

# Diseño de un velero de concepto crucero-regata de 31 pies

---

Proyecto Final de Carrera

**Autor:** Daniel Sánchez Moreno

**Titulación:** Ingeniería Técnica Naval especializada  
en propulsión y servicios del buque

**Director:** Alejandro Besednjak Dietrich

**Curso:** 2013-2014

**Cuadrimestre:** Otoño



### **Agradecimientos...**

*A mi abuelo, por inculcarme la pasión  
por el mar y los barcos.*

*A mis padres, por el apoyo que me  
han dado durante la carrera.*

*A mi director de proyecto, Alejandro  
Besednjak, por su dedicación y  
tiempo dedicado.*



# ÍNDICE

---

<b>Introducción</b> .....	<b>5</b>
<b>Especificación técnica</b> .....	<b>6</b>
<b>Estudio estadístico</b> .....	<b>8</b>
<b>Diseño de la carena</b> .....	<b>12</b>
Coeficientes y formas de los veleros .....	13
Dimensiones principales .....	17
<b>Diseño de apéndices</b> .....	<b>21</b>
Aplicación de la aerodinámica a la navegación a vela .....	21
Efectos de la componente transversal .....	23
Diseño de la orza .....	24
Cálculo de los pernos .....	29
Diseño del timón .....	31
<b>Acomodación interior</b> .....	<b>33</b>
Sentinas .....	33
Distribución interior .....	34
<b>Diseño de la cubierta</b> .....	<b>36</b>
Jarcia firme .....	37
Hardware de cubierta .....	40
<b>Diseño del plano vélico</b> .....	<b>44</b>
Tipo de aparejo .....	44
Distribución de la superficie vélica .....	45
Equilibrio vélico .....	49
Diseño del aparejo .....	51
Casos de estudio .....	54
Cálculo de las fuerzas en los obenques .....	57
Cálculo de las fuerzas en los stays .....	58



Cálculo del mástil .....	59
Cálculo de la botavara .....	62
Cálculo de las crucetas .....	63
Secciones y cableado de la jarcia .....	65
<b>Diseño estructural y escantillonado .....</b>	<b>68</b>
Presiones y escantillonado en el casco .....	69
Presiones y escantillonado en la cubierta .....	72
Presiones y escantillonado en la cubierta .....	77
<b>Balance eléctrico .....</b>	<b>90</b>
<b>Sistemas auxiliares .....</b>	<b>94</b>
Sistema de achique .....	94
Sistema de agua dulce .....	94
Sistema de combustible .....	95
Sistema eléctrico .....	96
Sistema aguas negras .....	96
<b>Cálculo de pesos y CDG .....</b>	<b>98</b>
<b>Estudio de estabilidad .....</b>	<b>102</b>
<b>Consideraciones medioambientales .....</b>	<b>108</b>
<b>Valoración económica.....</b>	<b>109</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>111</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>113</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>114</b>
Anexo I: Plano de formas .....	115
Anexo II: Plano de acomodación interior .....	117
Anexo III: Plano vélico .....	119
Anexo IV: Plano estructural .....	121
Anexo V: Planos de sistemas .....	123



## INTRODUCCIÓN

---

El presente proyecto tiene como principal objetivo el desarrollo del diseño de una embarcación de vela de 31 pies de eslora según los requisitos propuestos por un cliente tipo.

Se pretende, mediante la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la carrera y la normativa vigente (en este caso la ISO), diseñar un velero que aún satisfaciendo las necesidades del cliente cumpla con los parámetros actuales que definen a este tipo de embarcaciones a nivel estético, de performance y funcionalidad.

Se ha optado por un concepto de compromiso que permite adaptarse a un amplio espectro de planes de navegación como es el crucero-regata. Se trata de una embarcación que permite salidas de día y pequeñas estancias de fin de semana (concepto de crucero), y que a la vez permite obtener buenos resultados en regatas de club y regatas de corta-media distancia tipo "Ruta de la Sal".

La principal motivación que lleva al desarrollo de este proyecto es el obtener al finalizar el mismo una guía sólida, puesto que el trabajo es tutelado por un profesor y profesional del sector, que permita afrontar de forma más experimentada una vida laboral ligada al diseño de embarcaciones de recreo.



## ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

---

La embarcación a diseñar debe cumplir con ciertos requisitos citados por el cliente, que en la medida de lo posible deberán ser satisfechos. El hecho de que un usuario opte por acudir a un ingeniero o arquitecto para la obtención de una embarcación, en vez de hacerse con un modelo de los múltiples existentes y comercialmente conocidos ( First 30 o Sun Fast 3200 por ejemplo), obliga al diseñador a ofrecerle un producto personal y diferenciador, con lo será necesario ponerse en la piel del cliente.

El cliente tipo que se atenderá para el desarrollo del proyecto corresponde con el siguiente perfil: persona de mediana edad, interesado en una embarcación de unos 9 metros de eslora destinada al daysailing principalmente y con ciertas prestaciones regateras. Un barco que sin ser exigente permita ofrecer ciertas dosis de adrenalina.

La embarcación a diseñar será un velero de concepto cruce-ro-regata de categoría de diseño tipo B, apta para navegar en aguas litorales desde la costa hasta una línea paralela a la misma trazada a 60 millas, con una acomodación interior para 4 personas. La categoría de diseño tipo B permite navegar con seguridad con vientos de hasta 74 Km/h y una altura significativa de olas de hasta 4 metros.

En el diseño de la embarcación se buscará la comodidad de maniobra en cubierta complementada con una popa abierta al mar que aumenta el espacio útil y permite un acceso directo a mar. A nivel interior las exigencias no son nada especiales, debe ofrecerse un espacio amplio y limpio en la medida de lo posible para esta eslora.

El cliente ya dispone de un amarre en la marina de Empuriabrava cuyas dimensiones son 9.5 metros de eslora y 3.3 m de manga. La característica fundamental es que el mismo se encuentra delimitado por dos postes, con lo que no puede excederse la manga de la embarcación en más de esos 3.3 m. La idea del cliente es maximizar las medidas del velero todo lo posible. El calado de la zona de amarre de la embarcación se encuentra sobre los 2.5 m.



La disposición general de la embarcación exigida por el cliente comprende los siguientes espacios:

- 2 camarotes independientes.
- Baño equipado con lavabo, WC y ducha.
- Cocina equipada con hornillo y nevera.
- Salón con buena acomodación para 4 personas.
- Mesa de Cartas.



Fig. 1 - Toma aérea de Empuriabrava



## ESTUDIO ESTADÍSTICO

El objetivo del estudio estadístico es poder obtener un baremo de referencia en cuanto a medidas y relaciones adimensionales que permiten evaluar y obtener las dimensiones teóricas sobre las cuales se debiera mover el proyecto en cuestión. Para la realización del estudio se toman todos los datos técnicos posibles de una serie de veleros de mismo concepto y eslora próxima a la de la embarcación a diseñar. Analizando la base de datos obtenida se obtienen unos valores máximos y mínimos para cada dimensión y relación adimensional que sirven para ayudar a determinar las dimensiones principales del barco.

Existen ya bases de datos de embarcaciones realizadas por otros gabinetes de diseño, arquitectos navales, ingenieros, etc., que ante la disyuntiva de diseñar una embarcación dedicaron tiempo y esfuerzo a la recopilación de dichos datos. En ese sentido, si la embarcación a diseñar se ajusta a las características de estas bases de datos ya realizadas es de gran utilidad su uso y ahorra esfuerzo y tiempo en la consecución del proyecto. Hay incluso gráficas elaboradas para las diversas dimensiones y relaciones adimensionales normalmente estudiadas que permiten evaluar de forma rápida si los datos obtenidos para el diseño se encuentran dentro de los márgenes habituales.

A continuación se exponen diversas gráficas que son de utilidad.

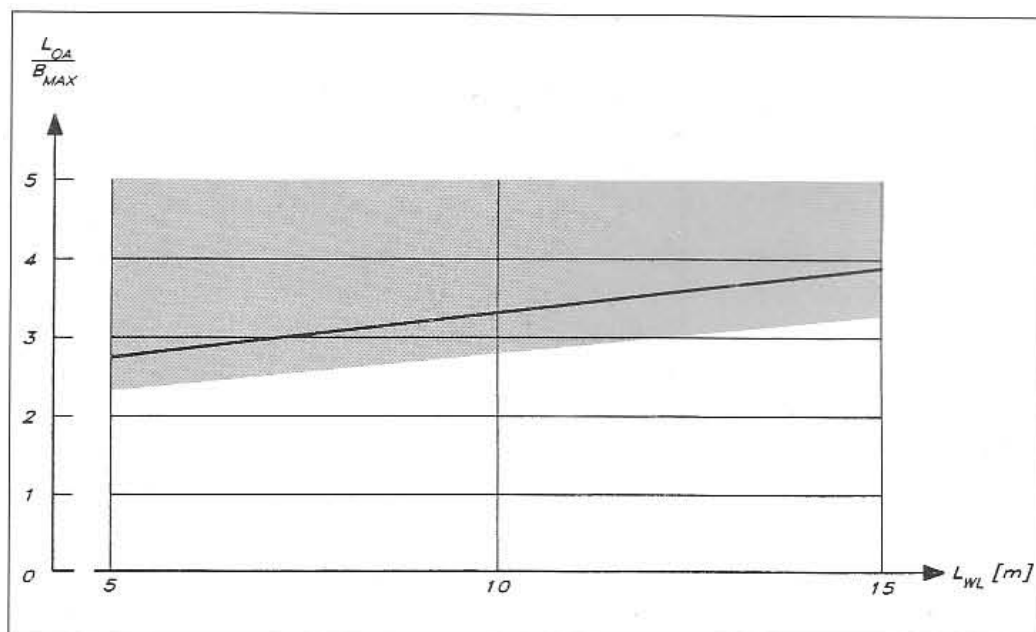


Fig. 2 - Relación Eslora Total/Manga vs Eslora en flotación



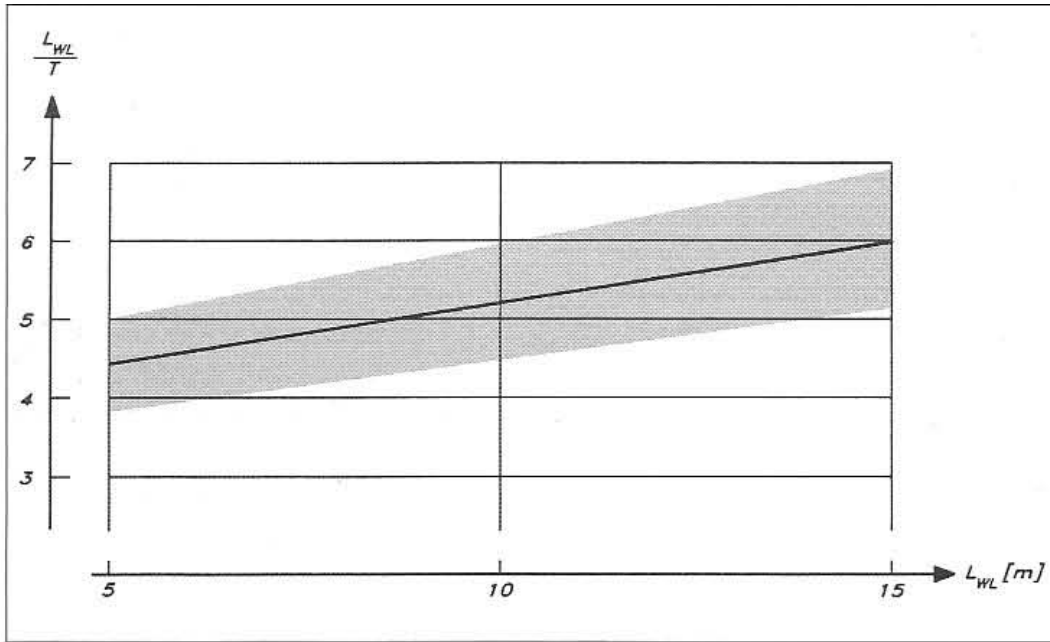


Fig. 3 - Relación Eslora en flotación/Calado total vs Eslora en flotación

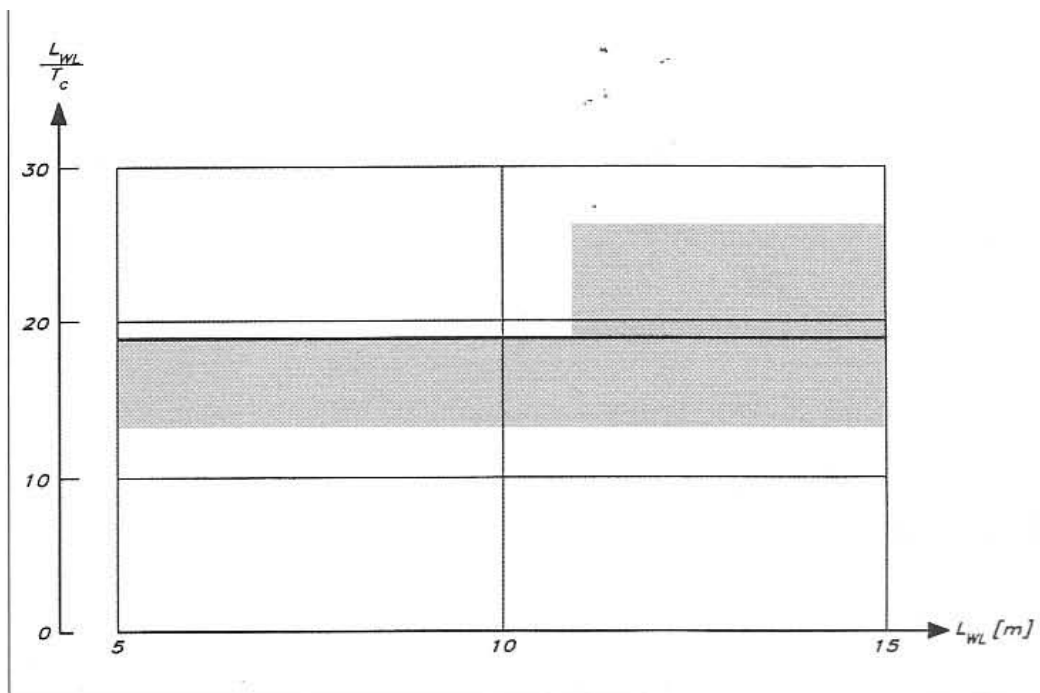


Fig. 4 - Relación Eslora en flotación/Calado de casco vs Eslora en flotación

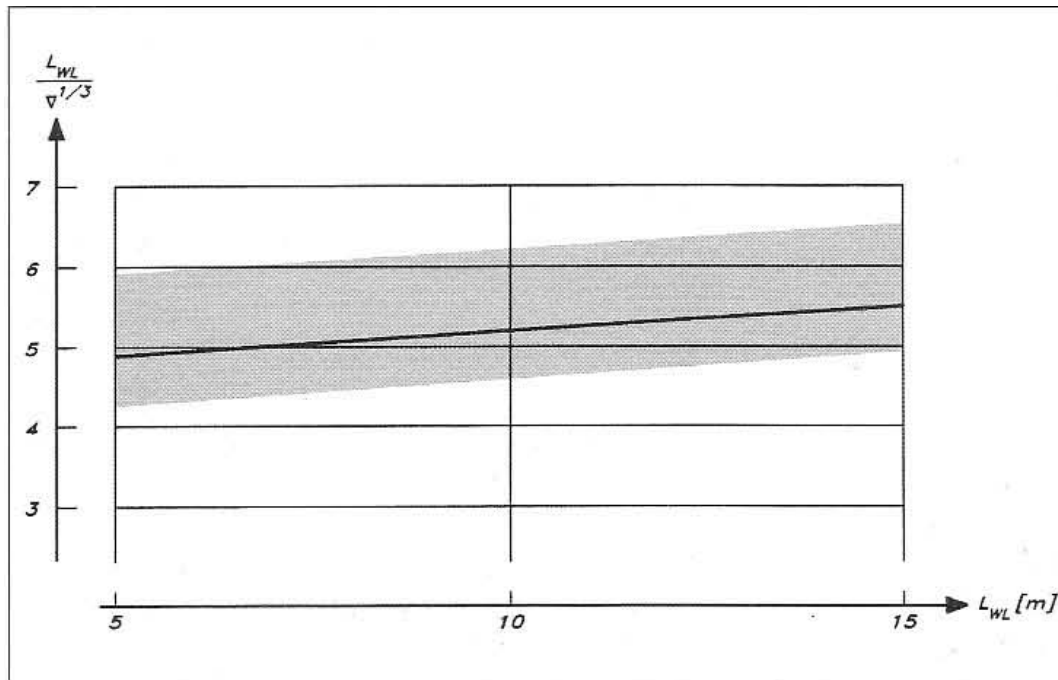


Fig. 5 - Relación Eslora en flotación/Desplazamiento vs Eslora en flotación

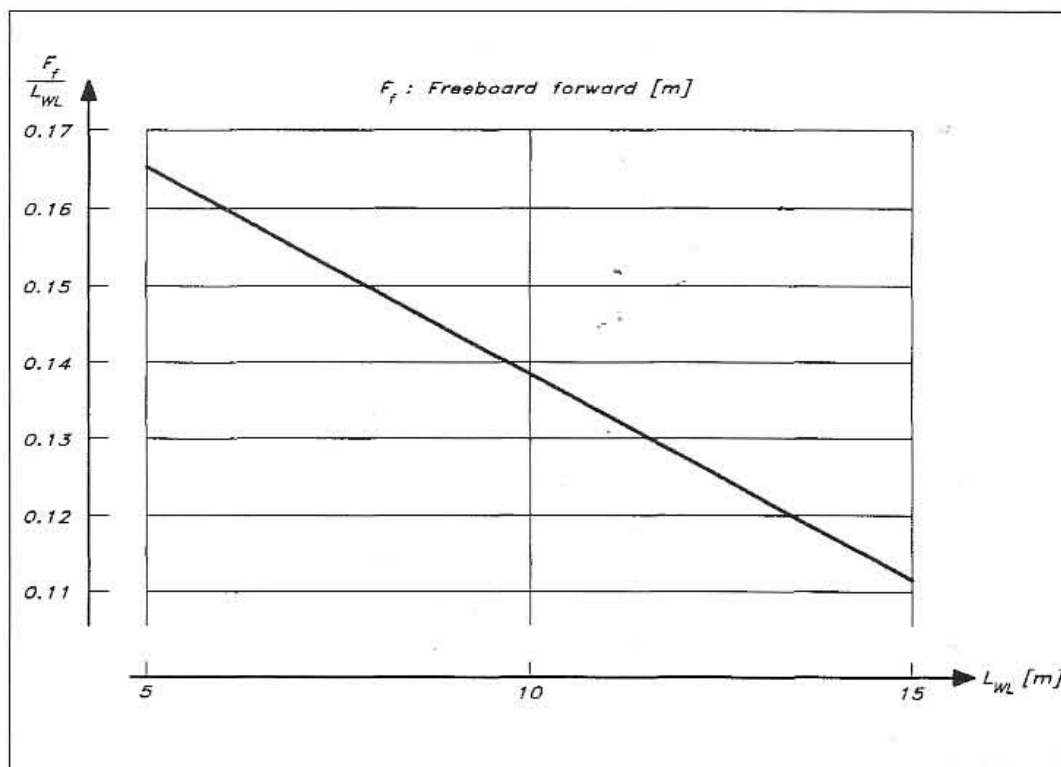


Fig. 6 - Relación Francobordo/Eslora en flotación vs Eslora en flotación

Obviamente estas gráficas solo son representativas de una parte de las dimensiones y relaciones a verificar. En el proceso de obtención de las dimensiones principales es necesario definir que parámetros nos interesa tener controlados y cuales son de menor importancia.



Según las necesidades del proyecto el estudio estadístico puede resolverse de forma breve con las dimensiones y coeficientes más primordiales para el diseño de la carena o bien puede realizarse de forma más extensa acotando así de forma más precisa las características de la embarcación.

Para el caso que nos ocupa se ha realizado un estudio estadístico con los modelos de igual concepto de las marcas comercialmente más conocidas y cuyas capacidades se encuentran sobradamente probadas dado el número de ellos que se encuentran en las marinas de todo el mundo.

Se presenta a continuación el baremo de datos sobre los que debe encontrarse la embarcación a diseñar a priori.

	LOA / Bmax	Bmax/Tmax	LOA/Tmax	LOA/ $\nabla^{1/3}$	LOA/LWL
Mín.	2.17	1.36	3.56	5.85	1
Máx.	3.55	2.06	6.07	7.04	1.18

	Lastre/ $\nabla$ (%)	$\nabla$ /Pot	Sup. V/ $\nabla^{1/3}$
Mín.	23.17	12.95	23.12
Máx.	46.16	38.93	67.10

Tabla 1 - Mínimos y máximos de las relaciones adimensionales



## DISEÑO DEL CASCO

---

Una vez definidas las relaciones adimensionales necesarias a determinar para obtener así las dimensiones principales de la embarcación, obtenidos los mínimos y máximos que acotan cada una de ellas, puede procederse entonces al diseño de la carena de la embarcación.

El casco debe tener unas características determinadas que permitan a la embarcación navegar de forma correcta y segura, aspectos inherentes al tipo de embarcación a diseñar, en este caso un velero.

La teoría y razón común determinan que:

- El casco debería ofrecer el mínimo de resistencia al avance para obtener la mayor velocidad posible, dadas unas condiciones de navegación dadas.
- Tener un cubillaje interior tal que permita acoger la acomodación dictada por el cliente.
- Ofrecer una buena respuesta a los movimientos dinámicos derivados de la navegación como son el cabeceo, la guiñada y el balanceo.
- Tener unas formas que permitan a la embarcación aprovechar el viento en todas las posibles condiciones: ceñida, través, aleta y empopada.

Estas características son las ideales, y con las cuales se obtendría una embarcación cuasi perfecta, cosa por otra parte imposible. Algunos de estos enunciados colisionan de forma directa entre sí.

El hecho de tener que albergar un interior dado provoca que las formas del casco sean bastante llenas, promoviendo el uso de francobordos elevados para tener altura interior suficiente. Esto provoca que las formas ya no pueden ser tan idealmente afinadas para obtener una baja resistencia al avance, por ejemplo.

El diseño del casco, entre otros aspectos, favorecerá más una u otra condición de navegación. Las formas más afinadas, de manga máxima alojada en  $3/4$  de la eslora y espejos de popa no sumergidos, ofrecen muy buenas prestaciones en ceñida. En cambio un casco más plano de media eslora hacia popa, con una manga generosa y dispuesta prácticamente en la última sección ofrecerá una velocidad muy buena en vientos portantes.



Puede verse que no puede tenerse todo y que debe primar una u otra característica supeditando a las demás. Por tanto deberá buscarse un compromiso entre todas las características para obtener una embarcación lo más acorde a las necesidades del cliente.

## **COEFICIENTES Y FORMAS DE LOS VELEROS**

Hay un conjunto de coeficientes de formas que definen los cascos y cuyo estudio permite obtener embarcaciones más o menos veloces, con mayor o menor cubicaje interior, etc.

En este apartado se atenderá a los parámetros principales que nos serán de utilidad para obtener un diseño óptimo de la carena. En el diseño de un casco, aparte de intentar cumplir unas ciertas características, se busca fundamentalmente una reducción de la resistencia al avance. Obviamente a nadie le interesa una embarcación que requiere de mucha energía para desplazarse, más si se trata de una embarcación a vela que ya de por sí es una embarcación "lenta" y cuyo principal método propulsivo es el viento. Si además se está buscando un concepto crucero-regata, un velero que se defienda en las regatas de club y proporcione sensaciones deportivas a su patrón.

En general, la resistencia al avance puede descomponerse en diversas partidas. La componente de mayor influencia es la conocida como resistencia viscosa. Esta resistencia se puede descomponer a su vez en dos partidas: la resistencia por fricción y la resistencia de presión por fricción.

La primera de ellas se produce por la fricción directa entre el agua y el casco. Como es sabido, el agua no desliza sobre el casco sino que una delgada lámina de agua permanece pegada a la obra viva. Junto a esta lámina podemos imaginar otra que es arrastrada por la primera, pero que por efectos de la viscosidad del fluido no es solidaria a aquella sino que avanza a una velocidad ligeramente menor. De esta manera a medida que nos alejamos del casco de la embarcación se encuentran láminas de agua cada vez menos influidas por el avance del barco.

*Primer punto clave* y a tener en cuenta; dado que la fricción actúa sobre la superficie del casco sumergida, la reducción de superficie mojada proporciona una disminución de esta componente de la resistencia. El diseño seccional del casco, forma de las cuadernas, define en gran parte los metros cuadrados de superficie mojada. A medida que se vayan acercando a la forma semicircular menor será la superficie expuesta al contacto con el agua. También es cierto que unas formas semicirculares excesivamente marcadas pueden provocar un movimiento excesivo de balanceo, mientras que las formas en "V" o con aristas vivas tienden a



tener una estabilidad de rumbo bastante elevada, una embarcación ciertamente difícil de maniobrar con agilidad.

La determinación de las formas transversales se hará en base a los valores óptimos de  $C_p$  y LCB.

Por su parte, la resistencia de presión por fricción se debe a un desequilibrio en las fuerzas de presión sobre el casco que se produce por fenómenos viscosos. Si el agua no tuviese viscosidad idealmente, fuese un fluido que produce un flujo potencial, la distribución de presión estaría equilibrada, es decir, la sumatoria de presiones, positivas en proa y popa, y negativa entre las secciones 2 y 8, sería nula. No existiría dicha resistencia. El desequilibrio provocado por la viscosidad da origen a esta componente de la resistencia al avance.

*Segundo punto clave.* Un diseño adecuado de las líneas de agua del casco puede reducir esta componente de la resistencia. Esta componente de la resistencia depende de las formas del casco y del número de Reynolds. Para minimizar la resistencia de presión por fricción se deben limitar las curvaturas de las líneas de agua del casco, así como el ángulo de entrada del agua en la línea de flotación ( formas más o menos llenas en proa ).

El coeficiente de forma que más afecta en la resistencia viscosa es el coeficiente prismático  $C_p$ . A medida que aumenta, más llenas son las formas del casco y en particular las de popa. Este efecto sumado al aumento de las curvaturas de las líneas de agua del casco influye muy significativa en el aumento de la resistencia de presión por fricción.

La segunda más importante componente de la resistencia al avance es la resistencia por formación de olas, cuya aparición se debe a la energía empleada en generar las olas y que es transportada por ellas.

A bajas velocidades las olas generadas son muy pequeñas lo que implica que dicha resistencia es prácticamente nula. Al aumentar la velocidad de los velero el patrón de olas cambia, se altera la longitud de onda y su altura. Se generan dos trenes de olas, uno en proa y otro en popa. Existe una serie de velocidades de avance donde las crestas de los sistemas de olas se suman unas con otras y otras velocidades donde las olas se anulan entre ellas. Si se tiene en cuenta que la energía transportada por una ola ( por tanto transferida por la embarcación en su desplazamiento ) depende del cuadrado de su amplitud, el efecto de interferencia provoca oscilaciones en la componente de resistencia por formación de olas.



Para números de Froude  $F_n$  alrededor de 0.4 la longitud de las olas generadas por el barco es aproximadamente igual a su eslora. Esto provoca que la ola de proa y la de popa se amplifiquen al coincidir sus crestas. Para valores en torno a 0.34 la longitud de ola es aproximadamente  $2/3$  de la eslora, con lo que la cresta de una coincide con el valle de la otra y se atenúan entre sí.

Parece obvio que una correcto diseño según el rango de velocidades de operación de la embarcación afectará en sobremanera en una mayor resistencia o menor.

Una vez visto como puede afectarse al correcto diseño o no del casco y que factores interactúan en mayor o menor manera, se muestran unas gráficas que relacionan los tres coeficientes primordiales:  $C_p$ , LCB y  $F_n$ .

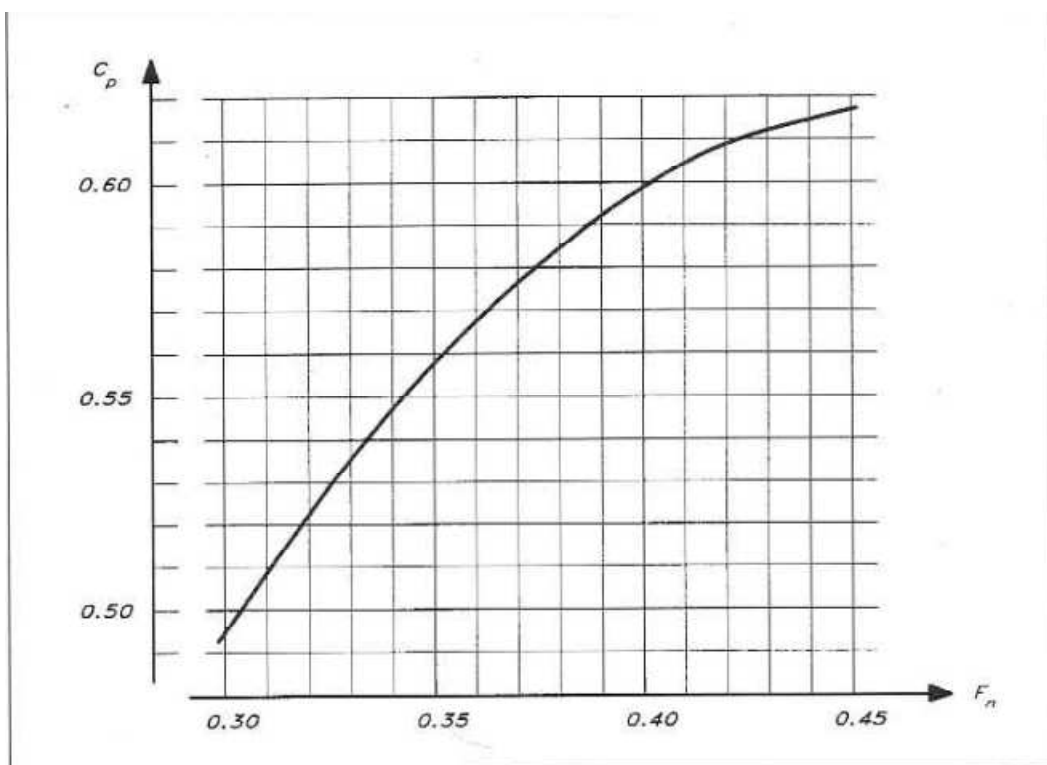


Fig. 7 - Relación entre  $C_p$  y  $F_n$

Unas formas llenas en popa incrementan la resistencia de presión por fricción, sin embargo, la resistencia por formación de olas puede reducirse debido a que el fenómeno de separación provoca que la eslora efectiva del casco sea mayor. consiguiendo una mayor velocidad de casco.

