



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2016/17

17-07 FERRY 1500 PAX Y 1000 ML

CUADERNO 8

CUADERNA MAESTRA

Grado Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO

Marcos Covelo Fernández

TUTOR

Fernando Lago Rodríguez

FECHA

2017



Escola Politécnica Superior

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2.016-2017

PROYECTO NÚMERO 17-07

TIPO DE BUQUE: RO-PAX

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: DNV GL, Marpol, Solas. SRTP.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 1500 pasajeros, 1000 metros lineales que permitirán transportar 30 tráileres y 115 turismos simultáneamente.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 26 nudos al 90% MCR, 15% de margen de mar, autonomía de 3000 millas.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: los propios de este tipo de buque.

PROPULSIÓN: Dual-fuel (diésel/GNL).

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 1500 pasajeros y 55 tripulantes.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: los propios de este tipo de buque.

Ferrol, 28 Setiembre 2016

ALUMNO: **D. Marcos Covelo Fernández**



ÍNDICE:

1. Introducción.....	pág-4
2. Definición de dimensiones y parámetros de cálculo.....	pág-6
3. Diseño conceptual de la cuaderna maestra.....	pág-7
4. Dimensionamiento.....	pág-9
Planos.....	pág-28
Anexos.....	pág-30



1. Introducción:

En este proyecto se diseña un buque tipo Ro-Pax. Dicho buque será diseñado con objeto de transportar 1500 pasajeros y 1000 metros lineales de carga rodada, que le permitan albergar 115 turismos y 30 tráileres simultáneamente. Estará destinado para trayectos relativamente largos, por lo que contará con acomodación adecuada para viajes nocturnos (todos los pasajeros dispondrán de camarotes o cómodas butacas) y de diversos servicios a bordo (restaurante, cafeterías, tiendas, zonas de ocio). Será dotado con propulsión dual-fuel en línea con las actuales exigencias medioambientales. El diseño se realizará de acuerdo a la Sociedad de clasificación DNV-GL y será conforme con Marpol y Solas (incluyendo el requerimiento de retorno seguro a puerto SRTP). La velocidad de servicio que deberá alcanzar será de 26 Kn con una autonomía de 3000 millas.

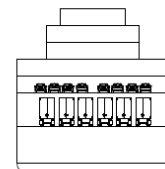
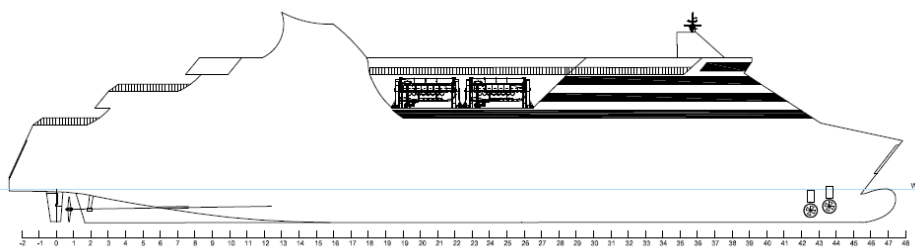
Neste proxecto diseñase un buque tipo Ro-Pax. Este buque estará deseñado para transportar 1500 pasaxeiros e 1000 metros lineais de carga rodada, o que lle permite acomodar 115 vehículos e 30 tráileres simultaneamente. Estará destinado a viaxes relativamente longas, polo que terá aloxamento adecuado para viaxes nocturnas (todos os pasaxeiros terán cabinas ou cómodos asentos) e varios servizos a bordo (restaurante, cafeterías, tendas, áreas de lecer). Estará equipado con propulsión de dobre combustible en liña cos requisitos ambientais actuais. O deseño realizarase segundo a sociedade de clasificación DNV-GL e estará de acordo con Marpol e Solas (incluído o requisito de retorno seguro a porto SRTP). A velocidade de servizo a alcanzar será de 26 Kn cunha autonomía de 3000 millas.

In this project a ship type Ro-Pax is designed. This vessel will be designed to carry 1500 passengers and 1000 linear meters of roll cargo, allowing it to accommodate 115 cars and 30 trailers simultaneously. It will be destined for long journeys, so it will have adequate accommodation for night trips (all passengers will have cabins or comfortable seats) and various services on board (restaurant, coffee shops, shops, leisure areas). It will be equipped with dual-fuel propulsion in line with current environmental requirements. The design will be made according to the DNV-GL classification society and will be in accordance with Marpol and Solas (including the safe return to port SRTP). The service speed to be achieved will be 26 knots with an autonomy of 3000 miles.



Características buque Ferry

L_{pp}	130 m
L_{total}	145,6 m
B	24,4 m
D	7,84 m
$T_{diseño}$	5,26 m
C_b	0,58
C_m	0,960
C_p	0,60
Despl	9923,2 t
Pasajeros	1500
Tripulación	55
Velocidad	26 nudos
BKw	31768,6 Kw





2. Definición de dimensiones y parámetros de cálculo:

Se muestran a continuación los diferentes valores de dimensiones con los que se trabajó:

- Calado de escantillonado (T):

El calado de escantillonado es el calado de verano, tomándose este como el calado de máxima carga estudiado en el cuaderno 5. Se incrementó en 200 mm ante cualquier posible variación en este.

$$T = 5,119 \text{ m}$$

- Eslora de escantillonado (L):

Eslora entre perpendiculares del buque en la línea de calado de verano, no cogiéndose menor del 96% ni mayor del 97% de la eslora total al calado de verano.

$$L = 132,48 \text{ m}$$

- Manga de escantillonado (B):

El mayor valor de la manga de trazado.

$$B = 24,4 \text{ m}$$

- Velocidad (V):

La velocidad de servicio, obtenida de la RPA.

$$V = 26 \text{ nudos}$$



3. Diseño conceptual de la cuaderna maestra:

Como sección maestra se ha seleccionado una sección media (bulárcama 19), a 56 metros de la perpendicular de popa, siendo dicha sección representativa de la estructura del buque y además crítica.

El tipo de estructura escogido se indica a continuación:

- Fondo y doble fondo:

El doble fondo tendrá estructura longitudinal para responder adecuadamente a la flexión del buque-viga y para facilitar la revisión de los tanques. Sus elementos primarios estructurales son vagras y varengas. Las varengas se situarán cada 4 claras de cuadernas, es decir, cada 2800 mm. Cuando coincidan con un mamparo estanco serán estancas, y aligeradas en caso contrario.

La estructura secundaria estará compuesta por los longitudinales de refuerzo de las planchas de fondo y doble fondo.

- Pantoque:

En esta zona se ha decidido optar por una estructura transversal para evitar los problemas que supondrían los refuerzos longitudinales, dado que estos deberían seguir el afinamiento de formas a proa.

- Costados:

Como en el caso anterior, el uso de elementos longitudinales se ve condicionado por las formas. Debido a ello se ha optado por una estructura transversal hasta la cubierta principal. Los elementos primarios serán los palmejares. La estructura secundaria la compondrán las cuadernas (cada 700 mm), y las bulárcamas (cada 2800 mm).

Por encima de la cubierta principal se utilizará estructura longitudinal, pues desaparece el problema de las formas.

- Cubiertas:

La estructura seleccionada será del tipo longitudinal, porque ofrece un comportamiento muy efectivo frente a la flexión del buque-viga, y porque



además facilitará el tendido de tuberías, conductos de aire acondicionado y el cableado eléctrico.

La estructura primaria está formada por los baos reforzados y la secundaria por los longitudinales.

