

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

ESCUELA SUPERIOR TÉCNICA
DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA



PROYECTO FINAL DE CARRERA

Diseño de un velero crucero-regata de 60 pies

Titulación: Ingeniería Naval y Oceánica

Alumno: Laura del Tarré Vandrell

Director de proyecto: Leandro Ruiz Peñalver

«La navegación silenciosa, no contaminante y rentable es ahora mismo la mejor elección para la navegación a vela»

CUADERNILLO 0. MEMORIA EXPLICATIVA

1. Presentación.....	2
2. Metodología	4
2.1. Software utilizado	6
3. Especificaciones técnicas.	7
3.1. Medidas de mérito	7
3.2. Perfiles operativos.....	8
4. Normativa aplicada	10

1. Presentación

El presente proyecto consiste en el diseño de un velero crucero-regata de 60 pies, donde las especificaciones iniciales, definidas por el diseñador, son únicas. El desarrollo del mismo es un reto, dado que hay muy pocas embarcaciones con estas características tan concretas y además de que no existe mucha información en este tipo de diseños.

Se trata del diseño preliminar de un velero, empezando por el estudio de las formas de la carena, siguiendo con la optimización del plano vélico, la jarcia y los sistemas de propulsión. Finalizando con el cálculo de los pesos, la estructura y el estudio de estabilidad.

Se opta por un concepto de compromiso, que permita adaptarse tanto a la navegación de crucero como a la de regata con una tripulación limitada. Es un velero destinado para la navegación oceánica. Ya que navegará principalmente, con vientos portantes, es decir, en rumbos de través y popa. Se busca prioritariamente, que tenga una alta velocidad media de crucero.

En el dimensionamiento del barco se presta especial atención a dos dimensiones: la manga y la eslora. Se elige una manga generosa para dar estabilidad y una mayor capacidad de planeo con vientos portantes. Una eslora apropiada para que pueda ser gobernado en solitario.

El diseño de todos sus componentes se ajusta con el fin de obtener un buen rendimiento en competición, y obtener unos resultados favorables en las regatas de su clase.

Una embarcación de estas características no es fácil de conseguir, ya que ésta tiene que ser rápida y competitiva en regata y, a su vez, permita una navegación de crucero confortable. Estos son unos requisitos iniciales ambiciosos en el mercado actual, ya que se busca un diseño lo más optimizado y eficiente posible.

En resumen, se trata de un barco optimizado para la competición, con un diseño polivalente que de un suficiente grado de confort para cualquier tipo de navegación.

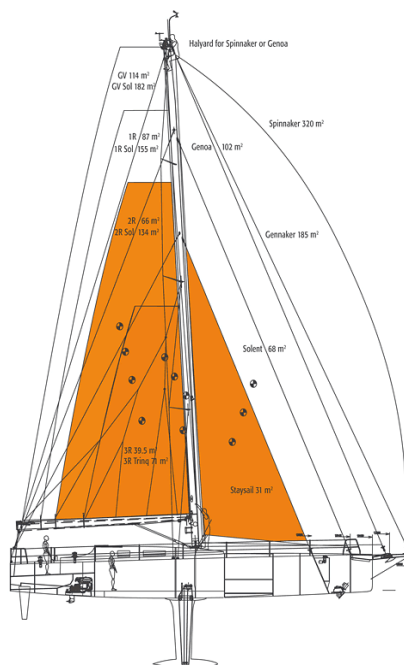
La motivación y decisión de realizar este proyecto, es la mínima oferta en el mercado de embarcaciones con esta eslora, desarrolladas para estos fines con las especificaciones que se proponen.

Siendo una gran oportunidad para poder desarrollar muchas ideas recopiladas a través de la experiencia para conseguir un objetivo personal.

Este trabajo se realiza mediante la aplicación de los conocimientos adquiridos durante los estudios en la universidad y la experiencia en el mundo de las embarcaciones de recreo y competición.

La principal innovación en este proyecto es la incorporación de un sistema híbrido para su sistema de propulsión, que se traduce en una navegación más silenciosa, económica y autosuficiente.

En el campo de las energías renovables, se estudia la posibilidad de utilizar la energía solar para un mayor ahorro de energía, y conseguir una embarcación menos contaminante y lo más sostenible posible.



