

YATE DE 87m

CUADERNA MAESTRA

Cuaderno 8

Autor: Víctor Jesús Gavín Barberán

Proyecto: 18-105 Yate de lujo de 87m

Contacto: 617 872 329

vj617872329@icloud.com



Escola Politécnica Superior
UNIVERSIDADE DA CORUÑA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA E INGENIERIA INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE MASTER

CURSO 2.017-2.018

PROYECTO NÚMERO 18-105

TIPO DE BUQUE: *YATE DE LUJO DE DESPLAZAMIENTO*

CLASIFICACIÓN , COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN : *BUQUE DE PASAJE, OCEANICO, SOLAS MARPOL MCA. MARPOL*

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: PERSONAS EN CRUCEROS TURÍSTICOS DE GRAN LUJO

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 15 KN A MOTOR DE VELOCIDAD MAXIMA

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: *GRUA A BORDO, JACUZZI, GARAJE PARA MOTOS DE AGUA*

PROPULSIÓN: *UNO O DOS MOTORES DIESEL*

TRIPULACIÓN Y PASAJE: *40 PASAJEROS 20 TRIPULANTES*

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: *GARAJE, HELICE TRASVERSAL PROA, HELIDECK*

ALUMNO: D. VICTOR GAVIN

TUTOR: D. VICENTE DIAZ

Ferrol, Abril de 2018

ÍNDICE

CUADERNO 8

1. Introducción
2. Descripción de la estructura
3. Justificación de escotillones
 - 3.1 Cálculo de espesores mínimos
 - 3.2 Cálculo de presiones de diseño
 - 3.3 Escantillado de elementos estructurales
4. Plano de cuaderna maestra
5. Comprobación de momentos flectores
6. Resistencia longitudinal

Anexos

CUADERNO 8

- I. Minimum thickness requirements: *anexo 8.3.1*
- II. Cuaderna maestra: *anexo 8.4.1*

1 Introducción

El objetivo de este cuaderno es estudiar el comportamiento estructural del buque y definir la estructura necesaria para soportar las cargas a las que será sometido durante su periodo de vida, así como realizar el diseño de la cuaderna maestra.

Se comenzará describiendo, de forma general, el tipo de estructura elegido y las particularidades propias de este tipo de buques.

El siguiente paso será la obtención de los escantillones de elementos estructurales según las reglas de la Sociedad de Clasificación escogida, calculando previamente las presiones de diseño y los valores mínimos admisibles. Con el escantillonado local se obtendrá el valor del módulo de la cuaderna maestra y se comparará con el valor establecido por las reglas de la Sociedad de Clasificación. La definición de la estructura se hará según la Sociedad de Clasificación establecida en los RPA, Lloyd's Register y el reglamento que se aplicará es el "**Special Service Craft**" (SSC).

En cuanto a los materiales empleados en la estructura, lo más habitual en este tipo de barcos es emplear acero de alta resistencia (AH36) en todo el casco y aluminio en la superestructura. El aluminio será del tipo 5083-H111 para las planchas y 6082-T6 para los perfiles.

En la actualidad, la tendencia es ir hacia barcos construidos completamente en aluminio, pero todavía los yates se construyen con la configuración de materiales elegida (casco de acero y superestructura de aluminio). La mayoría de los buques de referencia utilizados, así como el buque de referencia, utilizan esta configuración.

En la publicación: "HIWA SYMPOSIUM de 2008 de James Roy" (Apt. 3) indica que en las configuraciones de casco de acero y superestructura de aluminio, la estructura de aluminio no contribuye significativamente a la resistencia global, así que no se tendrá en cuenta en los cálculos.

El yate estará clasificado con la categoría de área de servicio G6, esto es, sin restricciones.

2 Descripción de la estructura

Una de las primeras decisiones al definir la estructura del buque es el tipo de estructura. La eslora es un factor decisivo a la hora de tomar esta decisión:

- Transversal: está pensado y sería la candidata para un yate de pequeñas dimensiones pero en ningún caso para uno de casi 90 m de L. De elegir esta opción la luz de refuerzos en la cubierta resultaría demasiado grande.
- Longitudinal: más óptima para otro tipo de buques y de dimensiones mayores.
- Mixta: aparentemente se presenta como la mejor candidata y la que mejor se adapta a las necesidades de la estructura de este proyecto. Es la que mejor optimización estructural ofrece.

Se escoge como principal candidato el modelo mixto, con cubiertas formadas por estructura longitudinal con sedación en los refuerzos longitudinales de cubierta de 600mm y estructura transversal en el doble fondo.

Los baos serán perfiles en T y se prestará especial atención para que las dimensiones del perfil tengan un alma suficientemente grande para permitir el paso de instalaciones a través de groeras (tubería, cables, conductos aire, etc...).

3 Justificación de escantillones

El primer paso para calcular los espesores de los diferentes elementos estructurales es definir las dimensiones y parámetros determinados por el SSC.

Eslora de reglamento, LR (Pt3, Ch1.6)

Las dimensiones (indicadas al comienzo del cuaderno) son:

L total: 87,50 m

L en flotación: 78,86 m (al calado de escantillonado)

L entre perpendiculares: 73,00 m

Siendo la eslora de reglamento el máximo valor entre el 96% de la eslora en flotación y el mínimo del 97% de la eslora en flotación y la eslora entre perpendiculares

Mínimo ($0,97 \cdot L_{wl} = 76,494$; $LPP = 73,00$) = 73,000 m

Máximo ($0,96 \cdot L_{wl} = 75,705$; $LPP = 73,00$) = 75,705 m = LR

LR = 75,705 m

Manga de trazado, B (Pt3, Ch1.6)

B = 13,470 m

Calado de escantillonado (T)

T = 4,12 m (+ 200mm margen) = 4,32 m

Como calado de escantillonado se toma el calado real en condición de salida de puerto, calculado en el cuaderno 5 de este proyecto, más un pequeño margen aplicado.

Propiedades acero

El material para el casco que se utilizará es el típico en estos buques, acero de alta resistencia (AH) con las siguientes propiedades:

Propiedades del acero de alta resistencia (AH)

Límite elástico (N/mm ²)	σ_s	355	
Factor alta resistencia acero	K_s	0,662	$(235 / \sigma_s)$
	T_s	204,959	$(\sigma_s / \sqrt{3})$
Módulo de elasticidad (N/mm ²)	E	200000	
Tensión de rotura (N/mm ²)	σ_u	490	
Coefficiente	k_{ms}	0,751	$635 / (\sigma_s + \sigma_u)$

3.1 Cálculo de espesores mínimos

El SSC establece espesores mínimos para los elementos estructurales. Éstos quedan definidos en *Part 6, Chapter 3 Section 2 "Minimum thickness requirements", tabla 3.2.1*. Esta tabla del reglamento se incluye en el anexo 8.3.1.

Los resultados obtenidos han sido:

ZONA	REGLA	ELEMENTO	MINIMO
Shell envelope	Bottom shell plating	Forro fondo	4,75
	Side shell plating	Forro exterior	3,91
Single bottom structure	Centre girder web	-	6,90
	Floor webs	-	5,22
	Side girder webs	-	5,22
Double bottom structure	Centre girder	Quilla vertical	6,90
	Floors and side girders	Vagras / Varengas	5,22
	Inner bottom plating	CUBIERTA: Double bottom	5,22
Deck plating and stiffeners	Strength/Main deck plating	CUBIERTA: Swimming Deck	4,91
	Lower deck/Inside deckhouse	CUBIERTA: Main Deck / Lower Deck	2,83

Anexos incluídos en este apartado:

- Minimum thickness requirements: *anexo 8.3.1*

3.2 Cálculo de presiones de diseño

Antes de calcular los espesores de reglamento, es necesario especificar las presiones de diseño a las que estará sometida la estructura.

Las presiones están definidas en *Pt5, Ch2, Sec 4: Loads on shell envelope* (unidades de presión: kN/m^2).

Los valores necesarios para el cálculo son:

- Gf: 1,25 (Para área de servicio G6)
- Hf: 1,05 (Pt5, Ch4, 2.2.1)
- Sf: 1,1 (Correspondiente a yates)
- δf : 0,5 (Para refuerzos primarios y cuadernas) y 0,8 (Para refuerzos secundarios, locales y baos)

3.2.1 P_s : shell envelope pressure (Ch2, 4.1)

Representa la presión a la que están sometidas las planchas del forro exterior. Se tienen en cuenta las presiones hidrostáticas e hidrodinámicas. Como se observa en la imagen obtenida del SSC, el valor mayor de esta presión se alcanza en la obra viva, siendo su valor igual a la suma de P_h y P_w , presiones hidrostática y de ola respectivamente.