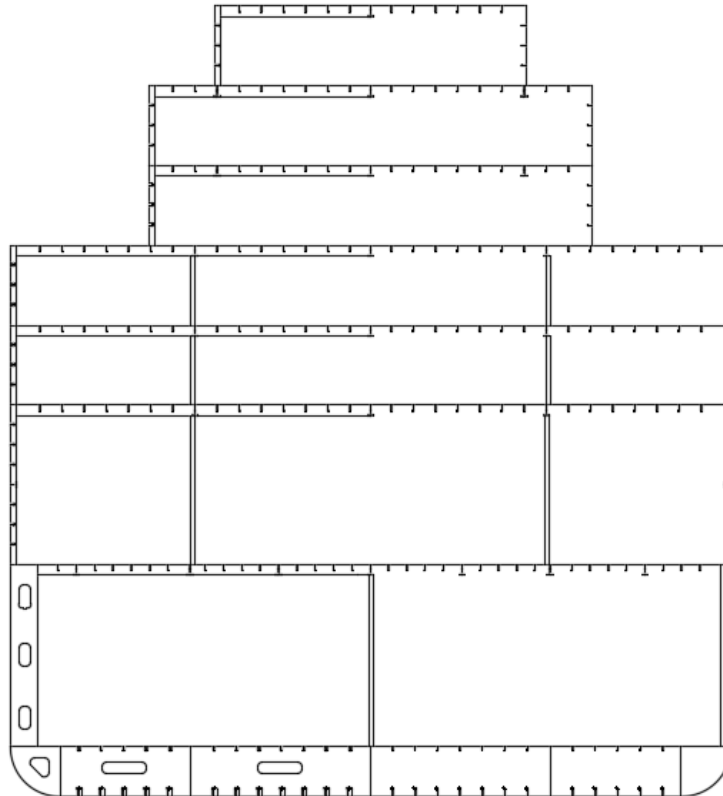
Los refuerzos secundarios serán de tipo llanta de bulbo, mientras que los primarios de tipo T.

El espaciado entre refuerzos se seleccionó conforme a los siguientes criterios:

- Fondo y doble fondo: se dotó a los refuerzos longitudinales de un espaciado de 0,76 metros, un valor cercano al de las cuadernas (0,7 m) y que encaja con los mamparos existentes.
- Cubierta ppal: En este caso se dotó de 0,62 metros, consiguiendo que los carriles de los tráileres (de 3,1 metros) coincidan con dichos refuerzos:
$$5 \text{ espaciados entre refuerzos} \cdot 0,62 = 3,1 \text{ metros}$$
- Cubierta 4 (turismos): se dotó de 0,75 metros, consiguiendo que los carriles de los turismos (de 2,3 metros) coincidan con dichos refuerzos.
- Resto de cubiertas: se dotaron de 0,75 metros.
- Costado: se dotó de a los refuerzos longitudinales de 0,675 metros, encajando con la separación entre cubiertas (2,7 metros). Bajo la cubierta principal se dispusieron cuadernas a 0,7 metros.

El material para el que se dimensionó la estructura es:

- Acero naval con límite elástico de 235 N/mm^2 (NV-NS según la clasificación del DNV). Se tomará por tanto, en los cálculos posteriores, como factor de material el valor de $f_1 = 1$.



4. Dimensionamiento:

El dimensionamiento de los diferentes elementos se realizó conforme al reglamento:

- DNV Rules for classification of ships, Part. 3, Ch. 1 Hull structural design Ships with length 100 metres and above.

Las distintas dimensiones calculadas de elementos en tanques de lastre se han mayorado considerando la corrosión que puedan sufrir durante su vida útil, tal y como indica el reglamento. De esa forma, se ha tomado como valor de adicción por corrosión:

$$t_k = 1,5 \text{ mm}$$

Y como factor de corrosión (para refuerzos) el obtenido de las fórmulas:



$$W_k = 1 + 0,05 (t_{kw} + t_{kf}), \text{ para secciones en T.}$$

$$W_k = 1 + 0,06 t_{kw}, \text{ para llantas bulbo.}$$

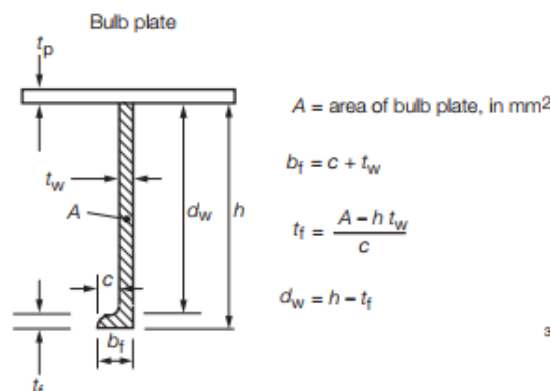
Siendo t_{kw} y t_{kf} 1,5 mm.

Aquellos valores que dependen del dimensionamiento de la cuaderna para ser obtenidos (f_{2b} , f_{2d} , z_a , z_n) se han estimado como 1 en este primer cálculo, al no contar con la cuaderna dimensionada. Posteriormente habría que recalculer los valores obtenidos en varias ocasiones hasta optimizar el diseño de la estructura. Con ello se variarían también las distancias entre refuerzos para obtener valores de dimensionamiento optimizados, que en este primer cálculo no se obtuvieron.

La selección de los refuerzos secundarios se realizó teniendo en cuenta la chapa asociada a estos. Para ello, el cálculo del módulo del conjunto refuerzo-chapa se realizó mediante la fórmula indicada por el Lloyd's Register en el Vol. 1 part. 6 sec. 2:

$$Z_f = \frac{A_f d_w}{10} + \frac{A_w d_w}{60} \left(1 + \frac{2 (A_p - A_f)}{2A_p + A_w} \right) \text{ cm}^3$$

- A_f = area of face plate of flange in cm^2
- A_w = area of web plating in cm^2
- A_p = area of attached plating in cm^2 , see 2.3.5
- A = $A_f + A_w + A_p$
- d_w = the depth, in mm, of the web between the inside of the face plate and the attached plating. Where the member is at right angles to a line of corrugations, the minimum depth is to be taken
- b_e = effective breadth of attached plating, in mm, see 2.2
- b_f , t_f , d_w , t_w and t_p are in mm and are illustrated in Fig. 2.2.1.





4.1. FONDO:

4.1.1. Traca de quilla:

El ancho de la chapa que conforma la quilla debe, según el reglamento Sec. 6 – C200, ser superior a:

$$b = 800 + 5 \cdot L$$

$$b = 800 + 5 \cdot 132,48 = \mathbf{1462,4 \text{ mm}}$$

El espesor no será inferior a (Sec. 6 – C202):

$$t = 7,0 + \frac{0,05 \cdot L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$$

$$t = 7,0 + \frac{0,05 \cdot 132,48}{\sqrt{1}} + 1,5 = \mathbf{15,12 \text{ mm}}$$

Por tanto, se escoge para la quilla chapa de:

- **b = 2000 mm**
- **t = 16 mm**

4.1.2. Planchas del fondo:

El ancho de las chapas del fondo no será menor que (Sec. 6 – C301):

$$b = 800 + 5 \cdot L$$

$$b = 800 + 5 \cdot 132,48 = \mathbf{1462,4 \text{ mm}}$$

Las planchas del fondo estarán además sometidas a presión, la cual para los cálculos se deberá considerar como la mayor entre:

- La ejercida desde el exterior por el mar
- La interior producida por la carga líquida que contenga el tanque al que pertenezca la estructura.



Así:

$$P = \max (P1, P2, P3)$$

dónde:

- P1: presión del mar
- P2 y P3: presión neta en tanques de carga o doble fondo.

A la hora del dimensionamiento, se considera que en el doble fondo se albergan tanques de lastre, aunque en la realidad el buque no este diseñado para ello.