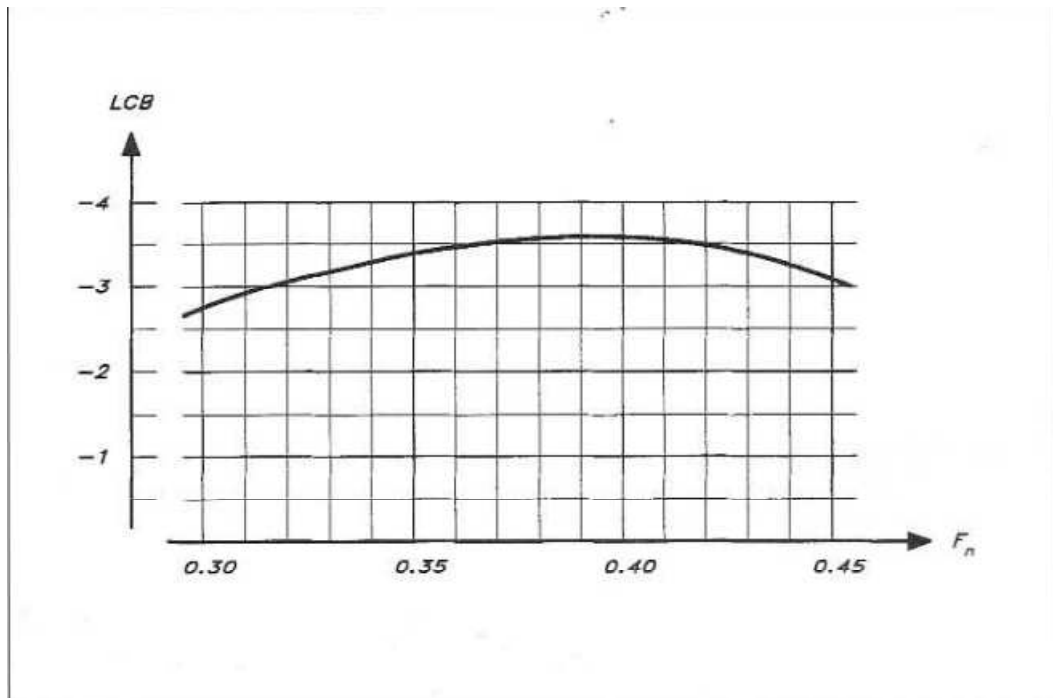


Fig. 8 - Relación entre LCB y  $F_n$

A la hora de decidir los valores óptimos de  $C_p$  y LCB la velocidad de operación habitual de la embarcación será la que acote dichos valores, como puede verse en las figuras 7 y 8 donde  $C_p$  y LCB son referenciados en base al número de Froude. Si la velocidad de operación de la embarcación es baja merece la pena reducir la resistencia viscosa, la cual es la más representativa de la resistencia total, si por contra la velocidad de operación es elevada, interesará reducir la resistencia por formación de olas. Para  $F_n$  por debajo de 0.35 la resistencia predominante es la de origen viscoso, mientras que para un rango comprendido entre 0.35 y 0.45 la resistencia por formación de olas es la componente más importante.

Las formas de proa y de popa también son de vital importancia para afectar a la resistencia de una forma u otra.

En proa, el semiángulo de entrada en la línea de flotación determina la transición temprana o no a un flujo turbulento y por ello un aumento de la resistencia viscosa. Según el  $C_p$  se recomiendan unos u otros valores. Por ejemplo para  $C_p = 0.55$  se recomienda un valor en torno a los  $8^\circ$ , para  $C_p = 0.7$  entre  $10^\circ$  y  $14^\circ$  y para  $C_p = 0.8$  valores en torno a  $33^\circ$ .

En popa, uno de los habituales dilemas son disponer un espejo de popa semisumergido o no. Las recomendaciones básicas para la disposición de una popa de este tipo son:





- $F_n < 0.3$ . El espejo debe comenzar en la línea de flotación, permitiendo una ligera inmersión en navegación provocado por el trimado dinámico de la embarcación.
- $F_n \approx 0.3$ . El espejo debe tener una ligera inmersión.
- $F_n \approx 0.5$ . La inmersión del espejo debe ser del orden de 10 % - 15 % del calado de casco.
- $F_n > 0.5$ . La inmersión puede llegar al 15% - 20 % del calado. En este rango se suele disponer de flaps que permiten reducir el trimado dinámico de la embarcación y con él la resistencia al avance.

## **DIMENSIONES PRINCIPALES**

Una vez se han expuesto los elementos que influyen en la resistencia al avance de la embarcación pueden calcularse los mismos para los requisitos que debe cumplir la embarcación en cuestión.

El régimen de navegación de la embarcación se encontrará entre el desplazamiento y el planeo. Se pretende que la misma consiga navegar en estos regímenes en unas condiciones meteorológicas favorables.

- Régimen de desplazamiento :  $F_n < 0.35$
- Régimen de semidesplazamiento :  $0.35 < F_n < 0.45$
- Régimen de planeo :  $F_n > 0.45$

El caso que nos atañe es complejo, puesto que se quiere dotar a la embarcación de tal forma que trabaje en régimen de planeo en vientos portantes estableciendo una velocidad ideal de 10 nudos, pero a la vez en ceñida la embarcación es difícil que supere la velocidad límite de casco, es decir, que supere el régimen de desplazamiento. Es por ello que hay que tomar una decisión en cuanto a que se desea obtener con el diseño del casco, se favorece a una navegación en portantes intentando no penalizar en exceso el comportamiento de la embarcación en ceñida debido a las formas más planeadoras, o bien se desea que la embarcación navegue de forma óptima en ceñida penalizando la velocidad punta en rumbos abiertos.

En el caso que ocupa el presente estudio se pretende seguir la tendencia actual en el diseño de este tipo de embarcaciones. Se potenciará entonces el comportamiento y respuesta dinámica en condiciones de vientos portantes y través.



Se establece un rango de velocidades para dicha condición.

Velocidad	Fn	Cp
7 kts	0.38	0.58
10 kts	0.55	0.63

Tabla 2 - Relación entre velocidad y Cp

Como puede verse para estas velocidades la embarcación se encontrará planeando, y para ello las formas de la carena deben ser bastante llenas tal como indica el Cp.

El LCB ( centro de flotación ) suele moverse en los veleros entre un 3 y un 6 % de la eslora en flotación a popa de la sección media, aumentando éste cuanto mayor sea el Fn.

Una vez determinados o acotados los parámetros adimensionales que afectan a las formas del casco de forma directa, se procede a la determinación de las dimensiones principales. Existen tres dimensiones restringidas por las peculiaridades del proyecto, que son debidas a las restricciones dadas por el atraque del cliente. La eslora no puede exceder de 9.5 m, la manga de 3.3 m y el calado de 2 m.

Para la determinación de dichas dimensiones se realiza un estudio estadístico con un número representativo de embarcaciones existentes y de características similares. La tabla 1 expuesta con anterioridad muestra los rangos obtenidos en las diversas relaciones adimensionales.

La eslora máxima será de 9.5 m, aprovechando al máximo la longitud del amarre y maximizando tanto espacio en cubierta como interior, donde unos centímetros de más o de menos marcan la diferencia.

La manga máxima se acota a 3.1m. La distancia entre postes del amarre obliga a dejar un margen a cada costado para que la embarcación no quede atrapada entre ellos en las maniobras de atraque y desatraque. Este valor se ha determinado a partir de la experiencia, el cliente posee una embarcación actualmente con 3.1 m de manga, dimensión máxima si se quiere tener comodidad en las maniobras según se ha comprobado in situ.

Con estas dos dimensiones fijadas pueden usarse las relaciones calculadas para obtener las demás.

El calado máximo también se encuentra acotado a un valor máximo, dadas las relaciones de máximo y mínimo el valor de esta dimensión se encuentra entre 2.67 m y 1.36 m



respectivamente. Para obtener el valor que daremos al concepto desarrollado se realiza el cálculo del valor de compromiso, es decir, la media de ambos valores. Esta metodología se ha usado en todos los cálculos. El valor para el calado se deberá encontrar en 1.97 m según cálculos.

El desplazamiento de la embarcación condiciona directamente las prestaciones de la embarcación, y en un concepto crucero-regata, este valor debe tenerse en consideración sin volverse en un imperativo, la reducción de peso en exceso puesto que no se trata de una embarcación de competición de "pura sangre". Siguiendo el procedimiento habitual el desplazamiento debe situarse entre 4.28 tn y 2.46 tn. El valor medio se encuentra en 3.37 tn.

La eslora en flotación permite por ejemplo jugar con el calado de la embarcación. Para un desplazamiento dado y una manga determinada a mayor eslora menor será el calado del casco, y por tanto menor cantidad de agua arrastrará. También tiene relación directa con la velocidad límite de casco, a mayor eslora mayor será la velocidad teórica de casco sin salir a planeo. El valor para esta dimensión debiera estar entre 9.5 m y 8.02, el valor de compromiso sería de 8.76 m. En el caso actual se opta por maximizar este valor dados los compromisos citados anteriormente.

La relación lastre-desplazamiento es un valor muy significativo puesto que determina en un tanto por ciento muy elevado como se comportará la embarcación navegando, será un barco "duro" o "blando", será rápido en ceñida o penalizará en portantes...y así un seguido de cuestiones técnicas no menos importantes. Los valores máximo y mínimo obtenidos son de 1.57 tn y 0.78 tn. El valor de compromiso se encuentra en 1.18 tn, quedará ver como se distribuye el mismo a lo largo de la orza para no forzar en exceso la comodidad presupuesta que debe tener una embarcación de crucero dado el elevado peso de la orza.

La potencia del motor en una embarcación de vela no deja de encontrarse entre lo anecdótico y lo necesario. En condiciones ideales las maniobras en puerto, fondeaderos, etc., son fáciles y no requieren de un gran esfuerzo ni respuesta a motor. Las condiciones ideales pocas veces se dan, y lo más habitual es realizar atraques con condiciones de viento, o entradas y salidas de puerto con mar formada que pone en peligro la integridad de tripulación y embarcación, etc. Por eso debe tener la relevancia necesaria y no suponer que es solo una ayuda a la motricidad del velero. Las potencias tipo se comprenden entre 26 cv y 10 cv, el valor de compromiso sería de 17 cv, pero se opta por ir a los 21 cv. Potencia suficiente para afrontar las diversas dificultades que se puedan dar.



Superficie velica. Determina en gran medida las posibilidades en términos de velocidad pura en todo tipo de condiciones. Es obvio que a más superficie expuesta para recoger el viento mayor velocidad adquirirá la embarcación. Una vez más no hay que olvidar el enfoque de cruceiro que tiene la embarcación, y demasiada superficie vélica con la que "jugar" compromete la comodidad de navegación con lo que debe optarse por el valor óptimo. De las relaciones adimensionales se obtiene que dicho valor debiera estar entre 100.6 m<sup>2</sup> y 34.7 m<sup>2</sup>. El valor medio dará como resultado, a priori, una embarcación ni "acruceirada" ni "regatera", 67.6 m<sup>2</sup> en la configuración tipo, génova y mayor.

A continuación se muestra una tabla resumen con las dimensiones principales.

Dimensiones acotadas	
Loa	9.50 m
Lwl	9.49 m
Bmax	3.10 m
Tmax	1.97 m
Desplazamiento	3370 kg
Lastre	1176 kg
Potencia	21 cv
Sup. velica	67.60 m <sup>2</sup>
Cp	0.55
LCB	-4.9 %

Tabla 3 - Resumen dimensiones acotadas

Después de realizar el diseño del casco se ha obtenido un valor para el Cp de 0.55, lejos a priori del 0.63 expuesto con anterioridad según requisitos de velocidad, pero que atiende a un concepto bastante marinero de la embarcación. Se ha dotado a la misma de una "v" bastante acusada en la primera mitad de la eslora que permitirá un paso de ola y una direccionalidad considerablemente positivas, redundando en comodidad y facilidad de navegación. A partir de la sección maestra, la carena se torna en redonda aplanándose hasta llegar al espejo de popa. En condiciones portantes el barco tiende a trimar de forma positiva por el hecho de querer salir del agua, situación de pre-planeo y planeo. Por tanto en la mitad de popa es donde la embarcación va encontrar la sustentación hidrodinámica, maximizando ésta con el diseño plano de esta parte de la carena.

## DISEÑO DE APÉNDICES

### APLICACIÓN DE LA AERODINÁMICA A LA NAVEGACIÓN A VELA

La navegación a vela se fundamenta en el aprovechamiento de la fuerza del viento mediante el uso de velas. El principio básico de funcionamiento de una vela tiene bastante a ver con el funcionamiento del ala de un avión, es decir, ambas producen en una cara un área de mayor presión que en la opuesta a ésta con lo que se consigue en el caso de una embarcación que el velero avance, y en el caso de un avión que éste se eleve.

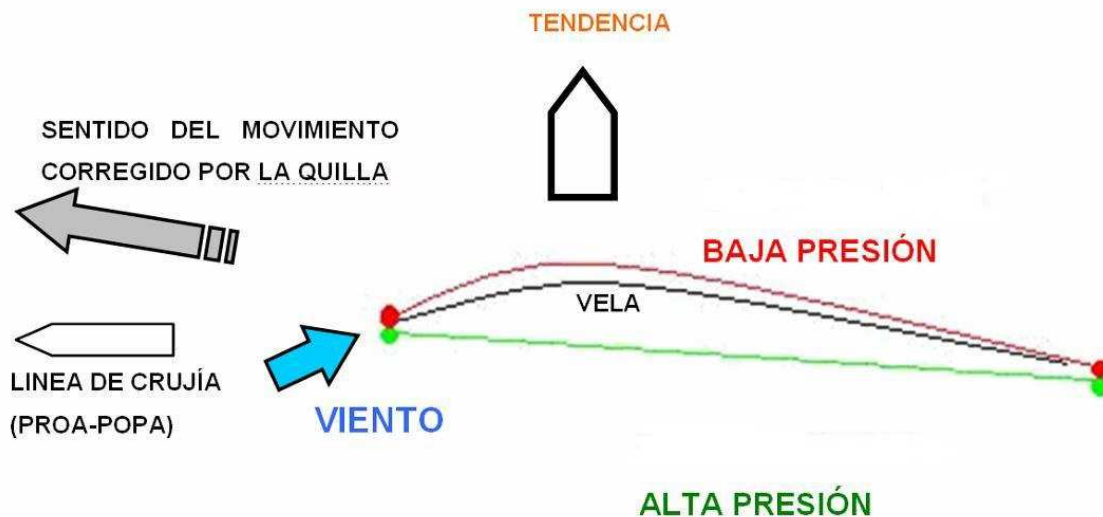


Fig. 9 - Esquema funcionamiento de una vela

Con la vela orientada y con un cierto ángulo respecto a la dirección del viento se producen dos áreas de presión en ambas caras del perfil alar. La cara expuesta al viento, la de barlovento, produce un área de alta presión, mientras que la cara opuesta, la de sotavento, genera un área de baja presión. Todo ello se traduce en un diferencial de presiones a ambos lados de la vela que permite o produce el desplazamiento de la embarcación hacia el costado de sotavento. Por la orientación de la vela, esta fuerza puede descomponerse en dos, una componente en la dirección longitudinal al casco y otra en el sentido transversal; una que hace avanzar el velero y otra que lo desplaza lateralmente. Dichas fuerzas son aplicadas en el centro de de presión vélica CPV, cuya posición dependerá de la configuración del plano vélico

La variación del ángulo de ataque de las velas respecto de la dirección del viento conlleva que ambas componentes varíen en magnitud. Cuanto menor es el ángulo de navegación de la



embarcación respecto el viento menor será la componente longitudinal o propulsora, y mayor será la componente transversal. Por el contrario como mayor sea el ángulo entre la dirección de avance del velero y la dirección del viento mayor será la componente propulsora y menor la transversal.

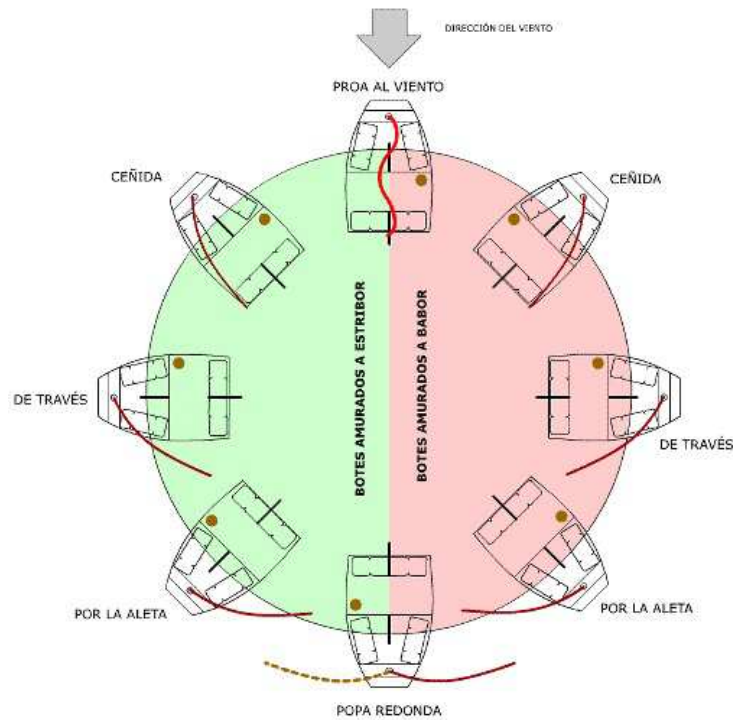


Fig. 10 - Condiciones de navegación

Ello no significa que los rumbos abiertos propicien que la embarcación navegue más rápido en una aleta, por ejemplo, que no en una ceñida. Hay factores que alteran este resultado, que a priori debiera ser así. El viento que actúa sobre el perfil de la vela o es el viento real, es decir, el existente, sino que es el viento aparente. Éste está formado por la velocidad de la embarcación, la velocidad del viento real y de la dirección de éste con respecto a la embarcación. Por tanto, cuanto más cerrado se navegue al viento mayor será el viento aparente, y cabe recordar que la fuerza generada por la vela varía con el cuadrado de la velocidad del viento respecto de ésta.

Como se ha expuesto con anterioridad se generan dos fuerzas respecto de la línea de crujía de la embarcación, una longitudinal y una transversal. De ambas la única que interesa es la longitudinal que genera el avance de la embarcación, mientras que la transversal produce unos efectos no deseados y que se intentarán compensar con el uso de los apéndices.



## EFFECTOS DE LA COMPONENTE TRANSVERSAL

Pueden distinguirse tres consecuencias debido a la fuerza transversal que son: deriva o abatimiento, escora y estabilidad de rumbo.

### *Deriva o abatimiento*

La deriva es el desplazamiento lateral de la embarcación y el abatimiento se define como el ángulo entre el rumbo que marca la crujía de la embarcación y el curso real que describe.

Cuando se navega en rumbos cerrados, la fuerza aerodinámica transversal produce el mismo desplazamiento en la embarcación, enfrentando la obra viva con un ángulo de ataque respecto al curso del flujo hidrodinámico dado por el avance del velero, con lo que comienza a generar una resistencia a este desplazamiento al desplazar el fluido que se encuentra a sotavento. Para contrarrestar este efecto de deriva de la embarcación no deseado se emplean las orzas, perfil hidrodinámico capaz de generar una gran sustentación con bajos ángulos de ataque ( $\approx 6^\circ$ ). Gracias al abatimiento la orza es capaz de trabajar y generar una fuerza lateral por el flujo de agua que la recorre que contrarresta la fuerza transversal generada por la vela, avanzando el velero hacia proa. La fuerza hidrodinámica se aplica sobre un punto denominado CLR (centro de resistencia lateral).

### *Escora*

La fuerza lateral aplicada en el CPV (centro de presión vélico) junto con la fuerza lateral aplicada en la orza que contrarresta la deriva producen la escora de la embarcación. Cuanto mayor es la distancia entre el CPV y el CLR, brazo escorante, y la intensidad de ambas mayor es la escora.

La escora produce que la superficie expuesta al movimiento horizontal del viento sea menor, parte de la fuerza transversal genera un hundimiento de la embarcación, la forma del casco sumergido pasa a ser asimétrico, creando fuerzas de giro que tienen que ser contrarrestadas, se produce un desplazamiento respecto de crujía y en sentido contrario del CPV y el CLR generando una fuerza adicional. Todos estos efectos le restan velocidad a la embarcación.

Para contrarrestar la escora se trabaja en la manga máxima de la embarcación, aumentándola para conseguir mayor estabilidad por formas, y disponiendo un lastre fijo en la orza.



### *Estabilidad de rumbo*

Un correcto equilibrio del plano vélico respecto del perfil hidrodinámico provoca que la embarcación sea fácil de llevar o maniobrar, sin realizar esfuerzos en el timón se mantiene un rumbo constante, esto es la estabilidad de rumbo. El diseño de la embarcación influye de forma directa en este comportamiento además del correcto hacer por parte de la tripulación a la hora de trimar las velas.

Cuando la estabilidad de rumbo es escasa el barco tiende a orzar o bien a arribar. Se define orzar al comportamiento de la embarcación cuando esta fuerza constantemente a cerrarse contra el viento, en cambio, arribar se define como el comportamiento de la embarcación que fuerza a abrirse respecto de la dirección del viento.

- Si el CPV se encuentra a proa del CLR la embarcación tiende a arribar.
- Si el CPV se encuentra a popa del CLR la embarcación tiende a orzar.
- Si el CPV y el CLR se encuentran en la misma vertical la embarcación se encuentra en equilibrio.

## **DISEÑO DE LA ORZA**

La orza a diseñar debe ser capaz de contrarrestar la fuerza lateral generada por el plano vélico y así evitar la deriva con el menor ángulo (abatimiento) de ataque al flujo que la rodea. En segundo término debe cumplir una función adrizante, la escora generada por la acción del viento debe ser contrarrestada en la mayor forma posible con tal de mantener la máxima superficie expuesta al viento y una obra viva no "deformada" o asimétrica. Ello se consigue ubicando el lastre en la orza.

En el caso que ocupa este diseño se decide realizar un diseño de orza con bulbo. Este tipo de apéndice se caracteriza por ofrecer un gran par adrizante ya a pequeños ángulos de escora al concentrar gran parte del lastre total en el extremo inferior del mismo. Éstas ofrecen una alta sustentación y mínima resistencia al avance. El diseño del perfil se realiza de forma que se obtenga un rendimiento hidrodinámico óptimo, usando perfiles finos y con un borde de ataque al flujo muy perfilado. Por las características de la embarcación se decide equipar este tipo de orza en la embarcación, en la búsqueda de mayores prestaciones.



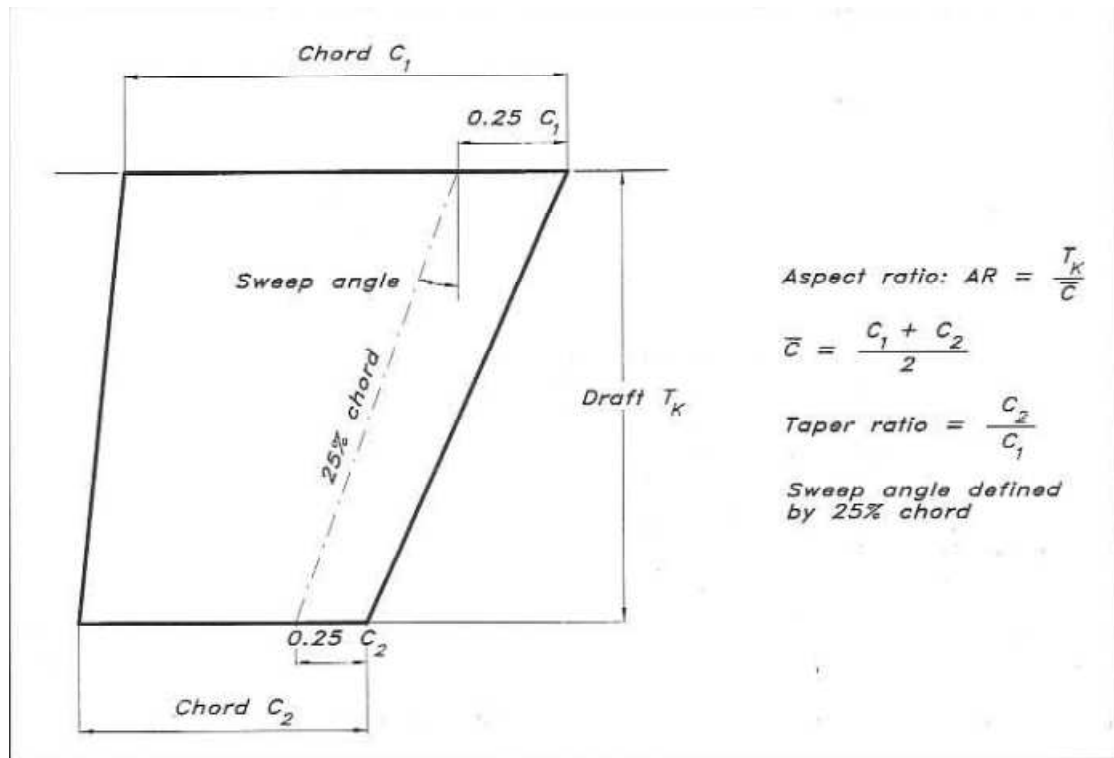


Fig. 11 – Características principales de una orza

El calado de la orza se determina de los parámetros iniciales determinados en el diseño de la embarcación como son el calado total y el calado del casco, con lo que  $T_k$  (altura orza) es de 1.41 m (sin tener en cuenta el bulbo).

Uno de los parámetros fundamentales al diseñar una orza es la superficie lateral que ésta ofrece. De este valor dependerá la capacidad antideriva del perfil. Comúnmente este valor se establece entre 2.75 % y 3.5% de la superficie vélica. Estos valores son para embarcaciones de crucero o crucero-regata enfocadas a un público no profesional. Tal es así, que en embarcaciones de competición expresamente diseñadas para ello pueden llegar a valores de 1.5%. Al ser embarcaciones rápidas, con una menor superficie lateral son capaces de generar mayor poder de sustentación debido a la elevada velocidad del flujo alrededor de la orza.

La superficie vélica se encuentra en torno a 60 m<sup>2</sup> según parámetros calculados (valor obtenido del diseño del velamen), y se determina que la relación entre superficie lateral de la orza y superficie vélica será de 2.75%. Se ha buscado el valor mínimo para embarcaciones de recreo atendiendo al carácter regateador del velero. Este valor en post de una mayor performance implica en el diseño de la orza un esfuerzo para optimizar el perfil y forma de la misma para tener una sustentación adecuada a pesar de la reducida superficie. Por tanto la superficie lateral de la orza será de 1.26 m<sup>2</sup> (sin bulbo).

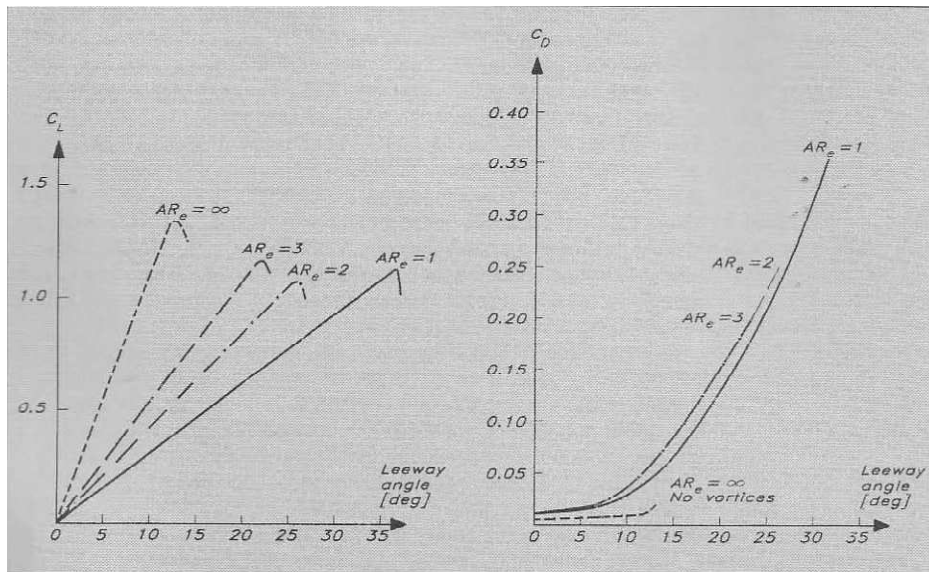


Fig. 12 – Lift vs ángulo de abatimiento (izquierda) y drag vs ángulo de abatimiento (derecha)

La relación de aspecto se define como la relación entre  $T_k$  y la cuerda media  $(C_1 + C_2) / 2$ . Como se desprende del gráfico, para mayores ángulos de abatimiento cuanto menor es la relación de aspecto mejor comportamiento o generación de carga se obtiene y a menor ángulo de abatimiento cuanto mayor es la relación de aspecto más carga se genera. En cuanto a la generación de drag o resistencia se obtiene que para relaciones de aspecto igual 1 la resistencia generada en ángulos mayores a  $7^\circ$  de abatimiento, la resistencia originada por el perfil es menor que para mayores relaciones.

