos tipo C (Tank bulkheads), el espesor necesario para esta plancha se puede obtener a partir de la expresión:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$$

Siendo p la mayor de entre las cargas que correspondan de p<sub>1</sub> a p<sub>8</sub>:

$$p_1 = 36,50 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 = 37,40 \text{ kN/m}^2$$

$$p_3 = 67,49 \text{ kN/m}^2$$

$$p_4 = 60,04 \text{ kN/m}^2$$

$$p_5 = 75,95 \text{ kN/m}^2$$

$$p_6 = 81,95 \text{ kN/m}^2$$

$$p_7 = 57,10 \text{ kN/m}^2$$

$$p_8 = 18,61 \text{ kN/m}^2$$

Por lo tanto  $p = p_6 = 81,95 \text{ kN/m}^2$

El valor de  $\sigma$  para mamparos estancos de 220 N/mm<sup>2</sup>.

$$s = 0,70 \text{ m}$$

$$l = 6,80 \text{ m}$$

$$k_a = \left( 1,1 - 0,25 \frac{s}{l} \right)^2 = 1,15, \text{ máximo } 1$$



Con estos datos obtenemos en siguiente espesor:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k = 7,75 \text{ mm}$$

El valor del espesor no podrá ser inferior al que se obtiene de calcular la siguiente expresión:

$$t = 5 + kL + t_k = 6,97 \text{ mm}$$

Como se cumple esta condición, se toma como espesor:

$$t = 10$$

- Plancha de mamparo longitudinal estanco:

Teniendo en cuenta que son mamparos tipo C (Tank bulkheads), el espesor de los mamparos longitudinales necesario para esta plancha se puede obtener a partir de la expresión:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$$

Siendo  $p$  la mayor de entre las cargas que correspondan de  $p_1$  a  $p_8$ , se toma la misma que para el mamparo transversal:

$$p = p_6 = 81,95 \text{ kN/m}^2$$

El valor de  $\sigma$  para mamparos longitudinales dentro de  $0,4L$  es de  $160 \text{ N/mm}^2$ .

$$s = 0,70 \text{ m}$$

$$l = 6,80 \text{ m}$$

$$k_a = \left(1,1 - 0,25 \frac{s}{l}\right)^2 = 1,15, \text{ máximo } 1$$

Con estos datos obtenemos en siguiente espesor:

$$t = \frac{15,8k_a \cdot s \cdot \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k = 8,91 \text{ mm}$$



El valor del espesor no podrá ser inferior al que se obtiene de calcular la siguiente expresión:

$$t = 5 + kL + t_k = 6,97 \text{ mm}$$

Como se cumple esta condición, se toma como espesor, redondeando y buscando un espesor comercial:

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

- Refuerzos longitudinales de mamparos longitudinales:

El módulo requerido para los refuerzos longitudinales de los mamparos longitudinales viene dada por la siguiente expresión:

$$Z = \frac{83l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} \text{ (cm}^3\text{) mínimo } 15 \text{ cm}^3$$

Siendo  $p$  la mayor de entre las cargas que correspondan de  $p_1$  a  $p_8$ , se toma la misma que para el mamparo longitudinal:

$$p = p_6 = 81,95 \text{ kN/m}^2$$

y el valor de  $l$ ,  $\sigma$ ,  $s$  y  $w_k$ :

$$l = 4,2 \text{ m}$$

$$\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$$

$$s = 0,70 \text{ m}$$

$$w_k = 1,05$$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = \frac{83l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{\sigma} = 551,18 \text{ cm}^3$$

El espesor del alma y ala de estos elementos no debe ser menor que el mayor de los siguientes valores:

$$t = 4,5 + k + t_k = 6,47 \text{ mm}$$





$$t = 1,5 + \frac{h_w \sqrt{f_1}}{g} + t_k = 5,17 \text{ mm}$$

Siendo:

$$k = 0,01L = 0,968$$

$h_w$  la altura del perfil en mm = 200 mm

$g = 75$  para perfiles con ala

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para los refuerzos longitudinales de los mamparos longitudinales de costado por debajo del eje neutro, un perfil en L de lados desiguales 180x180x15 mm que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de mamparo longitudinal.

