

# VELERO CRUCERO DE 23.5 PIES CON CATEGORÍA “C” DE DISEÑO DE EMBARCACIONES CE

Grado En Arquitectura Naval e Ingeniería De Sistemas Marinos

Universidad Politécnica de Cartagena



Autor: Mario Villarroya Morales

Tutor: José Esteban Otón Tortosa

Curso académico: 2017/2018

# ÍNDICE

<b>Introducción del proyecto .....</b>	<b>6</b>
<b>Capítulo 1 - Estudio Estadístico.....</b>	<b>9</b>
1.    Introducción .....	10
2.    Relaciones geométricas.....	14
2.1.    Relación Eslora Total / Manga Máxima.....	14
2.2.    Relación Eslora de Flotación / Calado.....	16
2.3.    Relación Desplazamiento / Superficie Vélica .....	17
2.4.    Relación Peso del Lastre / Desplazamiento (%) .....	18
2.5.    Relación Desplazamiento / Potencia .....	19
<b>Capítulo 2 – Diseño de la carena .....</b>	<b>22</b>
1.    Introducción .....	23
2.    Consideraciones iniciales.....	23
2.1.    Número de Froude .....	23
2.2.    Coeficiente prismático .....	24
2.3.    Posición longitudinal del centro de carena .....	25
3.    Dimensionamiento preliminar.....	26
3.1.    Eslora y Manga Máxima.....	26
3.2.    Desplazamiento.....	27
3.3.    Eslora de flotación y Puntal .....	29
3.4.    Calado máximo .....	30
3.5.    Lastre .....	30
3.6.    Superficie vélica .....	31
3.7.    Potencia .....	32
3.8.    Francobordo .....	33
<b>Capítulo 3 – Diseño del plano vélico y aparejo.....</b>	<b>34</b>
1.    Distribución de la superficie vélica .....	35

2.	Equilibrio vélico .....	39
3.	Diseño del aparejo .....	41
3.1.	Definición de las cargas transversales .....	43
4.	Fuerzas en los obenques.....	48
5.	Fuerzas en los stays .....	49
6.	Cálculo del Mástil.....	50
7.	Cálculo de la botavara .....	54
8.	Dimensionamiento de las crucetas .....	55
9.	Elección de la jarcia firme .....	57
<b>Capítulo 4 – Diseño de Apéndices.....</b>		<b>59</b>
1.	Diseño de la orza .....	60
1.1.	Parámetros geométricos de la orza.....	61
1.2.	Selección del perfil de la orza.....	65
1.3.	Cálculo de los pernos de la orza .....	68
2.	Diseño del timón .....	69
2.1.	Selección del perfil del timón.....	69
<b>Capítulo 5 - Escantillonado .....</b>		<b>72</b>
1.	Consideraciones iniciales.....	73
2.	Dimensiones principales .....	74
2.1.	Factores de ajuste de la presión .....	76
3.	Presiones de diseño, espesores y laminado .....	78
3.1.	Fondo .....	79
3.2.	Costado.....	87
3.3.	Cubierta.....	93
3.4.	Mamparos .....	97
3.5.	Refuerzos .....	106
3.5.1.	Cuadernas.....	109
3.5.2.	Varengas.....	112

3.5.3. Quilla .....	116
3.5.4. Mecha del mástil .....	120
<b>Capítulo 6 – Equipos y servicios .....</b>	<b>122</b>
1. Equipos de seguridad .....	123
1.1. Elementos de salvamento .....	123
2. Equipos de navegación.....	124
2.1. Luces y marcas de navegación .....	124
2.2. Líneas de fondeo.....	124
2.3. Material náutico .....	125
2.4. Material de armamento diverso .....	126
3. Medios contraincendios y de achique .....	127
3.1. Extintores portátiles.....	127
3.2. Detección de incendios y gases .....	127
3.3. Baldes contraincendios .....	128
3.4. Medios de achique .....	128
4. Prevención de vertidos.....	128
4.1. Descarga de aguas sucias .....	129
5. Sistema de Agua Dulce.....	129
6. Sistema de achique .....	130
7. Sistema de aguas sanitarias .....	131
8. Instalación eléctrica .....	131
<b>Capítulo 7 – Instalación propulsora.....</b>	<b>133</b>
1. Consideraciones iniciales.....	134
2. Predicción de potencia.....	134
3. Selección del propulsor.....	143
<b>Capítulo 8 – Cálculo de pesos y C.D.G.....</b>	<b>144</b>
1. Introducción .....	145
2. Consideraciones iniciales.....	145

2.1.	Elementos estructurales.....	145
2.2.	Equipos y armamento.....	146
2.3.	Peso muerto.....	147
2.4.	Evaluación de los pesos.....	147
<b>Capítulo 9 - Estudio de estabilidad.....</b>		<b>158</b>
1.	Introducción.....	159
2.	Condiciones de carga.....	159
3.	Análisis de estabilidad.....	160
3.1.	Aberturas y altura de inundación.....	161
3.2.	Ángulo de inundación.....	162
3.3.	Ángulo de estabilidad nula.....	163
3.4.	Índice de estabilidad, STIX.....	163
4.	Curvas Hidrostáticas.....	189
5.	Curvas KN.....	193
<b>Capítulo 10 – Manual del propietario.....</b>		<b>196</b>
1.	Categoría de diseño del velero.....	197
2.	Características y datos técnicos.....	197
3.	Sistema de achique.....	198
4.	Sistema de agua dulce.....	199
5.	Sistema de aguas sanitarias.....	201
6.	Protección contra el fuego.....	203
7.	Motor.....	204
8.	Instalación del sistema de combustible.....	205
9.	Equipos de seguridad.....	205
10.	Inundación.....	206
11.	Equipos electrónicos.....	207
12.	Planos.....	209
<b>Capítulo 11 - Planos.....</b>		<b>214</b>

<b>Conclusiones.....</b>	<b>222</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>225</b>

# *Introducción del proyecto*

Velero crucero de 23.5 pies con Categoría “C” de Diseño de embarcaciones CE



Autor: Mario Villarroya Morales  
Tutor: José Esteban Otón Tortosa

El proyecto que va a exponerse en el presente trabajo fin de grado es el anteproyecto de una embarcación de recreo, concretamente un velero de 23.5 pies de eslora.

Para ello, se desarrollarán once capítulos en los que se trabajarán los diferentes puntos requeridos inicialmente por el tutor, desde un punto de vista teórico y práctico.

Es importante que antes de comenzar con el primero de los capítulos se defina qué tipo de embarcación será la que se diseñará, el uso que se le dará a lo largo de su vida útil y las características que harán de ésta una embarcación particular.

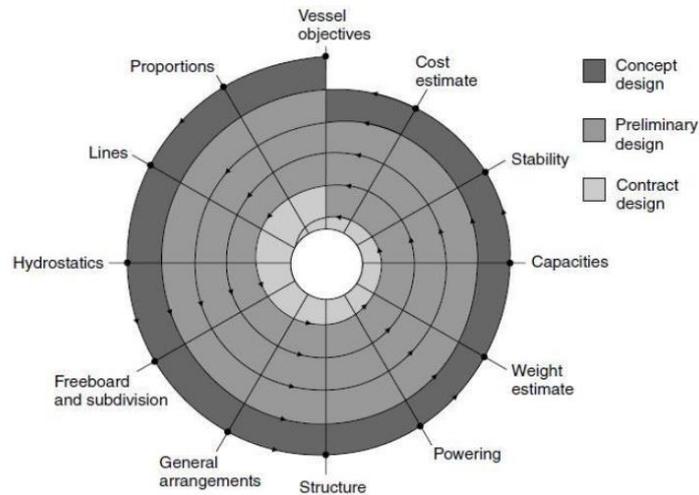
Por lo tanto, se llevará a cabo un primer planteamiento en el que se define que el tipo de embarcación será un velero de 23.5 pies de eslora, el cual se destinará a recreo familiar. A partir de este requerimiento, se entiende que la velocidad y ligereza del barco no será uno de los puntos principales a tener en cuenta, características primordiales en los barcos de regatas.

El proyecto estará enfocado a un velero que ofrezca una amplia habitabilidad, una cómoda y fácil navegación con una autonomía de dos días, donde prime el confort para cada uno de los tripulantes que vayan a bordo y así disfrutar de un velero de pequeña eslora con grandes prestaciones.

Se emplearán las formas de una embarcación que fueron proporcionadas por la universidad, las cuales se ajustarán a lo citado anteriormente y al diseño de las embarcaciones actuales.

Para un correcto desarrollo del trabajo, éste debe de seguir una serie de fases, las cuales están definidas en la espiral de proyecto.

Como se puede observar en la siguiente imagen, el diseño de la embarcación consta de doce fases, llevándose a cabo tantas veces como sea necesario hasta obtener la embarcación deseada y que cumpla con todos los objetivos que se marcaron inicialmente.



Dicho esto, en el proyecto se llevará a cabo la primera etapa del diseño preliminar, una vuelta a la espiral. La primera fase, objetivos del barco, ya ha sido definida, por lo que se pasará a la segunda de ellas y así sucesivamente hasta completar la espiral. Finalmente, y en base a los resultados obtenidos a lo largo del proceso, se analizarán las modificaciones que se deberán llevar a cabo en la segunda etapa, contrastando los resultados con los objetivos marcados inicialmente.

Cabe aclarar, que los proyectos que se realizan en los astilleros son necesarias hasta cinco y seis etapas, incluso se realizan modificaciones durante el proceso de construcción de la embarcación y una vez se ha realizado la botadura.

# ***Capítulo 1 - Estudio estadístico***

Velero crucero de 23.5 pies con Categoría “C” de Diseño de embarcaciones CE



Autor: Mario Villarroya Morales  
Tutor: José Esteban Otón Tortosa

## 1. Introducción

El objetivo principal de este estudio estadístico será obtener los valores de referencia, como las dimensiones principales y otro tipo de parámetros necesarios para el diseño de la embarcación, así como las relaciones dimensionales del velero de este proyecto.

Cabe mencionar que el diseño preliminar de la embarcación se ha obtenido a partir de una serie de planos, los cuales fueron proporcionados por la universidad, y posteriormente se han modificado las formas hasta obtener las adecuadas para la finalidad que se quiere dar a esta embarcación de recreo. De este modo, el velero tendrá una eslora de 7.21 m, una manga de 2.72 m y un puntal de 0.27 m.

Aunque se explicará en el siguiente capítulo, a partir de las dimensiones anteriores será posible obtener el desplazamiento del velero, al introducir el modelo de Rhinoceros en Maxsurf Modeler.

A partir del estudio estadístico se obtendrán las dimensiones que no han sido posible obtener a partir de los planos como el calado, lastre, superficie vélica y la potencia. Estos tres últimos valores solamente serán un valor orientativo para el posterior cálculo en el capítulo correspondiente a cada uno de ellos. Además, se calculará el valor de la manga, ya que el valor de diseño hace que las formas del barco llenas.

Teniendo en cuenta que la eslora del velero de este proyecto es de 23.5 pies, se ha realizado un estudio a partir de 38 veleros con esloras desde 21 hasta los 28 pies, un rango aceptable para que los resultados sean lo más precisos posible. Hay que destacar que no todos los veleros de entre 21 y 28 pies eran válidos para el estudio, ya que los de regatas, por ejemplo, no tienen el mismo propósito que el que se ha planteado en este proyecto. Por ello, se ha tenido en cuenta las formas del casco, disposición general, peso del lastre y desplazamiento en rosca, entre otros, de los veleros que han sido seleccionados.

Los parámetros que se han tenido en cuenta para el estudio son, en primer lugar, las dimensiones más representativas como la eslora, manga y calado, y en segundo lugar valores como el desplazamiento, superficie vélica, peso del lastre, etc.

Para comparar los resultados obtenidos con los de diseño, se llevarán a cabo gráficos de dispersión en los que se relacionarán unas dimensiones con otras, según se detallará más abajo, contrastando así los resultados obtenidos a partir de la base de datos con el velero de 23.5 pies.

Como se podrá observar en las tablas, valores tales como la capacidad del depósito de combustible y agua no se tendrán en cuenta, ya que estos se calcularán directamente en los capítulos que corresponda más adelante, detallando el proceso de cálculo con las respectivas justificaciones.

Además, se puede observar que ha no sido posible recopilar los valores de la eslora de flotación para todos los velero, no siendo éste un parámetro que se encuentre fácilmente durante la búsqueda de información. Sin embargo, no resultará un inconveniente debido a que con 23 valores de LWL se podrá calcular un valor óptimo del calado con los resultados obtenidos en la regresión de  $D/LWL$ .

Antes de proceder a la exposición de los datos y cálculo de los valores, resaltar que los valores del estudio estadístico son meramente orientativos, siendo el proyectista el responsable de interpretarlos y ajustarse a las especificaciones y requisitos del armador.

A continuación, se expone la recopilación de datos de los veleros mencionados, a partir de los cuales se desarrollará el estudio estadístico:

		Dimensiones Principales						
	Veleros	$\Delta$ (Kg)	LOA (m)	Lwl (m)	Bmáx (m)	D (m)	Lastre (Kg)	S.A. (m <sup>2</sup> )
1	<b>Ronáutica RO 265</b>	1950,00	7,49		2,99	1,68	850,00	35,80
2	<b>Tarsis 26</b>	1600,00	7,49		3,00	1,70	800,00	38,00
3	<b>Tarsis 28</b>	1800,00	7,99	7,35	2,99	1,89	550,00	41,67
4	<b>BIGA 27</b>	1750,00	8,50	7,72	2,55	1,45	750,00	35,00
5	<b>Marlow Hunter 26</b>	1950,00	7,85	7,05	2,73	1,83	909,00	28,00
6	<b>Sunbeam 26,2</b>	2250,00	8,00	7,05	2,50	1,48	720,00	34,50
7	<b>Sunbeam 24,2</b>	1420,00	7,00	6,35	2,50	1,40	420,00	32,50
8	<b>Sunbeam 28,1</b>	2300,00	8,50	7,88	2,49	1,65	750,00	44,50
9	<b>Yatlant 24</b>	1400,00	7,00	6,35	2,70	1,45	500,00	30,00
10	<b>Yatlant 26</b>	1600,00	7,49	7,22	3,00	1,80	525,00	36,00
11	<b>Yatlant 28</b>	2300,00	8,49	8,22	3,35	1,85	900,00	48,00
12	<b>Beneteau First 25</b>	1535,00	7,50	7,35	2,75	1,45	615,00	38,80
13	<b>Tes 678 BT</b>	1600,00	7,20		2,50	1,40	500,00	26,50
14	<b>Tes 28 Magnam</b>	1920,00	7,99		2,98	1,40	890,00	34,50
15	<b>Egeyat 23</b>	1250,00	7,00	6,10	2,50	0,95	350,00	21,73
16	<b>Egeyat 26</b>	2150,00	8,10	7,45	2,90	1,50	1000,00	39,00
17	<b>Egeyat 26 T</b>	1500,00	8,00	7,50	2,50	1,75	660,00	35,00
18	<b>Catalina 22 Sport</b>	1021,00	6,55	5,89	2,34	1,52	249,00	19,04
19	<b>Catalina 22 Capri</b>	998,00	6,71	6,10	2,49	1,22	295,00	21,27
20	<b>Catalina 275 Sport</b>	2268,00	8,38	8,10	2,59	1,52	925,00	35,30

		Dimensiones Principales						
	Veleros	$\Delta$ (Kg)	LOA (m)	Lwl (m)	Bmáx (m)	D (m)	Lastre (Kg)	S.A. (m <sup>2</sup> )
21	<b>Etap 26 S</b>	1820,00	8,02	6,71	2,50	1,50	520,00	33,20
22	<b>Etap 22 S</b>	1180,00	6,56	6,10	2,49	1,30	300,00	24,50
23	<b>Comar Comet 26</b>	1790,00	7,60	6,73	2,96	1,75	630,00	36,50
24	<b>Fan 25 Laguna</b>	2050,00	7,50		2,80	1,45	650,00	32,00
25	<b>Mak 7 Cruise</b>	1350,00	7,50	7,00	2,50	1,60	400,00	31,70
26	<b>Saffier Sc 8,0m Cabin</b>	1800,00	8,00		2,45	1,30	760,00	36,00
27	<b>Viko S 21</b>	950,00	6,50		2,50	1,40	300,00	23,00
28	<b>Viko S 22</b>	1300,00	6,95		2,50	1,40	350,00	28,00
29	<b>Viko S 26</b>	1650,00	7,80		2,80	1,65	700,00	35,00
30	<b>Tucana Sail 21</b>	1200,00	6,30	5,98	2,50	1,50	390,00	27,00
31	<b>Seaward 26 RK</b>	1725,00	7,77		2,56	1,82	545,00	26,00
32	<b>Astifer Golfiño 27,5 S</b>	1250,00	7,25		2,49	1,60	600,00	30,60
33	<b>Winner 8</b>	2400,00	8,00	7,30	2,85	1,50	1000,00	40,00
34	<b>Antila 22</b>	1400,00	6,78		2,60	1,35	300,00	23,10
35	<b>Hornet 24</b>	1700,00	7,30	7,20	2,55	1,35	450,00	28,00
36	<b>Saturn 21</b>	1250,00	6,39		2,51	1,30	270,00	21,00
37	<b>Saturn 25</b>	1650,00	7,49		2,76	1,42	400,00	31,00
38	<b>Saturn 23 GT</b>	1350,00	6,98		2,53	1,45	280,00	25,90

**Tabla 1. Base de datos de los veleros**

## 2. Relaciones geométricas

Con los datos de estudio y en función de las relaciones geométricas, se realizarán gráficos de dispersión, obteniéndose así los valores mínimo, máximo, medio y las líneas de tendencia, estimando así los parámetros principales.

### 2.1. Relación Eslora Total / Manga Máxima

La relación eslora total/ manga máxima determina la estabilidad de la embarcación en función de las formas del barco. Valores pequeños de esta relación producirán un aumento de la resistencia al avance. A su vez, Larsson y Eliasson proporcionan un gráfico en el que se puede observar como aumenta el valor de esta relación en función de la eslora de flotación.

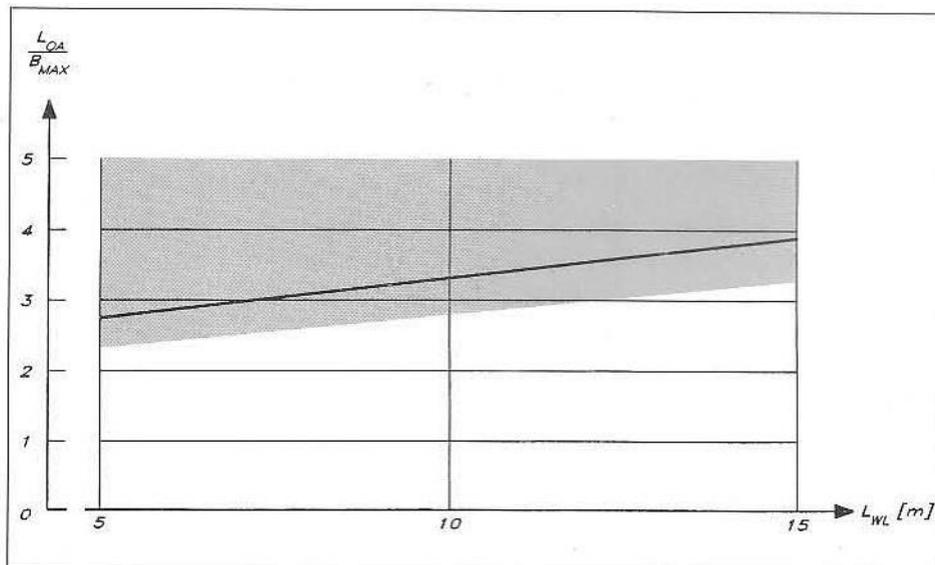
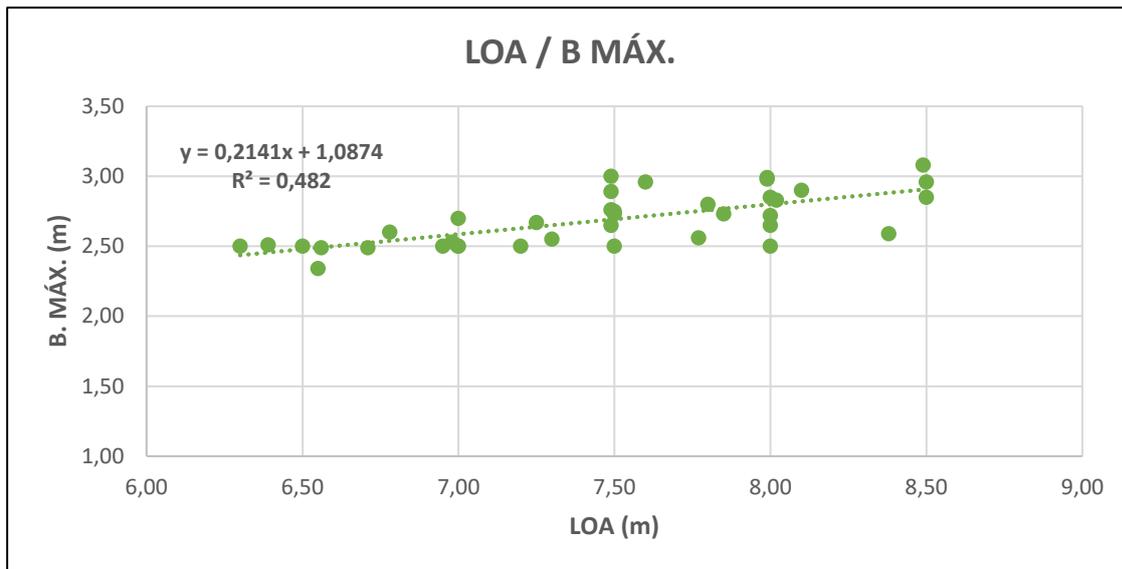


Figura 1. Relación LOA/BMÁX – L<sub>WL</sub> - PYD

A partir de los datos de los veleros de estudio obtendremos:



**Figura 2. Relación LOA/BMÁX**

		<b>Velero Proyecto - B máx. (m)</b>
<b>LOA/B<sub>MÁX</sub> (Mín.)</b>	2,500	2,883
<b>LOA/B<sub>MÁX</sub> (Máx.)</b>	3,240	2,224
<b>LOA/B<sub>MÁX</sub> (Media)</b>	2,780	2,592
<b>LOA/B<sub>MÁX</sub>(Regresión)</b>		2,631

**Tabla 2. Valores máximo, mínimo, media y de regresión de LOA/BMÁX**

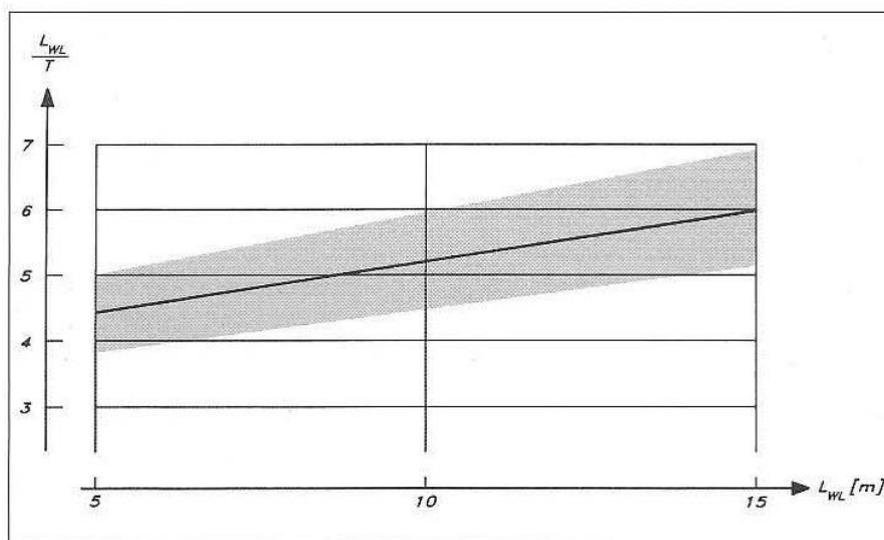
Para aclarar el formato de la tabla anterior, la cual se presentará más veces, la primer columna nos indica los valores mínimos, máximos, medios y el obtenido a partir de la línea de regresión, de cada una de las filas. La segunda columna es la relación de estudio, en este caso LOA/B<sub>MÁX</sub>, donde se ha dividido LOA entre B<sub>MÁX</sub> en cada uno de los 38 veleros, obteniendo así un valor mínimo, máximo y la media de todos. Por último, en la tercer columna, se obtiene el valor que se desea calcular, para este apartado es B<sub>MÁX</sub>, dividiendo el valor de la eslora máxima entre los valores calculados en la segunda columna. Para la última fila de esta última columna, el valor se obtiene a partir de la ecuación de la recta de regresión.

## 2.2. Relación Eslora de Flotación / Calado

A medida que la eslora de la embarcación aumenta también lo hará el calado, pero llegados a una determinada eslora el calado no puede seguir aumentando por problemas de acceso a puertos, entre otros.

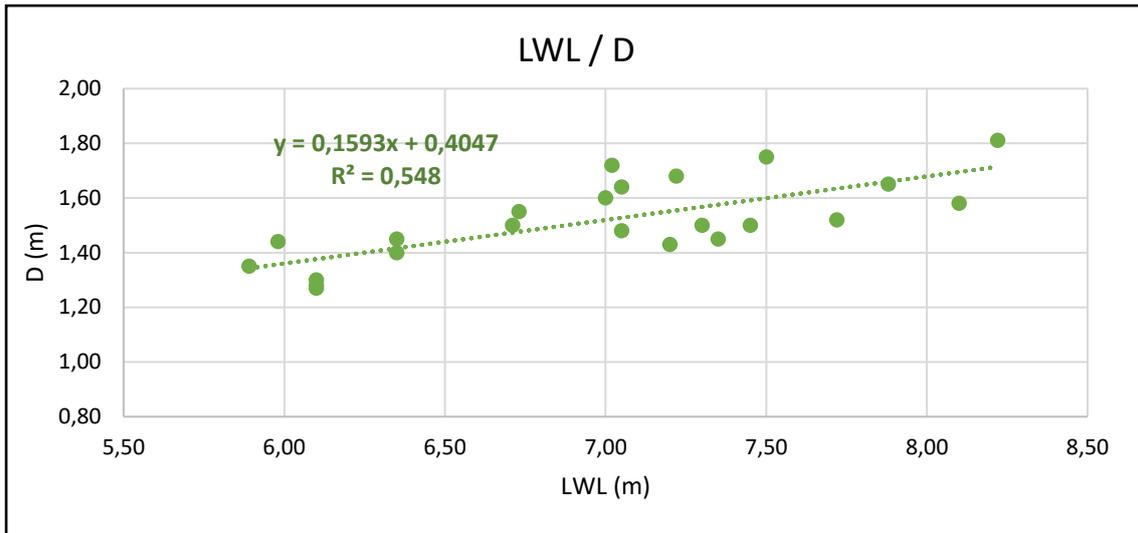
Por ello, el calado de la embarcación deberá ser aquel que proporcione un buen rendimiento y que sea práctico para navegar en aguas pocas profundas, de fácil manejo, entre otros.

Como en el apartado anterior, Larsson y Eliasson proporcionan un gráfico en el que la relación eslora de flotación/calado está en función de la eslora de flotación.



**Figura 3. Relación  $L_{WL}/D - L_{WL} - PYD$**

Como se ha comentado al inicio del capítulo, no se tiene información de todas las esloras de flotación de los veleros, por lo que en este apartado se trabajará únicamente con los veleros que disponemos de los datos de la flotación.



**Figura 4. Relación LWL/D**

		<b>Velero Proyecto - D (m)</b>
<b>LWL/D (Mín.)</b>	4,081	1,490
<b>LWL/D (Máx.)</b>	5,127	1,186
<b>LWL/D (Media)</b>	4,601	1,321
<b>LWL/D (Regresión)</b>		1,373

**Tabla 3. Valores máximo, mínimo, media y de regresión de LWL/D**

### **2.3. Relación Desplazamiento / Superficie Vélica**

La superficie vélica que se considerará a lo largo del proyecto será la suma del área de la vela mayor y la del génova, superficie vélica en ceñida. Por el momento solo tendremos en cuenta la superficie vélica total para el cálculo, considerando más adelante la superficie de la mayor y el génova, cuando sean necesarias para el cálculo del plano vélico y otros factores.

La relación desplazamiento/superficie vélica determinará de forma aproximada la velocidad máxima del velero. En este caso, la relación no es función de la eslora de la embarcación.

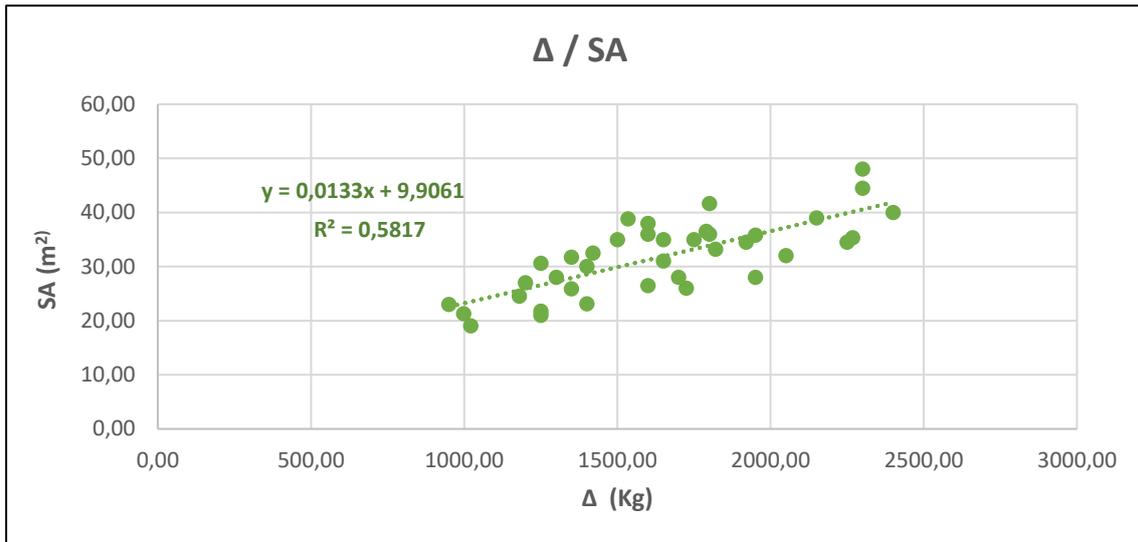


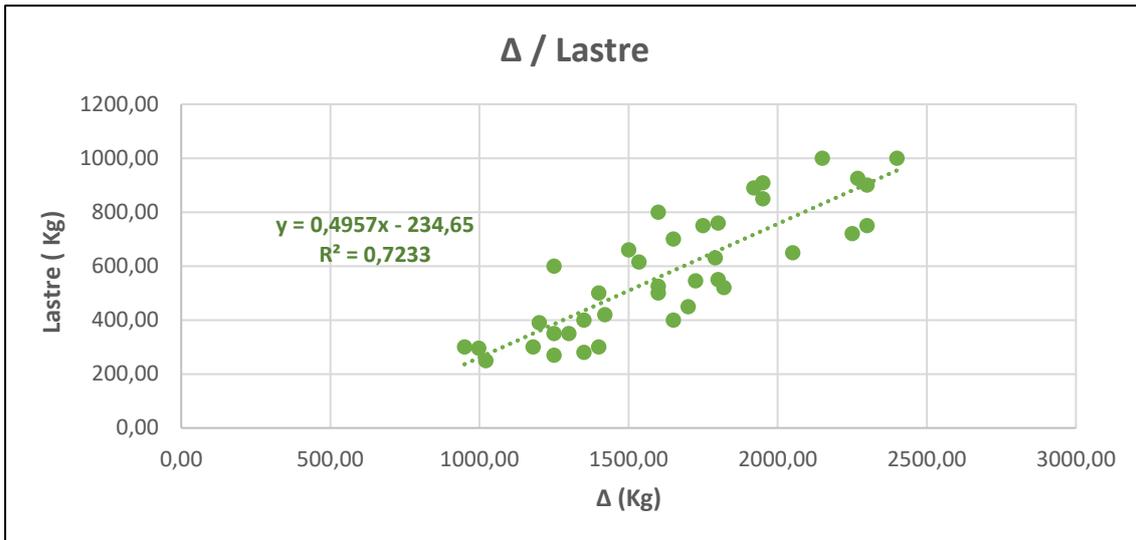
Figura 5. Relación  $\Delta/SA$

		Velero Proyecto – SA (m <sup>2</sup> )
$\Delta/SA$ (Mín.)	39,562	37,915
$\Delta/SA$ (Máx.)	69,643	21,538
$\Delta/SA$ (Media)	51,394	29,186
$\Delta/SA$ (Regresión)		29,856

Tabla 4. Valores máximo, mínimo, media y de regresión de  $\Delta/SA$

## 2.4. Relación Peso del Lastre / Desplazamiento (%)

El peso del lastre es un valor de gran importancia en el proyecto de una embarcación como la de este proyecto. En el caso de embarcaciones de regata, al tener un menor desplazamiento necesitarán una relación de lastre mayor para así bajar el centro de gravedad. Por ello, la relación entre el desplazamiento y el lastre indicará un valor aproximado de la diferencia de peso entre el desplazamiento en rosca y el lastre acoplado.



**Figura 6. Relación Δ/Lastre**

		<b>Velero Proyecto - Lastre (Kg)</b>
<b>Δ/Lastre (Mín.)</b>	20,741	311,115
<b>Δ/Lastre (Máx.)</b>	50,000	750,000
<b>Δ/Lastre (Media)</b>	33,457	501,855
<b>Δ/Lastre (Regresión)</b>		508,9

**Tabla 5. Valores máximo, mínimo, media y de regresión de Δ/Lastre**

## 2.5. Relación Desplazamiento / Potencia

La potencia con la que se dotará a la embarcación deberá ser suficiente para que esta pueda navegar a motor a una velocidad de 5 nudos aproximadamente. Por ello, la potencia instalada está relacionada directamente con el desplazamiento del velero.

Al igual que en con los valores del calado, no todos los fabricantes indican la potencia instalada, por lo que se realizará el estudio a partir de 17 embarcaciones. Como se ha comentado al inicio del capítulo, los valores que se obtengan a partir de esta relación serán meramente orientativos a tener en cuenta en el desarrollo del capítulo de motorización.

Las embarcaciones de las que se disponen de los datos de potencia son las siguientes, con sus respectivos valores de potencia y desplazamiento:

Veleros	$\Delta$ (Kg)	Pot. (CV)
Ronáutica RO 265	1950,00	13,00
Tarsis 26	1600,00	14,00
Tarsis 28	1800,00	14,00
Sunbeam 28,1	2300,00	13,40
Yatlant 24	1400,00	12,00
Yatlant 26	1600,00	9,00
Yatlant 28	2300,00	21,00
Beneteau First 25	1535,00	14,00
Egeyat 26	2150,00	9,00
Catalina 22 Sport	1021,00	7,00
Catalina 22 Capri	998,00	6,00
Catalina 275 Sport	2268,00	15,00
Comar Comet 26	1790,00	13,00
Saffier Sc 8,0m Cabin	1800,00	15,00
Seaward 26 RK	1725,00	14,00
Hornet 24	1700,00	10,00
Saturn 21	1250,00	10,00

Tabla 6. Valores de potencia y desplazamiento para los veleros de estudio

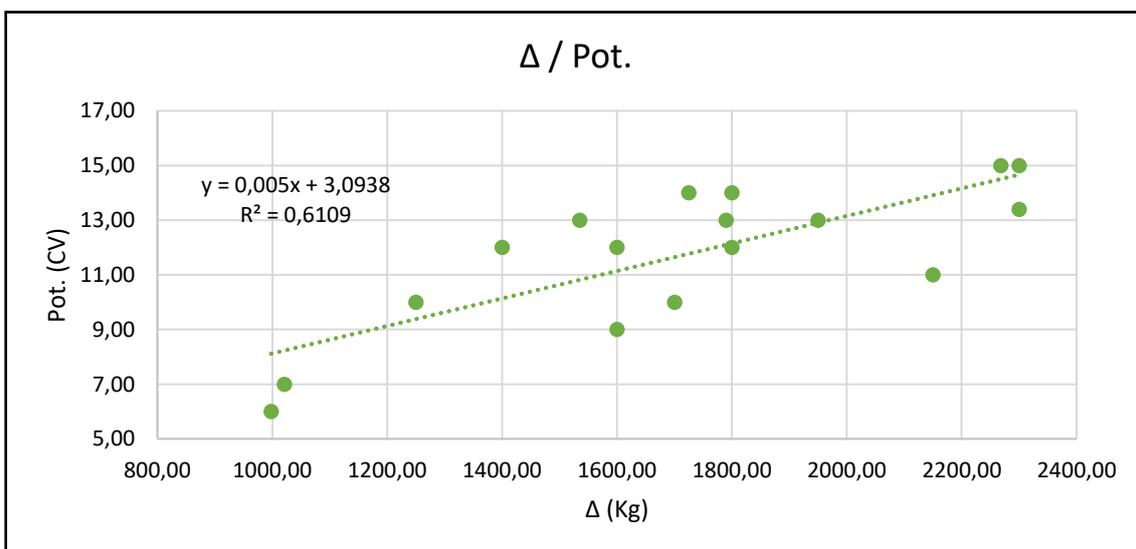


Figura 7. Relación  $\Delta$ /CV

		<b>Velero Proyecto - Pot. (CV)</b>
<b>BHP/<math>\Delta</math> (Mín.)</b>	0,0051	7,650
<b>BHP/<math>\Delta</math> (Máx.)</b>	0,0086	12,900
<b>BHP/<math>\Delta</math> (Media)</b>	0,0068	10,200
<b>BHP/<math>\Delta</math> (Regresión)</b>		10,5938

*Tabla 7. Valores máximo, mínimo, media y de regresión de CV/ $\Delta$*

## ***Capítulo 2 – Diseño de la carena***

Velero crucero de 23.5 pies con Categoría “C” de Diseño de embarcaciones CE



Autor: Mario Villarroya Morales  
Tutor: José Esteban Otón Tortosa

## 1. Introducción

Para introducir este capítulo es importante tener presente la espiral de proyecto que se describió en la introducción de este proyecto. Fijándonos en ella, se observa que los procesos a seguir en el diseño de cualquier embarcación se llevarán a cabo tantas veces como sea necesario y en ocasiones se tendrá que volver unos pasos atrás haciendo las modificaciones pertinentes para poder seguir con el diseño.

Por ello, en el punto actual de este proyecto se llevará a cabo el dimensionamiento preliminar, a partir de los datos obtenidos en el estudio estadístico y los planos proporcionados, además de tener presente las características preliminares que deberá de cumplir la embarcación.

Un aspecto a tener en cuenta son las funciones principales que deberá cumplir la carena:

- Ofrecer la menor resistencia al avance posible.
- Poseer una elevada resistencia a los movimientos dinámicos que se producen durante la navegación.
- Tener una buena estabilidad de formas.

Dicho esto, es evidente que no existe un camino único a seguir para la obtención de dimensiones preliminares como pueden ser la eslora del casco, el calado máximo, desplazamiento, etc.

## 2. Consideraciones iniciales

Con el fin de conseguir unas formas óptimas, buscando así disminuir la resistencia al avance del velero, se deberá analizar cómo influyen los coeficientes de forma en la resistencia.

### 2.1. Número de Froude

Uno de los coeficientes que está directamente relacionado con la resistencia al avance es el Número de Froude,  $F_n$ . Además, también está relacionado con la resistencia por formación de olas.

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{g \cdot LWL}}$$

El velero de este proyecto es un barco de desplazamiento, donde sus formas no están diseñadas para llegar al régimen de planeo. De este modo, su velocidad

de navegación está limitada debido a que desplaza el agua por donde navega y a las olas que se elevan por la proa, recibiendo el casco una gran resistencia al avance.

En función de la velocidad de la embarcación, se establecen tres regímenes de navegación:

- Régimen de Desplazamiento:  $Fn < 0.35$
- Régimen de Semidesplazamiento:  $0.35 < Fn < 0.45$
- Régimen de Planeo:  $Fn > 0.45$

Por tanto, se calculará el número de Froude para la máxima velocidad de navegación, siendo este un valor primordial para continuar con este capítulo.

$$Fn = \frac{6 * 0,514}{\sqrt{9,81 * 6,08}} = 0,4$$

En cuanto a la velocidad máxima, se ha establecido un valor teórico de 6 nudos. Sin embargo, esta velocidad puede variar, tomando valores superiores o inferiores en función de una gran cantidad de condiciones.

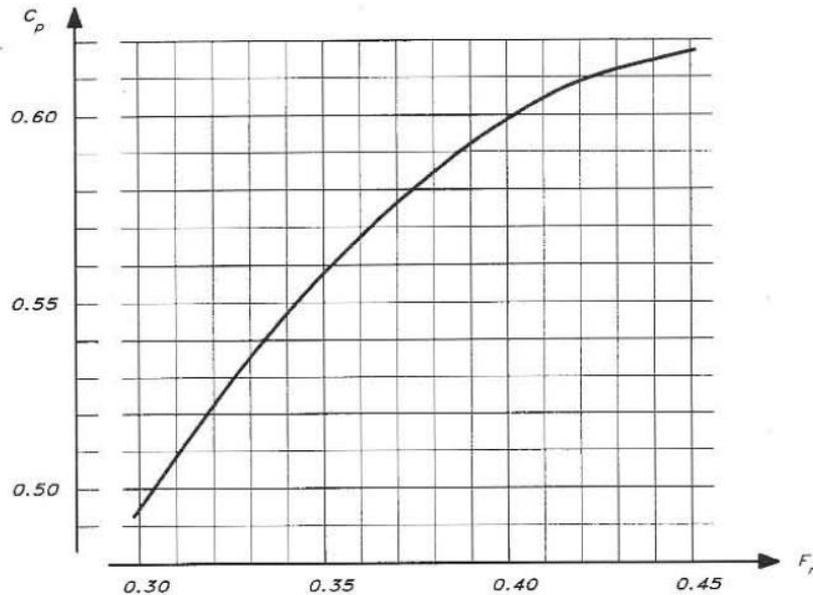
Dicho esto, se estudiará la influencia que tiene el  $Fn$  sobre el  $C_p$  y el LCB.

## 2.2. Coeficiente prismático

El coeficiente prismático,  $C_p$ , es uno de los más importantes de la carena, tomando valores mayor que 0 y menores que 1. Este coeficiente influye directamente en la resistencia viscosa. Cuando el valor de este coeficiente aumenta, las formas del casco serán más llenas, particularmente en los extremos de proa y popa.

La resistencia de presión de fricción aparece como resultado de un desequilibrio en las fuerzas de presión sobre el casco ocasionadas por fenómenos viscosos. Para reducir este fenómeno se deberían de limitar las curvaturas de las líneas de agua.

Larsson proporciona una serie de valores orientativos de  $C_p$ , según se indica en la siguiente figura:



**Figura 8. Relación Cp/Fn - PYD**

En el caso de la embarcación de este proyecto, esta pertenece al régimen de desplazamiento, por lo que tomándose un valor de  $F_n=0.35$ , el  $C_p$  tendrá un valor de 0.56.

Como se ha comentado, este es un parámetro de gran importancia por su influencia en la resistencia de presión por fricción, por lo que se intentará aproximar todo lo posible durante la fase de diseño a un valor cercano a 0.56.

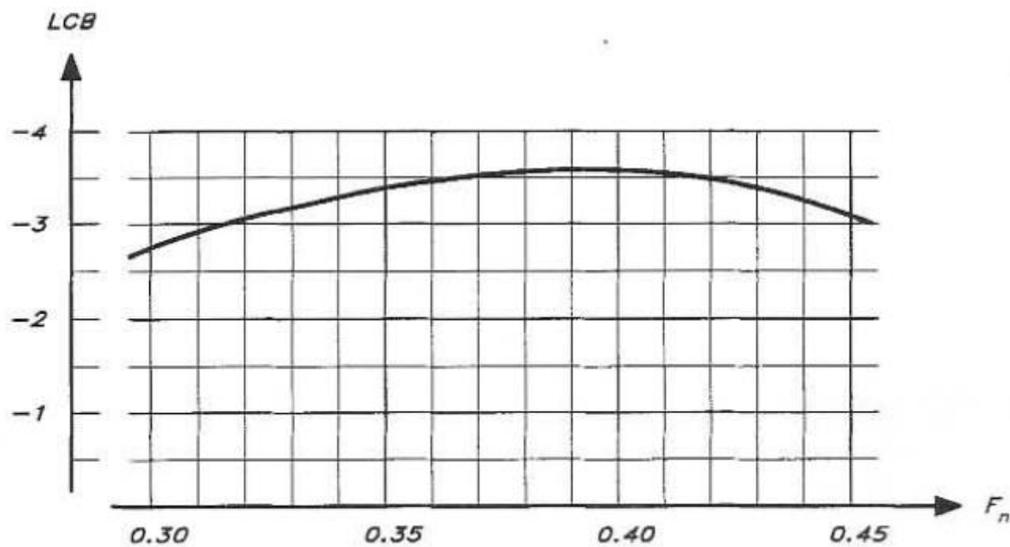
$$C_p = 0,56$$

### **2.3. Posición longitudinal del centro de carena**

El centro de carena se define como el centro de gravedad del volumen de agua desplazado por la embarcación. La posición del LCB variará a partir de la forma de la carena debido a los movimientos del barco.

Si la velocidad de operación es baja, navega en régimen de desplazamiento con  $F_n$  cercano a 0.35, se deberá reducir la resistencia viscosa, siendo esta la que afecta directamente a bajas velocidades. Por el contrario, si la velocidad de operación tiene un valor elevado, cuando navega en régimen de semidesplazamiento con  $F_n$  entre 0.35 y 0.45, se deberá reducir la resistencia por formación de olas.

Como las velocidades a las que navegará el velero serán relativamente bajas, interesará reducir la resistencia viscosa. Para ello, se deberá situar el centro de carena lo más cercano a la maestra.



**Figura 9. Relación LCB/Fn - PYD**

Considerando velocidades de navegación entre los 5 y 6 nudos, se puede apreciar en el gráfico que según disminuye la velocidad, la posición del LCB se aproxima a la sección maestra.

Por lo tanto, y a la vista de los resultados obtenidos, el valor inicial que tomará LCB será:

$$LCB = 3,3\% \text{ a popa de la sección maestra}$$

### 3. Dimensionamiento preliminar

#### 3.1. Eslora y Manga Máxima

En primer lugar, se han definido las formas del casco a partir de los planos, como ya se ha mencionado anteriormente. Estas formas no se correspondían con el diseño de los veleros actuales, debido principalmente a que el casco estaba formado por una serie de codillos en el sentido longitudinal. Por ello, se decidió modificar las formas hasta obtener un segundo diseño de la carena.

Durante el segundo diseño se ha pretendido conseguir unas formas lisas, buscando interiores amplios y una cubierta que pudiera ofrecer unas buenas prestaciones dentro de las limitaciones que tiene un velero de 23.5 pies.

Analizando en profundidad las dimensiones de este último diseño del casco, es cierto que se ha dotado a la embarcación de una manga con unos centímetros de más, pero no se busca que el velero navegue a grandes velocidades, si no que prime el confort en todos los sentidos, tanto en el interior como exterior.

Finalmente, los valores de la eslora del casco y la manga serán:

$$LOA = 7,210 \text{ m}$$

$$B_{m\acute{a}x} = 2,720 \text{ m}$$

Comparando el valor obtenido de la manga con los intervalos del estudio estadístico, los cuales se adjuntan a continuación, se observa que se ha tomado un valor de entre 10 y 15 cm superior a los obtenidos en la base de datos, por lo que se considera que son aceptables.

		<b>Velero Proyecto - B máx. (m)</b>
<b>LOA/BMÁX (Mín.)</b>	2,500	2,883
<b>LOA/BMÁX (Máx.)</b>	3,240	2,224
<b>LOA/BMÁX (Media)</b>	2,780	<b>2,592</b>
<b>LOA/BMÁX(Regresión)</b>		<b>2,631</b>

*Tabla 8. Valores máximo, mínimo, media y regresión de LOA/BMÁX*

### 3.2. Desplazamiento

Con la eslora y la manga correctamente definidas, se procederá a calcular el desplazamiento de la embarcación, para distintas situaciones que posteriormente se describirán. Hay que tener en cuenta que este no serán los valores finales, simplemente valores estimados que a lo largo del proyecto se irá definiendo con mayor exactitud.

Se dotará a la embarcación de un desplazamiento con un margen de seguridad, de modo que no haya problemas en cuanto al peso de los componentes con los que se equipará al velero como con el peso de la habilitación, entre otros.

Los valores de desplazamiento que se tomarán, en base al estudio estadístico y cálculos realizados, serán las siguientes:

- **Desplazamiento en rosca:**

$$\Delta_R = 1.500 \text{ Kg}$$

- **Desplazamiento mínimo operativo:** Será la suma del desplazamiento en rosca, el peso de una persona, las provisiones y pertrechos, equipos de seguridad, el 10% del tanque de agua y 10% del tanque de combustible.

Los pesos del tanque de agua y de combustible se estimarán en 105 Kg y 32 Kg respectivamente. El peso del tanque de agua dulce está desarrollado y justificado en el capítulo de *Equipos y Servicios*, mientras que el peso del depósito de combustible se ha calculado en el capítulo de *Instalación Propulsora*.

El peso de una persona se estimará en 75 Kg, según se justifica en el capítulo de *Cálculo de pesos y C.D.G.*

$$\Delta_{\text{mín}} = 1.800 \text{ Kg}$$

- **Desplazamiento máximo operativo:** Este valor se obtendrá sumando el desplazamiento en rosca, peso de toda la tripulación, provisiones, pertrechos, equipos de seguridad y todos los tanques al 100%.

El número máximo de tripulantes a bordo será de 4, con un peso de 75 Kg para cada uno de ellos.

Las provisiones y pertrechos se estimarán en 35 Kg para cada uno de los tripulantes, mientras que el equipo de seguridad se estima un peso de 30 Kg.

En cuanto al peso de los tanques serán los siguientes:

- Tanque de agua dulce: 105 Kg
- Tanque de combustible: 32 Kg
- Tanque de aguas negras: 37.5 Kg, descrito en el capítulo de *Equipos y servicios*

En el peso de los tanques están incluidos tanto los líquidos como el peso del recipiente.

$$\Delta_{\text{máx}} = 2.150 \text{ Kg}$$

### 3.3. Eslora de flotación y Puntal

Definido el valor del desplazamiento, podremos hacer una primera estimación de la eslora en la flotación,  $L_{WL}$ . La  $L_{WL}$  indicará como de lanzada será la proa de la embarcación, a menor valor de esta eslora mayor será el lanzamiento de la proa, siendo la velocidad menor. Como se ha comentado, la embarcación no tendrá como objetivo principal navegar a grandes velocidades, si no que será para el recreo familia. La disminución de velocidad conlleva una reducción de los movimientos bruscos.

Por lo tanto, se calculará de la eslora de flotación, uno para el desplazamiento en rosca y otro para el desplazamiento máximo operativo, calculados estos anteriormente. El motivo de calcular estos dos  $L_{WL}$  es porque en los cálculos de escantillón, estabilidad y otros más, se necesitará una eslora de flotación u otra, según indique la norma que se esté usando para los cálculos. Los valores de  $L_{WL}$  se obtendrán importando el diseño del casco a Maxsurf Modeler e indicando donde estará la línea de flotación para los distintos valores de desplazamiento.

De este modo, se obtendrán los valores estimados del calado del casco y la eslora de flotación.

- $L_{WL}$  en la condición de desplazamiento en rosca:

$$L_{WL_R} = 6,080 \text{ m}$$

- T en la condición de desplazamiento en rosca:

$$T_R = 0,270 \text{ m}$$

- $L_{WL}$  en la condición de desplazamiento máximo operativo:

$$L_{WL_{m\acute{a}x}} = 6,389 \text{ m}$$

- T en la condición de desplazamiento máximo operativo:

$$T_{m\acute{a}x} = 0,336 \text{ m}$$

### 3.4. Calado máximo

Se ha calculado el calado del casco, pero otra dimensión que se deberá tener en cuenta es el calado máximo, el cual se medirá verticalmente desde la línea de flotación al punto más bajo de la orza.

En este caso, se procederá a calcular  $D_{\text{máx}}$  a partir de los valores obtenidos en el estudio estadístico, siendo la eslora de flotación para este caso 6.080 m.

		Velero Proyecto - D (m)
LWL/D (Mín.)	4,081	1,490
LWL/D (Máx.)	5,127	1,186
LWL/D (Media)	4,601	1,321
LWL/D (Regresión)		1,373

Tabla 9. Valores máximo, mínimo, media y regresión de LWL/D

De la tabla anterior, para obtener un valor lo óptimo del calado máximo, se escogerá aquel que esté entre el valor medio y el obtenido de la recta de la regresión, 1.321 y 1.373 m respectivamente.

$$D = \frac{1,321 + 1,373}{2} = 1,347 \text{ m}$$

### 3.5. Lastre

En función del desplazamiento de la embarcación, se deberá dotar a esta de un mayor o menor lastre, de forma que compense el desplazamiento final, mejorando así la estabilidad.

En el caso de los cruceros de recreo, como es el caso, no será necesario un lastre de elevado peso, ya que los equipos que se instalarán en el casco tendrán un peso suficiente para conseguir la estabilidad óptima.

La finalidad principal del lastre es compensar el par de fuerzas que produce la fuerza del viento sobre las velas, por lo que el cálculo del lastre con el que será equipada la embarcación deberá de hacerse de forma conjunta con el de la superficie vélica. Todo esto se verá más claramente en los capítulos correspondientes, en los que se ve la relación que tienen estos dos parámetros.

Para obtener un valor estimado del lastre se calculará a partir de la relación Lastre/ $\Delta$ , a partir de los resultados del estudio estadístico.

		<b>Velero Proyecto - Lastre (Kg)</b>
<b><math>\Delta</math>/Lastre (Mín.)</b>	20,741	311,115
<b><math>\Delta</math>/Lastre (Máx.)</b>	50,000	750,000
<b><math>\Delta</math>/Lastre (Media)</b>	33,457	501,855
<b><math>\Delta</math>/Lastre (Regresión)</b>		508,900

*Tabla 10. Valores máximo, mínimo, media y regresión de  $\Delta$ /Lastre*

Como se puede observar en la última columna de la tabla anterior, se han obtenido una serie de valores del peso del lastre para un desplazamiento  $\Delta = 1500$  Kg.

Finalmente, el valor del lastre que se estimará será:

$$\text{Lastre} = 500 \text{ Kg}$$

### 3.6. Superficie vélica

En cuanto a la superficie vélica, se tendrá en cuenta aquella que lleva la embarcación cuando ciñe, sin tener en cuenta el gennaker, spinnaker o asimétricas.

Al dotar al velero de desplazamiento y manga suficiente, obteniendo así una mejor estabilidad, permitirá a su vez tener una superficie vélica mayor, sin poner en riesgo la estabilidad de la embarcación.

El cálculo de la superficie vélica, SA, se llevará a cabo a partir de la relación SA/ $\Delta$ , según se indicó en el capítulo de *Estudio estadístico*.

		<b>Velero Proyecto – SA (m<sup>2</sup>)</b>
<b><math>\Delta</math>/SA (Mín.)</b>	39,562	37,915
<b><math>\Delta</math>/SA (Máx.)</b>	69,643	21,538
<b><math>\Delta</math>/SA (Media)</b>	51,394	29,186
<b><math>\Delta</math>/SA (Regresión)</b>		29,856

*Tabla 11. Valores máximo, mínimo, media y regresión de  $\Delta$ /SA*

A la vista de los valores de la última columna, se tendrán en cuenta los valores de la media y el obtenido a partir de la recta de regresión, de modo que la SA del velero será la siguiente:

$$SA = 30 m^2$$

### 3.7. Potencia

A pesar de que en los veleros la potencia propulsora se obtiene prácticamente de las velas, es un parámetro que considerar para ciertas situaciones, como para entrar y salir de puerto, navegar a motor cuando las condiciones de viento sean insuficientes para navegar a vela, entre otras.

Se sabe de antemano que la potencia que se instalará no será elevada, porque el desplazamiento de la embarcación no lo es y las dimensiones de un velero 24 pies no exigen grandes requerimientos de potencia.

La potencia del motor está directamente relacionada con el desplazamiento, siendo la relación  $\Delta/Pot.$  la calculada en el estudio estadístico. Hay que tener en cuenta que existe la posibilidad de que el valor que se calcule no sea la potencia final que se instale, debiendo comprobarse en Maxsurf Resistance.

De este modo, el valor inicial de la potencia será el calculado a continuación:

		<b>Velero Proyecto - Pot. (HP)</b>
<b>BHP/<math>\Delta</math> (Mín.)</b>	0,0051	7,650
<b>BHP/<math>\Delta</math> (Máx.)</b>	0,0086	12,900
<b>BHP/<math>\Delta</math> (Media)</b>	0,0068	10,200
<b>BHP/<math>\Delta</math> (Regresión)</b>		10,5938

*Tabla 12. Valores máximo, mínimo, media y regresión de BHP/ $\Delta$*

A partir de los resultados anteriores, la potencia inicial estimada será:

$$BHP = 10 HP$$

### 3.8. Francobordo

A partir del calado del casco y el diseño de la carena será posible calcular el francobordo en proa. Esta dimensión será la distancia vertical desde la línea flotación de máxima carga y la cara alta de cubierta de francobordo de costado.

Larsson utiliza un gráfico en el que relaciona la eslora de flotación con la relación francobordo en proa / eslora en la flotación.

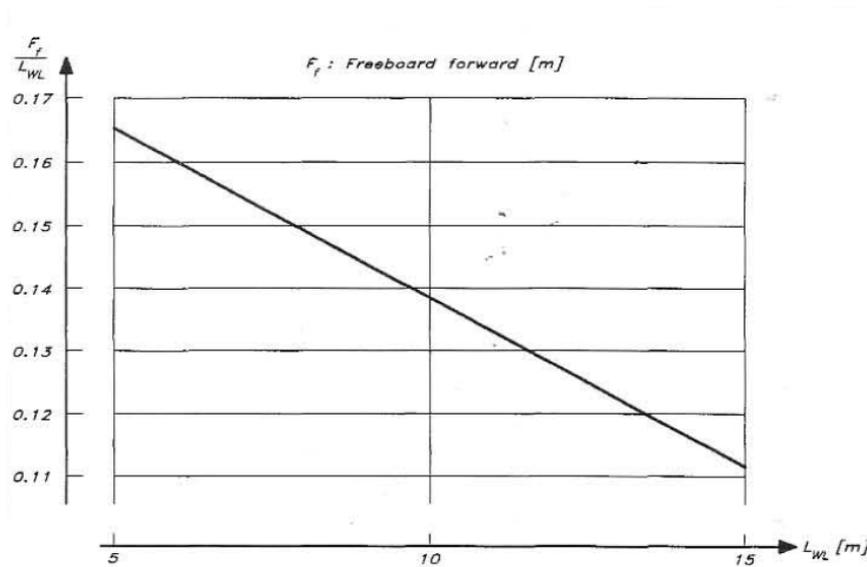


Figura 10. Relación  $F_f$ - $L_{WL}/L_{WL}$  - PYD

Para una eslora en la flotación de 6.389 m, la relación  $F_f/L_{WL}$  será 0.158, siendo el valor del francobordo el siguiente:

$$\frac{F_f}{L_{WL}} = 0,159 \rightarrow F_f = 6,389 * 0,158 = 1,009 \text{ m}$$

Una vez calculados todos los valores necesarios para el diseño de la carena, se puede comprobar que no existe un camino único a seguir para la obtención de dimensiones preliminares como pueden ser la eslora del casco, el calado máximo, desplazamiento, etc.

Es importante destacar que este es un primer diseño preliminar, en el que, a lo largo de este proyecto, se contrastarán y razonarán los resultados que se vayan obteniendo, teniendo en cuenta las posibles modificaciones que se tuvieran que realizar en un segundo diseño preliminar.

## ***Capítulo 3 – Diseño del plano vélico y aparejo***

Velero crucero de 23.5 pies con Categoría “C” de Diseño  
de embarcaciones CE



Autor: Mario Villarroya Morales  
Tutor: José Esteban Otón Tortosa

## 1. Distribución de la superficie vélica

Las dimensiones de las velas, mayor y génova, dependen de la posición longitudinal del mástil a lo largo de la eslora de la embarcación, limitando así las dimensiones del génova. Las dimensiones de las mencionadas serán:

De modo que para la ubicación del mástil se empleará la regla sugerida por Stephen Dittmore, el cual lo sitúa a un 40% de la eslora de flotación desde proa.

Otro aspecto a tener en cuenta son la posición de la botavara, la cual puede afectar a la posición del timonel en la como a la bañera, por lo que se tendrá que tener en cuenta a la hora de dimensionarlo.

Además, es importante tener en cuenta la altura del centro de presión vélico, el cual afecta directamente a la estabilidad de la embarcación. A medida que aumenta el centro de presión también lo hará el brazo escorante, provocando una mayor escora en el velero durante su navegación.

Para el cálculo del centro de presión vélico, Cpv, a partir del alzado del plano vélico, calculamos el centroide de la mayor y del génova, estando el Cpv en la línea que une a ambos. Hay que tener en cuenta que este punto no será constante, irá variando en función del rumbo, el trimado del mástil, entre otros.