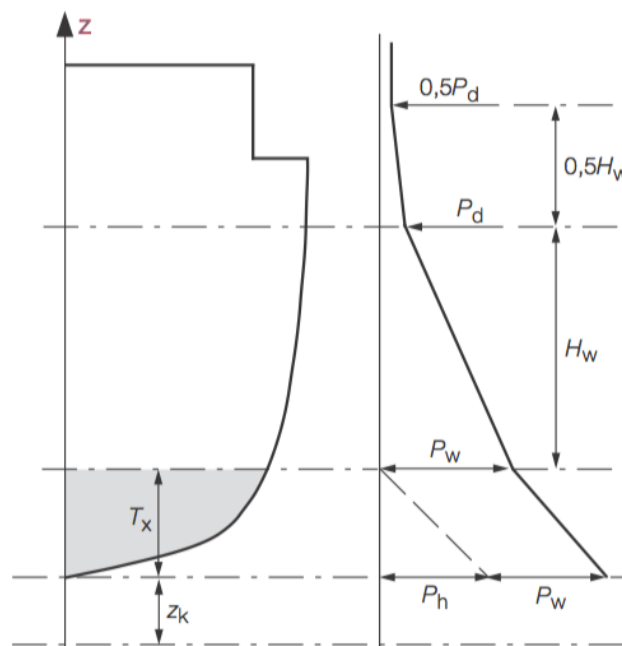


Figure 2.4.1 Combined pressure distribution, P_s

$$P_s = P_h + P_w$$

P_h - Presión hidrostática: $P_h = 10 [T_x - (z - z_k)]$

$$T_x = 4,14 \text{ m}$$

$z = 0$ (plancha del fondo)

$$z_k = 0$$

$$Ph = 41,4 \text{ kN/m}^2$$

Pw - Presión hidrodinámica de olas: $Pw = \max(Pm, Pp)$

$$Pm = 10 fz H_{rm} \text{ (Pt5, Ch2, 4.4)}$$

$$fz = 0,710$$

$$H_{rm} = 7,508$$

$$Pm = 53,25 \text{ kN/m}^2$$

$$Pp = \text{ (Pt5, Ch2, 4.4)}$$

$$Pp = 69,85 \text{ kN/m}^2$$

$$Pw = Pp = 69,85 \text{ kN/m}^2$$

$$Ps = 41,40 + 69,85 = 111,25 \text{ kN/m}^2$$

3.2.2 P_{dh} : impact pressure (Ch2, 5.1)

$P_{df} = P_m =$ ya que, en la cuaderna maestra, Φ_{dh} es cero.

$$P_{dh} = 53,25 \text{ kN/m}^2$$

3.2.3 P_f : forebody impact pressure (Ch2, 5.4)

Analizamos el escantillonado de la cuaderna maestra.

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

3.2.4 P_{cd} : cargo (Ch2, 7.4)

$$P_{cd} = W_{CDP} (1 + 0,5a_x) \text{ kN/m}^2$$

W_{cdp} = carga sobre cubierta especificada por el diseñador = 10 kN/m²

a_x = aceleración vertical (x_a de cuaderna maestra 30 m) (Pt5, Ch2, 3.2.6)

$$a_x = a_v \left(0,86 - 0,32 \frac{x_a}{L_{WL}} + 1,76 \left(\frac{x_a}{L_{WL}} \right)^2 + \xi_a \right)$$

where

a_v = vertical acceleration at LCG in terms of g , as appropriate.

a_x = is the vertical acceleration at distance x_a from AP on the static load waterline, in terms of g

x_a = distance from aft end of the static load waterline, in metres, to the point at which the vertical acceleration is calculated

x_{LCG} = distance from aft end of the static load waterline, in metres, to the LCG

L_{WL} = waterline length, in metres, see Pt 5, Ch 2, 2.1 Parameters to be used for the determination of load and design criteria 2.1.19

$$\xi_a = 0,14 + 0,32 \frac{x_{LCG}}{L_{WL}} - 1,76 \left(\frac{x_{LCG}}{L_{WL}} \right)^2$$

Siendo,

$$a_v = 0,2\Gamma + \frac{34}{L_{WL}} = 0,489$$

$$\Gamma = \frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} = 0,198$$

$$\xi_a = 0,14 + 0,32 \frac{x_{LCG}}{L_{WL}} - 1,76 \left(\frac{x_{LCG}}{L_{WL}} \right)^2 = -0,112$$

$$a_x = 0,439$$

$$\mathbf{Psd = 12,19 \text{ kN/m}^2}$$

3.2.5 P_{wh} : pressure on weather deck (Ch2, 4.5)

$$P_{wh} = f_L(6 + 0,01L_{WL})(1 + 0,05\Gamma) + E \text{ kN/m}^2$$

$f_L = 1,5$ (para cuaderna maestra)

$$E = \frac{0,7 + 0,08L_{WL}}{D - T} = 1,95$$

$$\mathbf{Pwh = 12,18 \text{ kN/m}^2}$$

3.2.6 P_{dhp} : deckhouse, bulkwarks and superstructure pressure (Ch2, 7.1)

$$P_{dhp} = C_1 P_d \text{ kN/m}^2$$

$C_1 = 1,25$ (el valor más conservador)

$P_d = 12,18 \text{ kN/m}^2$ (= P_{wh} , Pt5, Ch2 4.5.1)

$$\mathbf{Pdhp = 15,23 \text{ kN/m}^2}$$

3.2.7 P_{bh} : watertight and deep tank bulkhead pressure (Ch2, 7.2)

Para tanques profundos: $P_b = 11,2 \times h_b \text{ kN/m}^2$

Para mamparos estancos: $P_b = 7,2 \times h_b \text{ kN/m}^2$

Siendo h_b la distancia entre la mitad del tanque y la aspiración en la cubierta principal (6,1m).

Se escoge la presión para tanques profundos por ser mayor la presión.

$$\mathbf{Pbh = 68,32 \text{ kN/m}^2}$$

Se recogen los resultados obtenidos respecto a las presiones de escantillado en la siguiente tabla:

Category/location	Symbol	Plating pressure	Min.	Symbol	Stiffener pressure	Min.
Mono-hull craft						
Bottom shell	Pbp	Greater of: Hf Sf Ps Hf Sf Gf Pdh Hf Sf Gf Pf	128,49 128,49 76,88 0,00	Pbf	Greater of: δf Hf Sf Ps δf Hf Sf Gf Pdh δf Hf Sf Gf Pf	64,25 64,25 38,44 0,00
Side shell	Psp	Pbp	128,49	Psf	δf Pbp	102,80
Components						
Weather deck	Pwdp	Greater of: Hf Sf Gf Pwh Pcd	17,58 17,58 12,19	Pwdf	Greater of: δf Hf Sf Gf Pwh Pcd	14,07 14,07 12,19
Interior deck	Pidp	Greater of: Hf Sf Pwh Pcd	14,07 14,07 12,19	Pidf	Greater of: δf Hf Sf Pwh Pcd	12,19 11,25 12,19
Deckhouses, bulwarks and superstructure	Pdhp	Hf Sf Gf Pdhp	21,99	Pdhf	δf Hf Sf Gf Pdhp	17,59
Inner bottom	Pibp	Hf Sf Pm+Ph	109,32	Pibf	δf Hf Sf Ps	102,80
Watertight and deep tank bulkheads	Pbhp	Pbh	68,32	Pbhf	Pbh	68,32

3.3 Escantillonado de elementos estructurales

Para el escantillonado de los elementos estructurales se emplearán las siguientes ecuaciones 1.16, para planchas y 1.17 para refuerzos (Pt6, Ch3); más otras para determinados refuerzos como “duct keel”, forro quilla...

$$1.16: t_p = 22,4 s \gamma \beta \sqrt{\frac{p}{f_\sigma \sigma_s}} \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

$$1.17: Z = \Phi_Z \frac{p s l_e^2}{f_\sigma \sigma_s} \text{ cm}^3 \quad I = \Phi_I f_\delta \frac{p s l_e^3}{E} \cdot 100 \text{ cm}^4 \quad A_W = \Phi_A \frac{p s l_e}{100 f_\tau \tau_s} \text{ cm}^3$$

Siendo:

- s: separación entre refuerzos (600mm)
- γ : factor corrección curvatura (1 sin curvatura y 0,8925 para el pantoque)
- β : relación de aspecto de planchas (1 para una plancha de $A_R = l/b = 2$)
- Φ_Z, Φ_I, Φ_A : coeficientes de módulo, inercia y área según tabla 3.1.1
- p: presión de diseño
- s: separación entre refuerzos
- l_e : longitud efectiva del refuerzo
- f_σ : coeficiente tensión límite según tabla 7.3.1
- σ_s : límite elástico (355 N/mm²)
- E: módulo de elasticidad (200 000 N/mm²)
- f_τ : coeficiente de deformación límite según tabla 7.3.1

FONDO - Forro:

Regla: Pt6, Ch3, 3.4 y 7.4

Presión de Diseño: $P_{BP} = 128,49 \text{ kN/m}^2$

Fórmula: 1.16

$$t_p = 22,4 s \gamma \beta \sqrt{\frac{p}{f_\sigma \sigma_s}} \cdot 10^{-3}$$

Siendo:

- s: 600mm
- γ : 0,8925
- β : 1
- p: presión de diseño
- f_σ : 0,75
- σ_s : 355 N/mm²

$$t_p = 8,53 \text{ mm} \approx 9 \text{ mm}$$

Será la misma que la plancha del pantoque.

FONDO - Forro quilla:

Regla: Pt6, Ch3, 3.2; 6.2

Fórmula:

$$t_k = \sqrt{k_s} 1,35 L_R^{0,45}$$

Siendo:

- $K_s: 235 / \sigma_s = 0,662$
- $\sigma_s: 355 \text{ N/mm}^2$

$$t_k = 8,67 \text{ mm} \approx 9 \text{ mm}$$

DOBLE FONDO - Plancha:

Regla: Pt6, Ch3, 6.9; 8.6

Presión de diseño: $P_{IBP} = 109,32 \text{ kN/m}^2$

Fórmula: 1.16

Siendo:

$$t_p = 22,4 \text{ s } \gamma \beta \sqrt{\frac{p}{f_\sigma \sigma_s}} \cdot 10^{-3}$$

- $s: 600 \text{ mm}$
- $\gamma: 0,8925$
- $\beta: 1$
- $p: \text{ presión de diseño}$
- $f_\sigma: 0,75$
- $\sigma_s: 355 \text{ N/mm}^2$

$$t_p = 8,69 \text{ mm} \approx 9 \text{ mm}$$

DOBLE FONDO - Varengas*:

Regla: Pt6, Ch3, 6.5

Fórmula:

Siendo:

$$t_w = \sqrt{k_s} (0,05 L_R + 3,5) \text{ mm}$$

- $K_s: 235 / \sigma_s = 0,662$
- $\sigma_s: 355 \text{ N/mm}^2$

$$t_w = 5,89 \text{ mm} \approx 6 \text{ mm}$$

DOBLE FONDO - Vagras*:

Regla: Pt6, Ch3, 6.4

Para mangas superiores a 6 m, el espesor de las vagras será el mismo que las varengas.

$$t_w = 5,89 \text{ mm} \approx 6 \text{ mm}$$

*Como vagras y varengas son frontera de tanque estanco, se escantillonarán como tanques profundos según t_p calculado más arriba. Cuando no sean estancos se utilizara t_w .