- Refuerzos verticales de mamparos transversales:

El módulo requerido para los refuerzos verticales de los mamparos transversales viene dada por la siguiente expresión:

$$Z = \frac{6,25l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{m} \quad (\text{cm}^3)$$

Siendo  $p$  la mayor de entre las cargas que correspondan de  $p_1$  a  $p_8$ , se toma la misma que la adoptada para el cálculo en el mamparo transversal:

$$p = p_6 = 81,95 \text{ kN/m}^2$$

y el valor de  $l$ ,  $m$ ,  $s$  y  $w_k$ :

$$l = 6,80 \text{ m}$$

$$m = 10$$

$$s = 0,70 \text{ m}$$

$$w_k = 1,05$$

Con lo que se obtiene un valor de módulo:

$$Z = \frac{6,25l^2 \cdot s \cdot p \cdot w_k}{m} = 2320,98 \text{ cm}^3$$



El espesor del alma y ala de estos elementos no debe ser menor que el mayor de los siguientes valores:

$$t = 4,5 + k + t_k = 6,47 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 + \frac{h_w \sqrt{f_1}}{g} + t_k = 5,83 \text{ mm}$$

Siendo:

$$k = 0,01L = 0,968$$

$h_w$  la altura del perfil en mm = 250 mm

$g = 75$  para perfiles con ala

Comprobando en un prontuario de materiales, se selecciona para los refuerzos verticales de mamparos transversales, un perfil compuesto por chapa de 250x15 mm con un ala de pletina soldada de 150x15 mm que supera el módulo requerido del perfil con su chapa asociada de mamparo transversal.

## -Resumen del escantillonado

Elemento	t min (mm)	t escogido (mm)	Material escogido	Tipo de acero	Observaciones
Quilla ch. horizontal	-	16	-	Ac. Naval grado A	-
Quilla ch. vertical	-	16	-	Ac. Naval grado A	-
Aparadura	12,84	16	Chapa de 16 mm	Ac. Naval grado A	Ancho exigido = 1284 mm Ancho adoptado = 1400 mm
Pl. fondo 1	10,99	14	Chapa de 14 mm	Ac. Naval grado A	-
Pl. fondo 2	10,99	14	Chapa de 14 mm	Ac. Naval grado A	-
Pl. pantoque 1	10,99	14	Chapa de 14 mm	Ac. Naval grado A	-
Pl. pantoque 2	10,99	14	Chapa de 14 mm	Ac. Naval grado A	-
Pl. doble fondo	11,77	14	Chapa de 14 mm	Ac. Naval grado A	-
Sobrequilla	-	12	Chapa de 12 mm	Ac. Naval grado A	-
Vagras	10,05	12	Chapa de 12 mm	Ac. Naval grado A	aligeramientos de 600 x 400
Varengas	10,05	12	Chapa de 12 mm	Ac. Naval grado A	aligeramientos de 600 x 400
Pl. costado 1	10,38	13	Chapa de 13 mm	Ac. Naval grado A	-
Pl. costado 2	9,87	13	Chapa de 13 mm	Ac. Naval grado A	-
Traca de cinta	9,93	10	Chapa de 10 mm	Ac. Naval grado A	Alto exigido = 1284 mm Alto adoptado = 2000 mm
Pl. costado entrep. 1	9,87	11	Chapa de 11 mm	Ac. Naval grado A	-
Pl. costado entrep. 2	9,87	11	Chapa de 11 mm	Ac. Naval grado A	-
Ref. long. costado	6,47	20	Perfil L 180x180x20	Ac. Naval grado A	-

## Cuaderno 8: Cuaderna maestra

Proyecto n° 16-15.