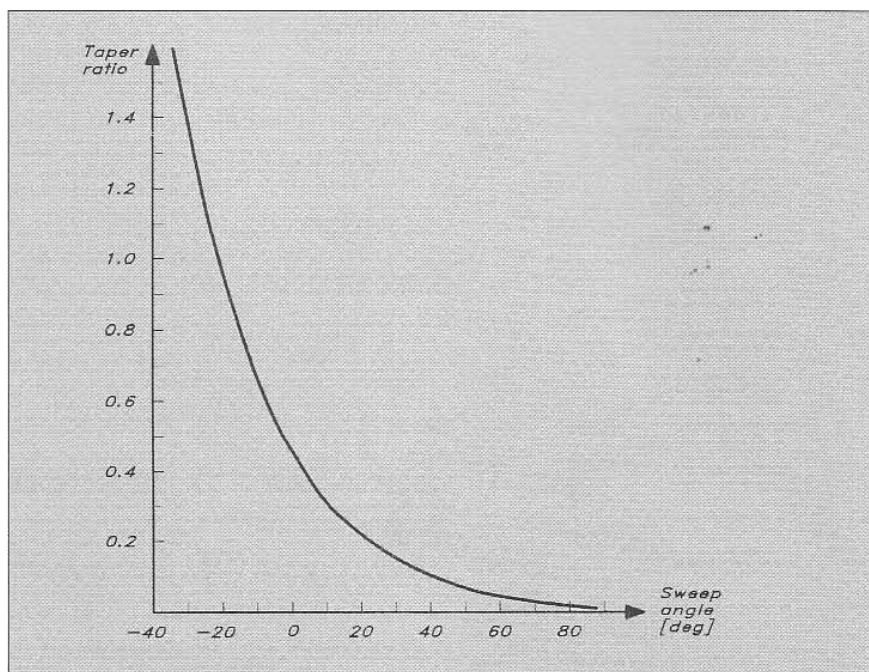


Fig. 13 – Relación de afinamiento vs ángulo de lanzamiento



En la figura 13 se muestra la relación más efectiva entre cuerdas (Taper ratio) según el lanzamiento que se le dé a la orza. Este valor se encuentra ligado a la relación de aspecto puesto que comparten las variables que las definen,  $C1$  y  $C2$ , por tanto según el  $AR$  se obtendrá un  $Tr$  y por tanto el lanzamiento óptimo.

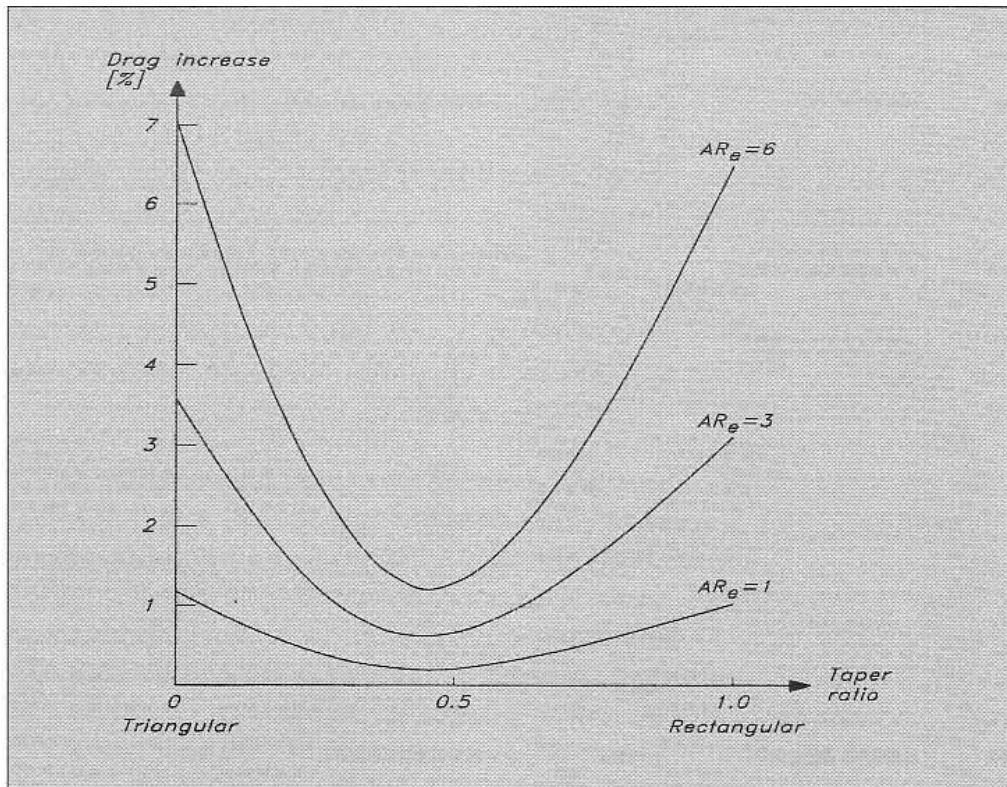


Fig. 14 – Drag vs relación de afinamiento

En la figura 14 se puede observar cómo se comporta un perfil con una relación de aspecto dada en la generación de drag según la relación de afinamiento. A  $AR=1$  la generación de drag es menor que en relaciones mayores de por sí, mostrando una tendencia en forma de valle. Cuando la relación de aspecto tiende a 0 o 1 la generación de drag aumenta sensiblemente, siendo el punto medio el de menor generación de drag. Se trata de una variación del 1 %, es decir, muy poco para una embarcación que es de recreo.

De este conjunto de gráficos destaca el hecho que la relación de aspecto es uno de los parámetros fundamentales de una orza. A mayor relación mayor sustentación generará. De la superficie lateral definida y la altura de la orza se condiciona el valor de  $AR$ , lo que se deberá valorar es si este valor es óptimo para el propósito de la embarcación o no. Se buscará ir a un valor cercano a la unidad para obtener la menor generación de resistencia posible.

El otro gran elemento que caracteriza una orza es el tipo de perfil y sección.



La posición del centro de presión, el punto de transición del flujo laminar a turbulento y el ángulo de ataque a partir del que entra en pérdida dependen de la sección utilizada. Para ello se utiliza unas secciones desarrolladas para la industria aeronáutica y que son de gran utilidad.

Para las orzas, como operan a bajos ángulos de ataque se suele usar una sección de la serie 6. Otro factor importante en la orza es el alojamiento del lastre, como ya se ha expuesto. Dependiendo de la sección se obtiene una posición más a proa o popa del centro de gravedad, solíéndose usar 63 o 64. Las secciones 63 suelen tener el CDG más adelantado, cosa que suele ser conveniente.

Para orzas de crucero de baja relación de aspecto, se suelen usar relaciones de espesor bajas, 8%. Para perfiles con relaciones superiores se puede llegar a relaciones de espesor en torno al 12 %. La opción común es una sección lo más fina posible.

Uno de los problemas que presentan estas secciones es el acabado superficial. La orza debe encontrarse limpia y pulida, si no va a ser este el caso, una sección de 4 dígitos dará una menor resistencia dadas estas condiciones.

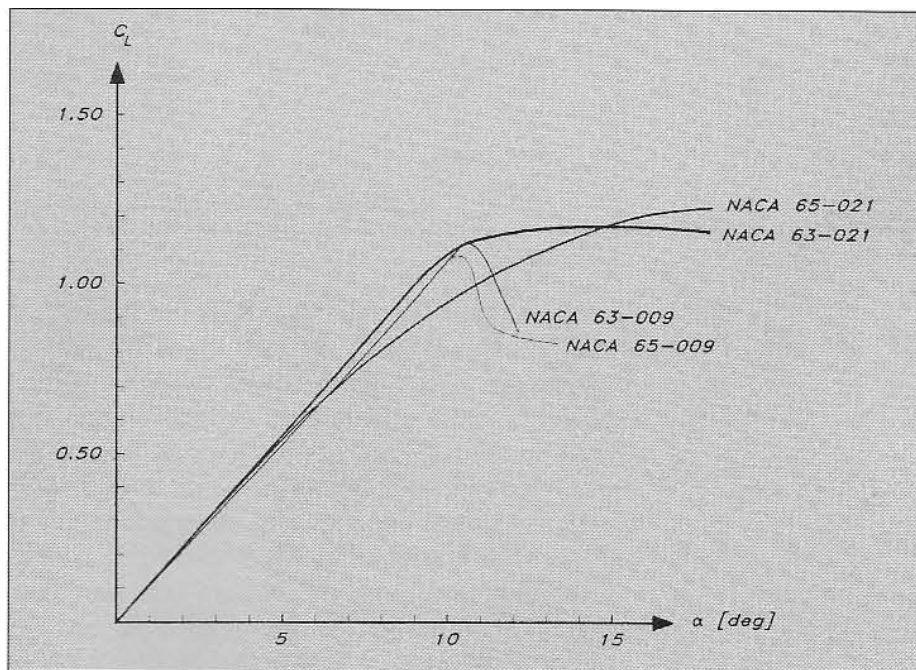


Fig. 15 – Sustentación vs ángulo de ataque



Características de la orza	
Sup. Orza/ Sup. vélica	2.75%
Sup. orza	1.65 m <sup>2</sup> ( 1.26 m <sup>2</sup> perfil y 0.39 m <sup>2</sup> bulbo)
Altura orza tk (sin bulbo)	1.41 m
C1	0.99 m
C2	0.80 m
Cuerda media	0.89 m
Relación aspecto Ar	1.57
Relación aspecto efectivo Are	3.15
Relación afinamiento Tr	0.8
Ángulo de lanzamiento (sweep angle)	2.7°
Tipo de sección	63-010
Volumen (sin bulbo)	0.064 m <sup>3</sup>
Peso (sin bulbo)	729.6 kg (plomo)
Volumen (total)	0.105 m <sup>3</sup>
Peso (total)	1197 kg

Tabla 4 – Características principales de la orza

## CÁLCULO DE LOS PERNOS

La unión entre casco y orza se realiza mediante el uso de pernos, cuyo diámetro es necesario calcular para asegurar la correcta unión entre ambos. Para el cálculo de los mismos se utilizará el ABS, norma norteamericana, de reconocido bagaje en embarcaciones offshore.

Se opta por una configuración de 6 pernos dada la poca superficie de la cara superior de la orza condicionada por el diseño.

El material a usar para los pernos es el acero inoxidable AISI-316 cuyo límite elástico es de 206 N/mm<sup>2</sup>.

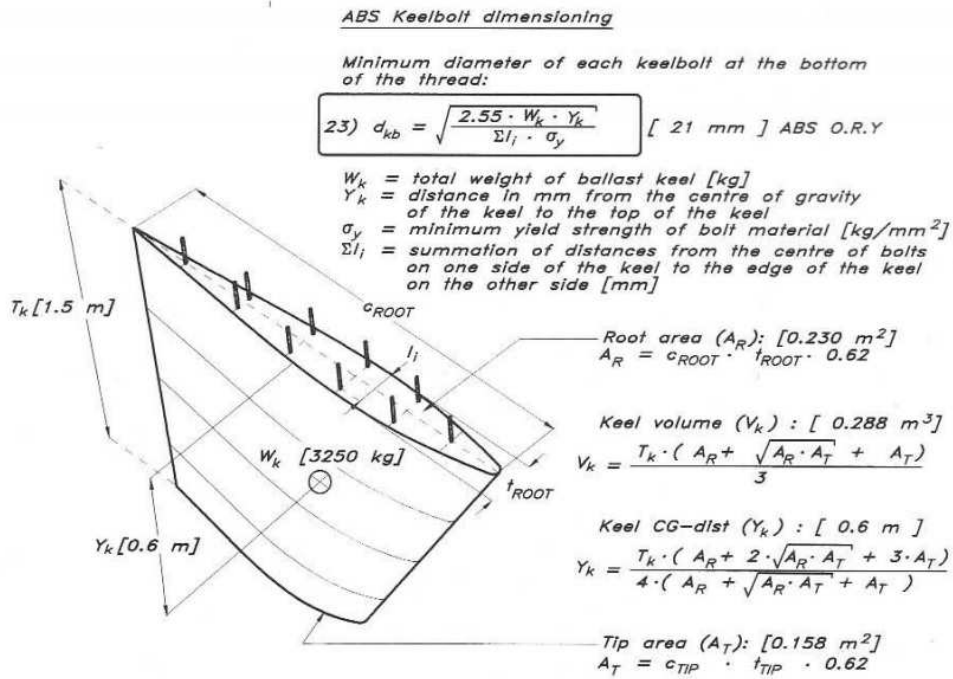


Fig. 16 – Dimensionado de los pernos

Pernos orza			
$\sum l_i$	190 mm	Ctip	0.796 m
$\sigma_y$	206 N/mm <sup>2</sup>	Troot	0.099 m
$Y_k$	950 mm	Ttip	0.079 m
$W_k$	1197 kg	Ar	0.061 m <sup>2</sup>
Croot	0.995 m	At	0.039 m <sup>2</sup>

Tabla 5 – Parámetros orza

D<sub>kb</sub> (diámetro mínimo perno) calculado es de 26.71 mm, encontrándose disponible en el mercado 28 mm como valor inmediatamente superior.



## DISEÑO DEL TIMÓN

Aunque el timón también resulta un perfil hidrodinámico, aunque carente de lastre fijo, podría concebirse como una segunda orza de menor tamaño que ayudase en la generación de superficie lateral antideriva. Si bien aporta cierta resistencia a la deriva, no es la principal misión del timón, cuyo objetivo es dotar a la embarcación de maniobrabilidad en todas las condiciones de navegación posibles. Se intentará por tanto que sea capaz de generar la máxima sustentación lateral incluso a ángulos de ataque al flujo elevados.

Para timones, la mejor opción son las series de 4 dígitos ya que son resistentes a entrar en pérdida y diseñadas para los grandes ángulos de ataque a los que suele operar un timón. También tiene la ventaja de tener un borde de ataque grueso lo que facilita el alojamiento de la mecha. La relación de espesor suele oscilar entre 15 y 18%, pero depende mucho del diámetro de la mecha más que de otro factor.

Para timones 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, en las secciones superiores se suelen usar secciones 64 0 64 modificadas.

La superficie del timón respecto a la superficie vélica se encuentra por norma entre 1 y 2 %. En esta ocasión se opta por una configuración un poco más conservadora y se dispone una relación de 1.3 %. Por tanto la superficie proyectada será de 0.78 m<sup>2</sup>.

Debido al concepto de embarcación, con la manga máxima muy a popa y un fondo bastante plano, la navegación en ceñida en condiciones de viento elevadas provocará en ocasiones que la crujía de la embarcación se encuentre en la línea de flotación o incluso fuera. Si el timón se encontrase ubicado de forma convencional, perdería efectividad al tener superficie fuera del agua, y generaría una resistencia por formación de olas. Se opta por dotar de doble timón a la embarcación, lo que conferirá mayor estabilidad de rumbo y maniobrabilidad teniendo un timón siempre totalmente sumergido.

La superficie total debe descomponerse en dos, es decir, cada timón tendrá una superficie de 0.39 m<sup>2</sup> aproximadamente.

El siguiente parámetro a determinar es la altura o calado del timón, que no excederá el de la orza a modo de protección contra impactos en bajos fondos. Se determina que será de 1.1 m.



Definidos de una parte la superficie y de la otra el calado, el resto de cálculos es análogo al de la orza.

Características de los timones	
Sup. Timón/ Sup. vélica	1.30%
Sup. timón	0.39 m <sup>2</sup>
Altura timón tk	1.10 m
C1	0.44 m
C2	0.27 m
Cuerda media	0.35 m
Relación aspecto Ar	3.10
Relación aspecto efectivo Are	6.21
Relación afinamiento Tr	0.60
Ángulo de lanzamiento	3°
Tipo de sección	0012
Volumen	0.0097 m <sup>3</sup>

Tabla 6 – Características principales de los timones





## ACOMODACIÓN INTERIOR

---

Una de las partes de mayor creatividad o diseño en el sentido más artísticamente hablando es el desarrollo de los interiores. Parte no menos importante pues confiere al armador su hogar cuando se encuentra a bordo y por tanto debe adaptarse bien a gustos y necesidades del mismo.

En el diseño de los interiores se está supeditado al diseño del barco, su tipología y programa de navegación. Las formas del casco, la posición de los refuerzos, el punto de anclaje entre casco y orza, el uso de mástil apoyado en cubierta o pasante, la ubicación del motor, etc., revisten de cierta complejidad el proceso. Es por ello que no existen medidas estándar para camas, armarios..., si más no deben ser igualmente funcionales.

Una vez obtenidas las formas del casco y sus dimensiones se ha procedido a compartimentar y distribuir las distintas partes del barco.

### SENTINAS

El casco ha sido dividido en tres zonas mediante el uso de dos mamparos estructurales estancos. Uno, el que cierra el pique de proa, y el segundo que cierra el pique de popa. Se obtienen de esta forma tres zonas "húmedas": el pique de proa, la sentina central y el pique de popa.

El pique de proa dota a la embarcación, además de una reserva de flotabilidad, al poderse inundar debido a una colisión manteniendo la integridad estructural del resto, el espacio es aprovechado para el alojamiento del fondeo, compuesto por un ancla de peso suficiente, 9.5 metros de cadena y 38 metros de cadena.

El pique de popa dota a la embarcación a su vez de una reserva de flotabilidad en caso de colisión en esta zona, proporcionando protección contra la inundación al resto del casco. Este espacio es aprovechado para que discurran las limeras de los timones, así como un espacio de estiba para la dotación de seguridad (chalecos, balsa salvavidas, etc).

La sentina central discurre entre ambos mamparos estancos, por lo que se encuentra bajo todas las zonas interiores designadas: camarotes, comedor, cocina, baño, mesa de cartas y sala de máquinas. El sistema de achique proyectado para la embarcación constará de una bomba



de sentina situada en el punto más bajo de la embarcación, con lo que se hace necesario que la sentina central sea un solo espacio no compartimentado. Ello evitará la acumulación de agua en estos, permitiendo la circulación por gravedad hasta el punto inferior de la sentina. Una vez allí el fluido podrá ser aspirado por la bomba hacia el exterior.

Por tanto todos los elementos estructurales permitirán la conexión con los nichos adyacentes mediante el uso de imbornales.

## **DISTRIBUCIÓN INTERIOR**

La distribución interior se divide principalmente en 3 zonas: camarotes, cabina y baño.

La zona de camarotes se destina al descanso de la tripulación y consta de dos subzonas: un camarote de proa y un camarote de popa.

El camarote de proa se destina al descanso del armador, y se encuentra separado mediante un mamparo de la zona común o cabina, haciéndose accesible mediante una puerta con pestillo interior. Dicho camarote está dotado por una cama doble en "V" situada en la parte de proa y sendos armarios roperos, uno a cada banda, entre la cama y el mamparo.

El camarote de popa se destina al descanso de los invitados, y se encuentra separado mediante un mamparo de la zona común. Dicho camarote es adyacente a la sala de máquinas, con lo que se hace imprescindible proteger tanto térmicamente como acústicamente este espacio para evitar las molestias derivadas del sistema propulsivo. El camarote es dotado por una cama doble a popa y un armario ropero que permite la estiba de las pertenencias de la tripulación.

Ambos camarotes gozan de buena luminosidad y ventilación gracias a la instalación de portillos al uso. En el camarote de proa mediante una escotilla dispuesta en cubierta, y en el camarote de popa mediante un portillo dispuesto en el vertical del banco de babor, en cubierta.

La zona de cabina, donde la tripulación pasará el mayor tiempo, combina diversos espacios integrados: comedor, cocina y mesa de cartas.

El comedor se encuentra en la parte de proa de la cabina, y está formado por un sofá recto dispuesto en la banda de babor de extremo a extremo, en la banda de estribor puede encontrarse dos butacas separadas por un armario de perfil bajo, y en el centro una mesa con ala abatible en la banda de estribor. El uso de este tipo de mesa permite el libre tránsito hacia el camarote del armador.



La cocina está situada en la parte de popa y a babor. La configuración de la misma es en “L” y está dotada de los elementos imprescindibles como son un hornillo con dos fuegos, una pica, una nevera y diversos armarios para estiba de utensilios.

La mesa de cartas situada a popa y la banda contraria hace las funciones de zona de navegación, acogiendo los equipos tales como vhf, gps, sonda y radio-cd. Además se encuentra accesible el cuadro de mandos que permite controlar los diversos sistemas eléctricos a bordo. La concepción de los espacios permite dotar dicha zona de un asiento frente a la mesa y con orientación en el sentido de la marcha.

La zona del baño se encuentra a popa de la mesa de cartas, separada por un mamparo. La equipación del mismo consta de una pica con grifo monomando extensible, que permite ser usado como ducha, y un wc con descarga a depósito de aguas negras.

Las dimensiones de la embarcación son reducidas y no permiten disponer de una gran superficie para el desarrollo de espacios de volúmenes generosos. Es por ello que todo el espacio disponible es explotado al milímetro, en búsqueda de maximizar lo disponible.

La capacidad de estiba es un punto importante para una embarcación, ya que debe permitir alojar la dotación normal por cada uno de los tripulantes que pueden navegar en el velero. Es por ello que bajo las camas de los camarotes y bajo los sofás del comedor se dispone de dobles fondos para el aprovechamiento del espacio.

## DISEÑO DE LA CUBIERTA

---

La cubierta de una embarcación de vela de recreo puede dividirse en diversas zonas según los elementos que acogen así como las actividades que se desarrollan en ellas fruto de una situación de navegación.

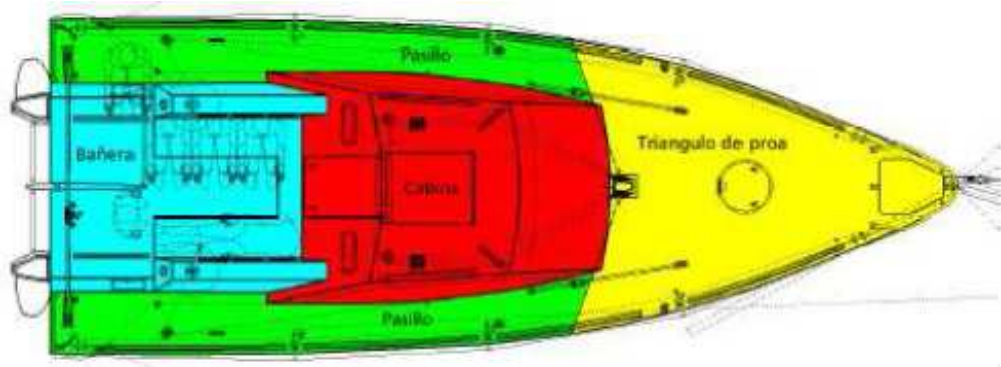


Fig. 17 – Zonas de cubierta

### *Bañera*

Zona que acoge el puesto de gobierno de la embarcación y gran parte de los elementos de maniobra del plano vélico. Se dispone de bancos en el sentido de la eslora dejando un pasillo interior que de acceso a la cabina. Bajo los asientos suele disponerse del espacio para estiba bien de depósito de combustible, aguas negras, y diversos materiales de armamento. Existen dos modalidades de bañera, las abiertas por popa y las cerradas. La bañeras abiertas, de moda en la actualidad, ofrecen una mayor amplitud, un acceso fácil desde el pantalán a la embarcación y una zona de baño cómoda. Además en condiciones de temporal, cuando se está embarcando agua a bordo la bañera abierta desaloja el agua de inmediato. Por el contrario una popa cerrada ofrece mayor protección a la tripulación de posibles caídas al mar por popa.

En la embarcación diseñada se opta por una bañera abierta que va acorde al concepto de embarcación crucero-regata.

### *Cabina*

La cabina es un elemento que dota de mayor altura interior a la embarcación sin tener un francobordo exageradamente alto. En las embarcaciones puramente regateras no suele existir



dicho elemento, y la cubierta se extiende plana hasta proa. Sobre ella discurren los reenvíos del mástil a la bañera y se sitúa diverso hardware para la maniobra del plano vélico. La disposición de escotillas sobre la misma no debe entorpecer el trabajo de la tripulación al ir a la base del mástil o al recoger la mayor ofreciendo una superficie resbaladiza.

### *Pasillos*

Confieren las zonas de paso entre bañera y triángulo de proa, y transcurren alrededor de la cabina o caseta. Estos deben estar despejados de elementos superfluos para una mayor comodidad de tránsito. Normalmente los carros de escota del génova discurren por los pasillos, así como el alojamiento de los cadenotes donde arraigan los obenques que soportan el mástil.

### *Triángulo de proa*

Esta zona se encuentra delimitada por el stay de proa y el extremo de proa de la cabina. Se trata de una superficie bastante expuesta a las condiciones de mar y viento, y al encontrarse ciertamente desguarnecida de elementos de sujeción provoca que el tránsito por ella en condiciones de navegación sea delicado. Sobre esta zona realiza el barrido el Génova al pasar de banda y se realizan las maniobras con el tangón. De forma general suele estar dotada de una escotilla que da acceso e iluminación al camarote de proa, y en el extremo más a proa se sitúa el cofre de anclas.

## **JARCIA FIRME**

La jarcia firme se compone de varios elementos fijados a cubierta que permiten mantener el mástil en su posición original cuando las velas actúan sobre él realizando una exigencia mecánica. Se puede diferenciar en el caso que atañe a este proyecto entre obenques, forestay, backstay, cadenotes y base del mástil.

### *Obenques*

Se trata de los cables de acero inoxidable AISI 316 que sujetan el mástil en el sentido de la manga. Van arraigados por un extremo al mástil y en el otro a los cadenotes dispuestos en cubierta. En un mástil con dos pisos de crucetas suele disponerse de obenques altos, los que discurren del tope de mástil a los cadenotes, obenques intermedios, los que discurren del piso superior de crucetas a los cadenotes, y obenques bajos, los que discurren del piso inferior de crucetas a los cadenotes.



Fig. 18 – Obenques enfundados

### *Forestay*

Cable de acero inoxidable AISI 316 que sujeta el mástil en el sentido de la eslora, impidiendo que éste se desplace hacia popa debido a la acción del viento sobre el velamen. Según el tipo de jarcia escogido el forestay arraiga a tope de mástil o a una altura inferior. El anclaje se realiza por un extremo al mástil y por el otro a cubierta, en el extremo de proa. Un anclaje común es mediante una pletina roscada en la roda de la embarcación. Se usa este elemento para disponer un enrollador de génova de forma genérica.



Fig. 19 - Forestay

### *Backstay*

Con el fin de tener control longitudinal sobre la curvatura del mástil se usa el backstay. Este discurre desde el tope de mástil hasta popa, arraigando en el espejo. Se suele disponer de dispositivos hidráulicos que permiten extender o recoger el backstay de forma que se permite el trimado del mástil, para mejorar la performance del plano vélico.



Fig. 20 - Backstay e hidráulico

### *Cadenotes*

Los cadenotes sirven para hacer firmes los obenques que sujetan el mástil a cubierta, transmitiendo los esfuerzos a la estructura de la embarcación. Suelen estar formados por una base y una o dos orejas verticales a los que se anclan los obenques. Los cadenotes pueden ir collados a cubierta mediante unión mecánica o bien laminados.



Fig. 21 – Cadenote simple

### *Base de mástil*

La base del mástil puede ir ubicada bien en cubierta o bien en el casco según qué tipo de mástil se decida instalar, apoyado en cubierta o pasante. Se trata de un monolítico dispuesto de forma expresa para hacer fijo el mástil y transmitir los esfuerzos del mismo. Es una zona que reviste complejidad debido a los esfuerzos que está sometida.



Fig. 22 - Fogonadura

## HARDWARE DE CUBIERTA

Para el control del plano vélico de la embarcación a vela, se requiere de una serie de elementos dispuestos estratégicamente en cubierta tales como: winches, carros de escota, carriles, mordazas, desvíos, poleas, etc.

### *Winches*

Para la embarcación que atañe a este proyecto se dispondrán cuatro winches en cubierta. Dos de ellos se encontrarán a ambas bandas de la caña del timón, de forma relevada respecto a cubierta, de tal forma que el "skipper" sea capaz de maniobrar el génova, y en todo caso, spi y gennaker, sin desatender la maniobrabilidad del velero.

Los dos restantes se encontrarán sobre la caseta, a ambos lados del acceso a cabina, a los cuales les llegarán los diversos reenvíos del mástil. Con estos dos se podrá izar la mayor, izar el spi y el gennaker, tomar rizo, etc.



Fig. 23 - Winche manual autocazante





### *Carros de escota*

Los carros de escota permiten maniobrar de forma transversal la mayor y el génova respectivamente.

En este caso no se va a disponer un génova autovirante, por lo que el carro de éste se va a obviar, no es necesario.

En todo caso si se instalará un carro de escota de la mayor que permita abrir o cerrar la botavara respecto de la dirección del viento según convenga. La posición de la misma depende del confort que se quiera tener en la bañera. En las embarcaciones de crucero suele optarse por disponer el carro de la mayor encima de la cabina, con lo que se despeja la bañera de un elemento ciertamente molesto para el transcurrir sobre la misma. Por contra, en embarcaciones de regata se dispone lo más a popa posible respecto a la longitud de la botavara, ello permite un control mucho mayor, y mayor facilidad de maniobra respecto a un carro dispuesto más a proa.

En el caso actual se dispondrá el carro sobre la bañera, dado el concepto de crucero-regata sobre el que se está trabajando.



Fig. 24 - Carro de mayor

### *Carriles*

Para el correcto trimado del génova se requiere de estos elementos, uno por banda, situados en el tercio central de la eslora, en los pasillos. La longitud de los mismos suele situarse en torno al metro y medio y permite que el puño de escota del génova se encuentre más o menos a popa haciendo correr la polea del reenvío sobre el carril.



Con el desplazamiento del puño de escota a lo largo de la eslora se permite desplazar el embolsamiento del génova según convenga.



Fig. 25 - Carril del génova

### *Mordazas o stoppers*

Los sistemas de mordazas permiten descargar de tensión a los winches una vez ya se ha trabajado el ángulo de incidencia de las velas con los mismos. Las mordazas permiten trincar las escotas de forma que no varíen su posición, soportando la tensión de las mismas debidas a la fuerza del viento y el embolsamiento de las velas.

Se dispondrán 2 sistemas de mordazas, de 3 unidades cada uno, a ambos lados del acceso a cabina, y por delante de los winches dispuestos en esta zona.



Fig. 26 - Sistema de mordazas *Spinlock*



Junto a los winches dispuestos en bañera, se dispondrán sendos stoppers, pero de fisonomía diferente, horizontales.



Fig. 27 - Mordaza horizontal

El cambio de fisonomía en esta zona se debe a la búsqueda del menor entorpecimiento posible en las zonas de trabajo, para evitar tropezarse con los mismos, y evitar posibles accidentes a bordo.



## DISEÑO DEL PLANO VÉLICO

---

La configuración vélica es uno de los apartados de mayor relevancia, como es obvio, en una embarcación cuyo principal medio de propulsión es la incidencia del viento sobre sus velas. A continuación se desarrollará el diseño y cálculo del plano vélico así como el dimensionamiento del tipo de aparejo escogido.

Deben tenerse en cuenta diversos factores tales como:

- Estabilidad de la embarcación. Ello incide en la altura del centro de presión vélico, para conseguir mayor o menor escora con una fuerza de viento dada. Está claro que también dependerá del diseño de la orza, las formas del casco, la distribución de pesos...
- Velocidad. Según el tipo de embarcación y el propósito de la misma se buscará una velocidad de operación determinada. No solo es cuestión de velocidad pura, sino también de rumbo en el cual se adquiere este máximo.
- Características meteorológicas. Según la zona de navegación, las características de los vientos, altura de ola, cadencia, etc., varia. En zonas con vientos reinantes fuertes, se buscará una reducción del plano vélico, versus a zonas con vientos flojos y mares dóciles.