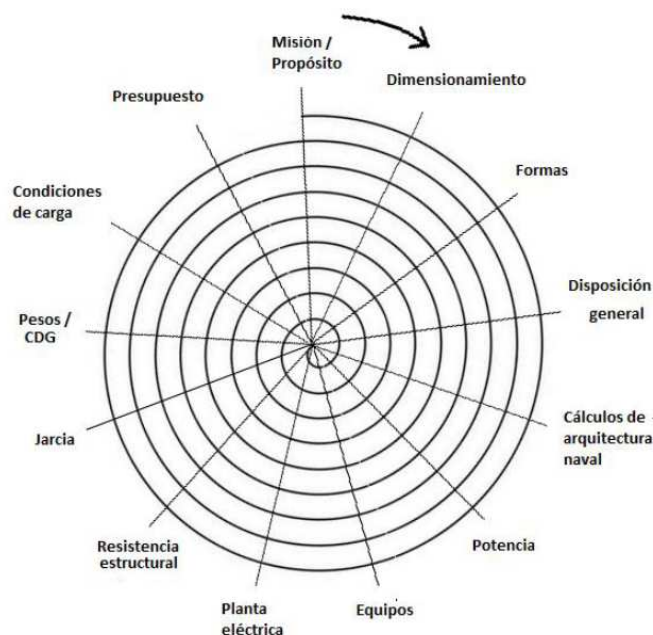
2. Metodología

Para este proceso se recurre al libro *Principles of Yacht Design*, que describe los pasos para el diseño de veleros extrapolable para todo tipo de embarcaciones a vela. Los pasos pueden variar dependiendo de si se quiere realizar un velero de crucero o de regatas.

El diseño de un velero es un proceso iterativo, un prueba y error, donde el resultado final tiene que satisfacer los requisitos establecidos al principio. En este proyecto, se plantean una serie de suposiciones que se desarrollarán para saber si finalmente lo establecido al inicio satisface los resultados finales.

Lo más probable es que en la primera iteración no se produzca, teniendo que cambiar algunos requisitos y repetir el proceso, normalmente varias veces. La secuencia de este proceso se debe a la espiral de diseño, recurrida para la mayoría de proyectos de construcción de buques, donde el diseñador realiza todos los pasos del diseño y después vuelve al punto de partida. Después de realizar varias veces el mismo proceso se consigue el resultado deseado.

A continuación, se representa la espiral de diseño.



No es necesario que todos los segmentos del espiral de diseño se desarrollen en cada iteración. Cada segmento del espiral de diseño varía dependiendo de cada proyecto.

Desde el principio, el diseñador tiene las especificaciones del velero a desarrollar. Basadas en la experiencia y en la recopilación de dimensiones principales de embarcaciones similares a la propuesta. Los parámetros adimensionales que deben de tenerse en cuenta son: la relación desplazamiento/eslora, la superficie vélica/superficie mojada, el ángulo de escora y la altura del metacentro. En la primera vuelta del espiral, el diseñador salta del primer paso directamente al último, para tener una evaluación muy aproximada.

En la segunda vuelta del espiral, después de haber ajustado los parámetros principales, se comienza el diseño del casco, la quilla, el timón y el plano vélico. Además de un diseño aproximado del diseño interior y exterior, para poder tener una estimación de pesos iniciales ya que se necesitan para poder calcular la estabilidad del barco. Por lo tanto, se deberán hacer varias correcciones de estos dos cálculos para encontrar las condiciones ideales. Claramente, no se tienen que realizar los cálculos de todos los pasos cada vez. Una vez se encuentra un peso y una estabilidad razonable para la embarcación propuesta, el siguiente paso será el cálculo del escantillonado y el dimensionado de la jarcia, así como la elección del motor. Solamente después de este paso se puede tener un cálculo de peso exacto.

Para una solución óptima del diseño se debe evaluar el diseño más cuidadosamente, y hacer el cálculo de la velocidad con un programa de predicción de velocidad (VPP) que calcula el rendimiento del velero en diferentes condiciones de viento dependiendo de los ángulos del casco, la quilla y la fuerza de las velas.

En el caso de no disponer del programa queda a juicio del diseñador y de la experiencia vivida en los diferentes veleros en los que haya navegado.

Se debe mencionar que en cada segmento del espiral de diseño, pueden aparecer diferentes sub-segmentos. Estos casos particulares pueden ser el diseño de las formas del casco, los requisitos de volumen y su distribución que probablemente se haya especificado anteriormente, y puede crear varias iteraciones hasta satisfacer el

parámetro más óptimo. En la hidrostática y la estabilidad serán necesarias varias iteraciones para encontrar la escora óptima del casco y el trimado a grandes ángulos.