Fernando García-Ganges Icaza



Ref. long. Costado entrep.	7,34	9	Llanta ¶ 200×9	Ac. Naval grado A	-
Bulárcama entrep.	7,83	9	Pl. Ac. 400×9 mm. Y pletina de 160×10 mm.	Ac. Naval grado A	aligeramientos de 250 x 150
Trancanil	-	10	Chapa de 10 mm	Ac. Naval grado A	Ancho exigido = 1284 mm
Cub. principal	7,47	10	Chapa de 10 mm	Ac. Naval grado A	-
Cub. superior	6,5	10	Chapa de 10 mm	Ac. Naval grado A	-
Ref. long. cub. principal	6,47	18	Perfil L 180×180×18	Ac. Naval grado A	-
Ref. long. cub. superior	6,47	9	Llanta ¶ 160×9	Ac. Naval grado A	-
Baos fuertes cub. superior	6,5	10	Pl Ac. 300×10 mm. y pletina de 160×10	Ac. Naval grado A	aligeramientos de 250 x 150
Mamp. transv.	7,75	10	Chapa de 10 mm	Ac. Naval grado A	-
Mamp. long.	8,91	11	Chapa de 11 mm	Ac. Naval grado A	-
Ref. long. Mamp. long.	6,47	15	Perfil L 180×180×15	Ac. Naval grado A	-
Ref. vertic. Mamp. transversal	6,47	15	Pl Ac. 250×15 mm. y pletina de 150×15	Ac. Naval grado A	-

### -Comprobación con DNV Parte 5, Capítulo 6 (Fishing Vessels)

Se sigue la Parte 5, Cap. 6, Secc. 2 del reglamento del DNV.

Después del cálculo de escantillado para buques de acero de  $L < 100$  m. de DNV, hay que comprobar los datos obtenidos con las particularidades que DNV establece para buques pesqueros.

- En el caso de los mamparos entre cubas, que son los que se estudian en este cálculo de escantillado, son los catalogados en este apartado del reglamento como mamparos tipo C (Tank bulkheads), ya que son mamparos para bodegas de carga de pescado a granel del tipo RSW. Ya se ha tenido en cuenta en el apartado correspondiente de mamparos.
- El espesor del fondo y chapas de costado hasta una altura de 2 m. por encima de la línea de carga, no debe ser menor que:

$$t = \frac{4 + 0,06L}{\sqrt{f_1}} + 2 = 11,81 \text{ mm}$$

Siendo  $f_1$  el factor de material.  $f_1=1$

El espesor  $t$  no es necesario que se tome mayor de 10 mm.

Por lo tanto se cumple este requerimiento.

- El espesor de las chapas de costado por encima de 2 m de la línea de carga, no debe ser menor que la dada en la Parte 3, Cap. 2, Secc. 6. Ya se ha calculado de acuerdo a este apartado de DNV.



- El espesor de las chapas de fondo debe también cumplir con los requerimientos de pandeo dados en la Parte 3, Cap. 2, Secc. 12.

## 7- CÁLCULO DEL MÓDULO RESISTENTE DE LA CUADERNA MAESTRA

Para el cálculo del módulo resistente, se van a seguir las siguientes premisas:

- Se van a considerar aquellos elementos estructurales que contribuyen a la resistencia longitudinal del buque y son continuos en  $0,4L$  en el centro del buque. El reglamento indica que se deben incluir aquellos elementos que se encuentren por debajo de la cubierta resistente por lo que en este caso se ha limitado la cuaderna maestra hasta la cubierta superior. Se considera por tanto las chapas del forro, la quilla de cajón, la cubierta principal y superior, la plancha del doble fondo, y los refuerzos longitudinales (vagrás, esloras, longitudinales en general). Por tanto, no se tienen en cuenta las cuadernas y los baos. Tampoco se tendrá en cuenta el forro interior en chapa de Inox de las cubas, ya que estas no son elementos longitudinales continuos, ni tampoco tienen fin estructural. En el caso de la sobrequilla, 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 de 12 mm
- Se ha de considerar que la superestructura va a contribuir a la resistencia longitudinal del buque de forma positiva, actuando como una reserva a mayores de resistencia del buque
- Como la estructura es simétrica respecto de crujía, se toman en consideración únicamente los elementos en un solo costado, y se multiplican por dos los resultados obtenidos

### **-Proceso de cálculo**

El proceso que se ha seguido para calcular dicho módulo es el siguiente:

- Primeramente, se ha de hacer, una representación en la que se indiquen todos los elementos que se van a considerar en los cálculos de resistencia longitudinal.