### TIPO DE APAREJO

Hay múltiples configuraciones del aparejo, todas ellas desarrolladas por diseñadores o navegantes. Múltiples i diversas configuraciones, que pueden resultar ciertamente desconcertantes, pero que siempre responden a un propósito determinado, o a una especificación necesaria por diversos motivos.

Las configuraciones usuales son las tipo Sloop, Ketch y no tanto, pero también la configuración Yawl.

#### *Aparejo tipo Sloop*

El aparejo tipo Sloop se caracteriza por dotar la embarcación de un solo mástil, con dos velas tipo marconi: génova y mayor.

Según la posición donde arraiga el stay de proa en el mástil se diferencia entre aparejo a tope o fraccionado.



El aparejo a tope se emplea fundamentalmente en embarcaciones de crucero, donde los cambios de bordos no son demasiado frecuentes y se disponen de mayores de menor superficie. Otro aspecto determinante es que en este tipo de embarcaciones el trimado del mástil es prácticamente nulo por parte de la tripulación.

El aparejo fraccionado se caracteriza por que el stay no arraiga a tope de mástil. Existen diferentes configuraciones: 3/4, 7/8, etc. El objetivo fundamental de este tipo de configuración es reducir el tamaño de la vela de proa, aumentando la superficie de la mayor y permitiendo un mejor paso de bordo a bordo, dado el menor tamaño del génova.

Es por ello que esta configuración es más usada en embarcaciones de regata y embarcaciones de vela ligera.

#### *Aparejo tipo Ketch*

Se denomina así a la configuración de dos "mástiles" y tres velas tipo marconi. Se encuentra el mástil, palo situado más a proa, y la mesana, palo situado más a popa y por delante del puesto de gobierno (diferencia respecto al Yawl).

La ventaja fundamental de este tipo de aparejo es la de poder repartir la superficie vélica en tres superficies más pequeñas, reduciéndose así la complejidad de manejo de éstas (en términos de esfuerzo) y permitiendo acomodar la superficie expuesta de forma más fácil según las condiciones meteorológicas imperantes. En embarcaciones destinadas a largas travesías tales como cruces del Atlántico, es usual el uso de este tipo de aparejo que dota a la embarcación de mayor estabilidad de rumbo también.

La embarcación que se desarrolla en este caso montará un aparejo tipo Sloop dadas las características de la misma, y se opta por una configuración a tope, buscando un acrueramiento de la embarcación en cuanto a plano vélico se refiere en este sentido.

## **DISTRIBUCIÓN DE LA SUPERFÍCIE VÉLICA**

Las dimensiones de génova y mayor dependen directamente de la posición del mástil en el sentido de la eslora y de la altura del mismo. Otro aspecto fundamental en la posición del mástil es como éste interfiere en la acomodación interior y en la posición de los refuerzos, así como su interferencia con la posición de la orza, cuestión que se desarrollará más adelante.

Para determinar la posición del mástil se utiliza la regla general desarrollada por Stephen Dimore que dispone que una posición óptima del mástil es al 40% de la eslora de flotación



tomando el "0" en el extremo de proa. En la embarcación diseñada se encuentra concretamente a 3.92 metros respecto del extremo de proa, lo que representa un 41 % de la eslora en flotación.

Según la superficie vélica con la que se quiera dotar la embarcación, la posición del mástil, la relación entre mayor y génova y el tipo de configuración del plano vélico, se jugará con la altura del mástil para adquirir dicha superficie, puesto que la eslora es un factor cerrado de inicio. Con ello se deberá tener en cuenta que a mayor altura del centro de presión vélica, el brazo escorante aumentará obteniendo una embarcación más blanda.

Para el cálculo del CPV (centro de presión vélica) se utiliza un alzado del plano vélico, por una banda se determina el centroide de la mayor y del génova, y una vez obtenidos el centroide total se encontrará en la línea que une ambos dos. Dicho centroide no es constante en todas las condiciones de navegación habidas y por haber. Para la determinación de la posición del centro de presión vélica se emplea la siguiente fórmula:

$$a = l / (A_m / A_f + 1)$$

- $a$  : distancia entre el centroide de la mayor y el CPV
- $l$  : distancia entre los centroides de la mayor y el génova
- $A_m$  : áreas proyectada de la mayor
- $A_f$  : área proyectada del génova

Para proceder al cálculo de dicho parámetro cabe realizar con anterioridad el cálculo de los diversos factores que intervienen en la fórmula. Para definir de forma acertada la superficie vélica de génova y mayor existen 4 parámetros reseñables: I, J, P y E.

- I: altura del triángulo de proa, tomada desde el puño de escota del génova al arraigo o intersección con el mástil
- J: base del triángulo de proa, tomada desde el arraigo en el stay de proa o forestay y el puño de escota.
- P: altura de la vela mayor, medida verticalmente desde la base de la mayor hasta su arraigo en la parte superior del mástil.
- E: base de la mayor, medida sobre la botavara de extremo a extremo de la mayor.

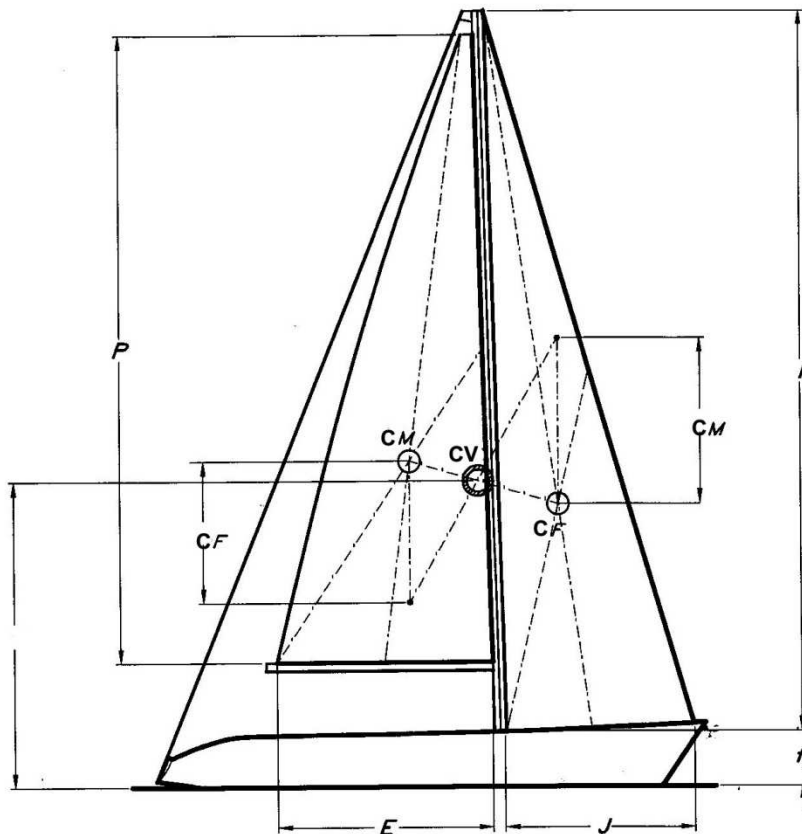


Fig. 28 - Dimensiones del plano vélico

A partir de dichos parámetros se puede proceder al cálculo de superficie de la mayor  $A_m$  y la superficie del génova  $A_f$ , así como la superficie total proyectada  $A_s$ .

$$A_m = 0.5 \times P \times E$$

$$A_f = 0.5 \times I \times J$$

$$A_s = A_m + A_f$$

La distribución del plano vélico, o relación entre la superficie del génova y la mayor se suele encontrar para embarcaciones de este tipo entre un 27/73 y un 58/42 %

Una vez la posición del mástil ha sido definida en un 41 % de  $L_{wl}$ , la dimensión  $J$  queda determinada en 3.91 metros. Con el parámetro  $J$  establecido se puede pasar a definir la dimensión  $E$  teniendo en cuenta la posición del timonel respecto a la eslora, de forma que la botavara no interfiera con el mismo. E por tanto tendrá un valor de 4.43 metros.



A continuación se procede a la estimación de las alturas de ambas velas, considerando la altura de la botavara respecto al suelo de la bañera para que esta no ofrezca demasiado impedimento al tránsito en cubierta se puede pasar a determinar la dimensión P.

La altura de la botavara respecto a la bañera será de 1.82 metros, lo justo para que una persona de estatura media pueda transitar de forma cómoda y que la botavara no afecte a la visibilidad del timonel. En el estudio estadístico la superficie vélica ha quedado definidas en 67.60 m<sup>2</sup> por tanto la altura del mástil queda determinada junto a las dimensiones de las bases de las velas. La altura de la mayor, P, será por tanto 12.83 metros.

Con P determinado, la altura del mástil es conocida, y por tanto la dimensión I pasa a ser conocida. I será de 13.25 metros.

Por tanto:

$$A_m = 28.44 \text{ m}^2$$

$$A_f = 25.94 \text{ m}^2$$

$$A_s = 54.38 \text{ m}^2$$

No hay que olvidar que se está calculando en base a el área proyectada en una vista en alzado de la embarcación. La diferencia en m<sup>2</sup> respecto al área total del plano vélico reside en el triangulo posterior del génova que queda por detrás de la mayor. En el caso estudiado se dispone un génova del 148 %, es decir, de un área igual a 38.56 m<sup>2</sup>, área que reside en una extensión de la base del triángulo de proa más allá del mástil de 0.97 metros que multiplicado por la dimensión I da los 13 m<sup>2</sup> restantes.

Plano vélico	
<i>I</i>	13.25
<i>J</i>	3.91
<i>P</i>	12.83
<i>E</i>	4.43
<i>A<sub>m</sub></i>	28.44
<i>A<sub>f</sub></i>	25.94
<i>A<sub>s</sub></i>	54.38

Tabla 7 - Resumen dimensiones plano vélico





Finalmente se puede obtener el valor de la distancia del CPV respecto al centroide de la mayor siendo éste de 1.33 metros, es decir, 4.07 metros respecto del extremo de proa.

## EQUILIBRIO VÉLICO

Las embarcaciones propulsadas a vela se puede decir que se encuentran en equilibrio cuando ambos centros, el centro de presión vélica CPV y el centro de resistencia lateral CLR, se encuentran en la misma vertical. Cuando esto no sucede la embarcación tiende a variar su rumbo (inestabilidad de rumbo) haciéndose necesario utilizar el timón para corregir esa tendencia negativa. Ello redundará en un aumento de la resistencia dinámica y por tanto reduce la velocidad de la misma.

Según la posición horizontal del centro de resistencia lateral y el centro de presión vélica la embarcación tenderá a orzar o arribar. Dicha distancia se denomina Lead.

- Orzar: Disminuir el ángulo que forma el rumbo de la nave con respecto de la dirección del viento. Sucede cuando el CPV se encuentra a popa del CLR.

-Arribar: Aumentar el ángulo que forma la proa con la dirección del viento. Ocurre cuando el CPV se encuentra a proa del CLR.

Dependiendo del tipo de aparejo usado se puede definir el Lead óptimo medido en porcentaje de la eslora de flotación:

- Para aparejo a tope: 5-9 % de Lwl

- Para aparejo fraccionado: 3-7 % de Lwl

Debe considerarse a la vez que cuando la embarcación navega en condición de ceñida, el centro de carena se desplazará hacia popa produciendo el trimado positivo de la embarcación. Cuanto más a popa se encuentre la manga máxima mayor es el efecto de este trimado. Ello produce que el CLR se desplace hacia proa, efecto a tener en cuenta y estimar en la medida de lo posible en el diseño de la embarcación. Para ello la distancia Lead se toma en condición de ángulo de escora 0, de forma que cuando la embarcación navegue en ceñida el CLR se sitúe lo más próximo posible al CPV al desplazarse el primero hacia proa.

En el caso presente, el CLR se sitúa a popa del CPV una distancia igual a 0.68 metros, lo que corresponde a un 7% de Lwl. El brazo escorante (Be) se define como la distancia vertical entre ambos centros de presión, a mayor brazo mayor será la escora que adquirirá la embarcación,



con lo que será necesario dotar de mayor estabilidad inicial a la misma, contrarrestando así este efecto negativo. Esto puede conseguirse aumentando la manga de la embarcación o bajando el centro de gravedad de la embarcación. Para la embarcación diseñada  $B_e$  es igual a 7.51 metros.

Para determinar si la estabilidad de un velero es adecuada a su superficie vélica se dispone del ángulo de Dellenbaugh mediante el cual se puede saber la escora que tendrá la embarcación cuando navegue en ceñida con un viento de 8 m/seg, es decir, 15 knots que corresponde a fuerza 4, unas condiciones ideales de navegación.

$$\theta = 279 * ((A_s * H_A) / (\Delta * GM))$$

- $A_s$  : superficie vélica en ceñida (m<sup>2</sup>)
- $H_A$  : brazo escorante (m)
- $\Delta$  : desplazamiento de diseño (kg)
- $GM$  : altura metacéntrica

Mediante la figura 31 dispuesta a continuación, se obtiene que para la eslora de flotación de la embarcación diseñada el rango de estabilidades se encuentra entre 13 y 19 grados. Donde la línea denominada tender corresponde a una embarcación blanda y la línea stiff corresponde a una embarcación dura.

Dicho gráfico debe tomarse como orientación puesto que el estudio está realizado en base a embarcaciones con décadas de diferencia respecto a los modelos actuales.

Para el diseño que atañe este proyecto el ángulo de Dellenbaugh obtenido es de 11.96 °. En este caso tendríamos una embarcación dura, de estabilidad inicial elevada, aspecto que se quería obtener ya que permite cargar todo el plano vélico con condiciones de viento en torno a los 20 knots obteniendo así una embarcación ciertamente rápida.

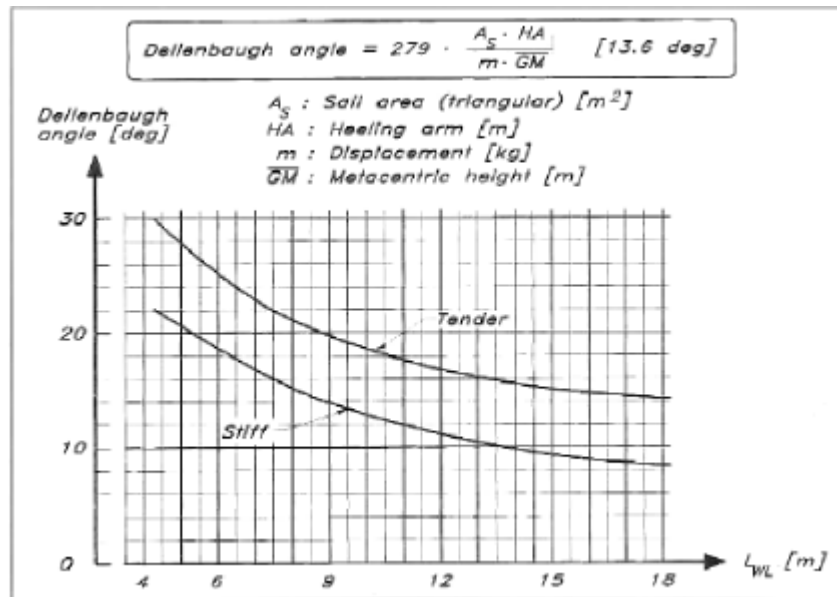


Fig. 29 - Gráfica para el ángulo de Dellenbaugh

## DISEÑO DEL APAREJO

Para el diseño de la jarcia (dimensionado) de un velero se pueden aplicar obviamente los principios de la física y de la resistencia de materiales. No obstante la complejidad de la misma, así como de las cargas que actúan sobre ella y se distribuyen de diversa forma hace recomendable el uso de una norma de una sociedad de clasificación, cosa que facilita el cálculo y permite asegurarse unos márgenes de actuación adecuados. En este caso en particular se procede a utilizar el NBS.

Esta normativa establece una serie de verificaciones previas a realizar para determinar si el caso de estudio puede ser calculado mediante ésta.

La primera verificación consiste en que el área del triángulo de proa no puede ser mayor a 1.6 veces el área de la vela mayor.

$$(I^*J)/(E^*P) < 1.6$$

La segunda verificación consiste en que el área total proyectada en ceñida debe ser mayor que el momento adrizante RM dividido 128 veces por el brazo escorante HA. Si esto no se cumpliese se consideraría un buque a motor con una vela de capa.

$$A_s > RM/(128 \cdot HA)$$

El primer punto para empezar a dimensionar la jarcia es considerar el momento adrizante a 30°, RM30. Se tiene en cuenta que este ángulo es debido a una fuerza de viento



considerablemente alta, y que producirá grandes cargas estáticas sobre el aparejo imprimiendo una velocidad elevada al velero.

El estándar del NBS tiene en cuenta también el efecto de la tripulación haciendo banda, aspecto fundamental para aumentar las prestaciones de la embarcación y recurso siempre usado en regata.

$$\delta RM = 75 * n * (3.4 * B - 4.9 * F_s)$$

- n : número de tripulantes
- B : manga del velero
- F<sub>s</sub> : francobordo a la altura del mástil

#### Cálculo

$$n = 6$$

$$B = 3.1$$

$$F_s = 1.25$$

$$\delta RM = 1986.75 \text{ Nm}$$

El valor del momento adrizante usado en todo el procedimiento se obtendrá de la siguiente manera:

$$RM = RM_{30} * \Delta / G + \delta RM$$

- G : desplazamiento del barco en rosca
- $\Delta$  : desplazamiento a plena carga

#### Cálculo

$$RM_{30} = GZ_{30} * G = 0.52 * 3152 = 16048.06 \text{ Nm}$$

$$\Delta = 4288 \text{ kg}$$

$$RM = 23818.63 \text{ Nm}$$

### **COMPROBACIÓN DE LOS ESTÁNDARES**

$$1 . I * J = 51.94 \text{ m}^2 ; P * E = 56.83 \text{ m}^2$$



$$0.91 < 1.6$$

VERIFICADO

$$2 \cdot A_s = 54.38 ; RM 23818.63 Nm ; 128 \cdot HA = 961.28 m$$

$$54.38 > 24.8$$

VERIFICADO

La estabilidad del mástil transversalmente hablando depende del número de crucetas y de la colocación del pie del mástil, apoyado en cubierta o en la quilla.

La estabilidad longitudinal depende también de la colocación del pie del mástil, del número de crucetas y su orientación (retrasadas o perpendiculares) además de la tensión que se aplique a los stays y obenques.

Las ventajas de un número mayor de crucetas son:

- Palo de menor sección, lo que mejora la eficiencia de la mayor.
- Palo más ligero ya que se disminuye el espesor de la pared.
- Ángulos de caza del génova más pequeños ya que las crucetas son más cortas.

Los inconvenientes de un mayor número de crucetas son:

- Palo más difícil de trimar mediante el uso de los stays.
- Mayor coste de construcción.

Las ventajas del mástil apoyado en la quilla:

- Mástil más delgado, mejor eficiencia aerodinámica por tanto.
- Mástil de mayor ligereza, menor espesor de pared.
- Ángulo de caza de escota de génova más pequeños ya que las crucetas pueden ser más cortas.

Los inconvenientes del mástil apoyado en la quilla:

- Mástil de difícil trimado.
- Altas cargas a nivel de cubierta.



- Posible entrada de agua a cabina.

En la embarcación diseñada se opta por una configuración de mástil apoyado en quilla y con dos pisos de crucetas.

## CASOS DE ESTUDIO

El NBS considera dos casos distintos de cargas para dimensionar la estructura consistentes en el efecto del viento y el mar.

### Caso 1

La jarcia está cargada solamente por la acción del viento sobre la vela de proa. La fuerza transversal será independiente de la forma de la vela que se use. Su valor será igual al momento adrizante dividido por la distancia entre la línea de flotación y el arraigo del stay de proa al mástil

$$T1 = RM/a1$$

$$a1 = 15.19 \text{ m} ; RM = 23818.63 \text{ Nm}$$

$$T1 = 4568.05 \text{ N}$$

### Caso 2

La jarcia está cargada por la vela mayor con rizados tomados, es decir, condiciones de navegación adversas por la intensidad del viento. La fuerza transversal en este caso también se obtiene dividiendo el momento adrizante por la distancia entre la línea de flotación y el centro de presión de la mayor tomado a 1/3 de la altura de la vela. Esta fuerza se descompone en dos, una aplicada en el puño de izado de la mayor (Thead) y otra aplicada a la botavara (Tboom).

Si Thead se encuentra entre dos obenques esta fuerza a su vez se descomponen en dos, entre la cruceta inferior (Thl) y la superior (Thu).

La fuerza de la botavara se distribuye también entre la cubierta y el primer piso de crucetas.

$$T2 = RM/a2$$

$$a2 = 5.97 \text{ m} ; RM = 23818.63 \text{ Nm}$$

$$T2 = 3989.72 \text{ N}$$



$$T_{head} = 0.40 * T_2 = 1595.89 \text{ N}$$

La altura de  $T_{head}$  es igual a  $0.6 * P = 7.69 \text{ m}$  respecto a la botavara.

$$T_{boom} = 0.33 * T_2 = 1316.61 \text{ N}$$

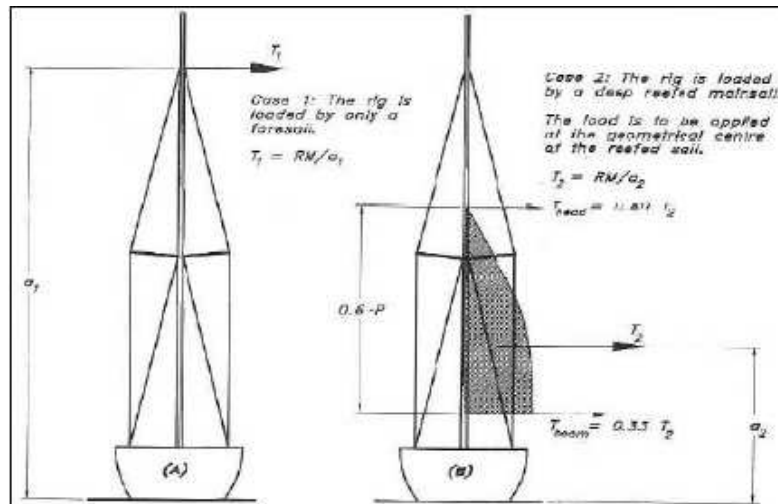


Fig. 30 - Definición de cargas

Una vez determinada  $T_{head}$  y su posición, cabe determinar las distancias  $d_1$  y  $d_2$  para calcular  $T_{hu}$  y  $T_{hl}$ .

$$d_1 = 2.21 \text{ m} ; d_2 = 2 \text{ m} ; T_{hu} = 837.75 \text{ N} ; T_{hl} = 758.14 \text{ N}$$

A continuación se calcula  $BD$  que es igual a 1.04 m e  $l_1$  que es igual a 5.35 m, obteniéndose así  $T_{bu}$  igual a 256.73 N.

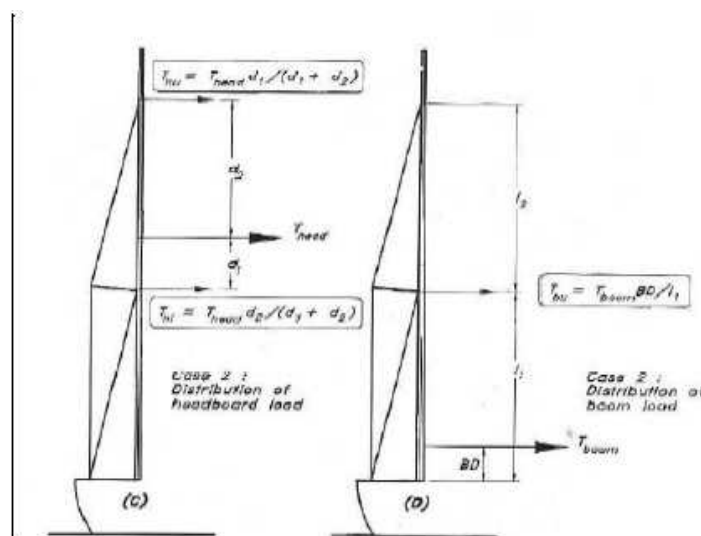


Fig. 31 - Definición de cargas transversales.



Una vez obtenidas las fuerzas transversales que actúan sobre la estructura y según el tipo de configuración que se elija se obtiene el siguiente conjunto de fuerzas mostrado en la figura 34.

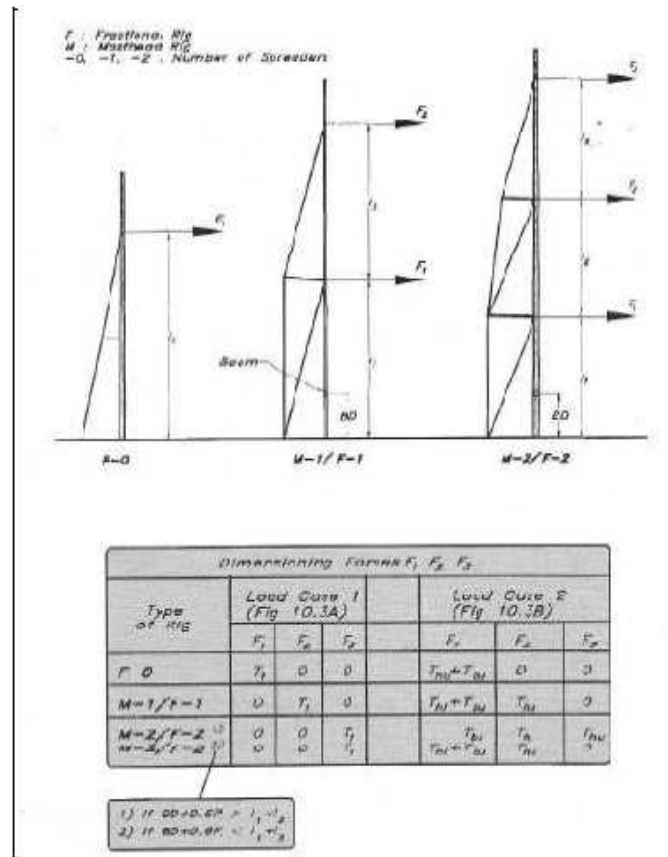


Fig. 32 - Fuerzas según configuración.

Como ya se ha comentado con anterioridad, la configuración escogida es la denominada M-2.

Debe realizarse la siguiente comprobación para determinar que fuerzas actúan sobre el sistema de crucetas del velero.

$$BD+0.6*P = 11.87$$

$$I1+I2 = 9.66$$

Por lo que  $BD+0.6*P > I1+I2 \rightarrow$  Caso de estudio 1

$$F1 = 1568.05 \text{ N} ; F2 = 0 \text{ N} ; F3 = 0 \text{ N (load case 1)}$$

$$F1 = 256.73 \text{ N} ; F2 = 758.14 \text{ N} ; F3 = 837.75 \text{ N (load case 2)}$$





## CÁLCULO DE LAS FUERZAS EN LOS OBEQUES

Cuando se calculan las fuerzas en los obenques se tienen que tener en cuenta las dos situaciones de carga que figuran en la figura expuesta con anterioridad. Deben compararse los resultados y escogerse el que peor resultados muestre, es decir, el más adverso.

La determinación de las tensiones en los obenques se realiza como se indica en la figura 35 mostrada a continuación. Teniendo calculadas las tensiones en los obenques se les aplica un factor de seguridad, y se obtienen las tensiones de diseño que han de soportar dichos elementos. Estos factores están directamente relacionados con las cargas dinámicas a las que afectan la estructura debido a los pantocazos, golpes de viento y balanceos debidos al estado de la mar.

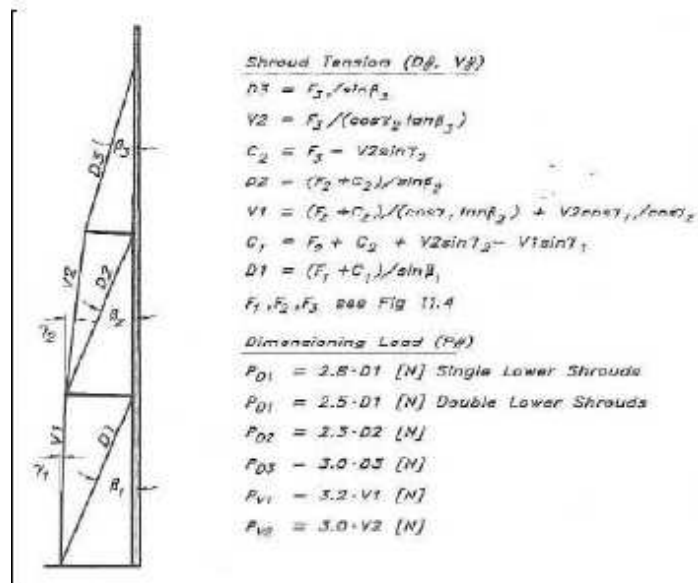


Fig. 33 - Cargas en los obenques.



Resumen cálculo de cargas - obenques	
$\beta_1 = 10.39^\circ$	
$\beta_2 = 12.83^\circ$	
$\beta_3 = 9.93^\circ$	
$Y_1 = 0^\circ$	
$Y_2 = 3.26^\circ$	
<i>Caso 1</i>	<i>Caso 2</i>
$D_3 = 0 \text{ N}$	$D_3 = 4872.63 \text{ N}$
$V_2 = 0 \text{ N}$	$V_2 = 4808.04 \text{ N}$
$C_2 = 0 \text{ N}$	$C_2 = 560.98 \text{ N}$
$D_2 = 0 \text{ N}$	$D_2 = 5954.08 \text{ N}$
$V_1 = 0 \text{ N}$	$V_1 = 10622.15 \text{ N}$
$C_1 = 0 \text{ N}$	$C_1 = 1595.89 \text{ N}$
$D_1 = 8686.32 \text{ N}$	$D_1 = 10262.73 \text{ N}$

Tabla 8 - Cálculo de cargas en los obenques

Se escogen las máximas cargas calculadas de las anteriores y se determinan entonces las cargas de diseño a soportar por los obenques.