COSTADO - Forro sobre la flotación:

(desde 150 mm sobre la flotación Pt6, Ch3, 3.4, 3.4.2)

Regla: Pt6, Ch3, 3.5

Presión de diseño: $P_{BP} = 102,80 \text{ kN/m}^2$

Fórmula: 1.16

$$t_p = 22,4 s \gamma \beta \sqrt{\frac{p}{f_\sigma \sigma_s}} \cdot 10^{-3}$$

Siendo:

- s: 600mm
- γ : 0,8925
- β : 1
- p: presión de diseño
- f_σ : 0,75
- σ_s : 355 N/mm²

$$t_p = 7,55 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

El forro en la traca de cinta (Pt6, Ch3, 3.6) será del mismo espesor que el resto del forro, pero será reforzado localmente en zonas de unión al casco o amuradas (no calculado).

COSTADO - Forro (pantoque hasta flotación):

Regla: Pt6, Ch3, 3.5

Presión de diseño: $P_{BP} = 128,49 \text{ kN/m}^2$

Fórmula: 1.16

$$t_p = 22,4 s \gamma \beta \sqrt{\frac{p}{f_\sigma \sigma_s}} \cdot 10^{-3}$$

Siendo:

- s: 600mm
- γ : 0,8925
- β : 1
- p: presión de diseño
- f_{σ} : 0,75
- σ_s : 355 N/mm²

$$tp = 8,53 \text{ mm} \approx 9 \text{ mm}$$

COSTADO - Bularcama:

Regla: Pt6, Ch3, 4.10

Presión de diseño: $P_{SF} = 102,80 \text{ kN/m}^2$

Fórmula: 1.17 (a), (b) y (c)

Módulo (Z):

$$Z = \Phi_Z \frac{p s l_e^2}{f_{\sigma} \sigma_s}$$

Siendo:

- Φ_Z : 1/12
- l_e : 2,4 m
- p: presión de diseño
- s: 1200 mm
- f_{σ} : 0,65
- σ_s : 355 N/mm²

$$Z = 246,61 \text{ cm}^3$$

Inercia (I):

$$I = \Phi_I f_{\delta} \frac{p s l_e^3}{E} \cdot 100$$

Siendo:

- Φ_I : 1/384
- f_{σ} : 1000
- l_e : 2,4 m
- s: 1200 mm
- E: 200 000 N/mm²

$$I = 2220,48 \text{ cm}^4$$

Área (A_W):

$$A_W = \Phi_A \frac{p s l_e}{100 f_{\tau} \tau_s}$$

Siendo:

- Φ_A : 1/2
- s: 1200 mm
- le: 2,4 m
- f_T : 0,65
- τ_s : 204,959

$$A_W = 11,11 \text{ cm}^2$$

Con estos valores se definen las propiedades mínimas que debe tener el perfil elegido. Un perfil tipo **T 250x12** cumple con estos requisitos.

Característica	Unidades	Cálculo SSC	Perfil seleccionado	
I	cm ⁴	2220,48	T 250 x12	2360
Z	cm ³	128,30		159
Aw	cm ²	11,11		38,13

CUBIERTAS (Main Deck / Lower Deck) - Plancha:

Regla: Pt6, Ch3, 8.2; 8.3; 8.4

Presión de diseño: $P_{WDP} = 17,58 \text{ kN/m}^2$

Fórmula: 1.16

$$t_p = 22,4 \text{ s } \gamma \beta \sqrt{\frac{p}{f_\sigma \sigma_s}} \cdot 10^{-3}$$

Siendo:

- s: 600mm
- γ : 0,8925
- β : 1
- p: presión de diseño
- f_σ : 0,75
- σ_s : 355 N/mm²

$$t_p = 3,08 \text{ mm} \approx 4,5 \text{ mm}$$

Tras revisar los cálculos, se considera aumentar un milímetro el espesor, ya que una chapa de tan poco escantillón no es apta para ser utilizada como plancha de cubierta. De hecho se podrían producir importantes deformaciones al ser soldada. Una solución para optimizar la estructura y aprovechar este aumento en el espesor podría ser aumentar la separación entre refuerzos longitudinales de cubierta.

CUBIERTAS (Swimming Deck) - Plancha:

A pesar de que esta cubierta no es una cubierta exterior, debido a la superestructura (que se extiende de manga a manga), va a ser modelada como cubierta exterior/intemperie con motivo meramente académico.

Regla: Pt6, Ch3, 8.2; 8.3; 8.4

Presión de diseño: $P_{WDP} = 17,58 \text{ kN/m}^2$

Fórmula: 1.16

$$t_p = 22,4 s \gamma \beta \sqrt{\frac{p}{f_\sigma \sigma_s}} \cdot 10^{-3}$$

Siendo:

- s: 600mm
- γ : 0,8925
- β : 1
- p: presión de diseño
- f_σ : 0,75
- σ_s : 355 N/mm²

$$t_p = 3,08 \text{ mm}$$

Se sube el espesor de la chapa de cubierta para cumplir con el mínimo (4,91 mm) a 5 mm.

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

CUBIERTAS - Longitudinales de cubierta:

Regla: Pt6, Ch3, 8.7.2; 8.8

Presión de diseño: $P_{WDP} = 17,58 \text{ kN/m}^2$

Fórmula: 1.17 (a), (b) y (c)

Módulo (Z):

$$Z = \Phi_Z \frac{p s l_e^2}{f_\sigma \sigma_s}$$

Siendo:

- Φ_Z : 1/10
- l_e : 2,4 m
- p: presión de diseño
- s: 600 mm
- f_σ : 0,65

- σ_s : 355 N/mm²

$$Z = 36,33 \text{ cm}^3$$

Inercia (I):

$$I = \Phi_I f_\delta \frac{p s l_e^3}{E} \cdot 100$$

Siendo:

- Φ_I : 1/288
- f_δ : 1000
- l_e : 2,4 m
- s : 600 mm
- E : 200 000 N/mm²

$$I = 253,15 \text{ cm}^4$$

Área (A_W):

$$A_W = \Phi_A \frac{p s l_e}{100 f_\tau \tau_s}$$

Siendo:

- Φ_A : 1/2
- s : 600 mm
- l_e : 2,4 m
- f_τ : 0,65
- τ_s : 204,959

$$A_W = 0,95 \text{ cm}^2$$

Con estos valores se definen las propiedades mínimas que debe tener el perfil elegido. Un perfil tipo **bulbo 160 x 9,5 y T 300 x 150** cumple con estos requisitos.

Característica	Unidades	Cálculo SSC	Perfil seleccionado	
I	cm ⁴	253,15	B 160 x 9,5	371
Z	cm ³	36,33		53,8
A _w	cm ²	0,95		21,06

Característica	Unidades	Cálculo SSC	Perfil seleccionado	
I	cm ⁴	253,15	T 300 x 150	366
Z	cm ³	36,33		42
Aw	cm ²	0,95		29,6

CUBIERTAS - Baos:

Regla: Pt6, Ch3, 8.7.1; 8.8

Presión de diseño: $P_{WDP} = 17,58 \text{ kN/m}^2$

Fórmula: 1.17 (a), (b) y (c)

Módulo (Z):

$$Z = \Phi_Z \frac{p s l_e^2}{f_\sigma \sigma_s}$$

Siendo:

- Φ_Z : 1/24
- l_e : 6,4 m
- p: presión de diseño
- s: 2400 mm
- f_σ : 0,65
- σ_s : 355 N/mm²

$$Z = 312 \text{ cm}^3$$

Inercia (I):

$$I = \Phi_I f_\delta \frac{p s l_e^3}{E} \cdot 100$$

Siendo:

- Φ_I : 1/384
- f_δ : 1000
- l_e : 6,4 m
- s: 2400 mm
- E: 200 000 N/mm²

$$I = 14278,65 \text{ cm}^4$$

Área (A_W):

$$A_W = \Phi_A \frac{p s l_e}{100 f_\tau \tau_s}$$

Siendo:

- Φ_A : 1/2
- s: 2400 mm
- l_e : 6,4 m
- f_T : 0,65
- τ_s : 204,959

$$A_W = 10,13 \text{ cm}^2$$

Con estos valores se definen las propiedades mínimas que debe tener el perfil elegido. Un perfil tipo **T 340 x 20** cumple con estos requisitos.

Característica	Unidades	Cálculo SSC	Perfil seleccionado	
I	cm ⁴	14278,65	T 340 x 20	18604,79
Z	cm ³	312		420,18
Aw	cm ²	10,13		121

PUNTALES - Cubierta Main Deck:

Regla: Pt4, Ch1, 4.4

Área de la sección transversal del puntal

Seguidamente, se va a explicar el proceso que se seguirá para estimar el área que ha de tener la sección transversal del puntal.

En una primera aproximación se pueden estimar el área de la sección mediante la siguiente expresión:

$$A_p = \frac{\sqrt{k} \cdot P}{9,32}$$

Siendo:

- P: carga que soporta el puntal

Con esta área se puede estimar el radio de giro r que corresponde a una sección transversal, cuya área es la que se acaba de estimar.