Los diferentes cuadernillos a desarrollar a lo largo del proyecto son los siguientes:

1. Dimensionamiento de la embarcación.
2. Desarrollo de las formas, los apéndices y el plano vélico.
3. Disposición general.
4. Sistema de propulsión.
5. Sistemas auxiliares.
6. Jarcia.
7. Cálculo del escantillonado.
8. Cálculos de arquitectura naval.
9. Conclusiones.
10. Bibliografía.

2.1. Software utilizado

Para las distintas etapas del proyecto se utiliza la información obtenida a través de los estudios del alumno junto con una selección de libros y los recursos de información y software obtenidos a través de internet.

El principal software que se va a utilizar será el paquete de Maxsurf con sus diferentes módulos; en Maxsurf se desarrollarán varias carenas y los apéndices. Para el cálculo hidrostático, momentos adrizantes y flotabilidad el módulo *Hidromax*. Con el módulo *Span* se desarrollarán las curvas polares de predicción de la velocidad (VPP).

Finalmente, para el modelado final y para la disposición general se utilizará el programa *Rhinoceros*.

3. Especificaciones técnicas.

Antes de empezar el diseño, se debe tener una imagen clara de la embarcación propuesta. Es decir, ir imaginando como será e ir respondiendo a preguntas como para qué se quiere el barco, qué limitaciones tiene y cuáles son los objetivos de su diseño.

Los datos de partida escogidos por el diseñador son los siguientes:

Eslora: 60 pies (18 metros).	Navegación Oceánica (Zona A).
Navegación con vientos portantes.	Confortable en crucero.
Competitivo en regatas.	Ecológico y sostenible.
Velocidad: 10 kn.	Fibra de carbono epoxy.
Buena capacidad de tanques.	Estabilidad: mayor manga y peso abajo.
Estructura: vientos fuertes y olas grandes.	Formas hidrodinámicas eficientes.
Plano vélico: gennaker, mayor y génova.	Sistema de propulsión híbrida.

3.1. Medidas de mérito

A lo largo de la realización de este proyecto habrá que realizar un gran número de toma de decisiones, por lo que será necesario establecer un criterio que priorice unas alternativas sobre otras. Se debe por tanto definir las llamadas medidas de éxito y la importancia de cada una de ellas.

- Disposición interior: la comodidad prevalece cuando la embarcación se encuentre en modo crucero. Pero a la vez, se podrá adaptar a una configuración modo regata.
- Resistencia al avance: las formas del casco y los apéndices junto con el plano vélico tienen que ser para un perfil de una embarcación de planeo. Con el objetivo de conseguir grandes velocidades con vientos portantes y oleaje fuerte.

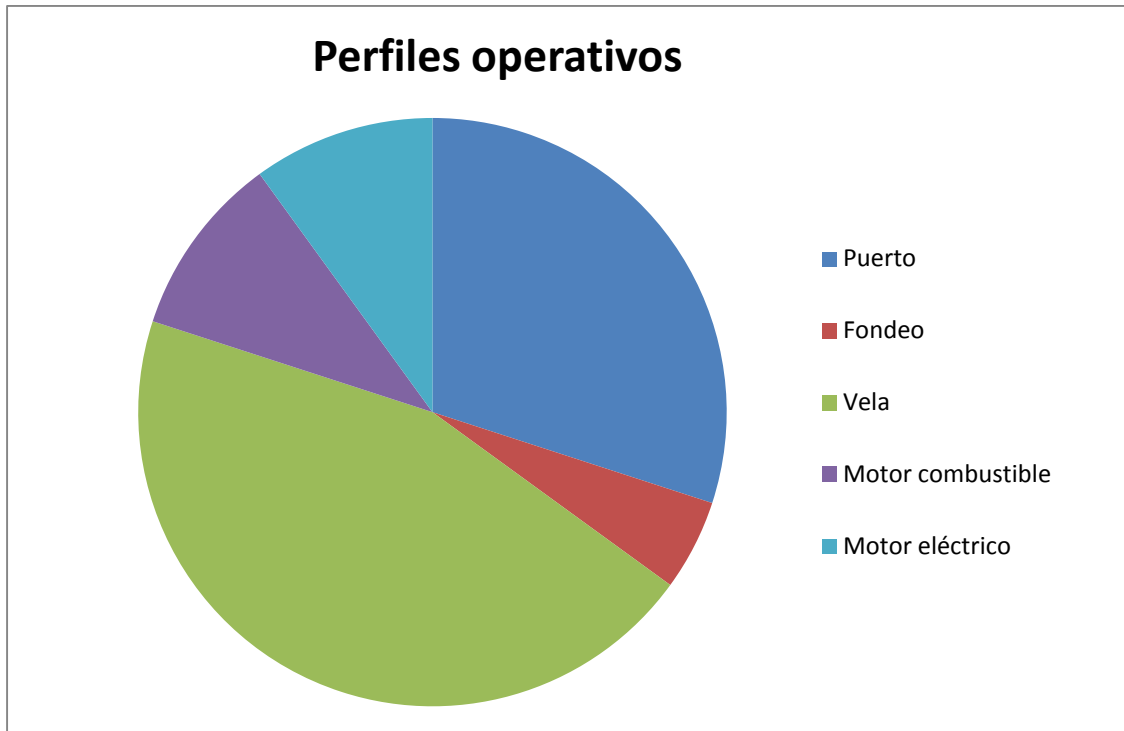
- Energías renovables: el ahorro de la energía a bordo debe tenerse en cuenta para poder realizar travesías de larga duración con condiciones meteorológicas extremas.