Dichas presiones se calculan mediante las fórmulas:

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

$$p_{dp} = p_1 + 135 \cdot Y / (B+75) - 1,2(T-z)$$

$$p_2 = \rho(g_0 + 0.5a_v)h_s - 10T_M$$

$$p_3 = \rho \cdot g_0 \cdot h_s + p_0 - 10T_M$$

Se obtuvieron los siguientes resultados, para el punto más desfavorable, en el extremo de la manga:

$$P_1 = 81,95 \quad P_2 = 6,54 \quad P_3 = 14,17$$

$$P_{\text{fondo}} = 81,95 \text{ KN/m}^2$$

El espesor mínimo de la chapa debido a la presión lateral se calculará entonces (Sec.6 – C 302):

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

$$t = \frac{15,8 \cdot 0,76 \cdot \sqrt{81,95}}{\sqrt{120 \cdot 1}} + 1,5 = \mathbf{11,42 \text{ mm}}$$

El espesor no será menor que (Sec.6 – C 304):



$$t = 5,0 + \frac{0,04 \cdot L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$$

$$t = 5,0 + \frac{0,04 \cdot 132,48}{\sqrt{1}} + 1,5 = \mathbf{11,79 \text{ mm}}$$

Por tanto, el espesor de las chapas del fondo no será menor de: **11,79 mm**.

Se escogen chapas de las siguientes características:

$$\mathbf{b = 2000 \text{ mm}}$$

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

4.1.3. Plancha del pantoque:

El espesor de la plancha del pantoque, que no cuenta con refuerzos, no será menor de (Sec.6 – C 307):

$$t = \frac{\sqrt[3]{R^2 \cdot l \cdot p}}{900} + t_k$$

Donde:

- R = 1700 mm
- P= 10·(T+(B·φ/2)+0,088·C_b·(B/2+0,8C_w))

$$t = \frac{\sqrt[3]{1700^2 \cdot 2,8 \cdot 115,28}}{900} + 1,5 = \mathbf{12,35 \text{ mm}}$$

Se escoge una chapa de las siguientes características:

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

4.1.4. Longitudinales de fondo:

El módulo resistente requerido para los longitudinales del fondo se calcula (Sec.6 – C700):

$$Z = \frac{83 l^2 s p w_k}{\sigma}$$

Donde:

- P= P1, P2 y P3 como se calcularon en el apartado 4.1.2.



- $\sigma = 225 \cdot f_1 - 130 \cdot f_{2b} - 0,7 \cdot \sigma_{db}$
- f_{2b} : dado que se desconoce al necesitar dimensionar toda la cuaderna para calcularlo, se toma un valor de 1.
- σ_{db} : $50 f_1$ para tanques con lastre.

$$Z = \frac{83 \cdot 2,8^2 \cdot 0,76 \cdot 81,95 \cdot 1,09}{60}$$

Se obtiene un módulo de **$Z = 736,28 \text{ cm}^3$**

Se seleccionan como refuerzos longitudinales del fondo:

- **Llanta de bulbo 240 x 9,5 con chapa asociada de 0,6 m x 12 mm (738 cm³)**

4.1.5. Plancha del doble fondo:

Las planchas del doble fondo estarán sometidas a presión, la cual para los cálculos se deberá considerar como:

- La presión mínima.

Así:

$$P = P_{15}$$

dónde:

- P_{15} : presión mínima.

Dicha presión se calcula mediante la fórmula:

$$p_{15} = 10 \cdot T$$

Se obtuvieron el siguiente resultado, para el punto más desfavorable:

$$P_{\text{fondo}} = 51,19 \text{ KN/m}^2$$



El espesor mínimo de la chapa debido a la presión lateral se calculará entonces (Sec.6 – C 401):

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

$$t = \frac{15,8 \cdot 1 \cdot 0,76 \cdot \sqrt{51,19}}{\sqrt{140 \cdot 1}} + 1,5 = \mathbf{8,76 \text{ mm}}$$

El espesor no será menor que (Sec.6 – C 402):

$$t = 5,0 + \frac{0,03 \cdot L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$$

$$t = 5,0 + \frac{0,03 \cdot 132,48}{\sqrt{1}} + 1,5 = \mathbf{10,47 \text{ mm}}$$

Por tanto, el espesor de las chapas del fondo no será menor de: **10,47 mm.**

Se escogen chapas de las siguientes características:

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

4.1.6. Longitudinales de doble fondo:

El módulo resistente requerido para los longitudinales del doble fondo se calcula (Sec.6 – C800):

$$Z = \frac{83 l^2 s p w_k}{\sigma}$$

Donde:

- P= P15 como se calculó en el apartado 4.1.5.
- $\sigma = 225 \cdot f_1 - 130 \cdot f_{2b} - 0,7 \cdot \sigma_{db}$
- f_{2b} : dado que se desconoce al necesitar dimensionar toda la cuaderna para calcularlo, se toma un valor de 1.
- σ_{db} : 50 f_1 para tanques con lastre.

$$Z = \frac{83 \cdot 2,8^2 \cdot 0,76 \cdot 51,19 \cdot 1,09}{60}$$

Se obtiene un módulo de **Z = 459,9 cm³**



Se seleccionan como refuerzos longitudinales del fondo:

- **Llanta de bulbo 200 x 9 con chapa asociada de 0,6 m x 11 mm (473 cm³)**

4.1.7. Varenga:

El módulo resistente requerido para las varengas del fondo se calcula (Sec.6 – C600):

$$Z = \frac{0,63 l^2 s p w_k}{f_1}$$

$$Z = \frac{0,63 \cdot 2,8^2 \cdot 0,76 \cdot 81,95 \cdot 1,15}{1}$$

Se obtiene un módulo de **Z = 353,07cm³**

El espesor de las planchas que componen el refuerzo (T) no será menor que el mayor de los obtenidos mediante las fórmulas (Sec.6 – C 603):

$$t = 5,0 + \frac{0,02 \cdot L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$$

$$t = 5,0 + \frac{0,02 \cdot 132,48}{\sqrt{1}} + 1,5 = \mathbf{9,14 \text{ mm}}$$

$$t = \frac{h}{g} + t_k$$

$$t = \frac{1,7}{70} + 1,5 = 1,52 \text{ mm}$$

Por lo que, tanto el alma como el ala del refuerzo deberán tener un espesor mayor a 8,92 mm. Se seleccionarán de 9 mm de espesor. El cálculo de dicho elemento deberá realizarse mediante cálculo directo, sirviendo estos valores como aproximación.



4.2. Costado:

4.2.1. Forro lateral:

Las presiones a considerar para el cálculo de las chapas del forro serán:

- Presión externa del mar por debajo de la línea de carga de verano (P1)
- Presión externa del mar por encima de la línea de carga de verano(P2)

Que se calculan mediante las fórmulas:

$$P1 = 10h_0 + P_{dp}$$

$$P2 = (P_{dp} - (4 + 0,2k_s)h_0)$$

Se obtuvieron los siguientes resultados, para los puntos más desfavorables:

$$P1=69,3 \text{ KN/m}^2 \quad P2=35,11 \text{ KN/m}^2$$

Deberá considerarse además, que el costado tiene estructura transversal hasta la cubierta principal y longitudinal por encima:

- Por debajo de la cubierta principal (estructura transversal):

El espesor mínimo de la chapa debido a la presión lateral se calculará entonces (Sec.7 – C 101):

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

$$t = \frac{15,8 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{69,3}}{\sqrt{120 \cdot 1}} = \mathbf{8,4 \text{ mm}}$$

El espesor no será menor que (Sec.7 – C 102):

$$t = 5,0 + \frac{k \cdot L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$$

$$t = 5 + \frac{0,04 \cdot 132,48}{\sqrt{1}} = \mathbf{10,29 \text{ mm}}$$

- Por encima de la cubierta principal (estructura longitudinal):



El espesor mínimo de la chapa debido a la presión lateral se calculará entonces (Sec.7 – C 101):

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

$$t = \frac{15,8 \cdot 0,675 \cdot \sqrt{35,11}}{\sqrt{140 \cdot 1}} = \mathbf{5,34 \text{ mm}}$$

El espesor no será menor que (Sec.7 – C 102):

$$t = 5,0 + \frac{k \cdot L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$$

$$t = 5 + \frac{0,04 \cdot 132,48}{\sqrt{1}} = \mathbf{10,29 \text{ mm}}$$

Por tanto, el espesor de las chapas del forro no será menor de: **10,29 mm**.