Resumen cargas de diseño - obenques
$PD_1 = 28735.64 \text{ N}$
$PD_2 = 13694.39 \text{ N}$
$PD_3 = 14617.88 \text{ N}$
$PV_1 = 33990.87 \text{ N}$
$PV_2 = 14424.13 \text{ N}$

Tabla 9 - Cálculo de cargas de diseño en los obenques

## CÁLCULO DE FUERZAS EN LOS STAYS

Las tensiones en los stays dependerán de los elementos por los cuales son requeridos, es decir, por aquellos que los someten a esfuerzos debido a su propio trabajo o desempeño de funciones tales como winches, actuadores hidráulicos, flexión del casco, etc. El NBS considera



en estudio seis configuraciones posibles para el cálculo de las cargas de rotura de los stays (backstay y forestay en este caso).

Para el velero en cuestión la configuración corresponde al número 1 de los diversos tipos admitidos. Mediante el cálculo de los diversos parámetros se obtienen los siguientes resultados: pfo (forestay) y pa (backstay).

$$\alpha_a = 21^\circ ; \alpha_f = 16^\circ$$

$$l = 13.84 \text{ m} ; l_a = 15.19 \text{ m} ; f_s = 1.32 \text{ m}$$

$$p_{fo} = 23567.25 \text{ N} ; p_a = 18126.66 \text{ N}$$

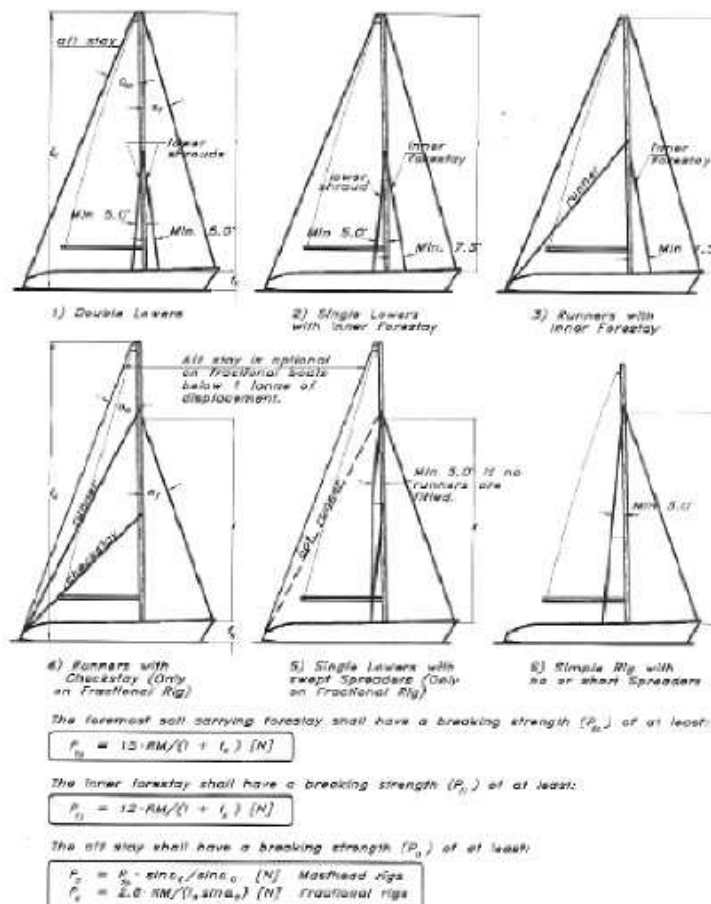


Fig. 34 - Cargas en los stays

## CÁLCULO DEL MÁSTIL

Conociendo las tensiones a las que deberían ser capaces de resistir toda la jarcia firme de la embarcación, se puede dimensionar el mástil, elemento al que van arraigados tanto obenques



como stays, y que debe ser capaz de resistir los esfuerzos a los que será sometido y transmitirlos (descargarlos) a la estructura del velero.

La tensión creada sobre los obenques y stays crea una compresión en el palo. El mástil debe tener suficiente resistencia para no romperse ni flexar en exceso.

La disposición de los diversos pisos de crucetas divide el mástil en paneles y el momento de inercia del mástil dependerá de la longitud de cada uno de los paneles y de las cargas de ese panel.

Cálculo de la rigidez transversal

A continuación se procede al dimensionamiento del mástil según las demandas a las que es sometido.

$K_3 = 1$ , ya que el mástil se apoya en la quilla

$m = 1$ , ya que el mástil está construido en aluminio.

$b = 0.982 \text{ m}$

Resumen cálculo rigidez transversal - mástil	
Panel 1	$PT = 1.5 * RM / b = 36382.84 \text{ N}$ $K_1 = 2.7 ; l_1 = 5.35 \text{ m} ; I_x = 2811692.9 \text{ mm}^4$
Panel 2	$PT = 1.5 * RM / b - D_1 * \cos \theta_1 = 26288.71 \text{ N}$ $K_1 = 3.8 ; l_2 = 4.31 \text{ m} ; I_x = 1143162.09 \text{ mm}^4$
Panel 3	$PT = 1.5 * RM / b - (D_1 * \cos \theta_1 - D_2 * \cos \theta_2) = 20482.59 \text{ N}$ $K_1 = 3.8 ; l_3 = 4.21 \text{ m} ; I_x = 308628 \text{ mm}^4$

Tabla 10 - Cálculo parámetros de rigidez transversal - mástil

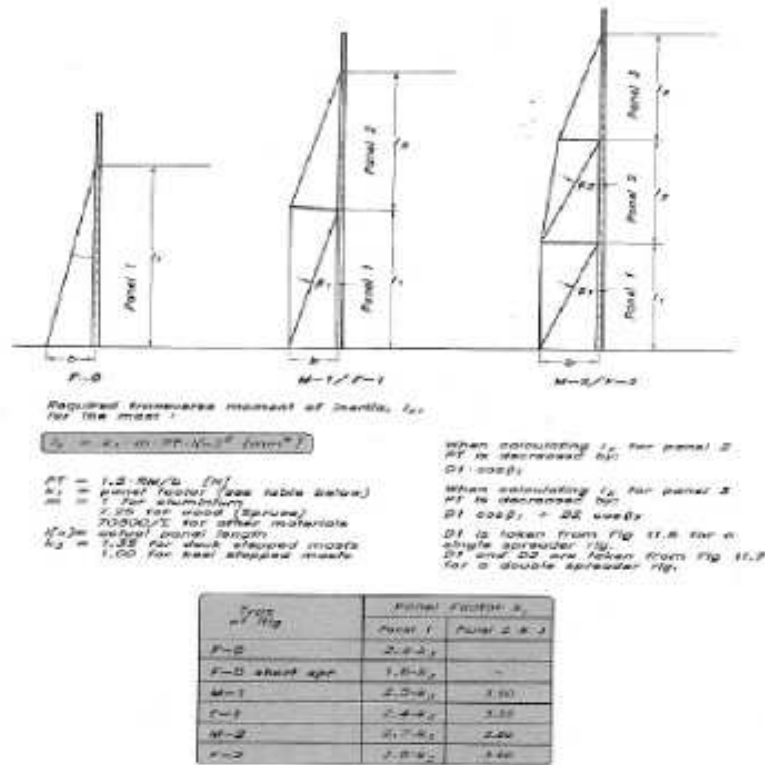


Fig. 35 - Cálculo de  $I_y$  requerido

Cálculo de la rigidez longitudinal

A continuación se procede al dimensionamiento del mástil según las demandas a las que es sometido.

$K_3 = 1$ , ya que el mástil se apoya en la quilla

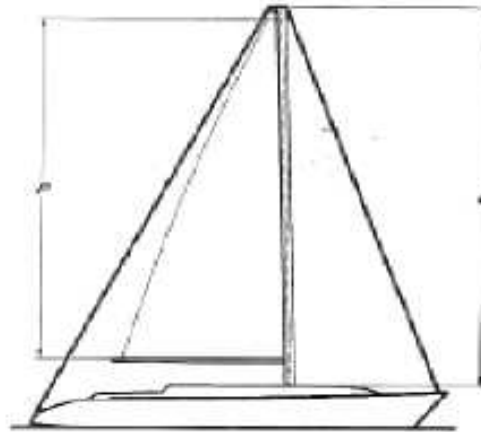
$K_2 = 0.9$ , debido al tipo de aparejo seleccionado

$m = 1$ , construcción del mástil en aluminio

$h = 13.51$  m

$$PT = 1.5 \cdot RM/b = 36382.84 \text{ N}$$

$$I_y = 5976539.07 \text{ mm}^4$$



Required Longitudinal Moment of Inertia  
for the Mast ( $I_y$ ):

$$I_y = k_2 \cdot k_3 \cdot m \cdot PT \cdot h^2 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$PT = 1.5 \cdot RM/b$  [N]  
 $k_2 =$  staying factor (see table below)  
 $m = 1$  for aluminium  
 $2.25$  for wood (spruce)  
 $30500/E$  for other materials  
 $k_3 = 1.35$  for keel stepped masts  
 $1.00$  for keel stepped masts  
 $h =$  height above deck or superstructure  
to the highest sail carrying forestay

Type of Staying	Staying Factor $k_2$				
	F-3	M-1	F-1	M-2	F-2
1) Double Lowers	-	0.88	0.90	0.90	0.95
2) Single Lowers	-	0.80	0.75	0.88	0.80
3) Runners & LP	-	-	0.88	-	0.80
4) Runners & v.s	-	1.00	0.90	0.90	0.90
5) Swept spreaders	-	-	1.00	-	0.95
6a) Short spreaders	1.85	-	-	-	-
6b) No spreaders	2.00	-	-	-	-

Fig. 36 - Cálculo de  $I_y$  requerido

## CÁLCULO DE LA BOTAVARA

La botavara está sujeta a fuerzas de flexión que provienen de la presión del viento sobre la mayor. Estas fuerzas son contrarrestadas por la escota de la mayor y la contra. Todo ello genera un fuerza horizontal y otra vertical en el pinzote (elemento de unión entre la botavara y el mástil).

La zona del mástil donde el pinzote va unido es particularmente crítica, zona de concentración de esfuerzos. Por una banda, el pinzote se encuentra en el primer panel, donde el mástil sufre de mayor compresión como se ha calculado con anterioridad, por lo que la sección del mástil debe ser suficiente para soportar los esfuerzos a los que es sometido por los stays y obenques, pero además por los esfuerzos que le transmite la botavara.

A continuación se procede al cálculo de los módulos resistentes.



$$SM_v = (600 \cdot RM \cdot (E - d_1)) / (\sigma_{0.2} \cdot HA) \text{ mm}^3$$

HA es la distancia entre la línea de flotación y CPV.

El módulo resistente horizontal no puede ser inferior al 40-50 % del vertical. Debe tomarse esta referencia como factor de seguridad.

Para que el cálculo mediante esta normativa sea válido el punto de anclaje de la escota de la mayor en la botavara debe estar a menos del 10% de la longitud de la botavara respecto el extremo de popa de la misma.

$$HA = 7.5 \text{ m} ; d_1 = 0.946 \text{ m} ; d_2 = 0.549 \text{ m} ; \sigma_{0.2} = 210 \text{ Mpa}$$

$$F_v = 7433.01 \text{ N} ; F_h = 12808.06 \text{ N}$$

$$SM_y = 31600.35 \text{ mm}^3 ; SM_x = 15800.18 \text{ mm}^3 \text{ (} SM_x = 0.5 \cdot SM_y \text{)}$$

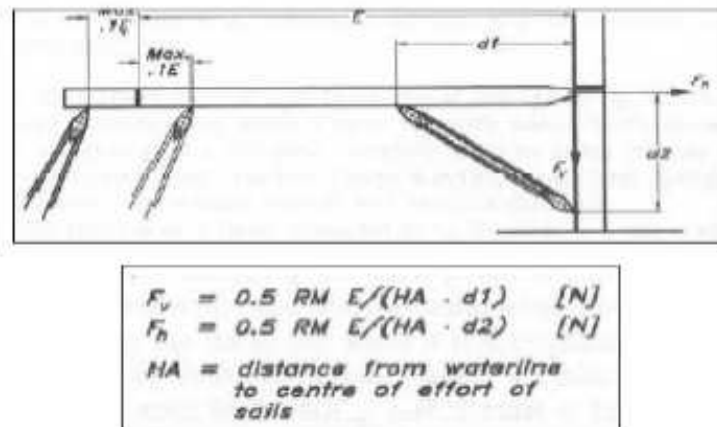


Fig. 37 - Cálculo de esfuerzos en la botavara

## CÁLCULO DE LAS CRUCETAS

Las crucetas tienen la finalidad de disminuir la longitud del mástil entre puntos de apoyo, es decir, de conseguir hacer el mástil en tramos diversos para que la sección de éste sea menor al descargar las tensiones en diversos puntos.

Para que las crucetas trabajen de forma adecuada debe procurarse que trabajen a compresión pura, evitando que se desplacen de forma vertical o longitudinal. La compresión en las crucetas vendrá dada por los ángulos que formen con los obenques. Por este motivo las crucetas deben colocarse con un cierto ángulo de inclinación procurando que coincidan con las bisectrices de los ángulos que forman los obenques.



Para favorecer el comportamiento del mástil longitudinalmente se suelen retrasar las crucetas entre 10-15 °, de esta forma los obenques sostienen la estructura del mástil en el sentido longitudinal. Hay diversas configuraciones y según el barco se diseñe para unas condiciones de navegación dadas ( ceñidas o portantes) se dispondrá uno u otro ángulo.

Piso de crucetas 1

Parámetros primer piso de crucetas
$C1 = 1595.89 \text{ N}$
$\delta = 10^\circ$
$S1 = 990 \text{ mm}$
$E = 70000 \text{ N/mm}^2$
$I1 = 18151.53 \text{ mm}^4$
$V1 = 10622.15 \text{ N}$
$SM1 = 7890.41 \text{ cm}^3$
$M1 = 1656986.56 \text{ Nmm}$

Tabla 11 - Parámetros calculados primer piso de crucetas

Piso de crucetas 2

Parámetros primer piso de crucetas
$C2 = 560.98 \text{ N}$
$\delta = 10^\circ$
$S2 = 750 \text{ mm}$
$E = 70000 \text{ N/mm}^2$
$I2 = 3661.91 \text{ mm}^4$
$V2 = 4872.63 \text{ N}$
$SM2 = 2742.06 \text{ cm}^3$
$M2 = 575832.19 \text{ Nmm}$

Tabla 12 - Parámetros calculados segundo piso de crucetas



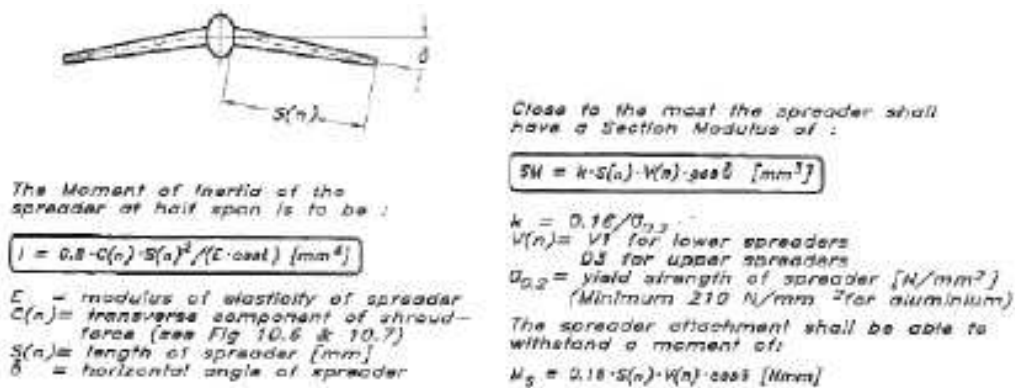


Fig. 38 - Cálculo de esfuerzos en las crucetas

## SECCIONES Y CABLEADO DE LA JARCIA

Los cables para los stays y obenques son un punto importante en el diseño de un aparejo determinado por tal que soporte los esfuerzos a los que va a ser sometido sin que produzca fallo. Se puede montar dos tipos de "cableado", cable o varilla inoxidable. Para la elección de uno u otro se debe tener en cuenta la carga de rotura, la fatiga, la resistencia a la corrosión y el coste.

La carga de rotura de cada obenque y stay está definida en apartados anteriores. Los cables y varillas disponen de una sección proporcional a la carga máxima para la que han sido diseñados. Para una misma sección, una varilla ofrece un 20% más de resistencia que un cable.

Por otra banda, la fatiga es un elemento importante en toda estructura. Si los arraigos de stays y obenques permiten la variación del ángulo de los mismos, el cable sufrirá más que una varilla, debido a que está formado por diversos filamentos que van friccionando entre sí. Por otro lado la varilla es más sensible a daños superficiales que pueden llevar a grietas. La detección del fallo por fatiga suele ser más evidente en cables que en varillas. Los diversos filamentos que conforman el cable va rompiendo haciéndose bastante visual la necesidad de una sustitución del mismo, mientras que la reproducción de grietas en la varilla es más difícil de detectar.

El coste de ambos elementos es muy dispar. El coste de la varilla se sitúa en torno al 150 o 200 % respecto del coste del cableado para una misma resistencia. Por tanto el coste, para una embarcación de estas dimensiones y presupuesto, es un factor determinante en la elección de uno u otro sistema.



En el caso particular de estudio se decide montar cableado de acero inoxidable calidad naval 1x19.

Dimensiones y propiedades del cableado			
Cable	Diámetro (mm)	Carga de rotura ( N )	Peso (kg/m)
D1	6	30000	0.165
D2	4	13800	0.073
D3	5	21600	0.113
V1	7	40900	0.225
V2	5	21600	0.113
Forestay	5.5	25700	0.139
Backstay	5	21600	0.113

Tabla 13 - Dimensiones y propiedades del cableado 1x19

Se unifican los diámetros de todo el cableado a 7 mm para simplificar la construcción de la jarcia de la embarcación y su concepción.

A continuación se dimensiona las secciones de mástil y botavara.

Dimensiones y propiedades de las secciones							
	Dim (mm)	Iy (cm4)	Ix (cm4)	Esp (mm)	Peso (kg/m)	SMy (cm3)	SMx (cm3)
Mástil	177x124	725	345	3.4	4.75	74.7	55.6
Botavara	143x76	290	80	2.2	2.83	39.4	20.9

Tabla 14 - Dimensiones y propiedades de las secciones de mástil y botavara



Typical properties for aluminium extrusions

Mast	Main Dim. (mm)	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	$I_x$ (cm <sup>4</sup> )	Wall Thkn. (mm)	Weight Kg/m	$SM_y$ (cm <sup>3</sup> )	$SM_x$ (cm <sup>3</sup> )
Oval Sect.	122/85	165	75	2.45	2.43	23.6	17.6
	130/93	215	100	2.50	2.71	29.0	21.5
	138/95	287	139	2.85	3.35	35.0	29.3
	155/104	413	191	3.05	3.89	45.9	36.7
	170/116	569	260	3.10	4.11	58.1	45.2
	177/124	725	345	3.40	4.75	74.7	55.6
	189/132	956	458	3.70	5.75	89.3	69.4
	206/139	1310	613	4.10	6.44	115	88.2
	224/150	1775	830	4.50	7.32	143	111
	237/162	2360	1120	4.85	8.76	176	138
274/185	3650	1650	4.90	10.32	232	178	
Delta Sect.	121/92	205	122	3.00	3.15	28.9	26.5
	129/100	292	173	3.50	3.74	38.9	35.0
	137/113	375	250	3.90	4.21	50.0	44.7
	146/112	508	310	4.40	5.05	61.9	55.3
Furl. Sect.	160/132	750	500	5.30	6.67	80.6	75.7
	190/94	580	200	3.00	4.69	55.4	42.5
	213/104	850	290	3.15	5.45	73.2	55.7
	235/116	1240	435	3.40	6.55	97.6	75.0
Sect.	232/128	1390	605	5.00	8.71	128	96
	260/136	2400	900	5.75	10.36	176	132
	280/150	3530	1300	6.00	12.63	224	173
	86/59	60	23	1.80	1.67	14.0	7.8
Boom Sect.	120/62	155	42	1.80	2.16	24.8	13.7
	143/76	290	80	2.20	2.83	39.4	20.9
	162/123	615	330	2.80	4.75	76.0	55.0
	171/94	610	170	2.80	4.03	67.7	39.7
	200/117	1190	325	2.80	5.36	112	55.5
250/140	2410	640	3.20	6.96	185	91.4	
Spinn Pole Sect.	48/48	7.65	7.65	2.00	0.75		
	60/60	15.4	15.4	2.00	1.00		
	72/72	29.9	29.9	2.20	1.38		
Sect.	84/84	48.8	48.8	2.20	1.53		
	96/96	72.3	72.3	2.20	1.76		
	99/99	123	123	3.60	2.65		
	111/111	197	197	4.10	3.38		

Fig. 39 - Tipos de secciones para mástil y botavara



## DISEÑO ESTRUCTURAL Y ESCANTILLONADO

---

Para el cálculo del escantillonado de la embarcación se va a emplear la normativa UNE-EN ISO 12215-5 cuyo objetivo es conseguir una resistencia estructural que asegure la integridad del velero mediante el cálculo de las presiones y tensiones de diseño de las diversas zonas del casco, cubierta y superestructura delimitadas por un diseño estructural propuesto. A posteriori se determinan los requerimientos para dicha estructura.

Los refuerzos pueden clasificarse en transversales y longitudinales. Como transversales se tendrían las cuadernas, las varengas y mamparos. Como refuerzos longitudinales se dispondría de las vagras, longitudinales de costado y mamparos que discurren en dicho sentido. Los refuerzos de cubierta serían baos (refuerzos transversales), longitudinales de cubierta.

A su vez el velero puede descomponerse en zonas, formadas por un conjunto de las diversas zonas obtenidas por la estructura. Se puede diferenciar entre el fondo del casco, el costado del casco, cubierta y superestructura.

El escantillonado obtenido parte de la base de una estructura propuesta y formada por las diversas subdivisiones de la cabina (camarotes) teniendo en cuenta las posibles interferencias entre estructura y mobiliario interior. El estudio se basa en el cálculo de la presión y espesor de cada una de las planchas según los requerimientos impuestos a cada una de las zonas.

Una vez obtenidas las presiones de cada zona se puede calcular el espesor necesario usando las formulas de la normativa. A posteriori se procede a determinar la secuencia de laminado necesaria para cumplir con dicho espesor, según el proceso a usar o proyectado.

Para el escantillonado de los refuerzos se determina el tipo de perfil de los mismo, en este caso serán del tipo sombrero de copa o omega. Una vez se tiene determinado el perfil se procede con el cálculo del módulo resistente y el momento de inercia requerido, para a continuación determinar las dimensiones que ofrezcan dichas prestaciones.

Para empezar con el cálculo estructural es necesario determinar que materiales van a usarse en la construcción de la embarcación, así como el método constructivo, ya que la normativa lo contempla en los cálculos mediante diversos parámetros.



En este caso la embarcación será construida en base a fibra de vidrio, mediante estructuras simples de MAT y ROVING, a priori. El contenido de masa en fibra del laminado será de  $\psi = 0.6$ , y la relación de MAT/ROVING no será superior a 1 en masa. La resina a utilizar para el casco será isoftálica para las primeras capas del laminado, proporcionando así mayor eficacia en la prevención de la osmosis. A continuación las sucesivas capas serán laminadas con resina ortoftálica, así como la cubierta y la superestructura.

El método constructivo proyectado es la infusión, método de coste económico contenido y que mejora sustancialmente las características mecánicas del laminado respecto de la concepción manual.

## **PRESIONES Y ESCANTILLONADO EN EL CASCO**

Para la determinación del escantillonado y secuencia de laminado necesario deben calcularse las presiones de diseño, y para ello se deben determinar una serie de parámetros previos que se detallan a continuación:

- Factor de categoría de diseño  $K_{dc}$ , por el cual la categoría de diseño tipo B le corresponde un valor de 0.8.
- Factor de carga dinámica  $n_{cg}$ . Este factor representa la aceleración negativa que soporta la embarcación, bien cuando choca contra una ola con la que se encuentra cuando navega a gran velocidad, o bien cuando cae desde la cresta de una ola. Este parámetro se expresa en  $g_s$ , donde  $1g$  es la aceleración de la gravedad. Este parámetro es necesario para determinar  $K_I$ , y para ello  $n_{cg}$  toma el valor de  $3g_s$ .
- Factor longitudinal de distribución de presión  $K_I$ , por el cual se tiene en cuenta la variación de las cargas de presión debidas a la situación de la embarcación.
- Factor de reducción de presión según la superficie  $K_{ar}$ , que tiene en cuenta la variación de las cargas de presión según el tamaño del panel o refuerzo.
- Factor de reducción de presión en el costado  $K_z$ . Este parámetro interpola la presión del costado entre la presión del fondo y la presión de la cubierta en su borde.
- Factor de reducción de presión para superestructuras  $K_{sup}$ .
- Factor de corrección de la presión por el efecto de slamming  $K_{sl}$ , por el cual se tiene en cuenta las presiones más elevadas debidas a este fenómeno cuando la embarcación navega.



Una vez calculados estos factores se pueden calcular las presiones de diseño en las distintas zonas de la embarcación.

A continuación se mostrará el panel que mayor requisitos ha demandado y en base al cual se calculará el laminado de toda la zona.

Laminado del fondo

$$PBS \text{ base} = 49.60 \text{ KN/m}^2$$

$$PBS \text{ mínimo} = 16.17 \text{ KN/m}^2$$

Donde PBS es la presión de diseño de los fondos.

Panel	x(m)	x/Lwl	Kl	b(mm)	Kr	l(mm)	Ad(m <sup>2</sup> )	Kar	PBS(KN/m <sup>2</sup> )
13	7.34	0.77	1	970	1.21	2805	2.35	0.33	13.02

Tabla 15 - Cálculo de PBS panel 13

Una vez calculada la presión de diseño se puede pasar al cálculo del espesor de los paneles.

K5	A	K7	K8	V	mldc	Wfmin(Kg/m <sup>2</sup> )
1	1.5	0.03	0.15	7.27	4288	1.76

Tabla 16 - Cálculo de wfmin panel 13

Donde wfmin es la masa mínima de fibra seca para el laminado de resina poliéster reforzada con fibra de vidrio. El contenido de fibra en masa es de 0.6.

Panel	c(mm)	c/b	Kc	l/b	K2	$\sigma_d$ (N7mm <sup>2</sup> )	t(mm)
13	71	0.07	0.86	2.89	0.5	143.86	6.23

Tabla 17 - Cálculo de t panel 13

El espesor (t) obtenido es el mínimo requerido y al cual la propuesta de secuencia de laminado debe llegar.

El laminado debe cumplir ambos dos requisitos, tanto el wfmin obtenido como el t calculado.



Laminado del costado

$$PDS \text{ base} = 19.90 \text{ KN/m}^2$$

$$PSS \text{ min} = 10.64 \text{ KN/m}^2$$

Donde PDS es la presión en las cubiertas de los veleros expuestas a la intemperie y PSS es la presión en los costados de los veleros.

Panel	Z(m)	h(m)	Kz	x(m)	x/Lwl	Kl	b(mm)	Kr
22	1.2	0.56	0.53	5.44	0.57	0.98	1103	1.17

Tabla 18 - Cálculo de parámetros panel 22

Panel	l(mm)	Ad(m <sup>2</sup> )	Kar	PSS(KN/m <sup>2</sup> )
22	1237	1.36	0.37	10.41

Tabla 19 - Cálculo de PSS panel 22

Para el cálculo del espesor de los paneles se procede de forma análoga al cálculo del espesor de los paneles de fondo.

K5	A	K7	K8	V	Ml <sub>dc</sub>	W <sub>fmin</sub> (kg/m <sup>2</sup> )
1	1.5	0	0.15	7.27	4288	1.66

Tabla 20 - Cálculo de w<sub>fmin</sub> panel 22

El contenido de fibra en el laminado será de 0.6.

Panel	b(mm)	c(mm)	l(mm)	c/b	Kc	l/b	K2	σ <sub>d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	t(mm)
22	1103	10	1237	0.01	1	1.12	0.36	143.86	5.67

Tabla 21 - Cálculo de t panel 22

El espesor obtenido es el mínimo requerido y al cual la propuesta de secuencia de laminado debe llegar.

El laminado debe cumplir ambos dos requisitos, tanto el w<sub>fmin</sub> obtenido como el t calculado.



Como puede observarse, el panel que representa el fondo muestra unos requisitos superiores al panel que representa el costado del casco. En este sentido se tomará como referencia el panel 13 (fondo) para realizar la propuesta de laminado.

Propuesta de laminado			
Capa	Tela	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Espesor (mm)
1	Gelcoat	-	-
2	Velo superficial	0.08	0.149
3	Mat 450	0.45	0.842
4	Mat 450	0.45	0.842
5	Mat 450	0.45	0.842
6	Roving 500	0.5	0.495
7	Roving 500	0.5	0.495
8	Mat 450	0.45	0.842
9	Roving 500	0.5	0.495
10	Roving 500	0.5	0.495
11	Mat 450	0.45	0.842
	Total	4.33	6.337
	Requerido	1.76	6.23

Tabla 22 - Propuesta de laminado para el casco

## PRESIONES Y ESCANTILLONADO EN LA CUBIERTA

La cubierta y la caseta se construyen en una sola fase simplificando el proceso constructivo. Por este motivo pese a calcular las presiones de diseño de la cubierta y la superestructura por separado, para la realización del laminado se escogerá el que mayor requisito de espesor y contenido en masa de fibra seca requiera.

La cubierta será construida en base a un laminado tipo sándwich lo que genera mayor rigidez de los paneles, menor peso estructural, mejores características mecánicas, el centro de gravedad de la embarcación será más bajo, entre otros aspectos no menos importantes.



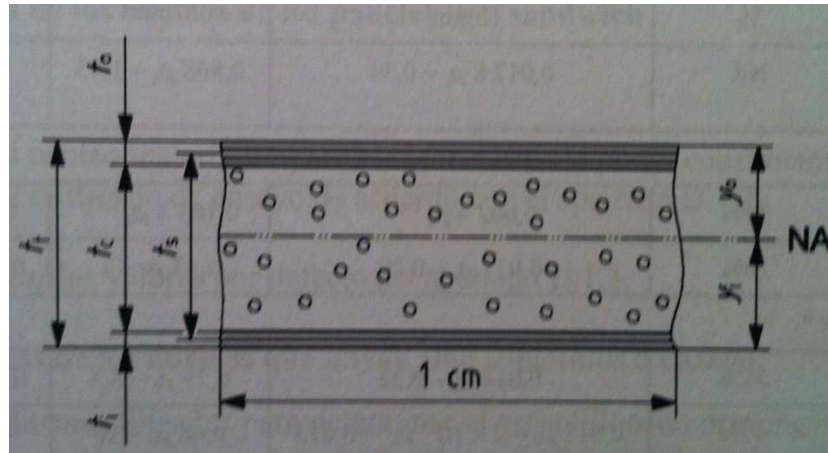


Fig. 40 - Esquema laminat sandwich

Laminado de la cubierta

$$PDS \text{ base} = 19.90 \text{ KN/m}^2$$

$$PDS \text{ mínimo} = 5 \text{ KN/m}^2$$

Donde PDS es la presión en las cubiertas de los veleros expuestas a la intemperie.