A partir de la siguiente expresión podremos obtener el valor que se desea:

$$a = \frac{l}{\frac{A_m}{A_f} + 1}$$

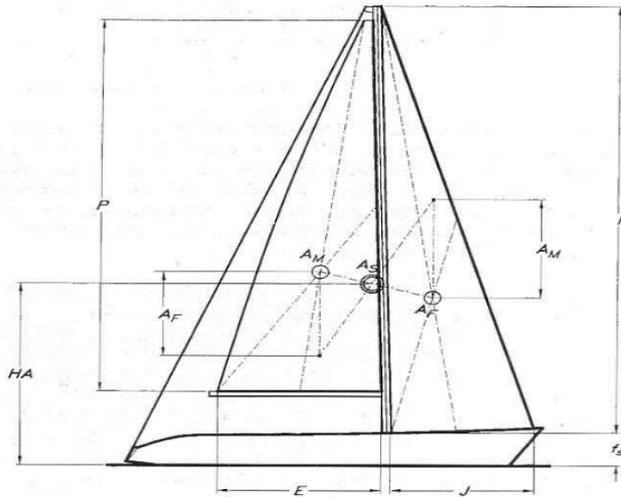
Donde:

- a: distancia entre el Cpv y el centroide de la mayor
- l: distancia entre el centroide de la mayor y el de génova
- $A_m$ : Área proyectada de la mayor
- $A_f$ : Área proyectada del génova

Quedando de la siguiente manera:

$$a = \frac{l}{\frac{A_m}{A_f} + 1} = \frac{2,278}{\frac{13,790}{13,630} + 1} = 1,132$$

Para definir de forma precisa el área de la mayor y el génova se tienen que calcular los valores J, I, P, y E, según se observa en la siguiente figura:



**Figura 11. Dimensiones principales del plano vélico - PYD**

Donde:

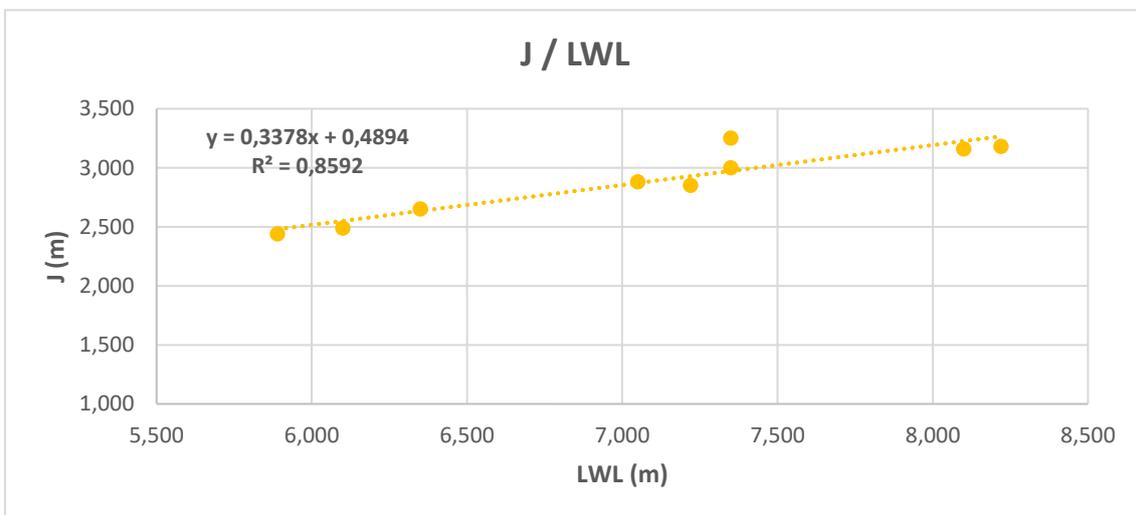
- I: Altura del triángulo de proa, medida desde el arraigo en el forestay del génova hasta la intersección del stay de proa con el mástil.
- J: Base del triángulo de proa, medida desde el anclaje del forestay de proa hasta la intersección con el mástil.
- P: Altura del triángulo de popa, medida perpendicularmente desde la base de la mayor hasta la parte alta del mástil
- E: Base del triángulo de popa, medida horizontalmente desde la intersección de la botavara con el mástil hasta el extremo de la mayor.

En primer lugar, se calculará la dimensión J, la cual depende directamente de la ubicación del mástil en el velero. Según un estudio realizado por Stephen Ditmore, éste lo sitúa a un 40% de la eslora de flotación desde proa.

Para obtener resultados más precisos calcularemos la dimensión J a partir del estudio estadístico de los veleros, contrastando los resultados con la teoría de Ditmore.

VELERO	LWL (m)	J (m)	J / LWL (%)
Tarsis 28	7,350	3,250	44,218
Marlow Hunter 26	7,050	2,880	40,851
Yatlant 24	6,350	2,650	41,732
Yatlant 26	7,220	2,850	39,474
Yatlant 28	8,220	3,180	38,686
Beneteau First 25	7,350	3,000	40,816
Catalina 22 Sport	5,890	2,440	41,426
Catalina 22 Capri	6,100	2,490	40,820
Catalina 275 Sport	8,100	3,160	39,012

**Tabla 13. Valores de J de los barcos de la base de datos y relación J/LWL**



**Gráfico. Relación J/LWL**

Con los resultados obtenidos del estudio estadístico, los valores mínimo, máximo y la media de porcentaje de J/LWL serán:

	Veleros de estudio
J/LWL (% Mín.)	38,592
J/LWL (% Máx.)	44,218
J/LWL (% Media)	40,752

**Tabla 14. Valores máximo, mínimo y media de la relación J/LWL**

Finalmente, y utilizando además la ecuación de la regresión, para estimar el valor de J se calculará de la siguiente manera:

$$J = \frac{J/LWL}{100} * 6,08$$

Valores	J/LWL (%)	Velero Proyecto - J (m)	Velero Proyecto - J / LWL
Mín	38,592	2,348	0,386
Máx	44,218	2,690	0,442
Media	40,752	2,479	0,408
Regresión		2,523	0,415

**Tabla 15. Valores máximo, mínimo, media y de regresión de la relación J/LWL**

A la vista de los resultados obtenidos se observa que el valor medio de J/LWL es del 40.8% y en la regresión del 41.5%, por lo que cualquiera de los dos métodos es válido para calcular J, empleándose el de Ditmore.

Una vez calculada la dimensión J, para obtener “E” se ha de tener en cuenta la posición del timonel, de tal modo que la botavara no afecte a la visión de este, siendo el valor final de “E” de 3.169 m.

Por último, los valores de “P” y “I” deberán de ajustarse todo lo posible para que cumplir con las dimensiones de la superficie vélica propuesta. Para ello, se tomará un valor de “P” de 8.291 m e “I” de 8.993 m.

P (m)	E (m)	I (m)	J (m)
8,291	3,169	8,993	3,112

**Tabla 16. Valores P, E, I y J del plano vélico**

Con las dimensiones anteriores definidas se calculará el área de la mayor y del génova, así como la superficie vélica total.

$$A_m = \frac{1}{2} * P * E$$

$$A_f = \frac{1}{2} * J * I$$

$$A_s = A_f + A_m$$

$A_m (m^2)$	$A_f (m^2)$	$A_s (m^2)$
13,790	13,630	27,420

*Tabla 17. Valores  $A_m$ ,  $A_f$  y  $A_s$  del plano vélico*

Como se puede observar en los resultados anteriores, la superficie vélica calculada es menor que la del estudio estadístico, estimada en 30 m<sup>2</sup>. El motivo de esta diferencia es que el génova que se instalará en el velero será del 120%, pero para el proceso de diseño se considerará el génova al 100%, debido al criterio que se debe de seguir.

Para ubicación del mástil se empleará la regla sugerida por Stephen Dittmore, el cual lo sitúa a un 40% de la eslora de flotación desde proa, a 2'43 m hacia popa desde la flotación de proa.

## 2. Equilibrio vélico

Se entiende por equilibrio vélico cuando el centro de presión vélica, CPV, está situado en la misma vertical que el centro de resistencia lateral, CLR. En el caso que no se cumple dicha condición, el velero tenderá a variar el rumbo, por lo que se tendrá que hacer uso del timón para corregir la variación. Este efecto repercute de forma negativa en la resistencia al avance de la embarcación, reduciendo así de la velocidad de navegación.

Además, dependiendo de la situación del CPV con respecto al CLR el velero tenderá a orzar o arribar. Cuando el CPV está a popa del CLR orzará, disminuyendo así el ángulo formado entre el viento y el rumbo del velero. Sin embargo, cuando el CPV está a proa del CLR tenderá a arribar, aumentándose el ángulo entre el viento y la proa.

La distancia longitudinal entre el centro de presión vélica y el centro de resistencia lateral se denomina Lead. En función del aparejo empleado, el valor de esta distancia deberá estar entre unos parámetros u otros.

- Aparejo fraccionado: del 3 al 7 % de la eslora de flotación.
- Aparejo a tope: entre el 5 y 9 % de la eslora de flotación.

El CLR se obtendrá uniendo los puntos que se obtienen al 25% de la cuerda hasta que intersecte con la línea de flotación. A partir de esta intersección, el CLR se encontrará a una al 45% del calado.

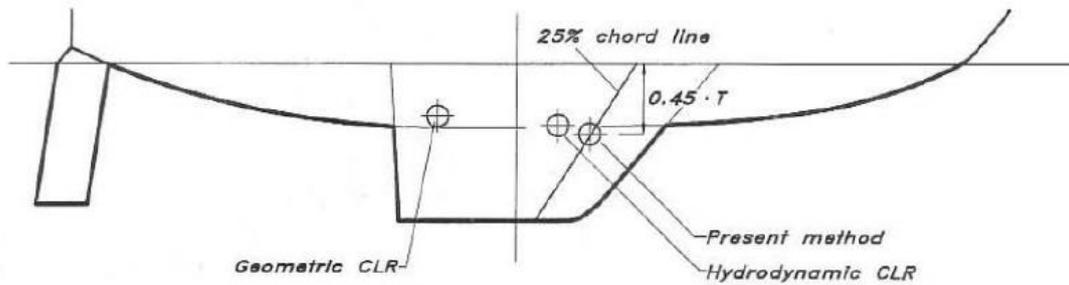


Figura 12. Posición del CLR - PYD

El valor del Lead en este proyecto será 0.332 m, el 6% de la eslora de flotación.

El brazo escorante, distancia vertical entre el CLR y CPV, será de 5.332 m. El aumento de este valor aumentará la escora, pudiendo llegar a puntos críticos.

Por ello se deberá estudiar si la estabilidad del velero es adecuada a la superficie vélica diseñada a partir del ángulo de Dellenbaugh, conociendo así la escora que tendrá el velero navegando en ceñida y con un viento de 15 nudos, correspondiente a un viento de fuerza cuatro.

El cálculo del ángulo de Dellenbaugh se puede llevar a cabo de dos formas distintas. La primera de ellas es mediante el siguiente gráfico.

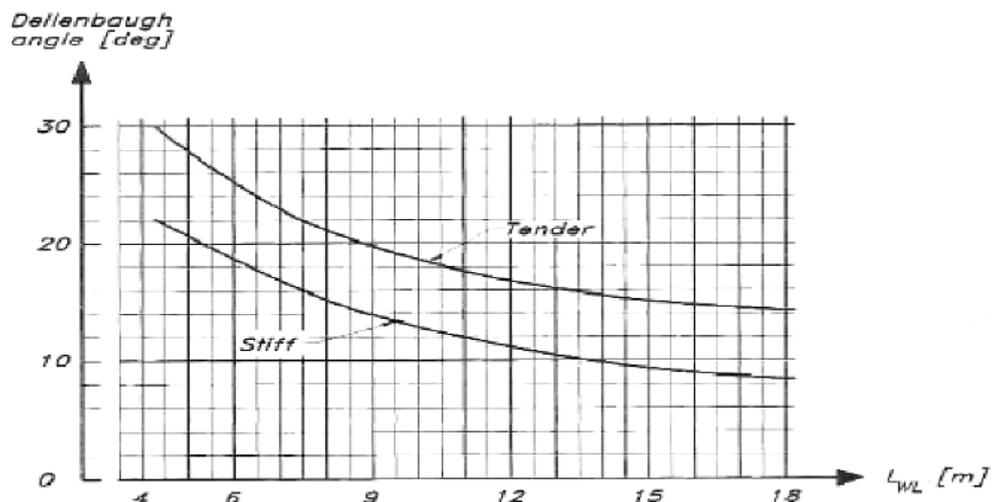


Figura 13. Ángulo de Dellenbaugh - PYD

Entrando en el gráfico, el ángulo de Dellenbaugh estará entre 18 y 24.5°, siendo el extremo inferior correspondiente a una embarcación dura y el extremo superior a una embarcación blanda.

El estudio realizado en la figura anterior fue realizado a partir de distintas embarcaciones que no siguen las mismas formas y diseño que las actuales, por lo que los resultados obtenidos serán orientativos y comparados con los que se calcularán a continuación.

El otro método de cálculo es a partir de la siguiente ecuación:

$$DA = 279 \cdot \frac{SA \cdot HA}{\Delta + GM_t}$$

Donde:

- **SA:** Superficie vélica
- **HA:** Brazo escorante
- $\Delta$ : Desplazamiento
- **GM<sub>t</sub>:** Altura metacéntrica

El valor de la altura metacéntrica se obtendrá a partir de los cálculos hidrostáticos realizados en Maxsurf.

$$DA = 279 \cdot \frac{SA \cdot HA}{\Delta + GM_t} = 279 \cdot \frac{27,42 \cdot 5,332}{1467,461 \cdot 1,635} = 17,001^\circ$$

Finalmente, el ángulo de Dellenbaugh tendrá un valor de 17.001°. El valor obtenido nos indica que la embarcación tiene una buena estabilidad inicial y es más segura.

### 3. Diseño del aparejo

A la hora de diseñar el aparejo se hará uso de una sociedad de clasificación, la cual indicará unos factores adecuados en canto a diseño y seguridad. Para ello se seguirá los parámetros de cálculo marcados en el *Principles of Yacht Design*, detallado en el capítulo 11, *Rig Construction*, aplicando los criterios marcados por la Nordic Boat Standard, NBS, siendo una de las pocas que tiene en cuenta el aparejo.

La primera condición que se debe cumplir es que el triángulo de proa no ha de ser mayor que 1.6 veces el área de la mayor.

$$\frac{I \cdot J}{E \cdot P} < 1,6 = \frac{8,993 \cdot 3,112}{3,169 \cdot 8,291} = 1,065 < 1,6 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

La segunda condición que cumplir será:

$$\frac{RM}{128 \cdot HA} < As$$

Donde:

- $As$ : Área total proyectada en ceñida
- $RM$ : Momento adrizante
- $HA$ : Momento escorante

En primer lugar, se calculará el momento adrizante, considerando un valor inicial adecuado de  $30^\circ$ , donde la fuerza del viento es elevada, generándose cargas estáticas elevadas y una velocidad de navegación adecuada.

$$RM_{30} = GZ_{30} \cdot \Delta_R \cdot g$$

Para el momento adrizante se deberá considerar la acción de la tripulación haciendo banda. La siguiente expresión calculará de forma aproximada el momento creado haciendo banda.

$$\delta RM = 75 * n * [(3,4 * B) - (4,9 * FS)]$$

Donde  $n$  es el número de tripulantes,  $FS$  el francobordo a la altura del mástil y  $B$  la manga del velero.

Finalmente, el momento adrizante  $RM$  se calculará a partir de la siguiente expresión:

$$RM = RM_{30} * \frac{\Delta_{MÁX}}{\Delta_R} + \delta GM$$

Donde  $\Delta_{MÁX}$  es el desplazamiento del velero en la condición de máxima carga y  $\Delta_R$  el peso en rosca del misma.

$$RM_{30} = 0,386 * 1467,461 * 9,81 = 5556,776$$

$$\delta RM = 75 * 4 * [(3,4 * 2,72) - (4,9 * 1,328)] = 822,240$$

$$RM = RM_{30} * \frac{\Delta_{MÁX}}{\Delta_R} + \delta GM = 5541,466 * \frac{2115,418}{1463,418} + 822,240 = 7745,252$$

Una vez realizados los últimos cálculos, se comprobará que la segunda condición cumple:

$$\frac{RM}{128 \cdot HA} < As \rightarrow \frac{7745,252}{128 \cdot 5,332} = 11,348 < 27,420$$

La estabilidad del mástil dependerá tanto de la estabilidad transversal como longitudinal. Esta última dependerá principalmente de la tensión aplicada a los stays de proa y popa, la colocación del pie del mástil, así como el número de crucetas y si estas están retrasadas o perpendicular. En cuanto a la estabilidad transversal, será importante el número de crucetas y si el mástil está apoyado sobre cubierta o apoyado en la quilla, entre otros.

Como se ha mencionado, el mástil puede ir apoyado sobre la cubierta o apoyado en la quilla. La elección que se hará para este proyecto es un mástil apoyado en cubierta debido a los siguientes motivos.

- Se reduce considerablemente la posibilidad de entrar agua por la cubierta.
- Menores esfuerzos transmitidos a la quilla.
- Mástil más fácil de trimar.

De lo contrario, el palo sería más delgado y ligero si el mástil fuera apoyado en la quilla, no siendo este un requisito en el velero de este proyecto.

A la hora del cálculo y diseño del mástil, se deberá reforzar la zona de la cubierta donde irá apoyado este. El refuerzo será tanto interior como exterior. En la zona de la cubierta se diseñará una base de aluminio que irá fijada a esta con las uniones apropiadas.

En el interior y según se puede observar en los planos, en la misma vertical que el mástil está dispuesto el mamparo central. Por ello, se dispondrá de un bisel también en la misma vertical que el mástil unido al mamparo, por lo que ambos elementos serán capaces de absorber los esfuerzos transmitidos por el mástil durante la navegación.

### **3.1. Definición de las cargas transversales**

La NBS tiene en cuenta dos situaciones de cargas distintas para dimensionar de forma correcta la estructura. Las fuerzas que se aplican son provenientes de la presión que se ejerce en las velas debida al viento y otro tipo de fuerzas, dinámicas, que provienen del mar y del viento.

En la primera de las situaciones, la jarcia está sometida a la acción del viento sobre el génova, sin tener en cuenta la forma que tenga la vela debido a que la fuerza transversal  $T_1$  se obtendrá dividiendo el momento adrizante entre la distancia de la línea de flotación al obenque más elevado.

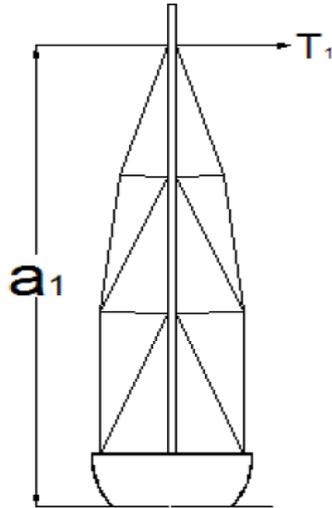


Figura 14. Fuerza transversal, caso 1 - PYD

$$T_1 = \frac{RM}{a_1} = \frac{7745,252}{10,356} = 747,900 \text{ N}$$

Para la segunda situación, la carga que se aplicará a la jarcia será causada por la vela mayor, la cual estará rizada debido a condiciones meteorológicas adversas.

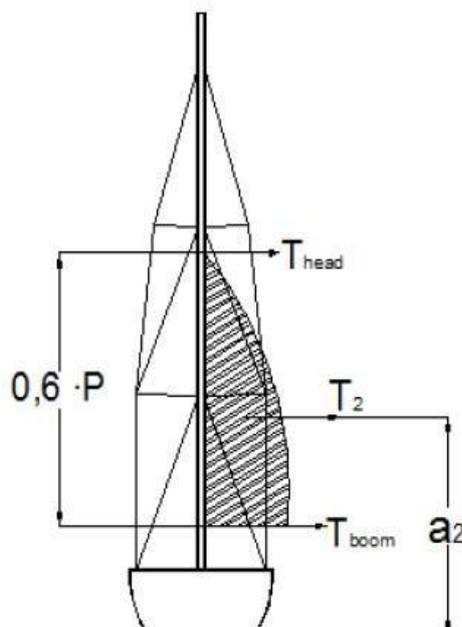


Figura 15. Fuerza transversal, caso 1 - PYD

Como se puede observar en la imagen anterior, la dimensión P de la vela mayor tomará un valor de  $0.6 \cdot P$ . La altura  $a_2$  será desde la línea de flotación hasta el centroide de la mayor rizada.  $T_{head}$  será la fuerza aplicada al punto más alto de la mayor en las condiciones indicadas, mientras que  $T_{boom}$  la fuerza aplicada a la botavara.

$$T_2 = \frac{RM}{a_2} = \frac{7745,252}{3,711} = 2087,107 \text{ N}$$

$$T_{boom} = 0,33 * T_2 = 0,33 * 2087,107 = 688,745 \text{ N}$$

$$T_{head} = 0,4 * T_2 = 0,4 * 2087,107 = 834,843 \text{ N}$$

En el caso de que  $T_{head}$  se encuentre entre dos obenques, la fuerza se descompondrá entre el obenque superior e inferior, resultando  $T_{hu}$  y  $T_{hl}$ .

$$T_{hl} = \frac{T_{head} \cdot d_2}{(d_1 + d_2)}$$

$$T_{hu} = \frac{T_{head} \cdot d_1}{(d_1 + d_2)}$$

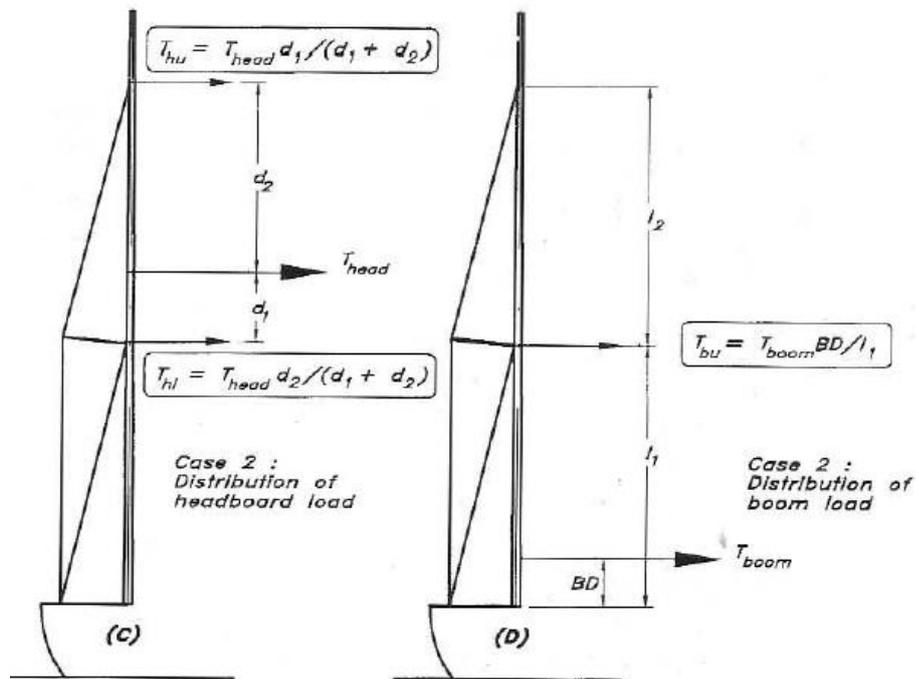


Figura 16. Distribución de la fuerza  $T_{head}$  y  $T_{boom}$  - PYD

Para soportar la fuerza de la botavara,  $T_{boom}$ , son la cubierta y los obenques inferiores los que trabajan en este caso, por lo que se deberá calcular la fuerza  $T_{bu}$ , aplicada a los obenques inferiores.

$$T_{bu} = \frac{T_{boom} \cdot BD}{l_1}$$

Donde  $BD$  es la distancia entre la botavara y la cubierta e  $l_1$  es la altura del obenque inferior sobre la cubierta.

De forma, que las fuerzas quedarán de la siguiente manera:

$$T_{hl} = \frac{T_{head} \cdot d_2}{(d_1 + d_2)} = \frac{834,843 \cdot 3,469}{(1,376 + 3,469)} = 590,325 \text{ N}$$

$$T_{bu} = \frac{T_{boom} \cdot BD}{l_1} = \frac{688,745 \cdot 0,73}{4,309} = 148,171 \text{ N}$$

$$T_{hu} = \frac{T_{head} \cdot d_1}{(d_1 + d_2)} = \frac{834,843 \cdot 1,376}{(1,376 + 3,469)} = 590,325 \text{ N}$$

Dependiendo del tipo de configuración del aparejo, el dimensionamiento de las fuerzas se obtendrá según la siguiente tabla.

Dimensioning Forces $F_1, F_2, F_3$						
Type of Rig	Load Case 1 (Fig 10.3A)			Load Case 2 (Fig 10.3B)		
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_1$	$F_2$	$F_3$
F-0	$T_1$	0	0	$T_{hu} + T_{bu}$	0	0
M-1/F-1	0	$T_1$	0	$T_{hl} + T_{bu}$	$T_{hu}$	0
M-2/F-2 <sup>1)</sup>	0	0	$T_1$	$T_{bu}$	$T_{hl}$	$T_{hu}$
M-2/F-2 <sup>2)</sup>	0	0	$T_1$	$T_{hl} + T_{bu}$	$T_{hu}$	0

Figura 17. Fuerzas de diseño según configuración 1 - PYD

En el caso del proyecto, el tipo de aparejo será M-1, aparejo a tope con un solo piso de crucetas.

Se calcularán las fuerzas máximas,  $F_1$ ,  $F_2$  y  $F_3$  atendiendo a los parámetros de la tabla anterior y los valores obtenidos.

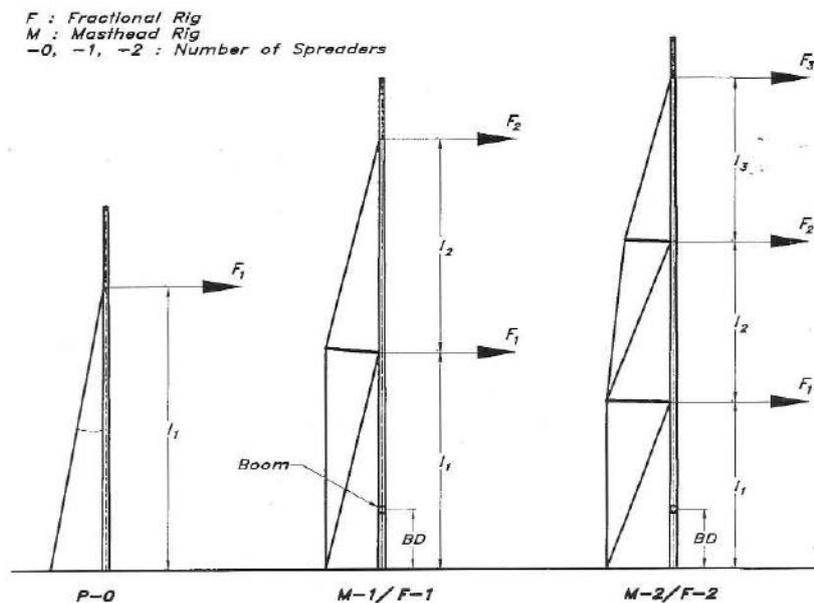


Figura 18. Fuerzas de diseño según configuración 1 - PYD

Tipo de Aparejo	Caso 1			Caso 2		
	F1 (N)	F2 (N)	F3 (N)	F1 (N)	F2 (N)	F3 (N)
M-1 / F-1	0	T1	0	T <sub>hi</sub> + T <sub>bu</sub>	T <sub>hu</sub>	0
M-1 / F-1	0,000	747,900	0,000	738,496	590,325	0,000

Tabla 18. Fuerzas de diseño según configuración 1

De los valores obtenidos en el caso 1 y 2, se tendrán en cuenta los más exigentes:

F1 (N)	F2 (N)	F3 (N)
738,496	747,900	0,000

Tabla 19. Fuerzas de diseño máximas según configuración 1

#### 4. Fuerzas en los obenques

El cálculo de las tensiones en los obenques se llevará a cabo siguiendo las expresiones de la figura 19. Una vez calculadas dichas tensiones se aplicará un factor de seguridad, obteniendo así las tensiones de diseño. El factor de seguridad se aplica con motivo de las distintas condiciones que se pueden presentar y que no se han tenido en cuenta en el cálculo, como golpes de viento, balanceos producidos por el estado del mar, entre otros.

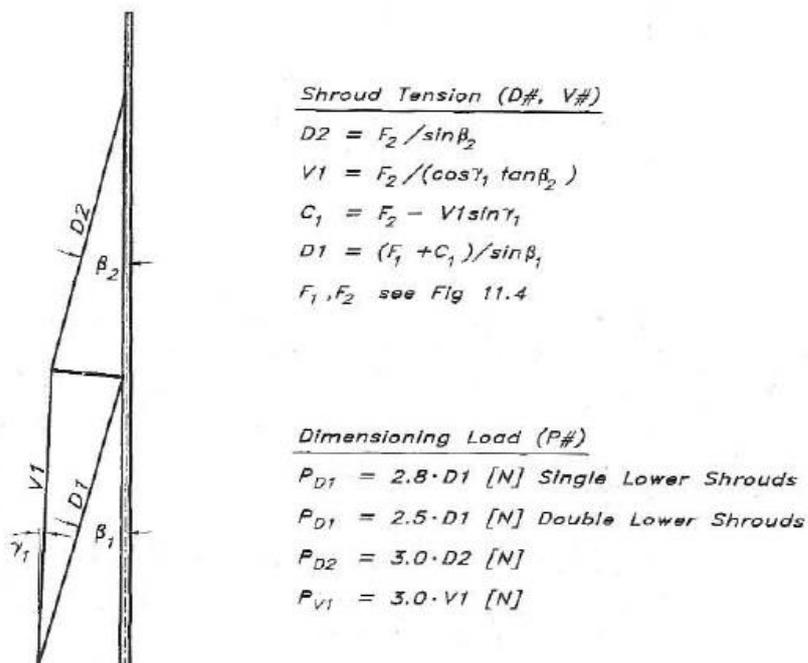


Figura 19. Ángulos y cargas en los obenques - PYD

<b>TENSIÓN EN LOS OBEQUES (N)</b>				
	<b>D2</b>	<b>V1</b>	<b>C1</b>	<b>D1</b>
<b>CASO 1</b>	1357,212	912,115	566,691	596,439
<b>CASO 2</b>	1071,261	1155,585	360,745	379,683

*Tabla 20. Tensión en los obenques*

Con la tensión en los obenques calculado, se aplicará el factor de seguridad.

<b>CARGAS DE DISEÑO EN LOS OBEQUES (N)</b>			
	<b>Pd1</b>	<b>Pd2</b>	<b>Pv1</b>
<b>CASO 1</b>	1491,099	4071,636	2736,344
<b>CASO 2</b>	949,208	3213,783	3466,754

*Tabla 21. Cargas de diseño en los obenques*

Los valores finales de la carga de diseño en los obenques serán los más críticos obtenidos en cada uno de los dos casos.

## **5. Fuerzas en los stays**

La norma que se está utilizando para el diseño y cálculo del aparejo, *NBS*, tiene en cuenta seis disposiciones distintas para el cálculo de las cargas de rotura de los stays, en los cuales ya están incluidos los factores de seguridad.

La configuración que se empleará en el proyecto será la primera de ellas.

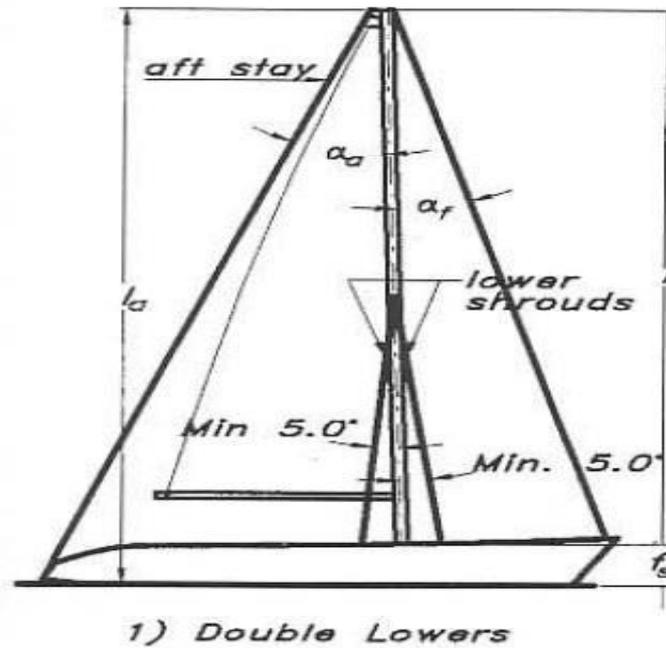


Figura 20. Configuración de los stays - PYD

De tal forma que la carga en los stays quedaría de la siguiente manera:

- Stay de proa:

$$P_{fo} = \frac{15 \cdot RM}{(I + f_s)} = \frac{15 \cdot 7745,252}{(9,397 + 0,959)} = 11218,500 \text{ N}$$

- Backstay:

$$P_a = \frac{P_{fo} \cdot \sin \alpha_f}{\sin \alpha_a} = \frac{11218,5 \cdot \sin 18,56}{\sin 22,78} = 4514,419 \text{ N}$$

## 6. Cálculo del Mástil

Una vez conocidas las cargas a las que será sometida la jarcia firme del velero, se dimensionará el mástil. Al mástil irán fijados los obenques y stays que se han diseñado, además tendrá que estar calculado y diseñado para que sea capaz de soportar los esfuerzos a los que será sometido y transmitirlos a la estructura.

Como se observa en la siguiente figura, las crucetas dividirán el mástil en una serie de paneles, calculándose así el momento de inercia transversal  $I_x$ .

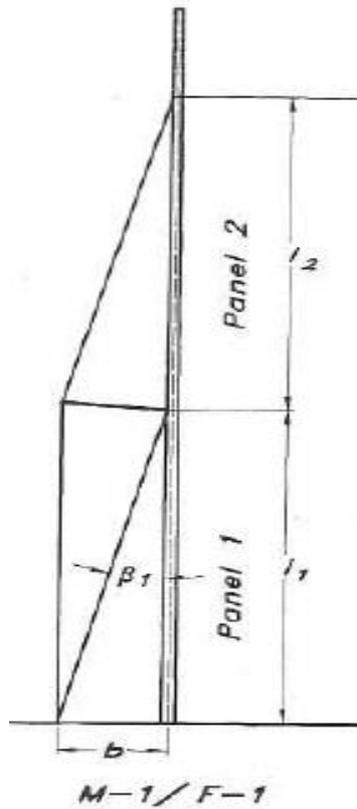


Figura 21. Paneles del mástil tipo M-1 - PYD

$$I_x = k_1 \cdot m \cdot PT \cdot I(n)^2 \text{ (mm}^4\text{)}$$

Donde:

- m: En función del material del mástil tendrá un valor. Para el aluminio será 1.
- I (n): Longitud del panel que se está calculando
- PT: Tendrá un valor en función del panel:

$$PT_1 = \frac{1,5 \cdot RM}{b} (N)$$

$$PT_2 = \frac{1,5 \cdot RM}{b} - (D1 \cdot \cos\beta_1) (N)$$

- $k_1$ : Su valor depende del tramo de mástil, así como el tipo de aparejo utilizado:

Type of Rig	Panel Factor $k_1$	
	Panel 1	Panel 2 & 3
F-0	$2.4 \cdot k_3$	-
F-0 short spr.	$1.6 \cdot k_3$	-
M-1	$2.5 \cdot k_3$	3.50
F-1	$2.4 \cdot k_3$	3.35
M-2	$2.7 \cdot k_3$	3.80
F-2	$2.6 \cdot k_3$	3.60

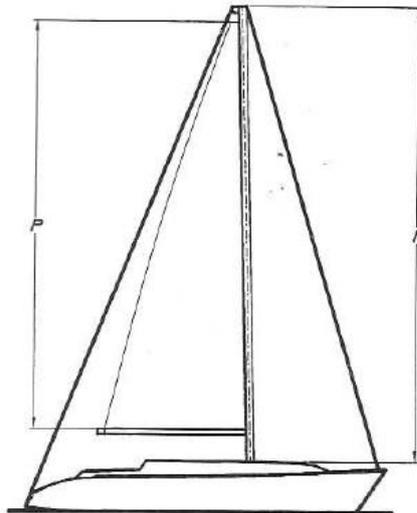
Figura 22. Valores de  $K_1$  - PYD

MOMENTO DE INERCIA TRANSVERSAL				
Panel	PT (N)	$K_1$	l(n) (m)	$I_x$ (mm <sup>4</sup> )
1	9430,096	3,375	4,709	705744,137
2	9311,682	3,500	4,698	719320,116

De los dos valores de Momento de Inercia Transversal calculados, se escogerá el más crítico para obtener las dimensiones finales del mástil.

Tabla 22. Momento de inercia transversal del mástil

En cuanto al momento de inercia longitudinal, se calculará a partir de la siguiente expresión y según se indica en el gráfico:



$$I_y = K_2 \cdot K_3 \cdot m \cdot PT \cdot h^2 \text{ (mm}^4\text{)}$$

Donde:

- $m$ : En función del material del mástil tendrá un valor. Para el aluminio será 1.

- PT: Tendrá un valor en función del panel:

$$PT = \frac{1,5 \cdot RM}{b} (N)$$

- K<sub>3</sub>: tomará un valor de 1.35, por estar el mástil apoyado en la cubierta
- h: altura medida desde la cubierta o superestructura a la vela más alta que lleve el stay de proa.
- K<sub>2</sub>: Dependerá del aparejo que se emplee, tomando un valor de 0.85 en este proyecto.

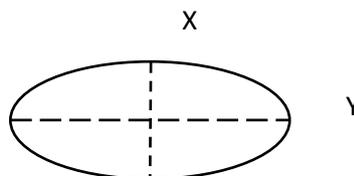
MOMENTO DE INERCIA LONGITUDINAL				
Panel	PT (N)	K <sub>2</sub>	h (m)	I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )
1	9430,096	0,850	8,945	865823,770

**Tabla 23. Momento de inercia longitudinal del mástil**

A partir de los datos obtenidos y según la tabla proporcionada por *Principles of yacht Design*, p. 224, las dimensiones finales del mástil serán:

MEDIDAS DEL MÁSTIL				
I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	X (mm)	Y (mm)	Peso (Kg/m)
215,000	100,000	130,000	93,000	2,710

**Tabla 24. Dimensiones del mástil**



**Figura 23. Dimensiones X e Y del mástil**

## 7. Cálculo de la botavara

Debido a la presión que ejerce el viento sobre la mayor, la botavara sufre constantes esfuerzos de flexión. La escota de la mayor y la contra son elementos que contrarrestan estas fuerzas.

La escota de la mayor tiene como función variar la posición de la botavara y de este modo ir variando el ángulo de ataque de la vela que soporta, mientras que la contra mantiene longitudinalmente la botavara evitando que esta se levante por la presión que se ejerce sobre las velas.

El elemento que tiene que soportar estos esfuerzos sobre la botavara es el pinzote, siendo este el punto de unión entre mástil y botavara. Las fuerzas que se producen en la zona de unión entre estos dos elementos se descomponen en una componente horizontal,  $F_h$ , y otra vertical,  $F_v$ .

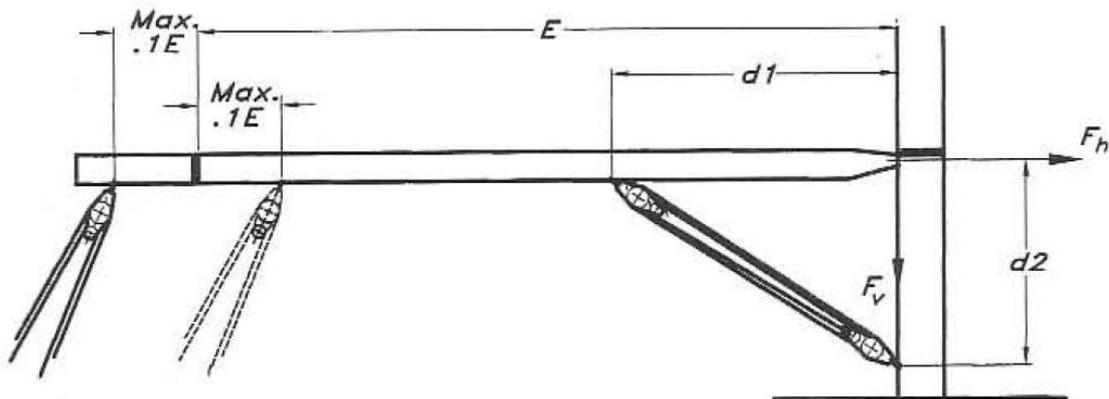


Figura 24. Esfuerzos sobre la botavara - PYD

El cálculo de  $F_h$  y  $F_v$  se llevará a cabo de la siguiente manera:

$$F_v = 0,5 \cdot RM \cdot \frac{E}{HA \cdot d_1} = 0,5 \cdot 7745,252 \cdot \frac{3,169}{5,332 \cdot 0,857} = 2685,696 \text{ N}$$

$$F_h = 0,5 \cdot RM \cdot \frac{E}{HA \cdot d_2} = 0,5 \cdot 7745,252 \cdot \frac{3,169}{5,332 \cdot 0,572} = 4202,774 \text{ N}$$

Debido a las fuerzas de flexión que soportará la botavara, los momentos de inercia, tanto el vertical como horizontal, se obtendrán de las siguientes expresiones:

$$SM_y = 600 \cdot RM \cdot \frac{E - d_1}{\sigma_{0,2} \cdot HA} = 600 \cdot 7745,252 \cdot \frac{3,169 - 0,857}{210 \cdot 5,332} = 9595,447 \text{ cm}^3$$

En cuanto al momento de inercia horizontal, según el *Principles yacht design*, p. 220, no deberá ser inferior al 50% del vertical, tomando este valor como

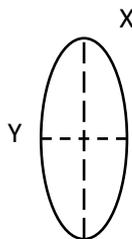
$$SM_x = 4797,235 \text{ cm}^3$$

referencia:

Con los valores de los momentos calculados, las dimensiones de la botavara se calcularán de la misma forma que el mástil, a partir del *Principles yacht design*, p. 224.

MEDIDAS DE LA BOTAVARA				
$SM_Y$ (cm <sup>3</sup> )	$SM_X$ (cm <sup>3</sup> )	X (mm)	Y (mm)	Peso (Kg/m)
24,800	13,700	120,000	62,000	2,160

**Tabla 25. Dimensiones de la botavara**



**Figura 25. Dimensiones X e Y de la botavara**

## 8. Dimensionamiento de las crucetas

Las crucetas tienen como objetivo disminuir la superficie libre del mástil. De modo que si la longitud del mástil se divide en secciones el momento de inercia de la sección será menor, como se ha calculado en el apartado de este mismo. Además, deberán trabajar a compresión, de forma que evite el desplazamiento vertical de estas.

Estos elementos suelen estar retrasados un cierto ángulo y de este modo mejorar la función que tienen los obenques, soportar la estructura en el sentido longitudinal. El ángulo estará alrededor de los 20°, siendo esta una tendencia de los veleros actuales. Otra de las ventajas que tiene retrasar las crucetas es que no interferirán los obenques con el génova cuando este esté al 120%, mejorando el rendimiento en ceñida.

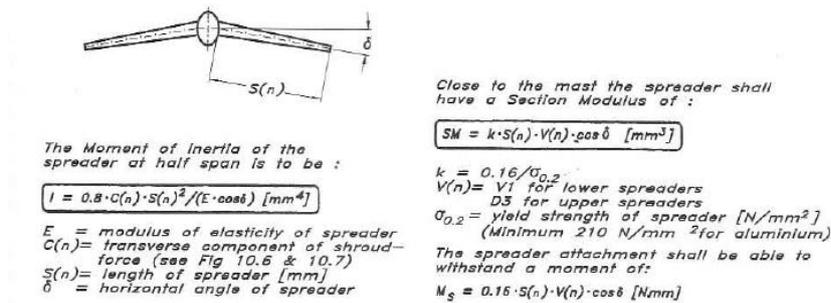


Figura 26. Cálculos de esfuerzos en las crucetas - PYD

Para el cálculo del momento de inercia de las crucetas se utilizará la siguiente

$$I = 0,8 * C(n) * \frac{S(n)^2}{E * \cos \delta} = 0,8 * 566,691 * \frac{1188,790^2}{70000 * \cos 20} = 9289,480 \text{ mm}^4$$

expresión:

Donde:

- $\delta$ : Ángulo horizontal de la cruceta
- $E$ : Módulo de elasticidad del aluminio
- $S(n)$ : Longitud de la cruceta
- $C(n)$ : Componente vertical de la fuerza calculada en la tabla 20

El módulo de la sección será:

$$SM = k * \cos \delta * V(n) * S(n)$$

Donde:

- $k$ : El valor de esta constante será  $0,16 / \sigma_{0,2}$
- $\sigma_{0,2} = 210 \text{ N/mm}^2$
- $V(n)$ : Valor de  $V1$  obtenido en la tabla 20

$$SM = \frac{0,16}{210} \cdot \cos 20 \cdot 1155,585 \cdot 1188,790 = 983,541 \text{ mm}^3$$

## 9. Elección de la jarcia firme

La elección de los cables de los obenques y stays es uno de los aspectos a tener en cuenta a la hora del diseño de la jarcia firme. Actualmente se emplean varillas de acero inoxidable o cables de acero inoxidable 1x19. Por ello se deberá estudiar la carga de rotura, resistencia a la corrosión, fatiga y precio entre ambos.

La fatiga afecta de forma diferente al cable y a la varilla. Éste último tiene mayor sensibilidad a los daños superficiales, provocando grietas y llegando a la rotura sin previo aviso, ya que las grietas son difíciles de detectar. Sin embargo, los cables tienen el inconveniente de que pueden rozar entre ellos, pero visiblemente se puede prever cualquier anomalía en ellos.

La resistencia a la corrosión es un aspecto positivo en ambos, ya que están fabricados de aleaciones similares y serían capaces de soportar las condiciones ambientales sin sufrir deterioro.

En cuanto a la carga de rotura, definida para los obenques y stays en sus respectivos apartados, el diámetro de las varillas y los cables será proporcional a la tensión máxima para la que han sido diseñados. Sin embargo, la resistencia de la varilla suele ser un 20% superior a la del cable.

Por último y no menos importante, para una mismo valor de la resistencia mecánica, la varilla suele tener un coste superior del 50 al 100% del precio del cableado.

Por todo ello, la jarcia firme estará formada por cables de acero inoxidable AISI-316 de 1x19.

A los valores de carga de rotura de los obenques y stays se les ha añadido un margen de seguridad del 20%:

Disposición	$P_{D1}$	$P_{D2}$	$P_{V1}$	$P_{fo}$	$P_a$
Carga de diseño (N)	1789,318	4885,963	4160,106	13462,200	5417,303

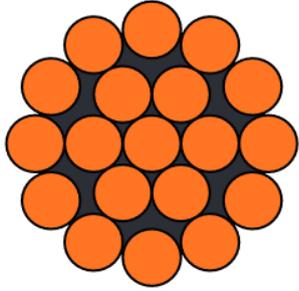
*Tabla 26. Cargas de diseño finales*

A partir de las cargas de diseño anteriores, se obtendrán el diámetro, carga de rotura y peso por metro. Para ello se utilizarán los datos proporcionados por el fabricante.

cordón rígido					
1x19 - ACERO INOXIDABLE AISI316	$\varnothing$ NOMINAL	Peso	Sección	Carga de Rotura	
	mm	kg/m	mm <sup>2</sup>	kN	kg
	1,00	0,005	0,60	0,82	84
	1,50	0,011	1,34	1,85	189
	2,00	0,020	2,40	2,94	300
	2,50	0,031	3,70	5,15	525
	3,00	0,045	5,30	7,42	756
	3,50	0,061	7,30	10,10	1030
	4,00	0,079	10,00	13,15	1340
	5,00	0,124	14,00	20,60	2100
	6,00	0,178	21,00	29,72	3030
	7,00	0,243	29,00	40,42	4120
	8,00	0,317	38,00	52,78	5380
	10,00	0,495	59,00	82,40	8400
	12,00	0,713	83,00	118,70	12100
	14,00	0,971	113,00	161,87	16500
	16,00	1,270	130,00	210,92	21500
	19,00	1,790	185,00	286,45	29200
	22,00	2,360	249,00	391,42	39900
	26,00	3,300	341,00	533,66	54400

- Resistencia 1570 N/mm<sup>2</sup>
- Módulo Elástico (E) 130000 N/mm<sup>2</sup>
- Acabado Pólido



- Estructurales
- Péndolas
- Jarcias Fijas
- Barandillas
- Tomas a tierra/red de tierra
- Línea de Vida
- Tirantes Marquesinas

**Figura 27. Dimensionamiento de la jarcia por el fabricante**

Disposición	P <sub>D1</sub>	P <sub>D2</sub>	P <sub>V1</sub>	P <sub>fo</sub>	P <sub>a</sub>
<b>Diámetro (mm)</b>	2,000	3,000	2,500	5,000	3,000
<b>Carga de rotura (KN)</b>	2,94	7,42	5,15	20,6	7,42
<b>Peso (Kg/m)</b>	0,02	0,045	0,031	0,124	0,045

**Tabla 27. Dimensiones de la jarcia**

## ***Capítulo 4 – Diseño de Apéndices***

Velero crucero de 23.5 pies con Categoría “C” de Diseño de embarcaciones CE



Autor: Mario Villarroya Morales  
Tutor: José Esteban Otón Tortosa

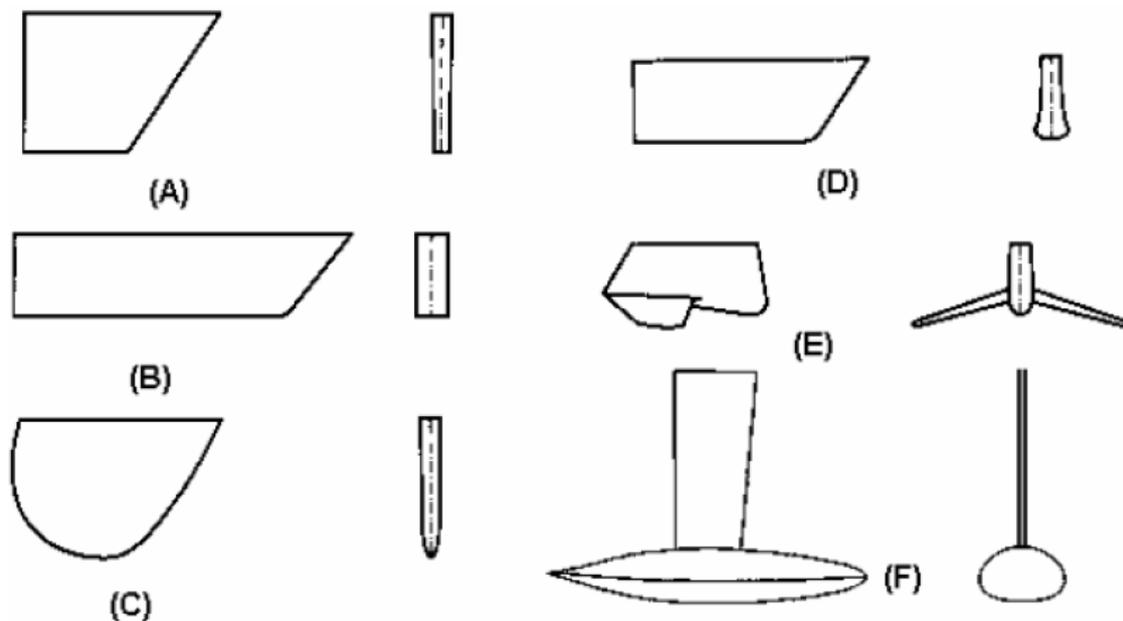
## 1. Diseño de la orza

La orza es uno de los elementos más importantes de las embarcaciones a vela, por lo que se deberá diseñar y calcular de modo que cumpla de forma eficiente con sus funciones, siendo éstas las siguientes:

- Ser capaz de generar una sustentación que contrarreste la fuerza aerodinámica lateral de las velas, con el menor ángulo de ataque posible.
- Deberá cumplir con su función adrizante, ubicándose en ella el lastre fijo y contrarrestar la escora producida de forma efectiva.
- Se deberá de diseñar de modo que la resistencia al avance que se origine durante la navegación sea la mínima posible.

Además de los puntos mencionados anteriormente, el calado máximo de la orza deberá estar acorde a los parámetros definidos inicialmente en el proyecto.

Respecto al tipo de quilla, no existe un único diseño para todos los veleros. Son varios los parámetros a tener en cuenta para su elección, como el lastre, calado máximo, estabilidad, entre otros.



*Figura 28. Tipos de orzas - PYD*

En el caso de este proyecto, se optará por la opción (A) de entre todas las anteriores. El motivo principal es que permite albergar el lastre fijo del que irá dotado el velero y su coste es relativamente más económico que los demás, sin

necesidad de instalar un bulbo u otros tipos de perfiles hidrodinámicos donde el lastre es de alta capacidad.

### 1.1. Parámetros geométricos de la orza

Para el dimensionamiento del apéndice se deberán calcular los parámetros geométricos, según se indica en la siguiente figura:

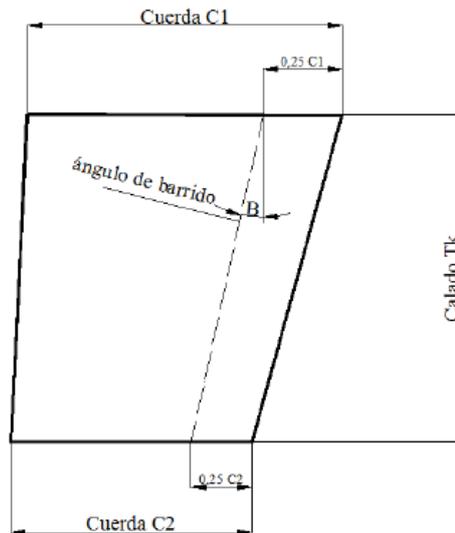


Figura 29. Parámetros geométricos de la orza - PYD

Donde:

- **C<sub>1</sub>**: Cuerda del perfil en la raíz del apéndice
- **C<sub>2</sub>**: Cuerda del perfil en el extremo del apéndice
- **β**: Ángulo de barrido
- **T<sub>k</sub>**: Altura de la orza

Una vez obtenidos los valores anteriores, se definirán los parámetros que caracterizan a cada orza:

- Cuerda media, C:

$$C = \frac{C_1 + C_2}{2}$$

- Área lateral de la orza, S<sub>pk</sub>:

$$S_{pk} = T_K \cdot C$$

- Relación de aspecto geométrica, AR<sub>g</sub>:

$$AR_g = \frac{T_K}{C}$$

- Relación de aspecto efectiva, AR<sub>e</sub>:

$$AR_e = 1,5 \cdot AR_g$$

- Relación de afinamiento, TR:

$$TR = \frac{C_2}{C_1}$$

El calado de la orza,  $T_k$ , ha sido definido en las dimensiones preliminares a partir del calado del casco y el calado total, siendo  $T_k = 1.343$  m.

Una vez obtenida la altura de la orza, se calculará el área lateral de la orza o superficie proyectada a partir de la relación entre el área lateral de la orza y la superficie vélica, teniendo en cuenta el proceso que se indica en el *Principles of yachts design*.

Un valor óptimo para un buen rendimiento de la orza sería del 3.5% de la superficie vélica. Valores inferiores son aptos para embarcaciones de competición, debido a que para velocidades de diseño superiores la superficie de la orza deberá ser menor, llegando a valores del 1.5% en los veleros de la Copa América.

Dado que la superficie vélica del velero de este proyecto es de  $30 \text{ m}^2$ , la relación entre la superficie proyectada del apéndice y la superficie vélica será del 3.40%, siendo el valor del área lateral de la orza de  $1.02 \text{ m}^2$ . El motivo de que sea el 3.40% de la superficie vélica es porque se ajusta más a la relación de afinamiento y de aspecto de acuerdo con las figuras 31 y 32.

Finalmente, y después de probar distintos valores de la cuerda superior e inferior para que se ajustaran a las relaciones adimensionales previamente definidas, las dimensiones de la orza serán las siguientes:

$S_{PK}/SA$	$S_{PK} \text{ (m}^2\text{)}$	$T_k \text{ (m)}$	$C_1 \text{ (m)}$	$C_2 \text{ (m)}$	$C \text{ (m)}$	$\beta \text{ (}^\circ\text{)}$
3,4	1,020	1,073	1,200	0,698	0,949	19,24

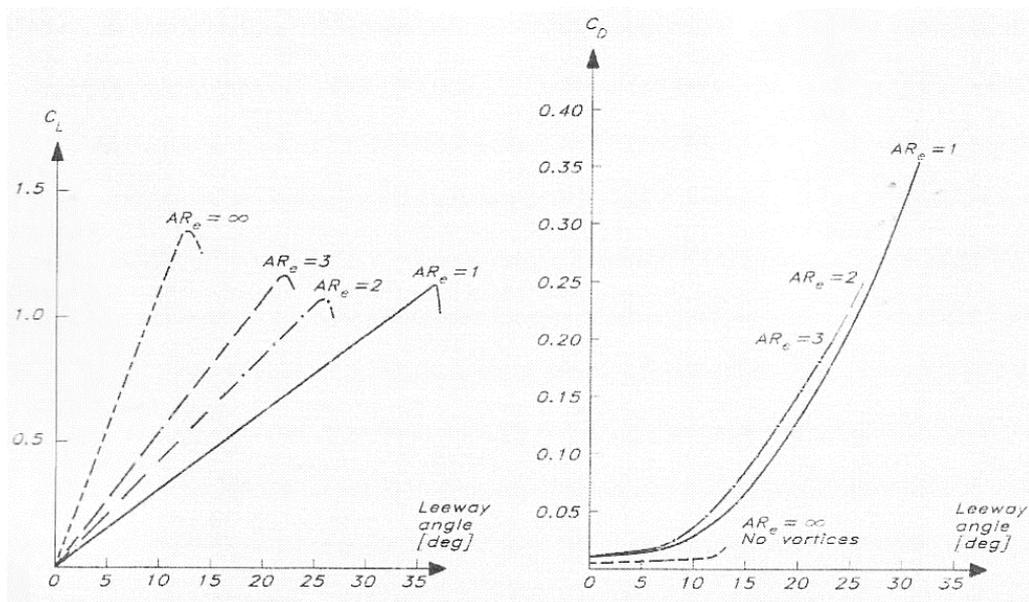
**Tabla 28. Dimensiones principales de la orza**

La relación de aspecto influye directamente en el coeficiente de sustentación, de modo que cuanto mayor sea la relación de aspecto de la orza mayor será sustentación que generará ésta, a la vez que la orza será más fina y la capacidad para albergar el lastre fijo será menor.

Uno de los parámetros que tienen mayor influencia sobre la efectividad que tenga la quilla es la relación de aspecto geométrica,  $AR_g$ .

De acuerdo con la teoría de la línea de empuje, la distribución de presiones que produce una resistencia inducida mínima es una distribución elíptica. Para ello se tendrán en cuenta los coeficientes de sustentación,  $C_L$ , y el de resistencia,  $C_D$ , en relación con el ángulo de ataque, *leeway angle*, obteniendo así la eficiencia del apéndice.

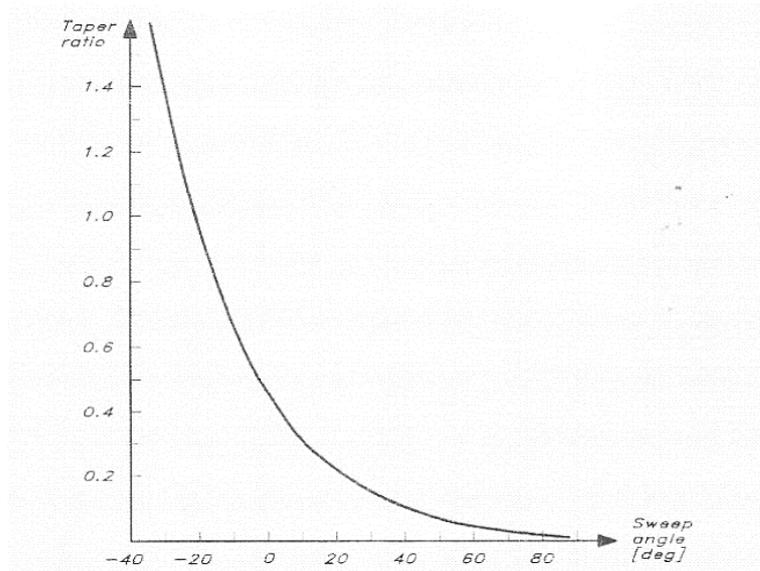
Como se observa en el siguiente gráfico, cuanto mayor sea el ángulo de ataque y menor la relación de aspecto mejor será la sustentación generada. Por el contrario, a menor ángulo de ataque y mayor sea la relación de aspecto mayor será la sustentación.



**Figura 30. Relaciones entre los coeficientes de sustentación y resistencia con el ángulo de abatimiento - PYD**

En cuanto al ángulo de barrido, este tendrá como finalidad reducir la resistencia total, especialmente en los apéndices con baja relación de aspecto. El valor de este se obtendrá a partir de la línea que une los puntos situados al 25%, tanto de la cuerda superior como inferior, desde proa y la vertical que pasa por el punto de la cuerda superior.

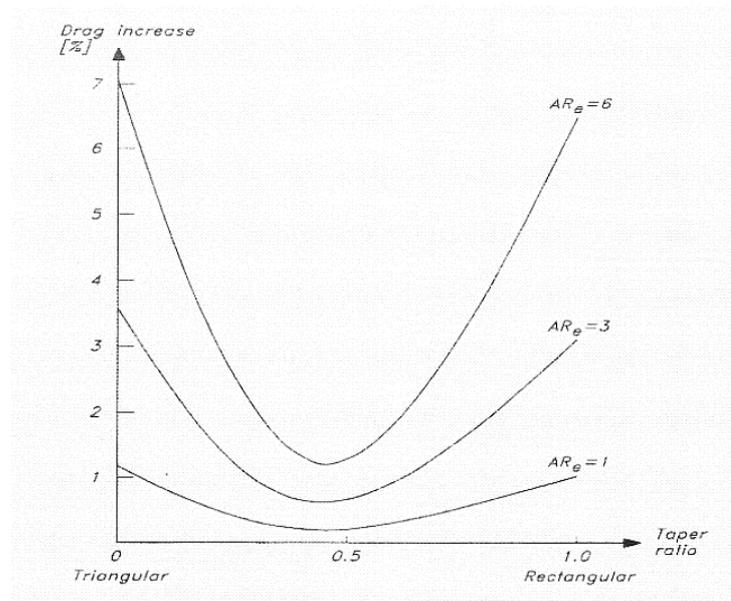
Según Beukelman y Keuning, el ángulo de ataque no deberá ser superior a  $20^\circ$ , ya que de ser superior la fuerza lateral de sustentación se reduciría. Por su parte, Larsson expone que para un ángulo de  $19^\circ$  TR deberá tomar un valor aproximado de 0.25.



**Figura 31. Relaciones entre la relación de afinamiento y el ángulo de barrido - PYD**

Sin embargo, obtener el valor de TR en función del ángulo de ataque no será la forma más correcta. Esto es debido a que, para grandes ángulos, las diferencias existentes entre la cuerda superior e inferior serían amplias, de tal forma que no habría espacio suficiente para ubicar el lastre en la orza, elevando así el centro de gravedad de la embarcación y provocando posibles problemas de estabilidad.

Por ello, el valor de TR deberá de estar comprendido entre 0.4 y 0.6. Por contrapartida, aumentando la relación de afinamiento se aumentará también la resistencia inducida, produciéndose así una pérdida del rendimiento de la orza.



**Figura 32. Incremento de la resistencia inducida debido a la no optimización de la relación de afinamiento - PYD**

Una vez analizados los gráficos anteriores, se observa que el parámetro más importante en este análisis es la relación de aspecto, afectando directamente a un rendimiento efectivo de la orza, por lo que este parámetro deberá tener un valor óptimo próximo a la unidad.