Se escogen chapas de las siguientes características:

$$\mathbf{b = 2000 \text{ mm}}$$

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

4.2.2. Longitudinales del forro:

El módulo resistente requerido para los longitudinales del costado se calcula (Sec.7 – C 300):

$$Z = \frac{83 l^2 s p w_k}{\sigma}$$

Donde:

- P= P2 como se calculó en el apartado 4.2.1.
- $\sigma = 225 \cdot f_1 - 130 \cdot f_2 \cdot (z_n - z_a / z_n)$
- f_2 : dado que se desconoce al necesitar dimensionar toda la cuaderna para calcularlo, se toma un valor de 1. De igual forma el cociente entre z_n y z_a .



$$Z = \frac{83 \cdot 2,8^2 \cdot 0,675 \cdot 35,11 \cdot 1}{95}$$

Se obtiene un módulo de:

$$Z = 162,34 \text{ cm}^3$$

Se seleccionan como refuerzos longitudinales del fondo:

- **Llanta de bulbo 160 x 7 con chapa asociada de 0,6 m x 11 mm (239 cm³)**

4.2.3. Bularcamas:

El módulo resistente requerido para las bularcamas del costado se calcula (Sec.7 – C 400):

$$Z = \frac{C l^2 s p w_k}{f_1}$$
$$Z = \frac{0,37 \cdot 7,30^2 \cdot 0,7 \cdot 67,9 \cdot 1}{1}$$

Se obtiene un módulo de:

$$- Z = 938,9 \text{ cm}^3$$

El cálculo de dicho elemento deberá realizarse mediante cálculo directo, sirviendo estos valores como aproximación.



4.3. Cubiertas:

4.3.1. Cubierta principal:

El ancho de las chapas que conforman la cubierta debe, según el reglamento Sec. 8 – C101, ser superior a:

$$b = 800 + 5 \cdot L$$

$$b = 800 + 5 \cdot 132,48 = \mathbf{1462,4 \text{ mm}}$$

Las presiones a considerar para el cálculo de las chapas de la cubierta serán:

- Presión producida por la carga rodada, conformada por tráileres.

Que se calculan mediante las fórmulas dadas en DNV HSLC Part. 5 Ch. 2, donde se indica:

La presión de diseño para un vehículo conocida el área de su neumático se calcula:

$$P = \frac{Q}{n_0 \cdot a \cdot b} (9,81 + 0,5 \cdot a_v)$$

Donde:

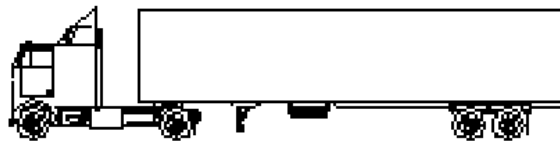
- Q: carga máxima por eje, en toneladas.
- n_0 : número de áreas de carga de un eje, 2 en este caso.
- a,b: dimensiones del área del neumático, tal y como se indican en la siguiente imagen:

1	2	3
Number of wheels in group	Footprint dimensions (real contact areas between tyres and deck)	Design load area for axle perpendicular to stiffeners
Single wheel		
Double wheels		



$$- a_v = 6/\sqrt{Q}$$

El peso máximo del tráiler se obtuvo de la DGT, que indica que para una cabeza tractora de 2 ejes y un remolque de 2 ejes el peso máximo de circulación será de 38 toneladas.



Se considera un neumático tipo (Michelin Multi Winter Z) que tiene un ancho de 295 mm y una presión de inflado de 8,5 bar. Con estos valores se calcula la longitud de la huella:

$$\text{Área huella} = T_n \text{ eje} / \text{Presión neu}$$

$$\text{Área huella} = 9,5 / 86,67$$

$$\text{Área huella} = 0,109 \text{ m}^2$$

$$a = 0,109 / 0,295$$

$$a = 369 \text{ mm}$$

Se considera que en el eje delantero se tiene un neumático mientras que en los demás ejes se tienen neumáticos gemelos.

Se obtuvo el siguiente valor de presión:

$$P_{cub} = 201,17 \text{ KN/m}^2$$

El espesor mínimo de la chapa se calculará entonces (Sec.8 – C 102):

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

$$t = \frac{15,8 \cdot 0,75 \cdot \sqrt{201,17}}{\sqrt{120 \cdot 1}} = 15,34 \text{ mm}$$

El espesor no será menor que (Sec.8 – C 104):

$$t = t_0 + \frac{k \cdot L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$$



$$t = 5 + \frac{0,02 \cdot 132,48}{\sqrt{1}} = 7,64 \text{ mm}$$

Por tanto, el espesor de las chapas de la cubierta no será menor de: **15,34 mm**.

Se escogen chapas de las siguientes características:

$$b = 2000 \text{ mm}$$

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

4.3.2. Longitudinales de cubierta principal:

El módulo resistente requerido para los longitudinales de la cubierta principal se calcula (Sec.8 – C 300):

$$Z = \frac{83 l^2 s p w_k}{\sigma}$$

$$Z = \frac{83 \cdot 2,8^2 \cdot 0,75 \cdot 201,17}{225 \cdot 1 - 130 \cdot 1}$$

Se obtiene un módulo de **Z = 1033,48 cm³**

Se seleccionan como refuerzos longitudinales de cubierta principal:

- **Llanta de bulbo 260 x 12 con chapa asociada de 0,6 m x 16 mm (1059 cm³)**

4.3.3. Baos cubierta principal:

El módulo resistente requerido para los baos de las cubiertas de acomodación se calcula (Sec.8 – C 400):

$$Z = \frac{0,63 l^2 s p w_k}{f_1}$$

$$Z = \frac{0,63 \cdot 2,8^2 \cdot 0,75 \cdot 201,17 \cdot 1}{1}$$

Se obtiene un módulo de **Z = 745,22 cm³**

El cálculo de dicho elemento deberá realizarse mediante cálculo directo, sirviendo estos valores como aproximación.



4.3.4. Cubierta turismos:

Las presiones a considerar para el cálculo de las chapas de la cubierta de turismos será:

- Presión producida por la carga rodada, conformada por turismos.

Que se calculan mediante las fórmulas dadas en DNV HSLC Part. 5 Ch. 2, indicadas en el apartado anterior. En el caso de los turismos, se considera el peso de estos como el máximo permitido por la DGT para la conducción con carné tipo B, que es de 3,5 tn.