Panel	x(m)	x/Lwl	Kl	b(mm)	Kr	l(mm)	Ad(m <sup>2</sup> )	Kar	PDS(KN/m <sup>2</sup> )
15	2.05	0.22	0.68	1492	1.05	2342	3.49	0.25	2.74

Tabla 23 - Cálculo de PDS panel 15

Una vez calculada la presión de diseño se puede pasar al cálculo del espesor de los paneles.

Kdc	K4	K5	K6	Lwl(m)	Wos(kg/m <sup>2</sup> )	Wis(kg/m <sup>2</sup> )
0.8	0.7	1	1	9.5	0.616	0.431

Tabla 24 - Cálculo de wos y wis panel 15

Donde wos es la masa mínima de fibra seca para el laminado de resina poliéster reforzada con fibra de vidrio de la capa exterior y wis es el correspondiente para la capa interior. El contenido de fibra en masa es de 0.6.



Panel	kshc	b(mm)	Kc	PDS(KN/m2)	$\tau_d(N/mm^2)$	ts(mm)
15	0	1492	1	2.75	0.46	7.11

Tabla 25 - Cálculo de ts panel 15

El espesor (ts) obtenido es el mínimo requerido y al cual la propuesta de secuencia de laminado debe llegar.

b(mm)	Kc	PDS(KN/m2)	K2	$\sigma_{dt}(N/mm^2)$	$\sigma_{dc}(N/mm^2)$	K3	K1	Eio(N/mm2)
1492	1	2.75	0.46	138.5	81	0.025	0.017	17800

Tabla 26 - Cálculo de parámetros panel 15

Smo/1(cm3/cm)	Smi/1(cm3/cm)	I/1(cm4/cm)
0.062	0.101	0.115

Tabla 27 - Cálculo de Smo/1, Smi/1 e I/1 panel 15

En la tabla anterior se muestran los valores mínimos de Smo/1 (módulo de inercia capa exterior), Smi/1 (módulo de inercia capa interior) e I/1 (segundo momento de inercia).

El laminado debe cumplir todos los requisitos, tanto el wos/wis obtenidos, como el ts calculado, Smo/1, Smi/1 e I/1.

#### Laminado de la superestructura

$$PDS \text{ base} = 19.90 \text{ KN/m}^2$$

$$PDS \text{ mínimo} = 5 \text{ KN/m}^2$$

Donde PDS es la presión en las cubiertas de los veleros expuestas a la intemperie.

Panel	x(m)	x/Lwl	Kl	b(mm)	Kr	l(mm)	Ad(m2)	Kar	Ksup	PSUP(KN/m2)
20	4.626	0.49	0.91	1807	0.96	2806	5.07	0.25	0.5	1.98

Tabla 28 - Cálculo de PSUP panel 20

Una vez calculada la presión de diseño se puede pasar al cálculo del espesor de los paneles.



Kdc	K4	K5	K6	Lwl	wos	wis
0.8	0.7	1	1	9.5	0.616	0.431

Tabla 29 - Cálculo de wos y wis panel 20

Donde wos es la masa mínima de fibra seca para el laminado de resina poliéster reforzada con fibra de vidrio de la capa exterior y wis es el correspondiente para la capa interior. El contenido de fibra en masa es de 0.6.

Panel	kshc	b(mm)	Kc	PSUP(KN/m <sup>2</sup> )	$\tau_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	ts(mm)
20	0.43	1807	0.5	1.98	0.46	6.02

Tabla 30 - Cálculo de ts panel 20

El espesor (ts) obtenido es el mínimo requerido y al cual la propuesta de secuencia de laminado debe llegar.

b(mm)	Kc	PSUP(KN/m <sup>2</sup> )	K2	$\sigma_{dt}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{dc}$ (N/mm <sup>2</sup> )	K3	K1	Eio(N/mm <sup>2</sup> )
1807	0.5	1.98	0.46	138.5	81	0.025	0.017	17800

Tabla 31 - Cálculo de parámetros panel 20

Smo/1(cm <sup>3</sup> /cm)	Smi/1(cm <sup>3</sup> /cm)	I/1(cm <sup>4</sup> /cm)
0.023	0.037	0.025

Tabla 32 - Cálculo de Smo/1, Smi/1 e I/1 panel 20

En la tabla anterior se muestran los valores mínimos de Smo/1 (módulo de inercia capa exterior), Smi/1 (módulo de inercia capa interior) e I/1 (segundo momento de inercia).

El laminado debe cumplir todos los requisitos, tanto el wos/wis obtenidos, como el ts calculado, Smo/1, Smi/1 e I/1.

Como puede observarse, el panel que representa la cubierta muestra unos requisitos superiores a el panel que representa la superestructura. En este sentido se tomará como referencia el panel 15 (cubierta) para realizar la propuesta de laminado.



Propuesta de laminado			
Capa	Tela	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Espesor (mm)
1	Gelcoat	-	-
2	Velo superficial	0.08	0.149
3	Mat 300	0.3	0.561
4	Mat 450	0.45	0.842
5	Roving 500	0.5	0.495
6	Roving 500	0.5	0.495
7	Mat 300	0.3	0.561
	Subtotal so	2.13	3.103
	Requerido so	0.616	
8	pvc	0.8	10
9	Mat 300	0.3	0.561
10	Roving 500	0.5	0.495
11	Mat 450	0.45	0.842
12	Roving 500	0.5	0.495
13	Mat 300	0.3	0.561
	Subtotal si	2.05	2.954
	Requerido si	0.431	
	Total	4.98	16
	Requerido	1.047	13

Tabla 33 - Propuesta laminado sándwich

Resumen requisitos y resultados propuesta sándwich		
	Propuesta	Requerido
Smo/1 (cm <sup>3</sup> /cm)	0.3	0.062
Smi/1 (cm <sup>3</sup> /cm)	0.3	0.062
I/1 (cm <sup>4</sup> /cm)	0.254	0.115

Tabla 34 - Resumen requisitos vs resultados propuesta

El resultado de la propuesta es un laminado que dobla las características de resistencia necesarias y especificadas por la ISO, ello es debido a la disposición de un laminado que



ofrezca la rigidez necesaria, no para resistir los esfuerzos propios a la navegación, si no para que no flexen por el tránsito de la tripulación y pertrechos a través de ella.

## **PRESIONES Y ESCANTILLONADO DE REFUERZOS**

Con anterioridad a realizar el cálculo de los refuerzos de casco y cubierta según los espesores obtenidos para las zonas definidas, se debe proceder a calcular los requisitos mínimos que estos han de cumplir en las zonas más delicadas de la embarcación.

En el caso de un velero la zona de la unión orza-casco es un punto de tensiones terrible y es por ello que además de garantizar la integridad del casco frente a los esfuerzos generales debidos al medio, se debe dotar de suficiente resistencia para soportar los esfuerzos locales como tal.

### Requisitos para los refuerzos de la plancha de quilla

A continuación se realizan los cálculos para dos situaciones diferenciadas: una colisión de la orza con un elemento sumergido y un vuelco a 90 ° de la embarcación. Se trata de dos situaciones dispares que producen unas sollicitaciones en la zona de unión casco-orza que deben considerarse debidamente ya que se producen con mayor asiduidad de lo que se piensa en un primer momento.

#### 1. Colisión

$$F_i = 64128.59 \text{ N}$$

$$a_r = 14.96 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$V_b = 7.27 \text{ knots}$$

$$V_s = 3.74 \text{ m/s}$$

$$t_s = 0.25 \text{ s}$$

$$M_{kl} = 105812.17 \text{ Nm (momento de impacto)}$$

$$P_r = 151160.25 \text{ N (fuerza de reacción)}$$

$$\sigma_{y25} = 213.85 \text{ N/mm}^2 \text{ (resistencia de los pernos de la orza)}$$

$$M_{fl} = 14360.22 \text{ Nm (momento de flexión del fondo)}$$



$$SM_{fl} = 51.84 \text{ cm}^3 \text{ (módulo de inercia del fondo)}$$

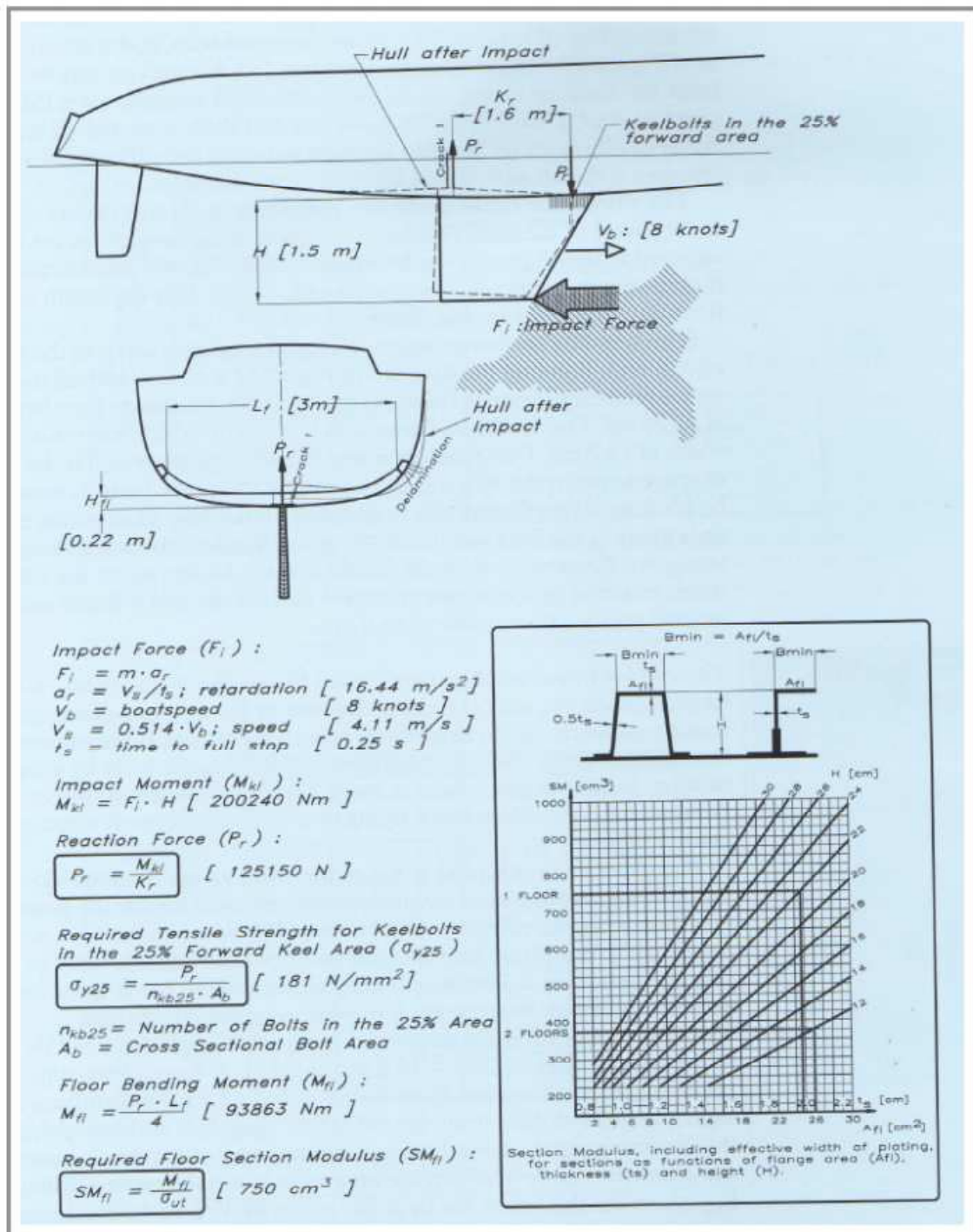


Fig. 41 - Parámetros para el cálculo de una colisión



2. Vuelco a 90°

$$M_{kt} = 10959.73 \text{ Nm (Momento transversal orza)}$$

$$P_{kt} = 109597.32 \text{ N (carga en los pernos)}$$

$$d_{kb} = 24.096 \text{ mm (diámetro mínimo de los pernos)}$$

$$A_{min} = 22481.50 \text{ mm}^2 \text{ (área unión orza-casco)}$$

$$SM_{fl} = 59.35 \text{ cm}^3 \text{ (módulo de inercia fondo)}$$

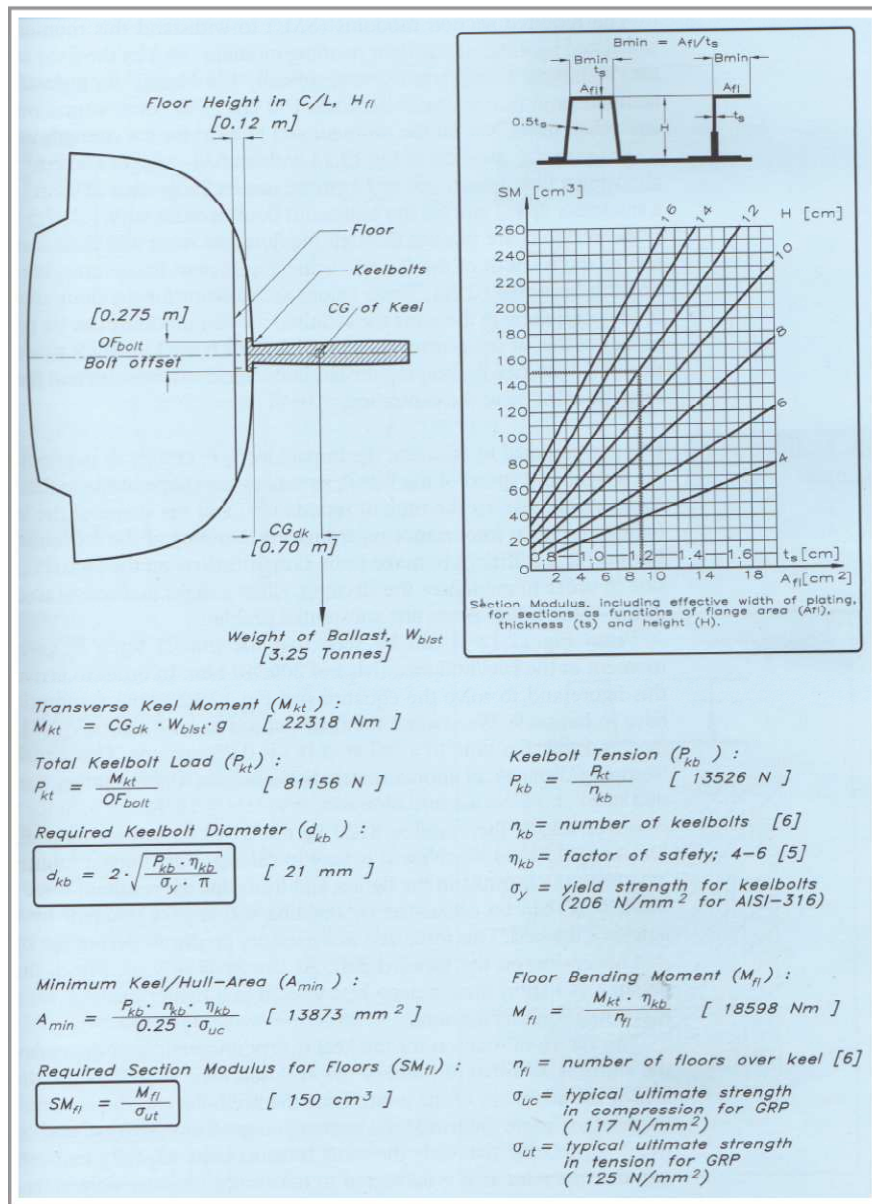


Fig. 42 - Parámetros de cálculo para un vuelco 90°



Se ha obtenido dos valores bastante próximos de momentos de inercia para la zona de refuerzos que sostienen unidas quilla y orza. De entre ambos se deberá cumplir con el más exigente, de esta manera la situación de menor requisito presentado quedará igualmente cubierta. Según los cálculos realizados para un vuelco a 90° de la embarcación se deberá dotar a la zona de un momento de inercia de 59.25 cm<sup>3</sup>.

Se procede a continuación con el cálculo de los refuerzos definiendo para ello el contenido de fibra en masa que se va a usar o dotar al elemento resistente y el tipo de sección. De entre el conjunto de refuerzos, aquellos que forman parte de la misma tipología y actúan en una misma zona, se escogerá el que mayor requisitos presente y se usará como referencia para la realización de todos ellos, al igual que se hiciera con el escantillonado de casco y cubierta. Todo ello responde a la búsqueda de la eficiencia y facilidad constructiva.

La sección a usar será de tipo sombrero de copa, la más habitual en las embarcaciones de recreo.

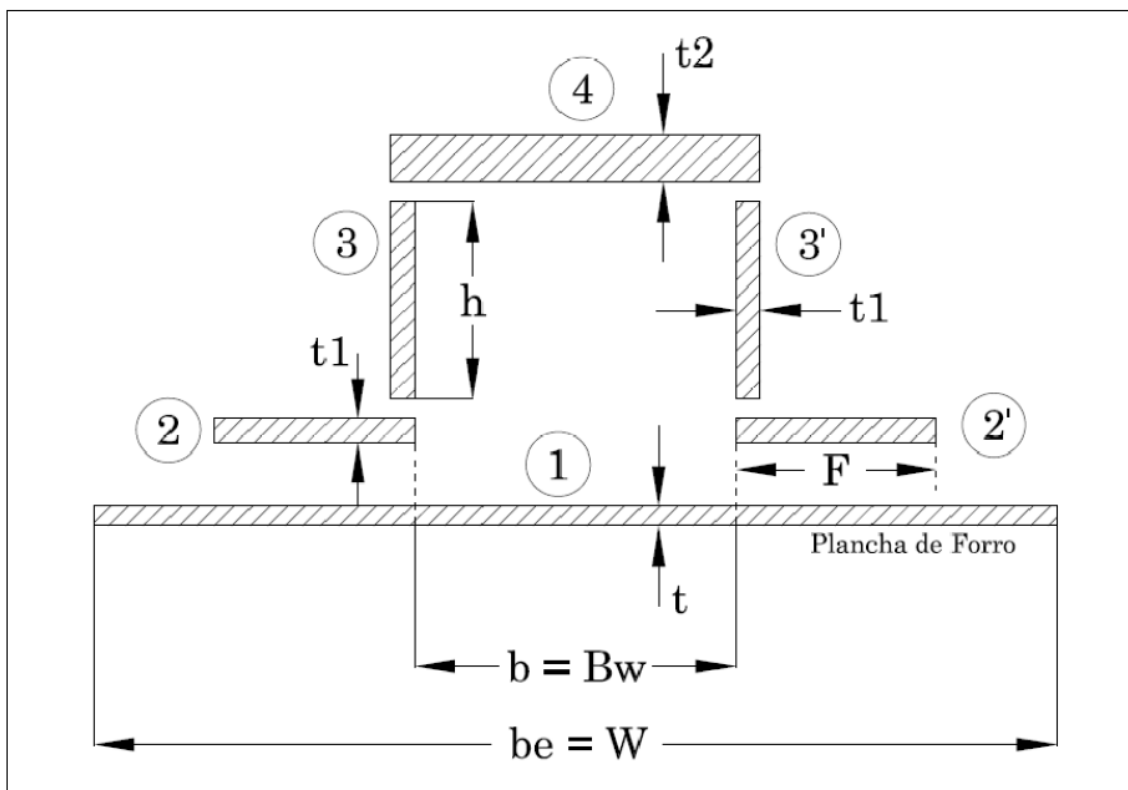


Fig. 43 - Sección de un refuerzo

Para realizar el cálculo de los módulos resistentes y los momentos de inercia requeridos se utilizará la ISO 12215-5 al igual que para el cálculo del escantillonado de casco y cubierta. En





todo caso, para determinar los módulos resistentes y momentos de inercia de los refuerzos propuestas se procederá al uso de las fórmulas para resistencia de materiales.

$$I_n = \sum I_p + \sum A_i \cdot (y_i - y_g)^2 \text{ mm}^4 \text{ (momento de inercia)}$$

$$SM = I_n / y_{\text{máx}} \text{ mm}^3 \text{ (módulo resistente)}$$

### Longitudinales de fondo

Refuerzos que discurren en el sentido de la eslora por el fondo del casco y que dotan a la estructura de resistencia a la flexión longitudinal.

Se distingue entre dos zonas a partir de la posición del motor. Este elemento requiere de una altura determinada para dotarlo de una inclinación y posición tal que permita su correcto funcionamiento, además de transmitir los esfuerzos al casco. Por tanto habrá dos refuerzos de diferente sección: de la bancada del motor (incluida) hacia popa y del compartimento de motor hacia proa.

Se muestran a continuación ambos refuerzos representativos de su conjunto por solicitar los mayores requisitos mecánicos: refuerzo 2 (bancada motor-popa) y 9 (compartimento motor-proa).

Refuerzo	ksa	P(kN/m <sup>2</sup> )	s(mm)	lu(mm)	τd(N/mm)	σd(N/mm <sup>2</sup> )	K1s	Etc(N/mm <sup>2</sup> )
2	5	21.185	682.5	2807	31	58.5	0.05	6400
9	5	16.17	660	2349	31	58.5	0.05	6400

Tabla 35 - Cálculo parámetros refuerzos 2 y 9

Refuerzo	Aw(cm <sup>2</sup> )	SM(cm <sup>3</sup> )	I(cm <sup>4</sup> )
2	6.55	162.28	289.81
9	4.04	83.88	125.36

Tabla 36 - Requisitos refuerzos 2 y 9



Dimensiones propuesta (mm)		
	Refuerzo 2	Refuerzo 9
t	7	7
h	136	69
f	40	40
Bw	100	100
be	160	160
t1	4	6
t2	8	8
SM	162.55	85.46
I	2415.33	738.18

Tabla 37 - Propuesta de refuerzos 2 y 9

Propuesta laminado refuerzo 2			
Capa	Tela	Peso (Kg/m2)	Espesor (mm)
1	PU	-	100x140
2	Mat 450	0.45	1.053
3	Mat 450	0.45	1.053
4*	Roving 500	0.5	0.61
5*	Mat 450	0.45	1.053
6	Roving 500	0.5	0.61
7*	Mat 450	0.45	1.053
8*	Roving 500	0.5	0.61
9*	Mat 450	0.45	1.053
10	Roving 500	0.5	0.61
11	Mat 450	0.45	1.053

Tabla 38 - Propuesta de laminado refuerzo 2



Propuesta laminado refuerzo 9			
Capa	Tela	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Espesor (mm)
1	PU	-	100x75
2	Mat 450	0.45	1.053
3	Mat 450	0.45	1.053
4	Roving 500	0.5	0.61
5	Mat 450	0.45	1.053
6*	Roving 500	0.5	0.61
7*	Mat 450	0.45	1.053
8	Roving 500	0.5	0.61
9*	Roving 500	0.5	0.61
10	Mat 450	0.45	1.053
11	Mat 450	0.45	1.053

Tabla 39 - Propuesta de laminado refuerzo 9

Las capas marcadas con un asterisco son las dispuestas únicamente en la parte superior del refuerzo, realizando el capping necesario para conseguir el sobreespesor necesario en la zona ( $t_2 > t_1$ ).

#### Longitudinales de costado

Refuerzos que discurren en el sentido de la eslora por el costado del casco y que dotan a la estructura de resistencia a la flexión longitudinal.

Se muestran a continuación el refuerzo representativo de su conjunto por solicitar los mayores requisitos mecánicos: refuerzo 11.

Refuerzo	$k_{sa}$	$P$ (kN/m <sup>2</sup> )	$s$ (mm)	$l_u$ (mm)	$\tau_d$ (N/mm)	$\sigma_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	$K1s$	Etc(N/mm <sup>2</sup> )
11	5	16.62	816	2806	31	58.5	0.05	6400

Tabla 40 - Cálculo parámetros refuerzo 11



Refuerzo	Aw(cm <sup>2</sup> )	SM(cm <sup>3</sup> )	I(cm <sup>4</sup> )
11	6.14	152.10	271.54

Tabla 41 - Requisitos refuerzo 11

Dimensiones propuesta (mm)	
Refuerzo 11	
t	7
h	130
f	40
Bw	100
be	160
t1	4
t2	8
SM	153.88
I	2198.07

Tabla 42 - Propuesta de refuerzo 11

Propuesta laminado refuerzo 11			
Capa	Tela	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Espesor (mm)
1	PU	-	100x134
2	Mat 450	0.45	1.053
3	Mat 450	0.45	1.053
4*	Roving 500	0.5	0.61
5*	Mat 450	0.45	1.053
6	Roving 500	0.5	0.61
7*	Mat 450	0.45	1.053
8*	Roving 500	0.5	0.61
9*	Mat 450	0.45	1.053
10	Roving 500	0.5	0.61
11	Mat 450	0.45	1.053

Tabla 43 - Propuesta de laminado refuerzo 11



Las capas marcadas con un asterisco son las dispuestas únicamente en la parte superior del refuerzo, realizando el capping necesario para conseguir el sobreespesor necesario en la zona ( $t_2 > t_1$ ).

Varengas de fondo

Refuerzos que discurren en el sentido de la manga por el fondo del casco y que dotan a la estructura de resistencia a la flexión transversal.

En esta ocasión los requisitos calculados son muy bajos debido a la gran densidad de refuerzos dispuesta en la zona de la unión orza-casco en base a reforzar dicha zona. Se procede entonces a cumplir el requisito de vuelco a 90° y los requisitos del refuerzo longitudinal de fondo contiguo a esta zona (15).

Refuerzo	ksa	P(kN/m <sup>2</sup> )	s(mm)	lu(mm)	$\tau_d$ (N/mm)	$\sigma_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	K1s	Etc(N/mm <sup>2</sup> )
v90+15	5	16.17	675.5	2478	31	58.5	0.05	6400

Tabla 44 - Cálculo parámetros refuerzo v90+15

Refuerzo	Aw(cm <sup>2</sup> )	SM(cm <sup>3</sup> )	I(cm <sup>4</sup> )
V90+15	4.37	59.35	150.62

Tabla 45 - Requisitos refuerzo v90+15

Dimensiones propuesta (mm)	
Refuerzo v90+15	
t	7
h	56
f	40
Bw	100
be	160
t1	4
t2	8
SM	61.34
I	441.56

Tabla 46 - Propuesta de refuerzo v90+15



Propuesta laminado refuerzo v90+15			
Capa	Tela	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Espesor (mm)
1	PU	-	100x60
2	Mat 450	0.45	1.053
3	Mat 450	0.45	1.053
4*	Roving 500	0.5	0.61
5*	Mat 450	0.45	1.053
6	Roving 500	0.5	0.61
7*	Mat 450	0.45	1.053
8*	Roving 500	0.5	0.61
9*	Mat 450	0.45	1.053
10	Roving 500	0.5	0.61
11	Mat 450	0.45	1.053

Tabla 47 - Propuesta de laminado refuerzo v90+15

Las capas marcadas con un asterisco son las dispuestas únicamente en la parte superior del refuerzo, realizando el capping necesario para conseguir el sobreespesor necesario en la zona ( $t_2 > t_1$ ).

### Cuadernas

Refuerzos que discurren en el sentido de la manga por el fondo del casco y el costado, y que dotan a la estructura de resistencia a la flexión transversal haciendo solidarios los refuerzos longitudinales que cruza.

Se muestra a continuación el refuerzo representativo de su conjunto por solicitar los mayores requisitos mecánicos: refuerzo 3 (sección de la cuaderna en el costado).

Refuerzo	ksa	P(kN/m <sup>2</sup> )	s(mm)	lu(mm)	$\tau_d$ (N/mm)	$\sigma_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	K1s	Etc(N/mm <sup>2</sup> )
3	5	16.17	1468	1255	31	58.5	0.05	6400

Tabla 48 - Cálculo parámetros sección cuaderna 3



Refuerzo	Aw(cm <sup>2</sup> )	SM(cm <sup>3</sup> )	I(cm <sup>4</sup> )
3	4.80	29.05	17.13

Tabla 49 - Requisitos sección cuaderna 3

Dimensiones propuesta (mm)	
Refuerzo 3	
t	7
h	26
f	40
Bw	100
be	160
t1	4
t2	8
SM	31.75
I	137.09

Tabla 50 - Propuesta de sección cuaderna 3

Propuesta laminado refuerzo 3			
Capa	Tela	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Espesor (mm)
1	PU	-	100x30
2	Mat 450	0.45	1.053
3	Mat 450	0.45	1.053
4*	Roving 500	0.5	0.61
5*	Mat 450	0.45	1.053
6	Roving 500	0.5	0.61
7*	Mat 450	0.45	1.053
8*	Roving 500	0.5	0.61
9*	Mat 450	0.45	1.053
10	Roving 500	0.5	0.61
11	Mat 450	0.45	1.053

Tabla 51 - Propuesta de laminado sección cuaderna 3



Las capas marcadas con un asterisco son las dispuestas únicamente en la parte superior del refuerzo, realizando el capping necesario para conseguir el sobreespesor necesario en la zona ( $t_2 > t_1$ ).

En toda la estructura solo se ha dispuesto una cuaderna que coincide con la interfase cocina-comedor y que por tanto no interfiere en la acomodación interior de la embarcación. El motivo de la misma es cerrar por popa el entramado vagras-varengas de la zona de unión de la orza descargando los esfuerzos por todo el perímetro transversal. De esta manera, junto al mamparo de proa que delimita camarote de proa y comedor, queda la zona crítica de la embarcación acotada y bien reforzada.

### Mamparos

Se disponen en el total de la estructura 4 mamparos, 2 estancos que son los del pique de proa y el mamparo del pique de popa, y otros dos no estancos que son el de acceso a la cabina desde cubierta, y el del camarote de proa.

Los mamparos serán contruidos en sándwich con núcleo de PVC para dotar de mayor rigidez al conjunto, además de hacer las subdivisiones de los espacios de cierto porte.