Conocido este radio de giro r, se puede estimar nuevamente el área de la sección transversal pero empleando ahora esta nueva expresión:

$$A_p = \frac{k \cdot P}{12,36 - 51,5 \cdot \frac{l_e}{r \cdot \sqrt{k}}} \text{ cm}^2$$

Si el área calculada, utilizando este radio de giro, difiere de la primera más de un 10% se tendrá que realizar un nuevo cálculo utilizando el radio correspondiente a esta nueva área.

$$P = \frac{9,81 \cdot S \cdot H_g \cdot l_p}{C} + P_a$$

Siendo:

- $l = 2,70 \text{ m}$
- $l_e = 0,8 \cdot l = 0,8 \cdot 2,70 = 2,16 \text{ m}$
- $k = 1$
- $P_a = 0$ (carga transmitida por los puntales superiores, en esta cubierta no existe)
- $H_g = h_1 = 1,4$
- $l_p = 6,2 \text{ m}$

$$P = 245 \text{ KN}$$

Conocidos todos estos datos, se puede comenzar el proceso iterativo. Se hace una primera estimación del área de la sección: $A_p = 1^{0,5} \cdot 245 / 9,32 = 26,28 \text{ cm}^2$

Con este valor se busca un tubo que tenga un área aproximada. El tubo encontrado tiene las siguientes características:

- $A_p = 28,74 \text{ cm}^2$
- $\Phi = 100 \text{ mm}$
- $I = 764 \text{ cm}^4$

Se calcula el radio de giro correspondiente a esta sección, que viene dado por:

$$r = 10 \cdot \sqrt{\frac{I}{A_p}} \quad r = 53,91 \text{ mm}$$

Se estima que el área correspondiente a nueva sección, resultando $23,79 \text{ cm}^2$.

$$A_p = \frac{k \cdot P}{12,36 - 51,5 \cdot \frac{l_e}{r \cdot \sqrt{k}}} \text{ cm}^2$$

Ahora se comprueba si la diferencia con el área inicialmente estimada supera el 10%.

$$\checkmark \quad \% = (1 - 23,79/26,28) \cdot 100 = 9,47\% < 10\% \text{ CUMPLE}$$

Espesor mínimo de la pared del tubo

El espesor mínimo requerido por la Sociedad de Clasificación para un puntal de sección circular viene dado por el mayor de los siguientes valores:

$$t = \frac{P}{0,392 \cdot d_p - 4,9 \cdot l_e}$$

$$t = \frac{d_p}{40}$$

$$t = 5,5$$

Corresponden:

- $t = 5,08$
- $t = 3,75$
- $t = 5,5$ valor > seleccionado.

Las características del puntal exigidas por la Sociedad de Clasificación son:

- $A_p = 23,79\text{cm}^2$
- $t = 5,5$ mm
- $d_p = 100$ mm

En nuestro caso se instalará un tubo estándar que cumpla estos requisitos exigidos y cuyas características principales son:

- $A = 25,95\text{cm}^2$
- $t = 5,5$ mm
- $d_p = 100$ mm
- $P = 25$ kg/m
- $I = 825$ cm⁴

Estos puntales van a estar espaciados cada 8 claras de cuadernas, haciéndose coincidir con mamparos.

PUNTALES - Cubierta *Lower Deck* & *Crew Deck*:

Regla: Pt4, Ch1, 4.4

Área de la sección transversal del puntal

Seguidamente, se va a explicar el proceso que se seguirá para estimar el área que ha de tener la sección transversal del puntal.

En una primera aproximación se pueden estimar el área de la sección mediante la siguiente expresión:

$$A_p = \frac{\sqrt{k} \cdot P}{9,32}$$

Siendo:

- P: carga que soporta el puntal

Con esta área se puede estimar el radio de giro r que corresponde a una sección transversal cuya área es la que se acaba de estimar.

Conocido este radio de giro r, se puede estimar nuevamente el área de la sección transversal pero empleando ahora esta nueva expresión:

$$A_p = \frac{k \cdot P}{12,36 - 51,5 \cdot \frac{l_e}{r \cdot \sqrt{k}}} \text{ cm}^2$$

Si el área calculada, utilizando este radio de giro, difiere de la primera más de un 10% se tendrá que realizar un nuevo cálculo utilizando el radio correspondiente a esta nueva área.

$$P = \frac{9,81 \cdot S \cdot H_g \cdot l_p}{C} + P_a$$

Siendo:

- l = 2,70 m
- $l_e = 0,8 \cdot l = 0,8 \cdot 2,70 = 2,16$ m
- k = 1
- Pa = en este caso ya no es nula correspondiendo la carga transmitida por el puntal superior
- Hg = h1 = 1,4
- lp = 6,2 m

$$P = 326 \text{ KN}$$

Conocidos todos estos datos, se puede comenzar el proceso iterativo. Se hace una primera estimación del área de la sección: $A_p = 10,5 \cdot 490 / 9,32 = 34,97 \text{ cm}^2$

Con este valor se busca un tubo que tenga un área aproximada. El tubo encontrado tiene las siguientes características:

- $A_p = 34,74 \text{ cm}^2$
- $\Phi = 165 \text{ mm}$
- $I = 1086 \text{ cm}^4$

Se calcula el radio de giro correspondiente a esta sección, que viene dado por:

$$r = 10 \cdot \sqrt{\frac{I}{A_p}} \qquad r = 55,9 \text{ mm}$$

Se estima que el área correspondiente a esta nueva sección, resultando 31,3 cm².

$$A_p = \frac{k \cdot P}{12,36 - 51,5 \cdot \frac{l_e}{r \cdot \sqrt{k}}} \text{ cm}^2$$

Ahora se comprueba si la diferencia con el área inicialmente estimada supera el 10%.

$$- \quad \% = (1 - 31,3/34,97) \cdot 100 = 10,4\% > 10\% \text{ NO CUMPLE}$$

Se realiza una nueva estimación del área, ya que la diferencia entre ambos valores es superior al 10%.

Se considera la sección $A_p = 31,3 \text{ cm}^2$ y se busca un tubo de sección similar con el fin de poder estimar su momento de inercia, se obtiene:

- $A_p = 31,44 \text{ cm}^2$
- $\Phi = 150 \text{ mm}$
- $I = 805 \text{ cm}^4$

Se calcula el radio de giro correspondiente a esta sección correspondiente a 50,6mm.

Se estima nuevamente el área correspondiente a esta sección obteniendo 31,9 cm²

Ahora se comprueba nuevamente si la diferencia con el área inicialmente estimada supera el 10%.

$$\checkmark \quad \% = (1 - 34,97/31,9) \cdot 100 = 1,6\% < 10\% \text{ CUMPLE}$$

Espesor mínimo de la pared del tubo

El espesor mínimo requerido por la Sociedad de Clasificación para un puntal de sección circular viene dado por el mayor de los siguientes valores:

$$t = \frac{P}{0,392 \cdot d_p - 4,9 \cdot l_e}$$

$$t = \frac{d_p}{40}$$

$$t = 5,5$$

Corresponden:

- $t = 6,73$ valor > seleccionado.
- $t = 3,75$

- $t = 5,5$

Las características del puntal exigidas por la Sociedad de Clasificación son:

- $A_p = 31,95\text{cm}^2$
- $t = 6,73 \text{ mm}$
- $d_p = 150 \text{ mm}$

En nuestro caso se instalará un tubo estándar que cumpla estos requisitos exigidos y cuyas características principales son:

- $A = 35,95\text{cm}^2$
- $t = 8 \text{ mm}$
- $d_p = 150 \text{ mm}$
- $P = 28 \text{ kg/m}$
- $I = 902 \text{ cm}^4$

Estos puntales van a estar espaciados cada 8 claras de cuadernas, haciéndose coincidir con mamparos.

Se muestra un cuadro resumen con todos los escantillones calculados:

ESCANTILLONES (mm)				
SITUACIÓN	ELEMENTO	MÍNIMO	CÁLCULO	VÁLIDO
Fondo	Forro	4,75	8,53	9,00
	Forro quilla	4,75	7,67	8,00
Doble Fondo	Plancha	5,22	8,69	9,00
	Varengas	5,22	5,89	6,00
	Vagras	5,22	5,89	6,00
	Quilla vertical	6,90	5,89	7,00
Costado	Forro sobre la flotación	3,91	7,55	8,00
	Forro (pantoque hasta flotación)	3,91	8,53	9,00
Cubiertas	Main Deck	2,83	3,05	3,50
	Lower Deck	2,83	3,05	3,50
	Swimming Deck	3,91	3,08	4,00

Y los perfiles escogidos:

PERFILES					
SITUACIÓN	ELEMENTO	PERFIL		CÁLCULO	VÁLIDO
Costado	Bularcama	T 250 x 12	I	2220,48	2360
			Z	128,3	159
			Aw	11,11	38,13
Cubiertas	Longitudinales de Cubierta	B 160 x 9,5	I	253,15	371
			Z	36,33	53,8
			Aw	0,95	21,06
	Longitudinales de Cubierta	T 300 x 150	I	253,15	366
			Z	36,33	42
			Aw	0,95	29,6
	Baos	T 340 x 20	I	14278,65	18604,79
			Z	312	420,18
			Aw	10,13	121
Puntales	Main Deck	TUBO ESTANDAR 100X5,5	Ap	23,79	25,95
			t	5,5	5,5
			dt	100	100
	Lower Deck	TUBO ESTANDAR 150X8	Ap	31,95	35,95
			t	6,73	8
			dt	150	150
	Crew Deck	TUBO ESTANDAR 150X8	Ap	31,95	35,95
			t	6,73	8
			dt	150	150

Una vez definidos los escantillones de los elementos estructurales y el tipo de estructura aplicado, habría que comprobar los requerimientos de pandeo del SSC (Pt 6; Ch 7; S4). Es posible que se necesiten reforzar algunas partes de la estructura para prevenir fallos por pandeo.