Se considera un neumático tipo (Continental 195/55 R16 91) que tiene un ancho de 195 mm y una presión de inflado de 2,6 bar. Con estos valores se calcula la longitud de la huella:

$$\text{Área huella} = T_n \text{ eje} / \text{Presión neu}$$

$$\text{Área huella} = 1,75 / 26,51$$

$$\text{Área huella} = 0,066 \text{ m}^2$$

$$a = 0,066 / 0,195$$

$$a = 338 \text{ mm}$$

Con estos valores se entra en la fórmula antes citada y se obtiene una presión de:

$$P = 160,34 \text{ KN/m}^2$$

El espesor mínimo de la chapa se calculará entonces (Sec.8 – C 200):

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

$$t = \frac{15,8 \cdot 0,75 \cdot \sqrt{160,34}}{\sqrt{160 \cdot 1}} = \mathbf{11,86 \text{ mm}}$$

El espesor no será menor que (Sec.8 – C 202):

$$t = t_0 + \frac{k \cdot L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$$

$$t = 5 + \frac{0,01 \cdot 132,48}{\sqrt{1}} = \mathbf{6,32 \text{ mm}}$$

Por tanto, el espesor de las chapas de la cubierta no será menor de: **11,86 mm**.

Se escogen chapas de las siguientes características:

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



4.3.5. Longitudinales cubierta turismos:

El módulo resistente requerido para los longitudinales de la cubierta principal se calcula (Sec.8 – C 300):

$$Z = \frac{83 l^2 s p w_k}{\sigma}$$

$$Z = \frac{83 \cdot 2,8^2 \cdot 0,75 \cdot 160,34}{225 \cdot 1 - 130 \cdot 1}$$

Se obtiene un módulo de **Z = 823,71 cm³**

Se seleccionan como refuerzos longitudinales del fondo:

- **Llanta de bulbo 240 x 11,5 con chapa asociada de 0,6 m x 12 mm (851 cm³)**

4.3.6. Baos cubierta turismos:

El módulo resistente requerido para los baos de las cubiertas de acomodación se calcula (Sec.8 – C 400):

$$Z = \frac{0,63 l^2 s p w_k}{f_1}$$

$$Z = \frac{0,63 \cdot 2,8^2 \cdot 0,75 \cdot 160,34 \cdot 1}{1}$$

Se obtiene un módulo de **Z = 593,96 cm³**

El cálculo de dicho elemento deberá realizarse mediante cálculo directo, sirviendo estos valores como aproximación.

4.3.7. Cubiertas acomodación:

La presión a considerar para el cálculo de las chapas de las cubiertas de acomodación serán:

- Presión de la acomodación en general (P5).

Que se calcula mediante la fórmula:

$$P_5 = 0,35 \cdot (g_0 + 0,5 \cdot a_v) \cdot H$$



Obteniéndose:

$$P_5 = 13,26 \text{ KN/m}^2$$

El espesor mínimo de la chapa debido a la presión lateral se calculará entonces (Sec.8 – C 200):

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

$$t = \frac{15,8 \cdot 0,75 \cdot \sqrt{13,26}}{\sqrt{160 \cdot 1}} = \mathbf{0,27 \text{ mm}}$$

El espesor no será menor que (Sec.8 – C 104):

$$t = t_0 + \frac{k \cdot L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$$

$$t = 5 + \frac{0 \cdot 132,48}{\sqrt{1}} = \mathbf{5 \text{ mm}}$$

Por tanto, el espesor de las chapas de la cubierta no será menor de: **5 mm**.

Se escogen chapas de las siguientes características:

$$\mathbf{t = 5 \text{ mm}}$$

4.3.8. Longitudinales de cubierta acomodación:

El módulo resistente requerido para los longitudinales de las cubiertas de acomodación se calcula (Sec.8 – C 300):

$$Z = \frac{83 l^2 s p w_k}{\sigma}$$

Se obtiene un módulo de **Z = 68,15 cm³**

Se seleccionan como refuerzos longitudinales del fondo:

- **Llanta de bulbo 160 x 7 con chapa asociada de 0,6 m x 5 mm (232 cm³)**



4.3.9. Baos de cubierta acomodación:

El módulo resistente requerido para los baos de las cubiertas de acomodación se calcula (Sec.8 – C 400):

$$Z = \frac{0,63 l^2 s p w_k}{f_1}$$

Se obtiene un módulo de **Z = 49,14 cm³**

El cálculo de dicho elemento deberá realizarse mediante cálculo directo, sirviendo estos valores como aproximación.



5. Módulo de la sección:

Una vez diseñada la cuaderna, se ha procedido a calcular sus principales características estructurales, el cálculo pormenorizado se incluye en los anexos:

- Eje neutro: 10,56 metros

- Momento de Inercia: $1,821 \cdot 10^{10}$ cm⁴

- Módulo:
 - En cubierta (Wd): 66851550,4cm³
 - En fondo (Wb): 17241901,4 cm³



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

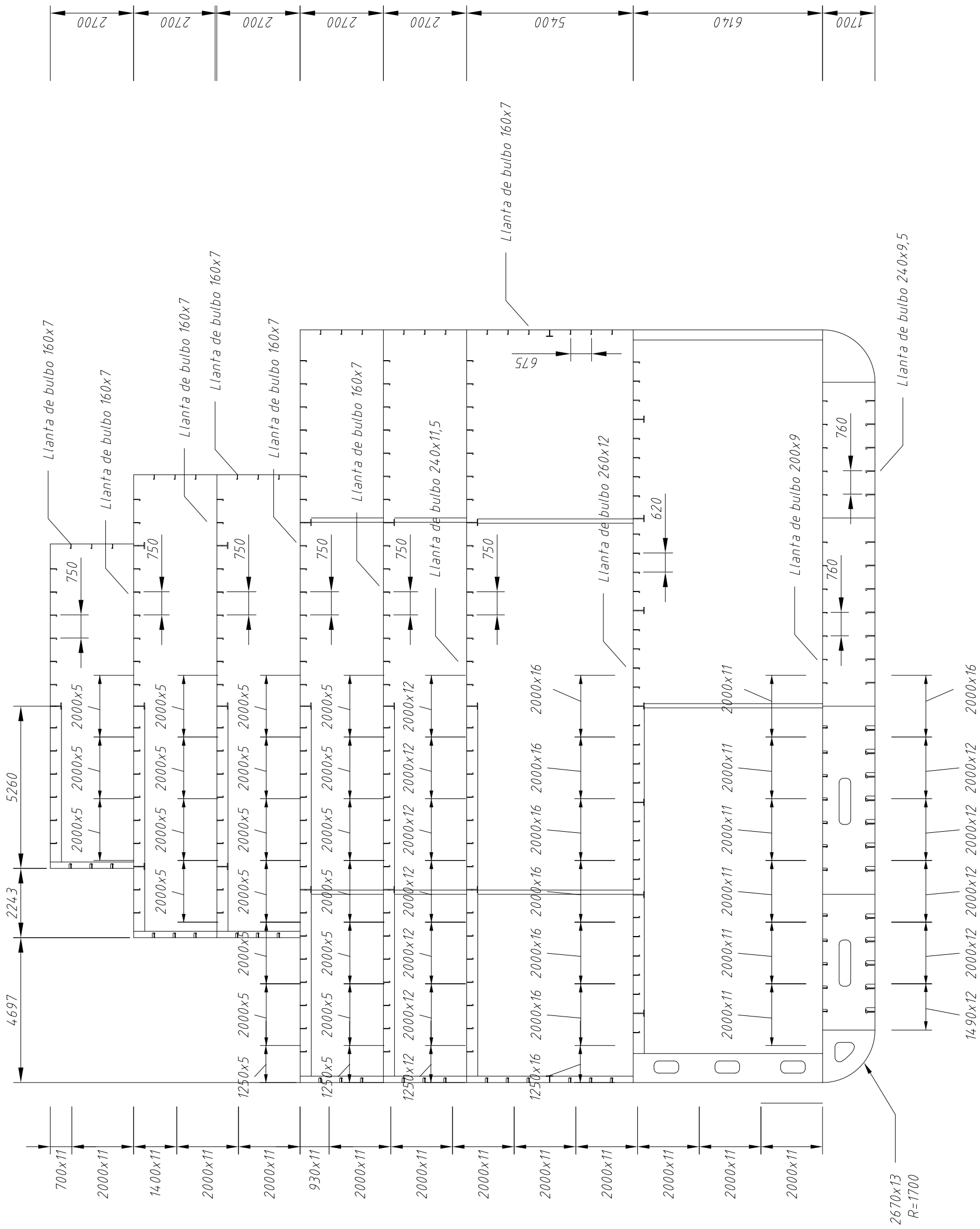
Trabajo Fin de Grado
CURSO 2016/17

17-07 FERRY 1500 PAX 1000 ML

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Documento

PLANOS



Fecha:	Proyecto: Ferry 1500 pax y 1000 ml
Peticionario:	Autor: Marcos Covelo Fernández
Plano N°	E.P.S.
Escala: 1:400	CUADERNA MAESTRA