- Se hace una tabla:
  - En la primera columna se colocan los elementos longitudinales resistentes
  - Columna de número de elementos
  - En la segunda y tercera columna se definen las dimensiones o escantillones de cada elemento, según el sentido vertical (h) y horizontal (b)
  - En la cuarta columna se pondrá el área de la sección transversal de cada elemento. Para el caso de los perfiles en L o llantas con bulbo que se han empleado en el buque de proyecto, los valores necesarios se han obtenido de prontuarios de estructuras metálicas
  - En la quinta columna, se indican las distancias del centro de gravedad de cada elemento a la línea de base
  - En la sexta columna se indica el momento estático M (momento de primer orden) respecto a la línea de base, que es el producto de la cuarta y quinta columna:

$$M = A \cdot Y_g \text{ (cm}^2 \cdot \text{m)}$$

- En la séptima columna, se multiplica el momento estático M, por la distancia  $Y_g$ . De esta forma se obtiene el momento de inercia de cada elemento respecto a la línea de base (momento de segundo orden):

$$I = M \cdot Y_g \text{ (cm}^2 \cdot \text{m}^2)$$

- En la última columna, se calcula el momento de inercia transversal o momento de inercia propio, respecto al centro de gravedad del elemento:

$$I_0 = \frac{A \cdot h^2}{12} \text{ (cm}^2 \cdot \text{m}^2)$$

- Se calcula el centro de gravedad de la sección o altura del eje neutro. Estará situado a una distancia de la línea de base igual a:

$$y_{EN} = \frac{\sum(A_i \cdot y_{gi})}{\sum A_i}$$

- Se calcula el momento de inercia total respecto al eje X o línea de base:



$$I_{OX} = \sum I_0 + \sum (A_i \cdot y_{gi}^2)$$

- Con  $I_{OX}$ , se calcula el momento de inercia respecto al eje neutro  $I_{EN}$ , que se obtiene mediante el teorema de Steiner:

$$I_{EN} = I_{OX} - y_{gi}^2 \cdot \sum A_i$$

- Se calculan las distancias del fondo y la cubierta resistente (cubierta superior) al eje neutro:  $y_{Fondo}$ ,  $y_{Cubierta}$
- Con estas distancias, se puede calcular el módulo resistente del fondo  $W_{Fondo}$  y el módulo resistente de la cubierta  $W_{Cubierta}$ :

$$W_{Fondo} = \frac{I_{EN}}{y_{Fondo}}$$

$$W_{Cubierta} = \frac{I_{EN}}{y_{Cubierta} - y_{EN}}$$

- A continuación se comprueba el cumplimiento de los valores obtenidos del módulo resistente y del momento de inercia de la sección, que deben ser mayores al valor del módulo resistente mínimo admisible, así como el valor del momento de inercia mínimo de la sección, calculados según el reglamento de DNV, en el punto 6 de este cuaderno

## -Cálculo del módulo resistente

Los símbolos utilizados en la siguiente tabla son:

- $N^\circ$  = número de elementos iguales al considerado
- $h$  = dimensión vertical del elemento
- $b$  = manga del elemento
- $A$  = área

## Cuaderno 8: Cuaderna maestra

Proyecto n° 16-15.

Fernando García-Ganges Icaza



- $Y_g$  = posición vertical del centro de gravedad del elemento, respecto de la línea de base
- $I_o$  = momento de inercia transversal del elemento o inercia propia