4 Plano de cuaderna maestra

El plano de la cuaderna maestra esta incluido como anexo.

Anexos incluidos en este apartado:

- Cuaderna maestra: *anexo 8.4.1*

5 Comprobación de momentos flectores

Una vez determinado el escantillado de los elementos estructurales que definen la cuaderna maestra, se deberá calcular el módulo y comprobar que éste cumple con el mínimo exigido por el LLOYD'S Register. Los valores de los elementos estructurales son:

Elemento	Escantillón (mm)	Cantidad	Área (cm ²)	Yg (mm)	Área*Yg (cm ³)	Área*Yg ² (cm ⁴)	h equiv (mm)	Io (cm ⁴)	Ixx=Io+A*Yg ²
Vagra central	1780X6	1	106,8	890	9505,2	845962,8	1780	281987,600	1127950,400
Vagra lateral 1	1688X6	1	101,28	800	8102,4	648192	1688	240484,634	888676,634
Chapa de fondo	12291X9	1	1106,19	2,1	232,2999	48,782979	0,9	0,747	49,530
Forro de fondo	6000X9	1	540	371	20034	743261,4	1190	637245,000	1380506,400
Forro de costado inferior	6000X9	1	540	7504	405216	304074086,4	5965	16011551,250	320085637,650
Forro de costado superior	6000X8	1	568	9406	534260,8	502525708,5	4600	10015733,333	512541441,813
Perfiles en bulbo. Cubierta Lower Deck	160X9,5	9	21,06	4378	9220,068	4036545,77	160	371,000	4036916,770
Perfiles en bulbo. Cubierta Main Deck	160X9,5	9	21,06	7721	16260,426	12554674,91	160	371,000	12555045,915
Perfiles en bulbo. Cubierta Swimming Deck	160X9,5	9	21,06	10721	22578,426	24206330,51	160	371,000	24206701,515
Perfiles en T Cubierta Lower Deck	140x140	1	39,9	4378	17468,22	7647586,716	140	366,000	7647952,716
Perfiles en T Cubierta Main Deck	140x140	1	39,9	7721	30806,79	23785922,56	140	366,000	23786288,559
Perfiles en T Cubierta Swimming Deck	140x140	1	39,9	10721	42776,79	45860996,56	140	366,000	45861362,559
Puntales Cubierta Crew Deck	150X8	1	35,67	2975	10611,944	3157053,34	2360	902,000	3157955,340
Puntales Cubierta Lower Deck	150X8	1	35,67	5956	21245,29024	12653694,87	3034	902,000	12654596,867
Puntales Cubierta Main Deck	100X5,5	1	25,62	9131	23395,81344	21362717,25	2715	825,000	21363542,252
Chapa Cubierta Lower Deck	12815 X 3.5	1	448,525	4434	198875,985	88181611,75	3,5	4,579	88181616,328
Chapa Cubierta Main Deck	13376X3.5	1	468,16	7774	363947,584	282932851,8	3,5	4,779	282932856,581
Chapa Cubierta Swimming Deck	13380X4	1	4683	10783	5049678,9	5445068758	4	62,440	5445068820,310
Perfil en bulbo de costado 1	160X9,5	1	21,06	2405	5064,93	1218115,665	9,5	371,000	1218486,665
Perfil en bulbo de costado 2	160X9,5	1	21,06	2986	6288,516	1877750,878	9,5	371,000	1878121,878
Perfil en bulbo de costado 3	160X9,5	1	21,06	3590	7560,54	2714233,86	9,5	371,000	2714604,860
Perfil en bulbo de costado 4	160X9,5	1	21,06	4179	8800,974	3677927,035	9,5	371,000	3678298,035
Perfil en bulbo de costado 5	160X9,5	1	21,06	4776	10058,256	4803823,066	9,5	371,000	4804194,066
Perfil en bulbo de costado 6	160X9,5	1	21,06	5364	11296,584	6059487,658	9,5	371,000	6059858,658
Perfil en bulbo de costado 7	160X9,5	1	21,06	5972	12577,032	7511003,51	9,5	371,000	7511374,510
Perfil en bulbo de costado 8	160X9,5	1	21,06	6576	13849,056	9107139,226	9,5	371,000	9107510,226
Perfil en bulbo de costado 9	160X9,5	1	21,06	7174	15108,444	10838797,73	9,5	371,000	10839168,726
Perfil en bulbo de costado 10	160X9,5	1	21,06	8364	17614,584	14732838,06	9,5	371,000	14733209,058
Perfil en bulbo de costado 11	160X9,5	1	21,06	8960	18869,76	16907304,96	9,5	371,000	16907675,960
Perfil en bulbo de costado 12	160X9,5	1	21,06	9596	20209,176	19392725,29	9,5	371,000	19393096,290
Perfil en bulbo de costado 13	160X9,5	1	21,06	10171	21420,126	21786410,15	9,5	371,000	21786781,155
SUMATORIOS			9115,5782		6952934,915				6928110298,221

Situación del Eje Neutro	Yeje neutro=	762,8	cm
Inercia en el Eje Neutro	Ien=	3249476215,40	cm ⁴

Módulo en cubierta resistente=	17353959,09	cm ³
Módulo en el fondo=	4260194,424	cm ³

Donde, el eje neutro viene dado por:

$$Y_{EN} = \frac{\sum A_i * y_{Gi}}{\sum A_i}$$

$$Y_{en} = 0,762 \text{ m}$$

El W_{fondo} :

$$W_{lb} = \frac{\sum I_{lbi}}{Y_{EN}} = \frac{\sum (I_0 + A \cdot y_g^2)}{Y_{EN}}$$

$$W_{fondo} = 4,26 \text{ m}^3$$

El $W_{cubierta}$:

$$W_{cta} = \frac{\sum I_{lbi}}{D - Y_{EN}} = \frac{\sum (I_0 + A \cdot y_g^2)}{D - Y_{EN}}$$

$$W_{cubierta} = 17,35 \text{ m}^3$$

Según la Parte 6, Capítulo 6 Párrafo 2.3 del Código:

2.3 Minimum hull section modulus

2.3.1 For patrol craft in Service Group G6, the hull midship modulus about the transverse neutral axis, at the deck or the keel, is to be not less than:

$$Z_{\min} = \eta_{HTS} L_f L_R^2 B_{WL} (C_b + 0,7) \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

where

η_{HTS} = is as defined in Pt 6, Ch 2, 2.4 Mechanical properties for design

L_R and L_f = are as given in Pt 5, Ch 2, 2.2 Symbols

C_b

C_b = to be taken not less than 0,6

L_f = are as given in Pt 5, Ch 2, 2.2 Symbols

B_{WL} = maximum breadth at the design waterline, in metres.

Siendo:

- $\eta_{HTS} = 0.919$ para un 355 / según lo establecido en la Parte 6, Capítulo 2, Párrafo 2.4:

Table 2.2.1: Higher tensile steel concentration factor η_{HTS}

Specified minimum yield stress in N/mm ²	η_{HTS}
235	1,000
265	0,964
315	0,956
340	0,934
355	0,919

Note Intermediate values may be obtained by linear interpolation.

- $L_f = 0.0412 \times L_r + 4 = 7,119$
- $L_r = 75,705 \text{ m}$
- $C_b = 0,61$
- $B_{wl} = 13,21 \text{ m}$

$$Z_{\min} = \eta_{HTS} * L_f * L_R^2 * B_{WL} * (C_b + 0.7) * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\mathbf{Z_{min} = 0,6488 m^3}$$

El módulo obtenido en este apartado es inferior al módulo de la cuaderna maestra calculado.

Este resultado indica que el dimensionamiento del escantillado de los elementos de la cuaderna maestra realizados en el este cuaderno cumplen con lo requerido por la Sociedad de Clasificación.

6 Resistencia longitudinal

En este apartado se realizará la comprobación de la resistencia longitudinal del buque en las condiciones de carga definidas en el Cuaderno 5.

El objetivo de este apartado es demostrar que para la condición de carga más desfavorable, la envolvente de los momentos flectores en las distintas condiciones de carga no supera los valores máximos definidos por la Sociedad de Clasificación.

Las condiciones de carga estudiadas en el Cuaderno 5 son las siguientes:

- Salida de puerto
- Situación intermedia
- Llegada a puerto

Para realizar la comprobación de la resistencia longitudinal del buque de proyecto se determinarán los momentos flectores en una serie de puntos del buque. Las solicitaciones reales del buque en dichos puntos de control y para cada una de las condiciones de carga estudiadas se obtendrán mediante el programa informático Maxsurf como ya se realizó en anteriores cuadernos. También se tendrá en cuenta el peso en rosca determinado en anteriores cuadernos.

Momentos flectores

Se llevará a cabo el cálculo de los momentos flectores en aguas tranquilas y en olas, tanto para la condición de arrufo como para la de quebranto.

La obtención de los **momentos flectores en aguas tranquilas** se realizará con el programa Maxsurf para las diferentes condiciones de carga.

La obtención de los **momentos flectores en olas** se obtendrá siguiendo las reglas de la sociedad de clasificación.

Finalmente, mediante la superposición de ambos momentos, se obtendrán los momentos flectores máximos que actúan sobre cada una de las secciones del buque proyecto (envolvente de momentos flectores máximos). De esta forma se obtendrá el módulo mínimo requerido para la sección maestra y se comprobará que no sea mayor que el obtenido en el diseño.