Espaciado entre cuadernas: 0,7 m
 Espaciado entre bulárcamas: 2,8 m



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado
CURSO 2016/17

17-07 FERRY 1500 PAX 1000 ML

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Documento

ANEXO

	numero	longitud cm	t cm	Area cm^2	zg	Centro de g	A-ZG	A-zg^2	lpropia	lpropia+A-zg^
Chapa de quilla	1	200	1,6	320	0,8	256	356627468	68,2666667	356627537	
Chapa fondo	10	200	1,2	2400	0,6	1440	2675719561	288	2675719849	
chapa de doble fondo	2	267	1,3	694,2	85	59007	655167856	97,7665	655167953	
	13	200	1,1	2860	170,55	487773	2244735202	288,383333	2244735490	
Chapas de costado BR y ER	ALTURA 1	2	200	1,1	440	270	118800	272162537	1466666,67	273629203
	ALTURA 2	2	200	1,1	440	470	206800	151342009	1466666,67	152808675
	ALTURA 3	2	200	1,1	440	670	294800	65721480,5	1466666,67	67188147,2
	ALTURA 4	2	200	1,1	440	870	382800	15300952,5	1466666,67	16767619,2
	ALTURA 5	2	200	1,1	440	1070	470800	80424,5306	1466666,67	1547091,2
	ALTURA 6	2	200	1,1	440	1270	558800	20059896,5	1466666,67	21526563,2
	ALTURA 7	2	200	1,1	440	1470	646800	75239368,5	1466666,67	76706035,2
	ALTURA 8	2	200	1,1	440	1670	734800	165618841	1466666,67	167085507
	ALTURA 9	2	200	1,1	440	1870	822800	291198312	1466666,67	292664979
	ALTURA 10	2	200	1,1	440	2070	910800	451977784	1466666,67	453444451
	ALTURA 11	2	200	1,1	440	2270	998800	647957256	1466666,67	649423923
	ALTURA 12	2	200	1,1	440	2470	1086800	879136728	1466666,67	880603395
Chapa cubierta resistant	13	200	1,6	4160	784,8	3264768	307050310	13866666,7	320916976	
chapa cubiertas acomodación	ALTURA 1	13	200	0,5	1300	1594,25	2072525	375955163	4333333,33	380288497
	ALTURA 2	13	200	0,5	1300	1864,25	2423525	848239512	4333333,33	852572845
	ALTURA 3	7	200	0,5	700	2134,25	1493975	813111309	2333333,33	815444643
	ALTURA 4	7	200	0,5	700	2404,25	1682975	1271538266	2333333,33	1273871600
	ALTURA 5	5	200	0,5	500	2674,25	1337125	1308589445	1666666,67	1310256112
chapa cubierta turismos	13	200	1,2	3120	1324,6	4132752	224291147	10400000	234691147	
FONDO	29			905,67	16,09	14572,2303	980308003	51892,6	980359896	
DOBLE FONDO	29			685,27	156,77	107429,778	554711383	27235,06	554738618	
COSTADO ER	ALTURA 1	1		14,58	851,5	12414,87	612606,58	371,1	612977,68	
	ALTURA 2	1		14,58	919	13399,02	275574,034	371,1	275945,134	
	ALTURA 3	1		14,58	986,5	14383,17	71401,7385	371,1	71772,8385	
	ALTURA 4	1		14,58	1054	15367,32	89,6925598	371,1	460,79256	
	ALTURA 5	1		14,58	1121,5	16351,47	61637,8966	371,1	62008,9966	
	ALTURA 6	1		14,58	1189	17335,62	256046,351	371,1	256417,451	
	ALTURA 7	1		14,58	1256,5	18319,77	583315,055	371,1	583686,155	
	ALTURA 8	1		14,58	1324	19303,92	1043444,01	371,1	1043815,11	
	ALTURA 9	1		14,58	1391,5	20288,07	1636433,21	371,1	1636804,31	
	ALTURA 10	1		14,58	1459	21272,22	2362282,67	371,1	2362653,77	
	ALTURA 11	1		14,58	1526,5	22256,37	3220992,37	371,1	3221363,47	
	ALTURA12	1		14,58	1594	23240,52	4212562,33	371,1	4212933,43	
	ALTURA13	1		14,58	1661,5	24224,67	5336992,53	371,1	5337363,63	
COSTADO ER	ALTURA 14	1		14,58	1729	25208,82	6594282,98	371,1	6594654,08	
	ALTURA 15	1		14,58	1796,5	26192,97	7984433,69	371,1	7984804,79	
	ALTURA 16	1		14,58	1864	27177,12	9507444,64	371,1	9507815,74	
	ALTURA 17	1		14,58	1931,5	28161,27	11163315,8	371,1	11163686,9	
	ALTURA 18	1		14,58	1999	29145,42	12952047,3	371,1	12952418,4	
	ALTURA 19	1		14,58	2066,5	30129,57	14873639	371,1	14874010,1	
	ALTURA 20	1		14,58	2134	31113,72	16928091	371,1	16928462,1	
	ALTURA 21	1		14,58	2201,5	32097,87	19115403,2	371,1	19115774,3	
	ALTURA 22	1		14,58	2269	33082,02	21435575,6	371,1	21435946,7	
	ALTURA 23	1		14,58	2336,5	34066,17	23888608,3	371,1	23888979,4	
	ALTURA 24	1		14,58	2404	35050,32	26474501,3	371,1	26474872,4	
	ALTURA 25	1		14,58	2471,5	36034,47	29193254,5	371,1	29193625,6	
	ALTURA 26	1		14,58	2539	37018,62	32044867,9	371,1	32045239	
ALTURA 27	1		14,58	2606,5	38002,77	35029341,6	371,1	35029712,7		
COSTADO BR	ALTURA 1	1		14,58	851,5	12414,87	612606,58	371,1	612977,68	
	ALTURA 2	1		14,58	919	13399,02	275574,034	371,1	275945,134	
	ALTURA 3	1		14,58	986,5	14383,17	71401,7385	371,1	71772,8385	
	ALTURA 4	1		14,58	1054	15367,32	89,6925598	371,1	460,79256	
	ALTURA 5	1		14,58	1121,5	16351,47	61637,8966	371,1	62008,9966	
	ALTURA 6	1		14,58	1189	17335,62	256046,351	371,1	256417,451	
	ALTURA 7	1		14,58	1256,5	18319,77	583315,055	371,1	583686,155	
	ALTURA 8	1		14,58	1324	19303,92	1043444,01	371,1	1043815,11	
	ALTURA 9	1		14,58	1391,5	20288,07	1636433,21	371,1	1636804,31	
	ALTURA 10	1		14,58	1459	21272,22	2362282,67	371,1	2362653,77	
	ALTURA 11	1		14,58	1526,5	22256,37	3220992,37	371,1	3221363,47	
	ALTURA12	1		14,58	1594	23240,52	4212562,33	371,1	4212933,43	
	ALTURA13	1		14,58	1661,5	24224,67	5336992,53	371,1	5337363,63	
COSTADO BR	ALTURA 14	1		14,58	1729	25208,82	6594282,98	371,1	6594654,08	
	ALTURA 15	1		14,58	1796,5	26192,97	7984433,69	371,1	7984804,79	
	ALTURA 16	1		14,58	1864	27177,12	9507444,64	371,1	9507815,74	
	ALTURA 17	1		14,58	1931,5	28161,27	11163315,8	371,1	11163686,9	
	ALTURA 18	1		14,58	1999	29145,42	12952047,3	371,1	12952418,4	
	ALTURA 19	1		14,58	2066,5	30129,57	14873639	371,1	14874010,1	
	ALTURA 20	1		14,58	2134	31113,72	16928091	371,1	16928462,1	
	ALTURA 21	1		14,58	2201,5	32097,87	19115403,2	371,1	19115774,3	
	ALTURA 22	1		14,58	2269	33082,02	21435575,6	371,1	21435946,7	
	ALTURA 23	1		14,58	2336,5	34066,17	23888608,3	371,1	23888979,4	
	ALTURA 24	1		14,58	2404	35050,32	26474501,3	371,1	26474872,4	
	ALTURA 25	1		14,58	2471,5	36034,47	29193254,5	371,1	29193625,6	
	ALTURA 26	1		14,58	2539	37018,62	32044867,9	371,1	32045239	
ALTURA 27	1		14,58	2606,5	38002,77	35029341,6	371,1	35029712,7		
Cubierta acomodación	31			451,98	1594	720456,12	130589432	11504,1	130600936	
	31			451,98	1864	842490,72	294730784	11504,1	294742288	