Por otro lado, se ha llegado a la conclusión que ángulos de barrido superiores a los 20° afectarán a la resistencia total del apéndice de estudio, así como a la sustentación lateral.

De tal forma, que los parámetros finales de la orza serán los siguientes:

$S_{PK}/SA$	$S_{PK}$ (m <sup>2</sup> )	$T_k$ (m)	$C_1$ (m)	$C_2$ (m)	$C$ (m)	$\beta$ (°)	ARg	ARe	TR
3,40	1,02	1,07	1,20	0,69	0,95	19,24	1,13	1,69	0,58

Tabla 29. Dimensiones finales de la orza

## 1.2. Selección del perfil de la orza

Para la selección del perfil de la orza se utilizarán las secciones NACA, las cuales fueron desarrolladas por la industria aeronáutica. Cada una de las secciones NACA se diferencia de las demás por la posición del espesor máximo, el borde de ataque y la cuerda.

A pequeños ángulos de ataque, el flujo alrededor del perfil será uniforme y estará adherido a ambas superficies del perfil. A medida que este ángulo aumenta, el flujo se desprende de la superficie empezando en el borde de salida, aumentando la resistencia que ofrece la quilla por el efecto de las turbulencias que se generan en el flujo.

Por todo ello, es conveniente ángulos de ataque bajos, entre 0 y 6°, mejorando así el rendimiento del apéndice.

La sección NACA utilizada habitualmente para las quillas es una sección de la serie 6, debido a que operan a bajos ángulos de ataque. Este tipo de serie está diseñada para extender el flujo laminar.

En la siguiente figura se definen las dimensiones principales de un perfil NACA:

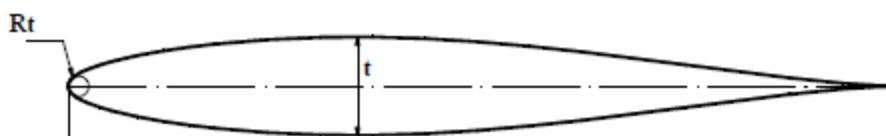


Figura 33. Dimensiones principales de un perfil NACA

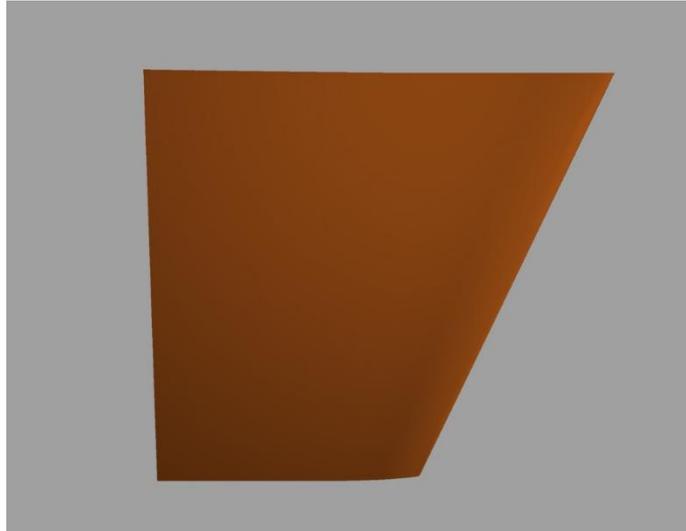
Donde:

- R: Radio de ataque
- C: Cuerda de la sección
- t: Zona de mayor espesor

En el caso de la orza, la zona de mayor espesor del perfil estará alrededor del 30% de la cuerda.

En cuanto a la relación de espesor, esta no debe ser muy elevada ya que aumentaría la resistencia por formación de olas, ni tampoco demasiado pequeña porque la diferencia de presión entre las dos caras del perfil sería pequeña y provocaría la entrada en pérdida. Para el caso de este proyecto, el espesor máximo de la sección será el 9% de la cuerda. Se han realizado varios análisis teniendo en cuenta que el perfil no debía ser demasiado estrecho y con capacidad para albergar el lastre de plomo de 400 Kg.

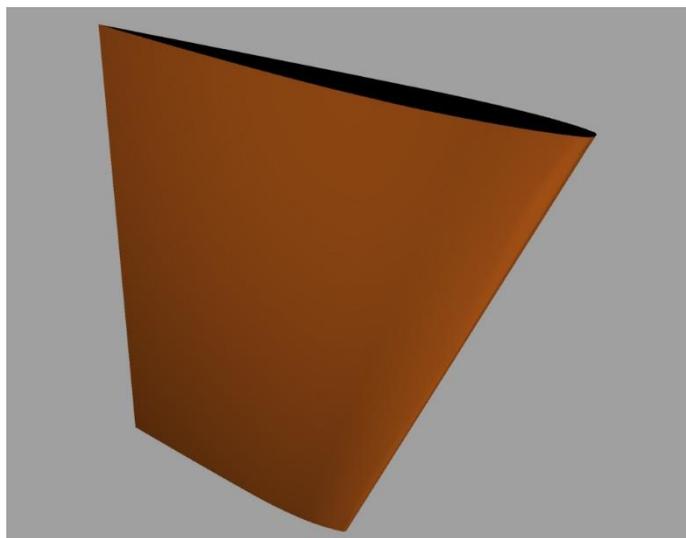
Dicho esto, el perfil NACA seleccionado para la orza será NACA 63-009, de forma, que el diseño de la orza del velero quedará de la siguiente forma:



**Figura 34. Diseño de la orza**



**Figura 35. Diseño de la orza**



**Figura 36. Diseño de la orza**

### 1.3. Cálculo de los pernos de la orza

La unión de la orza con el casco se lleva a cabo por medio de una serie de pernos, los cuales tendrán un diámetro mínimo requerido, añadiendo un margen de seguridad a los valores obtenidos.

Para el desarrollo de los cálculos se empleará la Norma del American Bureau of Shipping, ABS, tal y como se indica en el *Principles of Yacht Design*.

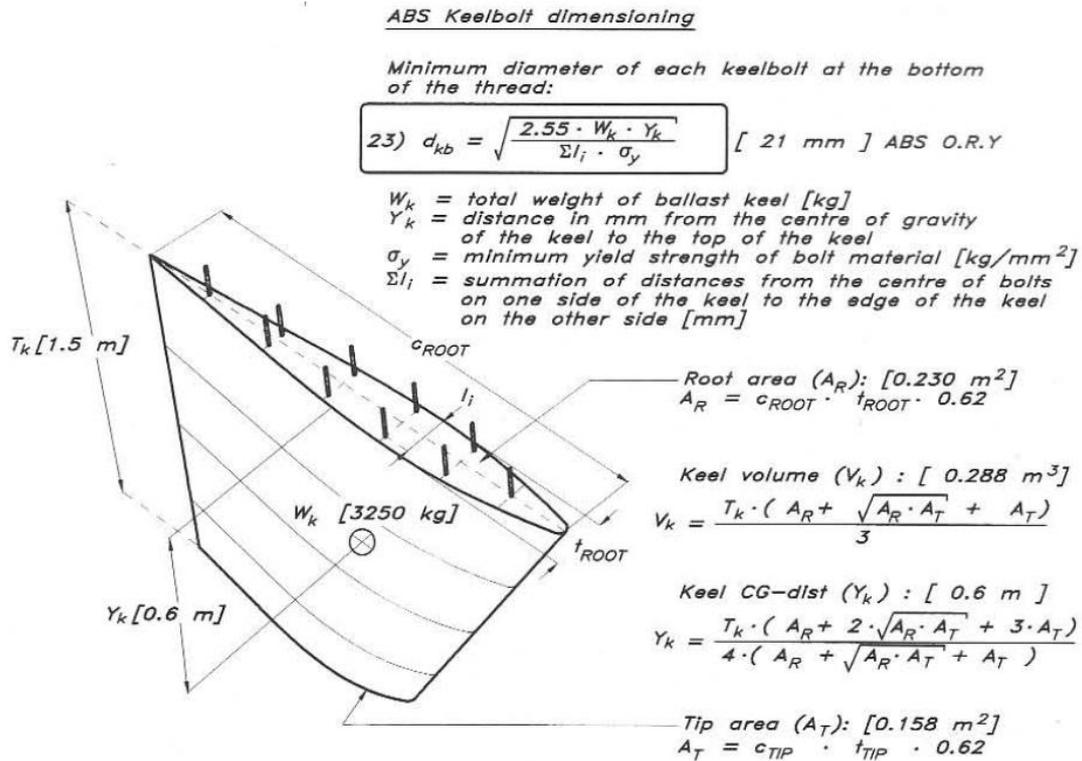


Figura 37. Cálculo de los pernos de la orza - PYD

Wk (Kg)	Yk	σy (Kg/mm2)	Σli (mm)	Tk (m)	Ar	At
400,000	0,650	21,000	379,590	1,073	0,080	0,027

Tabla 30. Dimensionamiento de los pernos de la orza

Vk (m3)	yk (mm)	dkb (mm)	dkb + 10% (mm)
0,055	444,000	7,537	8,291

Tabla 31. Dimensionamiento de los pernos de la orza

## 2. Diseño del timón

El timón es un apéndice de perfil hidrodinámico de menor dimensión que la orza, pero que ayuda a éste a contrarrestar el abatimiento generando la sustentación necesaria. Aunque en algunas situaciones el timón ofrece resistencia al avance, su misión principal es proporcionar la fuerza lateral necesaria para poder maniobrar el velero en las diversas diferentes condiciones de navegación que se presenten.

Como se ha comentado, la quilla trabaja a bajos ángulos de ataque, sin embargo, el timón se diseñará con la finalidad de que tenga un buen comportamiento a grandes ángulos de ataque, siendo esta una situación habitual para las embarcaciones.

El timón con el que se equipará el velero será de tipo suspendido en el espejo de popa. La elección se debe a que en las embarcaciones de pequeña eslora esta ubicación ofrece una cómoda y efectiva maniobrabilidad del timón.

La elección de esta disposición conlleva que la unión del timón con el espejo de popa deberá estar diseñada de forma que sea capaz de soportar los esfuerzos a los que se somete el apéndice durante la navegación.

En cuanto a los materiales de construcción, teniendo en cuenta los costes y esfuerzos de flexión y cizalladura a los que será sometido, será de aluminio naval y relleno de PVC rígido, ofreciendo así buenas características de peso, resistencia y costes.

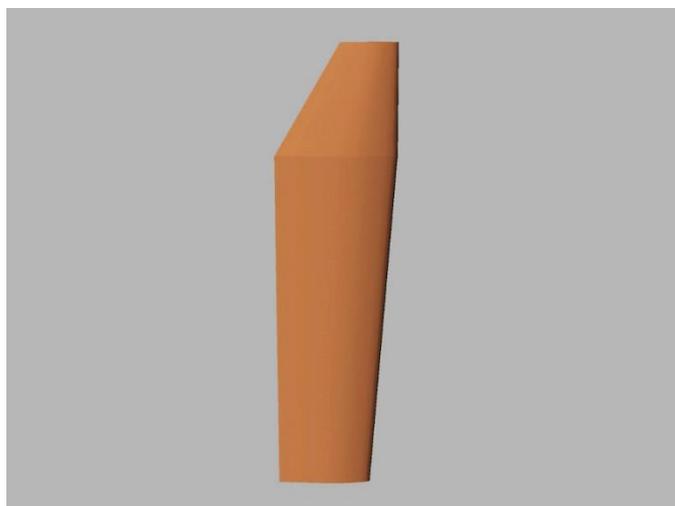
### 2.1. Selección del perfil del timón

Por lo que respecta a la elección de la sección del timón, para los que no sean sumergidos, las secciones de 4 dígitos no son buenas, ya que generan una mayor resistencia por formación de olas. Por tanto, para timones que penetren en la superficie del agua se suele utilizar la sección 64.

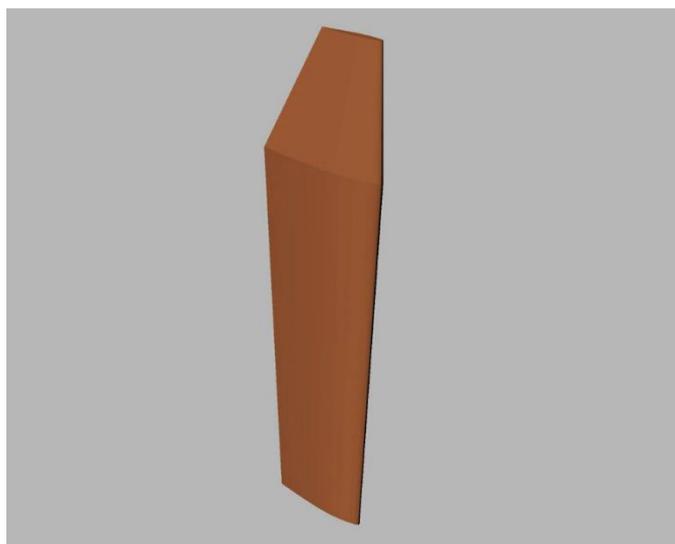
Con respecto a la relación de espesor, se suelen utilizar porcentajes de entre el 12 y el 15% de la cuerda. En el caso del timón, el máximo espesor estará ubicado al 40% de proa del apéndice, a diferencia de la orza que estaba al 30% aproximadamente.

Según los estudios realizados en el *Principles of Yacht Design*, la superficie proyectada del timón tomará un valor entre el 1 y 2% de la superficie vélica. Para el caso de este proyecto, y después de haber realizado varios cálculos con diferentes diseños de timón, se ha optado por una superficie proyectada del 1.65% de la superficie vélica.

Otro aspecto a tener en cuenta es el calado del apéndice, no siendo aconsejable que este sea superior el de la orza, por lo que el calado total del timón será de 1.12 m.



**Figura 38. Diseño del timón**



**Figura 39. Diseño del timón**



*Figura 40. Diseño del timón*

## ***Capítulo 5 - Escantillonado***

Velero crucero de 23.5 pies con Categoría “C” de Diseño de embarcaciones CE



Autor: Mario Villarroya Morales  
Tutor: José Esteban Otón Tortosa

## 1. Consideraciones iniciales

La Norma ISO 12215-5:2008, con la que se trabajará a lo largo de este capítulo, se empleará para el cálculo de las presiones y tensiones de diseño de los paneles de fondo, costado y cubierta, así como la definición y cálculo de los refuerzos estructurales interiores.

Esta Norma ISO está destinada a pequeñas embarcaciones monocasco construidas, entre otros materiales, de plástico reforzado con fibras y eslora de casco entre 2,5 y 24 m, según los parámetros indicados en la Norma ISO 8666 y únicamente aplicable a embarcaciones con una velocidad máxima de 50 nudos en la condición de  $m_{LDC}$ .

Para cumplir con los requisitos estructurales de la normativa se deberá emplear de forma conjunta con la parte 6 para los detalles, parte 8 para los timones y con la parte 9 para los apéndices y los puntos de sujeción de la jarcia, de la ISO 12215:2008.

Se deberán tener en cuenta una serie de términos y definiciones iniciales antes de proceder al cálculo estructural, según la NORMA ISO 12215-5:2008.

- **Masa del desplazamiento en carga,  $m_{LDC}$ :** Masa de la embarcación, incluyendo todos los apéndices, cuando se encuentra completamente cargada y en la condición lista para zarpar, tal y como se define en la Norma ISO 8666.
- **Embarcación a vela:** Embarcación para la que el medio principal de propulsión es la fuerza del viento, teniendo  $A_s > 0,07(m_{LDC})^{2/3}$ , donde  $A_s$  es el área total del perfil de todas las velas que pueden desplegarse al mismo tiempo cuando la embarcación se encuentra ciñendo, tal y como se define en la Norma ISO 8666, y viene expresada en metros cuadrados.

$$30 > 0,07 \cdot (2100)^{\frac{2}{3}} = 11,480$$

- **Embarcación de desplazamiento:** Embarcación en la que la velocidad máxima en mar llana y en condiciones  $m_{LDC}$ , declarada por el constructor es tal que:

$$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} = 1,42 < 5$$

- **Funcionamiento en la modalidad de desplazamiento:** Forma de funcionamiento de una embarcación en el mar de manera que su masa se soporte principalmente por las fuerzas de flotabilidad (empuje de

Arquímedes). Este es el caso generalmente si la velocidad en el mar y en las condiciones del desplazamiento en carga  $m_{LDC}$ , son tales que la relación velocidad/eslora hace que la embarcación funcione como una embarcación de desplazamiento.

A la hora de efectuar el escantillonado se deberán seguir una serie de parámetros de la normativa, dependiendo la categoría de diseño de la embarcación, según la NORMA ISO 12215-5:2008:

- Para las embarcaciones con una eslora  $L_H$  comprendida entre 2,5 m y 24 m, de acuerdo con los capítulos 6 al 11.
- Para las embarcaciones a vela con una eslora  $L_H$  comprendida entre 2,5 m y 9 m, de las categorías de diseño C y D, y para las chapas de costado, de acuerdo con el anexo A.

En el caso del velero de estudio, se llevarán a cabo los cálculos a partir de los parámetros indicados en el primero de los dos puntos mencionados anteriormente, no siendo un inconveniente para la categoría de diseño "B", ya que el proceso de obtener el escantillonado tiene en cuenta mayores parámetros de cálculo, por lo que los resultados serán más precisos.

## 2. Dimensiones principales

En primer lugar, se calcularán las dimensiones principales, obtenidas a partir de Maxsurf Modeler. De acuerdo con la Norma ISO 12215-5:2008, todas las dimensiones están medidas, a menos que se especifique otra cosa, de acuerdo con la Norma ISO 8666, con la embarcación en la condición de plena carga y con una masa  $m_{LDC}$ .

Datos principales de la embarcación		
Masa del desplazamiento en carga	$m_{LDC}$	2100 Kg
Manga en el pantoque	$B_C$	2,068 m
Eslora del casco	$L_H$	7,21 m
Eslora en la flotación	$L_{WL}$	6,389 m
Ángulo de astilla muerta	$B_{0,4}$	20,12 °

*Tabla 32. Datos principales del velero*

\* La manga del pantoque está medida a  $0,4 L_{WL}$  a proa de su extremo de popa:

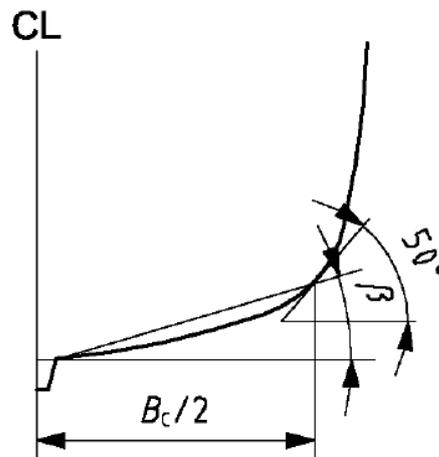


Figura 41. Medición de la manga en el pantoque,  $B_c$ , y del semiángulo del diedro del fondo,  $\beta$  – ISO 12215-5:2008

Como se ha comentado al inicio del capítulo, contrastaríamos en todo momento los resultados que se obtienen en las hojas de cálculo programadas con el software de la ISO 12215-5.

Por ello, los datos iniciales introducidos en el programa quedarían de la siguiente forma:

CRAFT PRINCIPAL DATA

SELF-CERTIFIER-12215-5

Hull length (Pt.5, 6.1) Length of waterline (Pt.5, 6.1) Maximum beam Waterline beam Max righting arm (up to 60°) Draft at mid-LWL Hull depth at mid-LWL Maximum displacement (Pt 5 3.2)	7,210 m 6,389 m 2,720 m 2,068 m 1,000 m 0,336 m 1,250 m 2100 kg B 5,97 knots	L <sub>H</sub> L <sub>WL</sub> B <sub>H</sub> B <sub>WL</sub> GZ <sub>MAX+60</sub> T <sub>C</sub> D m <sub>LDC</sub>	See typical's? <input type="text" value="No"/>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; font-size: 0.8em;">                     See ISO-8666 :2002 Small craft - Principal data for precise definitions                 </div> <div style="font-size: 0.7em; margin-top: 5px;">                     Please note: ISO-12215-5 uses the <b>AFT</b> end of the waterline as the datum for defining longitudinal locations of components                 </div>
--	---	---	---	---

Figura 42. Dimensiones principales del velero – Software ISO 12215-5

## 2.1. Factores de ajuste de la presión

Además de las dimensiones principales para el cálculo de las presiones de diseño, se tendrá que tener en cuenta los factores de ajuste de la presión que son función del tipo de embarcación, diseño, entre otros.

- **Factor de categoría de diseño  $k_{DC}$ :** Se tiene en cuenta la variación de las cargas de presión debidas a la condición del mar respecto a la categoría de diseño.

Categoría de diseño	A	B	C	D
Valor de $k_{DC}$	1	0,8	0,6	0,4

*Figura 43. Valores de  $k_{DC}$  según la categoría de diseño – ISO 12215-5:2008*

- **Factor de carga dinámica,  $n_{CG}$ :** Es la aceleración negativa que soporta la embarcación. Para los veleros no se tendrá en cuenta este factor para determinar la presión, únicamente para el cálculo de  $k_L$ , tomando un valor de  $n_{CG} = 3$ .
- **Factor longitudinal de distribución de presión,  $k_L$ :** Considera la variación de las cargas de presión debidas a la situación en la embarcación. Este factor puede calcularse de dos modos, a partir de las siguientes dos ecuaciones o el gráfico adjunto:

$$k_L = \frac{1 - 0,167 \times n_{CG}}{0,6} \frac{x}{L_{WL}} + 0,167 \times n_{CG} \text{ pero sin ser } > 1 \text{ para } \frac{x}{L_{WL}} \leq 0,6$$

$$k_L = 1 \text{ para } \frac{x}{L_{WL}} > 0,6$$

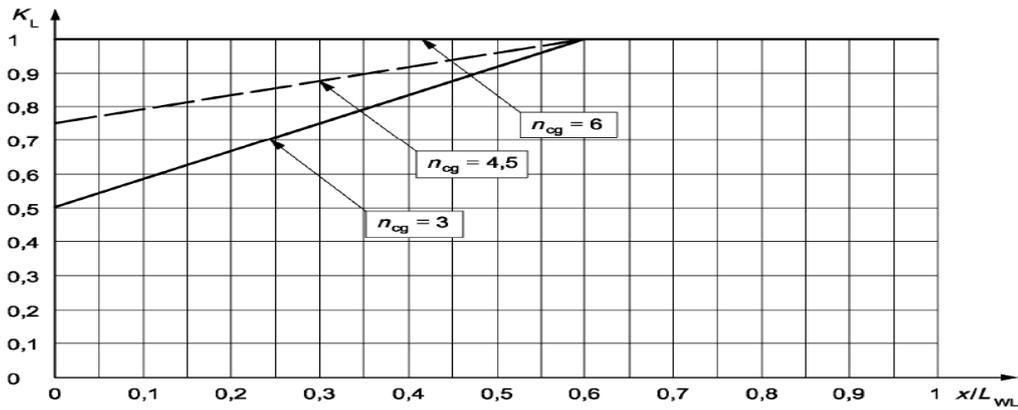


Figura 44. Factor longitudinal de distribución de presión  $k_L$  – ISO 12215-5:2008

Donde  $x/L_{WL}$  es la distancia al centro del panel desde el extremo de popa de la flotación.

- **Factor de reducción de presión según la superficie,  $k_{AR}$ :** Tiene presente la variación de las cargas de presión según el tamaño del panel.

$$k_{AR} = \frac{k_R \times 0,1 \times m_{LDC}^{0,15}}{A_D^{0,3}}$$

$$k_R = 1 - 2 \times 10^{-4} \times l_u$$

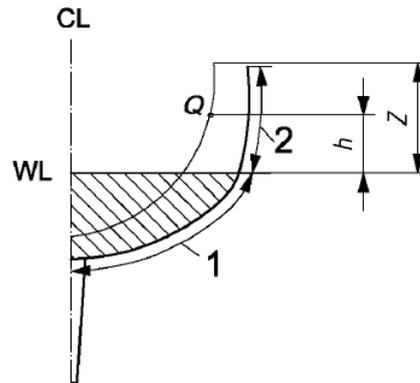
$$A_D = (l \times b) \times 10^{-6}$$

Categoría de diseño	Paneles de una sola capa y refuerzos de fondo y costados  Paneles de una sola capa o tipo sandwich y refuerzos de cubiertas y superestructuras	Paneles tipo sandwich de fondo y costados <sup>a</sup>		
		$\frac{x}{L_{WL}} \leq 0,4$	$0,4 < \frac{x}{L_{WL}} < 0,6$	$\frac{x}{L_{WL}} \geq 0,6$
A	0,25 todas las embarcaciones casco y cubierta	0,4 todas las embarcaciones	Interpolación entre los valores $\frac{x}{L_{WL}} = 0,4$ y $0,6$	0,5 fondo de veleros y costado 0,5 fondo embarcaciones a motor 0,4 costado embarcaciones a motor
B	0,25 todas las embarcaciones casco y cubierta	0,4 todas las embarcaciones		0,4 todas las embarcaciones
C y D	0,25 todas las embarcaciones casco y cubierta	0,4 todas las embarcaciones		

<sup>a</sup> El valor mínimo de  $k_{AR}$  se aplica a los requisitos de resistencia a la flexión o cizalla y con la flecha máxima.

Figura 45. Valores mínimo de  $k_{AR}$  – ISO 12215-5:2008

- **Factor de reducción de presión en el costado,  $k_z$ :** Este factor interpola la presión del costado entre la presión del fondo en la flotación y la presión de la cubierta en su borde superior:



**Figura 46. Definición de las zonas y alturas de los paneles por encima de la flotación – ISO 12215-5:2008**

Siendo  $Z$  la altura de la parte superior del casco por encima de la flotación y  $h$  la altura del centro del panel por encima de la flotación.

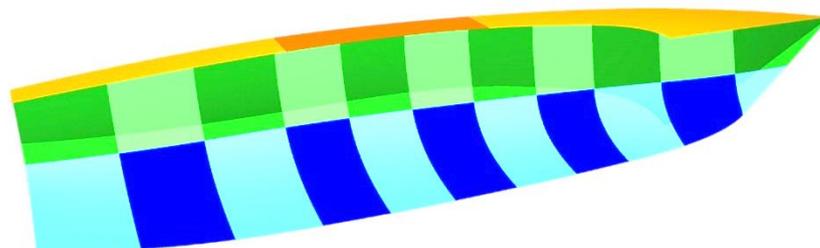
- **Factor de corrección de la presión por el efecto de “slamming” para los veleros ligeros y estables,  $k_{SLS}$ :** Tiene en cuenta las presiones más elevadas debidas al “slamming” cuando navegan contra el viento.

$$k_{SLS} = 1 \text{ si } m_{LDC} > 5 L_{WL}^3$$

### 3. Presiones de diseño, espesores y laminado

Una vez obtenidos los parámetros anteriores, procedemos al desarrollo de los cálculos tanto de las presiones de diseño como del espesor y laminado del fondo, costado, cubierta y refuerzos del velero.

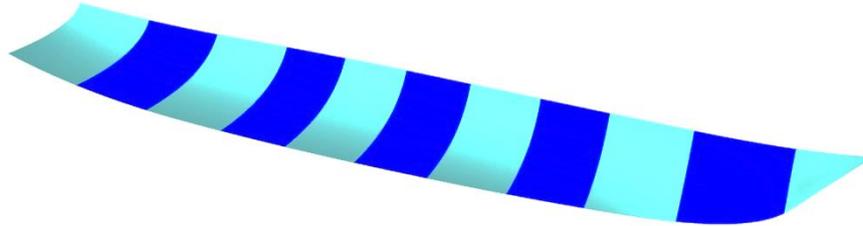
A la hora de llevar a cabo estos cálculos, siguiendo la Norma indicada al inicio del capítulo, estos han sido contrastados con los resultados obtenidos en el software de la ISO SC-12215-5, *Módulo 2*, los cuales se irán mostrando juntamente con las hojas de cálculo programadas.



**Figura 47. Distribución de los paneles de fondo, costado y cubierta**

### 3.1. Fondo

Según se puede ver en el diseño adjunto, para obtener las presiones en el fondo se ha dividido esta zona en once paneles, coincidiendo el final de un panel y el inicio del siguiente con la posición de los refuerzos interiores de las cuadernas y mamparos.



**Figura 48. Distribución de los paneles de fondo**

Donde la presión de diseño en el fondo del velero  $P_{BS}$  será el mayor valor de:

<b><math>P_{BS \text{ MÍN.}}</math></b>	11,5248648	KN/m <sup>2</sup>
<b><math>P_{BS \text{ BASE}}</math></b>	42,9667701	KN/m <sup>2</sup>

**Tabla 32. Presiones de diseño mínima y base en el fondo**

$$P_{BS} = P_{BS \text{ BASE}} \times k_{AR} \times k_{DC} \times k_L \text{ kN/m}^2 \text{ o}$$

$$P_{BS \text{ MÍN.}} = 0,35 m_{LDC}^{0,33} + 1,4 L_{WL} \times k_{DC} \text{ kN/m}^2$$

$$\text{donde } P_{BS \text{ BASE}} = (2 m_{LDC}^{0,33} + 18) \times k_{SLS} \text{ kN/m}^2$$

PRESIONES EN EL FONDO									
Panel	x (m)	x/L <sub>WL</sub>	K <sub>L</sub>	b (mm)	K <sub>R</sub>	l (mm)	A <sub>D</sub>	K <sub>AR</sub>	P <sub>BS</sub> (N/m <sup>2</sup> )
1A	0,038	0,006	0,506	747,580	1,276	1091,700	0,816	0,427	11,525
2A	0,774	0,121	0,602	739,640	1,278	1162,210	0,860	0,421	11,525
3A	1,511	0,237	0,698	737,000	1,279	1191,120	0,878	0,419	11,525
4A	2,183	0,342	0,785	607,460	1,318	1191,120	0,724	0,457	12,346
5A	2,790	0,437	0,864	607,160	1,318	1179,510	0,716	0,459	13,631
6A	3,397	0,532	0,943	607,090	1,318	1140,580	0,692	0,464	15,029
7A	4,007	0,627	1,000	613,100	1,316	1079,580	0,662	0,469	16,129
8A	4,595	0,719	1,000	561,280	1,332	989,730	0,556	0,500	17,200
9A	5,185	0,812	1,000	615,220	1,315	873,160	0,537	0,499	17,163
10A	5,807	0,909	1,000	418,770	1,374	697,280	0,292	0,626	21,530
11A	6,328	0,990	1,000	211,850	1,436	469,020	0,099	0,905	31,094
<b>P<sub>BS</sub> MÁX.</b>									<b>31,094</b>

**Tabla 33. Presiones en el fondo**

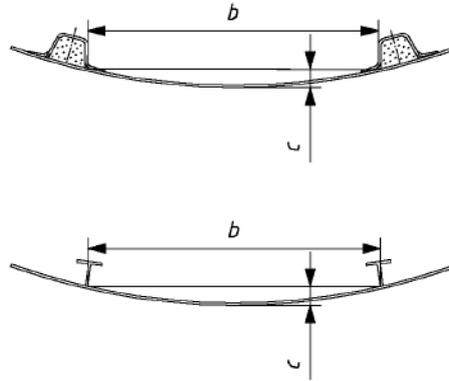
Una vez calculado la presión del fondo, la cual corresponde al panel 11, y teniendo en cuenta los parámetros de ajuste del espesor obtendremos el espesor mínimo requerido en esta zona.

- **Factor de alargamiento del panel por resistencia a la flexión  $k_2$ :** El valor  $k_2$  se obtendrá a partir de la relación  $l/b$ .

Alargamiento del panel $l/b$	Factor $k_2$ $k_2$ debe tomarse = 0,5 para un costado de madera laminada	Factor $k_3$
> 2,0	0,500	0,028
2,0	0,497	0,028
1,9	0,493	0,027
1,8	0,487	0,027
1,7	0,479	0,026
1,6	0,468	0,025
1,5	0,454	0,024
1,4	0,436	0,023
1,3	0,412	0,021
1,2	0,383	0,019
1,1	0,349	0,016
1,0	0,308	0,014
	$k_2$ puede evaluarse mediante la fórmula siguiente manteniendo $0,308 < k_2 < 0,5$	$k_3$ puede evaluarse mediante la fórmula siguiente manteniendo $0,014 < k_3 < 0,028$
	$k_2 = \frac{0,271(l/b)^2 + 0,910(l/b) - 0,554}{(l/b)^2 - 0,313(l/b) + 1,351}$	$k_3 = \frac{0,027(l/b)^2 - 0,029(l/b) + 0,011}{(l/b)^2 - 1,463(l/b) + 1,108}$

**Figura 49. Valores de  $k_2$  y  $k_3$  en función del alargamiento  $l/b$  – ISO 12215-5:2008**

- **Factor de corrección de la curvatura de los paneles  $k_c$ :** Hace referencia al abombamiento del panel tal y como podemos observar en la siguiente figura:



**Figura 50. Medición de una curvatura convexa – ISO 12215-5:2008**

$c/b$	$k_c$
0 a 0,03	1,0
0,03 a 0,18	$1,1 - \frac{3,33c}{b}$
> 0,18	0,5

**Figura 51. Factor de corrección de curvatura  $k_c$  – ISO 12215-5:2008**

Donde  $c/b$  es la relación entre la curvatura del panel y la separación entre los refuerzos de este. Los valores obtenidos no deben ser inferiores a 0.5 ni superiores a 1.

Por tanto, el espesor mínimo de las chapas de fondo vendrá dados a partir de la siguiente expresión:

$$t = b \times k_c \times \sqrt{\frac{P \times k_2}{1000 \times \sigma_d}} \text{ mm}$$

Donde  $P$  es la presión de diseño anteriormente calculada y  $\sigma_d$ :

Material	Elemento estructural	Tensión de diseño $\sigma_d$ N/mm <sup>2</sup>
FRP de una sola capa	Todos los elementos	$0,5 \sigma_{uf}$

**Figura 52. Tensiones de diseño para las chapas de costado de FRP de una sola capa – ISO 12215-5:2008**

Calculando las propiedades mecánicas del laminado de fibra de vidrio E a partir de la tabla C.4 a) de la Norma se obtendrá la tensión de diseño.

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Propiedad	Valores (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_{ut}$	97,012
$\sigma_{uc}$	103,005
$\sigma_{uf}$	143,097
$\sigma_d$	71,548
$\tau_u$	54,616
E	7502,681
G	2306,594
$\tau_{u \text{ Inter}}$	12,70271252

**Tabla 34. Propiedades mecánicas del laminado del fondo**

Además, es necesario saber cuál será el contenido de fibra en masa para calcular el espesor de cada una de las capas del laminado a partir de la relación  $t/w$ .

$\psi$	0,25	0,30	0,36	0,38	0,41	0,50	0,55	0,58	0,60	0,66
$t/w^a$	2,89	2,34	1,87	1,75	1,59	1,22	1,07	0,99	0,95	0,82
<sup>a</sup> Relación entre el espesor, en milímetros, y la masa de fibra seca, en kilogramos por metro cuadrado.										

**Figura 53. Valores calculados de  $t/w$  en función del contenido de fibra en masa  $\psi$  – ISO 12215-5:2008**

Tipo de capa de refuerzo	Laminado de fibra de vidrio. Contenido en masa de vidrio $\psi$		
	Moldeado abierto		Bolsa de vacío
	Superficie simple <sup>b</sup>	Superficie compleja <sup>b</sup>	
Mat proyectado (CSM)	0,30	0,25	(0,36)
Mat estratificado (WR) a la mano por contacto	0,30	0,25	(0,36)
Roving tejido (WR)	0,48	0,36	0,58
Combinación roving-mat <sup>a</sup>	0,46-0,18 R	0,35-0,11 R	0,56-0,22 R
Tejidos multidireccionales	0,50	0,38	0,60
Tejidos unidireccionales	0,55	0,41	0,66
<b>Fibras diferentes de las de vidrio</b> (corresponden a un contenido equivalente de vidrio en masa superior a 0,4, es decir, no son de CSM)			
<b>Para las fibras de carbono</b>			
El contenido de fibra en masa $\psi$ que da el mismo contenido de fibra en volumen que los valores anteriores para el vidrio puede estimarse utilizando $\psi_{\text{carbono}} = 0,99 \psi_{\text{vidrio}} - 0,08$ (véase el ejemplo del capítulo C.3.3). Alternativamente se puede tomar el valor de $\Phi$ correspondiente a $\psi_{\text{vidrio}}$ de la tabla C.4 b) y utilizar el mismo valor en la tabla C.5.			
<b>Para las fibras de aramida</b>			
El contenido de fibra en masa que da el mismo contenido de fibra en volumen que los valores anteriores para el vidrio puede estimarse utilizando $\psi_{\text{aramida}} = 0,95 \psi_{\text{vidrio}} - 0,11$ .			
<sup>a</sup> R = masa total del mat (kg/m <sup>2</sup> ) / masa total del vidrio en el laminado (mat y tejido roving) (kg/m <sup>2</sup> ).			
<sup>b</sup> Una superficie "simple" es aquella en la que la impregnación y el secado de la resina son fáciles (por ejemplo las superficies grandes y accesibles como el casco, la cubierta y el fondo de la cabina de mando). Una superficie "compleja" es aquella en la que no son fáciles la impregnación y el secado de la resina (por ejemplo las brazolas altas, refuerzos profundos o moldeados en bandeja, etc.). La diferenciación entre unas y otras superficies corresponde al fabricante.			

**Figura 54. Contenido nominal de fibra en masa – ISO 12215-5:2008**

	Mat	Combi. Mat	Total
R		0,273	
$\psi$	0,300	0,411	<b>0,378</b>
w (Kg/m <sup>2</sup> )	0,750	2,475	<b>3,225</b>
t (mm)			<b>5,675</b>

**Tabla 35. Propiedades del laminado del fondo**

Para los datos obtenidos en la tabla anterior se propondrá la secuencia de laminado que se expone a continuación, comprobando que cumple con el requisito de espesor mínimo.

SECUENCIA DEL LAMINADO DEL FONDO					
Capa Nº	Tipo de Fibra	P. Seco (Kg/m <sup>2</sup> )	Contenido $\psi$	P. Laminado (Kg/m <sup>2</sup> )	t (mm)
1	MAT	0,300	0,300	1,000	0,700
2	COMBI. MAT	0,825	0,411	2,008	1,310
3	COMBI. MAT	0,825	0,411	2,008	1,310
4	COMBI. MAT	0,825	0,411	2,008	1,310
5	MAT	0,450	0,300	1,500	1,050
$\Sigma$		<b>3,225</b>		<b>8,524</b>	<b>5,680</b>
<b>Combi. Mat 825</b>		<b>600 / 225</b>			

**Tabla 36. Secuencia del laminado del fondo**

A partir de la secuencia obtenida, hay que destacar que la combinación de roving-mat más apropiada por ajustarse al espesor mínimo es 600 Kg/m<sup>2</sup> de Rovin y 225 Kg/m<sup>2</sup> de Mat.

Aunque en la tabla anterior no se detalle, debido a que no influye en los cálculos, la primera capa a aplicar, antes del MAT de 0,3 Kg/m<sup>2</sup>, es una de Gelcoat. Se tendrá en cuenta lo descrito en este párrafo para los siguientes casos desarrollados de secuencia de laminado.

ESPESOR PANELES DE FONDO									
Panel	b (mm)	l (mm)	l/b	K <sub>2</sub>	c (mm)	c/b	k <sub>c</sub>	t (mm)	
1A	747,580	1091,700	1,460	0,447	93,640	0,125	0,683	4,333	
2A	739,640	1162,210	1,571	0,464	113,680	0,154	0,588	3,763	
3A	737,000	1191,120	1,616	0,470	124,660	0,169	0,537	3,442	
4A	607,460	1191,120	1,961	0,496	131,610	0,217	0,500	2,810	
5A	607,160	1179,510	1,943	0,495	137,520	0,226	0,500	2,949	
6A	607,090	1140,580	1,879	0,492	143,130	0,236	0,500	3,086	
7A	613,100	1079,580	1,761	0,484	144,970	0,236	0,500	3,203	
8A	561,280	989,730	1,763	0,485	134,810	0,240	0,500	3,029	
9A	615,220	873,160	1,419	0,440	103,960	0,169	0,537	3,394	
10A	418,770	697,280	1,665	0,476	42,670	0,102	0,761	3,811	
11A	211,850	469,020	2,214	0,502	12,730	0,060	0,900	2,815	
								<b>t<sub>min</sub></b>	<b>4,333</b>

**Tabla 37. Espesor de los paneles del fondo**

Como podemos observar en las tablas anteriores, el espesor mínimo de los paneles de fondo, 4'333 mm, es menor que el propuesto en la secuencia de laminado en el fondo.

Por último, la masa de fibra seca para el laminado FRP debe cumplir un valor mínimo, calculado a partir de la siguiente expresión:

$$w_{\text{MÍN.}} = 0,43 \times k_5 \times (A + k_7 \times V + k_8 \times m_{\text{LDC}}^{0,33}) \text{ kg/m}^2$$

Donde:

Material	Situación	A	$k_5$	$k_7$	$k_8$
FRP	Fondo	1,5	Como se define en el apartado 10.5.6	0,03	0,15
	Costado/espejo de popa	1,5		0	0,15
Aluminio	Fondo	1,0	$\sqrt{(125/\sigma_y)}$	0,02	0,1
	Costado/espejo de popa	1,0		0	0,1
Acero	Fondo	1,0	$\sqrt{(240/\sigma_y)}$	0,015	0,08
	Costado/espejo de popa	1,0		0	0,08
Contrachapado	Fondo	3,0	$\sqrt{(30/\sigma_{uf})}$	0,05	0,3
	Costado/espejo de popa	3,0		0	0,3

**Figura 55. Factores de espesor mínimo – ISO 12215-5:2008**

FACTORES DE ESPESOR MÍNIMO				
Material	A	$k_5$	$k_7$	$k_8$
FRP	1,500	1,000	0,030	0,150

$w_{\text{MÍN.}}$	1,527	kg/m <sup>2</sup>
-------------------	-------	-------------------

**Tabla 38. Factores de espesor mínimo**

Finalmente, tanto el contenido de fibra seca para el laminado como el espesor del fondo cumplen con los requisitos mínimos establecidos en la Norma ISO 12215-5:2008.

Con todos los parámetros calculados para el fondo, a continuación, se mostrarán los resultados del software de la ISO, donde podremos observar como no difieren los obtenidos de las hojas de datos con este programa.

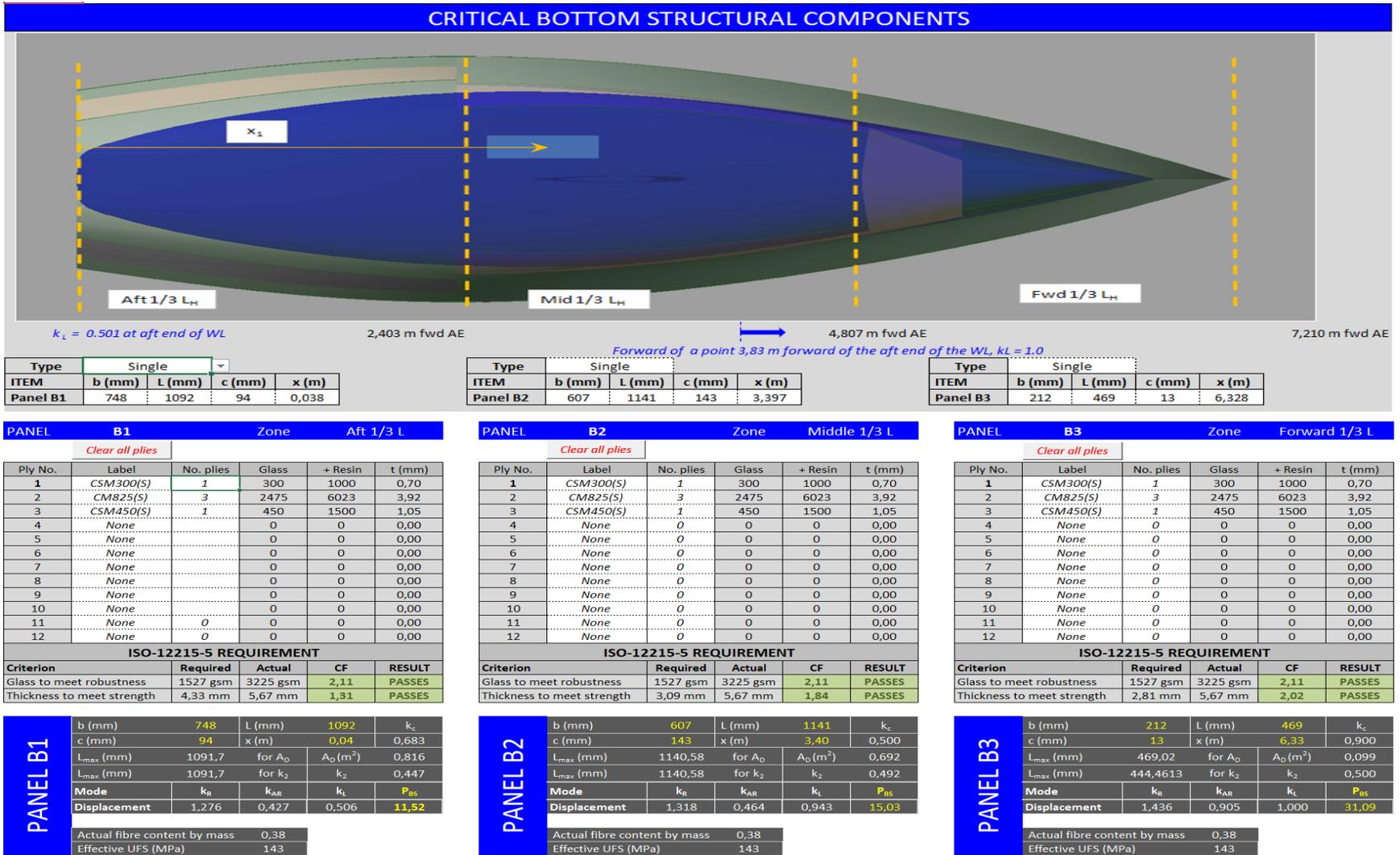
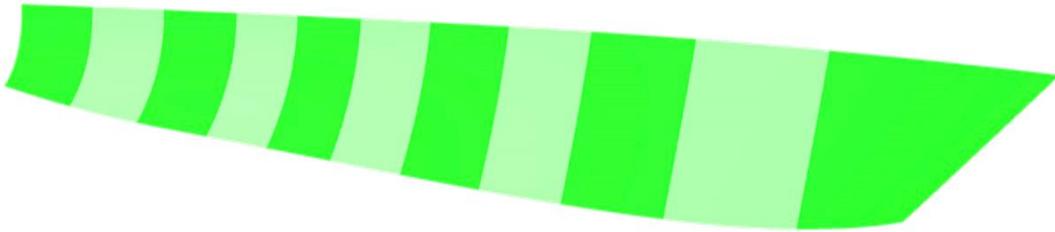


Figura 56. Secuencia del laminado del fondo – Software ISO 12215-5

### 3.2. Costado

En el caso que nos atañe, al igual que en las presiones en el fondo, se puede observar que el costado ha sido dividido en once paneles por el mismo motivo que en el caso anterior.



**Figura 57. Distribución de los paneles de costado**

La presión en los costados del velero  $P_{SS}$  será la mayor de la calculada a partir de las siguientes expresiones:

$$P_{SS} = \left[ (P_{DS\ BASE} + k_Z) \times (P_{BS\ BASE} - P_{DS\ BASE}) \right] \times k_{AR} \times k_{DC} \times k_L \text{ kN/m}^2 \text{ o}$$

$$P_{SS\ MÍN.} = 1,4 L_{WL} \times k_{DC} \text{ pero no se debe tomar por debajo de } 5 \text{ kN/m}^2$$

$P_{SS\ MÍN.}$	7,156	KN/m <sup>2</sup>	> 5 KN/m <sup>2</sup>
$P_{BS\ BASE}$	42,967	KN/m <sup>2</sup>	
$P_{DS\ BASE}$	18,242	KN/m <sup>2</sup>	

PRESIONES EN EL COSTADO						
Panel	x (mm)	x/L <sub>WL</sub>	k <sub>L</sub>	b (mm)	k <sub>R</sub>	l (mm)
1B	0,039	0,006	0,506	657,480	1,303	766,100
2B	0,775	0,121	0,602	739,640	1,278	831,040
3B	1,511	0,237	0,698	737,000	1,279	859,380
4B	2,183	0,342	0,785	607,580	1,318	866,510
5B	2,790	0,437	0,864	609,360	1,317	866,510
6B	3,397	0,532	0,943	612,110	1,316	863,790
7B	4,007	0,627	1,000	622,620	1,313	854,170

8B	4,595	0,719	1,000	577,550	1,327	835,060
9B	5,184	0,811	1,000	645,250	1,306	803,730
10B	5,806	0,909	1,000	698,970	1,290	745,670
11B	6,469	1,013	1,000	636,230	1,309	884,870

PRESIONES EN EL COSTADO						
Panel	$A_D$	$k_{AR}$	Z (m)	h (m)	kz	$P_{ss}$
1B	0,504	0,504	0,925	0,571	0,383	7,156
2B	0,615	0,466	0,926	0,531	0,427	6,462
3B	0,633	0,462	0,930	0,513	0,448	7,560
4B	0,526	0,503	0,935	0,512	0,453	9,304
5B	0,528	0,503	0,941	0,518	0,450	10,204
6B	0,529	0,502	0,949	0,529	0,442	11,054
7B	0,532	0,500	0,957	0,545	0,430	11,553
8B	0,482	0,520	0,964	0,566	0,413	11,837
9B	0,519	0,501	0,971	0,597	0,385	11,134
10B	0,521	0,494	0,977	0,646	0,339	10,525
11B	0,563	0,490	0,981	0,732	0,254	9,615
					<b><math>P_{ss \text{ M\AA X.}}</math></b>	<b>11,837</b>

**Tabla 39. Presiones en el costado**

A la vista de las presiones obtenidas y comparándolas con las de fondo, observamos que los resultados son acordes en cuanto a la teoría se refiere. Las presiones de fondo deben de ser superiores a las de costado, ya que los paneles de estas últimas no están por debajo de la línea de flotación y por tanto no están sometidas al nivel de exigencia estructural de la obra viva.

De nuevo, calcularemos las propiedades mecánicas para este tipo de planchas para la calcular más adelante el espesor mínimo requerido.

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Propiedad	Valores (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_{ut}$	97,012
$\sigma_{uc}$	103,005
$\sigma_{uf}$	143,097
$\sigma_d$	71,548
$\tau_u$	54,616
E	7502,681
G	2306,594
$\tau_{u \text{ Inter}}$	12,70271252

**Tabla 40. Propiedades mecánicas del laminado de fibra de vidrio E**

En cuanto a la secuencia de laminación, en primer lugar, calcularemos el contenido de fibra en masa, el espesor y la masa de fibra seca.

	Mat	Combi. Mat	Total
R		0,273	
$\psi$	0,300	0,411	<b>0,378</b>
w (Kg/m <sup>2</sup> )	0,750	2,475	<b>3,225</b>
t (mm)			<b>5,675</b>

**Tabla 41. Propiedades del laminado del costado**

Con los datos anteriores, el laminado propuesto para el costado es el mostrado a continuación:

SECUENCIA DE LAMINADO DEL COSTADO					
Capa N°	Tipo de Fibra	P. Seco (Kg/m <sup>2</sup> )	Contenido $\psi$	P. Laminado (Kg/m <sup>2</sup> )	t (mm)
1	MAT	0,300	0,300	1,000	0,700
2	COMBI. MAT	0,825	0,411	2,008	1,310
3	COMBI. MAT	0,825	0,411	2,008	1,310
4	COMBI. MAT	0,825	0,411	2,008	1,310
5	MAT	0,450	0,300	1,500	1,050
$\Sigma$		<b>3,225</b>		<b>8,524</b>	<b>5,680</b>
<b>Combi. Mat 825</b>		<b>600 / 225</b>			

Tabla 42. Secuencia de laminado del costado

Así como en el laminado de fondo, el propuesto en este caso estará formado por una primera capa de MAT de bajo gramaje, seguido de tres capas de combinado roving/mat y finalizando la laminación con MAT de 0'450 Kg/m<sup>2</sup>.

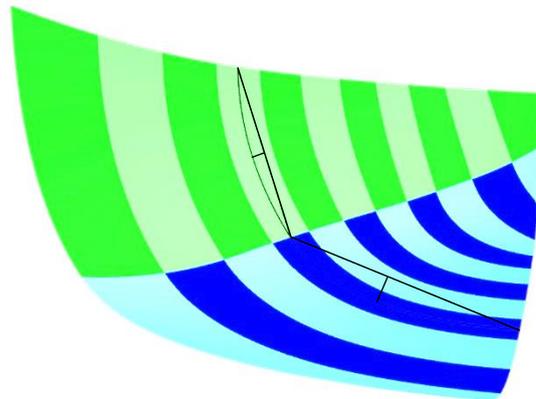
ESESOR PANELES DE COSTADO									
Panel	b (mm)	l (mm)	l/b	K <sub>z</sub>	c (mm)	c/b	K <sub>c</sub>	t (mm)	
1B	657,480	766,100	1,165	0,373	52,080	0,079	0,836	3,359	
2B	739,640	831,040	1,124	0,359	59,570	0,081	0,832	3,501	
3B	737,000	859,380	1,166	0,373	63,770	0,087	0,812	3,759	
4B	607,580	866,510	1,426	0,441	61,650	0,101	0,762	3,506	
5B	609,360	866,510	1,422	0,440	53,690	0,088	0,807	3,894	
6B	612,110	863,790	1,411	0,438	41,170	0,067	0,876	4,411	
7B	622,620	854,170	1,372	0,430	26,340	0,042	0,959	4,975	
8B	577,550	835,060	1,446	0,445	15,040	0,026	1,000	4,953	
9B	645,250	803,730	1,246	0,398	7,750	0,012	1,000	5,079	
10B	698,970	745,670	1,067	0,337	3,500	0,005	1,000	4,919	
11B	636,230	884,870	1,391	0,434	3,430	0,005	1,000	4,858	
								<i>t<sub>min</sub></i>	<b>5,079</b>

Tabla 43. Espesor de los paneles de costado

Analizando los resultados del espesor de los paneles de costado, comprobamos que es menor que el propuesto en la secuencia de laminado, por lo que este requisito también cumple con la Norma.

Respecto a las zonas del fondo y costado y a partir de los datos obtenidos en las presiones, el espesor del fondo debería ser mayor que el de costado, debido a que el fondo deberá soportar presiones mayores tal y como se analizó anteriormente. Sin embargo, el resultado obtenido no cumple con esta teoría y es debido al factor de curvatura, el cual afecta directamente al cálculo del espesor.

Como se puede observar en el diseño adjunto, en los paneles de fondo el abombamiento es mayor que en el costado, obteniendo un coeficiente  $k_c$  menor en el fondo, reduciendo de este modo el espesor final en cada panel.



**Figura 58. Curvatura de los paneles de costado y fondo**

Comprobamos que la masa de fibra seca del laminado es superior al valor mínimo requerido por la Norma.

Material	FACTORES DE ESPESOR MÍNIMO			
	A	$K_5$	$K_7$	$K_8$
FRP	1,500	1,000	0,000	0,150

$w_{MIN.}$	1,450	kg/m <sup>2</sup>
------------	-------	-------------------

**Tabla 44. Factores de espesor mínimo**

A la vista del resultado obtenido, la masa de fibra seca del laminado de costado es 3'225 Kg/m<sup>2</sup>, superior al valor mínimo 1'450 Kg/m<sup>2</sup>.

Finalmente, como se ha llevado a cabo con el fondo, adjuntamos los datos obtenidos a partir del software de la ISO, verificando de nuevo que cumple con los requisitos de la misma manera que en las hojas de cálculo.

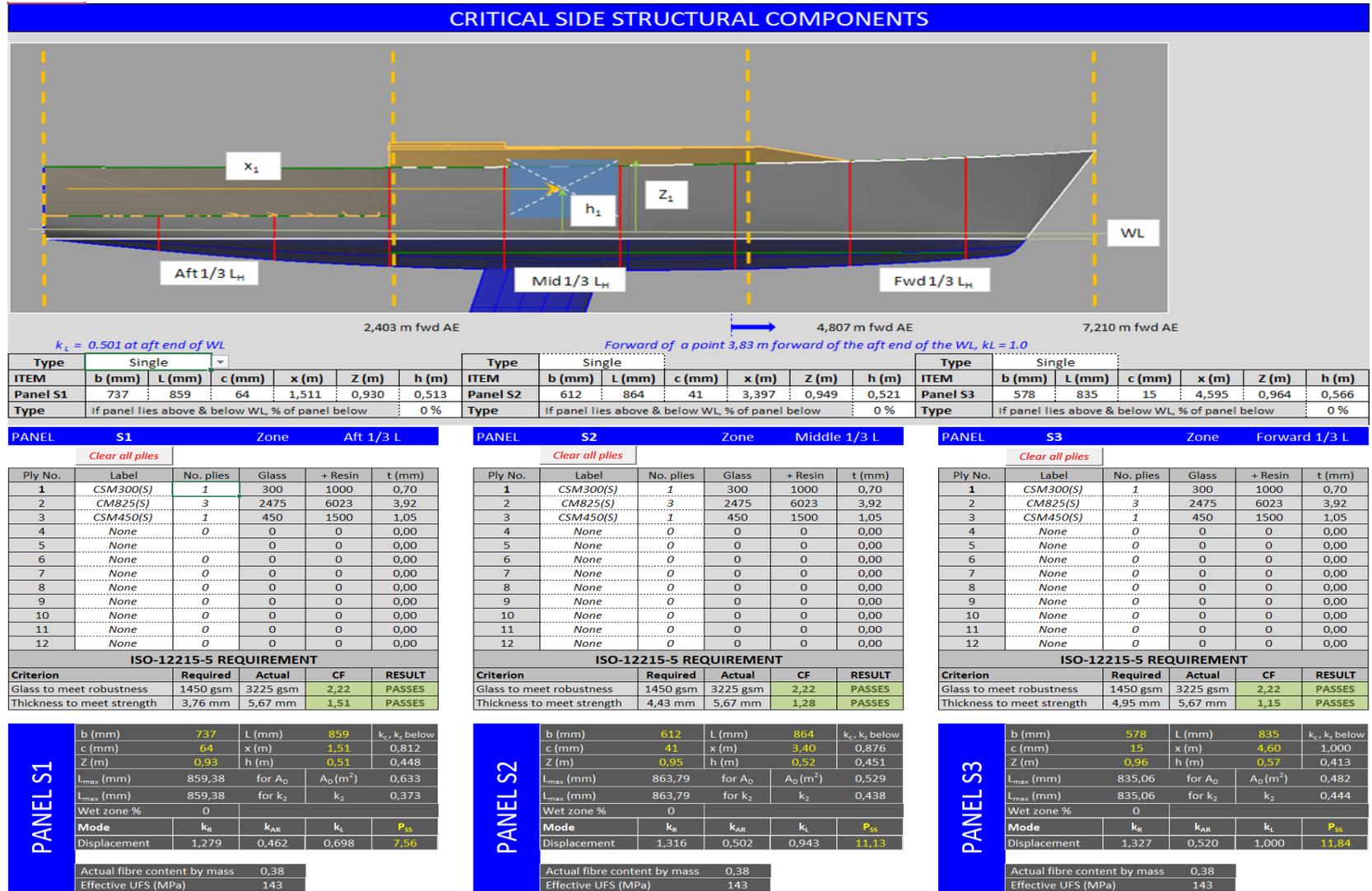


Figura 59. Secuencia del laminado del costado – Software ISO 12215-5

### 3.3. Cubierta

Finalizando con el cálculo de los paneles del velero, la cubierta ha sido diseñada y dividida en tres paneles a cada costado.



Figura 60. Distribución de los paneles de cubierta

La presión de diseño para las cubiertas de los veleros que estén expuestas a la intemperie  $P_{DS}$ , deberá ser la mayor de los siguientes valores:

$$P_{DS} = P_{DS\text{ BASE}} \times k_{DC} \times k_{AR} \times k_L \text{ kN/m}^2 \text{ o}$$

$$P_{DS\text{ MÍN.}} = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{donde } P_{DS\text{ BASE}} = 0,5 m_{LDC}^{0,33} + 12 \text{ kN/m}^2$$

$P_{DS\text{ BASE}}$	18,242	KN/m2
$P_{DS\text{ MÍN.}}$	5,000	KN/m2

PRESIONES EN LA CUBIERTA									
Panel	X (mm)	x/L <sub>WL</sub>	$k_L$	b (mm)	$k_R$	l (mm)	$A_D$	$k_{AR}$	$P_{DS}$ (kN/m <sup>2</sup> )
1C	0,781	0,122	0,603	241,150	1,428	2226,350	0,537	0,542	4,767
2C	2,805	0,439	0,866	430,310	1,371	1834,010	0,789	0,464	5,860
3C	5,152	0,806	1,000	439,860	1,368	1585,610	0,697	0,480	7,007
$P_{DS\text{ MÁX.}}$									<b>7,007</b>

Tabla 45. Presiones en los paneles de cubierta

Calculada la presión en la cubierta, la cual será 7'007 KN/m<sup>2</sup>, correspondiente al panel 3C de proa, comprobamos que es superior a  $P_{DS\text{ MÍN.}}$ .

A continuación, calcularemos las propiedades mecánicas para las planchas de cubierta.

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Propiedad	Valores (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_{ut}$	89,217
$\sigma_{uc}$	100,713
$\sigma_{uf}$	137,439
$\sigma_d$	68,719
$T_u$	53,394
E	6922,024
G	2280,617
$T_{u \text{ Inter}}$	12,97012048

**Tabla 46. Propiedades mecánicas del laminado de fibra de vidrio E**

Respecto al contenido de fibra en masa, la masa de fibra seca y el espesor deberá cumplir con los siguientes requisitos:

	Mat	Combi. Mat	Total
<b>R</b>		0,273	
<b><math>\psi</math></b>	0,300	0,420	<b>0,359</b>
<b>w (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	0,750	1,025	<b>1,775</b>
<b>t (mm)</b>			<b>3,331</b>

**Tabla 47. Propiedades del laminado de cubierta**

Con los datos de la tabla anterior, la secuencia de laminado propuesta para la cubierta será:

SECUENCIA DE LAMINADO EN LA CUBIERTA					
Capa N°	Tipo de Fibra	P. Seco (Kg/m <sup>2</sup> )	Contenido $\psi$	P. Laminado (Kg/m <sup>2</sup> )	t (mm)
1	MAT	0,300	0,300	1,000	0,700
2	COMBI. MAT	1,025	0,420	2,438	1,580
4	MAT	0,450	0,300	1,500	1,050
$\Sigma$		<b>1,775</b>		<b>4,938</b>	<b>3,330</b>
<b>Combi. Mat 1025</b>		<b>800 / 225</b>			

Tabla 48. Secuencia de laminado en la cubierta

El laminado propuesto en este caso estará formado por una primera capa de MAT de bajo gramaje 0'300 Kg/m<sup>2</sup>, seguido de una capa de combinado roving/mat y finalizando la laminación con MAT de 0'300 Kg/m<sup>2</sup>.