Momentos flectores por olas

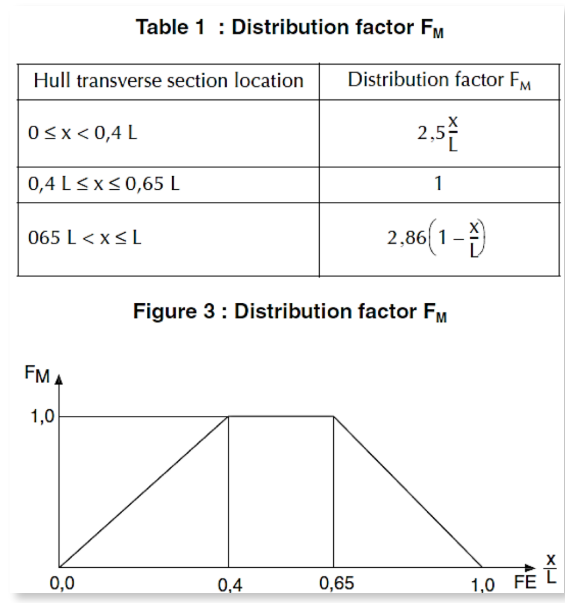
Según se indica en el reglamento: Pt B, Ch 5, Sec. 2 HULL GIRDER LOADS, los momentos flectores distribuidos debidos a olas, en quebranto y arrufo, en kN/m, se calculan aplicando las siguientes formulas:

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

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

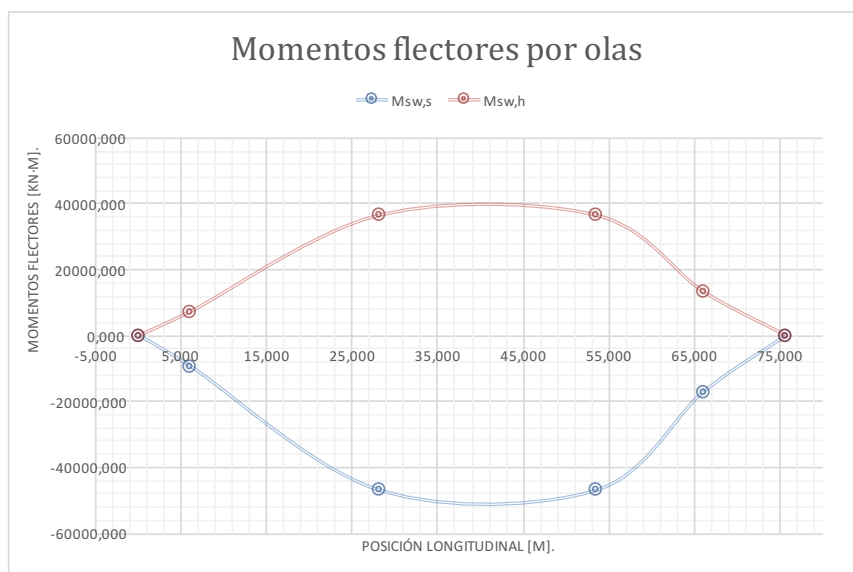
Donde F_M es el factor de distribución del momento flector a lo largo de la eslora del buque,

determinado por las siguientes expresiones:



Resultando y representado:

Sección	Posición longitudinal [m]	FM	Hogging conditions (Quebranto) [kN·m]	Sagging conditions (Arrufo) [kN·m]
Estampa	0,000	0,000	0,000	0,000
Pique de popa	6,000	0,198	7281,968	-9304,003
Cámara maquinas proa	28,200	1,000	36752,092	-46957,301
Cofferdam	53,400	1,000	36752,092	-46957,301
Mamparo estanco	66,000	0,367	13474,699	-17216,312
Pique de proa	75,705	0,000	0,000	0,000



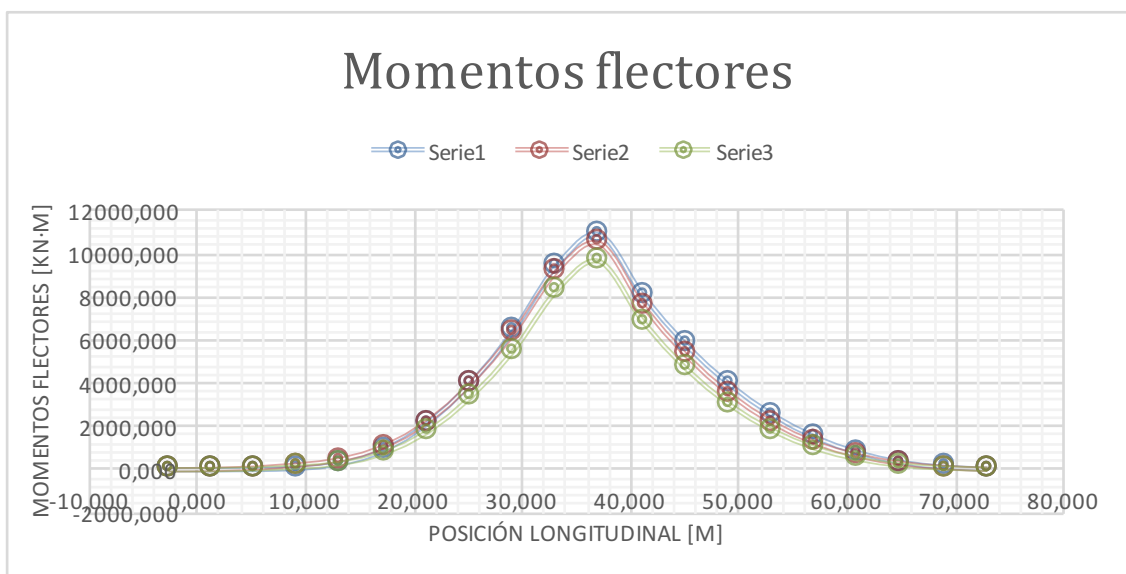
Momentos flectores en aguas tranquilas

En este apartado se calculará la envolvente real de los momentos flectores en aguas tranquilas, según las condiciones de carga estudiadas en el Cuaderno 5.

Se definirá una envolvente formada por los valores máximos y mínimos obteniendo dos curvas correspondientes a las situaciones de arrufo y quebranto, que indicarán cuáles son los máximos momentos flectores en aguas tranquilas a lo largo de la eslora. Para realizar los cálculos se utiliza el programa Maxsurf.

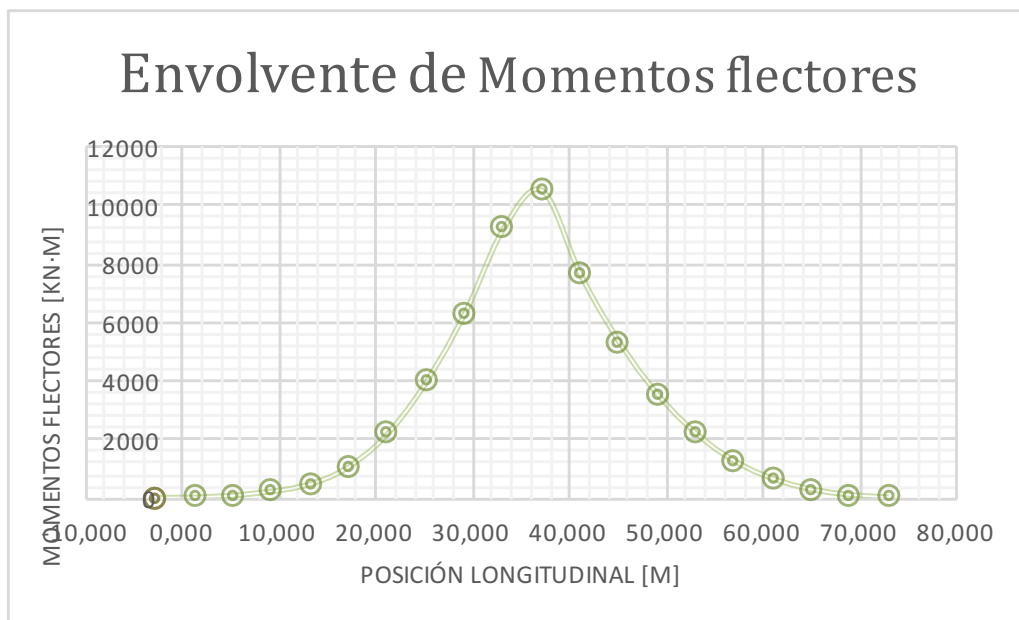
Se muestran a continuación los valores de las curvas de momentos flectores para cada una de las secciones estudiadas, en para cada condición de carga, en kN·m:

	Name	Long. Pos. m	C.C.1	C.C. 2	C.C. 3
	st 0	-2,586	0,000	2,000	0,000
	st 1	1,391	0,000	15,000	3,000
	st 2	5,368	11,000	77,000	35,000
	st 3	9,345	67,000	222,000	123,000
	st 4	13,323	279,000	475,000	288,000
	st 5	17,300	914,000	1074,000	766,000
	st 6	21,277	2141,000	2209,000	1750,000
	st 7	25,254	3994,000	3977,000	3349,000
	st 8	29,232	6451,000	6318,000	5521,000
	st 9	33,209	9485,000	9213,000	8317,000
	st 10	37,186	10954,000	10522,000	9689,000
	st 11	41,163	8138,000	7637,000	6912,000
	st 12	45,141	5823,000	5336,000	4712,000
	st 13	49,118	3995,000	3539,000	3044,000
	st 14	53,095	2568,000	2201,000	1833,000
	st 15	57,072	1513,000	1254,000	1000,000
	st 16	61,050	789,000	653,000	492,000
	st 17	65,027	339,000	292,000	208,000
	st 18	69,004	114,000	105,000	79,000
	st 19	72,981	24,000	22,000	18,000



A partir de los valores anteriormente mostrados se calcula la envolvente que engloba las diferentes condiciones de carga reportadas por el software Maxsurf.