		19		277,02	2134	591160,68	321633728	7050,9	321640779
		19		277,02	2404	665956,08	503015524	7050,9	503022575
		13		189,54	2674	506829,96	495906783	4824,3	495911607
		35		1443,75	784	1131900	107191939	96670	107288609
	CUBIERTA RESISTENTE								
	CUBIERTA turismos	31		1116,93	1324	1478815,32	79935110,9	63630,6	79998741,5
				29920,68		31610608,2			1,8216E+10

EJE neutro	1056,48027
Modulo de la cubierta	66851550,4
Modulo del fondo	17241901,4

Dimensions and properties

Section description	Dimensions					Mass per metre	Area of section	Surface area per metre	Distance to centre of gravity	
	b mm	t mm	c mm	d mm	r mm	G Kg/m	A cm ²	U m ² /m	dx mm	dy mm
160x7	160	7.0	22.0	22.2	6.0	11.44	14.58	0.365	96.7	6.5
160x8	160	8.0	22.0	22.2	6.0	12.70	16.18	0.367	95.1	6.8
160x9	160	9.0	22.0	22.2	6.0	13.95	17.78	0.370	93.7	7.1
160x10	160	10.0	22.0	22.2	6.0	15.19	19.34	0.371	92.6	7.5
160x11	160	11.0	22.0	22.2	6.0	16.44	20.94	0.373	91.7	7.9
160x11.5	160	11.5	22.0	22.2	6.0	17.07	21.74	0.374	91.3	8.1
180x8	180	8.0	25.0	25.5	7.0	14.78	18.83	0.412	109.0	7.4
180x9	180	9.0	25.0	25.5	7.0	16.20	20.63	0.414	107.4	7.7
180x10	180	10.0	25.0	25.5	7.0	17.59	22.40	0.416	106.0	8.1
180x11	180	11.0	25.0	25.5	7.0	19.00	24.20	0.418	104.8	8.4
180x11.5	180	11.5	25.0	25.5	7.0	19.70	25.10	0.419	104.3	8.6
200x8.5	200	8.5	28.0	28.8	8.0	17.77	22.63	0.458	122.2	8.2
200x9	200	9.0	28.0	28.8	8.0	18.55	23.63	0.459	121.3	8.4
200x10	200	10.0	28.0	28.8	8.0	20.10	25.60	0.460	119.7	8.7
200x11	200	11.0	28.0	28.8	8.0	21.67	27.60	0.463	118.3	9.0
200x11.5	200	11.5	28.0	28.8	8.0	22.45	28.60	0.464	117.6	9.2
200x12	200	12.0	28.0	28.8	8.0	23.24	29.60	0.465	117.0	9.4
220x9	220	9.0	31.0	32.1	9.0	21.02	26.78	0.504	135.5	9.1
220x10	220	10.0	31.0	32.1	9.0	22.72	28.94	0.505	133.7	9.3
220x11	220	11.0	31.0	32.1	9.0	24.45	31.14	0.507	132.0	9.7
220x11.5	220	11.5	31.0	32.1	9.0	25.31	32.24	0.509	131.2	9.8
220x12	220	12.0	31.0	32.1	9.0	26.17	33.34	0.510	130.5	10.0
230x11	230	11.0	32.5	33.75	9.5	25.88	32.97	0.530	138.9	10.0
240x9.5	240	9.5	34.0	35.4	10.0	24.51	31.23	0.549	148.9	9.9
240x10	240	10.0	34.0	35.4	10.0	25.46	32.43	0.550	147.9	10.0
240x10.5	240	10.5	34.0	35.4	10.0	26.40	33.63	0.551	146.9	10.2
240x11	240	11.0	34.0	35.4	10.0	27.34	34.83	0.552	145.9	10.3
240x11.5	240	11.5	34.0	35.4	10.0	28.28	36.03	0.554	145.1	10.5
240x12	240	12.0	34.0	35.4	10.0	29.22	37.23	0.555	144.3	10.6
260x10	260	10.0	37.0	38.7	11.0	28.30	36.05	0.595	162.3	10.7
260x11	260	11.0	37.0	38.7	11.0	30.34	38.65	0.597	160.1	11.0
260x12	260	12.0	37.0	38.7	11.0	32.38	41.25	0.600	158.2	11.3
260x13	260	13.0	37.0	38.7	11.0	34.43	43.85	0.602	156.5	11.6
280x10.5	280	10.5	40.0	42.0	12.0	32.36	41.22	0.641	175.7	11.6
280x11	280	11.0	40.0	42.0	12.0	33.46	42.62	0.642	174.5	11.7
280x12	280	12.0	40.0	42.0	12.0	35.66	45.42	0.645	172.4	11.9
280x13	280	13.0	40.0	42.0	12.0	37.86	48.22	0.647	170.5	12.2
300x11	300	11.0	43.0	45.3	13.0	36.69	46.73	0.687	189.1	12.4
300x12	300	12.0	43.0	45.3	13.0	39.04	49.73	0.690	186.7	12.7
300x13	300	13.0	43.0	45.3	13.0	41.40	52.73	0.692	184.6	12.9
320x11.5	320	11.5	46.0	48.6	14.0	41.28	52.59	0.733	202.5	13.3
320x12	320	12.0	46.0	48.6	14.0	42.54	54.19	0.735	201.3	13.4
320x12.5	320	12.5	46.0	48.6	14.0	43.79	55.79	0.736	200.1	13.5
320x13	320	13.0	46.0	48.6	14.0	45.05	57.39	0.737	199.0	13.6
320x13.5	320	13.5	46.0	48.6	14.0	46.27	58.94	0.737	198.0	13.7
320x14	320	14.0	46.0	48.6	14.0	47.53	60.54	0.738	197.0	13.9
340x12	340	12.0	49.0	52.0	15.0	46.15	58.78	0.780	216.0	14.1
340x12.5	340	12.5	49.0	52.0	15.0	47.48	60.48	0.781	214.7	14.2
340x13	340	13.0	49.0	52.0	15.0	48.81	62.18	0.782	213.5	14.3
340x14	340	14.0	49.0	52.0	15.0	51.45	65.54	0.784	211.3	14.6
340x15	340	15.0	49.0	52.0	15.0	54.12	68.94	0.786	209.2	14.8
370x12.5	370	12.5	53.5	56.9	16.5	53.22	67.79	0.848	236.9	15.4
370x13	370	13.0	53.5	56.9	16.5	54.67	69.64	0.850	235.5	15.5
370x14	370	14.0	53.5	56.9	16.5	57.54	73.30	0.851	233.0	15.7
370x15	370	15.0	53.5	56.9	16.5	60.44	77.00	0.854	230.7	15.9
370x16	370	16.0	53.5	56.9	16.5	63.35	80.70	0.857	228.6	16.1
400x13	400	13.0	58.0	61.9	18.0	60.78	77.43	0.918	257.9	16.6
400x14	400	14.0	58.0	61.9	18.0	63.88	81.38	0.919	255.1	16.8
400x15	400	15.0	58.0	61.9	18.0	67.02	85.38	0.922	252.5	17.0
400x16	400	16.0	58.0	61.9	18.0	70.16	89.38	0.925	250.2	17.2
430x14	430	14.0	62.5	66.8	19.5	70.48	89.78	0.987	277.5	18.0
430x15	430	15.0	62.5	66.8	19.5	73.85	94.08	0.990	274.6	18.1
430x17	430	17.0	62.5	66.8	19.5	80.60	102.68	0.995	269.6	18.5
430x18	430	18.0	62.5	66.8	19.5	83.98	106.98	0.998	267.4	18.8
430x19	430	19.0	62.5	66.8	19.5	87.36	111.28	1.001	265.4	19.0
430x20	430	20.0	62.5	66.8	19.5	90.73	115.58	1.004	263.5	19.3