El espesor mínimo requerido de la cubierta se calculará teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Situación	Espesor mínimo requerido para la cubierta $t_{\text{MÍN.}}$			
	mm			
	FRP	Aluminio	Acero	Madera, contrachapado
Cubierta	$k_5 (1,45 + 0,14 L_{\text{WL}})$	$1,35 + 0,06 L_{\text{WL}}$	$1,5 + 0,07 L_{\text{WL}}$	$3,8 + 0,17 L_{\text{WL}}$

Figura 61. Espesor mínimo requerido para la cubierta – ISO 12215-5:2008

ESPESOR MÍNIMO REQUERIDO EN CUBIERTA		
Material	$K_5$	t (mm)
FRP	1,000	2,344

Tabla 49. Espesor mínimo requerido en cubierta

Comprobamos que el espesor de cubierta obtenido en la tabla 48 es superior al mínimo requerido por la Norma.

Por último, contrastamos los datos obtenidos a partir del software de la ISO, verificando que se cumplen todos los requisitos para las planchas de cubierta de la misma forma que en las hojas de cálculo.

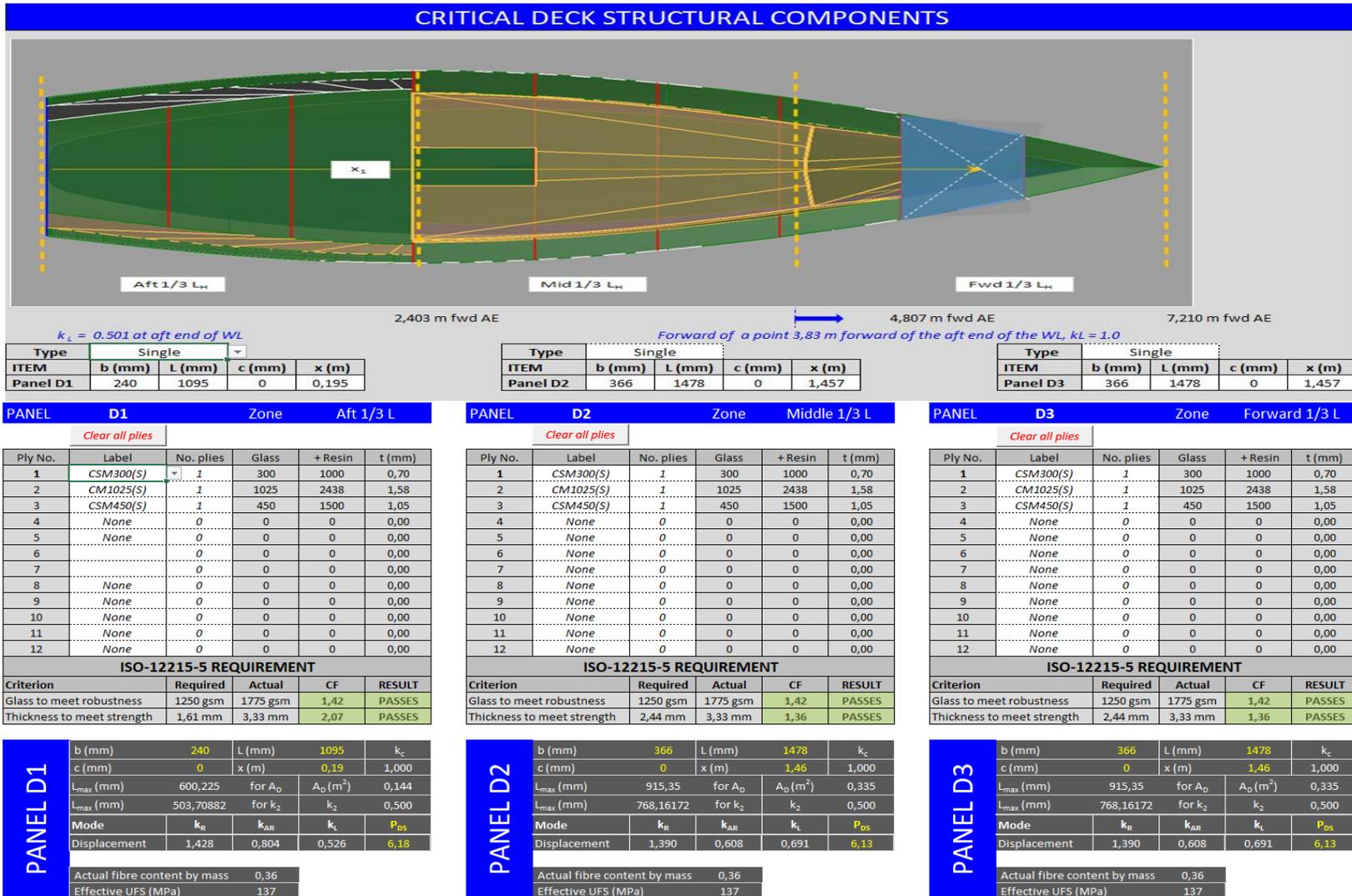


Figura 62. Secuencia del laminado de la cubierta – Software ISO 12215-5

### 3.4. Mamparos

El velero dispondrá de un total de tres mamparos, formados por el mamparo de pique de proa, de división del camarote de proa y de acceso al interior de la cabina desde cubierta.

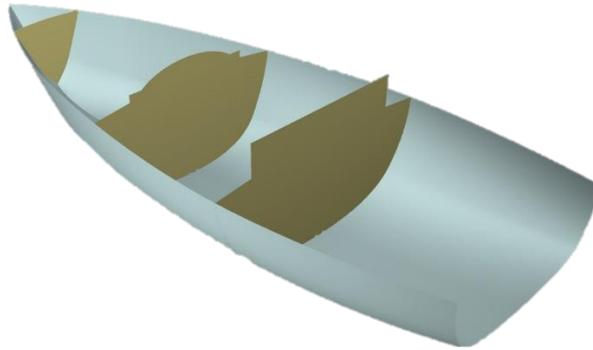


Figura 63. Distribución de los mamparos en el velero

A diferencia de los paneles del casco, los mamparos serán de tipo sándwich, donde la capa exterior será de plástico reforzado con fibra de vidrio y el núcleo de contrachapado marino. La elección de este núcleo es debido a la resistencia estructural que ofrece con respecto al PVC, siendo la densidad del núcleo de 220 Kg/m<sup>3</sup>, un valor intermedio del rango de densidades que existe en la actualidad.

Para la nomenclatura de los mamparos, 1M será el de acceso al interior, 2M el de división del camarote de proa y 3M el mamparo de pique de proa.

En primer lugar, calcularemos las presiones en los mamparos:

$$P_{WB} = 7 h_B \text{ kN/m}^2$$

Donde  $h_B$  es la altura de carga de agua, desde la parte superior del mamparo a un punto situado a  $2/3$  de la altura total del refuerzo, según indica la Norma ISO 12215-5:2008 - 8.3.2.

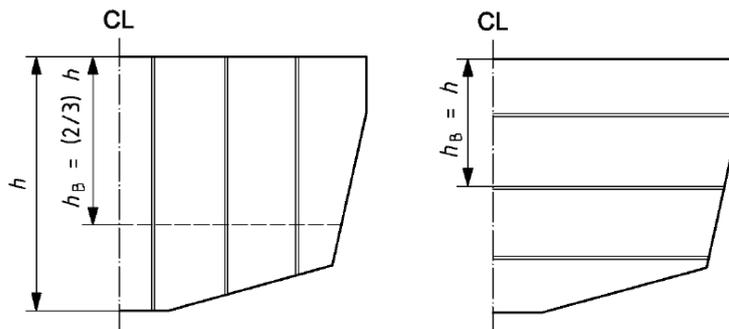


Figura 64. Parámetros para el cálculo de las presiones en los mamparos

PRESIONES EN LOS MAMPAROS			
Mamparo	h (m)	h <sub>B</sub> (m)	P <sub>WB</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
1M	1,623	1,082	7,573
2M	1,562	1,041	7,289
3M	0,974	0,649	4,544
<b>P<sub>WB</sub> MÁX.</b>			<b>7,573</b>

Tabla 50. Presiones en los mamparos

Respecto al espesor requerido del laminado tipo sándwich,  $t_s$ , para soportar el esfuerzo cortante no deberá ser inferior al valor calculado en la siguiente

$$t_s \geq \sqrt{k_C} \frac{k_{SHC} \times P \times b}{1000 \times \tau_d} \text{ mm}$$

ecuación:

Donde:

- **b**: Longitud menor del mamparo
- **P**: Presión de diseño del panel
- **K<sub>C</sub>**: Factor de corrección de curvatura
- **τ<sub>d</sub>**: Tensión de cizalla de diseño del núcleo
- **τ<sub>u</sub>**: Resistencia a la cizalla.

Material	Tensión de cizalla de diseño τ <sub>d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
Madera de balsa de los extremos	0,5 τ <sub>u</sub> <sup>a</sup>
Núcleo teniendo un alargamiento a la rotura por cizalla < 35% (reticulado de PVC, etc.)	0,55 τ <sub>u</sub>
Núcleo teniendo un alargamiento a la rotura por cizalla > 35% (PVC lineal, SAN, etc.)	0,65 τ <sub>u</sub>
Núcleo en nido de abeja (que debe ser compatible con una utilización marina)	0,5 τ <sub>u</sub> <sup>b</sup>
<sup>a</sup> Si la balsa presenta un grado pequeño de variabilidad de sus propiedades mecánicas y se toman medidas para encapsular el núcleo mediante resina, se puede tomar τ <sub>d</sub> igual a 0,55 τ <sub>u</sub> .	
<sup>b</sup> Utilizar las propiedades del núcleo en la dirección menor del panel (b).	

Figura 65. Tensiones de diseño para los núcleos de los paneles tipo sándwich – ISO 12215-5:2008

Tipo de núcleo	Densidad $\rho_c$ kg/m <sup>3</sup>	Alargamiento a la rotura %	Resistencia a la cizalla $\tau_u$ N/mm <sup>2</sup>	Módulo de cizalla $G_c$ N/mm <sup>2</sup>	Resistencia en compresión $\sigma_{uc}$ N/mm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad en compresión <sup>a</sup> $E_{co}$ N/mm <sup>2</sup>
Fibra de balsa de los extremos	90-220	NR	0,017 8 $\rho_c - 0,34$	0,868 $\rho_c - 1,43$	0,102 $\rho_c - 5$	30,7 $\rho_c - 1 350$
<b>Tipo genérico – PVC reticulado</b>						
PVC rígido I	36-250	30%	0,002 4 $\rho_c^{1,334}$	0,163 3 $\rho_c^{1,136}$	0,001 4 $\rho_c^{1,487}$	0,113 8 $\rho_c^{1,449}$
PVC rígido II	33-250	20%	0,017 $\rho_c - 0,29$	0,33 $\rho_c - 1$	0,025 $\rho_c - 0,69$	1,2 $\rho_c - 18$
<b>Tipo genérico – PVC lineal<sup>b</sup> o SAN<sup>b</sup></b>						
PVC lineal	50-140	55%	0,014 $\rho_c - 0,33$	0,29 $\rho_c - 5,3$	0,012 $\rho_c - 0,24$	0,84 $\rho_c - 19$
SAN A	60-210	40%	0,017 $\rho_c - 2 \times 10^{-5} \rho_c^2 - 0,613$	0,46 $\rho_c - 20$	6,7 $10^{-4} \rho_c^{1,59}$	0,024 $\rho_c^{1,75}$
<sup>a</sup> Módulo a través del espesor (transversal). Esto valor no puede utilizarse para calcular el refuerzo en flexión en la madera de balsa (véase el apartado H.2.1).						
<sup>b</sup> $\rho_c$ es la densidad media del núcleo. Ya se han tenido en cuenta en los coeficientes las variaciones típicas de densidad.						

**Figura 66. Propiedades mecánicas de los materiales para el núcleo de los paneles tipo sándwich – ISO 12215-5:2008**

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL NÚCLEO	
Propiedad	Valores
$\rho_c$	220,00 kg/m <sup>3</sup>
$\sigma_{uc}$	4,810 N/mm <sup>2</sup>
$\tau_u$	3,450 N/mm <sup>2</sup>
$G_c$	71,600 N/mm <sup>2</sup>
$E_{co}$	246,000 N/mm <sup>2</sup>

**Tabla 51. Propiedades mecánicas del núcleo de los mamparos**

- $k_{SHC}$ : Factor de alargamiento por la fuerza de cizalla

$l/b$	> 4,0	3,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
$k_{SHC}$ <sup>a</sup>	0,500	0,493	0,463	0,459	0,453	0,445	0,435	0,424	0,410	0,395	0,378	0,360	0,339

<sup>a</sup> Los valores de  $k_{SHC}$  se pueden calcular mediante la ecuación  $k_{SHC} = 0,035 + 0,394 \times \left(\frac{l}{b}\right) - 0,09 \times \left(\frac{l}{b}\right)^2$  para  $l/b < 2$ .

**Figura 67. Factor de tensión de cizalla con el alargamiento  $k_{SHC}$  – ISO 12215-5:2008**

A continuación, adjuntaremos un croquis esquemático de un sándwich y de este modo entender mejor visualmente cuales son los parámetros que estaremos calculando y la influencia que tienen unos sobre otros:

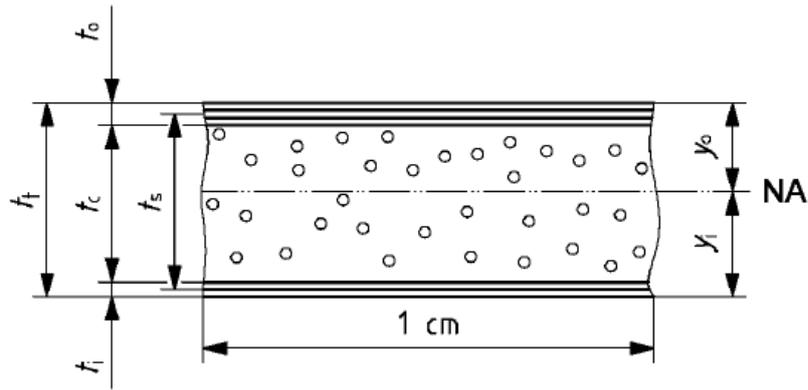


Figura 68. Esquema de un sandwich– ISO 12215-5:2008

Donde:

- $t_c$ : espesor del núcleo
- $t_o$  y  $t_i$ : espesores respectivos de la capa exterior e interior
- $t_s$ : distancia entre los puntos medios de las capas

$$t_s = t_c + \frac{(t_o + t_i)}{2}$$

- $t_t$ : espesor total del sándwich

$$t_t = t_c + t_o + t_i$$

Con todos los factores previamente definidos, el espesor requerido para cada uno de los mamparos será el siguiente:

ESPESOR REQUERIDO							
Mamparo	l (mm)	b (mm)	l/b	$k_{SHC}$	$k_C$	$\tau_d$	$t_s$ (mm)
1M	2719,720	1622,770	1,676	0,443	1,000	1,898	2,866
2M	2371,240	1562,400	1,518	0,426	1,000	1,898	2,555
3M	674,700	649,150	1,039	0,347	1,000	1,898	0,540

Tabla 52. Espesor requerido para los mamparos

Una vez obtenido el espesor requerido, calcularemos el espesor de la fibra para posteriormente definir el espesor del núcleo.

En primer lugar, las propiedades mecánicas se obtendrán del mismo modo que en los anteriores apartados:

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Propiedad	Valores (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_{ut}$	101,461
$\sigma_{uc}$	104,255
$\sigma_{uf}$	146,307
$\sigma_d$	73,153
$T_u$	55,283
E	7819,391
G	2320,762
$T_u$ Inter	12,557
$\sigma_{dt}$	50,730
$\sigma_{dc}$	52,128

**Tabla 53. Propiedades mecánicas del laminado de fibra de vidrio E**

El contenido de fibra en masa, el espesor y la masa de fibra seca serán los siguientes:

	Mat	Combi. Mat	Total
R		0,273	
$\psi$	0,300	0,411	<b>0,389</b>
w (Kg/m <sup>2</sup> )	0,300	1,650	<b>1,950</b>
t (mm)			<b>3,316</b>

**Tabla 54. Propiedades del laminado de los mamparos**

Con el fin de reducir el riesgo de daño del panel, la masa mínima de fibra de los paneles tipo sándwich deberá ser:

$$w_{os} = k_{DC} \times k_4 \times k_5 \times k_6 \times (0,1 L_{WL} + 0,15) \text{ kg/m}^2$$

$$w_{is} = 0,7 \times w_{os} \text{ kg/m}^2$$

Donde:

- **w<sub>os</sub>**: masa de fibra por metro cuadrado de la capa exterior
- **w<sub>is</sub>**: masa de fibra por metro cuadrado de la capa exterior

MASA MÍN. DE FIBRA EN PANELES SANDWICH			$k_4$	1
$w_{os}$	0,631	Kg/m <sup>2</sup>	$k_5$	1
$w_{is}$	0,442	Kg/m <sup>2</sup>	$k_6$	1

Tabla 55. Masa mínima de fibra en los paneles tipo sandwich de los mamparos

En el caso de este proyecto la capa exterior e interior serán simétricas, tomando como referencia el valor más exigente de masa mínima de fibra de los dos obtenidos anteriormente, 0'631 Kg/m<sup>2</sup>, siendo este inferior a 1'1 Kg/m<sup>2</sup> de la tabla X.

Por lo que la secuencia de laminado propuesta, acorde con la tabla 54, será el siguiente:

SECUENCIA DE LAMINADO DEL MAMPARO					
Capa Nº	Tipo de Fibra	P. Seco (Kg/m <sup>2</sup> )	Contenido $\psi$	P. Laminado (Kg/m <sup>2</sup> )	t (mm)
1	COMBI. MAT	0,825	0,411	2,008	1,310
2	COMBI. MAT	0,825	0,411	2,008	1,310
3	MAT	0,300	0,300	1,000	0,700
$\Sigma$		<b>1,950</b>		<b>5,016</b>	<b>3,320</b>
<b>Combi. Mat 800</b>		600 / 225			

Tabla 56. Secuencia de laminado de los mamparos

Con el espesor de las capas  $t_o$  y  $t_i$ , 3'320 mm cada una de ella, el espesor del núcleo,  $t_c$ , ha de ser como mínimo 5 veces el espesor de la capa más fina.

ESPESOR MAMPARO		
Mamparo	$t_s$	$t_c$
1M	21,320	18,000
2M	21,320	18,000
3M	21,320	18,000

Tabla 56. Espesor final del mamparo

Comparando los resultados anteriores con los valores de  $t_s$  obtenidos en la tabla 52 para los tres mamparos, estos últimos son inferiores a los de la tabla 56, por lo que cumplen los valores.

Los mamparos en sándwich deben de cumplir una serie de requisitos, según indica la Norma ISO 12215-5:2008 - 11.8.2.

- El espesor de los mamparos no debe ser inferior a:

$$t_b = 7,0 D_b \text{ mm}$$

Donde  $D_b$  es la altura del mamparo entre el fondo del casco y la línea de cubierta, en metros.

- La resistencia a la cizalla del núcleo debe estar de acuerdo con:

$L_H$ (m)	< 10	10 a ≤ 15	15 a 24
$\tau_d$ mín. (N/mm <sup>2</sup> )	0,25	0,25 + 0,03 ( $L_H - 10$ )	0,40

Mamparo	$\tau_d$	
1M	1,898	CUMPLE
2M	1,898	CUMPLE
3M	1,898	CUMPLE

- El espesor de las capas  $t_s$  y del núcleo  $t_c$  deben ser tales que

$$t_s \times t_c \geq \frac{t_b^2}{6} \left( \frac{25}{\sigma_d} \right) \text{ mm}$$

$$t_s \times \frac{t_c^2}{2} \geq \frac{t_b^3}{12} \left( \frac{4\,000}{E_{io}} \right) \text{ mm}$$

REQUISITOS LAMINADO TIPO SANDWICH PARA MAMPAROS								
Mamparo	$D_b$	$t_b$	$t_s \times t_c$	$t_s \times \frac{t_c^2}{2}$	Valor Mín. (11.8.2.3 / 57)		Valor Mín. (11.8.2.3 / 58)	
1M	1,169	8,183	383,760	3453,840	3,814	CUMPLE	23,358	CUMPLE
2M	1,221	8,547	383,760	3453,840	4,161	CUMPLE	26,616	CUMPLE
3M	0,948	6,636	383,760	3453,840	2,508	CUMPLE	12,457	CUMPLE

**Tabla 57. Requisitos de laminado tipo sandwich para los mamparos**

Una vez obtenidos todos los valores necesarios para el escantillonado de los mamparos y de acuerdo con la Norma ISO 12215-5:2008 - D.2.2.2:

PROPIEDADES DEL PANEL TIPO SANDWICH								
t <sub>c</sub> (mm)	t <sub>s</sub> (mm)	y <sub>o</sub> (mm)	y <sub>i</sub> (mm)	t <sub>o</sub> (mm)	t <sub>i</sub> (mm)	I (cm <sup>4</sup> /cm)	SM <sub>o</sub> (cm <sup>3</sup> /cm)	SM <sub>i</sub> (cm <sup>3</sup> /cm)
18,000	21,320	12,320	12,320	3,320	3,320	0,761	0,617	0,617

**Tabla 58. Propiedades de los paneles tipo sandwich de los mamparos**

Para finalizar con el cálculo de los mamparos, comprobaremos que los valores mínimos del módulo de inercia y del segundo momento, según la Norma ISO 12215-5:2008 - 10.5.3, están por debajo de los expuestos en la tabla anterior.

- Módulo mínimo de inercia requerido para la capa exterior de una tira de un panel tipo sándwich de 1 cm de anchura:

$$SM_o/1 \text{ cm anchura} = \frac{b^2 \times k_C^2 \times P \times k_2}{6 \times 10^5 \times \sigma_{dto}} \text{ capa exterior cm}^3/\text{cm}$$

- Módulo mínimo de inercia requerido para la capa interior de una tira de un panel tipo sándwich de 1 cm de anchura:

$$SM_i/1 \text{ cm anchura} = \frac{b^2 \times k_C^2 \times P \times k_2}{6 \times 10^5 \times \sigma_{dci}} \text{ capa interior cm}^3/\text{cm}$$

- Segundo momento mínimo requerido para una tira de un panel tipo sándwich de una anchura de 1 cm:

$$I/1 \text{ cm anchura} = \frac{b^3 \times k_C^3 \times P \times k_3}{12 \times 10^6 \times k_1 \times E_{io}} \text{ cm}^4/\text{cm}$$

A partir de los valores  $l$  y  $b$ , medidos en los mamparos, obtendremos los valores  $k_2$  y  $k_3$  en función del alargamiento del panel.

Alargamiento del panel $l/b$	Factor $k_2$ $k_2$ debe tomarse = 0,5 para un costado de madera laminada	Factor $k_3$
> 2,0	0,500	0,028
2,0	0,497	0,028
1,9	0,493	0,027
1,8	0,487	0,027
1,7	0,479	0,026
1,6	0,468	0,025
1,5	0,454	0,024
1,4	0,436	0,023
1,3	0,412	0,021
1,2	0,383	0,019
1,1	0,349	0,016
1,0	0,308	0,014
	$k_2$ puede evaluarse mediante la fórmula siguiente manteniendo $0,308 < k_2 < 0,5$	$k_3$ puede evaluarse mediante la fórmula siguiente manteniendo $0,014 < k_3 < 0,028$
	$k_2 = \frac{0,271(l/b)^2 + 0,910(l/b) - 0,554}{(l/b)^2 - 0,313(l/b) + 1,351}$	$k_3 = \frac{0,027(l/b)^2 - 0,029(l/b) + 0,011}{(l/b)^2 - 1,463(l/b) + 1,108}$

FACTORES DE AJUSTE DEL ESPESOR						
Mamparo	$l$ (mm)	$b$ (mm)	$l/b$	$k_2$	$k_3$	$k_c$
1M	2719,720	1622,770	1,676	0,477	0,026	1,000
2M	2371,240	1562,400	1,518	0,456	0,024	1,000
3M	674,700	649,150	1,039	0,325	0,015	1,000

Tabla 59. Factores de ajuste del espesor

El factor de deformación por flexión para un panel tipo sandwich será:  
 $k_1 = 0,017$

Las tensiones de diseño para los paneles tipo sandwich serán:

Material	Elemento estructural	Fatiga de diseño $\sigma_{at}$ o $\sigma_{dc}$ N/mm <sup>2</sup>
FRP tipo sandwich	Casco, cubierta, superestructuras, mamparos estructurales y estancos, y tanques estructurales	En capas exteriores $0,5 \sigma_{ut}$ En capas interiores $0,5 \sigma_{uc}$ ; $0,3\sqrt[3]{E_c \times E_{co} \times G_c}$ <sup>a</sup>
<sup>a</sup> Véanse el apartado 10.5.3 y la ecuación (41).		

Figura 69. Tensiones de diseño de los paneles tipo sandwich– ISO 12215-5:2008

TENSIÓN DE DISEÑO	
Propiedad	Valores (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_{ut}$	101,461
$\sigma_{uc}$	104,255
$\sigma_{dt}$	50,730
$\sigma_{dc}$	52,128

Tabla 60. Tensión de diseño de los mamparos

Mamparo	VALORES MÍNIMOS REQUERIDOS							
	SM <sub>o</sub> (cm <sup>3</sup> /cm)		SM <sub>i</sub> (cm <sup>3</sup> /cm)		I (cm <sup>4</sup> /cm)		t <sub>s</sub> mín < t <sub>s</sub>	
1M	0,312	CUMPLE	0,304	CUMPLE	0,635	CUMPLE	2,866	CUMPLE
2M	0,267	CUMPLE	0,260	CUMPLE	0,512	CUMPLE	2,555	CUMPLE
3M	0,020	CUMPLE	0,020	CUMPLE	0,014	CUMPLE	0,540	CUMPLE

Tabla 61. Valores mínimos requeridos para los mamparos

Para concluir, los valores de módulo de inercia, segundo momento de inercia y espesores del mamparo calculado, tabla 58, cumplen con los valores mínimos requeridos.

### 3.5. Refuerzos

En esta parte del capítulo, antes de proceder con los cálculos y normativa en mano, ha sido de gran importancia estudiar el diseño del casco y qué tipo de estructura sería la idónea para este tipo de embarcación, sin olvidar que la estructura del refuerzo debe ser soportadora de cargas.

La eslora del casco es un aspecto importante en este estudio previo. Al no tratarse de grandes dimensiones, los esfuerzos de torsión y flexión no serán tan críticos como en veleros de mayores esloras.

Por ello, los refuerzos con los que será dotada la embarcación serán cuadernas, varengas, refuerzos locales, quilla y mamparos estructurales. Como se puede observar no han sido nombrados los refuerzos longitudinales, ya que en este proyecto los pantoques curvos del velero actúan como refuerzos naturales.

A igual que los mamparos, los demás refuerzos también serán de tipo sándwich, sin embargo, el núcleo será de PVC rígido. La elección de este núcleo es debido a que es más ligero que el contrachapado marino, con una densidad de 80 Kg/m<sup>3</sup>.

En el caso que nos ocupa, diseño y cálculo de los refuerzos, el desarrollo del proceso no será del mismo modo que en los apartados anteriores, ya que los valores mínimos que se buscan cumplir son:

- Superficie mínima del alma, ***A<sub>w</sub>***:

$$A_w = \frac{k_{SA} \times P \times s \times l_u}{\tau_d} 10^{-6} \text{ cm}^2$$

- Módulo de inercia mínimo, ***SM***:

$$SM = \frac{83,33 \times k_{CS} \times P \times s \times l_u^2}{\sigma_d} 10^{-9} \text{ cm}^3$$

- Segundo momento de área, ***I***:

$$I = \frac{26 \times k_{CS}^{1,5} \times P \times s \times l_u^3}{k_{1S} \times E_{tc}} 10^{-11} \text{ cm}^4$$

Donde:

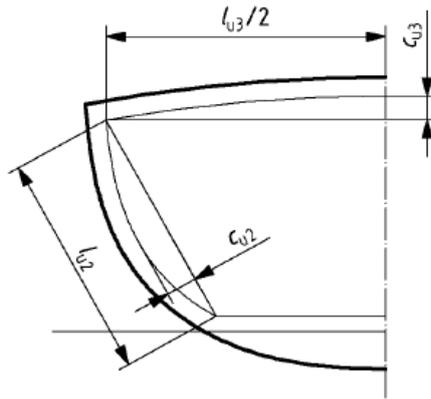
- ***k<sub>SA</sub>***: Factor de superficie de cizalla del refuerzo, según ISO 12215-5:2008:

Disposición del refuerzo	<i>k<sub>SA</sub></i>
Unido al costado	5
Otras disposiciones (flotante)	7,5

- ***k<sub>CS</sub>***: Factor de curvatura del refuerzo, según ISO 12215-5:2008:

$\frac{c_u}{l_u}$	<i>k<sub>CS</sub></i>
0 a 0,03	1
0,03 a 0,18	1,1 – 3,33 ( <i>c<sub>u</sub>/l<sub>u</sub></i> )
> 0,18	0,5

- ***P***: Presión de diseño del panel
- ***s***: Separación entre refuerzos
- ***l<sub>u</sub>***: Longitud del refuerzo



**Figura 70. Dimensiones de un refuerzo en una embarcación de FRP - ISO 12215-5:2008**

- $\sigma_d$ : Tensión de diseño del refuerzo
- $\tau_d$ : Tensión de diseño de cizalla del alma del refuerzo

Material	Tensión de diseño en tracción y compresión $\sigma_d$ N/mm <sup>2</sup>	Tensión de diseño a la cizalla $\tau_d$ N/mm <sup>2</sup>
Laminado FRP	$0,5 \sigma_{ut}$ y $0,5 \sigma_{uc}$ <sup>a</sup>	$0,5 \tau_u$
Aleaciones de aluminio	$0,7 \sigma_{yw}$ <sup>b</sup>	$0,4 \sigma_{yw}$ <sup>b</sup>
Acero	$0,8 \sigma_y$	$0,45 \sigma_y$
Cuadernas de madera laminada	$0,45 \sigma_{uf}$ <sup>c</sup>	$0,45 \tau_u$
Cuadernas de madera maciza	$0,4 \sigma_{uf}$ <sup>c</sup>	$0,4 \tau_u$
Cuadernas de contrachapado sobre los bordes	$0,45 \sigma_{uf}$ <sup>c</sup>	$0,45 \tau_u$

NOTA Estas tensiones de diseño se aplican también al costado asociado a los refuerzos, en función del material.

<sup>a</sup> Se utiliza  $\sigma_c$  cuando se considera que la tensión es por compresión (normalmente el ala superior del refuerzo) y  $\sigma_t$  cuando se considera que la tensión es por tracción (normalmente las chapas del costado), se tienen que hacer las dos verificaciones.

<sup>b</sup> Para los refuerzos soldados. Si los refuerzos de aluminio no están soldados, es decir están remachados, encolados, etc., se deben utilizar las propiedades de los no soldados.

<sup>c</sup> Deben tomarse en la tabla E.1 los valores de  $\sigma_{uf}$  para los refuerzos de madera laminada y los de  $\sigma_{uf}$  para la madera maciza. Para el contrachapado no se debe tomar  $\sigma_{uf}$  en la tabla E.2, sino en las tablas E.3 o E.6.

**Figura 71. Tensión de diseño de los refuerzos - ISO 12215-5:2008**

- $k_{1s}$ : Factor de deflexión para los refuerzos. Tomará un valor de 0'05
- $E_{tc}$ : Media de los módulos de elasticidad en tracción/compresión del material

### 3.5.1. Cuadernas

Se dispondrán de un total de siete cuadernas a lo largo de la eslora, dos a popa del mamparo de acceso desde cubierta, dos a proa de este y tres más entre el mamparo de división del camarote y el de pique de proa.

Como se mencionó al inicio del capítulo, las cuadernas estarán dispuestas en la unión transversal de los paneles de costado y fondo, al igual que los mamparos.

En cuanto al diseño de estos, en su parte superior es conveniente que no terminen de forma abrupta, por lo que el refuerzo tendrá una ligera continuidad transversal bajo la cubierta, que a su vez se emplea como refuerzo para esta última.

La nomenclatura que se emplear será desde 1R, la primera cuaderna desde el extremo de popa hacia proa, hasta 7R, correspondiente con la última cuaderna a proa.

En primer lugar, se deberá calcular la secuencia de laminado para las cuadernas, obteniendo así los valores necesarios para introducirlos en las ecuaciones de  $A_w$ ,  $SM$  e  $I$ .

Al igual que en los apartados anteriores, según la Norma ISO 12215-5, p. 65-67:

	Mat	Combi. Mat	Total
R		0,333	
$\psi$	0,300	0,400	<b>0,369</b>
w (Kg/m <sup>2</sup> )	0,300	0,900	<b>1,200</b>
t (mm)			<b>2,177</b>

**Tabla 62. Propiedades del laminado de las cuadernas**

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Propiedad	Valores (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_{ut}$	93,221
$\sigma_{uc}$	101,908
$\sigma_{uf}$	140,351
$\sigma_d$	50,954
$T_u$	54,031
E	7224,615
G	2294,154
$T_{u \text{ Inter}}$	12,831
$T_d$	27,015

Tabla 63. Propiedades mecánicas del laminado de fibra de vidrio E

De forma que el laminado propuesto quedaría de la siguiente manera:

SECUENCIA DE LAMINADO DE LAS CUADERNAS					
Capa N°	Tipo de Fibra	P. Seco (Kg/m <sup>2</sup> )	Contenido $\psi$	P. Laminado (Kg/m <sup>2</sup> )	t (mm)
1	MAT	0,300	0,300	0,750	0,700
2	COMBI. MAT	0,900	0,400	2,250	1,480
$\Sigma$		<b>1,200</b>		<b>3,000</b>	<b>2,180</b>
<b>Combi. Mat 900</b>		600 / 300			

Tabla 64. Secuencia de laminado de las cuadernas

Según se ha mostrado en la figura 70, mediremos los valores  $s$  y  $l_u$  para cada una de las siete cuadernas.

Además, para el valor de la presión, esta se tomará de los paneles del fondo. El motivo es que todas las cuadernas están en contacto tanto con los paneles de fondo como de costado, de modo que se empleará el valor de presión más crítico, el de fondo.

SUPERFICIE DEL ALMA, $A_w$ (cm <sup>2</sup> )					
Cuaderna	s	$I_u$	P	$k_{SA}$	$A_w$
1R	740,760	1098,490	11,525	5,000	1,736
2R	739,040	1209,030	11,525	5,000	1,906
3R	608,820	1269,640	13,631	5,000	1,950
4R	612,060	1260,760	15,029	5,000	2,146
5R	601,230	1241,100	17,200	5,000	2,375
6R	611,595	1198,850	17,200	5,000	2,334
7R	667,380	1092,100	21,530	5,000	<b>2,904</b>

Tabla 65. Superficie del alma

MÓDULO DE INERCIA MÍNIMO, SM (cm <sup>3</sup> )					
Cuaderna	$c_u$	$I_u$	$c_u/I_u$	$k_{CS}$	SM
1R	139,060	1098,490	0,127	0,678	11,430
2R	135,250	1209,030	0,112	0,727	14,812
3R	119,650	1269,640	0,094	0,786	17,200
4R	101,240	1260,760	0,080	0,833	19,908
5R	53,880	1241,100	0,043	0,955	24,889
6R	36,570	1198,850	0,031	0,998	24,686
7R	21,990	1092,100	0,020	1,000	<b>28,026</b>

Tabla 66. Módulo de inercia mínimo

SEGUNDO MOMENTO DE ÁREA, I (cm <sup>4</sup> )				
Cuaderna	$k_{1S}$	$k_{CS}^{1,5}$	$I_u^3$	I
1R	0,050	0,559	1325526220,887	4,552
2R	0,050	0,620	1767303883,554	6,723
3R	0,050	0,697	2046641561,729	8,522
4R	0,050	0,760	2003997911,767	10,080
5R	0,050	0,934	1911702582,531	13,289
6R	0,050	0,998	1723036759,479	13,015
7R	0,050	1,000	1302528459,961	<b>13,471</b>

Tabla 66. Segundo momento de área

Con todos los datos necesarios adjuntados, las propiedades del sombrero de copa se obtendrán a partir de la Norma ISO 12215-5:2008, p. 93:

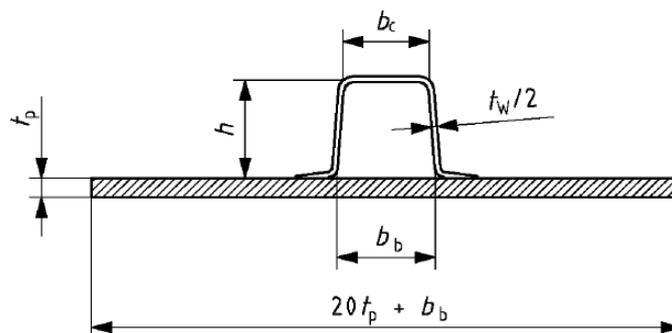


Figura 72. Esquema de un sombrero de copa “cuadrado” – ISO 12215-5:2008

De la figura anterior, las propiedades geométricas del sombrero de copa para las cuadernas quedarían de la siguiente manera:

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS								
h (mm)	b <sub>b</sub> (mm)	b <sub>c</sub> (mm)	t <sub>p</sub> (mm)	20 t <sub>p</sub> + b <sub>b</sub> (mm)	w <sub>f</sub>	SM (cm <sup>3</sup> )	A <sub>w</sub> (cm <sup>2</sup> )	I <sub>NA</sub> (cm <sup>4</sup> )
75,000	75,000	65,000	5,680	169,200	1,200	22,800	4,200	187,000

Tabla 67. Propiedades geométricas de las cuadernas

Contrastando los resultados anteriores con los valores mínimos requeridos comprobamos que se cumplen dichos requisitos:

	SM	A <sub>w</sub>	I <sub>NA</sub>
Diseño	22,800	4,200	187,000
Mínimo	19,440	1,927	9,802
	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>

Tabla 68. Comparación valores mínimos requeridos con los valores de diseño

### 3.5.2. Varengas

La varenga es un refuerzo de fondo, el cual estará apoyado sobre la quilla y a su vez unido a la cuaderna de babor y estribor en cada sección transversal de refuerzos.

Estos refuerzos también serán de sombrero de copa, siguiendo la misma forma con la que se han diseñado las cuadernas.

Como se podrá observar en el diseño que se mostrará a continuación, todas las varengas disponen de dos groeras, dispuestas a babor y estribor de la quilla,

sin influir negativamente en la resistencia estructural, debido a que la dimensión de los refuerzos es mayor que con la que se han realizado el cálculo.

La nomenclatura que se emplear será desde 1V, la primera varenga desde el extremo de popa hacia proa, hasta 7V, correspondiente con la última cuaderna a proa.

A continuación, calcularemos la secuencia de laminado para las cuadernas según la Norma ISO 12215-5, p. 65-67, obteniendo así los valores necesarios para introducirlos en las ecuaciones de  $A_w$ ,  $SM$  e  $I$ .

	Mat	Combi. Mat	Total
R		0,333	
$\psi$	0,300	0,400	<b>0,369</b>
w (Kg/m <sup>2</sup> )	0,300	0,900	<b>1,200</b>
t (mm)			<b>2,177</b>

**Tabla 68. Propiedades del laminado de las varengas**

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Propiedad	Valores (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_{ut}$	93,221
$\sigma_{uc}$	101,908
$\sigma_{uf}$	140,351
$\sigma_d$	50,954
$T_u$	54,031
E	7224,615
G	2294,154
$T_{u \text{ Inter}}$	12,83076923
$T_d$	27,01538462

**Tabla 69. Propiedades mecánicas del laminado de fibra de vidrio E**

De tal forma que la secuencia de laminado propuesta quedará de la siguiente manera:

SECUENCIA DE LAMINADO DE LAS VARENGAS					
Capa Nº	Tipo de Fibra	P. Seco (Kg/m <sup>2</sup> )	Contenido $\psi$	P. Laminado (Kg/m <sup>2</sup> )	t (mm)
1	MAT	0,300	0,300	0,750	0,700
3	COMBI. MAT	0,900	0,400	2,250	1,480
$\Sigma$		<b>1,200</b>		<b>3,000</b>	<b>2,180</b>
<b>Combi. Mat 900</b>		<b>600 / 300</b>			

Tabla 70. Secuencia de laminado de las varengas

El valor de la presión, necesario para calcular  $A_w$ ,  $SM$  e  $I$ , se tomará de los paneles del fondo porque las varengas al ser refuerzos de fondo únicamente están en contacto con estos paneles.

SUPERFICIE DEL ALMA, $A_w$ (cm <sup>2</sup> )					
Varenga	s	$I_u$	P	$k_{SA}$	$A_w$
1V	739,190	1109,010	11,525	5,000	1,749
2V	737,790	1167,050	11,525	5,000	1,837
3V	607,070	1180,650	13,631	5,000	1,808
4V	607,090	1141,440	15,029	5,000	<b>1,927</b>
5V	587,770	864,660	17,200	5,000	1,618
6V	590,750	680,630	17,200	5,000	1,280
7V	622,155	439,270	21,530	5,000	1,089

Tabla 71. Superficie del alma

MÓDULO DE INERCIA MÍNIMO, $SM$ (cm <sup>3</sup> )					
Varenga	$c_u$	$I_u$	$c_u/I_u$	$k_{CS}$	$SM$
1V	0,000	1109,010	0,000	1,000	17,135
2V	0,000	1167,050	0,000	1,000	18,940
3V	0,000	1180,650	0,000	1,000	18,864
4V	0,000	1141,440	0,000	1,000	<b>19,440</b>
5V	0,000	864,660	0,000	1,000	12,361
6V	0,000	680,630	0,000	1,000	7,698
7V	0,000	439,270	0,000	1,000	4,227

Tabla 72. Módulo de inercia mínimo

SEGUNDO MOMENTO DE ÁREA, I (cm <sup>4</sup> )				
Varenga	$k_{1s}$	$k_{cs}^{1,5}$	$I_u^3$	I
1V	0,050	1	1363974925,763	8,363
2V	0,050	1	1589528755,103	9,728
3V	0,050	1	1645748675,925	<b>9,802</b>
4V	0,050	1	1487165366,698	9,766
5V	0,050	1	646451735,443	4,704
6V	0,050	1	315306745,926	2,306
7V	0,050	1	84760719,039	0,817

Tabla 73. Segundo momento de área

Una vez obtenidos los valores de las tablas anteriores, las propiedades del sombrero de copa se obtendrán a partir de la Norma ISO 12215-5:2008, p. 93:

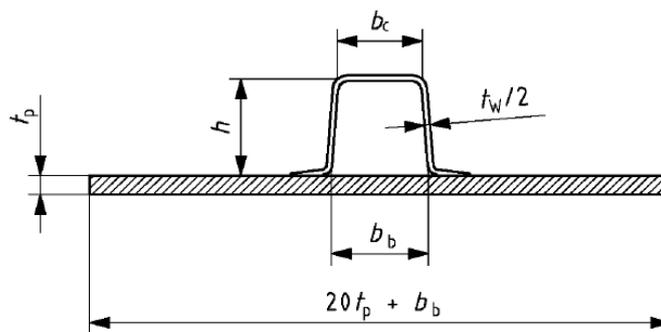


Figura 73. Esquema de un sombrero de copa "cuadrado" – ISO 12215-5:2008

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS								
h (mm)	b <sub>b</sub> (mm)	b <sub>c</sub> (mm)	t <sub>p</sub> (mm)	20 t <sub>p</sub> + b <sub>b</sub> (mm)	w <sub>f</sub>	SM (cm <sup>3</sup> )	A <sub>w</sub> (cm <sup>2</sup> )	I <sub>NA</sub> (cm <sup>4</sup> )
75,000	75,000	65,000	5,680	169,200	1,200	22,800	4,200	187,000

Tabla 74. Propiedades geométricas de las varengas

Por último, se comprobará que los datos de la tabla anterior son superiores a los valores mínimos requeridos.

	SM	A <sub>w</sub>	I <sub>NA</sub>
Diseño	22,800	4,200	187,000
Mínimo	19,440	1,927	9,802
	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>

Tabla 75. Comparación valores mínimos requeridos con los valores de diseño

### 3.5.3. Quilla

La quilla está situada en crujía en el fondo de la embarcación, recorriendo en sentido longitudinal el velero desde el espejo de popa hasta el mamparo de pique de proa.

Aunque a lo largo del refuerzo longitudinal existan otros transversales, como los mamparos o varengas, la quilla no se partirá en secciones en ninguna de sus intersecciones con otros refuerzos. De este modo, los refuerzos que interseccionen con la quilla deberán apoyarse sobre esta.

El diseño tridimensional de la quilla, a partir de los valores que se calcularán a continuación, será el siguiente:

Antes de comenzar con los cálculos, cabe aclarar que la quilla no se partirá en secciones es cierto, sin embargo, para el cálculo de este refuerzo se partirá en tantas secciones como elementos transversales existan a lo largo de la eslora, en un total de diez.

En este caso, la nomenclatura que se emplear será desde 1 Q para la sección más a popa hasta 10 Q que coincidirá con el mamparo de pique de popa.

A continuación, calcularemos la secuencia de laminado para las cuadernas según la Norma ISO 12215-5, p. 65-67.

	Mat	Combi. Mat	Total
R		0,333	
$\psi$	0,300	0,400	<b>0,369</b>
w (Kg/m <sup>2</sup> )	0,300	0,900	<b>1,200</b>
t (mm)			<b>2,177</b>

*Tabla 76. Propiedades del laminado de la quilla*

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Propiedad	Valores (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_{ut}$	93,221
$\sigma_{uc}$	101,908
$\sigma_{uf}$	140,351
$\sigma_d$	50,954
$\tau_u$	54,031
E	7224,615
G	2294,154
$\tau_{u \text{ Inter}}$	12,83076923
$\tau_d$	27,01538462

**Tabla 77. Propiedades mecánicas del laminado de fibra de vidrio E**

A partir de los valores anteriores, la secuencia de laminado propuesta será:

SECUENCIA DE LAMINADO DE LA QUILLA					
Capa Nº	Tipo de Fibra	P. Seco (Kg/m <sup>2</sup> )	Contenido $\psi$	P. Laminado (Kg/m <sup>2</sup> )	t (mm)
1	MAT	0,300	0,300	0,750	0,700
2	COMBI. MAT	0,900	0,400	2,250	1,480
$\Sigma$		<b>1,200</b>		<b>3,000</b>	<b>2,180</b>
<b>Combi. Mat 900</b>		<b>600 / 300</b>			

**Tabla 78. Secuencia de laminado de la quilla**

El valor de la presión se tomará de los paneles del fondo, siendo la presión en cada una de las secciones de la quilla la correspondiente al panel sobre el que se encuentran.

Para este apartado es necesario aclarar que el valor de s es la longitud curva medida desde el centro de la sección de la quilla en crujía hasta el refuerzo natural del pantoque, intersección del panel de fondo con el costado.

SUPERFICIE DEL ALMA, $A_w$ (cm <sup>2</sup> )					
Sección	s	$I_u$	P	$k_{SA}$	$A_w$
1Q	1038,720	758,080	11,525	5,000	1,680
2Q	1131,450	743,060	11,525	5,000	1,793
3Q	1182,100	737,930	11,525	5,000	1,861
4Q	1188,870	607,460	12,346	5,000	1,650
5Q	1162,960	607,160	13,631	5,000	1,781
6Q	1112,320	607,090	15,029	5,000	<b>1,878</b>
7Q	1037,120	613,100	16,129	5,000	1,898
8Q	934,030	561,280	17,200	5,000	1,669
9Q	788,790	615,260	17,163	5,000	1,542
10Q	581,020	678,170	21,530	5,000	1,570

**Tabla 79. Superficie del alma**

MÓDULO DE INERCIA MÍNIMO, SM (cm <sup>3</sup> )					
Sección	$c_u$	$I_u$	$c_u/I_u$	$k_{CS}$	SM
1Q	10,560	758,080	0,014	1,000	11,251
2Q	8,700	743,060	0,012	1,000	11,775
3Q	4,000	737,930	0,005	1,000	<b>12,132</b>
4Q	1,540	607,460	0,003	1,000	8,857
5Q	1,340	607,160	0,002	1,000	9,557
6Q	1,140	607,090	0,002	1,000	10,076
7Q	1,300	613,100	0,002	1,000	10,283
8Q	1,690	561,280	0,003	1,000	8,277
9Q	5,390	615,260	0,009	1,000	8,381
10Q	46,010	678,170	0,068	1,000	9,409

**Tabla 80. Módulo de inercia mínimo**

Sección	SEGUNDO MOMENTO DE ÁREA, I (cm <sup>4</sup> )			
	$k_{1s}$	$k_{CS}^{1,5}$	$I_u^3$	I
1Q	0,050	1	435657421,914	3,754
2Q	0,050	1	410271783,845	3,851
3Q	0,050	1	401832907,608	<b>3,940</b>
4Q	0,050	1	224157388,041	2,368
5Q	0,050	1	223825445,142	2,554
6Q	0,050	1	223748038,981	2,692
7Q	0,050	1	230459146,091	2,775
8Q	0,050	1	176822978,609	2,045
9Q	0,050	1	232903515,240	2,269
10Q	0,050	1	311900249,628	2,808

Tabla 81. Segundo momento de área

Con los valores de las tablas anteriores expuestos, las propiedades del sombrero de copa se obtendrán a partir de la Norma ISO 12215-5:2008, p. 93:

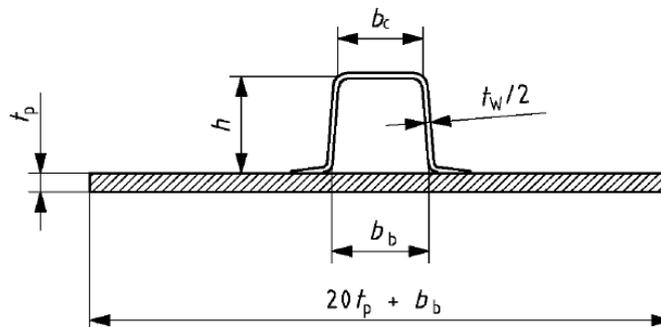


Figura 74. Esquema de un sombrero de copa "cuadrado" – ISO 12215-5:2008

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS								
h (mm)	b <sub>b</sub> (mm)	b <sub>c</sub> (mm)	t <sub>p</sub> (mm)	20 t <sub>p</sub> + b <sub>b</sub> (mm)	w <sub>f</sub>	SM (cm <sup>3</sup> )	A <sub>w</sub> (cm <sup>2</sup> )	I <sub>NA</sub> (cm <sup>4</sup> )
60,000	60,000	50,000	5,680	173,600	1,200	14,500	3,400	72,000

Tabla 82. Propiedades geométricas de la quilla

Finalmente, contrastamos los resultados de la tabla anterior con los valores mínimos requeridos:

	SM	A <sub>w</sub>	I <sub>NA</sub>
Diseño	14,500	3,400	72,000
Mínimo	12,132	1,878	3,940
	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>

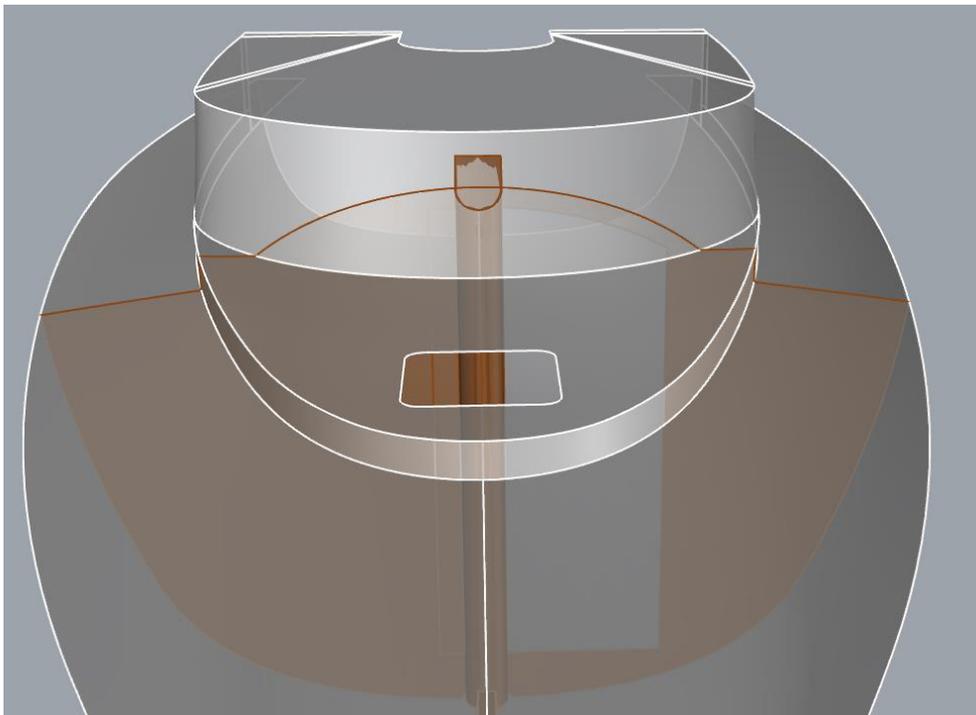
*Tabla 83. Comparación valores mínimos requeridos con los valores de diseño*

### 3.5.4. Mecha del mástil

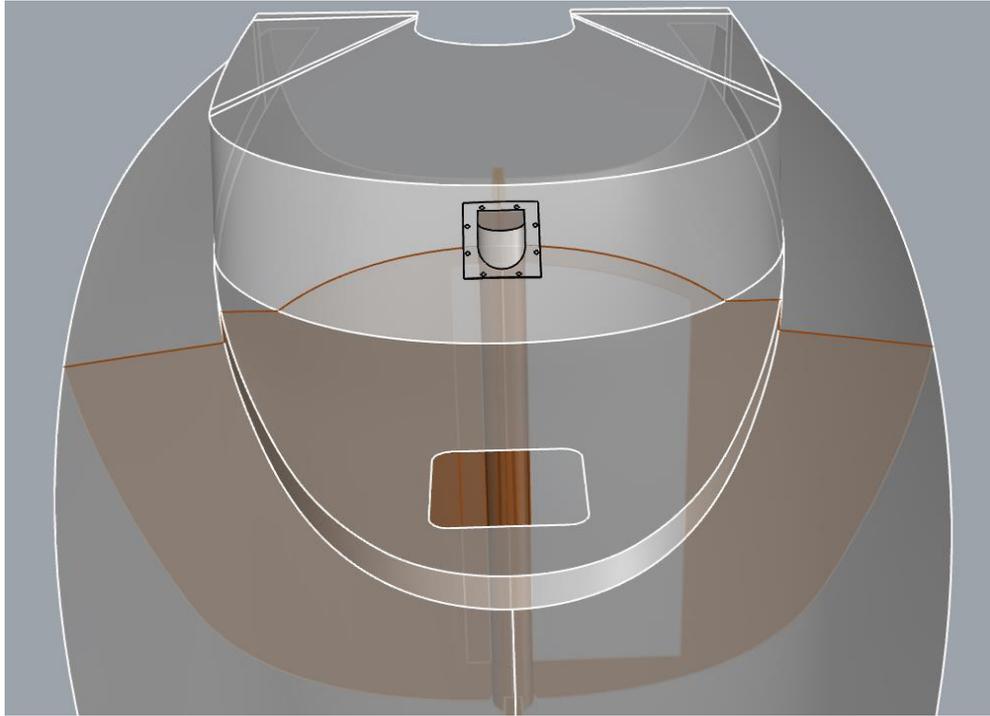
El mástil apoya sobre la cubierta, por lo que deberá de reforzarse para evitar que la caseta esté sometida a los grandes esfuerzos que genera el mástil sobre el punto que apoya.

Para ello se equipará a la embarcación con una mecha para el mástil, la cual apoyará en su parte baja sobre la quilla y el fondo, en su parte superior bajo el soporte de cubierta del mástil y a lo largo de su sección vertical sobre el mamparo central, desde la parte inferior de éste hasta la superior.

La sección del refuerzo será la misma sobre la que apoya el mástil y se construirá de contrachapado marino de 500 Kg/m<sup>3</sup>. A continuación, se adjunta el diseño para aclarar lo citado anteriormente:



*Figura 75. Mecha del mástil vista desde proa*



**Figura 76. Mecha y soporte del mástil visto desde proa**



**Figura 77. Mecha y soporte del mástil visto desde el costado**

## ***Capítulo 6 – Equipos y servicios***

Velero crucero de 23.5 pies con Categoría “C” de Diseño  
de embarcaciones CE



Autor: Mario Villarroya Morales  
Tutor: José Esteban Otón Tortosa

## 1. Equipos de seguridad

En el presente capítulo se describirán los equipos que con los que estará equipado el velero y el funcionamiento para el que están destinados.

Para ello, se aplicará la norma ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de Abril, con las modificaciones introducidas por la ORDEN FOM/1076/2006 del 29 de Marzo, en la que se regulan los equipos de seguridad, salvamento, contra incendios, navegación y prevención de vertidos por aguas sucias, que deberá llevar a bordo la embarcación.

En el caso de este proyecto, la categoría de diseño del velero será categoría de diseño C, según se ha detallado en el capítulo de estabilidad.

De las distintas zonas de navegación dentro de la categoría de diseño C, se escogerá la zona de navegación será la 4, la cual está comprendida entre la costa y la línea paralela a la misma trazada a 12 millas. El motivo de seleccionar esta zona es porque es la que presenta unos requisitos más exigentes en cuanto a equipamiento se refiere, además de permitir navegar a más millas de la costa que las zonas 5, 6 y 7.

### 1.1. Elementos de salvamento

Los elementos de salvamento con los que irá dotada la embarcación serán los siguientes:

- **Chalecos salvavidas:** El número de chalecos salvavidas deberá ser como mínimo igual al número máximo de tripulantes que podrá embarcar, que en este caso será de cuatro. Además, se dispondrán chalecos salvavidas los niños que vayan a bordo, en este caso se equipará con un total de tres.
- **Aros salvavidas:** Un aro con luz y rabiza. Los aros salvavidas podrán ser del tipo «CE», homologado por un organismo notificado de acuerdo con el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre.
- **Señales de socorro:** Las señales de socorro con las que deberá ir equipada la embarcación serán:
  - 6 cohetes con luz roja y paracaídas
  - 6 bengalas de mano
  - 1 señal fumígena flotante

Todas las señales deberán estar homologadas, de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 809/1999, de 14 de mayo.

## **2. Equipos de navegación**

### **2.1. Luces y marcas de navegación**

Según la ORDEN FOM/1076/2006 del 29 de Marzo, las luces y marcas de navegación deberán ajustarse al Convenio sobre el Reglamento Internacional para prevenir los Abordajes, 1972, y sus modificaciones posteriores.

En caso de navegación diurna exclusivamente, hasta 12 millas de la costa y/o en embarcaciones de menos de 7 metros de eslora, y se podrá prescindir de las luces de navegación, pero se deberá llevar una linterna eléctrica de luz blanca con baterías de repuesto.

De modo, que las luces con las que se equipará serán:

- Luz de tope: Luz blanca visible en un arco de 225° y a 2 millas.
- Luces de costado: Luz verde en la banda de estribor y roja a babor visibles en todo un arco del horizonte de 112'5° y a 1 milla.
- Luz de alcance: Luz blanca colocada lo más próximo a la popa y visible en todo un arco del horizonte de 135° y a 2 millas.
- Luz de remolque: Luz amarilla con las mismas características que la luz de alcance.
- Luz todo horizonte: De color amarilla, verde, roja o blanca, será una luz visible en un arco de 360° y a 2 millas.
- Luz centelleante: Luz que produce centelleos en intervalos regulares, como mínimo 120 centelleos por minuto.

### **2.2. Líneas de fondeo**

Según la Orden con la que se está trabajando, todas las embarcaciones deberán disponer de una línea de fondeo cuya longitud no podrá ser inferior a cinco veces la eslora de la embarcación. Siendo la eslora 7,21 m, la longitud de la línea de fondeo será de 37 m.

La longitud del tramo de cadena será como mínimo igual a la eslora de la embarcación. En el caso de este proyecto, la cadena será de 14 m, dos veces la longitud de la embarcación. Por lo que la longitud de la estacha será de 23 m. La cadena será de acero galvanizado o un material equivalente, con el diámetro indicado en la tabla y medido de acuerdo con la norma EN 24565. No son admisibles cadenas ni estachas empalmadas sin grillete y las estachas deberán ser de nylon.

En la siguiente tabla se indican los diámetros de cadena y de estacha y el peso del ancla que dispondrá el velero en función de la eslora:

ESLORA (m)	Peso del ancla (Kg)	Diámetro de cadena (mm)	Diámetro de estacha (mm)
7	10	6	10

**Tabla 84. Peso del ancla y diámetro de la cadena y la estacha**

### 2.3. Material náutico

El material náutico requerido para cada embarcación variará en función de la zona de navegación.

Para la zona de navegación 4, el equipo requerido será el siguiente:

MATERIAL	ZONA DE NAVEGACIÓN 4	REQUISITOS
Compás	1	a)
Prismáticos	1	
Cartas y libros náuticos	1	b)
Bocina de niebla	1	c)
Campana o similar	1	d)
Pabellón nacional	1	
Linterna estanca	1	e)
Espejo de señales	1	
Reflector de radar	1	f)
Código de señales	1	g)

**Tabla 85. Material náutico para la zona de navegación 4**

- a) El compás deberá ser de gobierno
- b) Las cartas deberán disponerse serán aquellas que cubran los mares por los que navegue el velero, en función de la Categoría. Además, serán obligatorios los cuadernos de faros y un derrotero de la zona en la que se vaya a navegar, el anuario de mareas, excepto cuando se navegue en el mar mediterráneo, manual de primeros auxilios y reglamento de radiocomunicaciones en el caso de equipar una radio.
- c) La bocina de niebla puede ser de dos tipos, a presión manual o sustituible por bocina accionada por gas en recipiente a presión.

- d) En esloras inferiores a 15 m no es obligatoria la campana, sin embargo, deberá de disponer de disponer de equipos que sean capaces de producir sonidos de manera eficaz.
- e) Para la linterna estanca será necesario un juego de pilas de respeto, así como una bombilla.
- f) Se equipará un reflector de radar por no ser el casco metálico.
- g) Si se monta un equipo de radiocomunicación será necesario el código de señales.