Se procede al cálculo de los mismos. Para ello se selecciona el mamparo que presenta mayores requisitos y que por consiguiente, con un laminado que los satisfaga será suficiente para satisfacer los demás mamparos.

Mamparo	Db(m)	tb(mm)	$\sigma_d(N/mm^2)$	Eio(N/mm <sup>2</sup> )	Req.1	Req.2
Mástil	1.666	11.662	58.5	6400	9.69	82.61

Tabla 52 - Cálculo de los requisitos 1 y 2

Mamparo	tc(mm)	ts(mm)	Comp.1	Comp.2
Mástil	10	12	120	600

Tabla 53 - Propuesta de espesores y comprobación de los requisitos





Propuesta de laminado mamparo			
Capa	Tela	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Espesor (mm)
1	Velo sup	0.08	0.149
2	Mat 450	0.45	0.842
3	Roving 500	0.5	0.495
4	Mat 450	0.45	0.842
5	Pvc	0.8	10
6	Mat 450	0.45	0.842
7	Roving 500	0.5	0.495
8	Mat 450	0.45	0.842

Tabla 54 - Propuesta de laminado mamparo

Como puede apreciarse la propuesta de espesores realizada supera con creces los requerimientos estructurales impuestos por la ISO, ello es debido a la necesidad de dotar de mayor entidad a las separaciones de los espacios, y que no sean endebles al tacto, ni pandeen en exceso.

Finalmente el mamparo que mayores cargas a solicitado es el que cierra el camarote de proa con el comedor, justo el que se sitúa junto al mástil, zona de tensiones en cubierta y casco elevadísimas.



## BALANCE ELÉCTRICO

---

Una embarcación no deja de ser un elemento aislado por sus características (al encontrarse navegando) y es por ello que se hace necesario dotarlo de una cierta autonomía, al igual que se realiza con el agua dulce y el combustible, de energía eléctrica.

En el caso de la embarcación desarrollada se la va a dotar de dos baterías de capacidad suficiente para la alimentación de los diversos sistemas a bordo en las tres condiciones ocurrentes: navegación, fondeo y emergencia.

El tipo de embarcación y el propósito del armador versus ésta no hace necesario dotar la misma de una fuente de generación alterna al sistema propulsivo, es decir, un generador eléctrico. En este caso el propio motor se encargará de mantener las baterías en un nivel adecuado de carga cuando éste esté en marcha.

Todos los sistemas son alimentados a 12 v.

Los equipos montados a bordo son los siguientes:

- Luces navegación/fondeo
- Luz fondeo
- Bomba de sentina
- Gps
- Sonda
- Vhf
- Radio-cd
- Bomba presión
- Nevera
- Luces cabina
- Wind data



Para el dimensionado del banco de baterías se procede primero a la definición de los equipos a instalar a bordo. Una vez se tienen todos ellos listados, y sabidos sus consumos, se procede a disponer una serie de factores que afectan al número de horas en funcionamiento de los mismos para un periodo de 8 horas de autonomía.

Estos factores son  $k_n$  (número de elementos funcionando respecto del número instalado),  $k_{sr}$  (tiene en cuenta el tiempo de utilización y el régimen al que se utiliza), y por último  $k_u$  (producto de  $k_n$  y  $k_{sr}$ ). Estos factores son estimados en base a la experiencia.

Una vez definida la potencia de consumo de cada ítem, los factores de reducción y el periodo de recarga durante el cual las baterías no son recargadas, se procede al cálculo total de potencia demandada.

En base al valor obtenido en los tres casos de estudio, el banco de baterías se dimensiona para satisfacer las necesidades de mayor input obtenidas.

A continuación se detallan los consumos y factores diversos necesarios para el cálculo del consumo eléctrico y posterior dimensionamiento del banco de baterías.

Equipos	Unidades instaladas	Pi 12 v (w)	Pc 12 v (w)
Luces navegación	1	6.8	6.8
Luz fondeo	1	5.3	5.3
Bomba sentina	1	25.2	25.2
GPS	1	51.6	51.6
Sonda	1	300	300
VHF	1	30	30
Radio-cd	1	208	208
Bomba presión	1	60	60
Nevera	1	10.5	10.5
Luces cabina	10	3	30
Wind data	2	7.5	15

Tabla . 55 - Equipos instalados



Navegando

Equipos	Unidades	Pi (w)	Pc (w)	kn	ksr	ku	P.recarga	Ptot (w)
Luces navegación	1	6.8	6.8	1	1	1	1	6.8
Luz fondeo	1	5.3	5.3	0	0	0	1	0
Bomba sentina	1	25.2	25.2	1	0.2	0.2	1	5.4
GPS	1	51.6	51.6	1	1	1	1	51.6
Sonda	1	300	300	1	1	1	1	300
VHF	1	30	30	1	1	1	1	30
Radio-cd	1	208	208	1	1	1	1	208
Bomba presión	1	60	60	1	0.2	0.2	1	12
Nevera	1	10.5	10.5	1	1	1	1	10.5
Luces cabina	10	3	30	0.2	0.2	0.04	1	1.2
Wind data	2	7.5	15	1	1	1	1	15

Tabla. 56 - Cálculo de potencia en navegación

La potencia total demanda en condición de navegación es de 651.3 w en 1 hora.

Fondeado

Equipos	Unidades	Pi (w)	Pc (w)	kn	ksr	ku	P.recarga	Ptot (w)
Luces navegación	1	6.8	6.8	0	0	0	8	0
Luz fondeo	1	5.3	5.3	1	1	1	8	42.4
Bomba sentina	1	25.2	25.2	1	0.2	0.2	8	40.32
GPS	1	51.6	51.6	1	0.5	0.5	8	206.4
Sonda	1	300	300	1	0.5	0.5	8	1200
VHF	1	30	30	1	1	1	8	240
Radio-cd	1	208	208	1	0.5	0.5	8	832
Bomba presión	1	60	60	1	0.2	0.2	8	96
Nevera	1	10.5	10.5	1	0.2	0.2	8	16.8
Luces cabina	10	3	30	0.5	0.5	0.063	8	15.12
Wind data	2	7.5	15	1	0.5	0.5	8	60

Tabla. 57 - Cálculo de potencia en fondeo



La potencia total demanda en condición de fondeo es de 2149.04 w en 8 hora.

Emergencia

Equipos	Unidades	Pi (w)	Pc (w)	kn	ksr	ku	P.recarga	Ptot (w)
Luces navegación	1	6.8	6.8	0	0	0	8	0
Luz fondeo	1	5.3	5.3	1	1	1	8	42.4
Bomba sentina	1	25.2	25.2	1	1	1	8	201.6
GPS	1	51.6	51.6	1	1	1	8	412.8
Sonda	1	300	300	1	0.5	1	8	2400
VHF	1	30	30	1	1	1	8	240
Radio-cd	1	208	208	0	0	0	8	0
Bomba presión	1	60	60	0	0	0	8	0
Nevera	1	10.5	10.5	0	0	0	8	0
Luces cabina	10	3	30	0	0	0	8	0
Wind data	2	7.5	15	0	0	0	8	0

Tabla. 58 - Cálculo de potencia en emergencia

La potencia total demanda en condición de emergencia es de 3296.8 w en 8 horas.

En la situación en la que la demanda es mayor es en la de emergencia. La demanda total asciende a 3296.8 w durante 8 horas en las que las baterías no van a ser recargadas por el motor. El banco de baterías dispuesto deberá ser capaz de aguantar dicho consumo manteniendo todos los sistemas en funcionamiento para facilitar las tareas de búsqueda por parte de las unidades de salvamento marítimo.

El amperaje solicitado para cubrir dicha potencia es de 274.73 Ah. Las baterías dejan de entregar la potencia solicitada cuando se encuentran por debajo del 20% de carga, por lo que debe sobredimensionarse en un 20% adicional el banco.

El amperaje total será de 329.68 Ah.

Se montarán 2 baterías de 170 Ah cada una para alimentar todos los sistemas.



## SISTEMAS AUXILIARES

---

En este apartado se prosigue con una breve definición de los diversos sistemas instalados a bordo de la embarcación.

### SISTEMA DE ACHIQUE

La orden FOM/1144/2003, de 28 de abril, regula los equipos de los diversos sistemas a instalar a bordo para que la embarcación se encuentre en disposición de navegar.

La normativa exige una bomba de achique capaz de bombear 15 litros/min para una eslora comprendida entre los 6 y 12 metros. A posteriori, según la zona de matriculación de la embarcación ( a determinar por conveniencia del armador ) se genera la necesidad de instalar una bomba de achique manual capaz de alcanzar las 45 emboladas por minuto.

El sistema de achique instalado a bordo por tanto será una bomba eléctrica con las capacidades descritas dispuesta en el punto más bajo de la embarcación, en sentinas, estando todos los refuerzos de la embarcación correctamente perforados conectando todos los espacios aislados por estos para que el fluido se desplace hasta la bomba.

La bomba irá dotada de un sensor de nivel que actúe directamente sobre la bomba al alcanzar un nivel determinado en sentina.

Ver plano en ANEXO V .

### SISTEMA DE AGUA DULCE

El sistema de agua dulce dota a los diversos servicios instalados a bordo de este elemento. La dotación de la embarcación diseñada, y su concepto crucero-regata, se traduce en un sistema sencillo compuesto por:

- Depósito de agua dulce de 100 litros
- Bomba de presión
- Tuberías
- Grifos
- Tomas de carga
- Venteos



El agua es transportada desde el depósito de agua dulce situado bajo el sofá de babor hasta los puntos de distribución que son el fregadero de la cocina y la pica del baño, dotada de un monomando extensible que hace las veces de ducha.

La descarga de ambos sistemas se realiza directamente a sentinas, donde la bomba de achique se encargará de realizar la descarga al mar.

Para la alimentación del tanque de agua dulce se dispone una toma en cubierta. También se hace necesario instalar un venteo para que el tanque pueda ser llenado y vaciado sin problemas de sobrepresión o vacío debidos al aire atrapado en el interior.

Ver plano en ANEXO V .

## **SISTEMA DE COMBUSTIBLE**

El sistema de combustible es el encargado de distribuir el diesel desde el tanque de almacenamiento hasta el motor instalado a bordo.

El sistema se compone de:

- Depósito de combustible de 60 litros
- Filtro
- Tuberías
- Toma de carga
- Venteo

El combustible es transportado desde el depósito de combustible, fabricado en aluminio y dispuesto en la banda de estribor (cofre de estiba), hasta el propio motor mediante la aspiración de la bomba acoplada al mismo.

Se dispone de un filtro anteriormente a que el combustible entre en el motor para evitar en la medida de lo posible el paso de impurezas y preservar así la integridad del mismo.

Mediante una carga dispuesta en cubierta es posible rellenar el depósito de combustible, y al igual que en el sistema de agua dulce, se hace necesario instalar un venteo al depósito por las mismas razones.

Ver plano en ANEXO V .



## **SISTEMA ELÉCTRICO**

Una vez realizado el balance eléctrico y determinado el banco de baterías necesario para dotar de autonomía suficiente a la embarcación, se procede a la descripción del mismo.

La instalación eléctrica a bordo es exclusivamente de 12 voltios, ramificada desde el desconectador de baterías en dos ramales: uno para la alimentación del motor de arranque y otro para la alimentación de los diversos equipos instalados.

Los equipos instalados están accionados desde un cuadro de sistemas situado junto a la mesa de cartas, de forma que éste es alimentado por una línea desde baterías, y de él salen los diversos ramales necesarios.

Los sistemas a alimentar son los siguientes:

- Luces de navegación/fondeo
- Iluminación cabina
- Bomba de presión agua dulce
- Bomba de achique
- Nevera
- Electrónica mesa de cartas (vhf, gps, sonda y radio-cd)
- Electrónica wind data en cubierta

Ver plano ANEXO V .

## **SISTEMA AGUAS NEGRAS**

Tanto las aguas grises como las aguas negras son aguas residuales, pero tienen tratamientos muy diferenciados a bordo del barco. Según la normativa, las aguas negras son las procedentes del WC y cuya descarga debe realizarse a un tanque instalado al uso. Las aguas grises, procedentes de picas y duchas se permite su descarga al mar directamente.

De esta manera se dota la embarcación de un sistema de retención de aguas negras formado por una bomba manual conectada al WC que descarga directamente al depósito de aguas negras de 100 litros dispuesto en la banda de estribor ( cofre de estiba ). Dicho depósito dispone de una descarga al mar mediante una válvula, que podrá ser accionada a partir de 12 millas náuticas de la costa.





La bomba podrá aspirar del wc o de una toma de mar para introducir agua salada al depósito y proceder así a su descarga.

Ver plano ANEXO V .



## CÁLCULO DE PESOS Y CDG

---

Con el escantillonado del casco, cubierta y superestructura calculado, se procede a determinar el peso en rosca y la posición del centro de gravedad de la embarcación. El cálculo será una aproximación/estimación a la realidad. Se considerarán los pesos de mayor relevancia con sus respectivos centros de gravedad y se obtendrá el del conjunto. Se pueden producir variaciones respecto a la realidad debido a múltiples defectos en el proceso de construcción, por ejemplo: diferencias de espesores en el laminado, deformaciones superficiales, errores en la fundición de la orza, múltiples parámetros intervienen en la construcción de una embarcación, y el conjunto de desviaciones produce dicha diferencia, que por otra banda no debe ser mayor que el margen permitido o considerado aceptable.

El peso o desplazamiento de un barco se descompone en dos : peso en rosca y peso muerto. Siendo el peso en rosca la suma de todos los pesos de la embarcación cuando este se encuentra listo para navegar, excluyendo la carga, pasaje, tripulación, pertrechos y consumos, pero incluyendo fluidos en los diversos sistemas (combustible, hidráulico, etc.).

La posición del centro de gravedad se descompone en tres componentes según el eje de referencia adoptado, una componente longitudinal (dirección de la eslora), una componente transversal ( en el sentido de la manga) y otra componente vertical que discurre perpendicularmente a estos dos.

El centro de coordenadas estará situado en la intersección de la línea base con la perpendicular de proa. Para el cálculo de la posición del centro de gravedad se seguirá el siguiente criterio de signos:

- Desde la perpendicular de proa hacia popa se toman valores positivos y hacia proa negativos.
- Desde la línea de crujía hacia babor se toman valores positivos y hacia estribor negativos.
- Desde la línea base hacia arriba se toman valores positivos y hacia abajo negativos.

Para el cálculo del peso en rosca se procederá al cálculo de:

- Peso del laminado
- Peso de la acomodación



- Peso de motor y equipos

- Peso de aparejos

- Peso de la orza

Para la determinación de los centros de gravedad de los conjuntos se usará el modelo 3d desarrollado.

Cuando se proceda al cálculo para la condición de plena carga se tendrán en cuenta además la máxima tripulación permitida a bordo, pertrechos debidamente estibados y depósitos de agua y combustible llenos.

Peso y cdg en rosca							
Elementos	Peso(kg)	LCG(m)	TCG(m)	VCG(m)	MI(kgm)	Mt(kgm)	Mv(kgm)
Casco	317.53	4.985	0	2.307	1582.89	0	732.54
Cubierta	231.21	5.929	0	3.219	1370.84	0	744.26
Estructura	182.23	5.575	0	2.559	1015.93	0	466.33
Acomodación	688.84	5.200	0.069	1.985	3581.96	116.41	1367.35
Motor/equipos	453	6.215	0.024	2.137	2815.39	10.872	968.06
Aparejos	147.44	3.987	0	8.483	587.84	0	1250.73
Orza	1197	4.904	0	0.705	5870.09	0	843.89
Total	3217.25	5.230	0.039	1.981			

Tabla 59 - Cálculo del peso y centro de gravedad en rosca

De la estimación de pesos realizada para la condición de peso en rosca se desprenden diversas conclusiones:

- El peso obtenido presenta una desviación de - 4.5% respecto al proyectado en un primer momento. Es un valor aceptable teniendo en cuenta que los pesos utilizados pueden presentar algunas variaciones acercando ambos valores, a priori.

- El centro de gravedad longitudinal de la embarcación se encuentra a 54.88 % a popa de la perpendicular de proa, y el centro de flotación para esta condición se encuentra a 54.96 %. Se encuentran muy próximos, la embarcación apenas presentará un inapreciable trim negativo.



- El centro de gravedad transversal se encuentra desplazado a babor 39 mm, a priori es asumible en dicha condición, pues la proyección de los espacios de estiba, depósitos, etc., busca equilibrar dicha escora inicial y obtener un TCG igual a 0.
- El centro de gravedad vertical se encuentra 19 mm por debajo de la línea de flotación.

Peso y cdg plena carga							
Elementos	Peso(kg)	LCG(m)	TCG(m)	VCG(m)	MI(kgm)	Mt(kgm)	Mv(kgm)
Casco	317.53	4.985	0	2.307	1582.89	0	732.54
Cubierta	231.21	5.929	0	3.219	1370.84	0	744.26
Estructura	182.23	5.575	0	2.559	1015.93	0	466.33
Acomodación	688.84	5.200	0.069	1.985	3581.96	116.41	1367.35
Motor/equipos	453	6.215	0.024	2.137	2815.39	10.87	968.06
Aparejos	147.44	3.987	0	8.483	587.84	0	1250.73
Orza	1197	4.904	0	0.705	5870.09	0	843.89
Tripulación	450	7.379	0	3.053	3320.55	0	1373.85
Pertrechos	180	5.656	-0.512	2.116	1018.08	-92.16	380.88
Agua	100	3.983	0.621	2.180	398.30	62.10	218.00
Combustible	51	6.888	-1.023	3.053	351.29	-52.17	155.70
Aguas negras	50	6.888	-1.023	2.262	344.40	-51.15	113.10
Total	4018.5	5.539	-0.002	2.144			

Tabla 60 - Cálculo del peso y centro de gravedad en rosca

De la estimación de pesos realizada para la condición de peso a plena carga se desprenden diversas conclusiones:

- El peso obtenido presenta una desviación de - 6.29% respecto al proyectado en un primer momento. Es un valor todavía aceptable. Es normal que la desviación sea mayor que en la condición de peso en rosca puesto que el conjunto total tiene un valor mayor y las desviaciones se maximizan.
- El centro de gravedad longitudinal de la embarcación se encuentra a 58.31 % a popa de la perpendicular de proa, y el centro de flotación para esta condición se encuentra a 55.60 %. Se encuentran aceptablemente próximos, la embarcación trimará de forma positiva hasta que ambos centros se alineen verticalmente. El peso de la tripulación da mucho juego a la hora de



buscar el trim correcto de la embarcación, así en condiciones de navegación a vela la distribución estudiada para este caso (los 6 tripulantes distribuidos en ambas bancadas de la bañera) no se da, y por tanto la tripulación se desplazará más a proa y a una de las bandas, llevando el centro de gravedad hacia proa.

- El centro de gravedad transversal se encuentra desplazado a estribor 2 mm, es despreciable dicho valor prácticamente, como se comentaba anteriormente, la proyección de los espacios de estiba, depósitos, etc., equilibra la posición inicial del TCG en rosca.

- El centro de gravedad vertical se encuentra 99 mm por encima de la línea de flotación.



## ESTUDIO DE ESTABILIDAD

---

Se define estabilidad como la capacidad que posee un objeto para recobrar su posición original de equilibrio cuando ha sido apartado de ella por una causa externa.

Hay infinidad de parámetros que proporcionan o ayudan a tener una buena estabilidad en una embarcación: integridad estanca, correcta distribución de pesos, francobordo requerido, altura metacéntrica, formas del casco, rápido desalojo de agua embarcada en cubierta, aptitudes de la tripulación, etc.

La norma ISO 12217 en su parte correspondiente a "Small Craft-Stability and buoyancy assesmaet and categorization" sugiere un método aproximado para el cálculo de la curva de brazos adrizantes basado en unos pocos parámetros de la embarcación.

El índice de estabilidad (STIX) permite obtener una evaluación conjunta de las propiedades de estabilidad de las embarcaciones a vela monocasco. El índice consiste en un factor de eslora que se puede modificar por siete factores que se refieren a diferentes aspectos de las propiedades de estabilidad y flotabilidad.

### Criterios de estabilidad

La norma ISO 12217 establece cuatro categorías de navegación según las zonas y características de viento y olas.

Categoría	Zona de navegación	Viento	Altura significativa de ola
A	Mar abierto	Beaufort 8	> 4 m
B	Navegación costera	Beaufort 8	< 4 m
C	Bahías, estuarios, lagos, etc.	Beaufort 6	< 2 m
D	Lagos, rios	Beaufort 4	< 0.5 m

Tabla 61 - Criterios de estabilidad

El criterio se basa en un índice de estabilidad concebido como producto de siete coeficientes que contemplan distintos aspectos de la estabilidad del velero. La formulación es interesante



en el sentido de que los distintos coeficientes responden a diferentes factores que afectan a la seguridad del barco.

$$STIX = (7+2.25*Lbs)*(FDS*FIR*FKR*FDL*FBD*FWM*FDF)^{0.5} + \delta$$

Donde  $Lbs = (2*Lwl + Lh)/3$  en función de la eslora en la flotación y de la eslora total

Donde  $\delta = 5$  si  $GZ90 > 0$ , o  $\delta = 0$  en otro caso

Los factores se detallan a continuación.

- Factor de estabilidad dinámica FDS. Este factor representa la energía intrínseca de adrizamiento a superar antes de que ocurra un incidente de estabilidad. No debe ser menor de 0.5 o mayor que 1.5.

$$FDS = Agz / (15.81 * (Lh)^{0.5})$$

Agz es el área positiva debajo de la curva de brazos, expresada en m\*grado, para la mínima condición de navegación y medida desde :

$$- \phi = 0^\circ \text{ hasta } \phi = \phi_v, \text{ si } \phi_d \geq \phi_v$$

$$- \phi = 0^\circ \text{ hasta } \phi = \phi_d, \text{ si } \phi_d < \phi_v$$

Siendo  $\phi_d$  el ángulo de inundación y  $\phi_v$  el ángulo de estabilidad nula

- Factor de recuperación del hundimiento FIR. Este factor representa la capacidad de una embarcación para recuperarse sin ayuda externa después de una inversión.  $0.4 < FIR < 1.5$

$$FIR = \phi_v / (125 - M_{msc} / 1600) \text{ si } M_{msc} < 40000$$

$$FIR = \phi_v / 100 \text{ si } M_{msc} \geq 40000$$

Donde  $M_{msc}$  es el peso del barco a plena carga

- Factor de recuperación del hundimiento FKR. Este factor representa la capacidad de una embarcación para desalojar el agua del embolsamiento de las velas y recuperarse después de haberse hundido.  $0.5 < FKR < 1.5$

$$FKR = 0.875 + 0.0833 * Fr \text{ si } Fr \geq 4.5$$

$$FKR = 0.5 + 0.333 * Fr \text{ si } Fr < 1.5$$

$$FKR = 0.5 \text{ si } \phi_v < 90^\circ$$



$$\text{Siendo } Fr = (GZ90 * M_{msc}) / (2 * A_s * h_{ce})$$

Donde  $A_s$  es el área proyectada de las velas

Donde  $h_{ce}$  es la altura del centro de área  $A_s$  por encima de la línea de flotación expresada en metros en la mínima condición de navegación

- Factor de eslora-desplazamiento FDL. Este factor tiene en cuenta el efecto favorable de un mayor desplazamiento para una eslora dada incrementando la resistencia al vuelco.  $0.75 < FDL < 1.25$

$$FDL = [0.6 + ((15 * M_{msc} * FI) / (Lbs^3 * (333 - 8 * Lbs)))]^{0.5}$$

$$\text{Siendo } FI = (Lbs / 11)^{0.2}$$

- Factor manga-desplazamiento FBD. Tiene en cuenta el hecho de que, desde el punto de vista de la seguridad, una alta relación manga-desplazamiento es negativa en el sentido de que el movimiento de respuesta a las fuerzas inducidas por el oleaje será mayor que con relaciones bajas.

$$FBD = [(13.31 Bwl) / (Bh * Fb^3)] \text{ si } Fb > 2.2$$

$$FBD = [(Bwl * Fb^2) / (1.682 * Bh)]^{0.5} \text{ si } Fb < 1.45$$

$$FBD = 1.118 * [Bwl / Bh]^{0.5} \text{ si } 1.45 \leq Fb \leq 2.2$$

$$\text{Siendo } Fb = (3.3 * Bh) / (0.03 * M_{msc})^{0.33}$$

- Factor de momento debido al viento FWM. En las embarcaciones en las que el ángulo de inundación sea menor a  $90^\circ$ , este factor representa el riesgo de inundación debido a rachas de viento que escoren la embarcación.  $0.5 < FWM < 1$

$$FWM = 1 \text{ si } \phi_d \geq 90^\circ$$

$$FWM = vaw / 17 \text{ si } \phi < 90^\circ$$

$$\text{Siendo } vaw = [(13 * M_{msc} * GZ_d) / (A_s * (h_{ce} + h_{lp}) * (\cos \phi_d)^{1.3})]^{0.5}$$

Donde  $vaw$  es la velocidad del viento aparente expresada en metros por segundo (m/s), necesaria para escorar el barco hasta  $\phi_d$ , navegando con todas las velas





Donde  $\phi d$  es  $\phi dc$  (ángulo de escora en que se empieza a inundar la bañera en caso de que no sea autoachicante) o  $\phi dh$  (ángulo de escora en que se alcanzan las escotillas), el que sea menor

Donde  $GZd$  es el brazo adrizante en  $\phi d$

Donde  $hce+hlp$  es la distancia en metros entre los centros geométricos de los perfiles de la obra viva y la obra muerta, incluyendo aparejo con el barco adrizado.

- Factor de inundación FDF. Este factor representa el riesgo de inundación en una escora suficiente para sumergir el mástil.  $0.5 < FDF < 1.25$

$$FDF = \phi d / 90$$

Donde  $\phi d$  debe ser el menor de  $\phi dc$ ,  $\phi dh$  o  $\phi da$  (ángulo de escora en que se alcanza cualquier apertura sin estanqueidad completa con un área en mm<sup>2</sup> mayor que el número  $2 * M_{msc}$ )

Para cada categoría de navegación se establecen unos valores mínimos del índice que vienen dados en la siguiente tabla:

Categoría	A	B	C	D
STIX mayor que	32	23	14	5

Tabla 62 - STIX según categoría de navegación

A continuación se procede al cálculo de los brazos GZ mediante el programa hydromax y el índice STIX de la embarcación.

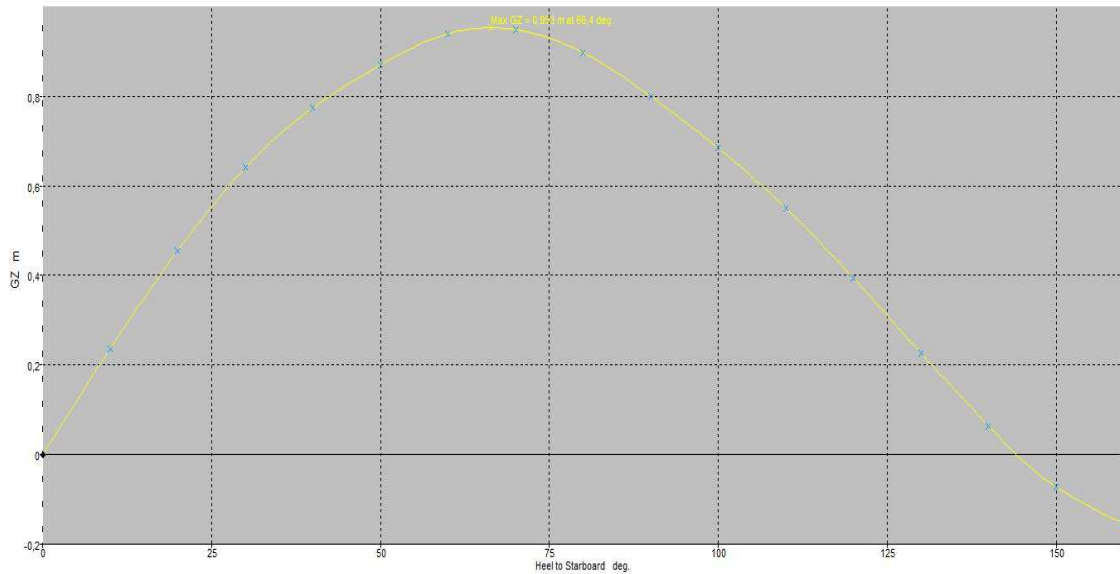


Fig. 44 - Curva de brazos GZ

El valor máximo de GZ se obtiene a 66.4° de escora con 0.953 m.

#### Cálculo de parámetros

-  $FDS = 1.601$

para un  $Agz$  de 78 m\*grado en un ángulo de inundación de 117°.

-  $FIR = 1.128$

para un  $\phi_v$  de 138° y un  $M_{msc}$  de 4288 kg.

-  $FKR = 1.271$

para un  $Fr$  de 4.748, un  $GZ_{90}$  de 0.799 y un  $h_{ce}$  de 6.56 m.

-  $FDL = 0.939$

para un  $Fl$  de 0.971 y un  $Lbs$  de 9.5 m.

-  $FBD = 0.895$

para un  $FB$  de 2.059.

-  $FWM = 1$

para un  $\phi_{dh}$  de 98°.

-  $FDf = 1.089$



Una vez se obtienen todos los factores se procede al cálculo del índice STIX.

STIX = 44.81.

La embarcación diseñada podría acceder a la categoría A de navegación si se deseara certificar para la misma, ya que para dicha categoría se requiere de un índice de estabilidad superior a 32.



## CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

---

Durante la realización del proyecto se ha tenido en cuenta el impacto medioambiental que puede producir dicha embarcación desde su concepción hasta su producción.

Al tratarse de una embarcación de vela, su medio de propulsión principal es el plano vélico desarrollado a tal efecto. De esta manera las maniobras a motor son reducidas, destinándose el uso del mismo a la entrada y salida de puerto, fondeo, o ayuda a la navegación en caso de encontrarse un temporal.

De igual manera, el ser un velero, no ha supeditado que se haya buscado la optimización de las formas del casco, así como la de los apéndices en busca de una reducción de la resistencia al avance y por tanto una mayor eficiencia energética de la misma, reduciendo la potencia necesaria a instalar a bordo. Además se ha desarrollado un plano vélico de superficie generosa, lo que permite que con unas condiciones livianas de viento la embarcación pueda desplazarse a vela sin necesidad de usar el motor.