Second moment of inertia		Elastic modulus		Radius of gyration		Warping constant	Torsional constant
I_x cm ⁴	I_y cm ⁴	Z_x cm ³	Z_y cm ³	r_x cm	r_y cm	Z_y cm ⁶ /10 ³	J cm ⁴
371.10	5.85	38.4	9.0	5.05	0.63	1.11	3.65
409.27	6.54	43.0	9.7	5.03	0.64	1.15	4.57
446.70	7.31	47.7	10.3	5.01	0.64	1.19	5.73
481.31	8.15	52.0	10.9	4.99	0.65	1.22	7.12
517.81	9.09	56.5	11.5	4.97	0.66	1.26	8.86
535.93	9.60	58.7	11.9	4.96	0.66	1.29	9.85
606.55	9.89	55.6	13.3	5.67	0.72	2.41	6.24
661.09	10.92	61.6	14.1	5.66	0.73	2.47	7.57
711.72	12.03	67.1	14.9	5.64	0.73	2.52	9.15
764.60	13.25	72.9	15.7	5.62	0.74	2.60	11.13
790.81	13.90	75.8	16.1	5.61	0.74	2.64	12.26
901.07	15.06	73.7	18.3	6.31	0.82	4.71	9.20
939.14	15.75	77.4	18.8	6.30	0.82	4.76	10.00
1010.47	17.18	84.4	19.8	6.28	0.82	4.83	11.78
1084.33	18.75	91.7	20.8	6.27	0.82	4.95	14.01
1120.89	19.57	95.3	21.3	6.26	0.83	5.02	15.28
1157.23	20.43	98.9	21.8	6.25	0.83	5.09	16.65
1290.48	22.01	95.2	24.3	6.94	0.91	8.61	13.17
1387.89	23.86	103.8	25.5	6.92	0.91	8.72	15.16
1488.07	25.83	112.7	26.8	6.91	0.91	8.90	17.65
1537.57	26.87	117.2	27.4	6.91	0.91	8.99	19.06
1586.73	27.94	121.6	28.0	6.90	0.92	9.10	20.60
1724.98	30.05	124.2	30.1	7.23	0.95	11.69	19.81
1787.40	31.12	120.0	31.4	7.57	1.00	14.83	18.25
1854.67	32.30	125.4	32.2	7.56	1.00	14.94	19.46
1921.25	33.52	130.8	33.0	7.56	1.00	15.06	20.78
1987.20	34.78	136.2	33.8	7.55	1.00	15.19	22.22
2052.60	36.06	141.5	34.5	7.55	1.00	15.33	23.79
2117.50	37.39	146.8	35.2	7.54	1.00	15.48	25.49
2421.72	42.80	149.2	39.9	8.20	1.09	24.54	24.85
2593.45	45.86	162.0	41.8	8.19	1.09	24.87	27.91
2762.00	49.07	174.6	43.6	8.18	1.09	25.25	31.50
2927.94	52.45	187.0	45.3	8.17	1.09	25.69	35.69
3210.10	57.50	182.7	49.7	8.82	1.18	39.05	33.16
3318.79	59.39	190.2	50.8	8.82	1.18	39.27	34.90
3532.99	63.29	205.0	53.0	8.82	1.18	39.77	38.84
3743.56	67.37	219.6	55.1	8.81	1.18	40.34	43.42
4175.43	75.68	220.8	60.9	9.45	1.27	60.10	43.42
4443.49	80.39	238.0	63.5	9.45	1.27	60.72	47.73
4706.64	85.27	254.9	66.1	9.45	1.27	61.45	52.71
5342.16	97.86	263.8	73.7	10.08	1.36	89.86	55.95
5506.76	100.69	273.6	75.3	10.08	1.36	90.25	58.38
5669.75	103.58	283.4	76.8	10.08	1.36	90.68	60.99
5831.26	106.51	293.1	78.3	10.08	1.36	91.15	63.79
5977.59	109.44	301.9	79.7	10.07	1.36	91.35	66.51
6136.58	112.48	311.5	81.1	10.07	1.36	91.89	69.71
6736.30	124.57	311.9	88.2	10.70	1.46	131.02	71.06
6934.97	127.98	323.1	89.9	10.71	1.45	131.53	73.88
7131.73	131.44	334.1	91.7	10.71	1.45	132.09	76.91
7504.42	138.47	355.2	95.0	10.70	1.45	132.97	83.29
7886.99	145.80	377.0	98.3	10.70	1.45	134.41	90.88
9184.55	172.23	387.8	112.1	11.64	1.59	221.07	97.62
9444.05	176.62	401.0	114.2	11.64	1.59	221.76	101.01
9936.79	185.49	426.5	118.5	11.64	1.59	222.83	108.11
10440.07	194.68	452.5	122.6	11.64	1.59	224.72	116.55
10935.90	204.14	478.4	126.6	11.64	1.59	226.88	126.04
12234.74	232.34	474.5	139.7	12.57	1.73	357.80	131.25
12872.91	243.41	504.7	145.0	12.58	1.73	358.96	139.13
13521.89	254.79	535.5	150.1	12.58	1.73	361.32	148.48
14160.53	266.45	566.1	154.9	12.59	1.73	364.08	158.97
16366.61	313.68	589.9	174.7	13.50	1.87	559.02	177.41
17189.22	327.65	626.0	180.8	13.52	1.87	561.76	187.72
18794.22	356.44	697.1	192.5	13.53	1.86	569.01	212.09
19579.84	371.35	732.2	197.9	13.53	1.86	573.41	226.30
20355.95	386.65	767.0	203.4	13.52	1.86	578.26	241.98
21123.62	402.40	801.6	208.6	13.52	1.87	583.53	259.20