Elemento	Nº	h	b	A	Yg	A × Yg	A × Yg <sup>2</sup>	I <sub>o</sub>
		(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(m)	(cm <sup>2</sup> × m)	(cm <sup>2</sup> × m <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> × m <sup>2</sup> )
Quilla ch. horizontal	1	1,60	30,00	48,00	-0,530	-25,440	13,483	0,001
Quilla ch. vertical	1	53,00	1,60	84,80	-0,264	-22,387	5,910	1,985
Aparadura	1	1,60	140,00	224,00	-0,008	-1,792	0,014	0,005
Pl. fondo 1	1	1,40	190,00	266,00	-0,007	-1,862	0,013	0,004
Pl. fondo 2	1	1,40	190,00	266,00	-0,007	-1,862	0,013	0,004
Pl. pantoque 1	1	1,40	150,00	210,00	0,135	28,350	3,827	0,003
Pl. pantoque 2	1	1,40	150,00	210,00	0,574	120,540	69,190	0,003
Pl. doble fondo	1	1,40	775,00	1085,00	1,270	1377,950	1749,997	0,018
Sobrequilla	1	120,00	0,60	72,00	0,600	43,200	25,920	8,640
Vagras	3	100,00	1,20	360,00	0,600	216,00	129,600	30,000
Pl. costado 1	1	250,00	1,30	325,00	1,600	520,000	832,000	169,271
Pl. costado 2	1	250,00	1,30	325,00	4,750	1543,750	7332,813	169,271
Traca de cinta	1	200,00	1,00	200,00	7,000	1400,000	9800,000	66,667
Pl. costado entrep. 1	1	135,00	1,10	148,50	8,675	1288,238	11175,460	22,553
Pl. costado entrep. 2	1	135,00	1,10	148,50	10,025	1488,713	14924,343	22,553
Ref. long. 1 costado	1	2,00	18,00	68,30	1,700	116,110	197,387	0,204

## Cuaderno 8: Cuaderna maestra

Proyecto n° 16-15.

Fernando García-Ganges Icaza



Ref. long. 2 costado	1	2,00	18,00	68,30	2,400	163,920	393,408	0,204
Ref. long. 3 costado	1	2,00	18,00	68,30	3,100	211,730	656,363	0,204
Ref. long. 4 costado	1	2,00	18,00	68,30	3,800	259,540	986,252	0,204
Ref. long. 5 costado	1	2,00	18,00	68,30	4,500	307,350	1383,075	0,204
Ref. long. 6 costado	1	2,00	18,00	68,30	5,200	355,160	1846,832	0,204
Ref. long. 7 costado	1	2,00	18,00	68,30	5,900	402,970	2377,523	0,204
Ref. long. 8 costado	1	2,00	18,00	68,30	6,600	450,780	2975,148	0,204
Ref. long. 9 costado	1	2,00	18,00	68,30	7,300	498,590	3639,707	0,204
Ref. long. 10 costado	1	0,90	20,00	23,60	8,675	204,730	1776,033	0,094
Ref. long. 11 costado	1	0,90	20,00	23,60	9,350	220,660	2063,171	0,094
Ref. long. 12 costado	1	0,90	20,00	23,60	10,025	236,590	2371,815	0,094
Cub. principal	1	1,00	835,00	835,00	7,950	6638,250	52774,088	0,007
Cub. superior	1	1,00	835,00	835,00	10,700	8934,500	95599,150	0,007
Ref. long. cub. principal	11	18,00	1,80	680,90	7,910	5385,919	42602,619	2,057
Ref. long. cub. superior	11	16,00	0,90	195,80	10,620	2079,396	22083,186	0,494
Mamp. long.	1	680,00	0,55	374,00	4,600	1720,400	7913,840	1441,147
Ref. long. 1 Mamp. long.	1	1,50	20,00	52,10	1,700	88,570	150,569	0,159
Ref. long. 2 Mamp. long.	1	1,50	20,00	52,10	2,400	125,040	300,096	0,159
Ref. long. 3 Mamp. long.	1	1,50	20,00	52,10	3,100	161,510	500,681	0,159
Ref. long. 4 Mamp. long.	1	1,50	20,00	52,10	3,800	197,980	752,324	0,159
Ref. long. 5 Mamp. long.	1	1,50	20,00	52,10	4,500	234,450	1055,025	0,159
Ref. long. 6 Mamp. long.	1	1,50	20,00	52,10	5,200	270,920	1408,784	0,159
Ref. long. 7 Mamp. long.	1	1,50	20,00	52,10	5,900	307,390	1813,601	0,159
Ref. long. 8 Mamp. long.	1	1,50	20,00	52,10	6,600	343,860	2269,476	0,159
Ref. long. 9 Mamp. long.	1	1,50	20,00	52,10	7,300	380,330	2776,409	0,159