De la misma manera se ha desarrollado el laminado de la embarcación para ser producida mediante un proceso de infusión, reduciendo de forma notable las emisiones de estireno frente a un proceso manual, muy perjudiciales para la salud de los operarios.

Otro ítem sobre el que se ha trabajado ha sido la reducción de peso de la embarcación. Para conseguirlo se ha concebido el laminado de la cubierta por un sistema sándwich, que permite la reducción de peso de la misma en un 30% aproximadamente respecto a un laminado convencional. Además el sistema de infusión también reduce el consumo de resina con lo que también se aminora el peso de la embarcación. A la hora de escoger los equipos a instalar se tiene en cuenta en la medida de lo posible tanto el consumo de los mismos como su peso, atendiendo también a la distribución de los mismos en la embarcación para la reducción de trimados indeseados.



## VALORACIÓN ECONÓMICA

---

En este apartado se procede al estudio aproximativo del coste de la producción de una unidad ad-hoc, como se trata esta embarcación, diseñada en base a la especificación de un cliente.

Para el desglose presupuestario se distingue entre los diversos hitos reseñables en una construcción naval en composite:

- Modelo y molde
- Materiales para laminado
- Mano de obra
- Equipos

Para la consideración del coste de modelo y molde se puede estimar un coste de entre 1250 y 1500 euros m/2 para obtener una unidad que permita la producción de una serie de embarcaciones por encima de las 10 unidades.

Al tratarse a priori de una única unidad producida se opta por el uso de moldes hembra directos sobre los que se realizará el laminado tanto de cubierta como de casco. Ello permite obviarse el coste de un modelo y su tratamiento. Esto es posible mediante la contratación de una empresa especializada en el sector, 3Dwssystem. Esta empresa produce el corte de las diversas secciones necesarias para el ensamblado en madera del molde, que con un tratamiento posterior superficial permite la construcción directa de la pieza. El inconveniente de este método es la baja productividad, de una a tres unidades.

El coste aproximado sería de 550 euros/m<sup>2</sup>.

Finalmente se estima el coste total en moldes en 38500 euros.

Los materiales necesarios para el laminado a modo ejemplificado serán los siguientes:

- Mat 300
- Mat 450
- Roving 500
- Velo superficial
- Gelcoat
- Resina



- Espuma de PVC
- Planchas PUR
- Masilla poliéster

El coste en materiales estimado es de 7100 euros

Para el desarrollo de una infusión se requieren además de materiales fungibles:

- Peel ply
- Malla de distribución
- Bolsa de vacío
- Torretas
- Tuberías de inyección/extracción
- "T" de extracción

El coste para una infusión genérica se puede estimar en 2500 euros para casco y cubierta.

La mano de obra es un elemento que absorbe una gran cantidad de recursos económicos en la construcción de una embarcación, ya que no deja de ser un proceso artesanal muy poco automatizado. A un coste industrial de 25 euros/hora, y estimando que con un equipo de 5 personas el total de la obra puede prolongarse entre 3 y 4 meses, el coste total sería de 59900.

Para los diversos equipos instalados a bordo ( electrónica, bombas, motor, línea de eje, acomodación, depósitos, etc. ) se destina un presupuesto de 35000 euros.

Finalmente se estima que la unidad podría producirse en un montante igual a 143000 euros .



## CONCLUSIONES

---

Con el desarrollo del proyecto de diseño de la embarcación a vela considerada finalizado, y habiendo satisfecho los requisitos preliminares dispuestos por el futuro armador, se ha obtenido una embarcación de 9.5 metros de eslora de casco con una manga de 3.1 metros.

Uno de los principales objetivos que se perseguía con el diseño era el aprovechamiento de la plaza de amarre de la que disponía el armador. Las dimensiones de la misma eran 9.5 metros de longitud por 3.3 metros de ancho. En ese sentido el desarrollo del diseño ha buscado ceñirse a estas medidas teniendo en cuenta las holguras necesarias para las maniobras. La embarcación, con 9.5 metros de eslora y 3.1 metros de manga logra dicho objetivo.

Otro objetivo cumplido ha sido tanto la categoría de navegación así como el concepto crucero-regata que se buscaba.

En este sentido el armador buscaba una embarcación que cumpliera ciertas características de un crucero combinadas con las bondades de un regata. En el mercado puede encontrarse veleros que pertenecen a este rango (crucero-regata) basados en un compromiso entre ambos conceptos. En este caso se han combinado las bondades de un crucero como son la facilidad de maniobra y la maximización del espacio interior, y las bondades de un regata como son las prestaciones en términos de velocidad, reducción de pesos y simplificación de sistemas.

Un aspecto fundamental para el cliente era la obtención de una acomodación interior adecuada para una dotación de 4 personas, con tal de obtener espacios más amplios al supeditar 2 plazas de acomodación. Con ello se ha desarrollado un comedor con un sofá en la banda de babor y dos butacas en la banda de estribor (sustituyendo el típico sofá), lo que dota la embarcación de un toque diferenciador y una mayor comodidad. Al no ser necesario proporcionar una litera haciendo uso del sofá, se ha reducido el largo del mismo, aprovechando este espacio en el camarote de proa y la amplitud de la cocina. A la vez la estructura ha sido estudiada para obtener la máxima altura en cabina para un cómodo tránsito.

Finalmente puede considerarse que se ha obtenido un diseño acorde a las especificaciones del cliente, y que además proporciona numerosas ventajas a nivel productivo debido a la concepción de su diseño, a nivel medioambiental debido al proceso de construcción usado y el



análisis de formas, y a nivel presupuestario al obviar el uso de un modelo y usar un molde directo.





## BIBLIOGRAFIA

---

- INTERNATIONAL ORGANIZATION for STANDARDIZATION. *ISO 12215-5 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5: Design pressures for monohulls, design stresses, scantlings determination*. Génova, publicado por ISO, 2008.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION for STANDARDIZATION, *ISO 12217-2 Small craft - Stability and buoyancy assessment and categorization - Part 2: Sailing boats of hull length greater than or equal to 6 m*. Génova, publicado por ISO, 2013.
- ALEJANDRO BESEDNJAK. *Materiales Compuestos, Procesos de Fabricación de Embarcaciones*. Barcelona, publicado por Edicions UPC, 2005.
- JOHN TEALE. *Cómo diseñar un barco*. Madrid, publicado por Tutor, 2002.
- LARS LARSSON & ROLF ELIASSON. *Principles of yacht design*. London, publicado por McGraw-Hill Professional, 2007.
- MICHAEL VERNERY. *Manual de construcción amateur de barcos*. Madrid, publicado por Tutor, 2006.
- PRIMITIVO B. GONZALEZ LOPEZ. *Técnicas de construcción naval*. A Coruña, publicado por Universidade da Coruña, 2000.
- HYDROMAX. *Manual de usuario de Hydromax*.
- MAXSURF. *Manual de usuario de Maxsurf*.
- RHINOCEROS. *Manual de usuario de Rhinoceros*.
- [www.eweb.unex.es](http://www.eweb.unex.es)
- [www.fondear.org](http://www.fondear.org)
- [www.mardechile.cl](http://www.mardechile.cl)



## ANEXOS

---

A continuación se incluyen planos correspondientes a las diferentes fases del proyecto y que apoyan dichos cálculos:

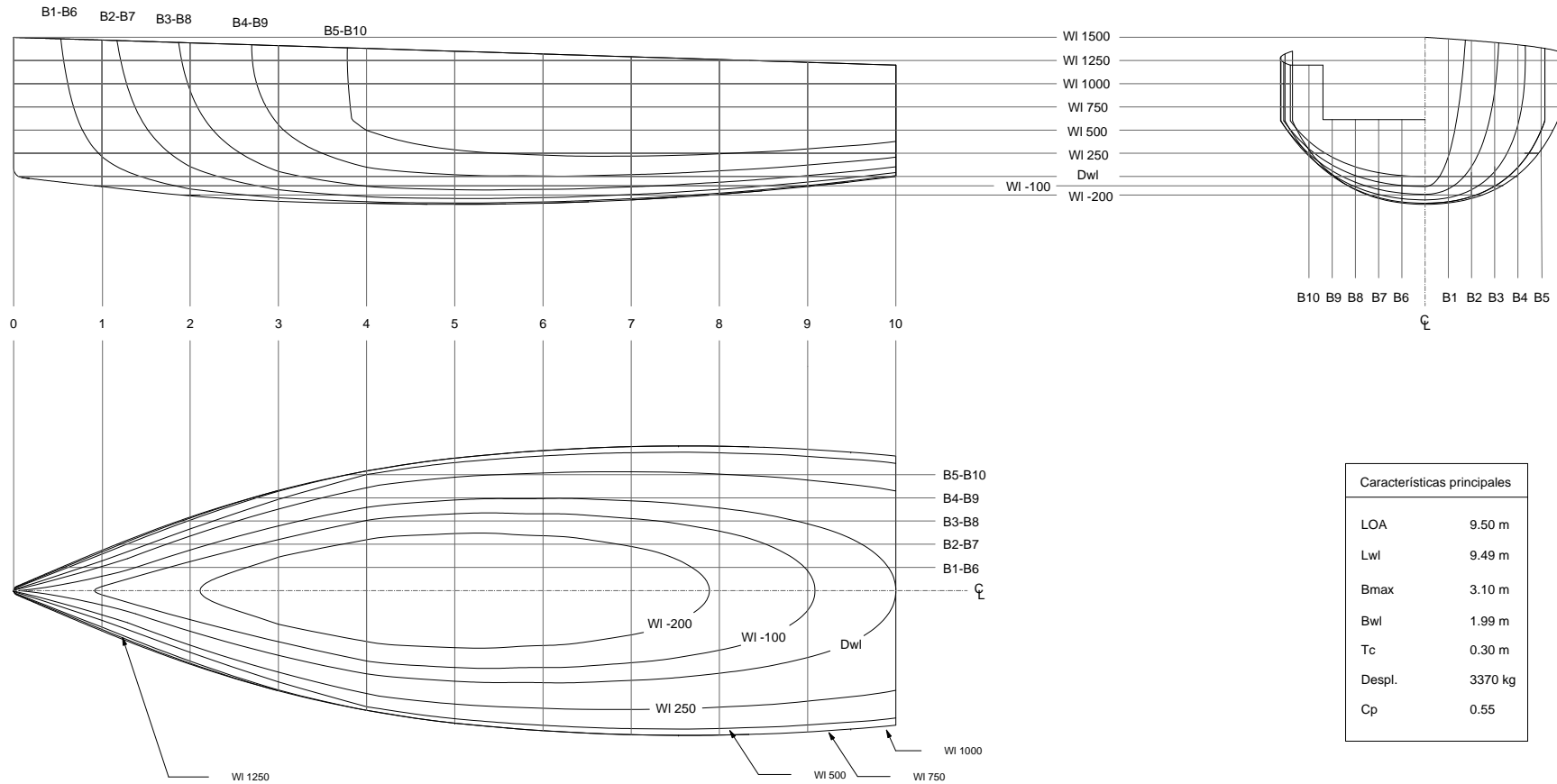
- ANEXO I: Plano de formas
- ANEXO II: Plano acomodación
- ANEXO III: Plano vélico/apéndices
- ANEXO IV: Plano estructural
- ANEXO V: Plano unifilar



## ANEXO I: PLANO DE FORMAS

---

# Plano de formas



Fecha: 04/12/2013	Escala: ---	Diseño: 1
Alteración: 0	Dibujo: DSM	Plano de formas
Sustituye a:---		Versión: Preliminar
		31 pies
		Cliente: FNB

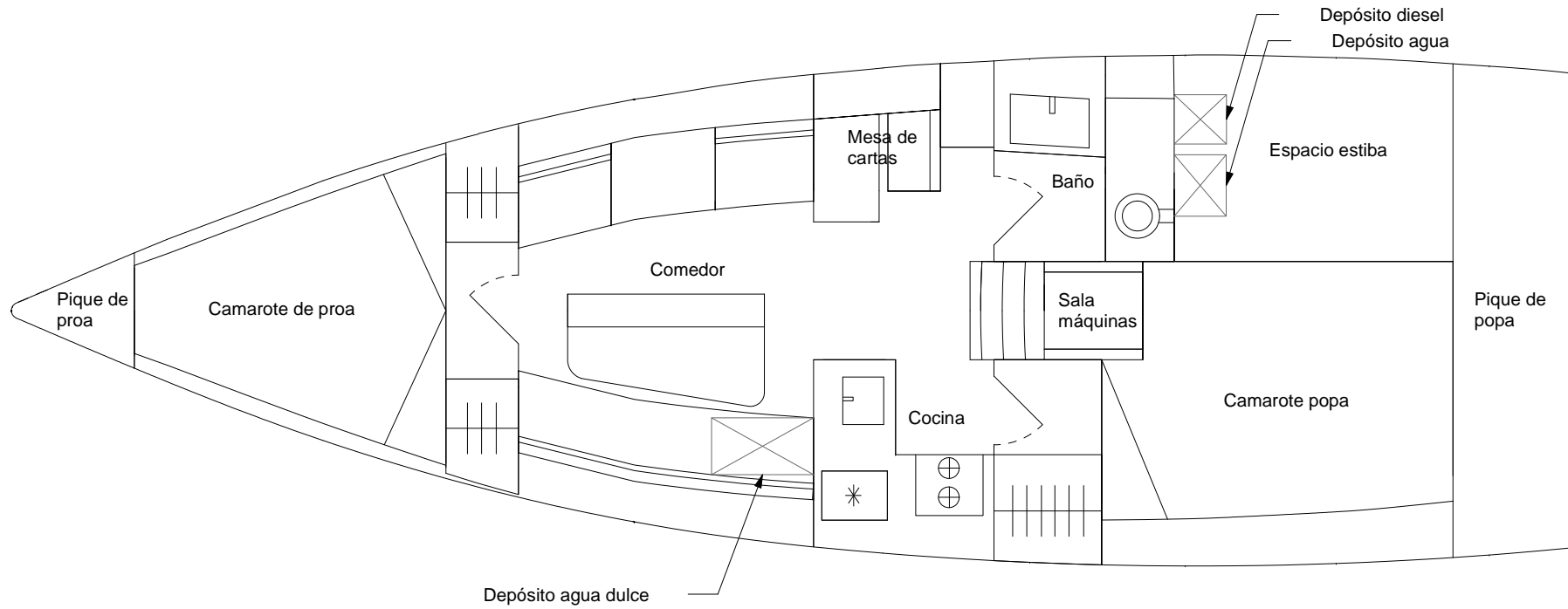
PFC - Diseño de un velero concepto crucero regata de 31 pies

## **ANEXO II: PLANO DE ACOMODACIÓN INTERIOR**

---

Plano de acomodación

Planta



Leyenda	
	Armario
	Pica
	Frigorífico
	Hornillo
	WC
	Puerta

Fecha: 04/12/2013	Escala: ---	Diseño: 1
Alteración: 0	Dibujo: DSM	Plano de acomodación
Sustituye a: ---		Versión: Preliminar
		31 pies
		Cliente: FNB

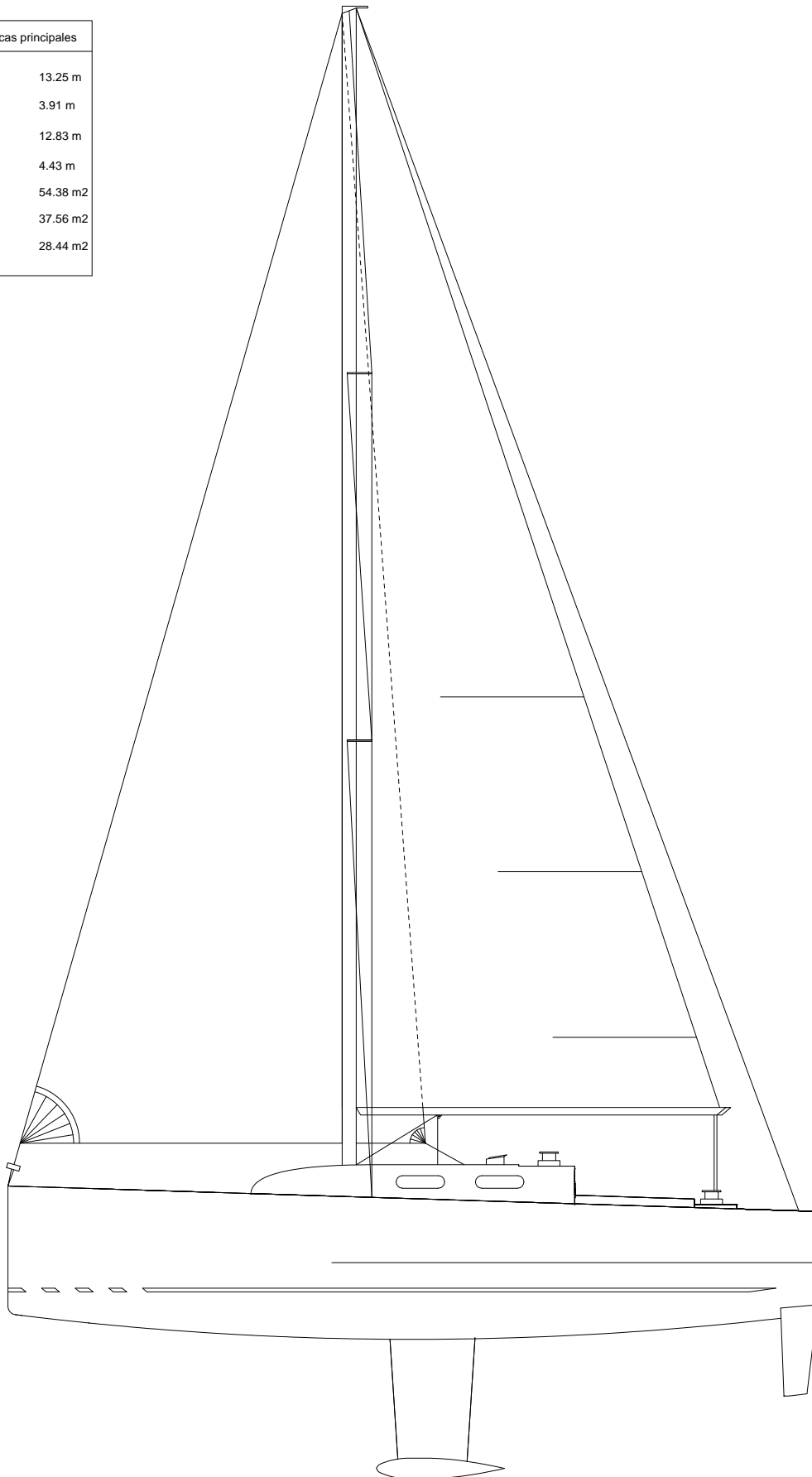
PFC - Diseño de un velero concepto crucero regata de 31 pies

## **ANEXO III: PLANO VÉLICO**

---

# Plano vélico

Características principales	
I	13.25 m
J	3.91 m
P	12.83 m
E	4.43 m
As	54.38 m <sup>2</sup>
Agenova	37.56 m <sup>2</sup>
Amayor	28.44 m <sup>2</sup>



Fecha: 04/12/2013	Escala: ---	Diseño: 1 Plano vélico/apéndices (general)
Alteración: 0	Dibujo: DSM	Auto: Preliminar 31 pies
Sustituye a:---		Cliente: FNB

PFC - Diseño de un velero concepto crucero regata de 31 pies

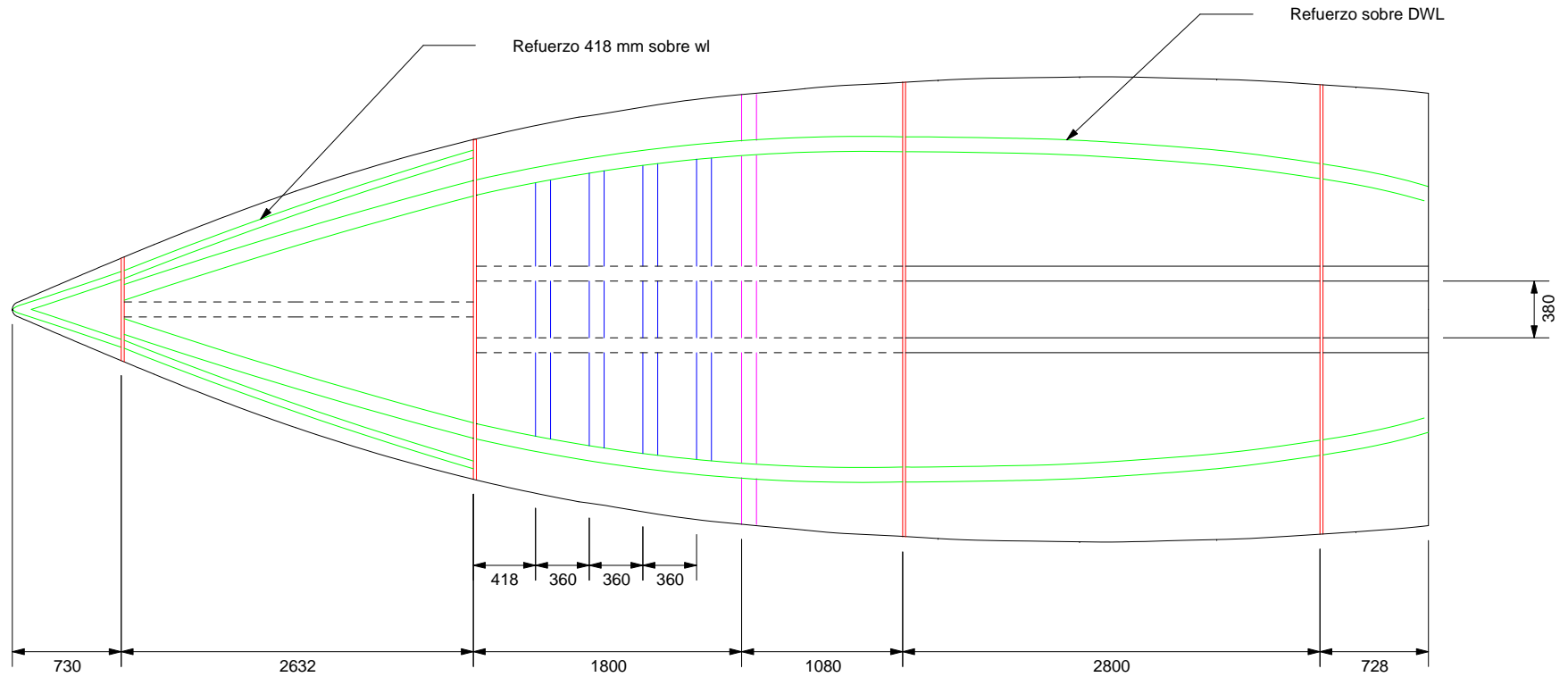


## **ANEXO IV: PLANO ESTRUTURAL**

---

Plano de disposición de refuerzos

Planta



Refuerzos	
Refuerzo tipo "2"	====
Refuerzo tipo "9"	----
Refuerzo tipo "11"	====
Refuerzo tipo "v90+15"	====
Cuaderna tipo "3"	====
Mamparo tipo "mástil"	====

NOTA 1. La denominación de los refuerzos coincide con la expresada en los cálculos

NOTA 2. Cotas en mm

Fecha: 04/12/2013	Escala: ---	Diseño: 1
Alteración: 0	Dibujo: DSM	Plano disposición refuerzos
Sustituye a:---		Versión: Preliminar
		31 pies
		Cliente: FNB

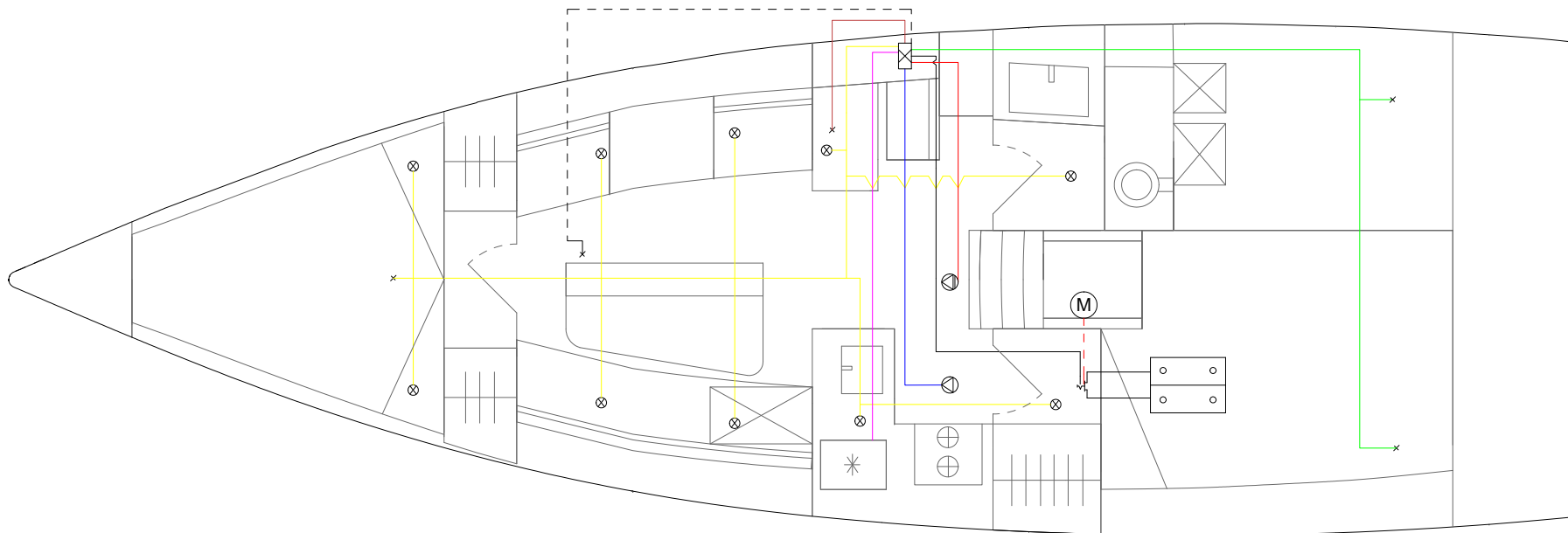
PFC - Diseño de un velero concepto crucero regata de 31 pies

## **ANEXO V: PLANO DE SISTEMAS**

---

# Plano de sistema eléctrico

## Planta



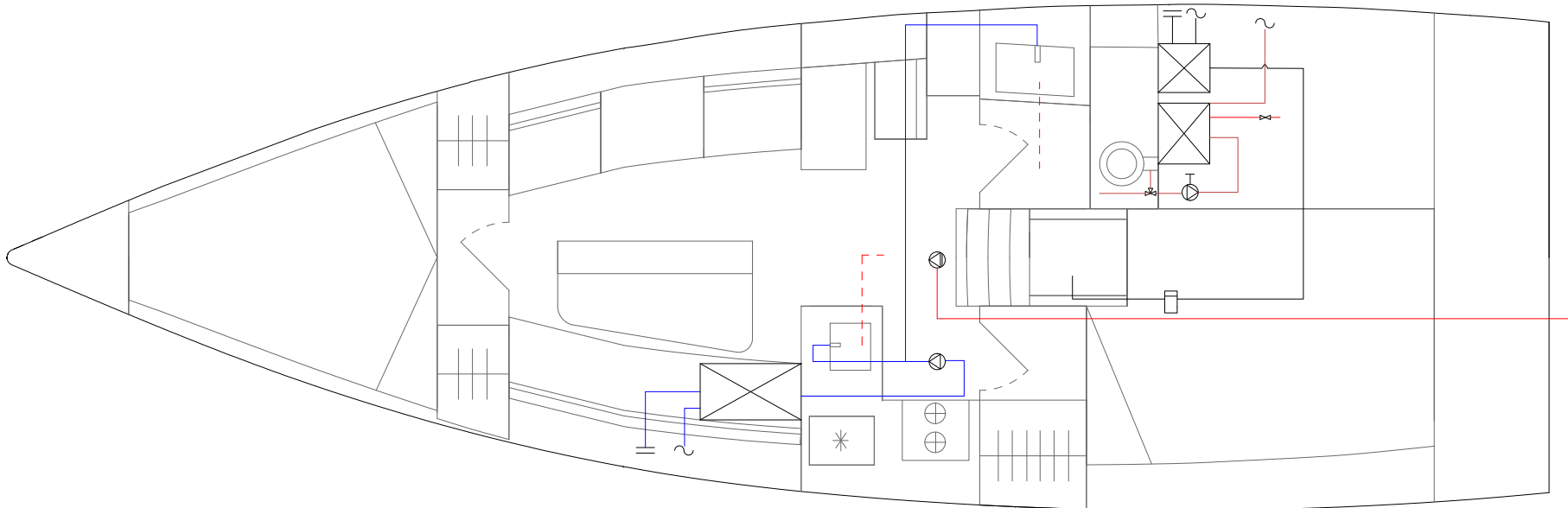
Leyenda			
⊗	Bombilla	—	Línea iluminación cabina
x	Extremo línea de tensión	- - -	Línea luces navegación/fondeo mástil
⊕	Bomba de presión	—	Línea electrónica (vhf/gps/sonda)
⊖	Bomba de sentina	—	Línea nevera
(M)	Motor de arranque	—	Línea bomba sentina
⚡	Desconector de baterías	—	Línea bomba presión
⊗	Panel de sistemas	—	Línea wind data
⊕ ⊖	Banco de baterías	—	Línea alimentación panel sistemas
		- - -	Línea motor arranque

Fecha: 04/12/2013	Escala: ---	Diseño: 1
Alteración: 0	Dibujo: DSM	Plano de sistema eléctrico
Sustituye a:---		Versión: Preliminar
		31 pies
		Cliente: FNB

PFC - Diseño de un velero concepto crucero regata de 31 pies

Plano de sistema agua dulce/ aguas negras/ combustible/ achique

Planta



Leyenda			
≡	Carga en cubierta	— (blue)	Línea alimentación agua dulce
~	Venteo en cubierta	— (red)	Línea de descarga exterior
⊗	Bomba de presión	- - - (red)	Línea de descarga a sentina
⊙	Bomba de sentina	— (red)	Línea WC
⊕	Bomba manual	— (black)	Línea alimentación diesel
⌵	Válvula		
⊞	Filtro		

Fecha: 04/12/2013	Escala: ---	Diseño: 1
Alteración: 0	Dibujo: DSM	Plano de sistema agua dulce/wc/combustible
Sustituye a:---		Versión: Preliminar
		31 pies
		Cliente: FNB

PFC - Diseño de un velero concepto crucero regata de 31 pies