## 2.4. Material de armamento diverso

Además de los equipos necesarios nombrados en los apartados anteriores, se deberá equipar a la embarcación con el siguiente armamento:

- Dos estachas de amarre al muelle como mínimo, de resistencia y longitud adecuados a la eslora del velero
- Un bichero
- Un botiquín tipo Balsas de Salvamento, acorde con las zona de navegación y para embarcaciones sin tripulación contratada, de acuerdo con Orden PRE/930/2002, de 23 de abril (botiquines tipos A, B y C, según el alejamiento de la costa y tiempo de navegación).

MEDICAMENTOS	CANTIDAD
Nitroglicerina (20 grageas de 1 mg)	1 caja
Metilergometrina (0,25 mg/ml gotas 10 ml)	1 envase
Gelatina hemostática (1 esponja 200x70x0,5 mm)	1 unidad
Metoclopramida (30 compr. 10 mg.)	1 caja
Loperamida (20 cápsulas 2 mg.)	1 caja
Ácido acetilsalicílico (20 compr. 500 mg.)	1 caja
Metamizol (5 ampollas 2 gr.)	1 caja
Dimenhidrinato (12 compr. 50 mg.)	1 envase
Povidona (10% solución dérmica 125 ml.)	1 envase

**Tabla 86. Medicamentos requeridos por la Orden PRE/930/2002, de 23 de abril**

MATERIAL MÉDICO	CANTIDAD
Cánula para reanimación boca a boca. Tubo de Guedel nº 3 ó 4	1 unidad
Vendas elásticas adhesivas 7,5 cm. ancho	1 unidad
Compresas de gasa estériles de 20 x 20 cm. 40 unidades	1 paquete
Algodón hidrófilo. 100 gr.	1 paquete
Esparadrapo hipoalergénico 5 cm. x 10 cm.	1 unidad
Guantes de látex nº 8-9	2 pares
Apósitos compresivos estériles. Caja 3 unid.	1 caja
Gasas grasas. Caja con 20 sobres de 7 cm. x 9 cm.	1 caja
Apósitos adhesivos plásticos. Rollo 1 m. x 6 cm.	1 caja
Suturas adhesivas. Paquete de 6 x 100	1 paquete
Manta para quemados y supervivientes termoaislante oro-plata	1 unidad

*Tabla 87. Material médico requeridos por la Orden PRE/930/2002, de 23 de abril*

### 3. Medios contraincendios y de achique

#### 3.1. Extintores portátiles

Según la orden que se está siguiendo, los extintores deberán de ir instalados en puntos de fácil acceso y alejados en lo posible de cualquier fuente posible de incendio.

Serán de tipo homologado por la Dirección General de la Marina Mercante para embarcaciones de recreo, y estarán sometidos a las revisiones correspondientes, debiendo estar provistos de una tarjeta informativa en la que conste la fecha de la última revisión y el nombre de la entidad que la realizó. El extintor contendrá al menos de 2 kilogramos de producto extintor.

De acuerdo con el número de extintores exigidos en función de la eslora, el velero dispondrá de un extintor tipo 21 B, el cual estará ubicado en el mueble bajo del aseo, alejado de cualquier foco posible de incendio.

#### 3.2. Detección de incendios y gases

Al tener instalaciones de gas combustible en la embarcación, será requisito indispensable un equipo de detección de gases o incendios. La indicación de estos será automática, estando los indicadores ubicados en el puesto de mando y activando tanto señales luminosas como acústicas.

### **3.3. Baldes contraincendios**

Los baldes contraincendios serán equipos ligeros, de fácil manejo y con una capacidad no inferior a 7 litros.

De acuerdo con la zona de navegación del velero, el número de baldes con rabiza a bordo será de uno.

Estos equipos podrán utilizarse para achique u otros servicios, pero en ninguno de los casos para trasvasar cualquier tipo de líquido inflamable.

### **3.4. Medios de achique**

Los medios de achique de los que deberá ir previstos la embarcación de esto proyecto será de los siguientes.

- Una bomba eléctrica lo más próxima a crujía y en la zona más baja en el sentido longitudinal del casco, de modo que toda el agua vaya a parar cerca de la bomba. La bomba será de accionamiento automático, de modo que cuando se supere un nivel determinado de agua la bomba comience a achicar.
- Una bomba manual. La norma no requiere de dos bombas, pero en el caso de fallo eléctrico de la embarcación no habría equipos disponibles para achicar. La ubicación de ésta estará en la bañera, de modo que pueda utilizarse cuando las escotillas y accesos al interior del velero estén cerrados.
- Un balde.

La capacidad de achique de la bomba eléctrica no deberá ser inferior a 15 l/min para esloras mayores de 6 m y para la bomba manual, dicha capacidad de achique deberá conseguirse con 45 emboladas por minuto.

## **4. Prevención de vertidos**

El velero estará diseñado y construido de modo que no se produzcan vertidos de aguas sucias y contaminantes de forma accidental.

Referente al sistema de retención de instalaciones sanitarias, la embarcación estará equipada con un depósito de retención de aguas negras, ubicado a proa de la pared divisoria del baño, de modo que la conexión sea lo más corta posible.

En cuanto a las características del depósito, este deberá tener un dispositivo el cual indique que el contenido del tanque es superior a 3/4 de su capacidad.

Dicha capacidad deberá ser suficiente para retener las aguas sucias que se generen por el máximo número de personas a bordo, durante al menos dos días a razón de 4 litros por persona y día, según indica la ORDEN FOM/1076/2006 del 29 de Marzo. Dicho esto, la capacidad del depósito será de 35 litros.

Al ser un depósito fijo, la embarcación dispondrá de una conexión universal a tierra, de modo que pueda conectarse el conducto de descarga de la embarcación con el conducto de recepción del puerto.

#### **4.1. Descarga de aguas sucias**

En las zonas portuarias, aguas protegidas y otras zonas como bahías, está prohibido la descarga de aguas sucias.

Sin embargo, la descarga de este tipo de aguas se podrá efectuar siempre y cuando se cumplan con las siguientes condiciones:

- Cuando la descarga se efectúe a una distancia superior a 4 millas de la tierra más próxima, cuando previamente se hayan desmenuzado y desinfectado, descargándose en un régimen moderado a una velocidad superior a 4 nudos.
- A una distancia superior a 12 millas de la costa, sin necesidad de desmenuzado y desinfectado, pero también a una velocidad no inferior a los 4 nudos y descargándose moderadamente.

Cabe tener en cuenta que las condiciones anteriores no serán de riguroso cumplimiento cuando sea necesario proteger la seguridad de la embarcación y de aquellas personas que estén a bordo.

En el caso de este proyecto, el velero dispondrá de un sistema de desmenuzado y desinfectado de aguas sucias.

### **5. Sistema de Agua Dulce**

El sistema de agua dulce del velero estará destinado a cumplir distintos servicios para las personas que van a bordo del velero, cocina, ducha, aseo, entre otros.

En el caso del velero de este proyecto, el almacenamiento de agua dulce dará servicio al aseo y la cocina. Para ello, es importante saber la capacidad del depósito en función de la autonomía de la embarcación, siendo de dos días en este caso. Se recomienda un consumo de 12 litros por persona y día, por lo que la capacidad del tanque de combustible será de 100 litros.

Sabiendo la capacidad que se dispondrá, el sistema de agua dulce estará diseñado de la siguiente manera.

El depósito, el cual estará ubicado debajo del camarote de proa debido al espacio que se dispone, será llenado desde la boca de llenado dispuesta en el lado de estribor de cubierta y dispondrá de un atmosférico en la parte alta del depósito, cuyo conducto irá hasta la cubierta para que cumpla su función de forma efectiva.

El sistema encargado de llevar el agua a los elementos que la requieran será una bomba de agua dulce a presión. A la entrada de la bomba estará conectado el conducto de la parte baja del tanque, mientras que en la salida se conectará un conducto que llevará el agua al aseo, a la cocina y a la ducha de popa.

Las aguas grises resultantes de la cocina y el aseo irán directamente al mar por medio de los pasa cascós que se equiparán al final de cada conducto de desagüe.

## **6. Sistema de achique**

El sistema de achique equipado a bordo estará compuesto por los siguientes elementos:

- Bomba de achique eléctrica
- Bomba de achique manual
- Conductos de ambas bombas

Según se ha detallado anteriormente, las bombas de achique obligatorias acorde a las características de este velero era una y un balde. El motivo de instalar dos bombas es poder tener medios disponibles en todo momento para achicar agua de la embarcación.

La bomba manual se empleará en caso de fallo eléctrico en el sistema y esta sea incapaz de operar, u otros motivos que la dejen fuera de servicio. Estará ubicada en el zona de almacenaje de estribor de la bañera, de modo que en el caso no poder entrar al interior de la cabina esta pueda ser operada sin problemas. El extremo del conducto que aspirará el líquido se dispondrá en la zona más baja del casco en sentido longitudinal y el agua achicada caerá por la salida ubicada en el espejo de popa.

En cuanto a la bomba eléctrica, estará ubicada en la misma zona que el conducto de aspiración de la manual. Para este caso, el agua se achicará directamente al mar por medio de un pasa cascós, recorriendo así el mínimo tramo imprescindible en el interior de la embarcación y llevando a cabo un achique efectivo, al igual que en el caso de la manual.

## 7. Sistema de aguas sanitarias

Como se ha podido comprobar en el apartado anterior, el sistema de aguas sanitarias se ha de diseñar atendiendo a una serie de parámetros.

En primer lugar, el depósito de aguas negras tendrá capacidad para dos días de navegación, como ya se ha comentado, por lo que la capacidad del depósito será de 35 litros.

En cuanto al funcionamiento del sistema, cuando se utilice el WC y éste tenga que ser vaciado, se deberá utilizar la bomba manual que hay junto a él, la cual aspirará agua directamente del mar hacia el WC a la vez que expulsa los residuos por el conducto de salida hacia el depósito.

En la parte superior del depósito podrá encontrar los siguientes conductos, los cuales se especifican en los planos de este manual:

- Conducto de conexión universal a tierra, de modo que pueda conectarse el conducto de descarga de la embarcación con el conducto de recepción del puerto. La conexión estará a proa en la banda de estribor de cubierta.
- Conducto de ventilación del tanque, ya que de no disponer de éste y en caso de posibles problemas en los conductos o depósito, los malos olores afectarían al confort de la tripulación. Debe de cumplir unos requisitos mínimos, en este caso un conducto de mínimo 38 mm.
- Conducto de conexión con la de entrada con de la bomba maceradora, siendo ésta la que se encargará de triturar y descargar directamente al mar.
- Conducto de recepción de los residuos procedentes del WC.

## 8. Instalación eléctrica

Las embarcaciones de recreo deberán de estar equipadas con los medios eléctricos necesarios, de modo que pueda dar la autonomía necesaria cuando esté navegando, al igual que ocurre con el agua dulce o el combustible.

La instalación eléctrica estará formada por los siguientes elementos:

- **Batería de servicio:** Para dotar con la suficiente autonomía eléctrica a la embarcación, ésta se equipará con una batería de 75 Ah, la cual tendrá capacidad de suministro para los siguientes equipos:
  - Equipos electrónicos de navegación
  - Bomba de agua dulce

- Bomba de achique
- Bomba maceradora
- Luces interiores
- Luces de navegación
- Cuadro eléctrico
- Nevera

Los equipos mencionados anteriormente son los elementales a tener en cuenta para la autonomía de la batería durante el periodo de navegación.

Por ello, la batería de la que se ha dotado a la embarcación tiene capacidad suficiente, pero se ha querido dar un margen de seguridad para el caso de que se quieran conectar otro tipo de equipos que necesiten de energía eléctrica para su funcionamiento o carga.

- **Cargador de la batería de servicio:** Este sistema permitirá cargar la batería de servicio cuando el velero esté amarrado a puerto o esté navegando.

El equipo podrá cargarse de dos modos distintos:

- Conectando el alternador del motor fueraborda, mientras este esté en funcionamiento, al cargador.
  - En las estancias en puerto, conectando el cargador a la toma de corriente del puerto de 220 V.
- **Equipos electrónicos:** La finalidad de equipar a la embarcación con los siguientes equipos electrónicos es proporcionar una mayor información a los tripulantes durante la navegación, así como facilitarle esta.
    - Compás
    - Corredera
    - VHF
    - Anemómetro
    - Sonda
    - Sistema de posicionamiento global, GPS.

## ***Capítulo 7 – Instalación propulsora***

Velero crucero de 23.5 pies con Categoría “C” de Diseño de embarcaciones CE



Autor: Mario Villarroya Morales  
Tutor: José Esteban Otón Tortosa

## 1. Consideraciones iniciales

Antes de comenzar con el desarrollo de los cálculos, será necesario conocer las funciones que deberá cumplir el equipo propulsor, que tipo de instalación propulsora se equipará, entre otros.

El motor deberá cumplir dos requisitos esenciales, los cuales serán dar servicio a la embarcación para la entrada y salida del puerto, además de poder navegar cuando la fuerza del viento no sea suficiente y las velas no puedan ser el elemento propulsor, siendo estas algunas de las condiciones en las que se hará uso del motor.

En cuanto al tipo de motor, en las embarcaciones de recreo existe dos tipos principales de disposición, fueraborda o intraborda. Cualquiera de estas dos disposiciones sería válida, por lo que se ha decidido instalar un motor fueraborda por los siguientes motivos:

- Mejor mantenimiento
- Aumenta la habitabilidad y confort en el interior
- Más económico
- Más ligero

Se instalará en la perpendicular de popa y a babor del timón, siendo ésta una disposición práctica, que no impedirá un buen manejo del timón, así como entorpecer el paso para entrar a la embarcación, ya que se dispone del lado de estribor del timón con bastante espacio.

## 2. Predicción de potencia

Al inicio del proyecto, en el capítulo del *Estudio Estadístico*, se estimó un valor de la potencia a partir de la base de datos, que como se indicó sería un valor orientativo a expensas de realizar los cálculos en este mismo capítulo.

Para ello, se realizará un estudio de la resistencia al avance con el que se obtendrá la potencia necesaria, de forma que se utilizará el módulo Resistance de Maxsurf.

Se importará el modelo del casco en Rhinoceros, en el que previamente se han definido unas líneas de referencia en Maxsurf Modeler. Estas referencias son la línea de flotación a máxima carga, siendo esta la situación que exigirá más potencia al tener un desplazamiento mayor.

El estudio de resistencia al avance del velero se realizará a partir de las Series de Delft. Ese método se desarrolló por medio de una serie de ensayos en el canal a partir de diferentes modelos de embarcaciones de vela a escala. Los modelos se diferenciaban entre ellos por la variación de 5 parámetros del casco, los cuales eran  $L_{WL}/B_{WL}$ ,  $B_{WL}/T$ ,  $C_p$ ,  $LCB$  y  $L_{WL}/V^{1/3}$

A partir de los resultados de los ensayos se elaboraron dos fórmulas o polinomios, en función de los parámetros que se han descrito en el párrafo anterior y de  $Fn$ , permitiendo así estimar la variación de la resistencia residual del casco. La primera de las fórmulas se aplicará para  $Fn < 0.45$ , rango de formas de desplazamiento, y la segunda para  $0.475 < Fn < 0.75$ , rango de semiplaneo, teniendo que interpolar entre las dos fórmulas para valores intermedios de  $Fn$ .

Para que la predicción de resistencia y potencia sea válida, los valores de las relaciones  $L_{WL}/B_{WL}$ ,  $B_{WL}/T$ ,  $C_p$ ,  $LCB$  y  $L_{WL}/V^{1/3}$  deberán estar dentro de los valores mínimos y máximos establecidos para estas. En la siguiente tabla se muestran los valores:

<i>Característica</i>	Mínimo	Máximo
<i><math>L_{wl}/B_{wl}</math></i>	2.76	5.00
<i><math>B_{wl}/T_c</math></i>	2.46	19.32
<i><math>L_{wl}/D_c^{1/3}</math></i>	4.34	8.50
<i><b>LCB</b></i>	0.0	-6.0
<i><math>C_p</math></i>	0.52	0.60
<i><math>Fn</math></i>	0.00	0.75

**Figura 75. Rangos de aplicación de las Series Delft**

Maxsurf Resistance permite utilizar las Series Delft I, II y III para el cálculo de potencia y saber si los valores de la embarcación de este proyecto están dentro del rango de valores establecido.

Los datos de la embarcación en la condición de máxima carga, obtenidos del módulo Resistance, serán los siguientes:

<b>DATOS DEL CASCO</b>		
<b>L<sub>WL</sub></b>	6,389	m
<b>B<sub>WL</sub></b>	2,069	m
<b>T<sub>C</sub></b>	0,336	m
<b>Vol</b>	2,046	m <sup>3</sup>
<b>C<sub>P</sub></b>	0,648	-
<b>LCB</b>	1,1	%

**Tabla 88. Datos de la embarcación**

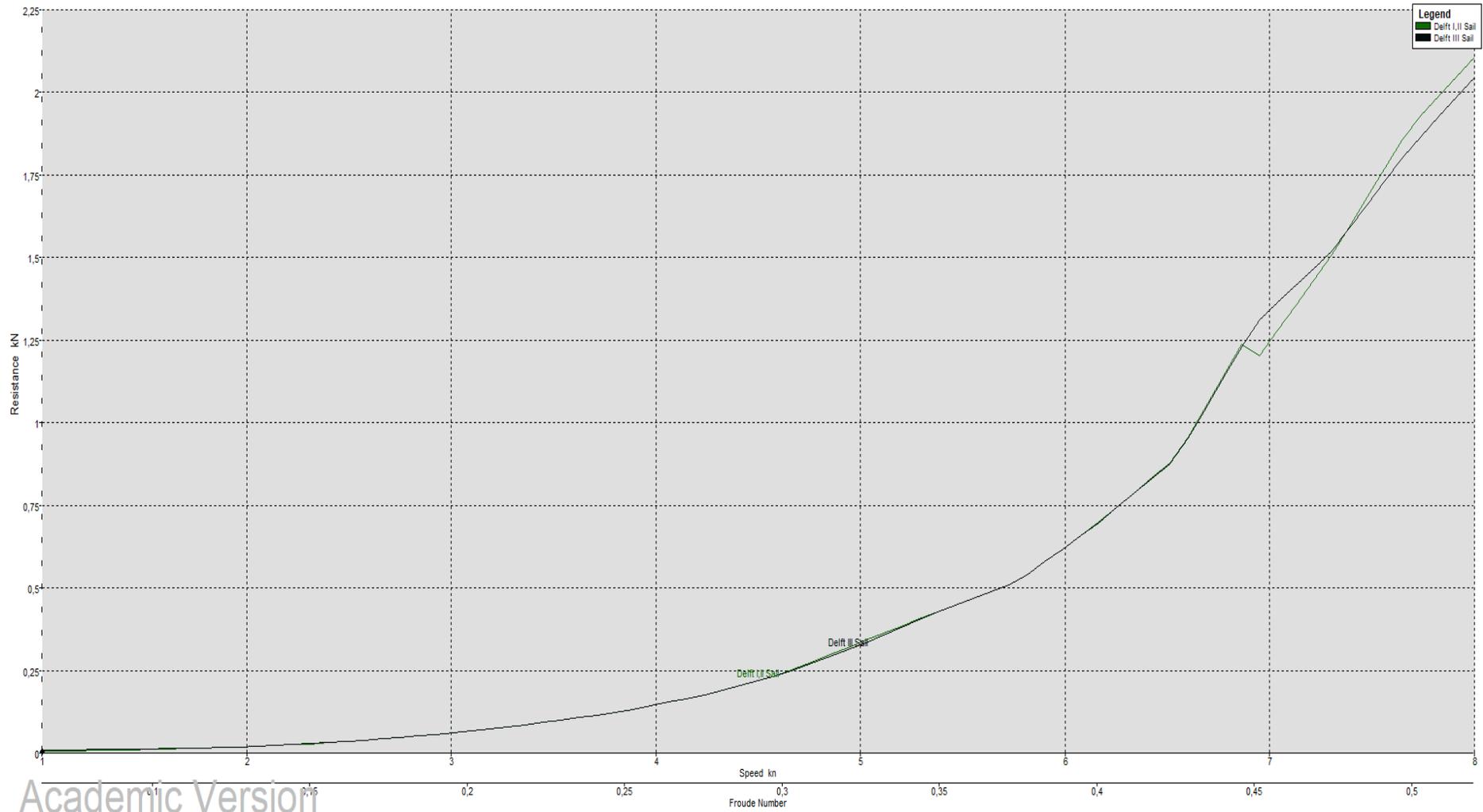
A continuación, se comprobará que los valores están entre los valores mínimos y máximos requeridos.

<b>L<sub>WL</sub>/B<sub>WL</sub></b>	3,088
<b>B<sub>WL</sub>/T<sub>C</sub></b>	6,158
<b>L<sub>WL</sub>/V<sup>1/3</sup></b>	5,033
<b>LCB</b>	-1,2
<b>C<sub>P</sub></b>	0,648

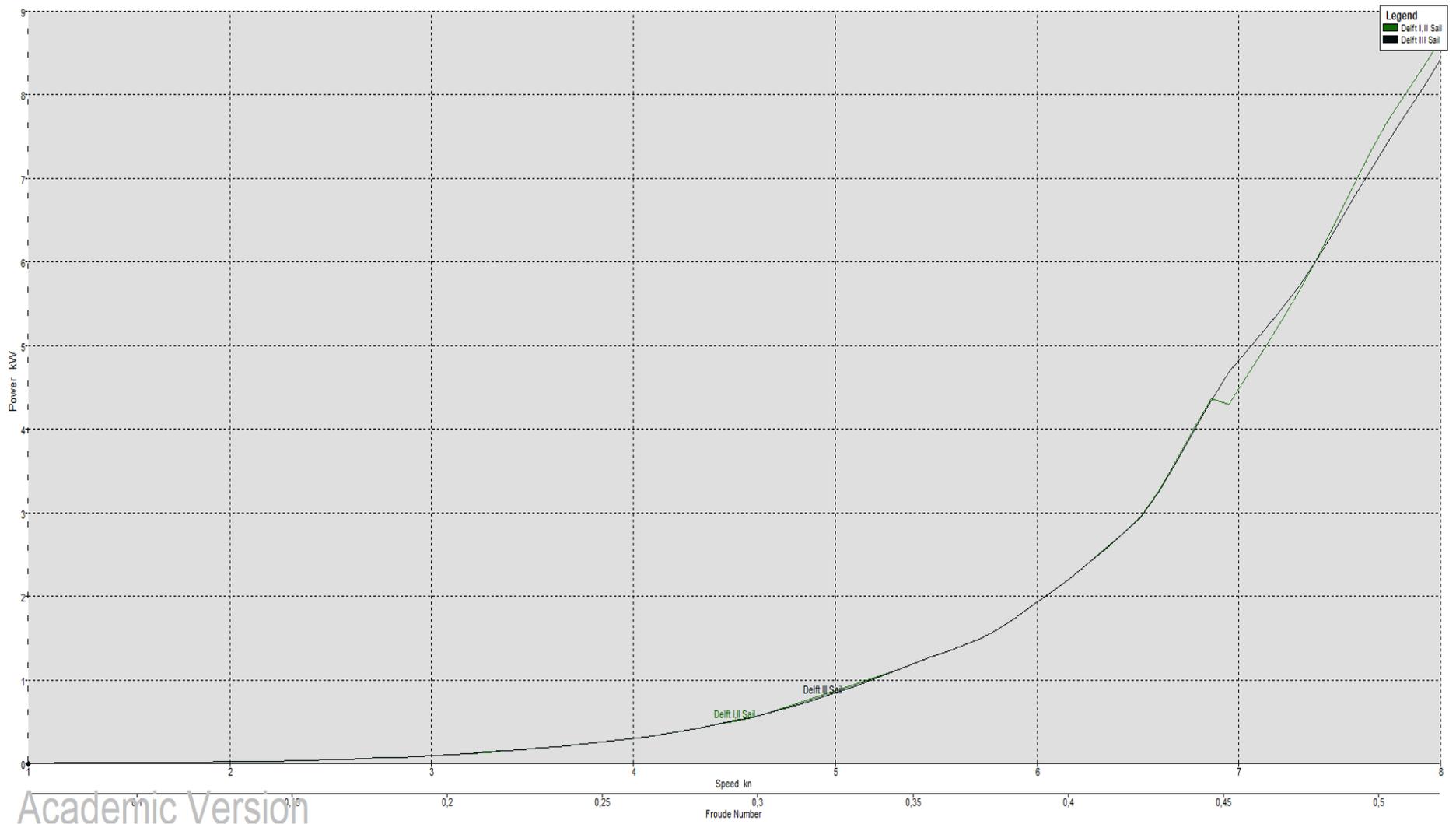
**Tabla 89. Valores de las relaciones de las Series Delft**

A la vista de los resultados, se observan que todos los parámetros están dentro del rango menos el coeficiente prismático, que está un poco por encima del valor máximo. Esto se debe a las formas llenas que tiene el casco, por lo que en el segundo diseño preliminar del proyecto habría que evaluar si debería de ajustarse este valor o no, teniendo en cuenta qué tipo de embarcación se quiere diseñar y qué uso se le quiere dar.

Dicho esto, se obtendrán las gráficas de Velocidad/Resistencia y Velocidad/Potencia, las cuales se analizarán a continuación:



**Figura 76. Curva de resistencia - velocidad**



**Figura 77. Curva de potencia efectiva - velocidad**

Speed (Kn)	Froude No. (LWL)	Froude No. (Vol.)	Delft I,II Resist (KN)	Delft I,II Power (kW)	Delft III Resist (KN)	Delft I,II Power (kW)
1	0,065	0,146	0	0,003	0	0,005
1,175	0,076	0,171	0	0,004	0	0,006
1,35	0,088	0,197	0	0,006	0	0,008
1,525	0,099	0,222	0	0,009	0	0,01
1,7	0,11	0,248	0	0,012	0	0,013
1,875	0,122	0,273	0	0,016	0	0,016
2,05	0,133	0,299	0	0,022	0	0,022
2,225	0,145	0,324	0	0,029	0	0,029
2,4	0,156	0,35	0	0,039	0	0,039
2,575	0,167	0,375	0	0,051	0	0,052
2,75	0,179	0,401	0	0,067	0	0,067
2,925	0,19	0,426	0,1	0,086	0,1	0,086
3,1	0,201	0,452	0,1	0,107	0,1	0,107
3,275	0,213	0,477	0,1	0,135	0,1	0,135
3,45	0,224	0,503	0,1	0,164	0,1	0,164
3,625	0,236	0,528	0,1	0,201	0,1	0,201
3,8	0,247	0,554	0,1	0,241	0,1	0,241
3,975	0,258	0,58	0,1	0,293	0,1	0,293
4,15	0,27	0,605	0,2	0,351	0,2	0,351
4,325	0,281	0,631	0,2	0,423	0,2	0,423
4,5	0,292	0,656	0,2	0,509	0,2	0,509
4,675	0,304	0,682	0,3	0,612	0,3	0,608
4,85	0,315	0,707	0,3	0,744	0,3	0,73
5,025	0,327	0,733	0,3	0,884	0,3	0,861
5,2	0,338	0,758	0,4	1,029	0,4	1,018
5,375	0,349	0,784	0,4	1,182	0,4	1,183
5,55	0,361	0,809	0,5	1,337	0,5	1,339
5,725	0,372	0,835	0,5	1,5	0,5	1,502
5,9	0,383	0,86	0,6	1,757	0,6	1,757
6,075	0,395	0,886	0,7	2,056	0,7	2,054
6,25	0,406	0,911	0,7	2,39	0,7	2,385
6,425	0,418	0,937	0,8	2,756	0,8	2,747
6,6	0,429	0,962	1	3,251	1	3,237
6,775	0,44	0,988	1,1	3,987	1,1	3,965
6,95	0,452	1,013	1,2	4,3	1,3	4,685
7,125	0,463	1,039	1,4	4,964	1,4	5,185
7,3	0,474	1,064	1,5	5,656	1,5	5,706
7,475	0,486	1,09	1,7	6,465	1,7	6,384
7,65	0,497	1,115	1,9	7,312	1,8	7,095
7,825	0,509	1,141	2	8,007	1,9	7,759
8	0,52	1,166	2,1	8,664	2	8,422

**Tabla 90. Valores de potencia efectiva y resistencia efectiva para los distintos rangos de velocidad**

Para calcular la potencia que se deberá instalar en el velero para que este pueda navegar a una determinada velocidad será necesario calcular el rendimiento propulsivo, definiéndose como la relación entre la potencia útil empleada en vencer la resistencia a una cierta velocidad, EHP, la cual ha sido calculado por el programa, y la potencia instalada en el motor, BHP.

El valor que se buscar calcular es BHP, a partir de la siguiente ecuación:

$$BHP = \frac{EHP}{\eta_D * \eta_M * K_p}$$

Donde:

- $\eta_D$ : Rendimiento cuasipropulsivo
- $\eta_M$ : Rendimiento mecánico de la línea de ejes
- $K_p$ : Factor que indica el régimen de funcionamiento del motor, tomando valores del 85-90% en los motores diésel

El cálculo del rendimiento cuasipropulsivo se obtendrá a partir de las siguientes ecuaciones:

- Fórmula de Lap:

$$\eta_D = 0,885 - 0,0012 N \sqrt{L_{PP}}$$

- Fórmula de Parga:

$$\eta_D = 0,84 - \frac{N \sqrt{L_{PP}}}{18000} + \frac{(V/C_B)^2}{24000}$$

- Fórmula del Canal del Pardo:

$$\eta_D = 0,943 - 0,000187 N \sqrt{L_{PP}} + 0,023 B/T - 0,2 C_B + 0,00013 N C_B \sqrt{L_{PP}}$$

Donde N es el número de revoluciones por minuto del motor, V será la velocidad de navegación en nudos y las dimensiones se expresarán en metros.

Para estimar las revoluciones por minuto del motor, se han estudiado motores fueraborda de distintos fabricantes y de un potencia de CV aproximadamente. Se ha concluido que la régimen de giro a revoluciones medias será de 4.500 – 5.000 rpm, teniendo en cuenta que el reductor inversor para motores de estas características toma valores de entre 2:1 y 2.5:1, el valor N que se utilizará para los cálculos será 2.000 rpm.

En cuanto a la velocidad, se establecerá un valor acorde a la velocidad de navegación que se quiera llevar con el motor, en este caso será de 6 nudos.

Por lo que los valores del rendimiento cuasipropulsivo obtenidos serán 0.427, 0.635 y 0.507 respectivamente. Tomando un valor medio de las tres ecuaciones:

$$\eta_D = 0,520$$

En cuanto al rendimiento mecánico y el factor  $K_p$ , estos tomarán un valor de 0.98 y 0.87 respectivamente, de modo que la potencia a instalar tendrá la siguiente ecuación:

$$BHP = \frac{EHP}{0,520 * 0,98 * 0,87}$$

En la tabla que se adjunta a continuación, se muestran los resultados de la potencia a instalar para los distintos rangos de velocidad, donde los valores de kW corresponden a los calculados en la fórmula anterior, siendo EHP las potencias de la serie Delft I y II de la tabla 90.

Speed (Kn)	kW	HP	CV
1	0,007	0,009	0,009
1,175	0,009	0,012	0,012
1,35	0,014	0,018	0,018
1,525	0,020	0,027	0,028
1,7	0,027	0,036	0,037
1,875	0,036	0,048	0,049
2,05	0,050	0,067	0,067
2,225	0,065	0,088	0,089
2,4	0,088	0,118	0,120
2,575	0,115	0,154	0,156
2,75	0,151	0,203	0,206
2,925	0,194	0,260	0,264
3,1	0,241	0,324	0,328
3,275	0,304	0,408	0,414
3,45	0,370	0,496	0,503
3,625	0,453	0,608	0,617
3,8	0,544	0,729	0,739
3,975	0,661	0,886	0,899
4,15	0,792	1,062	1,077
4,325	0,954	1,279	1,298
4,5	1,148	1,540	1,561
4,675	1,380	1,851	1,877
4,85	1,678	2,250	2,282
5,025	1,994	2,674	2,712
5,2	2,321	3,112	3,157
5,375	2,666	3,575	3,626
5,55	3,016	4,044	4,101
5,725	3,383	4,537	4,601
5,9	3,963	5,314	5,390
6,075	4,637	6,219	6,307
6,25	5,391	7,229	7,332
6,425	6,216	8,336	8,454
6,6	7,333	9,833	9,973
6,775	8,993	12,059	12,231
6,95	9,699	13,006	13,191
7,125	11,197	15,015	15,228
7,3	12,757	17,108	17,351
7,475	14,582	19,555	19,832
7,65	16,493	22,116	22,431
7,825	18,060	24,219	24,563
8	19,542	26,206	26,578

**Tabla 91. Potencia requerida a instalar en función de la velocidad**

Analizando los resultados, la potencia que se instalará será de 10 CV, cumpliendo así con los requisitos de velocidad que se necesitará dotar a la embarcación, mencionándose estos al inicio de este capítulo.

### **3. Selección del propulsor**

En la actualidad, existe una gran variedad de fabricantes de motores fueraborda, tales como Suzuki, Yamaha, Honda, Mercury, etc. Teniendo en cuenta la potencia de motor que se instalará, 10 CV, las características y prestaciones en cada uno de los fabricantes es bastante similar, por lo que cualquier elección será correcto.

Para el velero de este proyecto se ha decidido instalar un motor Yamaha FT 9.9, cumpliendo así con los requerimientos de potencia que se han calculado.

## ***Capítulo 8 – Cálculo de pesos y C.D.G.***

Velero crucero de 23.5 pies con Categoría “C” de Diseño de embarcaciones CE



Autor: Mario Villarroya Morales  
Tutor: José Esteban Otón Tortosa

## 1. Introducción

Con el escantillonado del velero finalizado, se procederá a la estimación del Peso en Rosca,  $P_R$ , y las coordenadas del Centro de Gravedad de la embarcación a partir de los pesos indicados.

Obtener una relación completa de los pesos que dispondrá el velero es un trabajo complejo y que requiere un estudio exhaustivo, por lo que los pesos que se tendrán en cuenta para el cálculo serán una aproximación de los equipos necesarios, pertrechos, aparejos, entre otros, desarrollado con la mayor exactitud posible.

Para la determinación del Peso en Rosca se agruparán los pesos en distintos grupos tales como equipos, apéndices, tripulación, habilitación, estructura y laminado, etc. El peso de cada uno de los elementos se obtendrá a partir de ecuaciones para algunos elementos o datos proporcionados por el fabricante para elementos específicos.

Las coordenadas del centro de gravedad de cada uno de los elementos de estudio estarán formadas por tres componentes. La posición longitudinal del centro de gravedad, LCG, midiéndose desde la perpendicular de popa, tomando valor positivo hacia proa de esta y negativo hacia popa. La posición transversal del centro de gravedad, TCG, tendrá como referencia la línea de crujía, tomándose como valores positivos a babor de esta y negativos a estribor de esta. Por último, la posición vertical del centro de gravedad, VCG, tomará valores positivos por encima de la línea base y negativas por debajo de esta. La línea base estará en el punto más bajo de crujía y el punto "0" del eje de referencia del velero estará situado en la intersección que se produce entre la línea base y la perpendicular de popa.

## 2. Consideraciones iniciales

En función de los pesos que se vayan a calcular, se tendrán en cuenta una serie de consideraciones para un desarrollo correcto del proceso.

### 2.1. Elementos estructurales

El peso del laminado del fondo, costado y cubierta se calculará de la siguiente manera para cada uno de ellos:

$$P (Kg) = \text{Área} \times P_{\text{laminado}}$$

Donde el peso del laminado es el obtenido en la secuencia de laminado del escantillonado y el área será la formada por el conjunto de paneles del fondo, costado o cubierta.

En cuanto al peso de los refuerzos:

$$P (Kg) = (V_{núcleo} \times \rho_{mat. núcleo}) + (Área \times P_{laminado})$$

Donde la densidad del material del núcleo de contrachapado marino será 554 Kg/m<sup>3</sup> para las cuadernas, varengas y quilla y 80 Kg/m<sup>3</sup> para los mamparos, que tienen un núcleo de PVC.

## 2.2. Equipos y armamento

Además de los pesos nombrados anteriormente, los equipos, maquinaria, velas y demás, tienen gran importancia en el cálculo de pesos, ya que forman alrededor del 50% del Peso en Rosca de la embarcación.

No entraremos en detalle en este punto, ya que se adjuntarán las tablas de pesos más abajo, pero hay que tener en cuenta algunas consideraciones.

- Velas: Para obtener el peso de las velas, tanto del Génova como de la Mayor al 100%, el material utilizado será fibra de poliéster, Dacron, el cual tiene una densidad de 0'65 Kg/m<sup>2</sup>.
- Jarcia: Será el peso de los cabos y cables del aparejo. Hay que diferenciar entre jarcia firme, que es la compuesta por los cables fijos que soportan los esfuerzos del mástil, y jarcia de labor, la cual está formada por cabos o cables móviles para manejar el aparejo.
- Mástil y botavara: El material empleado será aluminio, por su ligereza, resistencia y bajo precio.
- Habitación: Se considerará el peso del mobiliario interior, construidos con contrachapado marino laminado.
- Apéndices: Los apéndices están formados por la quilla y el timón. En cuanto a la quilla, el lastre será de plomo por su elevada densidad y la estructura será de aluminio. La estructura exterior del timón también será de aluminio y su interior de PVC de 100 Kg/m<sup>2</sup>.

### **2.3. Peso muerto**

Los pesos que se tendrán en cuenta en la condición de peso muerto serán:

- Tripulación
- Combustible
- Agua dulce
- Aguas grises
- Provisiones
- Equipaje

Para la tripulación el peso no deberá ser inferior de 75 Kg por persona.

### **2.4. Evaluación de los pesos**

A continuación, se procederá a la estimación final de los pesos de la embarcación para las siguientes condiciones:

- Peso en Rosca ( $P_R$ )
- Peso Muerto ( $P_M$ )
- Condición de carga Mínima Operativa ( $\Delta_{\min}$ )
- Condición de Máxima Carga ( $\Delta_{\max}$ )

Como se podrá observar en las siguientes tablas, en cada una de ellas encontraremos el peso de cada uno de los elementos, con los tres centros de gravedad y los momentos que se producen.

Las medidas de los centros de gravedad han sido tomadas a partir de los planos del velero.

LAMINADO								
Elemento	A (m <sup>2</sup> )	P (Kg)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)	M. LCG	M . VCG	M. TCG
Fondo	13,508	115,142	3,038	0,191	0,000	349,802	21,992	0,000
Costado	12,311	104,939	3,222	0,828	0,000	338,113	86,889	0,000
Cubierta	20,103	99,269	2,722	1,298	0,000	270,209	128,851	0,000
<b>Σ</b>		<b>319,350</b>	<b>3,000</b>	<b>0,744</b>	<b>0,000</b>	<b>958,124</b>	<b>237,732</b>	<b>0,000</b>

*Tabla 92. Relación de pesos y c.d.g. del laminado*

REFUERZOS									
Elemento	P (Kg)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)	M. LCG	M . VCG	M. TCG	Volumen (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )
Cuaderna 1	2,895	0,736	0,677	0,000	2,130	1,960	0,000	0,00693	0,298
Cuaderna 2	3,131	1,472	0,633	0,000	4,609	1,982	0,000	0,00752	0,321
Cuaderna 3	3,225	2,815	0,618	0,000	9,079	1,993	0,000	0,00776	0,331
Cuaderna 4	3,180	3,421	0,628	0,000	10,879	1,997	0,000	0,00763	0,327
Cuaderna 5	3,066	4,641	0,651	0,000	14,230	1,996	0,000	0,00732	0,316
Cuaderna 6	2,930	5,201	0,682	0,000	15,238	1,998	0,000	0,00696	0,303
Cuaderna 7	2,629	5,815	0,750	0,000	15,285	1,971	0,000	0,00617	0,274
Varenga 1	1,633	0,737	0,238	0,000	1,203	0,389	0,000	0,00426	0,159
Varenga 2	1,823	1,472	0,156	0,000	2,683	0,284	0,000	0,00481	0,176
Varenga 3	1,964	2,815	0,094	0,000	5,529	0,185	0,000	0,00523	0,188
Varenga 4	1,939	3,422	0,084	0,000	6,636	0,163	0,000	0,00517	0,185
Varenga 5	1,406	4,641	0,096	0,000	6,525	0,135	0,000	0,00371	0,135
Varenga 6	1,147	5,202	0,124	0,000	5,965	0,142	0,000	0,00303	0,110
Varenga 7	0,857	5,814	0,202	0,000	4,984	0,173	0,000	0,00228	0,082
Mamparo 1	16,777	2,208	0,654	0,000	37,044	10,972	0,000	0,01016	0,934
Mamparo 2	36,736	4,029	0,771	0,082	148,009	28,323	3,012	0,02296	1,913
Mamparo 3	12,581	6,447	0,917	0,000	81,108	11,537	0,000	0,00599	0,998
Quilla	9,924	3,174	0,108	0,000	31,500	1,072	0,000	0,02100	1,094
<b>Σ</b>	<b>107,841</b>	<b>3,734</b>	<b>0,624</b>	<b>0,028</b>	<b>402,635</b>	<b>67,272</b>	<b>3,012</b>		

*Tabla 93. Relación de pesos y c.d.g. de los refuerzos*

<b>MÁQUINAS Y EQUIPOS</b>							
<b>Elemento</b>	<b>P (Kg)</b>	<b>LCG (m)</b>	<b>VCG (m)</b>	<b>TCG (m)</b>	<b>M. LCG</b>	<b>M . VCG</b>	<b>M. TCG</b>
Motor Fueraborda	38	-0,230	0,825	0,305	-8,740	31,350	11,590
Pala del Timón	28,5	-0,196	0,022	0,000	-5,586	0,627	0,000
Caña del timón	3	0,500	1,195	0,000	1,500	3,585	0,000
Batería de Servicio	25	6,018	0,445	-0,082	150,450	11,125	-2,050
Cargador batería de servicio	5	5,875	0,387	0,090	29,375	1,935	0,450
Tanque de Agua Dulce	5	5,373	0,367	0,150	26,865	1,835	0,750
Tanque de Aguas Grises	3	4,920	0,367	-0,331	14,760	1,101	-0,993
Tanque de Combustible	2	0,289	0,571	0,000	0,578	1,142	0,000
Bomba de Achique Eléctrica	2,5	3,778	0,058	-0,138	9,445	0,145	-0,345
Bomba de Agua a Presión	2,5	3,842	0,066	-0,140	9,605	0,165	-0,350
Bomba de Achique Manual	2,5	0,332	0,843	-0,706	0,830	2,108	-1,765
Bomba de Aguas Negras	2,5	4,890	0,095	-0,128	12,225	0,238	-0,320
<b>Σ</b>	<b>119,5</b>	<b>2,019</b>	<b>0,463</b>	<b>0,058</b>	<b>241,307</b>	<b>55,355</b>	<b>6,967</b>

**Tabla 94. Relación de pesos y c.d.g. de las máquinas y equipos**

<b>EQUIPO DE FONDEO</b>							
<b>Elemento</b>	<b>P (Kg)</b>	<b>LCG (m)</b>	<b>VCG (m)</b>	<b>TCG (m)</b>	<b>M. LCG</b>	<b>M . VCG</b>	<b>M. TCG</b>
Ancla	10	7,450	1,293	0,000	74,500	12,930	0,000
Cadena	11,4	6,629	0,843	0,000	75,571	9,610	0,000
Caja de Cadenas	3	6,590	0,656	0,000	19,770	1,968	0,000
<b>Σ</b>	<b>24,4</b>	<b>6,961</b>	<b>1,004</b>	<b>0,000</b>	<b>169,841</b>	<b>24,508</b>	<b>0,000</b>

**Tabla 95. Relación de pesos y c.d.g. del equipo de fondeo**

VELAS Y APAREJOS							
Elemento	P (Kg)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)	M. LCG	M . VCG	M. TCG
Mástil	25,2	4,374	6,485	0,000	110,225	163,422	0,000
Jarcia, crucetas y anclaje	20	3,816	5,934	0,000	76,320	118,680	0,000
Botavara	5,2	2,582	1,958	0,000	13,426	10,182	0,000
Vela Mayor	8,4	3,152	5,167	0,000	26,477	43,403	0,000
Vela Génova	11,2	5,319	4,786	0,000	59,572	53,603	0,000
Refuerzo mástil	0,8	3,996	1,604	0,000	3,197	1,283	0,000
Mecha	16	4,007	0,789	0,000	64,112	12,624	0,000
<b>Σ</b>	<b>86,8</b>	<b>4,071</b>	<b>4,645</b>	<b>0,000</b>	<b>353,328</b>	<b>403,197</b>	<b>0,000</b>

*Tabla 96. Relación de pesos y c.d.g. de las velas y aparejos*

APÉNDICE							
Elemento	P (Kg)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)	M. LCG	M . VCG	M. TCG
Quilla	430	3,435	-0,669	0,000	1477,050	-287,670	0,000
<b>Σ</b>	<b>430</b>	<b>3,435</b>	<b>-0,669</b>	<b>0,000</b>	<b>1477,050</b>	<b>-287,670</b>	<b>0,000</b>

*Tabla 97. Relación de pesos y c.d.g. del apéndice*

EQUIPOS DE CUBIERTA							
Elemento	P (Kg)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)	M. LCG	M . VCG	M. TCG
Escalera de Baño	2,5	0,179	0,309	-0,373	0,448	0,773	-0,933
Winches	7	1,150	1,326	0,000	8,050	9,282	0,000
Cornamusas	1,4	3,450	1,237	0,000	4,830	1,732	0,000
Pulpitos de popa	6	0,600	1,595	0,000	3,600	9,570	0,000
Pulpitos de proa	4	6,751	1,652	0,000	27,004	6,608	0,000
Carro del Génova	3	4,094	1,223	0,000	12,282	3,669	0,000
Carro de la Mayor	1,5	0,900	0,809	0,000	1,350	1,214	0,000
Puerta de acceso	7,5	1,717	1,457	0,000	12,878	10,928	0,000
Mordazas Palanca	2	1,819	1,648	0,000	3,638	3,296	0,000
Candeleros y guardamancebos	8	3,676	1,621	0,000	29,408	12,968	0,000
Almacenaje Asiento Babor	2	0,216	0,919	0,000	0,432	1,838	0,000
Almacenaje Asiento Estribor	2	0,216	0,919	0,000	0,432	1,838	0,000
Portillos	5	2,685	1,519	0,000	13,425	7,595	0,000
<b>Σ</b>	<b>56,9</b>	<b>2,224</b>	<b>1,369</b>	<b>-0,016</b>	<b>126,561</b>	<b>77,874</b>	<b>-0,933</b>

*Tabla 98. Relación de pesos y c.d.g. de los equipos de cubierta*

CAMAROTE DE PROA							
Elemento	P (Kg)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)	M. LCG	M . VCG	M. TCG
Cama	24	5,344	0,581	0,000	128,256	13,944	0,000
Armario Alto Br.	9	5,513	1,140	0,506	49,617	10,260	4,554
Armario Alto Er.	9	5,513	1,140	-0,506	49,617	10,260	-4,554
Escotilla	4	4,975	1,384	0,000	19,900	5,536	0,000
<b>Σ</b>	<b>46</b>	<b>5,378</b>	<b>0,870</b>	<b>0,000</b>	<b>247,390</b>	<b>40,000</b>	<b>0,000</b>

*Tabla 99. Relación de pesos y c.d.g. del camarote de proa*

<b>SALÓN - COMEDOR</b>							
<b>Elemento</b>	<b>P (Kg)</b>	<b>LCG (m)</b>	<b>VCG (m)</b>	<b>TCG (m)</b>	<b>M. LCG</b>	<b>M . VCG</b>	<b>M. TCG</b>
Sofá Br.	10	2,810	0,389	0,609	28,100	3,890	6,090
Sofá Er.	10	2,810	0,389	-0,609	28,100	3,890	-6,090
Mesa	5	2,798	0,497	0,000	13,990	2,485	0,000
Suelo del Pasillo	16,5	3,314	0,150	0,109	54,681	2,475	1,799
<b>Σ</b>	<b>41,5</b>	<b>3,009</b>	<b>0,307</b>	<b>0,043</b>	<b>124,871</b>	<b>12,740</b>	<b>1,799</b>

*Tabla 100. Relación de pesos y c.d.g. del salón - comedor*

<b>COCINA - MESA DE CARTAS</b>							
<b>Elemento</b>	<b>P (Kg)</b>	<b>LCG (m)</b>	<b>VCG (m)</b>	<b>TCG (m)</b>	<b>M. LCG</b>	<b>M . VCG</b>	<b>M. TCG</b>
Encimera Cocina	13	3,715	0,873	-0,735	48,295	11,349	-9,555
Mueble Cocina	8,5	3,546	0,519	-0,512	30,141	4,412	-4,352
Fogón	4,2	3,592	0,880	-0,543	15,086	3,696	-2,281
Fregadero	2,5	3,824	0,792	-0,523	9,560	1,980	-1,308
Armario Alto Cocina	3,5	3,662	1,123	-1,007	12,817	3,931	-3,525
Mesa de Cartas	7	3,669	0,560	0,849	25,683	3,920	5,943
C. Eléct. - Instrumentación	5	3,744	0,780	0,989	18,720	3,900	4,945
Armario Alto M. de Cartas	3,5	3,662	1,123	1,007	12,817	3,931	3,525
<b>Σ</b>	<b>47,2</b>	<b>3,668</b>	<b>0,786</b>	<b>-0,140</b>	<b>173,119</b>	<b>37,118</b>	<b>-6,607</b>

*Tabla 101. Relación de pesos y c.d.g. de la cocina y mesa de cartas*

HABITABILIDAD DE POPA							
Elemento	P (Kg)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)	M. LCG	M . VCG	M. TCG
Cama Br.	13	1,368	0,389	0,590	17,784	5,057	7,670
Cama Er.	13	1,368	0,389	-0,590	17,784	5,057	-7,670
Armario Central	12	1,138	0,605	0,000	13,656	7,260	0,000
Nevera	20	1,450	0,438	0,000	29,000	8,760	0,000
Escotilla Br.	0,5	1,043	0,948	0,483	0,522	0,474	0,242
Escotilla Er.	0,5	1,043	0,948	-0,483	0,522	0,474	-0,242
Almacenaje De Cubierta	5	0,656	0,559	-0,150	3,280	2,795	-0,750
<b>Σ</b>	<b>64</b>	<b>1,290</b>	<b>0,467</b>	<b>-0,012</b>	<b>82,547</b>	<b>29,877</b>	<b>-0,750</b>

*Tabla 102. Relación de pesos y c.d.g. de la habitabilidad de popa*

CUARTO DE BAÑO Y ASEO							
Elemento	P (Kg)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)	M. LCG	M . VCG	M. TCG
Pared Divisoria Baño	8,5	4,613	0,762	-0,515	39,211	6,477	-4,378
Pared Divisoria Aseo	4	4,613	0,809	0,723	18,452	3,236	2,892
Puerta Cuarto de Baño	6,5	4,315	0,791	-0,143	28,048	5,142	-0,930
Puerta Aseo	3	4,321	1,387	0,515	12,963	4,161	1,545
WC	7	4,297	0,341	-0,597	30,079	2,387	-4,179
Lavabo	2	4,321	0,682	0,656	8,642	1,364	1,312
Mueble Lavabo	3	4,314	0,608	0,626	12,942	1,824	1,878
Armario Alto Lavabo	2	4,305	1,123	0,957	8,610	2,246	1,914
<b>Σ</b>	<b>36</b>	<b>4,415</b>	<b>0,745</b>	<b>0,002</b>	<b>158,946</b>	<b>26,837</b>	<b>0,055</b>

*Tabla 103. Relación de pesos y c.d.g. del cuarto de baño y aseo*

PESO MUERTO							
Partida de pesos	P (Kg)	LCG (m)	VCG (m)	TCG (m)	M. LCG	M . VCG	M. TCG
<b>Tripulación</b>							
Tripulante 1	75	0,600	1,371	0,520	45,000	102,825	39,000
Tripulante 2	75	2,150	0,697	-0,500	161,250	52,275	-37,500
Tripulante 3	75	3,256	0,697	0,200	244,200	52,275	15,000
Tripulante 4	75	5,368	0,689	-0,300	402,600	51,675	-22,500
<b>Σ</b>	<b>300</b>	<b>2,844</b>	<b>0,864</b>	<b>-0,020</b>	<b>853,050</b>	<b>259,050</b>	<b>-6,000</b>
<b>Carga y Pertrechos</b>							
Tanque de Aguas Grises	37,5	4,920	0,356	-0,331	184,500	13,350	-12,413
Tanque de Agua Dulce	105	5,373	0,367	0,000	564,165	38,535	0,000
Tanque de Combustible	32	0,289	0,571	0,000	9,248	18,272	0,000
Pertrechos camarote proa	35	5,513	1,140	0,000	192,955	39,900	0,000
Pertrechos de Baño	3	4,506	0,588	-0,434	13,518	1,764	-1,302
Pertrechos del Aseo	5	4,208	1,123	0,495	21,040	5,615	2,475
Pertrechos de Cocina	15	3,577	0,680	-0,420	53,655	10,200	-6,300
Pertrechos Mesa de Cartas	8	3,650	0,783	0,895	29,200	6,264	7,160
Pertrechos Habit. de Popa	30	1,109	0,656	0,000	33,270	19,680	0,000
<b>Σ</b>	<b>270,5</b>	<b>4,072</b>	<b>0,568</b>	<b>-0,038</b>	<b>1101,551</b>	<b>153,580</b>	<b>-10,380</b>
<b>Provisiones y Eq. de seguridad</b>							
Provisiones	40	2,810	0,200	0,000	112,400	8,000	0,000
Equipo de Seguridad Proa	25	4,914	0,405	0,000	122,850	10,125	0,000
Equipo de Seguridad Popa	5	0,656	0,559	0,150	3,280	2,795	0,750
<b>Σ</b>	<b>70</b>	<b>3,408</b>	<b>0,299</b>	<b>0,011</b>	<b>238,530</b>	<b>20,920</b>	<b>0,750</b>
<b>Σ</b>	<b>640,5</b>	<b>3,424</b>	<b>0,677</b>	<b>-0,024</b>	<b>2193,131</b>	<b>433,550</b>	<b>-15,630</b>

Tabla 104. Relación de pesos y c.d.g. de la carga

<b>PESO EN ROSCA</b>								
<b>Partida de pesos</b>	<b>P (Kg)</b>	<b>P + M.S.</b>	<b>LCG (m)</b>	<b>VCG (m)</b>	<b>TCG (m)</b>	<b>M. LCG</b>	<b>M . VCG</b>	<b>M. TCG</b>
Laminado	319,350	335,317	3,000	0,744	0,000	958,124	237,732	0,000
Refuerzos	107,841	113,233	3,734	0,624	0,028	402,635	67,272	3,012
Camarote de Proa	46,000	50,600	5,378	0,870	0,000	247,390	40,000	0,000
Salón - Comedor	41,500	45,650	3,009	0,307	0,043	124,871	12,740	1,799
Cocina - Mesa de Cartas	47,200	51,920	3,668	0,786	-0,140	173,119	37,118	-6,607
Habitabilidad de Popa	64,000	70,400	1,290	0,467	-0,012	82,547	29,877	-0,750
Cuarto de Baño y Aseo	36,000	39,600	4,415	0,745	0,002	158,946	26,837	0,055
Mág. y Eq. (Motor y Aguas)	119,500	137,425	2,019	0,463	0,058	241,307	55,355	6,967
Mág. Y Eq. (Fondeo)	24,400	28,060	6,961	1,004	0,000	169,841	24,508	0,000
Velas y Aparejos	86,800	99,820	4,071	4,645	0,000	353,328	403,197	0,000
Equipos de Cubierta	56,900	65,435	2,224	1,369	-0,016	126,561	77,874	-0,933
Apéndices	430,000	430,000	3,435	-0,669	0,000	1477,050	-287,670	0,000
<b>Σ</b>	<b>1379,491</b>	<b>1467,461</b>	<b>3,077</b>	<b>0,494</b>	<b>0,002</b>	<b>4515,720</b>	<b>724,840</b>	<b>3,543</b>

**Tabla 105. Relación de pesos y c.d.g. en la condición de peso en rosca**

<b>CONDICIÓN DE CARGA MÍNIMA OPERATIVA</b>							
<b>Partida de pesos</b>	<b>P (Kg)</b>	<b>LCG (m)</b>	<b>VCG (m)</b>	<b>TCG (m)</b>	<b>M. LCG</b>	<b>M. VCG</b>	<b>M. TCG</b>
Peso en Rosca	1467,461	3,077	0,494	0,002	4515,720	724,840	3,543
<b>Σ</b>	<b>1467,461</b>	<b>3,077</b>	<b>0,494</b>	<b>0,002</b>	<b>4515,720</b>	<b>724,840</b>	<b>3,543</b>
<b>Tripulantes</b>							
Tripulante 1	75	1,490	1,371	0,000	111,750	102,825	0,000
<b>Σ</b>	<b>75</b>	<b>1,490</b>	<b>1,371</b>	<b>0,000</b>	<b>111,750</b>	<b>102,825</b>	<b>0,000</b>
<b>Carga y Pertrechos</b>							
Tanque de agua dulce (10%)	15,5	5,373	0,367	0,000	83,282	5,689	0,000
Tanque de combustible (10%)	5	0,289	0,571	0,000	1,445	2,855	0,000
Tanque de aguas grises (0%)	3	4,920	0,356	-0,331	14,760	1,068	-0,993
Pertrechos camarote proa	25	5,213	1,140	0,000	130,325	28,500	0,000
Pertrechos de Baño	3	4,506	0,588	-0,434	13,518	1,764	-1,302
Pertrechos del Aseo	5	4,208	1,123	0,495	21,040	5,615	2,475
Pertrechos de Cocina	15	3,577	0,680	-0,420	53,655	10,200	-6,300
Pertrechos Mesa de Cartas	8	3,650	0,783	0,875	29,200	6,264	7,000
Pertrechos Habit. de Popa	20	1,196	0,734	0,000	23,920	14,680	0,000
<b>Σ</b>	<b>99,500</b>	<b>3,730</b>	<b>0,770</b>	<b>0,009</b>	<b>371,145</b>	<b>76,635</b>	<b>0,880</b>
<b>Provisiones y Eq. de seguridad</b>							
Provisiones	20	2,810	0,140	0,000	56,200	2,800	0,000
Equipo de Seguridad Proa	25	4,914	0,405	0,000	122,850	10,125	0,000
Equipo de Seguridad Popa	5	0,656	0,559	-0,150	3,280	2,795	-0,750
<b>Σ</b>	<b>50,000</b>	<b>3,647</b>	<b>0,314</b>	<b>-0,015</b>	<b>182,330</b>	<b>15,720</b>	<b>-0,750</b>
<b>Σ</b>	<b>1691,961</b>	<b>3,062</b>	<b>0,544</b>	<b>0,002</b>	<b>5180,944</b>	<b>920,019</b>	<b>3,673</b>

*Tabla 106. Relación de pesos y c.d.g. en la condición de carga mínima*

<b>CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA</b>							
<b>Partida de pesos</b>	<b>P (Kg)</b>	<b>LCG (m)</b>	<b>VCG (m)</b>	<b>TCG (m)</b>	<b>M. LCG</b>	<b>M . VCG</b>	<b>M. TCG</b>
Peso en Rosca	1467,461	3,077	0,494	0,002	4515,720	724,840	3,543
Peso Muerto	640,500	3,424	0,677	-0,024	2193,131	433,550	-15,630
<b>Σ</b>	<b>2107,961</b>	<b>3,183</b>	<b>0,550</b>	<b>-0,006</b>	<b>6708,851</b>	<b>1158,390</b>	<b>-12,086</b>

*Tabla 107. Relación de pesos y c.d.g. en la condición de máxima carga*

## ***Capítulo 9 - Estudio de estabilidad***

Velero crucero de 23.5 pies con Categoría “C” de Diseño de embarcaciones CE



Autor: Mario Villarroya Morales  
Tutor: José Esteban Otón Tortosa

## 1. Introducción

Finalizado el capítulo anterior y a partir de los valores obtenidos, en el capítulo presente se llevará a cabo el estudio de estabilidad y comportamiento de la embarcación de este proyecto.

Uno de los objetivos, entre otros, será comprobar si el velero está diseñado para cumplir con las condiciones de seguridad de la categoría de diseño C, la cual ha sido fijada al inicio de este proyecto. Para ello, los criterios que se tendrán en cuenta serán los establecidos en la *Norma UNE-EN ISO 12217-2. Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y flotabilidad. Parte 2. Embarcaciones propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6 metros.*

A partir del diseño del casco en Rhinoceros, se importará éste a Maxsurf Stability para el proceso de cálculo bajo una serie en condiciones de equilibrio, estabilidad a grandes ángulos, etc. Una de las ventajas que ofrece Maxsurf Stability es tener la opción de realizar el estudio de estabilidad con los parámetros fijados en la Norma UNE-EN ISO 12217-2, comprobando así si cumplen o no.

## 2. Condiciones de carga

Las condiciones de carga que se estudiarán para el tipo de embarcación de este velero serán:

- **Condición de desplazamiento en rosca:** Se tendrán en cuenta los pesos de la embarcación lista para zarpar, sin tener en cuenta la tripulación ni consumos.

$$m_{LC} = 1467,461 \text{ Kg}$$

- **Condición mínima operativa:** Además de los pesos definidos en la condición anterior, se considerarán los siguientes:

- a) Peso de la tripulación, la cual deberá de estar situada en crujía. El peso de cada uno de los tripulantes no deberá ser inferior a:

$$75 \text{ Kg} \rightarrow L_H \leq 8 \text{ m}$$

- b) Peso del equipo de seguridad: No será inferior a:

$$(L_H - 2,5)^2 = 22,2 \text{ Kg}$$

De modo que el peso de la embarcación en la condición mínima operativa será:

$$m_{MOC} = 1691,961 \text{ Kg}$$

- **Condición de desplazamiento en carga:** Máxima carga para la que ha estado diseñada la embarcación. Además del peso en rosca, se tendrá en cuenta el peso del máximo número de personas, así como todos los líquidos.

$$m_{MOC} = 2107,961 \text{ Kg}$$

### 3. Análisis de estabilidad

De acuerdo con la Norma que se está siguiendo, las embarcaciones que son propulsadas a vela de tipo monocasco deberán cumplir todos los requisitos de una de las siete opciones que se muestran en la siguiente tabla.

**Requisitos que se deben aplicar a las embarcaciones a vela monocasco**

Opción	1	2	3	4	5	6	7
Categorías posibles	A y B	C y D	C y D	C y D	C y D	C y D	C y D
Cubiertas o protecciones	Cubierta completa <sup>a</sup>	Cualquier tipo					
Aberturas de inundación	6.2.1	6.2.1	6.2.1	6.2.1	6.2.1	6.2.1	
Ensayo de la altura de inundación	6.2.2	6.2.2	6.2.2		6.2.2		
Ángulo de inundación	6.2.3	6.2.3					
Ángulo de estabilidad nula	6.3	6.3					
Índice de estabilidad	6.4	6.4					
Ensayo de hundimiento-recuperación			6.5	6.5			
Ensayo de resistencia al viento					6.6	6.6	
Requisitos de flotación				6.7		6.7	
Ensayo de recuperación después del vuelco							6.8

<sup>a</sup> Este término se define en el apartado 3.1.8.