3.2. Perfiles operativos.

Es fundamental adaptar el diseño del barco a su uso real, por lo que hay que tener en cuenta los diferentes perfiles operativos.

- **Navegación a vela**: Siempre que sea posible se navegará con la única ayuda de las velas. El barco estará perfectamente equipado para este fin, con una maniobra cómoda y sencilla, que no requiera de grandes esfuerzos por parte de la tripulación. Teniendo en cuenta que se trata de un velero de crucero y regata.
- **Navegación con motor eléctrico**: en este caso se puede hacer uso durante la navegación para la carga de baterías.
- **Estancia en fondeo**: como esta embarcación está destinada a travesías. La estancia en puerto durante las mismas pretende ser la mínima, reducida tan solo a abastecimiento de suministros. En lugar de ello se fondeará en calas, siendo éste otro de los perfiles operativos fundamentales del barco. En base a esta condición, se diseñarán el conjunto de baterías, las dimensiones de los tanques de agua y combustible.
- **Estancia en puerto**: será cómoda gracias a su disposición interior, esto demanda tener una buena conexión de suministro de agua y electricidad a tierra, alarmas de emergencia de las bombas de achique y detector de alarma cuando el nivel de baterías sea bajo. Ha de tener un buen sistema de amarras y fondeo.
- **Navegación con motor de combustible**: esta situación será la que menos se buscará, ya que interesa que sea una embarcación limpia para el medio ambiente. Se puede dar este caso dependiendo de las condiciones meteorológicas durante la navegación.

Otro aspecto a tener en cuenta es la zona de navegación, que determinará las formas del barco. En este caso, su actividad se desarrollará por todos los océanos, por lo tanto, deberá tener un casco resistente con los materiales seleccionados.



Como se puede ver en el gráfico de arriba, la navegación a vela será el perfil operativo que más se tendrá en cuenta durante el desarrollo del proyecto. Aunque, uno de los objetivos también será combinar el perfil operativo de motor eléctrico junto con la navegación a vela con el propósito de tener un ahorro energético y disfrutar de una navegación silenciosa.

4. Normativa aplicada

La normativa aplicada para el diseño de esta embarcación es el conjunto de normas ISO que a su vez, deben cumplir el marcado CE para el tipo de navegación que se va a realizar.

El marcado CE se aplica a todas las embarcaciones de recreo entre 2,50 y 24 metros. Contendrá las principales características de diseño, además de otros datos exigidos por la reglamentación.

Se estudiarán los diferentes capítulos de la normativa para cada uno de los sistemas a diseñar y también para cumplir con las especificaciones establecidas.

El hecho de realizar el proyecto con esta normativa para el diseño de un velero proporciona una garantía de seguridad y calidad.

El conjunto de normativas ISO que se detallan a continuación han sido utilizadas en el proyecto para que todos los sistemas dimensionados cumplan con los estándares de la normativa. Se indica para qué sistema se ha utilizado cada normativa.