<b>Total 1/2 sección</b>				<b>8.047,90</b>		<b>38.270,04</b>	<b>298.729,14</b>	<b>1.938,24</b>
<b>Total sección</b>				<b>16.095,80</b>		<b>76.540,08</b>	<b>597.458,29</b>	<b>3.876,48</b>

La posición vertical del eje neutro es:

$$y_{EN} = \frac{\sum(A_i \cdot y_{gi})}{\sum A_i} = 4,80 \text{ m}$$

El momento de inercia en la cuaderna maestra se calcula aplicando el teorema de Steiner, por tanto:

$$I_{EN} = \sum (A_i \cdot y_{gi}^2) + \sum I_0 - y_{gi}^2 \cdot \sum A_i$$

$$I_{EN} = 233.160,706 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^2 = 23,216 \text{ m}^4$$





- Módulo de la cubierta

$$W_{\text{Cubierta}} = \frac{I_{\text{EN}}}{y_{\text{Cubierta}} - y_{\text{EN}}} = 4,001 \text{ m}^3$$

- Módulo del fondo

$$W_{\text{Fondo}} = \frac{I_{\text{EN}}}{y_{\text{Fondo}}} = 4,818 \text{ m}^3$$

A continuación se comparan los valores mínimos dados por la Sociedad de Clasificación y los calculados.

### -Comprobación de los datos obtenidos

Una vez obtenidos los resultados, se ha de comprobar si se cumplen los requisitos mínimos exigidos por la Sociedad de Clasificación.

Como se comenta en el punto 5, no se ha comprobado los momentos flectores en las condiciones de carga del buque, tomándose los valores mínimos de los momentos flectores calculados en ese punto, para obtener el módulo resistente mínimo, según indica el reglamento. Lo adecuado sería obtener los momentos flectores máximos del estudio de las condiciones de carga para obtener un módulo resistente mínimo por reglamento más aproximado a la realidad. De todos modos, se comprobará en este apartado que se cumpla con dicho módulo resistente con holgura, para garantizar el cumplimiento del reglamento.

En el punto 5 de este cuaderno se ha obtenido un módulo resistente mínimo de la sección maestra respecto a la línea neutra, según reglamento:

$$Z_{\text{min}} = 1,56 \text{ m}^3$$

Los valores obtenidos del módulo resistente, tanto para el fondo como para la cubierta después del escantillonado son:

$$Z_{\text{Cubierta}} = 4,001 \text{ m}^3$$

$$Z_{\text{Fondo}} = 4,818 \text{ m}^3$$

Vemos que los dos valores cumplen el mínimo exigido por el reglamento.

## Cuaderno 8: Cuaderna maestra

Proyecto n° 16-15.

Fernando García-Ganges Icaza



La reglamentación también exige que la sección maestra tenga un momento de inercia mínimo respecto al eje neutro real, cuyo valor también fue calculado en el punto 5 de este cuaderno, siendo:

$$I_{\min} = 442 \cdot 10^6 \text{ cm}^4 = 4,42 \text{ m}^4$$

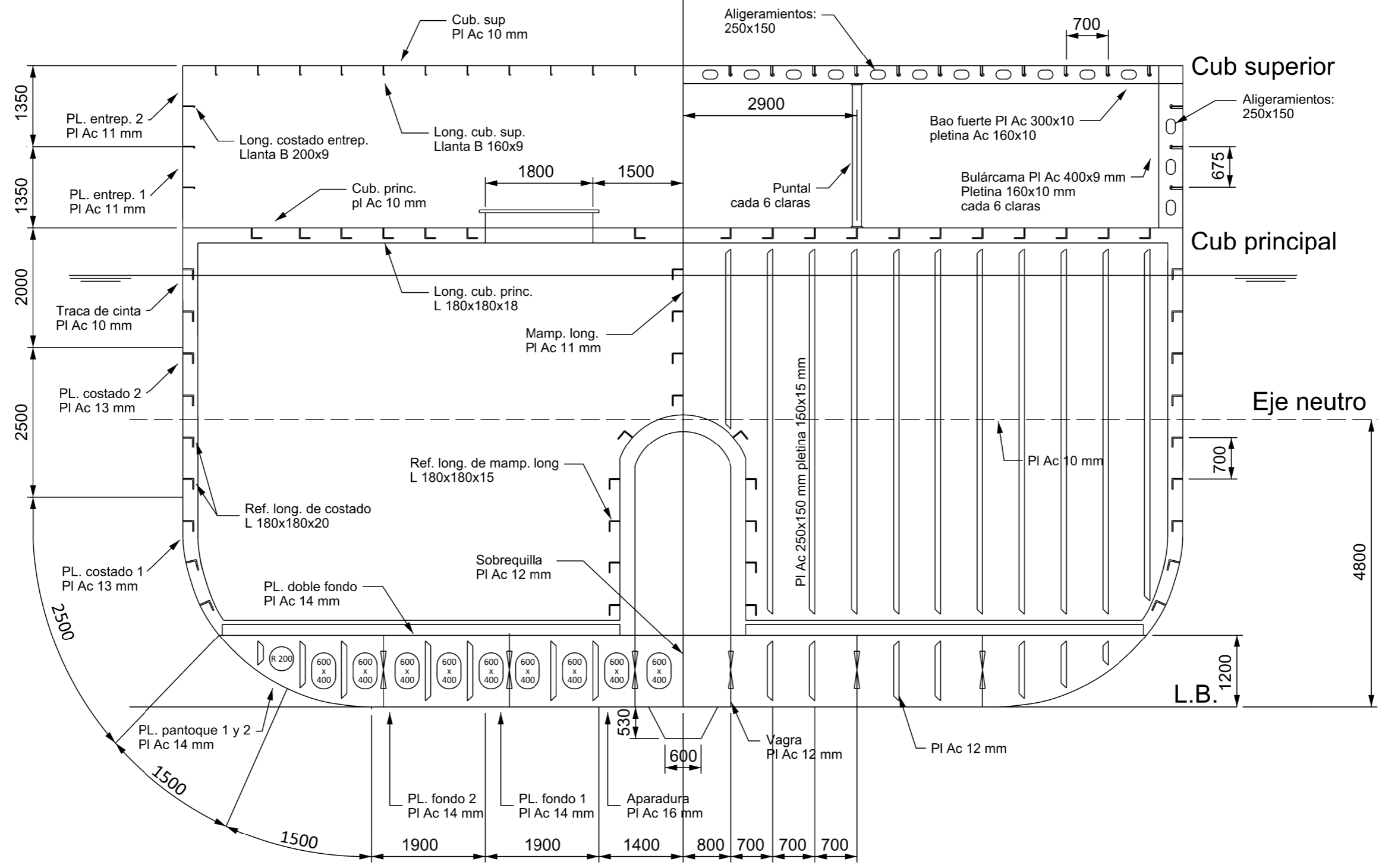
El valor del momento de inercia respecto al eje neutro del buque obtenido para el buque proyecto es:

$$I_{\text{EN}} = 233.160,706 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^2 = 23,216 \text{ m}^4$$

Se verifica que se cumplen los requisitos de la Sociedad de Clasificación.

# ANEXO I

CUADERNA MAESTRA



**CARACTERÍSTICAS**

ESLORA TOTAL .....	113,0 m
ESLORA ENTRE PERPENDICULARES .....	96,5 m
MANGA DE TRAZADO .....	16,7 m
PUNTAL A LA CTA SUPERIOR .....	10,7 m
PUNTAL A LA CTA PRINCIPAL .....	8,0 m
CALADO MEDIO DE TRAZADO .....	7,2 m



Nº PROYECTO: <b>16-15</b>	AUTOR: <b>FERNANDO GARCÍA-GANGES ICAZA</b>
FECHA: <b>2016</b>	NOMBRE DEL PROYECTO: <b>ATUNERO CONGELADOR DE 3300 m3</b>
ESCALA: <b>1:350 A3</b>	NOMBRE DEL PLANO: <b>CUADERNA MAESTRA</b>
<b>HOJA 1 DE 1</b>	