**Figura 78. Requisitos que se deben aplicar a las embarcaciones a vela monocasco – ISO 12217-2:2013**

Como el proyecto se trata de un velero de categoría de diseño C, se desarrollará el proceso de cálculo a partir de la opción 2, para una categoría de diseño C.

Según indica la norma, para las embarcaciones que escojan las opciones 1 ó 2 deberán cumplir los requisitos en las condiciones mínimas operativas, a no ser que la relación entre el desplazamiento a máxima carga y el peso de la embarcación en la condición mínima operativa sea mayor a 1.15. En el caso de este proyecto, la relación es 1.19, por lo que los requisitos de la opción deberán cumplirse para la condición de desplazamiento en carga y mínima operativa.

### 3.1. Aberturas y altura de inundación

Los puntos de inundación progresiva son aquellos en los que las aberturas existentes, tanto en el caso, superestructura o cubierta, no pueden hacerse estancos y cuando se sumergen provocan la entrada de agua en el interior.

Estos puntos son el acceso desde la bañera al interior del casco, tomando como referencia los puntos más bajos y altos de esta abertura. Se tomarán estos como referencia para el cálculo del ángulo en que se empieza a producir la inundación progresiva.

En la figura que se muestra a continuación se verán reflejados dichos puntos en el velero del proyecto.

Según de la *Norma UNE-EN ISO 12217, p. 40*, los requisitos de la altura de inundación irán en función de la categoría de diseño:

Design category	A	B	C	D
$h_{D(R)}$ (m) shall be not less than	0,5	0,4	0,3	0,2
$h_{D(R)}$ (m) shall be not more than	1,41	1,41	0,75	0,4

Figura 79. Límite de altura de inundación – ISO 12217-2:2013

Para la categoría de diseño C la altura mínima del punto de inundación será de 0.3 m y una altura máxima de 0.75 m.

El cálculo se puede realizar a partir del siguiente gráfico, a partir de ensayos de inundación en distintas embarcaciones de categoría de diseño C y D.

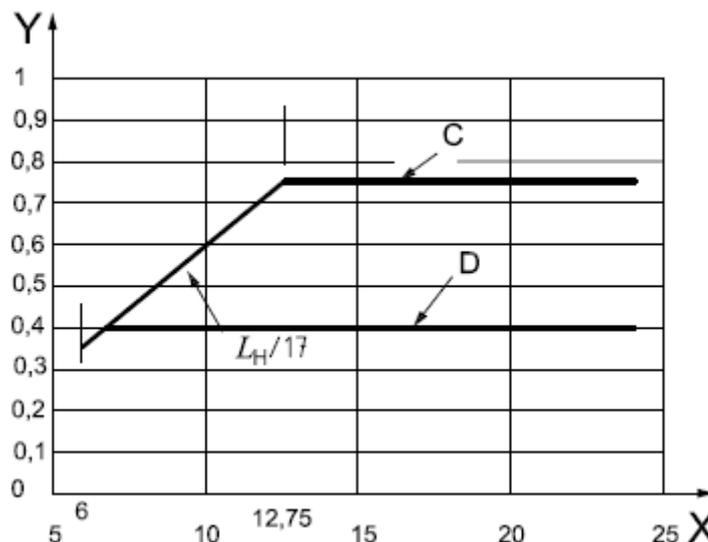


Figura 80. Altura de inundación en función de la eslora – ISO 12217-2:2013

Donde el eje “X” serán los valores de la longitud del casco y el “Y” la altura de inundación.

$$h_{D(R)} = \frac{L_H}{17} = 0,424 \text{ m}$$

Comprobamos que cumple con los valores máximos y mínimos establecidos para esta condición.

Con el valor obtenido, se verifica que todas las aberturas que dispone el casco, tanto la escotilla de proa como las de popa y el acceso al interior desde la bañera, cumplen como la altura de inundación mínima.

### 3.2. Ángulo de inundación

Este tercer requisito tiene como finalidad comprobar que hay un margen de seguridad de ángulo de escora para que no entren grandes agua significativas en la embarcación.

De modo que el ángulo de inundación para una abertura inundable,  $\varphi_{DA}$ , en este caso el acceso al interior, deberá ser mayor que el ángulo de inundación requerido,  $\varphi_{D(R)}$ .

Design category	A and B	C	D
Required downflooding angle, $\varphi_{D(R)}$	40°	35°	30°

Figura 81. Mínimo ángulo de inundación requerido – ISO 12217-2:2013

En este caso, el ángulo de inundación requerido será de 35° para la categoría de diseño C.

Para conocer  $\varphi_{DA}$ , se tomarán las coordenadas de los puntos más elevados, a babor y estribor, de la abertura de acceso a la cabina y se introducirán en el Maxsurf Stability para el cálculo.

	Name	Long. Pos. m	Offset m	Height m	Type
1	Apertura Cabina Br	1,701	0,300	1,645	Downflooding point
2	Apertura Cabina St	1,701	-0,300	1,645	Downflooding point

Como se ha mencionado anteriormente, se calculará cada uno de los criterios para las dos condiciones detalladas, por lo que el ángulo de inundación para cada una de estas serán los siguientes.

Key Point	Type	Immersion angle deg
Apertura Cabina Br	Downflooding point	130,2
Apertura Cabina St	Downflooding point	153,2

**Tabla 108. Ángulo de inundación en condición de Máxima Carga**

Key Point	Type	Immersion angle deg
Apertura Cabina Br	Downflooding point	133,3
Apertura Cabina St	Downflooding point	155,3

**Tabla 109. Ángulo de inundación en condición de Mínima Carga**

A la vista de los resultados obtenidos, los valores más críticos son los más bajos en cada caso, ya que es cuando empieza a producirse la entrada de agua en el interior. En definitiva, se cumple con el valor mínimo requerido de 35° en cada condición.

### 3.3. Ángulo de estabilidad nula

El ángulo de estabilidad nula tiene como objetivo asegurar la capacidad mínima de supervivencia en condiciones adversas.

Design category	Required minimum angle of vanishing stability, $\phi_{V(R)}$
A	$\phi_{V(R)} = (130 - 0,002m)$ but always $\geq 100^\circ$
B	$\phi_{V(R)} = (130 - 0,005m)$ but always $\geq 95^\circ$
C	$\phi_{V(R)} = 90^\circ$
D	$\phi_{V(R)} = 75^\circ$

**Figura 82. Ángulo de estabilidad nula – ISO 12217-2:2013**

Según la tabla anterior y para una categoría de diseño C, el ángulo de estabilidad nula mínimo requerido será de 90°.

### 3.4. Índice de estabilidad, STIX

El índice de estabilidad STIX permite evaluar la estabilidad de las embarcaciones propulsadas a vela monocasco a partir de un conjunto de propiedades.

El cálculo de este índice se basa en un factor de eslora que multiplica a siete factores diferentes, los cuales están relacionados con las estabilidad y flotación del velero.

$$STIX = (7 + 2,25 \cdot L_{BS}) \cdot (FDS \cdot FIR \cdot FKR \cdot FDL \cdot FBD \cdot FWM \cdot FDF)^{0,5} + \sigma$$

La obtención del valor de cada uno de los factores anteriores se puede llevar a cabo mediante el valor mínimo requerido para cada uno, utilizando métodos aproximados o a partir de las ecuaciones definidas.

En el caso de este proyecto, los valores se obtendrán a partir del estudio de estabilidad realizado en Maxsurf Stability, el cual proporciona el valor final del índice de estabilidad con todos los factores.

Sin embargo, es importante saber cuál es el significado y que función de los elementos que componen la ecuación del índice de estudio y analizarlo en profundidad.

- **Factor de eslora base,  $L_{BS}$ :** Es función de la eslora de flotación y la de la embarcación.

$$L_{BS} = (L_H + 2 \cdot L_{FL}) / 3 = (7,21 + 2 \cdot 6,084) / 3$$

- **Factor de estabilidad dinámica,  $FDS$ :** El factor define la energía intrínseca de adrizamiento que se deberá superar antes de poner en riesgo la estabilidad de la embarcación. Los valores que se obtendrán deberán de estar entre 0.5 y 1.5.

$$FDS = \left( \frac{A_{GZ}}{15,81 \sqrt{L_H}} \right)$$

- **Factor de recuperación de la inversión,  $FIR$ :** Es la capacidad que tiene la embarcación de recuperar la inversión producida sin ayuda exterior. El valor resultante no deberá ser inferior a 0.4 o mayor de 1.5.

$$FIR = \phi_V / (125 - m / 1600)$$

Siendo  $m$  el peso de la embarcación, teniendo en cuenta que el estudio se está llevando a cabo para dos condiciones de carga distintas.

- **Factor de recuperación del hundimiento,  $FKR$ :** Este factor hace referencia a la capacidad que tiene el velero de evacuar el agua de las velas después de una tumbada en la que el mástil entre en el agua. El valor de este factor no será menor a 0.5 ni superior a 1.5.

$$FKR = 0,875 + 0,083 \cdot 3 \cdot F_R$$

- **Factor desplazamiento-eslora,  $FDL$ :** El factor mide el efecto positivo que tiene una embarcación de mayor peso para una eslora determinada la

cual tendrá mayor resistencia al vuelco. El resultado obtenido para este valor no deberá ser menor a 0.75 ni superior a 1.5.

- **Factor manga-desplazamiento, FBD:** Este factor tiene en cuenta que una elevada manga en relación con un desplazamiento ligero aumenta el riesgo de vuelco e inversión por el efecto producido por las olas. El valor obtenido no deberá ser menor a 0.75 ni superior a 1.5.

$$\text{if } F_B > 2,20 \quad FBD = [13,31 B_{WL} / (B_H F_B^3)]^{0,5}$$

$$\text{if } F_B < 1,45 \quad FBD = [B_{WL} F_B^2 / (1,682 B_H)]^{0,5}$$

$$\text{otherwise} \quad FBD = 1,118 (B_{WL} / B_H)^{0,5}$$

$$F_B = 3,3 B_H / (0,03 m)^{1/3}$$

Donde:

- **Factor de escora por viento, FWM:** Este criterio suele ser clave para saber si una embarcación tendrá la categoría de diseño C. Para las categorías de diseño C y D puede suceder que el ángulo de inundación sea inferior a 90°, por lo que exige que la velero sea capaz de soportar la escora producida debido a fuertes vientos sin que se supere el ángulo de inundación. El valor de dicho factor deberá ser menor a 0.5 ni superior a 1.
- **Factor de inundación, FDF:** Este factor penaliza a las embarcaciones en las que su ángulo de inundación sea inferior a 90°. FDF no tendrá un valor inferior a 0.5 ni mayor a 1.25.

A partir de los valores calculados para cada uno de los factores, se comprobará si el índice de estabilidad cumple para la condición mínima operativa y máxima carga.

- **Condición de máxima carga:**

<b>6.4 STIX</b>				Pass	
delta	0	See ISO 12217-2			
AS, sail area ISO 8666	30,42	m <sup>2</sup>			
height of centroid of AS	4,653	m			
LH, Stability calculated	7,208	m			
BH, Stability calculated	2,719	m			
LWL, Stability calculated	6,359	m			
BWL, Stability calculated	2,068	m			
height of immersed profile area	0,191	m			
STIX value shall be greater than (>)	<b>14</b>	See ISO 12217-2	<b>23,3</b>	<b>Pass</b>	66,46
Intermediate values					
m, mass of boat in current loading		kg	2108		
height of waterline in current loading		m	0,338		
phiD, actual downflooding angle		deg	130,2		
PhiV, actual angle of vanishing		deg	124,3		
AGZ, area under righting lever		m.deg	38,3091		
GZ90, righting lever at 90 deg		m	0,314		
GZD, righting lever at downflooding		m	-0,059		
FR		See ISO 12217-2	2,522		
LBS, weighted average length		See ISO 12217-2	6,642		
FL, length factor		See ISO 12217-2	0,904		
FB, beam factor		See ISO 12217-2	2,252		
VAW, steady apparent wind speed		m/s	n/a		
FDS, dynamic stability factor	-0,903	See ISO 12217-2	0,903		
FIR, inversion recovery factor	-1,005	See ISO 12217-2	1,005		
FKR, knockdown recovery factor	-1,085	See ISO 12217-2	1,085		
FDL, displacement-length factor	-0,974	See ISO 12217-2	0,974		
FBD, beam-displacement factor	-0,942	See ISO 12217-2	0,942		
FWM, wind moment factor	-1	See ISO 12217-2	1		
FDF, downflooding factor	-1,446	See ISO 12217-2	1,25		

**Tabla 110. STIX en la condición de Máxima Carga**

- **Condición de mínima carga operativa:**

6.4 STIX				Pass	
delta	0	See ISO 2217-2			
AS, sail area ISO 8666	30,42	m <sup>2</sup>			
height of centroid of AS	4,653	m			
LH, Stability calculated	7,208	m			
BH, Stability calculated	2,719	m			
LWL, Stability calculated	6,359	m			
BWL, Stability calculated	2,068	m			
height of immersed profile area	0,191	m			
STIX value shall be greater than (>)	14	See ISO 12217-2	23,3	Pass	66,46
Intermediate values					
m, mass of boat in current loading		kg	2108		
height of waterline in current loading		m	0,338		
phiD, actual downflooding angle		deg	130,2		
PhiV, actual angle of vanishing		deg	124,3		
AGZ, area under righting lever		m.deg	38,309		
GZ90, righting lever at 90 deg		m	0,314		
GZD, righting lever at downflooding		m	-0,059		
FR		See ISO 12217-2	2,522		
LBS, weighted average length		See ISO 12217-2	6,642		
FL, length factor		See ISO 12217-2	0,904		
FB, beam factor		See ISO 12217-2	2,252		
VAW, steady apparent wind speed		m/s	n/a		
FDS, dynamic stability factor	-0,903	See ISO 12217-2	0,903		
FIR, inversion recovery factor	-1,005	See ISO 12217-2	1,005		
FKR, knockdown recovery factor	-1,085	See ISO 12217-2	1,085		
FDL, displacement-length factor	-0,974	See ISO 12217-2	0,974		
FBD, beam-displacement factor	-0,942	See ISO 12217-2	0,942		
FWM, wind moment factor	-1	See ISO 12217-2	1		
FDF, downflooding factor	-1,446	See ISO 12217-2	1,25		

**Tabla 111. STIX en la condición de Mínima Carga**

A continuación, se analizará la estabilidad a grandes ángulos y en la situación de equilibrio para cada una de las dos condiciones de carga de estudio.

En primer lugar, y a partir de la línea base y de flotación fijadas en capítulos anteriores, se comprobará en la situación de equilibrio que los valores de trimado y escora para la embarcación en las dos condiciones son mínimos. Conseguir una escora de  $0^\circ$  y trimado de 0 m es bastante complejo, debido a la cantidad de pesos y c.d.g. que se están considerando en el cálculo, pudiendo obtener valores exactos para una condición, pero para la segunda no se obtendría el 0 deseado en trimado y escora.

Con las condiciones de equilibrio calculadas y expuestas, se llevará a cabo el estudio de estabilidad a grandes ángulos. La escora de estudio será de 0 a  $180^\circ$  en intervalos de  $5^\circ$ , obteniendo las gráficas y tablas de dicho estudio. Al igual que en la situación de equilibrio, también se estudiará para las dos condiciones en grandes ángulos.

## - EQUILIBRIUM CALCULATION

### Loadcase – CONDICIÓN MÁXIMA CARGA

#### Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1025 kg/m<sup>3</sup>)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass kg	Total Mass kg	Unit Volume m <sup>3</sup>	Total Volume m <sup>3</sup>	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Peso en Rosca	1	1467,5	1467,5			3,077	0,002	0,494
Tripulación	1	300,0	300,0			2,844	-0,020	0,864
Carga	1	270,5	270,5			4,072	-0,038	0,568
Provisiones y Eq. de Seguridad	1	70,0	70,0			3,408	0,011	0,299
Total Loadcase			2108,0	0,000	0,000	3,183	-0,006	0,550
FS correction								0,000
VCG fluid								0,550

Draft Amidships m	0,338
Displacement kg	2108
Heel deg	-0,3
Draft at FP m	0,353
Draft at AP m	0,323
Draft at LCF m	0,336
Trim (+ve by stern) m	-0,030
WL Length m	6,359
Beam max extents on WL m	2,067
Wetted Area m <sup>2</sup>	10,945
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	10,010
Prismatic coeff. (Cp)	0,652
Block coeff. (Cb)	0,460
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,745
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,761
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	3,184
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	2,949
KB m	0,212
KG fluid m	0,550
BMt m	1,303
BML m	11,862
GMt corrected m	0,965
GML m	11,524
KMt m	1,515
KML m	12,073
Immersion (TPc) tonne/cm	0,103
MTc tonne.m	0,038
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) kg.m	35,512
Max deck inclination deg	0,4401
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,2689

Key point	Type	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = 1,602 m)		0,784
Deck Edge (freeboard pos = 1,602 m)		0,86
Apertura Cabina Br	Downflooding point	1,316
Apertura Cabina St	Downflooding point	1,313

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
ISO 12217-2:2002(E)	6.2.2 Downflooding height at equilibrium	0,750	m	1,313	Pass	+75,07

## - EQUILIBRIUM CALCULATION

### Loadcase - CONDICIÓN MÍNIMA OPERATIVA Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1025 kg/m<sup>3</sup>)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass kg	Total Mass kg	Unit Volume m <sup>3</sup>	Total Volume m <sup>3</sup>	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Peso en Rosca	1	1467,5	1467,5			3,077	0,002	0,494
Tripulantes	1	75,0	75,0			1,490	0,000	1,371
Carga	1	99,5	99,5			3,730	0,009	0,770
Pertrechos y Eq. de Seguridad	1	50,0	50,0			3,647	-0,015	0,314
Total Loadcase			1692,0	0,000	0,000	3,062	0,002	0,544
FS correction								0,000
VCG fluid								0,544

Draft Amidships m	0,292
Displacement kg	1692
Heel deg	0,1
Draft at FP m	0,264
Draft at AP m	0,320
Draft at LCF m	0,295
Trim (+ve by stern) m	0,057
WL Length m	6,257
Beam max extents on WL m	2,001
Wetted Area m <sup>2</sup>	10,127
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	9,461
Prismatic coeff. (Cp)	0,639
Block coeff. (Cb)	0,456
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,737
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,756
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	3,059
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	2,899
KB m	0,187
KG fluid m	0,544
BMt m	1,439
BML m	13,331
GMt corrected m	1,082
GML m	12,974
KMt m	1,626
KML m	13,517
Immersion (TPc) tonne/cm	0,097
MTc tonne.m	0,034
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) kg.m	31,949
Max deck inclination deg	0,5107
Trim angle (+ve by stern) deg	0,5008

Key point	Type	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = 0 m)		0,797
Deck Edge (freeboard pos = 0 m)		0,873
Apertura Cabina Br	Downflooding point	1,339
Apertura Cabina St	Downflooding point	1,340

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
ISO 12217-2:2002(E)	6.2.2 Downflooding height at equilibrium	0,750	m	1,339	Pass	+78,53

- **STABILITY CALCULATION**

**Loadcase - MÁXIMA CARGA**

**Damage Case - Intact**

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1025 kg/m<sup>3</sup>)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass kg	Total Mass kg	Unit Volume m <sup>3</sup>	Total Volume m <sup>3</sup>	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Peso en Rosca	1	1467,5	1467,5			3,077	0,002	0,494
Tripulación	1	300,0	300,0			2,844	-0,020	0,864
Carga	1	270,5	270,5			4,072	-0,038	0,568
Provisiones y Eq. de Seguridad	1	70,0	70,0			3,408	0,011	0,299
Total Loadcase			2108,0	0,000	0,000	3,183	-0,006	0,550
FS correction								0,000
VCG fluid								0,550

Heel to Starboard deg	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0
GZ m	0,006	0,089	0,166	0,234	0,292	0,341	0,382	0,416	0,446	0,472	0,489	0,493	0,486	0,469	0,443	0,410	0,378	0,347	0,314
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0,000	0,238	0,880	1,885	3,206	4,792	6,601	8,597	10,752	13,050	15,458	17,919	20,372	22,763	25,044	27,178	29,146	30,957	32,612
Displacement kg	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108
Draft at FP m	0,353	0,353	0,354	0,355	0,353	0,348	0,337	0,321	0,297	0,261	0,212	0,147	0,057	-0,072	-0,269	-0,599	-1,275	-3,318	n/a
Draft at AP m	0,323	0,316	0,296	0,261	0,213	0,149	0,068	-0,032	-0,157	-0,312	-0,502	-0,741	-1,051	-1,473	-2,093	-3,110	-5,138	-11,235	n/a
WL Length m	6,359	6,392	6,464	6,493	6,492	6,489	6,482	6,470	6,447	6,400	6,308	6,266	6,228	6,183	6,171	6,325	6,482	6,601	6,707
Beam max extents on WL m	2,068	2,050	2,010	1,960	1,908	1,861	1,825	1,802	1,794	1,730	1,614	1,520	1,442	1,379	1,327	1,408	1,620	1,588	1,559
Wetted Area m <sup>2</sup>	10,945	10,899	10,776	10,606	10,419	10,251	10,119	10,029	9,985	9,976	9,969	9,940	9,901	9,872	9,867	9,969	10,282	10,470	10,519
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	10,010	9,942	9,771	9,542	9,298	9,087	8,929	8,835	8,809	8,722	8,437	8,089	7,724	7,408	7,153	7,071	7,292	7,346	7,248
Prismatic coeff. (Cp)	0,652	0,649	0,643	0,641	0,640	0,638	0,633	0,627	0,620	0,615	0,620	0,624	0,630	0,637	0,643	0,629	0,604	0,582	0,564
Block coeff. (Cb)	0,459	0,453	0,439	0,427	0,418	0,411	0,405	0,401	0,398	0,414	0,450	0,483	0,514	0,533	0,536	0,469	0,377	0,356	0,336
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	3,184	3,184	3,186	3,188	3,191	3,194	3,198	3,204	3,210	3,218	3,226	3,234	3,242	3,249	3,257	3,263	3,270	3,275	3,281
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	2,949	2,954	2,971	2,998	3,032	3,066	3,098	3,129	3,161	3,198	3,236	3,258	3,270	3,281	3,300	3,308	3,303	3,299	3,320
Max deck inclination deg	0,268	5,010	10,013	15,020	20,032	25,047	30,064	35,081	40,098	45,111	50,120	55,123	60,120	65,110	70,096	75,076	80,053	85,028	90,000
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,268	-0,332	-0,519	-0,824	-1,237	-1,755	-2,377	-3,123	-4,007	-5,054	-6,298	-7,811	-9,703	-12,198	-15,729	-21,187	-30,816	-50,714	n/a

Heel to Starboard deg	95,0	100,0	105,0	110,0	115,0	120,0	125,0	130,0	135,0	140,0	145,0	150,0	155,0	160,0	165,0	170,0	175,0	180,0
GZ m	0,277	0,236	0,191	0,144	0,094	0,043	-0,007	-0,058	-0,105	-0,148	-0,184	-0,210	-0,219	-0,204	-0,160	-0,108	-0,054	-0,006
Area under GZ curve from zero heel m.deg	34,0912	35,3734	36,4408	37,2778	37,8727	38,2167	38,3064	38,1433	37,7348	37,0983	36,2630	35,2724	34,1925	33,1220	32,2033	31,5322	31,1288	30,9807
Displacement kg	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108	2108
Draft at FP m	-4,870	-2,835	-2,162	-1,830	-1,635	-1,510	-1,424	-1,364	-1,319	-1,287	-1,263	-1,245	-1,231	-1,221	-1,212	-1,207	-1,204	-1,201
Draft at AP m	-13,073	-6,958	-4,902	-3,861	-3,225	-2,793	-2,478	-2,235	-2,042	-1,883	-1,752	-1,643	-1,553	-1,483	-1,431	-1,383	-1,340	-1,319
WL Length m	6,801	6,886	6,958	7,025	7,082	7,135	7,178	7,218	7,220	7,202	7,188	7,179	7,172	7,166	7,162	7,160	5,825	2,403
Beam max extents on WL m	1,537	1,520	1,508	1,501	1,497	1,498	1,508	1,533	1,574	1,636	1,723	1,844	2,015	2,259	2,353	2,320	2,301	2,086
Wetted Area m <sup>2</sup>	10,524	10,552	10,591	10,631	10,671	10,713	10,767	10,821	10,891	10,985	11,108	11,274	11,506	11,828	12,075	12,134	11,940	11,645
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	7,123	6,999	6,874	6,776	6,706	6,664	6,666	6,712	6,816	6,994	7,253	7,606	8,089	8,733	9,243	9,495	9,498	9,356
Prismatic coeff. (Cp)	0,550	0,539	0,529	0,519	0,511	0,503	0,496	0,488	0,482	0,475	0,467	0,457	0,443	0,425	0,410	0,400	0,483	1,178
Block coeff. (Cb)	0,320	0,309	0,301	0,296	0,294	0,295	0,298	0,302	0,297	0,279	0,262	0,246	0,229	0,213	0,217	0,238	0,324	0,949
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	3,285	3,287	3,288	3,288	3,285	3,281	3,276	3,269	3,261	3,252	3,242	3,233	3,224	3,217	3,212	3,206	3,201	3,199
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	3,347	3,375	3,404	3,430	3,451	3,466	3,480	3,495	3,510	3,519	3,521	3,517	3,510	3,496	3,506	3,584	3,757	3,963
Max deck inclination deg	94,9697	99,9388	104,9089	109,8811	114,8574	119,8390	124,8268	129,8214	134,8230	139,8309	144,8443	149,8601	154,8756	159,8865	164,8867	169,8840	174,8590	178,9553
Trim angle (+ve by stern) deg	-51,706	-32,481	-22,925	-17,410	-13,792	-11,206	-9,236	-7,663	-6,362	-5,263	-4,317	-3,516	-2,847	-2,318	-1,934	-1,559	-1,201	-1,044

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 2,767 m)		38,8	n/a
Deck Edge (immersion pos = 2,84 m)		42,1	n/a
Apertura Cabina Br	Downflooding point	130,2	0
Apertura Cabina St	Downflooding point	153,2	0

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
ISO 12217-2:2002(E)	6.2.3 Downflooding angle	35,0	deg	129,7	Pass	+224,25
ISO 12217-2:2002(E)	6.3 Angle of vanishing stability	95,0	deg	122,2	Pass	+28,65
ISO 12217-2:2002(E)	6.4 STIX	14,0	See ISO 12217-2	22,5	Pass	+61,04

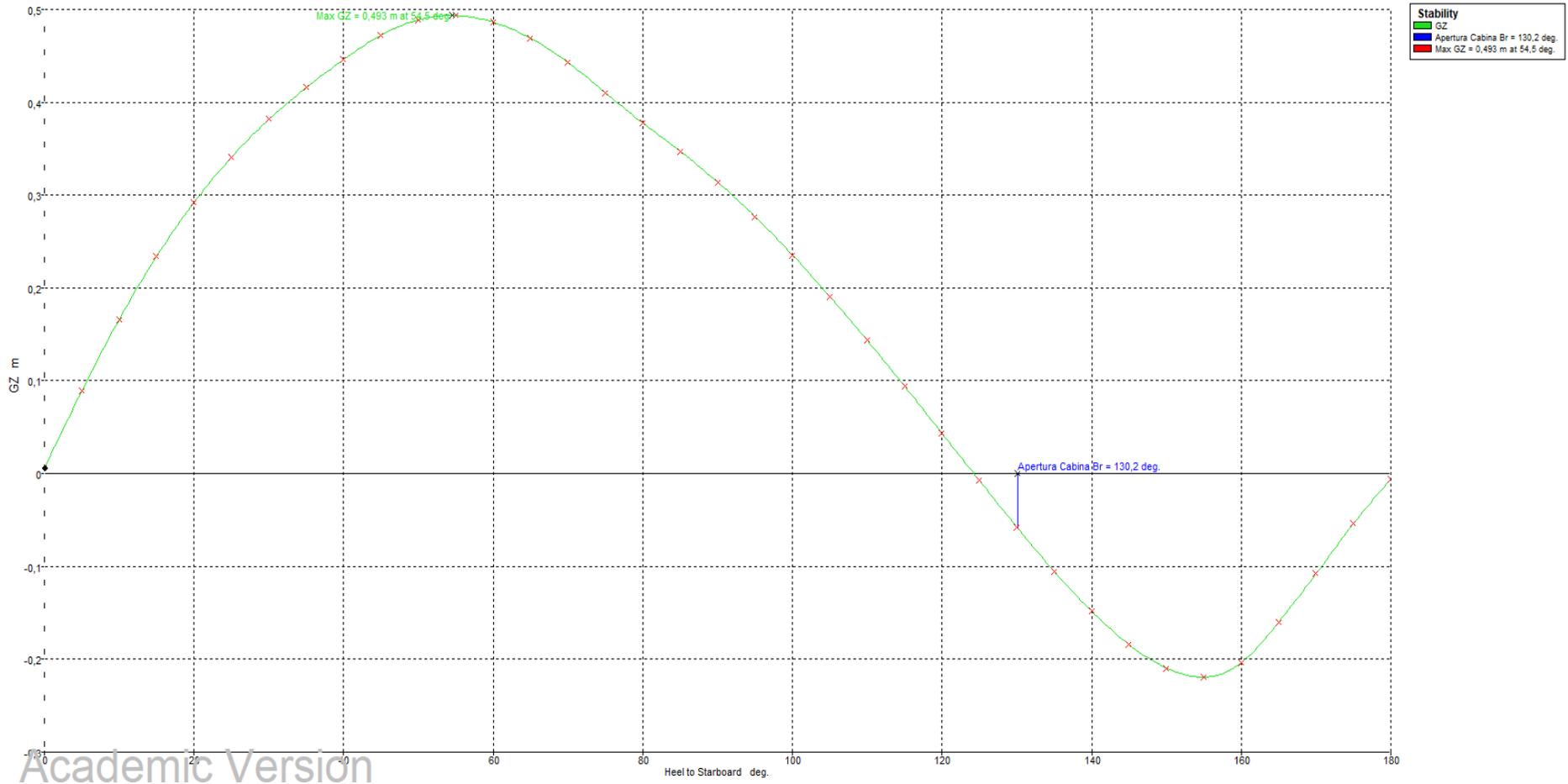
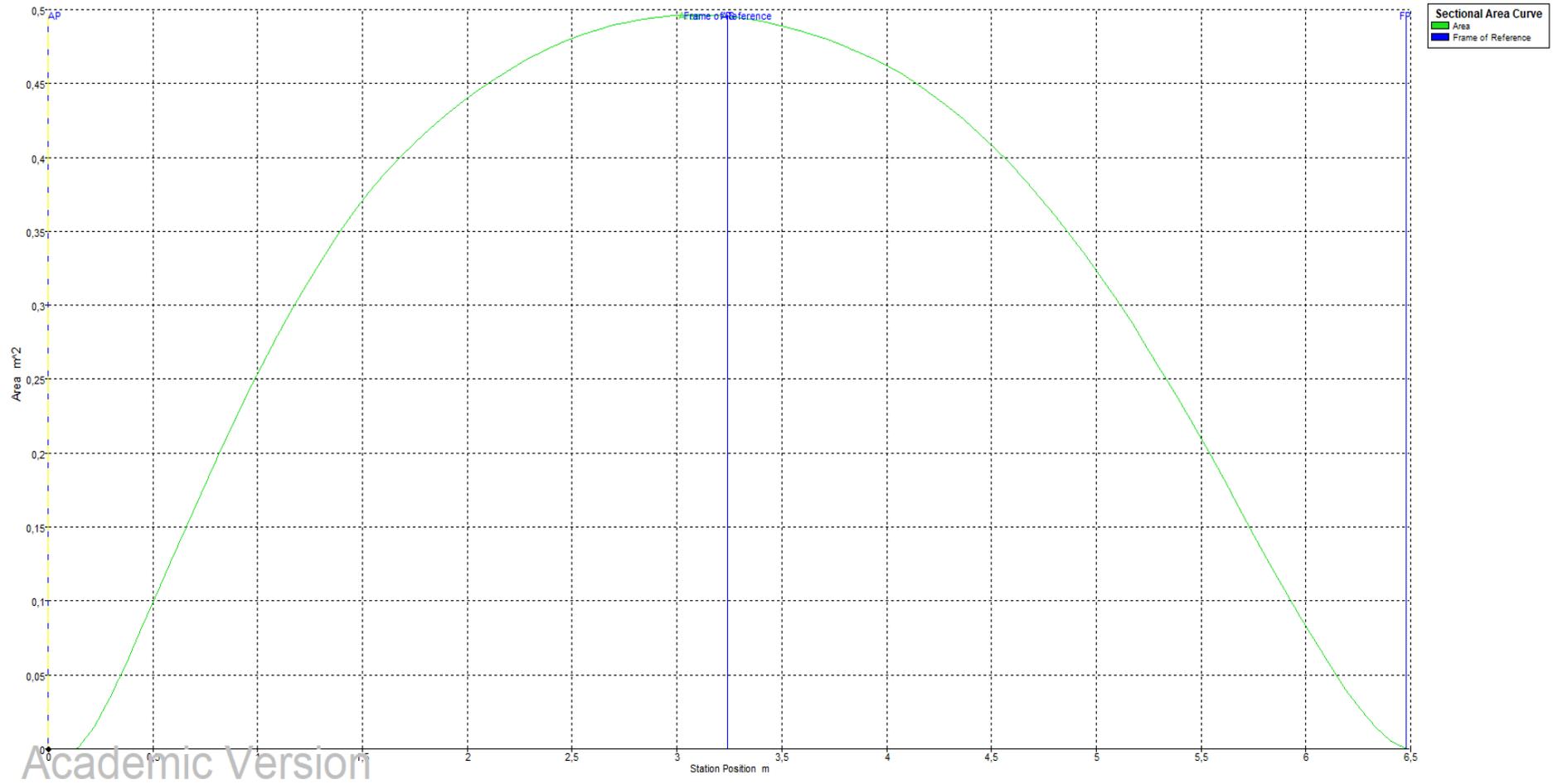


Figura 83. Curva de brazos adrizantes



**Figura 84. Curva de áreas seccionales**

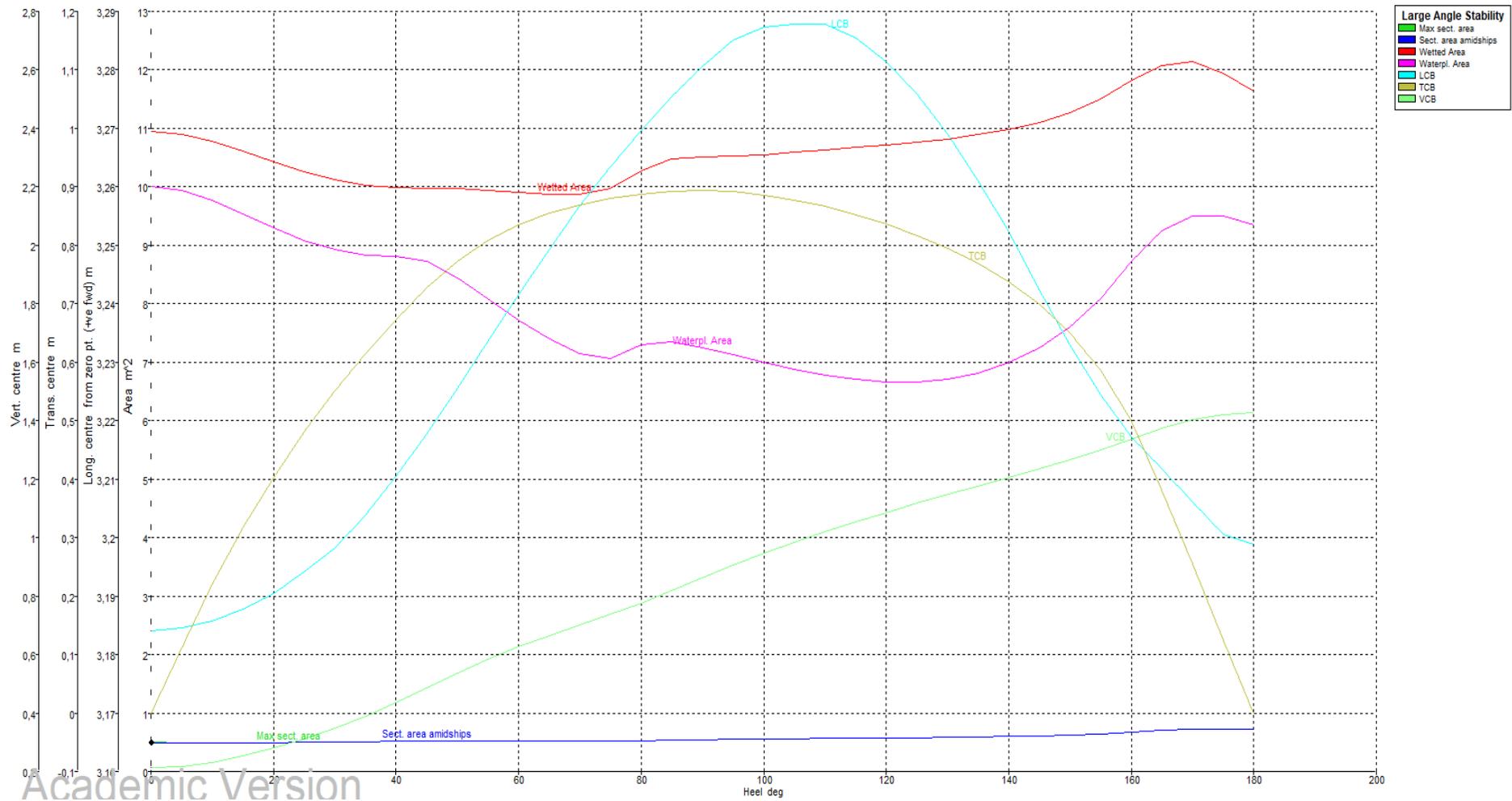


Figura 85. Curva de áreas y posición del centro de carena

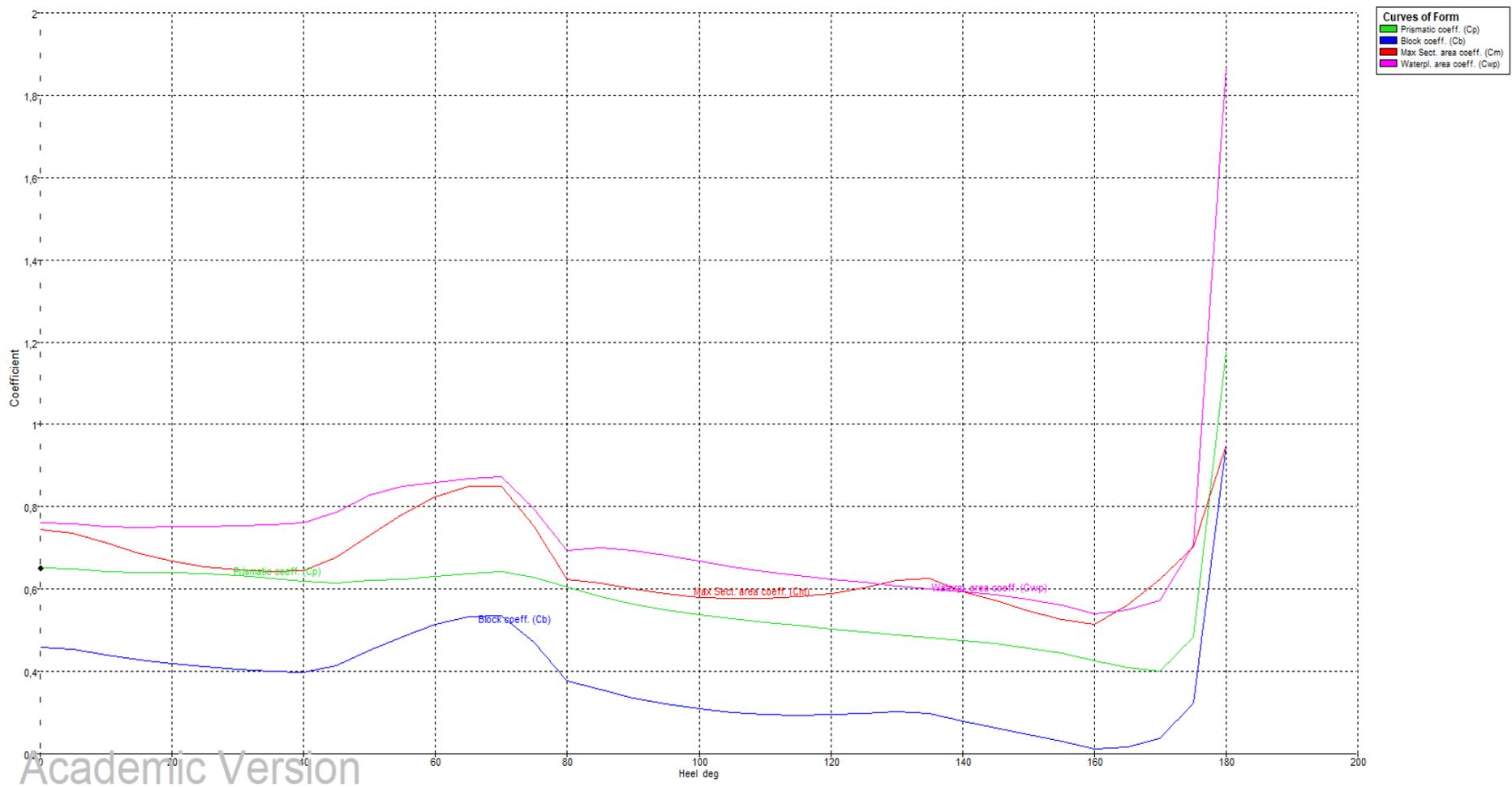
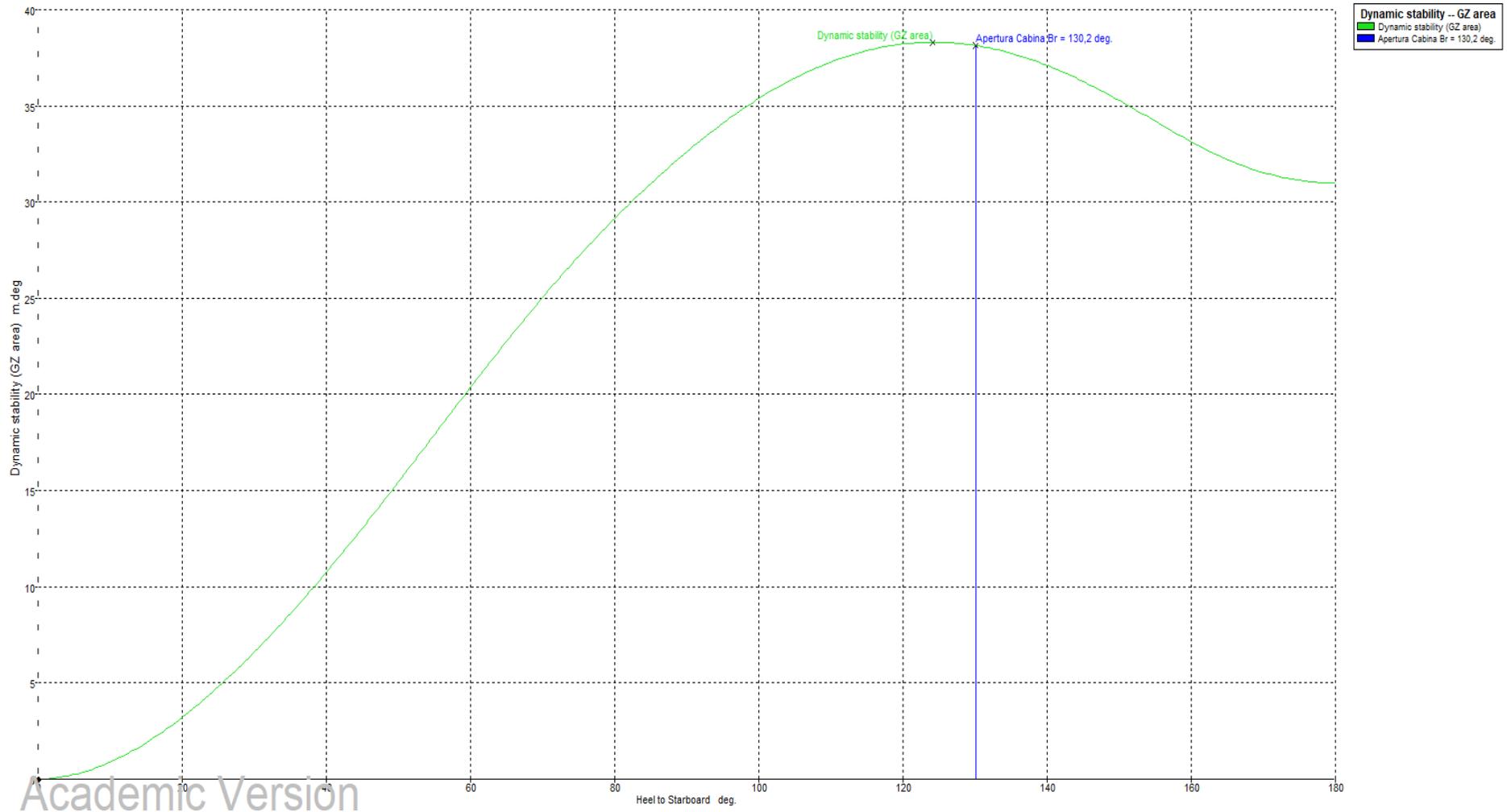


Figura 86. Coeficientes de formas



**Figura 87. Curva de estabilidad dinámica (integral de área de la curva GZ)**

- **STABILITY CALCULATION**

**Loadcase - MÍNIMA OPERATIVA**  
**Damage Case - Intact**

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1025 kg/m<sup>3</sup>)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass kg	Total Mass kg	Unit Volume m <sup>3</sup>	Total Volume m <sup>3</sup>	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Peso en Rosca	1	1467,5	1467,5			3,077	0,002	0,494
Tripulantes	1	75,0	75,0			1,490	0,000	1,371
Carga	1	99,5	99,5			3,730	0,009	0,770
Pertrechos y Eq. de Seguridad	1	50,0	50,0			3,647	-0,015	0,314
Total Loadcase			1692,0	0,000	0,000	3,062	0,002	0,544
FS correction								0,000
VCG fluid								0,544

Heel to Starboard deg	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0
GZ m	-0,002	0,091	0,176	0,249	0,309	0,358	0,398	0,430	0,458	0,484	0,504	0,512	0,507	0,492	0,467	0,435	0,395	0,359	0,325
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0,0000	0,2251	0,8979	1,9665	3,3674	5,0397	6,9319	9,0037	11,2262	13,5821	16,0543	18,5981	21,1505	23,6537	26,0563	28,3149	30,3904	32,2737	33,9833
Displacement kg	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692
Draft at FP m	0,264	0,264	0,263	0,261	0,257	0,248	0,233	0,212	0,181	0,138	0,076	-0,011	-0,131	-0,303	-0,562	-0,996	-1,869	-4,516	n/a
Draft at AP m	0,320	0,313	0,292	0,256	0,206	0,140	0,058	-0,044	-0,171	-0,328	-0,523	-0,767	-1,082	-1,513	-2,145	-3,182	-5,230	-11,374	n/a
WL Length m	6,257	6,290	6,359	6,399	6,392	6,378	6,356	6,309	6,221	6,133	6,079	6,009	5,926	5,867	5,833	5,962	6,152	6,322	6,432
Beam max extents on WL m	2,001	1,980	1,929	1,867	1,806	1,755	1,718	1,696	1,690	1,699	1,596	1,500	1,420	1,354	1,299	1,252	1,346	1,557	1,525
Wetted Area m^2	10,127	10,074	9,914	9,705	9,483	9,286	9,132	9,026	8,964	8,940	8,895	8,854	8,815	8,793	8,771	8,760	8,876	9,269	9,434
Waterpl. Area m^2	9,461	9,388	9,175	8,903	8,621	8,378	8,197	8,083	8,034	8,036	7,806	7,491	7,173	6,887	6,630	6,410	6,370	6,672	6,704
Prismatic coeff. (Cp)	0,639	0,637	0,632	0,629	0,628	0,626	0,621	0,617	0,614	0,611	0,608	0,613	0,622	0,632	0,640	0,631	0,615	0,585	0,564
Block coeff. (Cb)	0,456	0,449	0,434	0,422	0,413	0,405	0,400	0,396	0,395	0,396	0,426	0,463	0,499	0,520	0,527	0,507	0,429	0,338	0,318
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	3,059	3,059	3,060	3,062	3,065	3,069	3,073	3,078	3,085	3,092	3,100	3,108	3,115	3,123	3,129	3,136	3,142	3,147	3,151
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	2,899	2,902	2,918	2,942	2,971	3,000	3,026	3,052	3,076	3,097	3,117	3,139	3,156	3,174	3,188	3,203	3,214	3,204	3,202
Max deck inclination deg	0,5009	5,0189	10,0031	15,0001	20,0043	25,0139	30,0273	35,0430	40,0592	45,0739	50,0847	55,0896	60,0888	65,0829	70,0724	75,0582	80,0408	85,0212	90,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,500	0,437	0,252	-0,046	-0,448	-0,950	-1,551	-2,268	-3,114	-4,114	-5,283	-6,657	-8,353	-10,585	-13,732	-18,645	-27,424	-46,637	n/a

Heel to Starboard deg	95,0	100,0	105,0	110,0	115,0	120,0	125,0	130,0	135,0	140,0	145,0	150,0	155,0	160,0	165,0	170,0	175,0	180,0
GZ m	0,287	0,246	0,199	0,150	0,098	0,044	-0,011	-0,064	-0,115	-0,161	-0,199	-0,227	-0,237	-0,221	-0,165	-0,091	-0,025	0,002
Area under GZ curve from zero heel m.deg	35,516	36,850	37,964	38,839	39,459	39,813	39,896	39,710	39,262	38,571	37,667	36,597	35,429	34,270	33,290	32,645	32,367	32,322
Displacement kg	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692	1692
Draft at FP m	-6,104	-3,459	-2,583	-2,149	-1,893	-1,726	-1,610	-1,525	-1,461	-1,412	-1,373	-1,343	-1,318	-1,298	-1,280	-1,264	-1,245	-1,230
Draft at AP m	-13,202	-7,027	-4,953	-3,903	-3,263	-2,828	-2,511	-2,267	-2,073	-1,913	-1,781	-1,671	-1,579	-1,507	-1,454	-1,414	-1,389	-1,396
WL Length m	6,529	6,616	6,692	6,759	6,817	6,869	6,912	6,950	6,986	7,014	7,041	7,065	7,090	7,117	7,163	6,784	4,303	1,291
Beam max extents on WL m	1,499	1,474	1,453	1,436	1,423	1,419	1,428	1,451	1,490	1,547	1,627	1,739	1,896	2,128	2,359	2,324	2,244	1,869
Wetted Area m^2	9,437	9,435	9,443	9,464	9,490	9,527	9,579	9,640	9,710	9,794	9,904	10,061	10,284	10,602	10,930	10,867	10,410	10,155
Waterpl. Area m^2	6,577	6,462	6,344	6,230	6,137	6,084	6,082	6,125	6,216	6,367	6,595	6,926	7,384	8,006	8,665	8,829	8,577	8,150
Prismatic coeff. (Cp)	0,548	0,535	0,524	0,515	0,506	0,498	0,490	0,482	0,474	0,464	0,454	0,441	0,426	0,406	0,383	0,390	0,609	2,031
Block coeff. (Cb)	0,303	0,293	0,287	0,284	0,284	0,287	0,290	0,295	0,288	0,267	0,249	0,232	0,215	0,198	0,188	0,219	0,399	1,782
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	3,155	3,157	3,158	3,157	3,155	3,151	3,145	3,139	3,131	3,123	3,114	3,105	3,098	3,091	3,086	3,083	3,082	3,086
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	3,225	3,246	3,266	3,287	3,305	3,320	3,332	3,344	3,357	3,369	3,375	3,376	3,372	3,363	3,367	3,510	3,797	3,950
Max deck inclination deg	94,977	99,951	104,931	109,911	114,893	119,881	124,873	129,870	134,872	139,880	144,891	149,909	154,918	159,922	164,928	169,911	174,842	178,531
Trim angle (+ve by stern) deg	-47,620	-28,850	-20,098	-15,157	-11,943	-9,653	-7,915	-6,532	-5,393	-4,426	-3,605	-2,898	-2,310	-1,843	-1,533	-1,325	-1,272	-1,468

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = 2,621 m)		41,5	n/a
Deck Edge (immersion pos = 2,694 m)		44,8	n/a
Apertura Cabina Br	Downflooding point	133,3	0
Apertura Cabina St	Downflooding point	155,3	0

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
ISO 12217-2:2002(E)	6.2.3 Downflooding angle	35,0	deg	133,3	Pass	+280,81
ISO 12217-2:2002(E)	6.3 Angle of vanishing stability	95,0	deg	124,0	Pass	+30,55
ISO 12217-2:2002(E)	6.4 STIX	14,0	See ISO 12217-2	21,4	Pass	+52,74

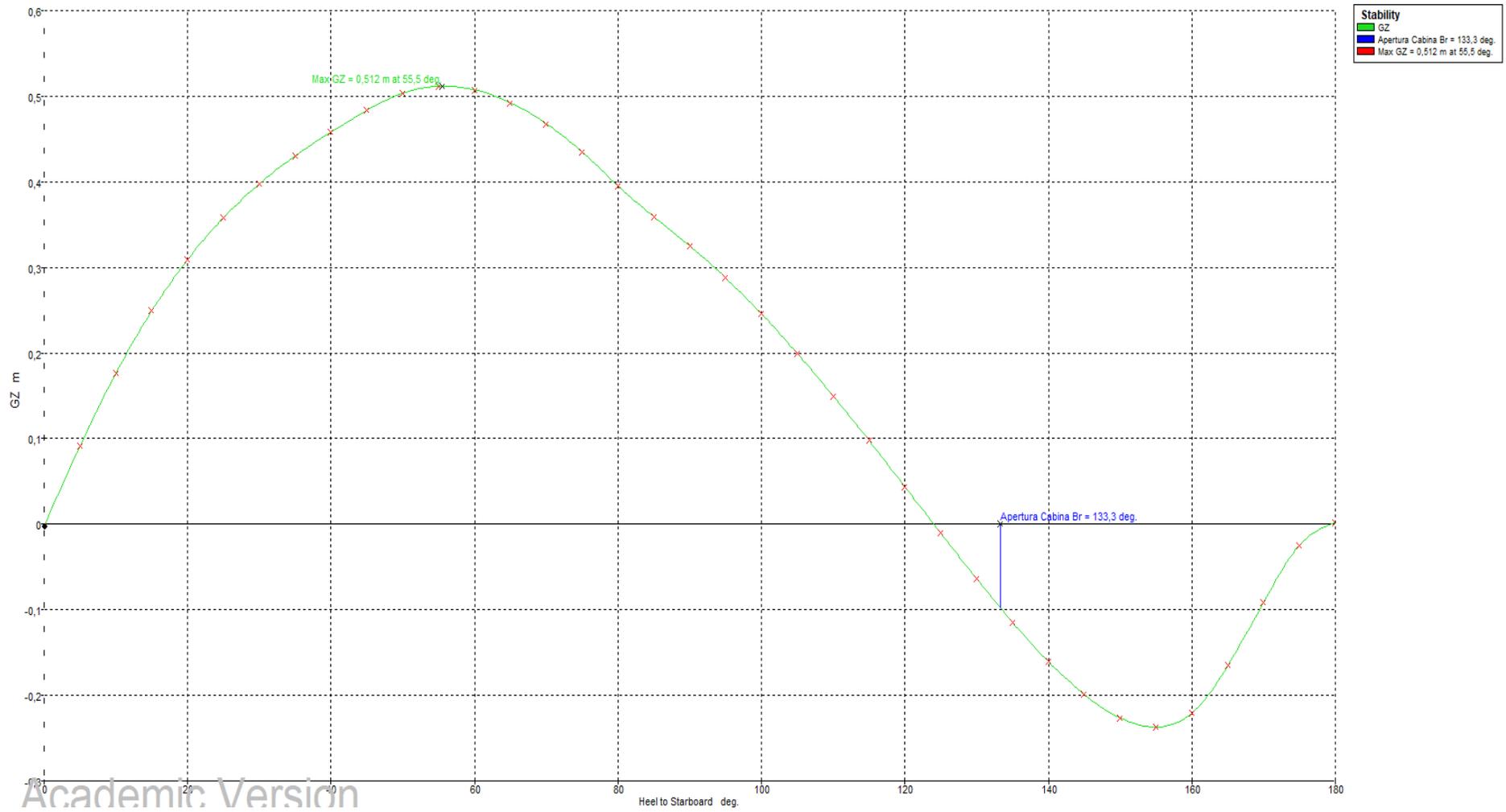
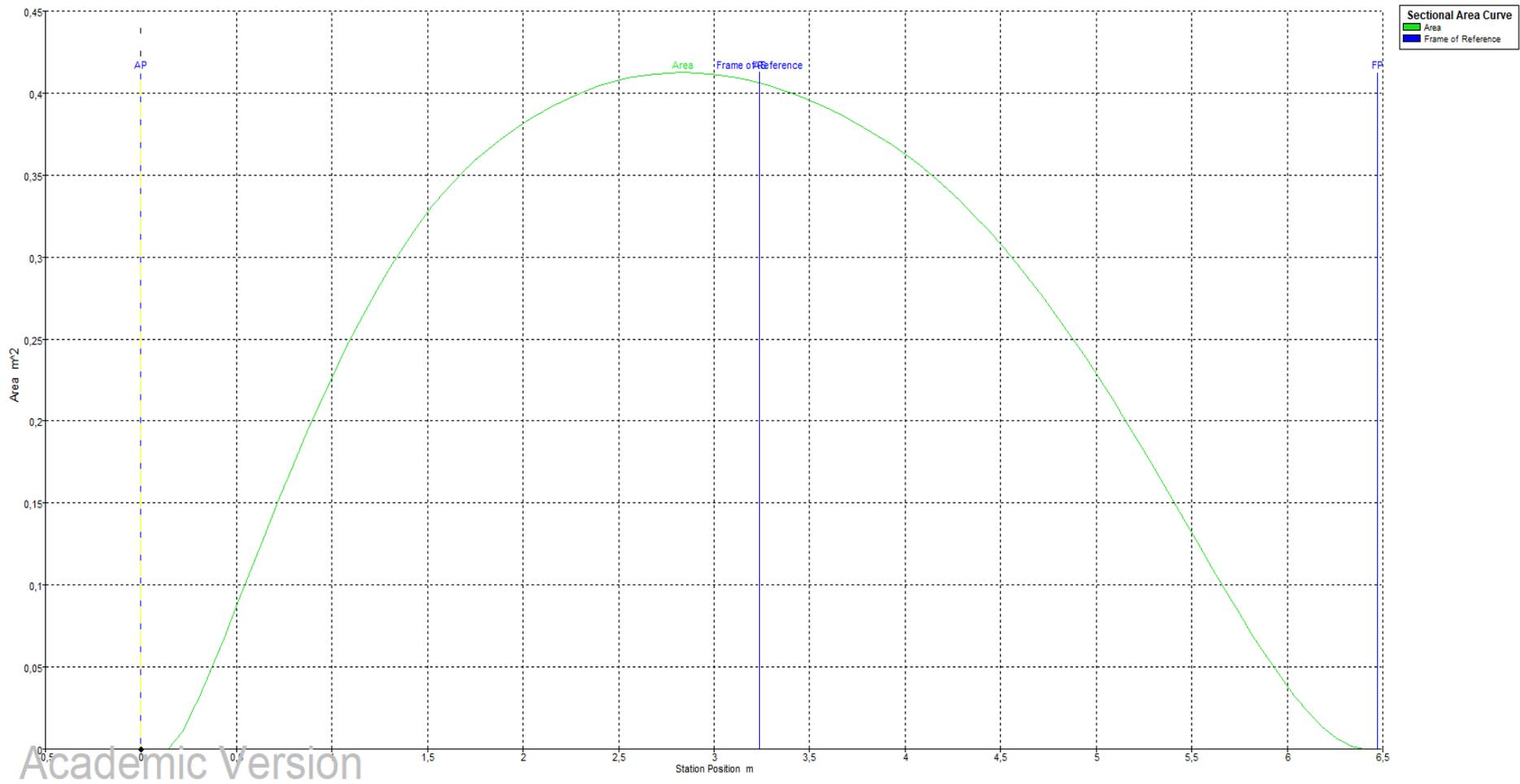