	Name	Long. Pos. m	Quebranto
	st 0	-2,586	2,000
	st 1	1,391	15,000
	st 2	5,368	77,000
	st 3	9,345	222,000
	st 4	13,323	475,000
	st 5	17,300	1074,000
	st 6	21,277	2209,000
	st 7	25,254	3977,000
	st 8	29,232	6318,000
	st 9	33,209	9213,000
	st 10	37,186	10522,000
	st 11	41,163	7637,000
	st 12	45,141	5336,000
	st 13	49,118	3539,000
	st 14	53,095	2201,000
	st 15	57,072	1254,000
	st 16	61,050	653,000
	st 17	65,027	292,000
	st 18	69,004	105,000
	st 19	72,981	22,000



Comprobación de momentos flectores

Las curvas de momentos flectores totales obtenidos en el apartado anterior deben ser comparadas con el módulo del “buque-viga” obtenido para la cuaderna maestra y una cuaderna de popa, y estimado en el resto de secciones a lo largo de la eslora.

En el apartado 5 de este mismo cuaderno se ha calculado el módulo necesario para la sección maestra del buque proyecto. Los resultados obtenidos son los siguientes:

El W_{fondo} :

$$W_{lb} = \frac{\sum I_{lbi}}{Y_{EN}} = \frac{\sum (I_0 + A \cdot y_g^2)}{Y_{EN}}$$

$$W_{fondo} = 4,26 \text{ m}^3$$

El $W_{cubierta}$:

$$W_{cta} = \frac{\sum I_{lbi}}{D - Y_{EN}} = \frac{\sum (I_0 + A \cdot y_g^2)}{D - Y_{EN}}$$

$$W_{cubierta} = 17,35 \text{ m}^3$$

Además, el módulo en cubierta y en el fondo del buque no debe ser inferior al valor que se extraiga de la siguiente expresión:

$$Z_R = \frac{M_{SW} + M_{WV}}{\sigma_{1,All}} \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \sigma_{1,ALL} &= \frac{119}{k} && \text{for } \frac{x}{L} \leq 0,1 \\ \sigma_{1,ALL} &= \frac{175}{k} - \frac{1400}{k} \left(\frac{x}{L} - 0,3 \right)^2 && \text{for } 0,1 < \frac{x}{L} < 0,3 \\ \sigma_{1,ALL} &= \frac{175}{k} && \text{for } 0,3 \leq \frac{x}{L} \leq 0,7 \\ \sigma_{1,ALL} &= \frac{175}{k} - \frac{1400}{k} \left(\frac{x}{L} - 0,7 \right)^2 && \text{for } 0,7 < \frac{x}{L} < 0,9 \\ \sigma_{1,ALL} &= \frac{119}{k} && \text{for } \frac{x}{L} \geq 0,9 \end{aligned}$$

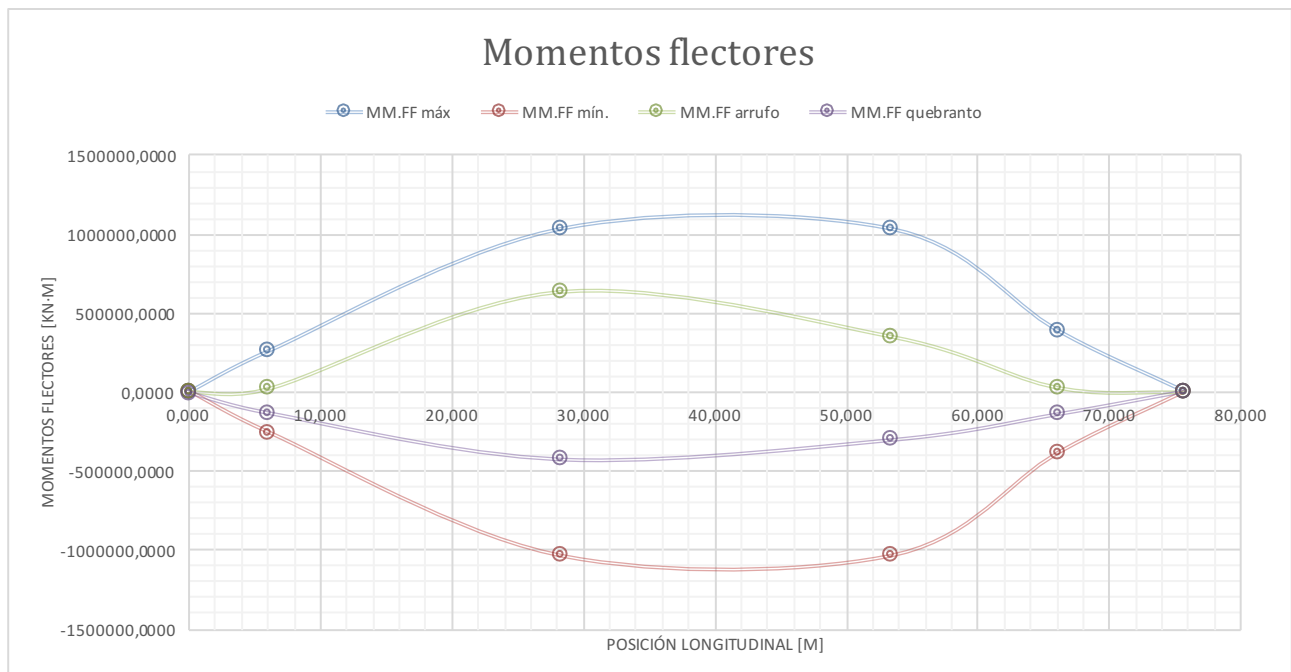
K es el factor del material, definido por la sociedad de clasificación (Pt. B, Ch. 4, Sec 1, [2.3]). En el caso del buque de proyecto, para acero normal: $k = 0,72$.

Se hará una estimación de la resistencia longitudinal a lo largo de la eslora para comprobar que todo el buque tiene suficiente resistencia longitudinal, y no solamente la sección maestra.

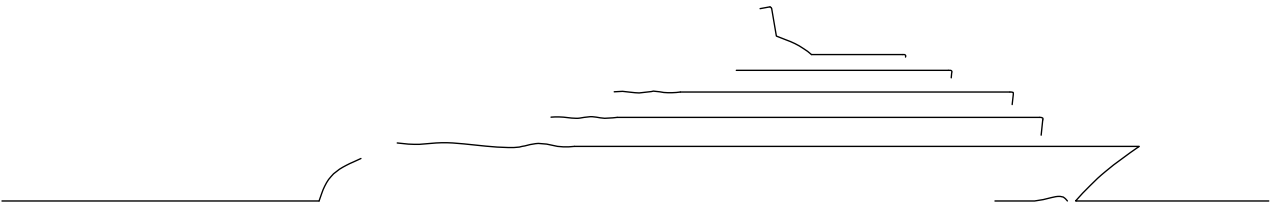
Con este motivo se realizará una distribución longitudinal del módulo resistente (cubierta y fondo) considerándolo constante en la zona del cuerpo cilíndrico del buque, y disminuyendo linealmente hacia los extremos de popa y proa, donde se hará nulo. En la estimación del módulo del “buque-viga” hacia popa, se cuenta con el valor real del módulo de la cuaderna de popa estudiada, y ese es el que figurará en los cálculos.

Por lo tanto, una vez conocidos la distribución en función de la eslora del módulo resistente y del esfuerzo normal admisible, se pueden hallar los momentos flectores máximos que soporta el buque:

Denominación	Pos. Long.	x/L	Z_fondo	Z_Cub	σ_{adm}	MM.FF adm. Máx	MM.FF adm. Mín.	MM.FF totales quebranto	MM.FF totales arrufo
Estampa	0,000	0,000	0,000	0,000	165,278	0,0000	0,0000	1500,0000	-10029,359
Pique de popa	6,000	0,079	1,560	6,130	165,278	257833,3333	-257833,3333	22200,0000	-134758,24
Cámara maquinas proa	28,200	0,372	4,260	17,350	243,056	1035416,6667	-1035416,6667	631800,0000	-421535,910
Cofferdam	53,400	0,705	4,260	17,350	243,056	1035416,6667	-1035416,6667	349900,0000	-300819,80
Mamparo estanco	66,000	0,872	2,100	5,330	185,661	389889,0422	-389889,0422	29200,0000	-142067,838
Pique de proa	75,705	1,000	0,000	0,000	165,278	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000



ANEXO 8.3.1



YATE DE 87m

■ *Section 2*
Minimum thickness requirements

2.1 General

2.1.1 The thickness of plating and stiffeners determined from the Rule scantling requirements is in no case to be less than that given in *Table 3.2.1 Minimum thickness requirements* for the craft type.