Figura 88. Curva de brazos adrizantes



**Figura 89. Curva de áreas seccionales**

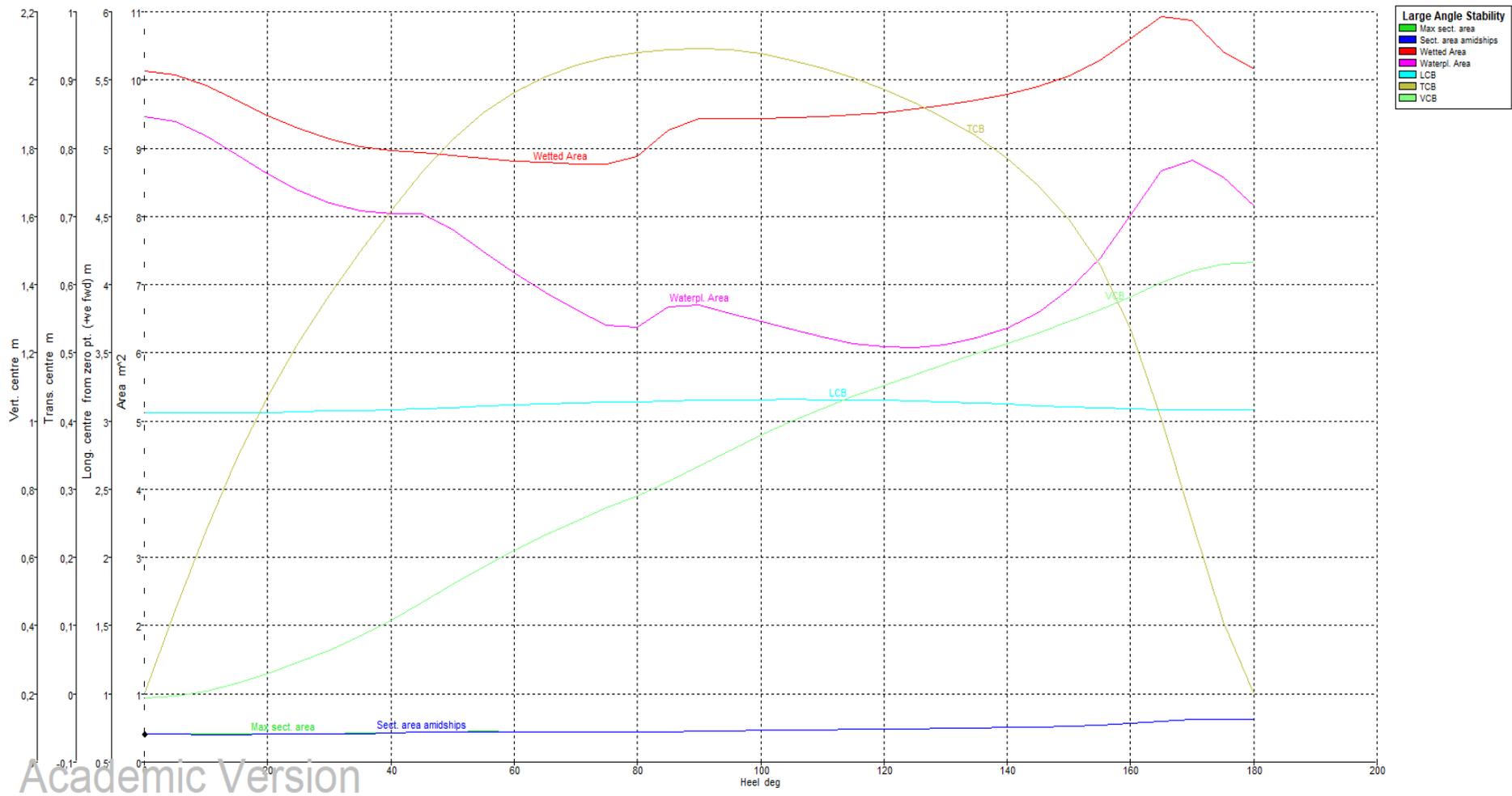
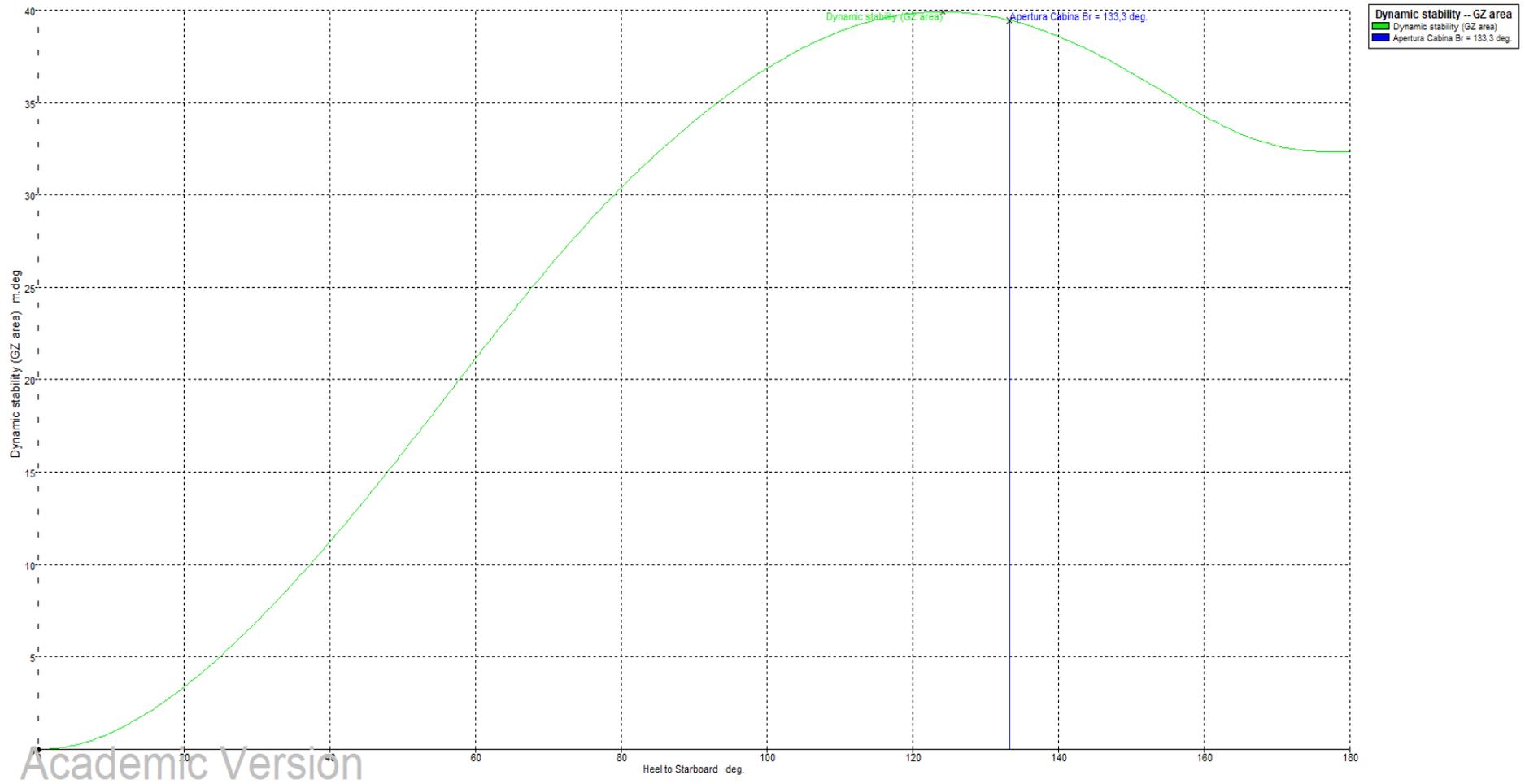
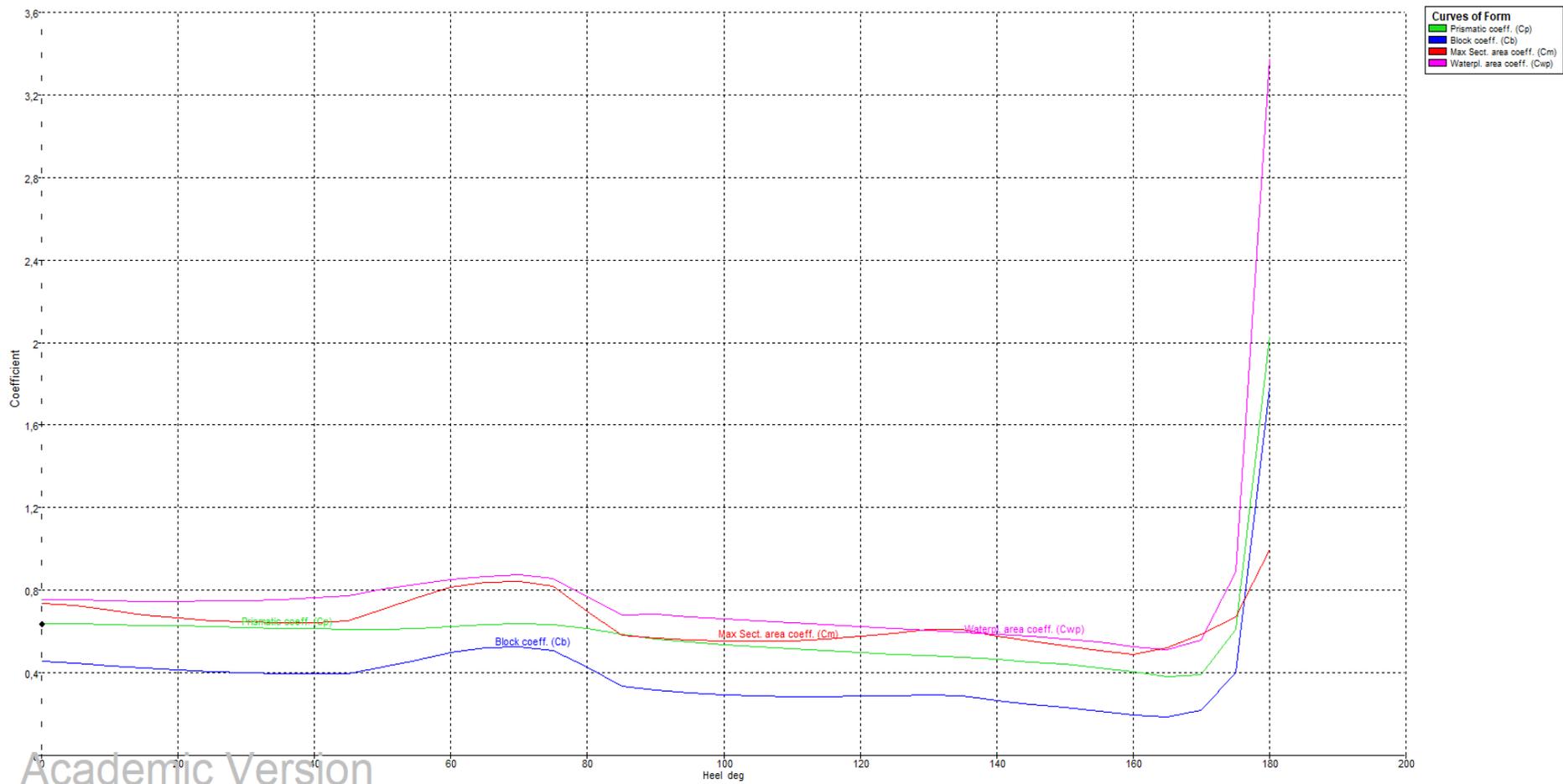


Figura 90. Curva de áreas y posición del centro de carena



**Figura 91. Curva de estabilidad dinámica (integral de área de la curva**



Academic Version

Figura 92. Coeficientes de forma

## 4. Curvas Hidrostáticas

### HYDROSTATICS

#### Damage Case - Intact

Fixed Trim = 0 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1025 kg/m<sup>3</sup>)

<b>Draft Amidships m</b>	<b>0,270</b>	<b>0,284</b>	<b>0,298</b>	<b>0,312</b>	<b>0,326</b>	<b>0,340</b>	<b>0,354</b>	<b>0,368</b>	<b>0,382</b>	<b>0,396</b>
Displacement kg	1462	1592	1725	1862	2002	2146	2293	2444	2597	2752
Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	0,270	0,284	0,298	0,312	0,326	0,340	0,354	0,368	0,382	0,396
Draft at AP m	0,270	0,284	0,298	0,312	0,326	0,340	0,354	0,368	0,382	0,396
Draft at LCF m	0,270	0,284	0,298	0,312	0,326	0,340	0,354	0,368	0,382	0,396
Trim (+ve by stern) m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
WL Length m	6,080	6,151	6,220	6,285	6,347	6,406	6,466	6,503	6,514	6,525
Beam max extents on WL m	1,933	1,965	1,997	2,026	2,053	2,080	2,105	2,128	2,150	2,171
Wetted Area m <sup>2</sup>	9,464	9,800	10,129	10,451	10,765	11,069	11,388	11,681	11,955	12,216
Waterpl. Area m <sup>2</sup>	8,882	9,153	9,415	9,667	9,907	10,133	10,371	10,578	10,760	10,922
Prismatic coeff. (Cp)	0,641	0,643	0,645	0,647	0,648	0,650	0,651	0,654	0,660	0,665
Block coeff. (Cb)	0,450	0,452	0,455	0,457	0,460	0,462	0,464	0,468	0,474	0,479
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,733	0,736	0,738	0,740	0,743	0,745	0,748	0,750	0,752	0,755
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,756	0,757	0,758	0,759	0,760	0,761	0,762	0,765	0,768	0,771
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	3,203	3,186	3,170	3,154	3,139	3,124	3,109	3,095	3,082	3,069
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	3,011	2,989	2,967	2,946	2,926	2,908	2,886	2,870	2,859	2,852
KB m	0,171	0,180	0,188	0,197	0,206	0,214	0,223	0,231	0,240	0,248
BMt m	1,459	1,428	1,398	1,368	1,340	1,311	1,284	1,257	1,231	1,204
BML m	13,640	13,268	12,923	12,592	12,271	11,949	11,716	11,417	11,078	10,725
KMt m	1,631	1,608	1,586	1,565	1,545	1,525	1,507	1,488	1,470	1,453
KML m	13,811	13,448	13,111	12,789	12,476	12,163	11,939	11,648	11,318	10,973
Immersion (TPc) tonne/cm	0,091	0,094	0,097	0,099	0,102	0,104	0,106	0,108	0,110	0,112
MTc tonne.m	0,030	0,032	0,034	0,036	0,038	0,039	0,041	0,043	0,044	0,045
Max deck inclination deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

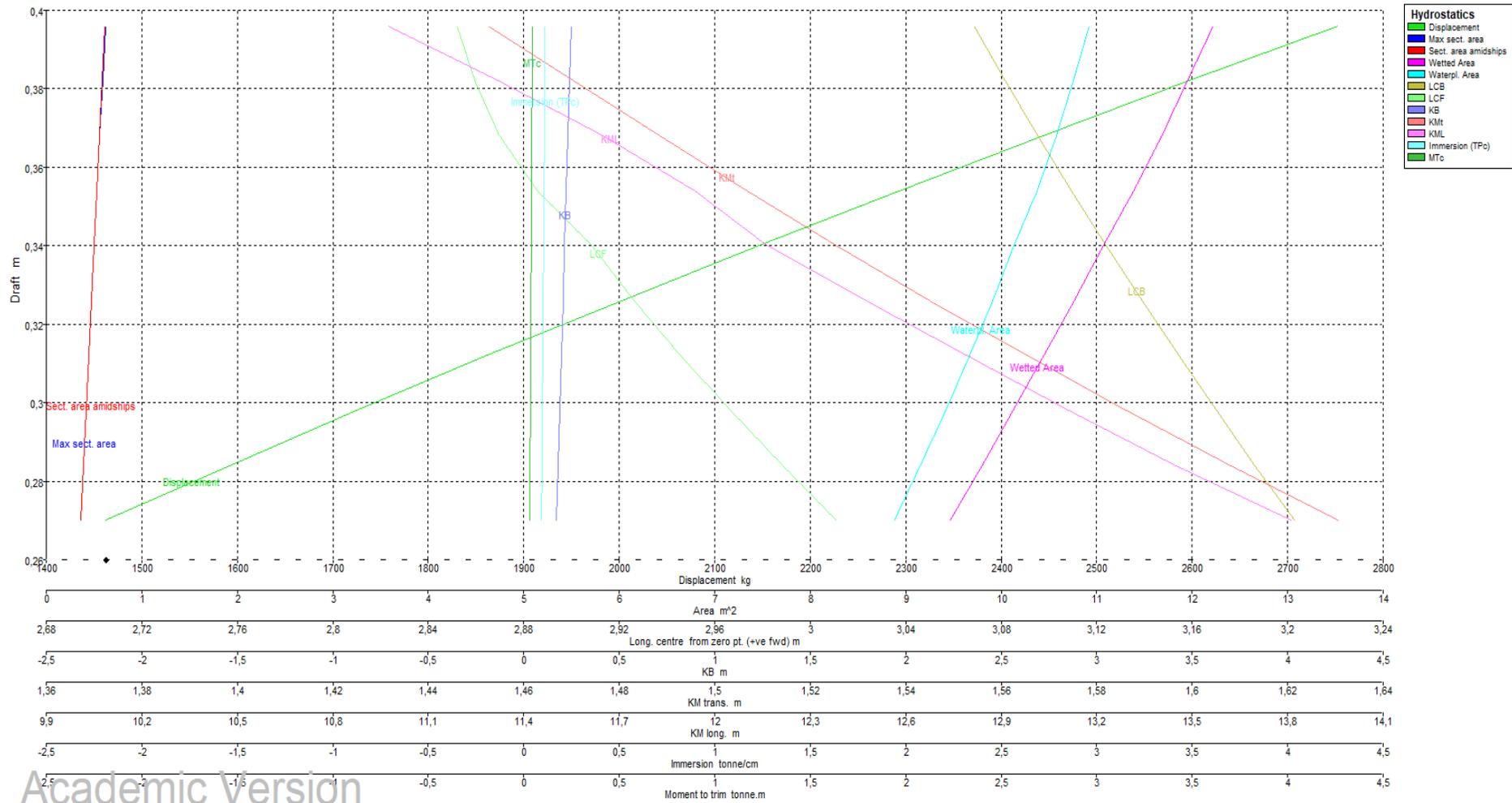


Figura 93. Curvas hidrostáticas

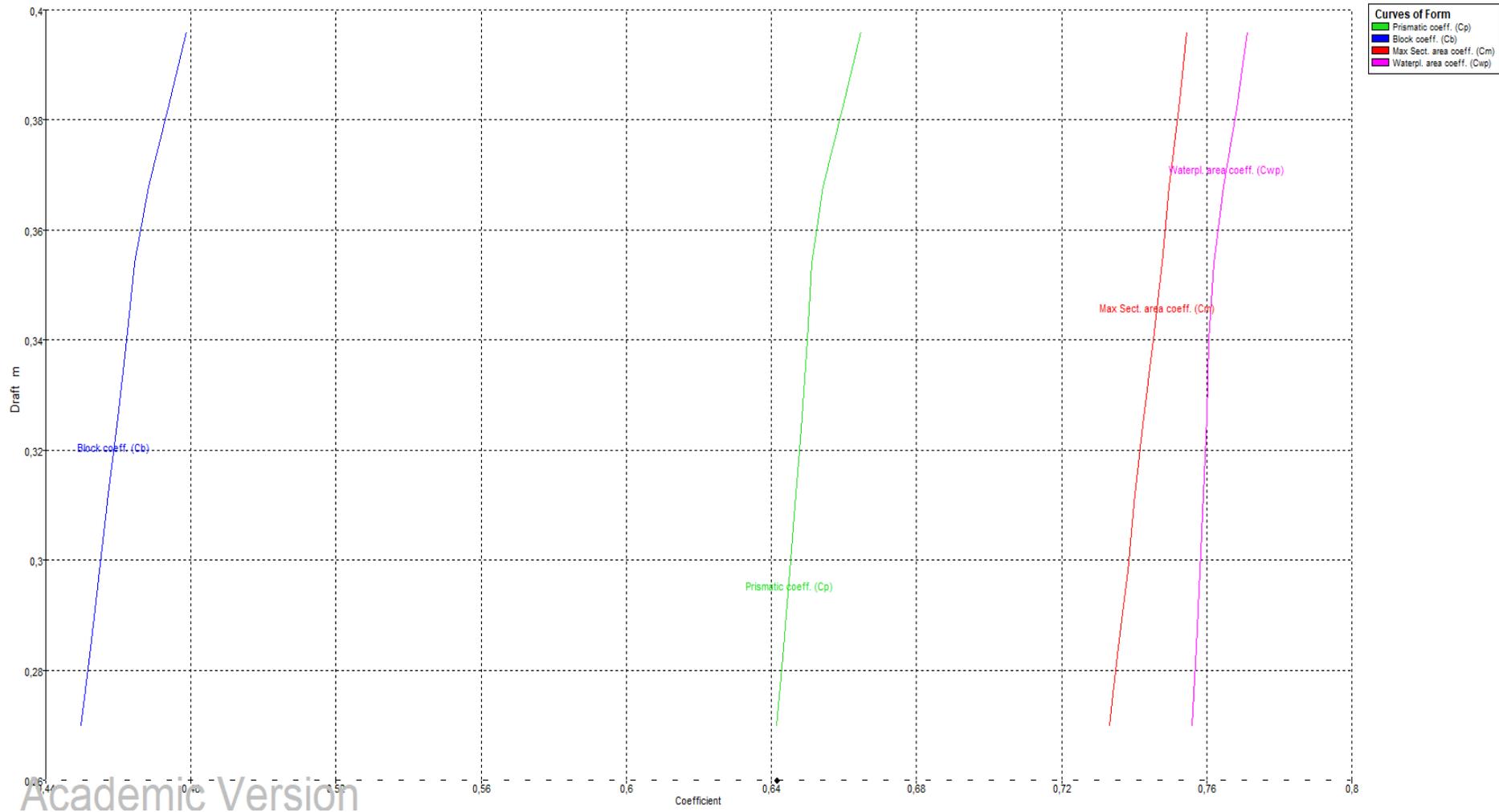


Figura 94. Coeficientes de la carena en función del calado

## 5. Curvas KN

### KN calculation

#### Damage Case - Intact

Initial Trim = 0 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1025 kg/m<sup>3</sup>)

VCG = 0 m; TCG = 0 m

Displacement (intact) kg	Draft Amidships m	Trim (+ve by stern) m	LCG m	TCG m	Assumed VCG m	KN 0,0 deg.	KN 10,0 deg. Starb.	KN 20,0 deg. Starb.	KN 30,0 deg. Starb.	KN 40,0 deg. Starb.	KN 50,0 deg. Starb.	KN 60,0 deg. Starb.	KN 70,0 deg. Starb.	KN 80,0 deg. Starb.	KN 90,0 deg. Starb.
1400	0,263	0,000	3,211	0,000	0,000	0,000	0,274	0,495	0,664	0,798	0,911	0,979	0,986	0,942	0,869
1489	0,273	0,000	3,199	0,000	0,000	0,000	0,272	0,493	0,663	0,798	0,912	0,977	0,983	0,938	0,868
1578	0,283	0,000	3,188	0,000	0,000	0,000	0,270	0,491	0,662	0,799	0,913	0,976	0,979	0,933	0,867
1667	0,292	0,000	3,177	0,000	0,000	0,000	0,268	0,489	0,661	0,799	0,913	0,974	0,976	0,930	0,867
1756	0,301	0,000	3,167	0,000	0,000	0,000	0,266	0,487	0,661	0,800	0,914	0,972	0,973	0,927	0,866
1844	0,310	0,000	3,156	0,000	0,000	0,000	0,264	0,485	0,660	0,801	0,914	0,970	0,969	0,924	0,866
1933	0,319	0,000	3,146	0,000	0,000	0,000	0,262	0,483	0,659	0,801	0,914	0,968	0,966	0,922	0,866
2022	0,328	0,000	3,137	0,000	0,000	0,000	0,260	0,481	0,658	0,802	0,913	0,966	0,963	0,921	0,865
2111	0,337	0,000	3,128	0,000	0,000	0,000	0,258	0,480	0,658	0,802	0,913	0,964	0,960	0,920	0,865
2200	0,345	0,000	3,119	0,000	0,000	0,000	0,257	0,478	0,657	0,803	0,912	0,962	0,957	0,919	0,864

Displacement (intact) kg	Draft Amidships m	Trim (+ve by stern) m	LCG m	TCG m	Assumed VCG m	KN 100,0 deg. Starb.	KN 110,0 deg. Starb.	KN 120,0 deg. Starb.	KN 130,0 deg. Starb.	KN 140,0 deg. Starb.	KN 150,0 deg. Starb.	KN 160,0 deg. Starb.	KN 170,0 deg. Starb.	KN 180,0 deg. Starb.
1400	0,263	0,000	3,211	0,000	0,000	0,783	0,666	0,521	0,359	0,195	0,049	-0,036	0,006	0,000
1489	0,273	0,000	3,199	0,000	0,000	0,783	0,666	0,521	0,360	0,196	0,051	-0,033	0,007	0,000
1578	0,283	0,000	3,188	0,000	0,000	0,782	0,665	0,521	0,361	0,198	0,053	-0,031	0,007	0,000
1667	0,292	0,000	3,177	0,000	0,000	0,782	0,665	0,522	0,362	0,200	0,056	-0,028	0,005	0,000
1756	0,301	0,000	3,167	0,000	0,000	0,781	0,664	0,522	0,363	0,201	0,058	-0,025	0,003	0,000
1844	0,310	0,000	3,156	0,000	0,000	0,780	0,663	0,521	0,364	0,203	0,060	-0,023	0,000	0,000
1933	0,319	0,000	3,146	0,000	0,000	0,779	0,663	0,521	0,364	0,204	0,063	-0,019	-0,003	0,000
2022	0,328	0,000	3,137	0,000	0,000	0,778	0,662	0,521	0,365	0,206	0,065	-0,016	-0,006	0,000
2111	0,337	0,000	3,128	0,000	0,000	0,777	0,661	0,521	0,365	0,207	0,067	-0,013	-0,010	0,000
2200	0,345	0,000	3,119	0,000	0,000	0,776	0,660	0,520	0,366	0,208	0,070	-0,010	-0,013	0,000

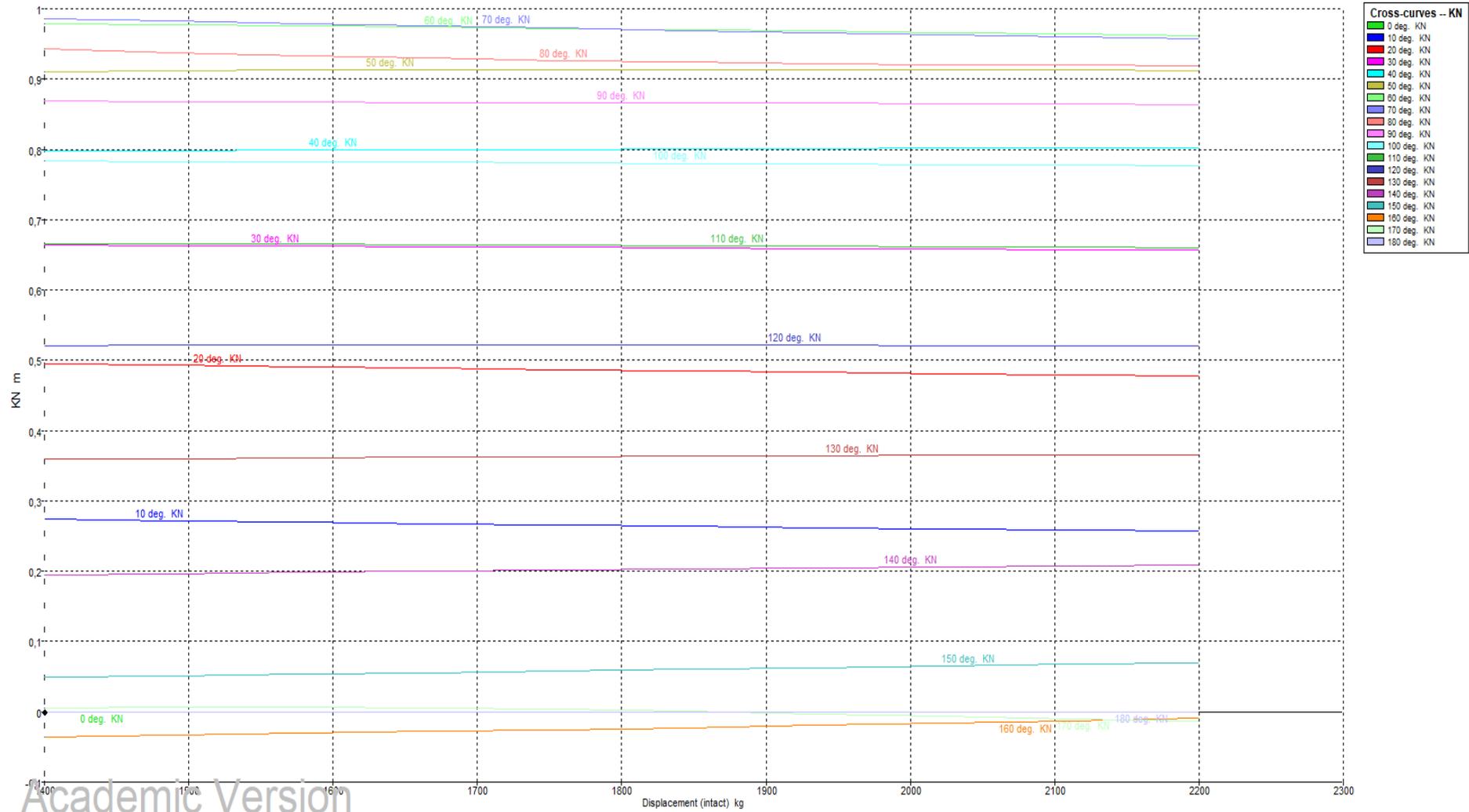


Figura 95. Curvas KN

## ***Capítulo 10 – Manual del propietario***

Velero crucero de 23.5 pies con Categoría “C” de Diseño  
de embarcaciones CE



Autor: Mario Villarroya Morales  
Tutor: José Esteban Otón Tortosa

## 1. Categoría de diseño del velero

Su velero XXX entra dentro de la categoría de diseño C, zona de navegación en aguas costeras, de acuerdo con la Directiva 2013/53/UE sobre embarcaciones de recreo construidas en la Comunidad Europea.

De este modo, la embarcación está concebida para operar en mares con una altura significativa de olas de 2 m y una velocidad característica estable del viento de una fuerza igual o inferior a 6 en la escala Beaufort.

Se ha de tener en cuenta que esta capacidad de navegación dependerá también de la competencia de la tripulación, de su capacidad física, el mantenimiento del barco y su equipamiento.

## 2. Características y datos técnicos

### DATOS TÉCNICOS:

Eslora total.....	7.21 m
Eslora del casco.....	7.21 m
Eslora en la flotación.....	6.08 m
Manga máxima.....	2.72 m
Manga en la flotación.....	1.93 m
Calado del casco.....	0.27 m
Calado máximo.....	1.35 m
Altura sobre la flotación.....	10.35 m
Peso de la quilla.....	430 Kg
Desplazamiento en rosca.....	1467.46 Kg
Desplazamiento máximo.....	2107.96 Kg
Potencia motor.....	10 CV
Batería de servicio.....	75 Ah

Carga máxima de la embarcación en categoría C:

Peso de la tripulación	4 x 75 Kg
Provisiones y pertrechos	140 Kg
Capacidad carburante	30 l
Capacidad agua dulce	100 l
Capacidad aguas sanitarias	35 l
Material de Seguridad	30 Kg
TOTAL	635 Kg

### APAREJO VÉLICO:

Superficie vélica total.....	30.15 m <sup>2</sup>
Vela mayor.....	13.79 m <sup>2</sup>
Génova 100%.....	13.63 m <sup>2</sup>
Génova 120%.....	16.36 m <sup>2</sup>
I.....	8.99 m
J.....	3.11 m
P.....	8.29 m
E.....	3.17 m

### 3. Sistema de achique

El sistema de achique de su barco estará compuesto por los siguientes elementos:

- Bomba de achique eléctrica
- Bomba de achique manual
- Conductos de ambas bombas
- Llaves de paso

La bomba manual se empleará en caso de fallo eléctrico en el sistema y esta sea incapaz de operar, u otros motivos que la dejen fuera de servicio. Estará ubicada en el zona de almacenaje de estribor de la bañera, de modo que en el caso no poder entrar al interior de la cabina esta pueda ser operada sin

problemas. El extremo del conducto que aspirará el líquido se dispondrá en la zona más baja del casco en sentido longitudinal, pudiendo acceder a él desde el cofre que hay junto a la mesa de cartas, y el agua achicada caerá por la salida ubicada en el espejo de popa.

En cuanto a la bomba eléctrica, estará ubicada en la misma zona que el conducto de aspiración de la manual, accediendo a ella del mismo modo que al punto de aspiración de la bomba manual. Para este caso, el agua se achicará directamente al mar por medio de un pasa cascós.

La bomba de achique eléctrica estará conectada al circuito de 12 V. Para activar su funcionamiento deberá de accionar el conector principal de la batería y efectuar la puesta en marcha de la bomba a partir del cuadro eléctrico, siendo las dos posiciones posibles ON y OFF.

El sistema de achique estará compuesto por dos llaves de paso, al inicio de los conductos de salida de cada una de las bombas.

Las llaves son del tipo de  $\frac{1}{4}$  de vuelta:

- Posición CERRADO: palanca perpendicular al tubo.
- Posición ABIERTO: palanca en la dirección de la tubería.

#### **ADVERTENCIA**

- El agua de sentinas debe mantenerse al mínimo.
- El sistema de bomba de achique no ha sido concebido para garantizar la flotabilidad del barco en caso de avería.

#### **PRECAUCIÓN**

- No deje que las bombas funcionen en vacío.
- Verificar a intervalos regulares el funcionamiento de las bombas de achique.

## **4. Sistema de agua dulce**

El sistema de agua dulce de su velero estará destinado a cumplir distintos servicios para las personas que van a bordo del velero, tales como la cocina, ducha y el aseo.

El sistema de agua dulce de su barco estará compuesto por los siguientes elementos:

- Bomba de presión de agua dulce
- Conductos
- Depósito de agua dulce

- Llaves de paso

El depósito estará ubicado debajo del camarote de proa y tendrá una capacidad de 100 l. Para su llenado, dispondrá de una boca de llenado dispuesta en el lado de estribor de cubierta a proa, cuya abertura deberá permanecer cerrada siempre que no se haga uso de este servicio.

El sistema encargado de llevar el agua a los elementos que la requieran será una bomba de presión de agua dulce. A la entrada de la bomba estará conectado el conducto de la parte baja del tanque, mientras que en la salida se conectará un conducto que llevará el agua al aseo, a la cocina y a la ducha de popa.

Se podrá acceder tanto a la bomba de este sistema como a las llaves, para abrir y cerrar los conductos, a partir del acceso creado en el piso entre el baño y el aseo.

La bomba de achique eléctrica estará conectada al circuito de 12 V. Para activar su funcionamiento deberá de accionar el conector principal de la batería y efectuar la puesta en marcha de la bomba a partir del cuadro eléctrico, siendo las dos posiciones posibles ON y OFF.

Para cada uno de los tres servicios, cocina, aseo y ducha, se instalará un conducto independiente con su respectiva llave de paso.

Las aguas grises resultantes de la cocina y el aseo irán directamente al mar por medio de los pasacascos que se equiparán al final de cada conducto de desagüe.

Las llaves son del tipo de  $\frac{1}{4}$  de vuelta:

- Posición CERRADO: palanca perpendicular al tubo.
- Posición ABIERTO: palanca en la dirección de la tubería.

#### **ADVERTENCIA**

- En caso de una corrosión más importante, consulte a su proveedor.
- No toque nunca la fijación de las válvulas sobre el casco. En caso de escape, consulte a un ingeniero naval cualificado.

#### **PRECAUCIÓN**

- Mantenga las llaves cerradas cuando no se utilicen los servicios.
- Mantener cerrada la boca de llenado cuando no se haga uso de ella.
- No deje que las bombas funcionen en vacío.
- En caso de periodos largos de inactividad, limpie y aclare la superficie de las conexiones y las llaves. Inspeccione los accesorios de latón; es normal una ligera corrosión superficial.

## 5. Sistema de aguas sanitarias

El sistema de agua dulce de su barco estará compuesto por los siguientes elementos:

- WC con bomba manual
- Conductos
- Depósito de agua negras
- Bomba maceradora eléctrica
- Llaves de paso
- Pasacascos

El funcionamiento del WC será el siguiente:

- Abra la llave de admisión de agua de mar.
- Abra la llave de drenaje del conducto de salida del WC, situado en la parte baja de la bomba manual.
- Coloque la palanca en la posición "FLUSH", cisterna del inodoro.
- Accione la bomba manual.
- Para vaciar el inodoro y evitar cualquier movimiento de agua en el alojamiento, coloque la palanca en "DRY BOWL", secado del WC.
- Accione la bomba manual hasta que se seque la cubeta.
- Repita las operaciones de cisterna/secado del WC tantas veces como sea necesario para asegurar una completa evacuación de las cañerías.
- Cuando no se utilice el WC, coloque la posición en "DRY BOWL".
- Cierre las llaves después de su uso.

El depósito de aguas negras tendrá capacidad para dos días de navegación, siendo esta de 35 litros.

En la parte superior de este depósito podrá encontrar los siguientes conductos, los cuales se especifican en los planos de este manual:

- Conducto de conexión universal a tierra, de modo que pueda conectarse el conducto de descarga de la embarcación con el conducto de recepción del puerto. La conexión estará a proa en la banda de estribor de cubierta.
- Conducto de ventilación del tanque, ya que de no disponer de éste y en caso de posibles problemas en los conductos o depósito, los malos olores afectarían al confort de la tripulación. Debe de cumplir unos requisitos mínimos, en este caso un conducto de mínimo 38 mm.

- Conducto de conexión con la de entrada con de la bomba maceradora, siendo ésta la que se encargará de triturar y descargar directamente al mar.
- Conducto de recepción de los residuos procedentes del WC.

La bomba de achique eléctrica estará conectada al circuito de 12 V. Para activar su funcionamiento deberá de accionar el conector principal de la batería y efectuar la puesta en marcha de la bomba a partir del cuadro eléctrico, siendo las dos posiciones posibles ON y OFF.

Tanto la aspiración del agua salada al WC como la salida de las aguas negras al mar se harán a partir de pasacascos de latón.

El sistema estará compuesto por tres llaves de paso, una de ellas a la entrada del conducto de aspiración de agua salada, una segunda en el conducto de salida de la bomba maceradora y una tercera al inicio del conducto de conexión universal a tierra.

Las llaves son del tipo de  $\frac{1}{4}$  de vuelta:

- Posición CERRADO: palanca perpendicular al tubo.
- Posición ABIERTO: palanca en la dirección de la tubería.

La descarga de las aguas sucias deberá llevarlas a cabo acorde a los criterios:

ZONA	OPCIÓN DE DESCARGA
Aguas portuarias. Zonas protegidas. Rías, Bahías, etc.	No se permite ninguna descarga, ni siquiera con tratamiento.
Hasta 4 millas.	Se permite con tratamiento. Ni sólidos ni decoloración.
Desde 4 millas hasta 12 millas.	Se permite desmenuzada y desinfectada. Para descargar el tanque, la velocidad de la embarcación debe ser superior a 4 nudos.
Más de 12 millas.	Se permite en cualquier condición. Para descargar el tanque, la velocidad de la embarcación debe ser superior a 4 nudos.

### ADVERTENCIA

- En caso de mal tiempo y si sale del barco, cierre todas las llaves de los circuitos sanitarios.
- Ha de cumplir la legislación de descarga de aguas sucias, según se le ha descrito en la tabla anterior.
- Cambie con regularidad las juntas del WC

### **PRECAUCIÓN**

- Mantenga las llaves cerradas cuando no se utilicen los servicios.
- No deje que las bombas funcionen en vacío.
- En caso de periodos largos de inactividad, limpie y aclare la superficie de las conexiones y las llaves. Inspeccione los accesorios de latón; es normal una ligera corrosión superficial.

## **6. Protección contra el fuego**

Su velero dispondrá de un extintor tipo 21 B, el cual estará ubicado en el mueble bajo del aseo, alejado de cualquier foco posible de incendio.

Al llevar instalada una cocina y nevera de gas, la embarcación dispone de un sistema de detección de incendios y gases. La ubicación de los detectores estará en la parte inferior del mueble alto de cocina, para la cocina de gas, y en el mueble de popa, para la posible detección de gases de la nevera.

La indicación será automática, estando los indicadores ubicados en el cuadro eléctrico y se activarán tanto señales luminosas como acústicas.

Además, dispone de un balde con rabiza ubicado en la zona de almacenaje de popa, pudiendo acceder a ella desde el interior de la cabina o desde los tambuchos de la bañera.

Nunca:

- Obstruir los accesos hacia salidas de socorro.
- Obstruir las estanterías que contienen los extintores.
- Abandonar la embarcación con un hornillo encendido.
- Utilizar lámparas de gas en la embarcación.
- cambiar una botella de gas cuando está en funcionamiento el hornillo
- Fumar manipulando combustibles o gas.
- Colgar cortinas o paños que cuelguen libremente en las cercanías del hornillo o de otro aparato de llama viva.
- Almacenar productor combustibles cerca del depósito de combustible.

### **PELIGRO**

- Los extintores que funcionan con CO<sub>2</sub> sólo deben utilizarse para combatir fuegos eléctricos.
- Después de la extinción de un fuego en el interior de la embarcación, no deberá de permanecer en el habitáculo para evitar la inhalación de humos tóxicos y las escotillas y portillos deberán estar abiertas para una buena ventilación del interior.

### **ADVERTENCIA**

- Los equipos contraincendios deberán de ser revisados conforme a las instrucciones del constructor
- Se deberá reemplazar el material de lucha contra incendios si está caducado o descargado, por aparatos de extinción de capacidad igual o superior.
- Es responsabilidad del propietario/jefe de abordaje indicar a los miembros de la tripulación el emplazamiento y funcionamiento del material de lucha contra incendios.

## **7. Motor**

El motor fueraborda se ubicará en la zona de popa, el cual se fijará al elemento que se ha instalada para dicho uso.

Deberá comprobar periódicamente que el elemento de fijación del motor está unido al casco de forma efectiva.

Es importante efectuar un mantenimiento regular del motor fueraborda siguiendo las indicaciones del constructor.

Lea atentamente las instrucciones de uso del motor que acompaña al barco. No dude consultar a su proveedor.

### **PELIGRO**

- El motor no debe estar en marcha cuando hay bañistas cerca del barco para evitar cualquier riesgo de lesión grave con la hélice.
- El motor debe estar parado durante cualquier operación de mantenimiento o de control del motor. En caso contrario, se tendrá vigilancia especial de las partes en movimiento.

### **ADVERTENCIA**

- Cuando no se haga uso del motor, poner este en posición horizontal para un mejor mantenimiento de los hélice.

### **PRECAUCIÓN**

- Adapte la velocidad de su barco a las condiciones del entorno y conserve un margen de seguridad. Preste una atención particular:
  - Al estado del mar, las corrientes y fuerza del viento
  - Al tráfico
  - A las maniobras portuarias

## 8. Instalación del sistema de combustible

El depósito de combustible estará ubicado en el cofre de popa, junto al timón, pudiendo acceder a él fácilmente y será transportable, ya que ofrece mayor comodidad de llenado y seguridad que los depósitos fijos.

El depósito tendrá capacidad suficiente para ofrecer una larga autonomía a su embarcación, con un total de 30 l.

En la parte superior del tanque podrá encontrar la boca de llenado, así como los dos orificios que se conectarán con el motor, para abastecer a este del combustible que requiera.

Los conductos que irán del tanque al motor deberán pasar a través de los orificios del tambucho, de forma que no comprometan a la seguridad de la embarcación.

### PELIGRO

- No deberá rellenar el depósito de combustible cuando esté en funcionamiento el motor.
- Está prohibido fumar manipulando el tanque de combustible.

### ADVERTENCIA

- La capacidad nominal de los depósitos puede no ser totalmente utilizable en función del asiento y de la carga del barco. Se recomienda mantener una reserva del 20%.

### PRECAUCIÓN

- Comprobar que la cantidad de combustible en el tanque es suficiente antes de salir a navegar.
- No hacer funcionar el motor del barco en seco.

## 9. Equipos de seguridad

Los equipos de seguridad con los que irá equipado su velero serán aquellos que cita la ORDEN FOM/1076/2006 del 29 de Marzo para embarcaciones de recreo con Categoría de Diseño "C" y zona de navegación 4.

Los elementos de salvamento con los que irá dotada la embarcación serán los siguientes:

- Cuatro chalecos salvavidas para adultos y tres para niños. Estarán ubicados en el cofre de la bañera, siendo este el acceso más rápido en caso de emergencia.
- Un aro salvavidas con luz y rabiza ubicado en el cofre de la bañera.
- Señales de socorro, las cuales se ubicarán debajo del mueble del aseo, quedando alejado del depósito de combustible. Las señales de socorro de las que dispondrá serán las siguientes:
  - 6 cohetes con luz roja y paracaídas
  - 6 bengalas de mano
  - 1 señal fumígena flotante

#### **ADVERTENCIA**

- Los aros salvavidas serán de tipo «CE», homologado por un organismo notificado de acuerdo con el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre.
- Todas las señales deberán estar homologadas, de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 809/1999, de 14 de mayo.
- Los chalecos salvavidas serán de «CE»: flotabilidad mínima requerida según norma UNE-EN396:1995
- Es responsabilidad del propietario/jefe de abordaje indicar a los miembros de la tripulación el emplazamiento y funcionamiento de los equipos de salvamento.
- El equipo de salvamento deberá de ser revisado conforme a las instrucciones del fabricante

## **10. Inundación**

Durante los periodos de navegación, así como aquellos en los que no haga uso de su embarcación, deberá tomar una serie de precauciones para evitar posibles inundaciones.

- Deberá comprobar periódicamente la estanqueidad de los pasacascos, llaves y tuberías.
- Durante la navegación con mal tiempo o la embarcación amarrada en puerto, mantenga cerrados los dos portillos de popa, la escotilla de proa y el acceso al interior.

## 11. Equipos electrónicos

- **Cuadro eléctrico principal:** Ubicado en la mesa de cartas. En él se detallan cada uno de los componentes eléctricos que se podrán poner en funcionamiento y/o desconectar, encendiéndose un indicador luminoso en el caso de que estén activados, ON.

En el caso de que el cuadro eléctrico no reciba corriente debe verificar la alimentación general y el equipo eléctrico afectado.

- **Circuito eléctrico:** Los cables del circuito eléctrico de 12 V son rojos para el polo positivo y negros para el negativo.

Nunca:

- Trabajar sin haber cortado la alimentación principal.
- Almacenar elementos conductores cerca de las baterías.
- Cambiar o instalar equipos por otros elementos que excedan de la capacidad del circuito, para evitar un cortocircuito entre los dos polos de la batería.
- Abandonar la embarcación cuando esta esté recibiendo suministro eléctrico.

### PELIGRO

- Riesgo de incendio o explosión a causa de un mal uso del sistema eléctrico.

- **Batería de servicio:** La batería con la que está equipada la embarcación es de 75 Ah, lo cual se ubicará bajo el camarote de proa, cerca del mamparo de pique de proa.

La carga de la batería se puede realizar por medio del alternador del motor fueraborda o con la conexión en el puerto de 220 V.

La batería debe de estar cargada suficientemente, de modo que pueda dar servicio a los equipos de abordó, así como garantizar una vida útil correcto.

### ADVERTENCIA

- Verificar el estado de la batería antes de salir a navegar.
- En el caso de cambiar la batería, ésta no deberá ser inferior a 75 Ah, asegurando así que pueda dar servicio a todos los equipos de su embarcación.
- Manipular las baterías con precaución.
- Las baterías deben ser estibadas con precaución.

### PRECAUCIÓN

- Mantener las baterías limpias y secas.
- Comprobar periódicamente el nivel de electrolito
- Desconectar la batería durante los periodos largos de inactividad.
- No tocar los terminales eléctricos de la batería.

- **Cargador de la batería de servicio:** Este equipo se empleará para cargar la batería de servicio cuando no esté al 100% de su capacidad, proporcionando así una mejor conservación de la batería de servicio que dispone su embarcación. Dispone de una potencia de salida de 12 amperios de carga.

El equipo podrá cargarse de dos modos distintos:

- Conectando el alternador del motor fueraborda, mientras este esté en funcionamiento, al cargador.
- En las estancias en puerto, conectando el cargador a la toma de corriente del puerto de 220 V.

### ADVERTENCIA

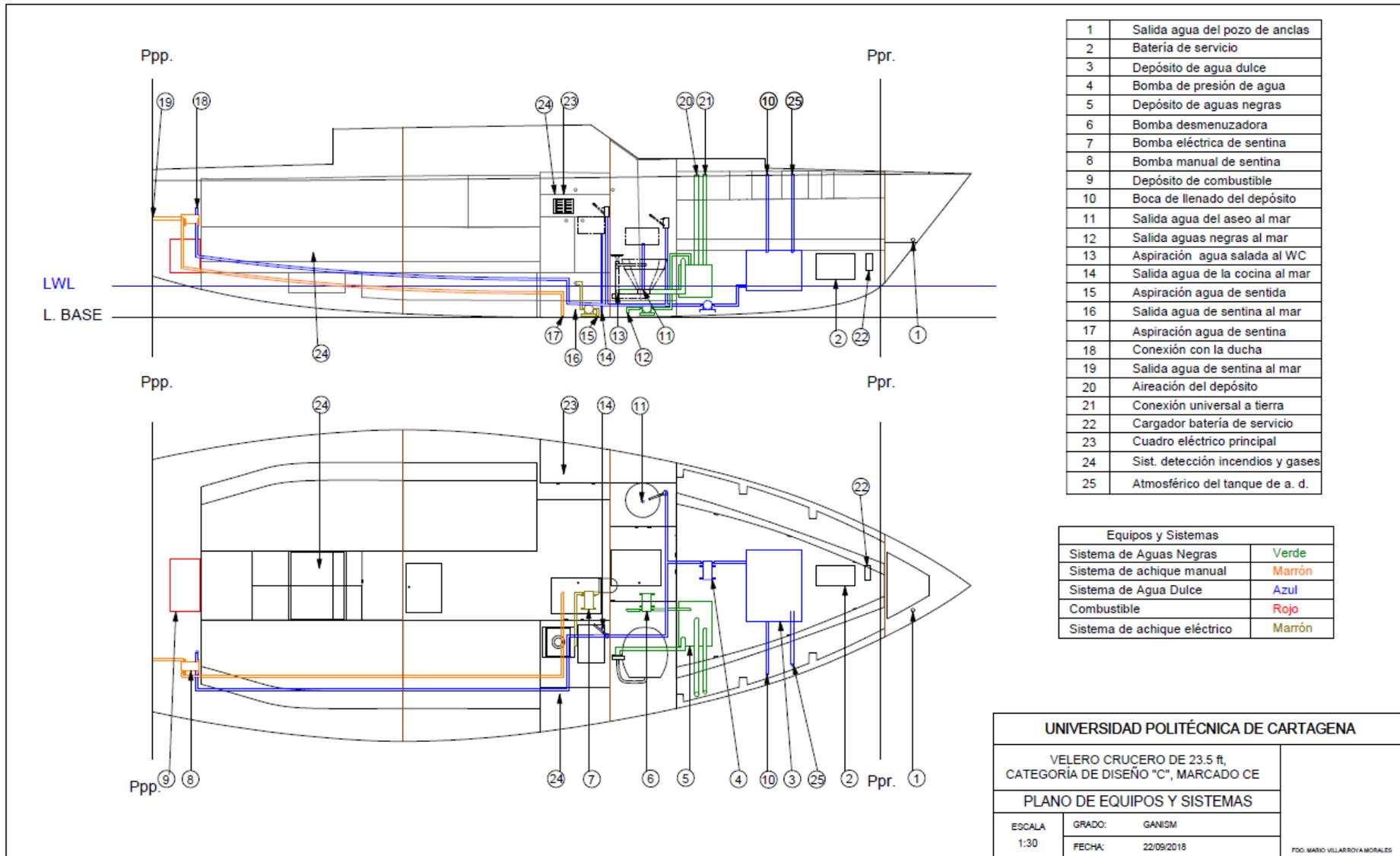
- Verificar el estado del cargador antes de salir a navegar.
- En el caso de cambiar el cargador, las características no deberán ser inferiores al anterior instalado.
- El equipo de salvamento deberá de ser revisado conforme a las instrucciones del fabricante

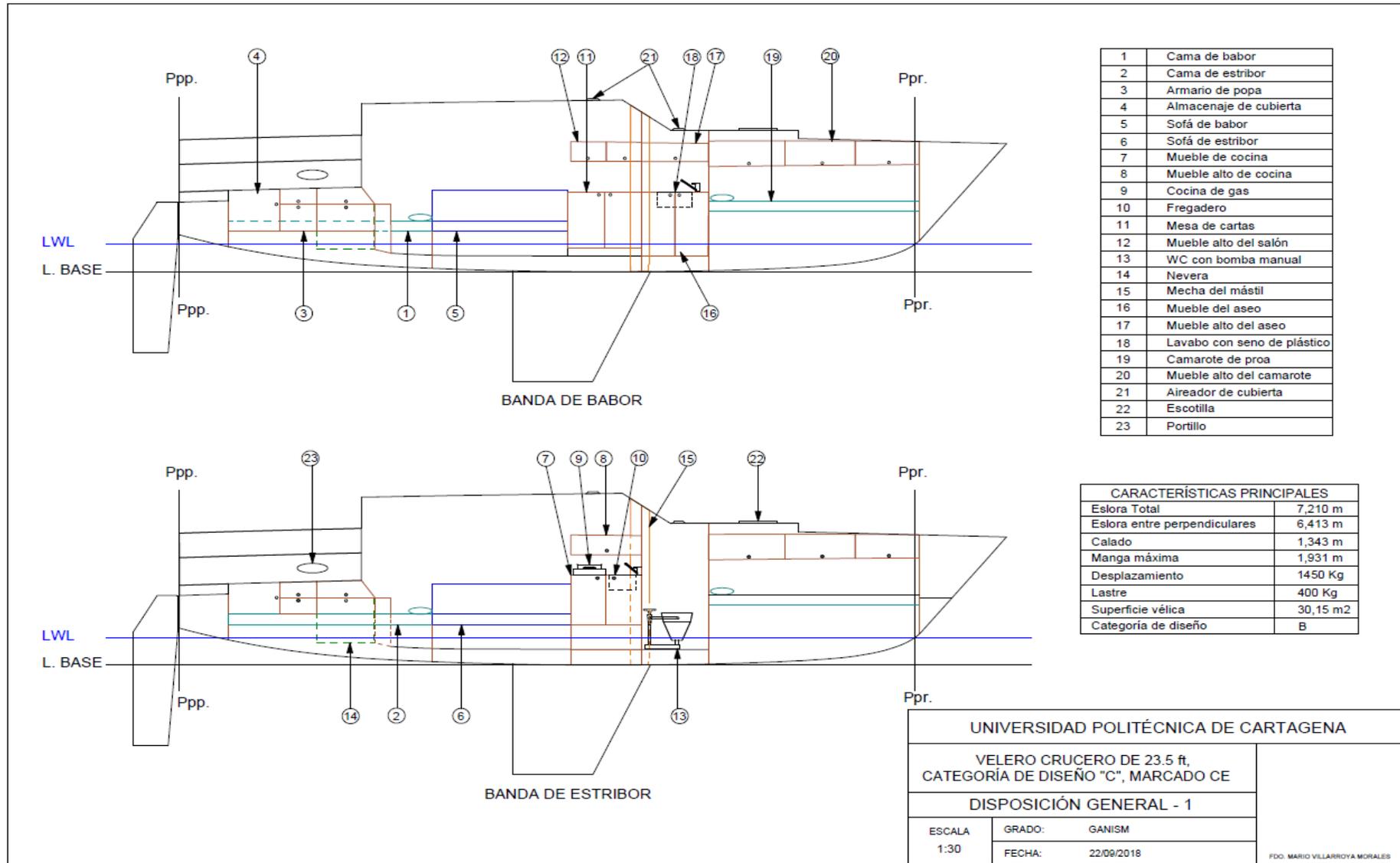
### PRECAUCIÓN

- Mantener las baterías limpias y secas.
- Comprobar periódicamente el funcionamiento del cargador
- Desconectar el cargador durante los periodos largos de inactividad.
- No tocar los terminales eléctricos del cargador.

- **Equipos de navegación:** Para un correcto funcionamiento y mantenimiento de los equipos electrónicos de navegación debe consultar los manuales del fabricante, los cuales han sido proporcionados junto a este.