Table 3.2.1 Minimum thickness requirements

Item	Minimum thickness (mm)		
	Mono-hull	Hydrofoil	Rigid inflatable boat (RIB)
Shell envelope			

Scantling Determination for Mono-Hull Craft

Part 6, Chapter 3

Section 2

Bottom shell plating	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,4\sqrt{L_R} + 2,0) \geq 3,5 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,4\sqrt{L_R} + 2,0) \geq 3,5 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,4\sqrt{L_R} + 2,0) \geq 3,5 \omega$
Side shell plating	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,38\sqrt{L_R} + 1,2) \geq 3,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,38\sqrt{L_R} + 1,2) \geq 3,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,38\sqrt{L_R} + 1,2) \geq 3,0 \omega$
Single bottom structure			
Centre girder web	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,8\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 4,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,8\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 4,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,8\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 4,0 \omega$
Floor webs	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,6\sqrt{L_R} + 0,8) \geq 3,5 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,6\sqrt{L_R} + 0,8) \geq 3,5 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,6\sqrt{L_R} + 0,8) \geq 3,5 \omega$
Side girder webs	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,6\sqrt{L_R} + 0,8) \geq 3,5 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,6\sqrt{L_R} + 0,8) \geq 3,5 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,6\sqrt{L_R} + 0,8) \geq 3,5 \omega$
Double bottom structure			
Centre girder			
(1) Within $0,4L_R$ amidships	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,8\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 4,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,8\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 4,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,8\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 4,0 \omega$
(2) Outside $0,4L_R$ amidships	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,7\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 4,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,7\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 4,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,7\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 4,0 \omega$
Floors and side girders	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,6\sqrt{L_R} + 0,8) \geq 3,5 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,6\sqrt{L_R} + 0,8) \geq 3,5 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,6\sqrt{L_R} + 0,8) \geq 3,5 \omega$
Inner bottom plating	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,5\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 2,5 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,5\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 2,5 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,5\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 2,5 \omega$
Bulkheads			
Watertight bulkhead plating	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,33\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 2,5 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,33\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 2,5 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,33\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 2,5 \omega$
Deep tank bulkhead plating	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,38\sqrt{L_R} + 1,2) \geq 3,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,38\sqrt{L_R} + 1,2) \geq 3,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,38\sqrt{L_R} + 1,2) \geq 3,0 \omega$
Deck plating and stiffeners			
Strength/Main deck plating	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,38\sqrt{L_R} + 1,2) \geq 3,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,38\sqrt{L_R} + 1,2) \geq 3,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,38\sqrt{L_R} + 1,2) \geq 3,0 \omega$
Lower deck/Inside deckhouse	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,18\sqrt{L_R} + 1,7) \geq 2,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,18\sqrt{L_R} + 1,7) \geq 2,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,18\sqrt{L_R} + 1,7) \geq 2,0 \omega$
Superstructures and deckhouses			
Superstructure side plating	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,3\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 2,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,3\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 2,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,3\sqrt{L_R} + 1,0) \geq 2,0 \omega$
Deckhouse front 1st tier	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,47\sqrt{L_R} + 1,5) \geq 3,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,47\sqrt{L_R} + 1,5) \geq 3,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,47\sqrt{L_R} + 1,5) \geq 3,0 \omega$
Deckhouse front upper tiers	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,42\sqrt{L_R} + 1,3) \geq 3,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,42\sqrt{L_R} + 1,3) \geq 3,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,42\sqrt{L_R} + 1,3) \geq 3,0 \omega$
Deckhouse aft	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,2\sqrt{L_R} + 0,6) \geq 2,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,2\sqrt{L_R} + 0,6) \geq 2,0 \omega$	$\omega \sqrt{k_{ms}}(0,2\sqrt{L_R} + 0,6) \geq 2,0 \omega$
Pillars			
Wall thickness of tubular pillars	$\omega \sqrt{k_{ms}}0,05d_p$	$\omega \sqrt{k_{ms}}0,05d_p$	$\omega \sqrt{k_{ms}}0,05d_p$
Wall thickness of rectangular pillars	$\omega \sqrt{k_{ms}}0,05b_p$	$\omega \sqrt{k_{ms}}0,05d_p$	$\omega \sqrt{k_{ms}}0,05d_p$
Symbols			

ω = service type correction factor as determined from *Table 3.2.2 Service type correction factor (ω)*

$$k_{ms} = 635 / (\sigma_s + \sigma_u)$$

σ_u = specified minimum ultimate tensile strength of the material, in N/mm²

b_p = minimum breadth of cross-section of hollow rectangular pillar, in mm

d_p = outside diameter of tubular pillar, in mm

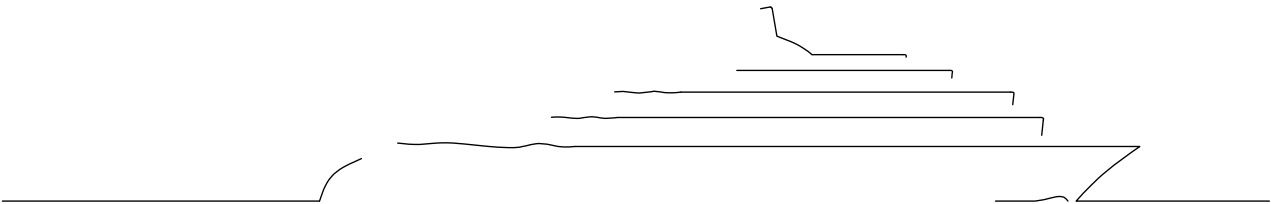
L_R and σ_s are as defined in *Pt 6, Ch 3, 1.5 Symbols and definitions 1.5.1*

Table 3.2.2 Service type correction factor (ω)

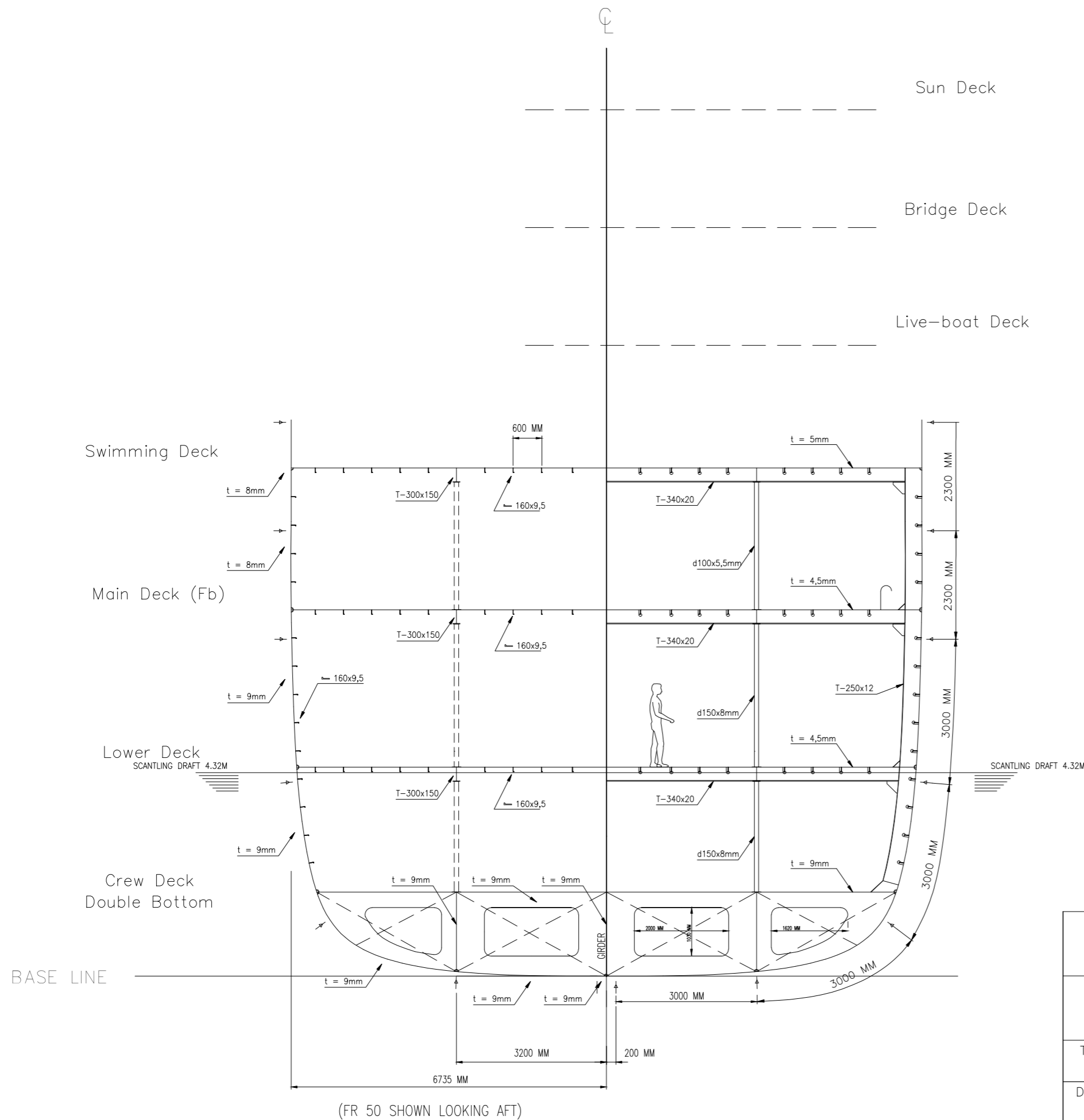
Service type notation	ω
Cargo	1,1
Passenger	1,0
Patrol	1,0
Pilot	1,1
Yacht	1,0
Workboat MFV	1,2

2.1.2 In addition, where plating contributes to the global strength of the craft, the thickness is to be not less than that required to satisfy the global strength requirements detailed in *Pt 6, Ch 6 Hull Girder Strength*.

ANEXO 8.4.1



YATE DE 87m



CLASSIFICATION PARTICULARS

SCANTLINGS CALCULATED TO : LLOYDS REGISTER RULES
+100 A1 "RESEARCH VESSEL", +LMC+CCS, UMS

STIFFENER CUTOUTS SHOWN ARE REPRESENTATIVE ONLY.
HULL CONSTRUCTION IN STEEL AH.
ALL MATERIAL PROPERTIES TO COMPLY WITH LR REQUIREMENTS.

MAIN DIMENSIONS

L Scantling	75.705 m
Lpp	73.000 m
L waterline	78.860 m
Bmax	13.470 m
Draught at design WL	4.120 m
Draught Scantling	4.320 m
Speed	15 knots
Frame Spacing	600mm
Webframe Spacing	2400mm
Scantling Displacement	2197 tonnes



UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR – FERROL

ARQUITECTURA NAVAL
PROYECTO FIN DE GRADO N° 18-105

ALUMNO:
Víctor J. Gavín Barberán

TIPO DE BUQUE: YATE DE LUJO DE 87M

DENOMINACIÓN PLANO:
CUADERNA MAESTRA

ESCALA: 1:100
ANEXO 8.4.1 – C8
FECHA: SEPTIEMBRE 2018