## **12. Planos**

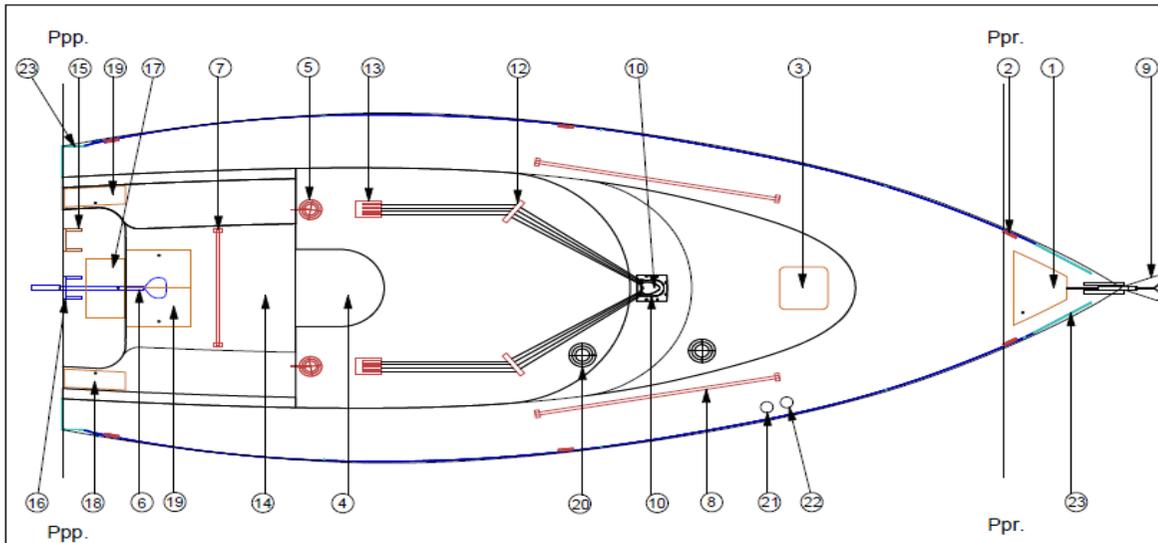




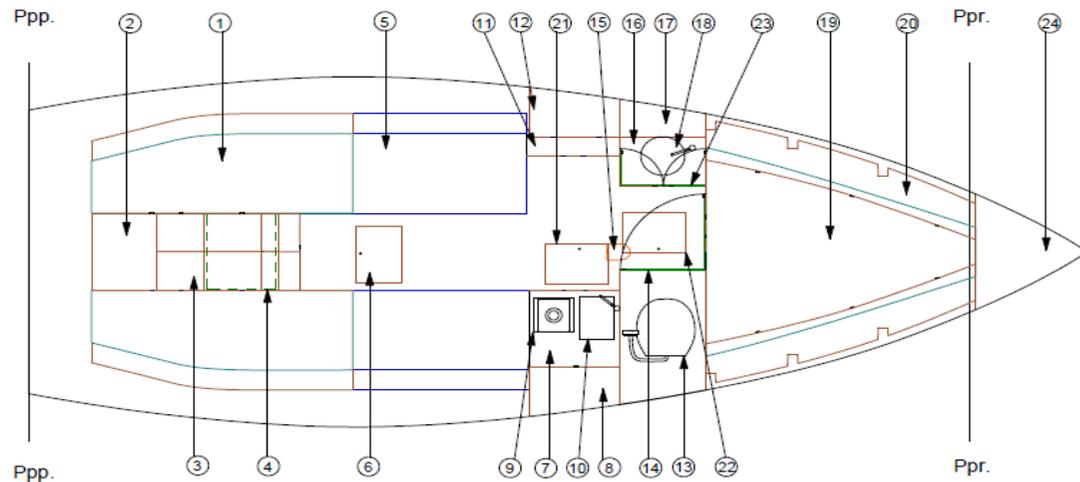
1	Cama de babor
2	Cama de estribor
3	Armario de popa
4	Almacenaje de cubierta
5	Sofá de babor
6	Sofá de estribor
7	Mueble de cocina
8	Mueble alto de cocina
9	Cocina de gas
10	Fregadero
11	Mesa de cartas
12	Mueble alto del salón
13	WC con bomba manual
14	Nevera
15	Mecha del mástil
16	Mueble del aseo
17	Mueble alto del aseo
18	Lavabo con seno de plástico
19	Camarote de proa
20	Mueble alto del camarote
21	Aireador de cubierta
22	Escotilla
23	Portillo

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Eslera Total	7,210 m
Eslera entre perpendiculares	6,413 m
Calado	1,343 m
Manga máxima	1,931 m
Desplazamiento	1450 Kg
Lastre	400 Kg
Superficie vélica	30,15 m2
Categoría de diseño	B

<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA</b>	
VELERO CRUCERO DE 23.5 ft, CATEGORÍA DE DISEÑO "C", MARCADO CE	
DISPOSICIÓN GENERAL - 1	
ESCALA 1:30	GRADO: GANISM FECHA: 22/09/2018
<small>FDG. MARIO VELLARROYA MORALES</small>	

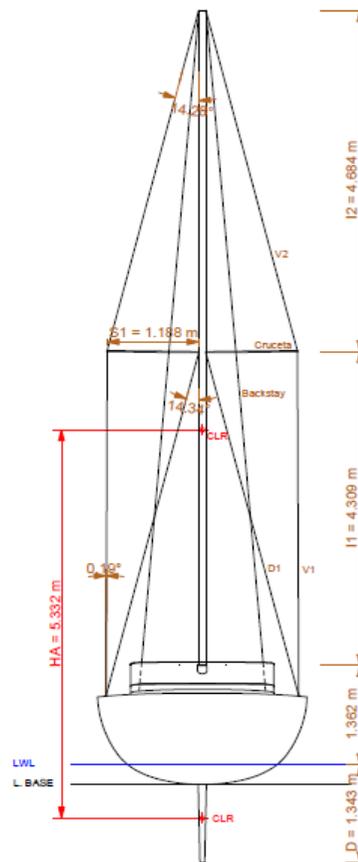
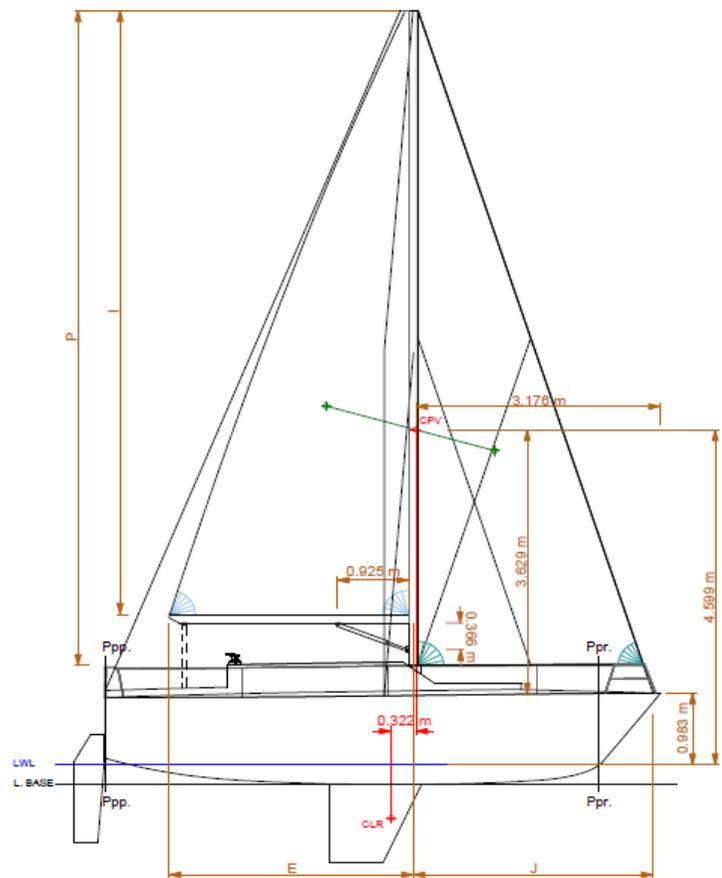


1	Pozo de anclas	13	Stoppers cuádruples
2	Cornamusas	14	Bañera
3	Escotilla	15	Soporte motor fueraborda
4	Escotilla acceso al interior	16	Soporte del timón
5	Winches	17	Cofre del tanque comb.
6	Caña del timón	18	Cofre de la bomba manual
7	Carro de la mayor	19	Cofre
8	Carros del génova	20	Aireación
9	Cadena	21	Aireación depósito A.N.
10	Mástil	22	Conexión a tierra A.N.
11	Soporte del mástil	23	Púlpitos de popa
12	Desviadriza	24	Púlpitos de proa



1	Cama	13	WC con bomba manual
2	Almacenaje de cubierta	14	Puerta del baño
3	Armario de popa	15	Mecha del mástil
4	Nevera	16	Mueble del aseo
5	Sofá	17	Mueble alto del aseo
6	Espacio para almacenaje	18	Lavabo con seno de plástico
7	Mueble de cocina	19	Camarote de proa
8	Mueble alto de cocina	20	Mueble alto del camarote
9	Cocina de gas	21	Acceso bomba de sentina
10	Fregadero	22	Acceso bombas A.D. y A.N.
11	Mesa de cartas	23	Puerta del aseo
12	Mueble alto del salón	24	Caja de cadenas

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		
VELERO CRUCERO DE 23.5 ft. CATEGORÍA DE DISEÑO "C", MARCADO CE		
PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL - 2		
ESCALA 1:30	GRADO: FECHA:	GANISM 22/09/2018
		FOO MARIO VILLARROYA MORALES



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Eslora Total	7,210 m
Eslora entre perpendiculares	6,413 m
Calado	1,343 m
Manga máxima	1,931 m
Desplazamiento	1450 Kg
Lastre	400 Kg
Superficie vélica	30,15 m <sup>2</sup>
Categoría de diseño	B

DIMENSIONES DEL PLANO VÉLICO			
I	8,993 m	SA Total	30,15 m
J	3,112 m	Mayor	13,79 m <sup>2</sup>
P	8,291 m	Génova 100%	13,63 m <sup>2</sup>
E	3,169 m	Génova 120%	16,36 m <sup>2</sup>

DIMENSIONES DE LA JARCIA			
Disposición	Diámetro (mm)	Cara de rotura (KN)	Peso (Kg/m)
PD1	2,000	2,940	0,020
PD2	3,000	7,420	0,045
PV1	2,500	5,150	0,031
Pfo	5,000	20,600	0,124
Pa	3,000	7,420	0,045

DIMENSIONES DE LA JARCIA			
Mástil		Mástil	
SMy (cm <sup>3</sup> )	29,0	SMy (cm <sup>3</sup> )	24,8
SMx (cm <sup>3</sup> )	21,5	SMx (cm <sup>3</sup> )	13,7
Espesor (mm)	2,5	Espesor (mm)	1,8
Dim. x/y (mm)	130/93	Dim. x/y (mm)	120/62
P (kg/m)	2,71	P (kg/m)	2,16

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

VELERO CRUCERO DE 23.5 ft,  
CATEGORÍA DE DISEÑO "C", MARCADO CE

**PLANO VÉLICO**

ESCALA 1:60	GRADO: GANISM
	FECHA: 22/09/2016

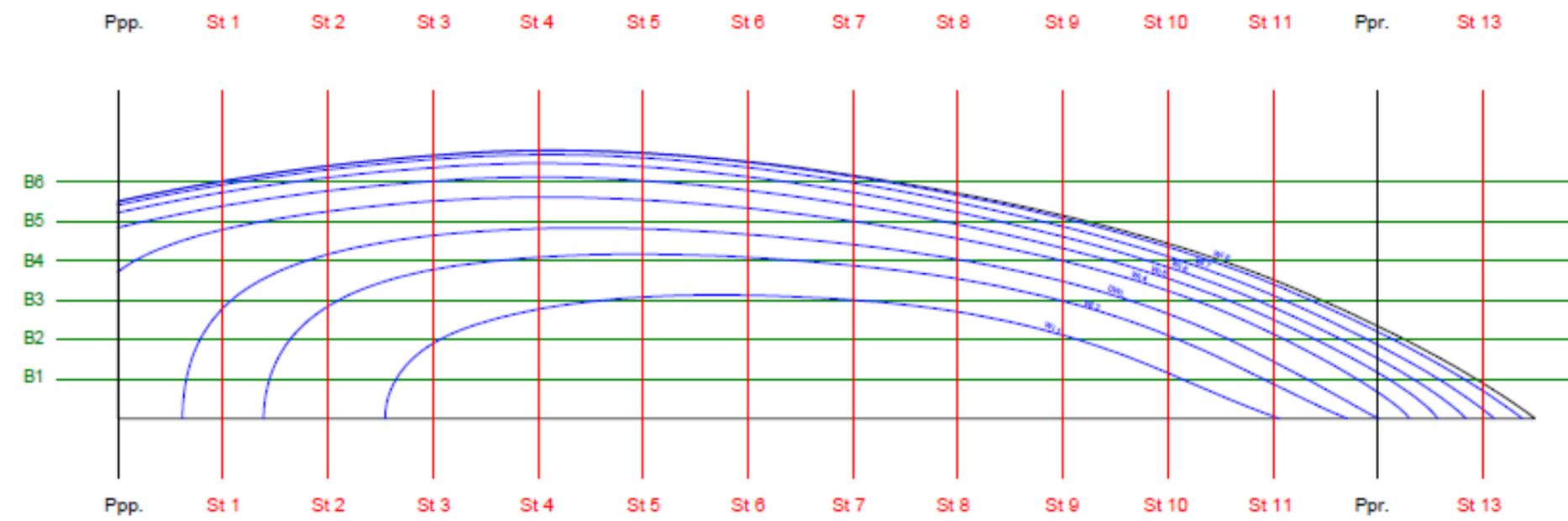
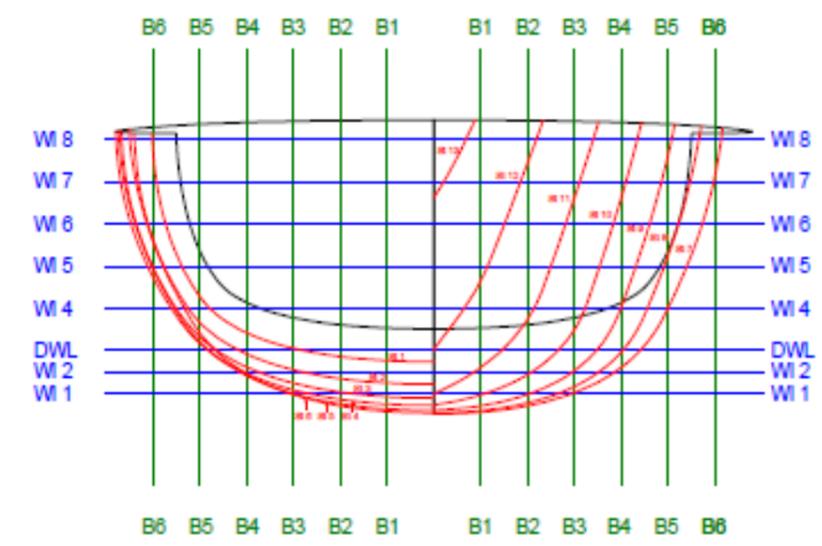
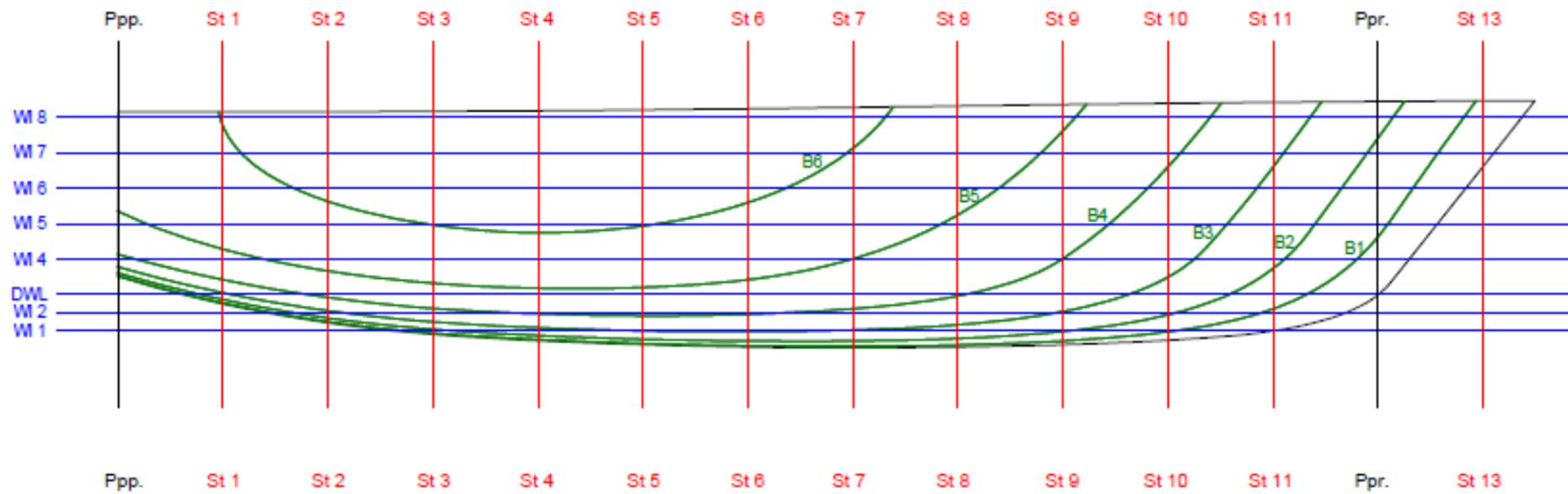
FDO: MARIO VILLARROYA MORALES

## **Capítulo 11 - Planos**

Velero crucero de 23.5 pies con Categoría “C” de Diseño  
de embarcaciones CE



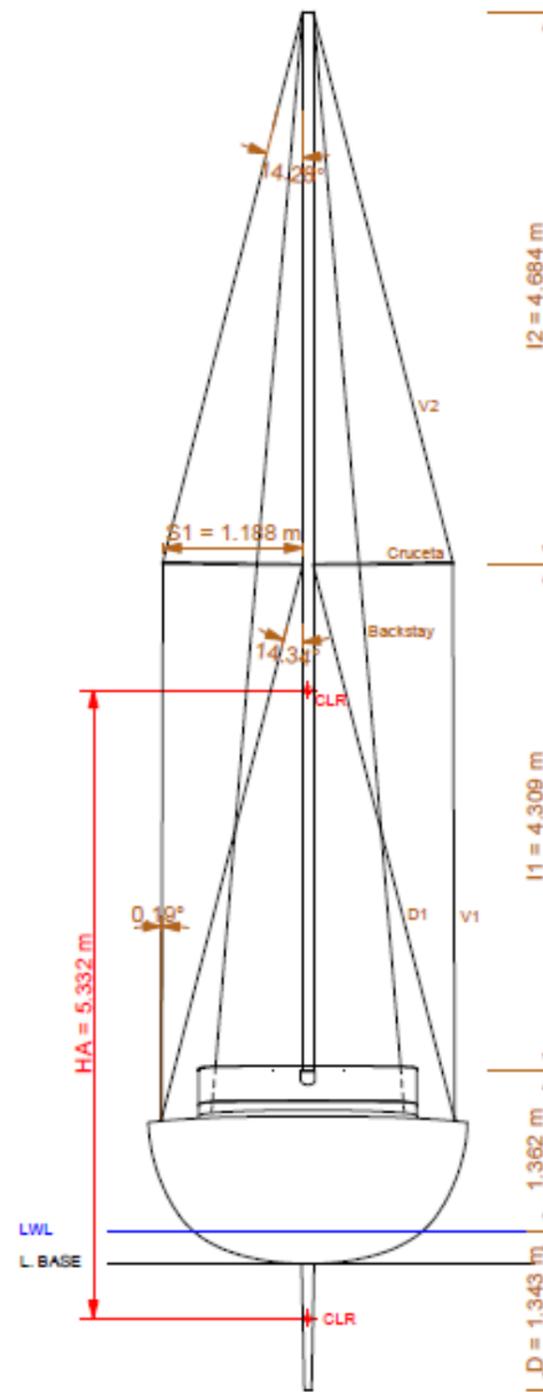
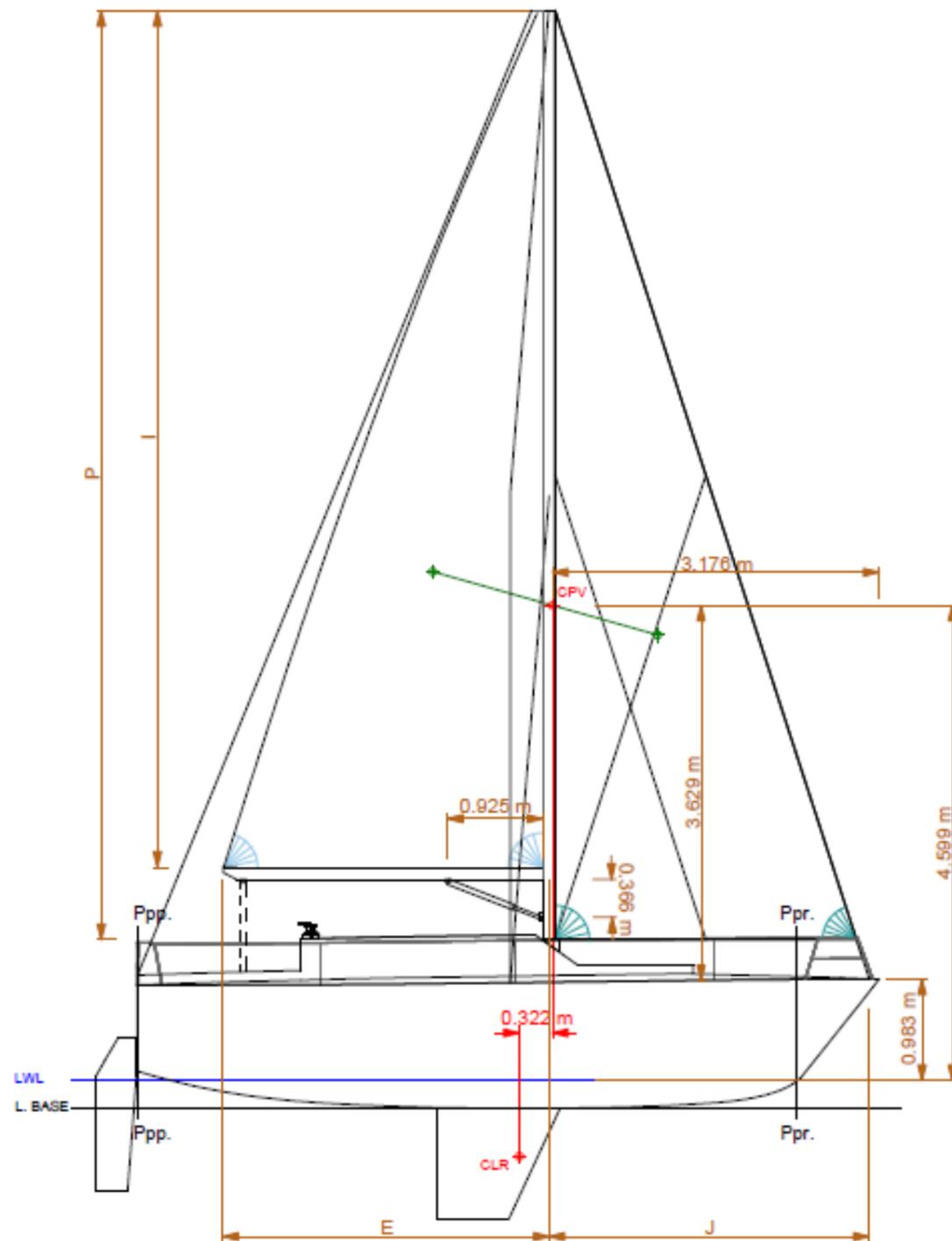
Autor: Mario Villarroya Morales  
Tutor: José Esteban Otón Tortosa



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Eslora Total	7,210 m
Eslora entre perpendiculares	6,413 m
Calado	1,343 m
Manga máxima	1,931 m
Desplazamiento	1450 Kg
Lastre	400 Kg
Superficie vélica	30,15 m <sup>2</sup>
Categoría de diseño	B

CARACTERÍSTICAS DE TRAZADO	
Separación entre líneas de agua	0,180 m en obra muerta
Separación entre líneas de agua	0,090 m en obra viva
Separación entre secciones	0,534 m
Separación entre longitudinales	0,200 m

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		
VELERO CRUCERO DE 23.5 ft, CATEGORÍA DE DISEÑO "C", MARCADO CE		
PLANO DE FORMAS		
ESCALA 1:30	GRADO: GANISM	
	FECHA: 22/09/2018	
		FOO. MARIO VILLARROYA MORALES



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Eslora Total	7,210 m
Eslora entre perpendiculares	6,413 m
Calado	1,343 m
Manga máxima	1,931 m
Desplazamiento	1450 Kg
Lastre	400 Kg
Superficie vélica	30,15 m <sup>2</sup>
Categoría de diseño	B

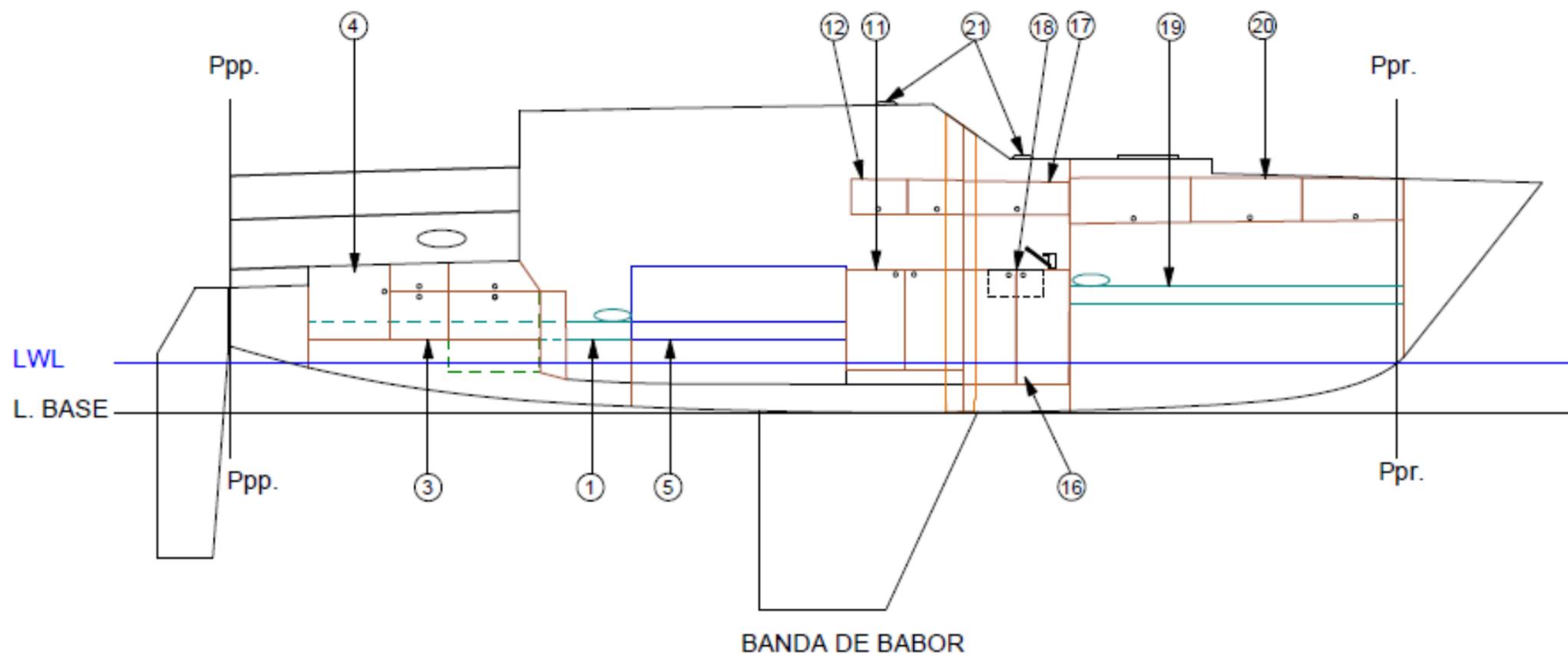
DIMENSIONES DEL PLANO VÉLICO			
I	8,993 m	SA Total	30,15 m
J	3,112 m	Mayor	13,79 m <sup>2</sup>
P	8,291 m	Génova 100%	13,63 m <sup>2</sup>
E	3,169 m	Génova 120%	16,36 m <sup>2</sup>

DIMENSIONES DE LA JARCIA			
Disposición	Diámetro (mm)	Cara de rotura (KN)	Peso (Kg/m)
PD1	2,000	2,940	0,020
PD2	3,000	7,420	0,045
PV1	2,500	5,150	0,031
Pfo	5,000	20,600	0,124
Pa	3,000	7,420	0,045

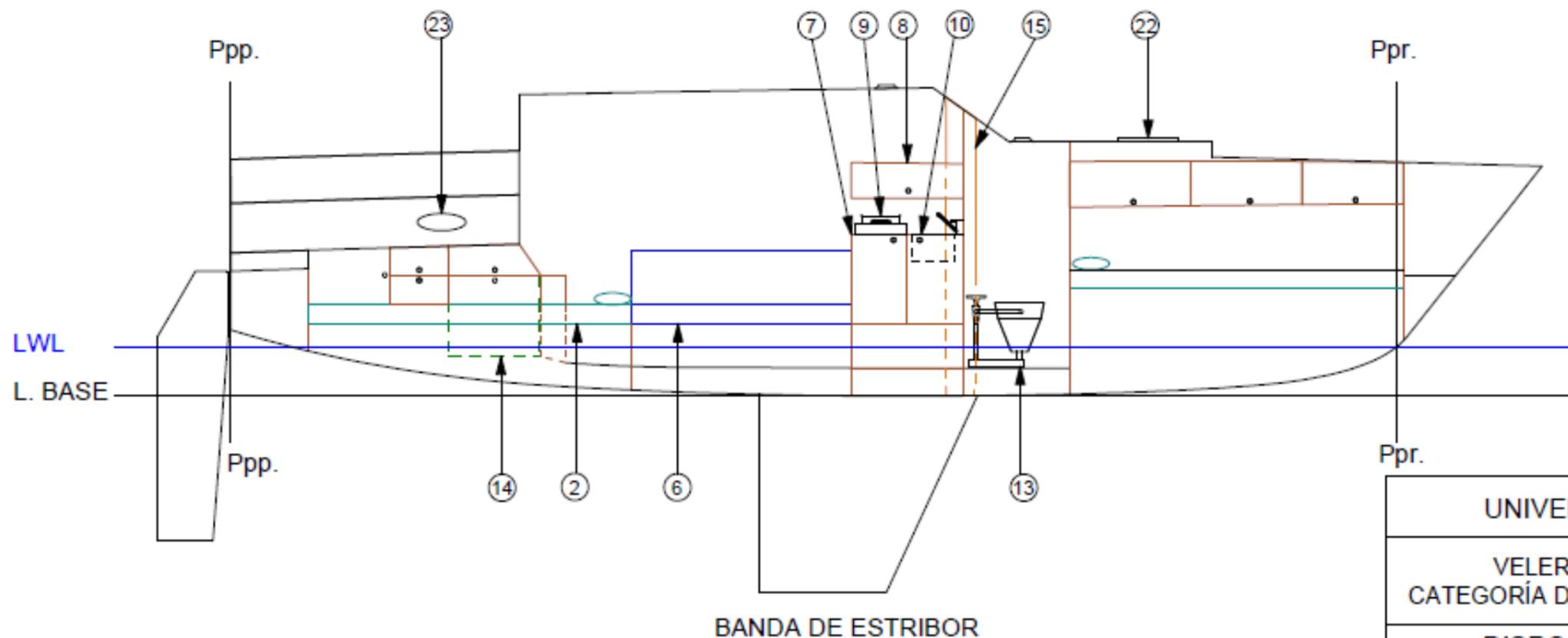
DIMENSIONES DE LA JARCIA			
Mástil			
SMy (cm <sup>3</sup> )	29,0	SMy (cm <sup>3</sup> )	24,8
SMx (cm <sup>3</sup> )	21,5	SMx (cm <sup>3</sup> )	13,7
Espesor (mm)	2,5	Espesor (mm)	1,8
Dim. x/y (mm)	130/93	Dim. x/y (mm)	120/62
P (kg/m)	2,71	P (kg/m)	2,16

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA	
VELERO CRUCERO DE 23.5 ft, CATEGORÍA DE DISEÑO "C", MARCADO CE	
PLANO VÉLICO	
ESCALA 1:60	GRADO: GANISM FECHA: 22/09/2018

FOO. MARIO VILLARROYA MORALES



1	Cama de babor
2	Cama de estribor
3	Armario de popa
4	Almacenaje de cubierta
5	Sofá de babor
6	Sofá de estribor
7	Mueble de cocina
8	Mueble alto de cocina
9	Cocina de gas
10	Fregadero
11	Mesa de cartas
12	Mueble alto del salón
13	WC con bomba manual
14	Nevera
15	Mecha del mástil
16	Mueble del aseo
17	Mueble alto del aseo
18	Lavabo con seno de plástico
19	Camarote de proa
20	Mueble alto del camarote
21	Aireador de cubierta
22	Escotilla
23	Portillo



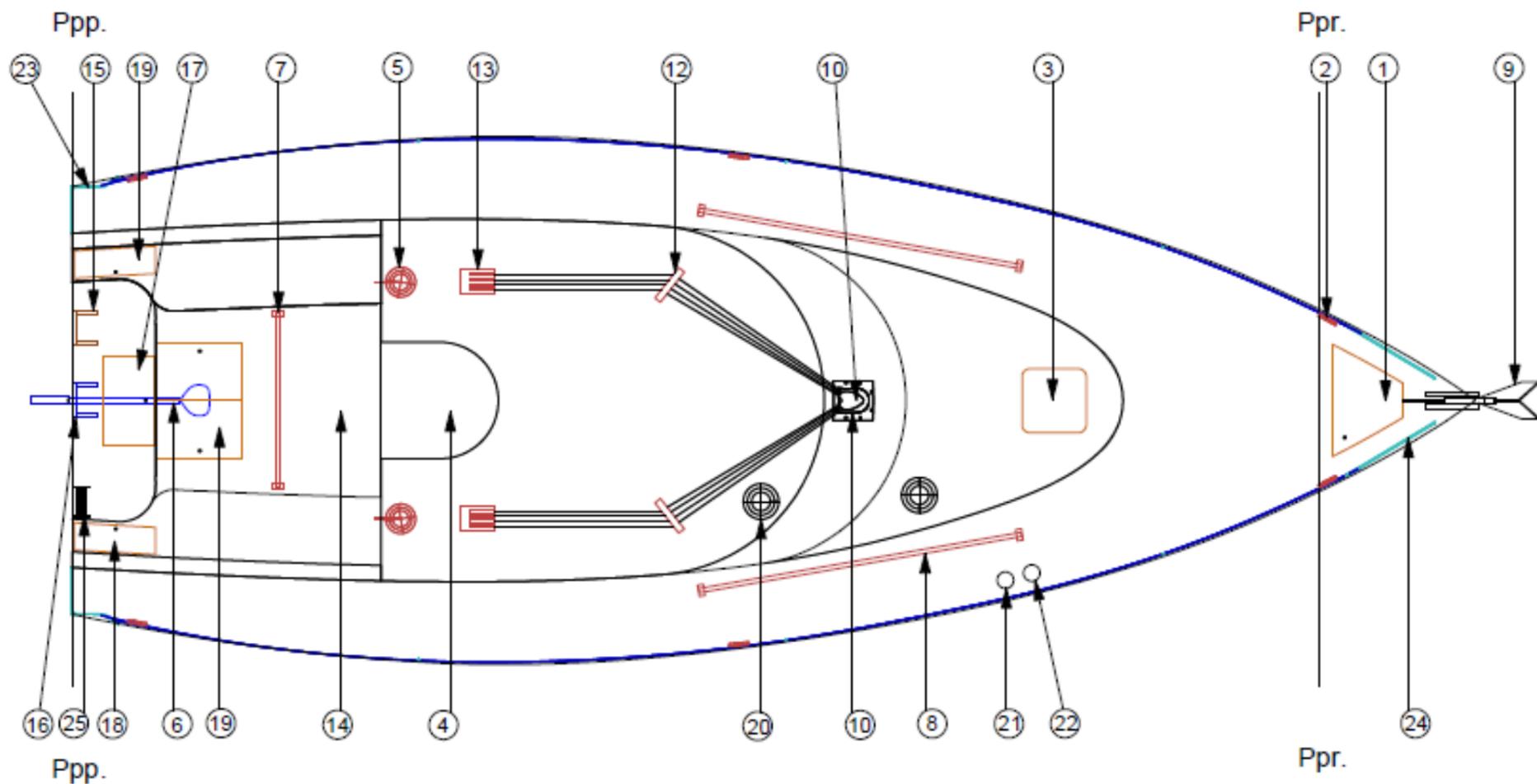
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Eslora Total	7,210 m
Eslora entre perpendiculares	6,413 m
Calado	1,343 m
Manga máxima	1,931 m
Desplazamiento	1450 Kg
Lastre	400 Kg
Superficie vélica	30,15 m <sup>2</sup>
Categoría de diseño	B

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

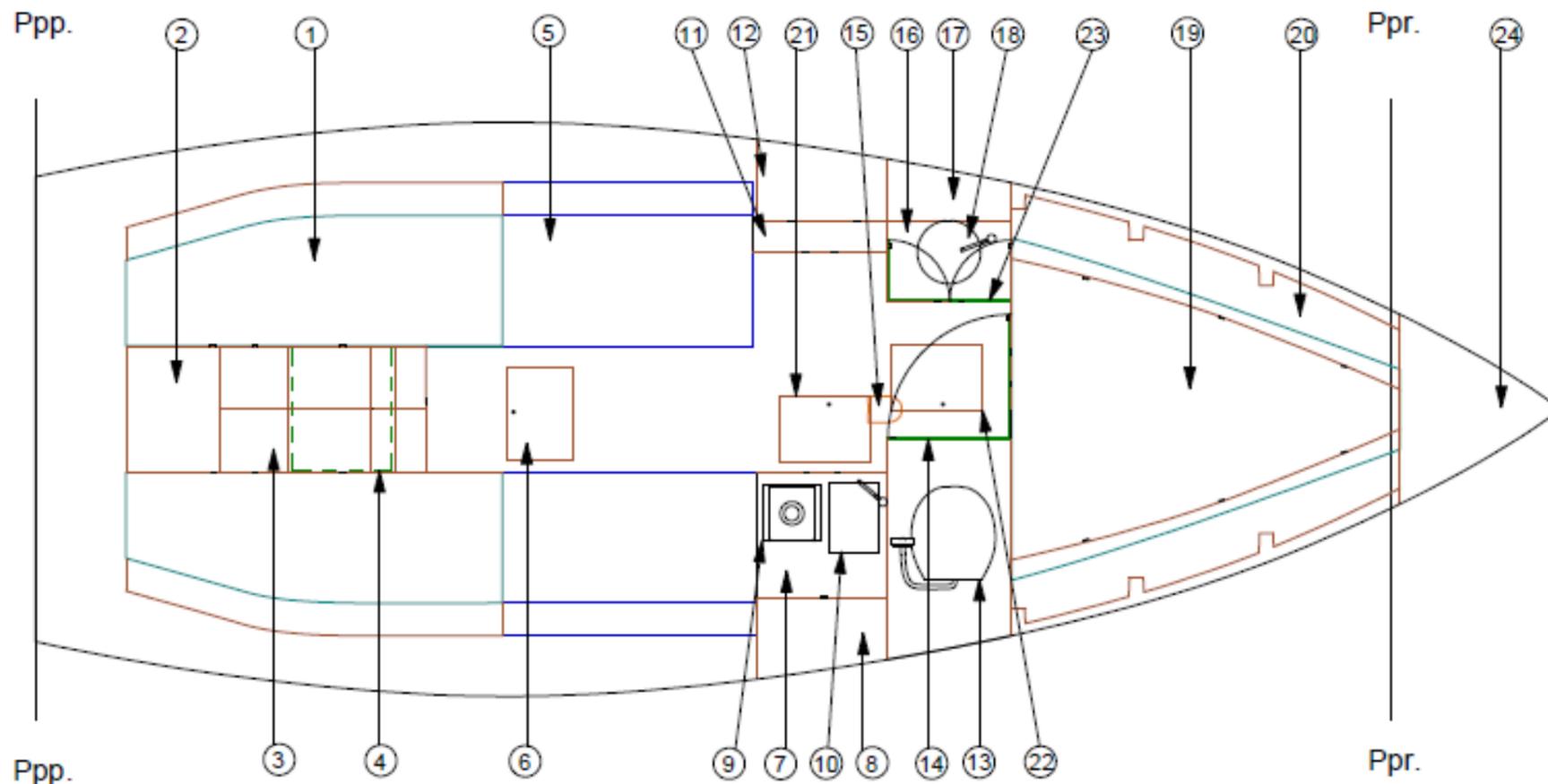
VELERO CRUCERO DE 23.5 ft,  
CATEGORÍA DE DISEÑO "C", MARCADO CE

DISPOSICIÓN GENERAL - 1

ESCALA 1:30	GRADO:	GANISM
	FECHA:	22/09/2018



1	Pozo de anclas	13	Stoppers cuadruples
2	Cornamusas	14	Bañera
3	Escotilla	15	Soporte motor fueraborda
4	Escotilla acceso al interior	16	Soporte del timón
5	Winches	17	Cofre del tanque comb.
6	Caña del timón	18	Cofre de la bomba manual
7	Carro de la mayor	19	Cofre
8	Carros del génova	20	Aireación
9	Cadena	21	Aireación depósito A.N.
10	Mástil	22	Conexión a tierra A.N.
11	Soporte del mástil	23	Púlpitos de popa
12	Desviadriza	24	Púlpitos de proa
		25	Escalera de baño



1	Cama	13	WC con bomba manual
2	Almacenaje de cubierta	14	Puerta del baño
3	Armario de popa	15	Mecha del mástil
4	Nevera	16	Mueble del aseo
5	Sofá	17	Mueble alto del aseo
6	Espacio para almacenaje	18	Lavabo con seno de plástico
7	Mueble de cocina	19	Camarote de proa
8	Mueble alto de cocina	20	Mueble alto del camarote
9	Cocina de gas	21	Acceso bomba de sentina
10	Fregadero	22	Acceso bombas A.D. y A.N.
11	Mesa de cartas	23	Puerta del aseo
12	Mueble alto del salón	24	Caja de cadenas

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

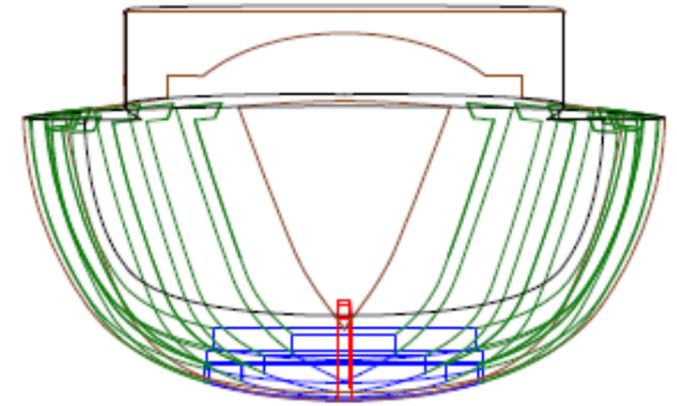
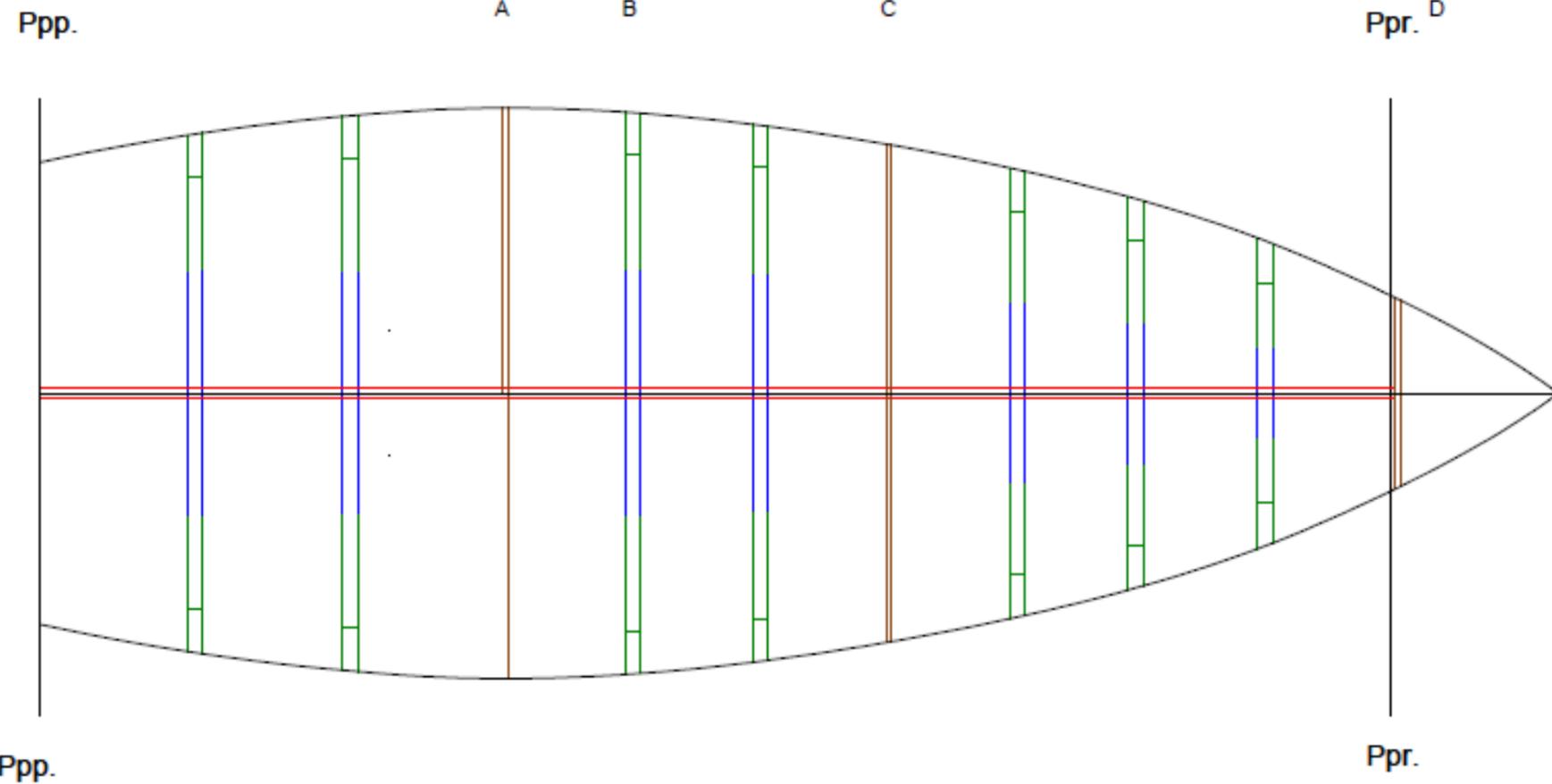
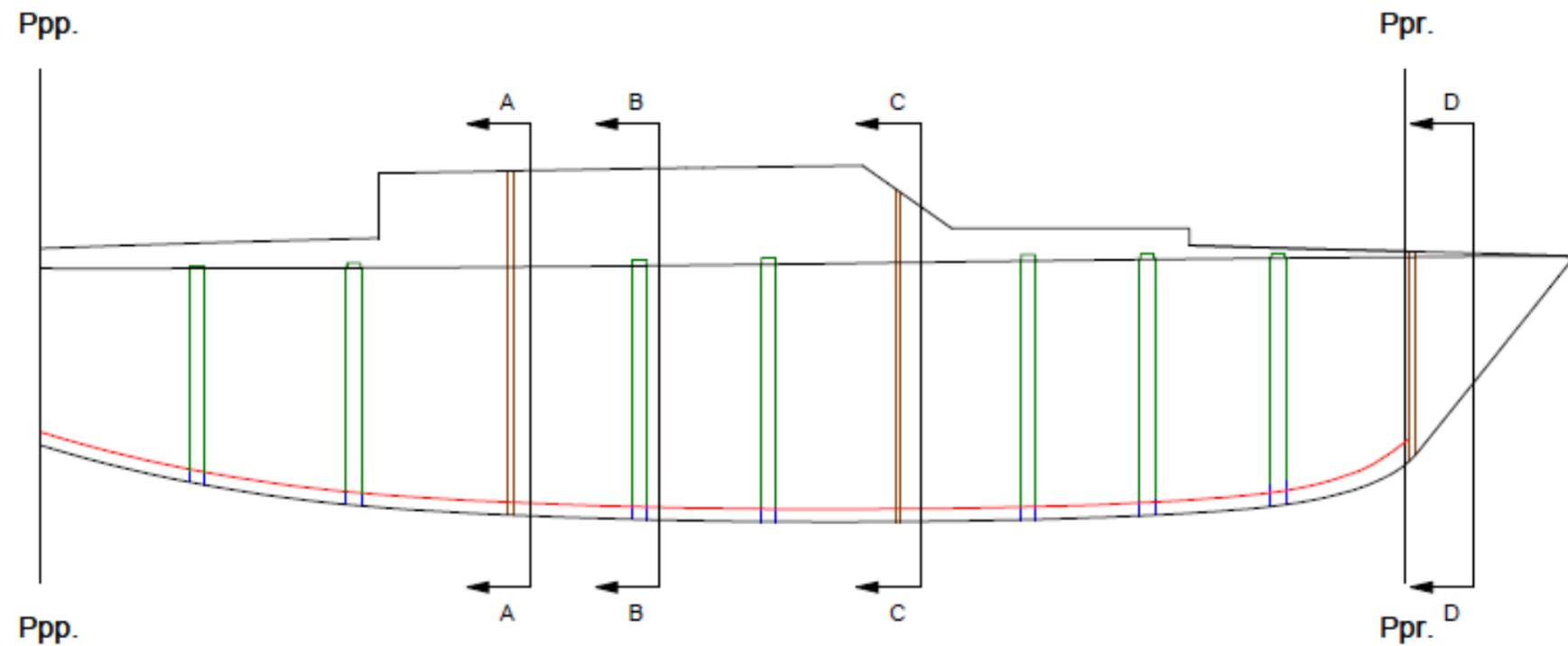
VELERO CRUCERO DE 23.5 ft,  
CATEGORÍA DE DISEÑO "C", MARCADO CE

PLANO DE DISPOSICIÓN GENERAL - 2

ESCALA  
1:30

GRADO: GANISM  
FECHA: 22/09/2018

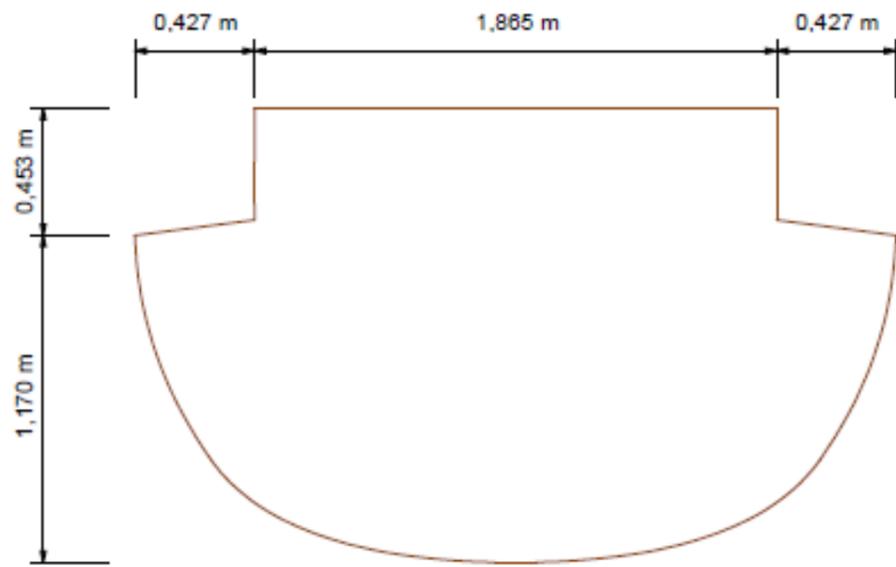
FDO. MARIO VILLARROYA MORALES



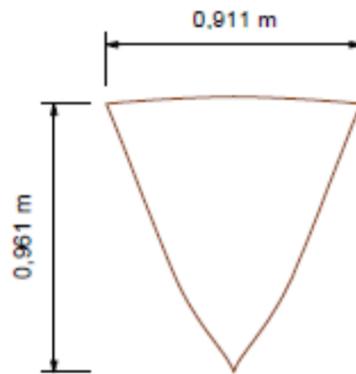
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Eslora Total	7,210 m
Eslora entre perpendiculares	6,413 m
Calado	1,343 m
Manga máxima	1,931 m
Desplazamiento	1450 Kg
Lastre	400 Kg
Superficie vélica	30,15 m <sup>2</sup>
Categoría de diseño	B

ELEMENTOS ESTRUCTURALES	
Cuadernas	Verde
Mamparos	Marrón
Varengas	Azul
Quilla	Rojo

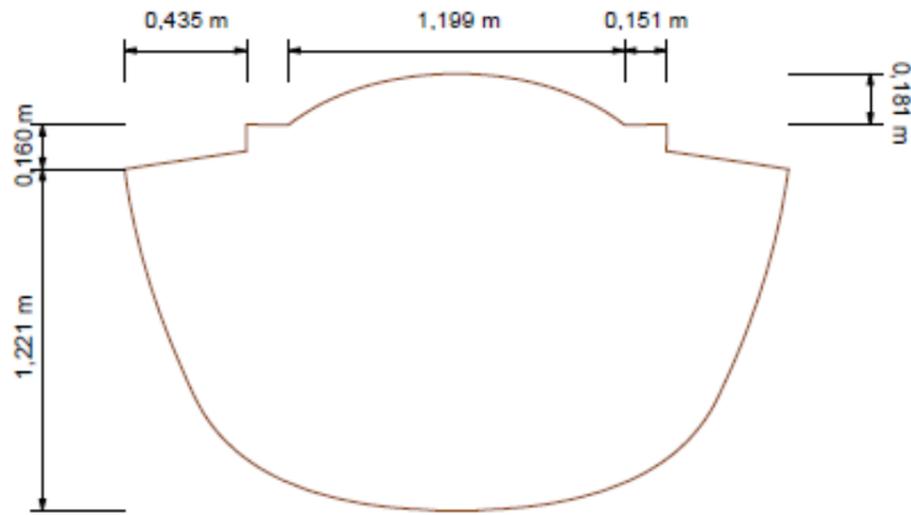
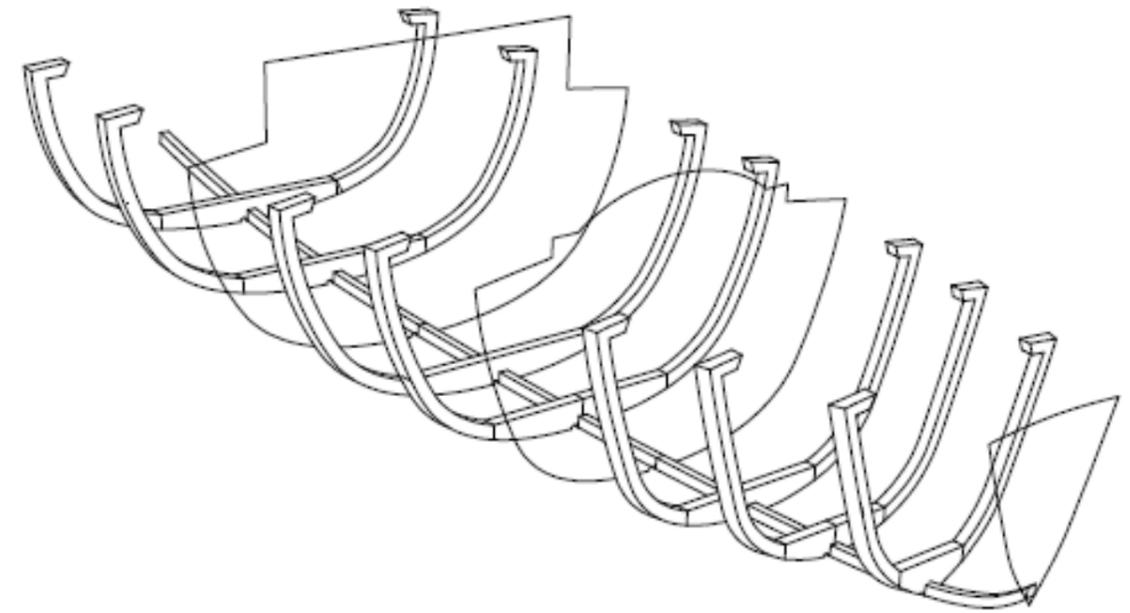
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		
VELERO CRUCERO DE 23.5 ft, CATEGORÍA DE DISEÑO "C", MARCADO CE		
PLANO DE DISPOSICIÓN DE LOS REFUERZOS DE CONSTRUCCIÓN		
ESCALA 1:30	GRADO: GANISM	FECHA: 22/09/2018
		FOO. MARIO VILLARROYA MORALES



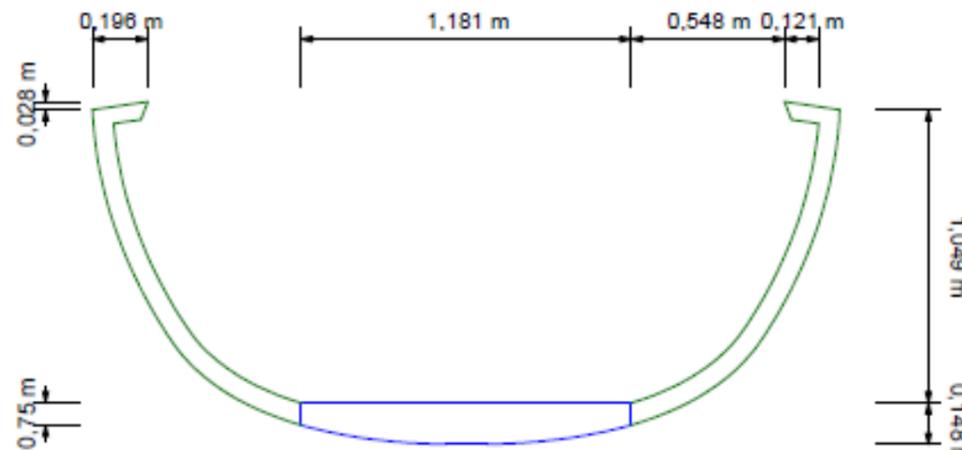
MAMPARO 1  
SECCIÓN A-A



MAMPARO 3  
SECCIÓN D-D

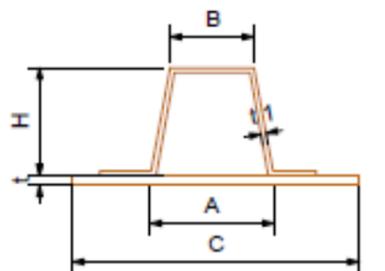


MAMPARO 2  
SECCIÓN C-C



CUADERNA MAESTRA  
SECCIÓN B-B

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Eslora Total	7,210 m
Eslora entre perpendiculares	6,413 m
Calado	1,343 m
Manga máxima	1,931 m
Desplazamiento	1450 Kg
Lastre	400 Kg
Superficie vélica	30,15 m <sup>2</sup>
Categoría de diseño	B



Esquema refuerzo sombrero de copa

REFUERZO	A (mm)	B (mm)	C (mm)	H (mm)	t1 (mm)	t (mm)	SM (cm <sup>3</sup> )
Cuaderna	75,00	65,00	188,60	75,00	2,18	5,68	22,80
Quilla	60,00	50,00	173,60	60,00	2,18	5,68	14,50
Varenga	75,00	65,00	169,20	75,00	2,18	5,68	22,80

REFUERZO	espesor del núcleo, T (mm)	espesor del laminado exterior, T1 (mm)
Mamparo	18,00	3,32



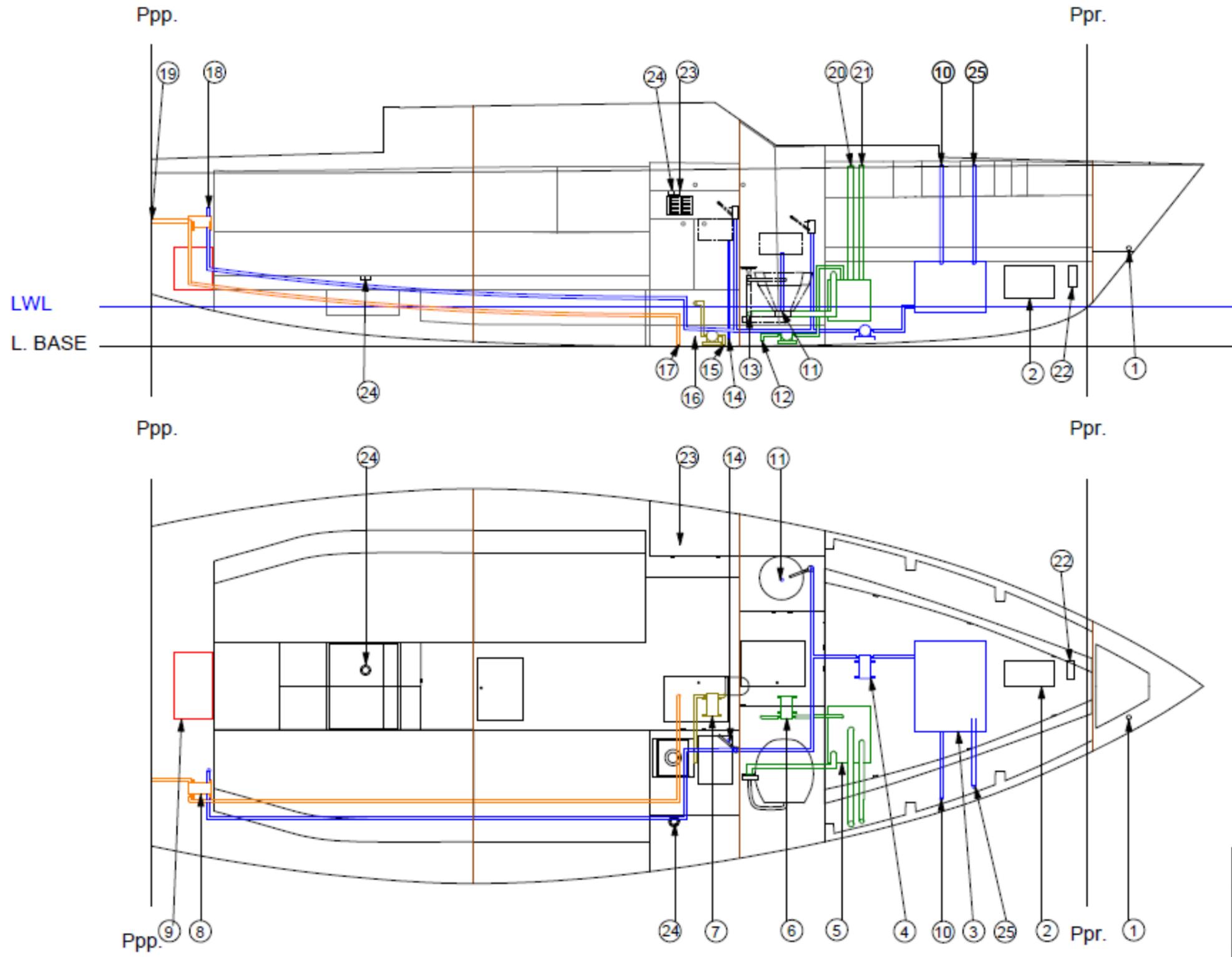
Esquema refuerzo tipo sandwich

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

VELERO CRUCERO DE 23.5 ft,  
CATEGORÍA DE DISEÑO "C", MARCADO CE

PLANO SECCIONES DE LA CUADERNA MAESTRA Y MAMPAROS

ESCALA	GRADO:	GANISM
1:25	FECHA:	22/09/2018



1	Salida agua del pozo de anclas
2	Batería de servicio
3	Depósito de agua dulce
4	Bomba de presión de agua
5	Depósito de aguas negras
6	Bomba desmenuzadora
7	Bomba eléctrica de sentina
8	Bomba manual de sentina
9	Depósito de combustible
10	Boca de llenado del depósito
11	Salida agua del aseo al mar
12	Salida aguas negras al mar
13	Aspiración agua salada al WC
14	Salida agua de la cocina al mar
15	Aspiración agua de sentina
16	Salida agua de sentina al mar
17	Aspiración agua de sentina
18	Conexión con la ducha
19	Salida agua de sentina al mar
20	Aireación del depósito
21	Conexión universal a tierra
22	Cargador batería de servicio
23	Cuadro eléctrico principal
24	Sist. detección incendios y gases
25	Atmosférico del tanque de a. d.

Equipos y Sistemas	
Sistema de Aguas Negras	Verde
Sistema de achique manual	Marrón
Sistema de Agua Dulce	Azul
Combustible	Rojo
Sistema de achique eléctrico	Marrón

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		
VELERO CRUCERO DE 23.5 ft, CATEGORÍA DE DISEÑO "C", MERCADO CE		
PLANO DE EQUIPOS Y SISTEMAS		
ESCALA 1:30	GRADO: FECHA:	GANISM 22/09/2018
FOO. MARIO VILLARROYA MORALES		

## ***Conclusiones***

Velero crucero de 23.5 pies con Categoría “C” de Diseño de embarcaciones CE



Autor: Mario Villarroya Morales  
Tutor: José Esteban Otón Tortosa

Para concluir este proyecto y en base a lo citado en la introducción de éste, se analizarán los resultados obtenidos a lo largo del trabajo, contrastándolos con los objetivos que inicialmente se habían establecido y así proponer algunos aspectos a tener en cuenta para una segunda etapa de diseño preliminar, mejorando la eficiencia de la embarcación en todos los aspectos.

Una de las fases más importantes del proyecto es el diseño de las formas, las cuales están íntimamente relacionadas con la resistencia al avance, estabilidad, desplazamiento, entre otros. En el caso del velero de 23.5 pies, se han diseñado unas formas llenas, las cuales no favorecen a la navegación de este embarcación. Por ello, en la segunda etapa de diseño se deberán tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Se reducirá la manga alrededor de 35-40 cm
- El ángulo de ataque en proa se reducirá a un valor de entre 5 y 7°.
- Las formas en la obra viva deberán ser menos redondeadas, disminuyendo la resistencia al avance.

Referente al diseño de la caseta, se concluye que ha conseguido dar mayor altura al interior del velero, mejorando así la habitabilidad. Sin embargo, alargando el diseño de la caseta, en el sentido longitudinal hacia proa, se conseguiría que el mástil estuviera apoyado sobre una superficie plana, evitando así la colocación de la base del mástil.

Respecto al cálculo y diseño del escantillonado, el peso del laminado del casco se considera óptimo, ya que los cálculos han sido rigurosos y se han conseguido espesores razonables. En cuanto a los refuerzos, a la vista de los resultados, se dispondrán de 4 cuadernas y 4 mamparos, comparando esta disposición con la del proyecto actual y se analizará cuál de ellas será la más idónea.

Las demás fases del proyecto dependen principalmente de lo citado en los párrafos anteriores, por lo que, una vez realizadas las modificaciones, se deberá estudiar si es posible optimizar los equipos y sistemas, los pesos que llevará a bordo en las distintas condiciones de carga, etc.

Para finalizar, y mencionando el trabajo realizado desde un punto de vista personal, las dificultades que han surgido a lo largo del proyecto en gran parte han sido debidas al desconocimiento sobre las embarcaciones de recreo, particularmente de los veleros, como equipos a instalar, funcionamiento del plano vélico y sistemas, tipos de orzas y timón, etc.

Además, al afrontar un proyecto de tal envergadura encontré la dificultad de que únicamente no era viable trabajar con un capítulo sin tener en cuenta los

demás, por lo que de forma continua se debían de hacer modificaciones de fases anteriores y posteriores del proyecto respecto a la que se tenía entre manos.

A lo largo de estos meses adopté un método de trabajo que permitía una organización más eficiente, trabajando con hasta tres y cuatro capítulos, obteniendo mejores resultados en las distintas fases del proyecto, sin la necesidad de recurrir a grandes modificaciones que son las propias de las etapas de diseño posteriores.

## ***Bibliografía***

Velero crucero de 23.5 pies con Categoría “C” de Diseño  
de embarcaciones CE



Autor: Mario Villarroya Morales  
Tutor: José Esteban Otón Tortosa

- Apuntes del Grado en Arquitectura Naval e Ingeniería de Sistemas Marinos
- Libro: "Principles of Yacht Design", Lars Larsson y Rolf E Eliasson, Segunda Edición
- Norma ISO UNE-EN 12215-5: 2008, Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación del escantillón.
- Norma ISO UNE-EN 12215-6: 2008, Dispositivos estructurales y detalles de construcción.
- Norma UNE-EN ISO 12217-2: 2002, Embarcaciones propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6 metros.
- Norma UNE-EN ISO 8666: 2003, Datos principales
- Software ISO 12215-5, Module 2, GRP-Sail
- ORDEN FOM/1144/2003 del 28 de Abril, con las modificaciones introducidas por la ORDEN FOM/1076/2006 del 29 de Marzo
- Manual del usuario de Maxsurf Modeler, Stability y Resistance
- Manual del usuario de Rhinoceros
- Manuales de fabricantes: Beneteau, Tarsis, Egeyat, Yatlant, Sunbeam, etc.
- [www.yamaha-motor.eu/](http://www.yamaha-motor.eu/)
- [www.mercurymarine.com/es/europe/](http://www.mercurymarine.com/es/europe/)
- [www.honda-marine.es/](http://www.honda-marine.es/)
- [www.suzukimarine.com/](http://www.suzukimarine.com/)
- [www.publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/view/4/106](http://www.publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/view/4/106)
- [www.svb-marine.es/](http://www.svb-marine.es/)
- [www.gestenaal.com/descargas/estabilidad\\_veleros.pdf](http://www.gestenaal.com/descargas/estabilidad_veleros.pdf)
- [www.cosasdebarcos.com/](http://www.cosasdebarcos.com/)
- [www.topbarcos.com/](http://www.topbarcos.com/)