- *ISO 8849; Pequeñas embarcaciones. Bombas de sentinas eléctricas de corriente continua.*
 - Bombas del sistema de sentinas.
- *ISO 9094-2; Pequeñas embarcaciones. Protección contra incendios. Parte 2: Embarcaciones de eslora superior a 15 m.*
 - Sistema de contra incendios.
- *ISO 10088; Embarcaciones de recreo. Sistemas de combustible instalados de forma permanente.*
 - Sistema de combustible.

- *ISO 10133; Embarcaciones de recreo. Sistemas eléctricos. Instalaciones de corriente continua a muy baja tensión.*
 - Sistema eléctrico.
- *ISO 16147; Pequeñas embarcaciones. Motores diesel intraborda. Componentes de combustible y eléctricos montados en el motor.*
 - Sistema de combustible.
- *ISO 12215; Embarcaciones de recreo. Construcción de cascos y escantillones.*
 - Cálculo de la estructura.
- *ISO_12217; Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la flotabilidad y estabilidad.*
 - Cálculos de arquitectura naval.

Además de cumplir con la normativa requerida para este tipo de embarcaciones, se tendrá en cuenta el **rating**; que se trata de un método de cálculo entre embarcaciones similares para que puedan competir en un mismo grupo y con unas condiciones parecidas. Es decir, cuando el barco se ajusta más a esta regla, mejor rendimiento puede tener en una regata.

Como se requiere una embarcación competitiva para regatas oceánicas el mejor rating que se puede obtener es en la categoría ORC (Offshore Racing Council) Oceanic. Así que a lo largo de todo el proyecto se tendrá en cuenta para ajustar el velero al máximo a este sistema de cálculo.

CUADERNILLO 1. DIMENSIONAMIENTO DE LA EMBARCACIÓN

1. Base de datos	2
2. Métodos de cálculo	5
3. Dimensiones principales	6
3.1. Eslora total	6
3.2. Eslora en la flotación	6
3.3. Manga máxima	8
3.4. Calado máximo	9
3.5. Desplazamiento	10
3.7. Resultados finales	11

1. Base de datos

La embarcación a diseñar es un velero de concepto crucero-regata de categoría de diseño tipo A, apta para la navegación oceánica, sin límite de millas de la costa, para vientos de más de 8 nudos en la escala Beaufort y con una altura de olas de más de 4 metros.

Para el desarrollo de esta embarcación se han tenido en cuenta una serie de medidas de trabajo que caracterizan este tipo de veleros, a través del estudio de embarcaciones similares. En este proceso se ha optado por escoger los últimos veleros construidos, para poder realizar un diseño lo más actual y moderno posible. También teniendo en cuenta las dimensiones iniciales propuestas, ya que todos los barcos que se han examinado comprenden unas medidas que rodean los 60 pies, dimensión inicial en las especificaciones.

El estudio se ha elaborado con un total de 43 embarcaciones de crucero, regata y crucero-regata con dimensiones que oscilan entre los 54 y los 65 pies. El rango escogido ha sido a elección del diseñador, para intentar comprender el máximo de veleros dedicados a este fin.

Con el conjunto de medidas recogidas, se ha construido una tabla con los datos más relevantes, que son los siguientes; eslora, eslora en la flotación, manga, calado, desplazamiento, potencia del motor, capacidad de agua dulce, capacidad de combustible, área de las velas y lastre.

En la tabla elaborada se han introducido las diferentes embarcaciones con los mismos objetivos de navegación, que en este caso, es la navegación oceánica. Algunas de las embarcaciones se dedican exclusivamente a participar en regatas, pero así ayudando a las regresiones a tener una buena optimización de las dimensiones iniciales del velero que se desea diseñar.

A continuación, se puede observar la tabla desarrollada por orden de eslora con las 43 embarcaciones seleccionadas:

Embarcaciones	LOA	LWL	B	T	Δ	Potencia	Agua	Fuel	Área velas	Lastre
	m	m	m	m	T	HP	l	l	m²	T
JP 54	18.23	16.45	5.3	3.5	9	55			216	
Gran Solei 54	16.35	14.85	4.65	3.1	16.5	110	600	400	155	6.5
Oyster 545	16.43	14.1	4.75	2.4	21.315	110	750	850	154.09	
Euphoria 54	16.31	14.68	4.78	3	15.13	75	700	450		
Warwick 54	16.45	14	4.6	2.44	16.92				137.3	
Warwick 55	16.74	13.73	4.5	3	21	140	800	800	153.2	5.67
Dibley 57	17.4	15.66	4.8	3.2	18.5				164	
Hanse 575	17.5	15.15	5.2	2.85	20	110				5.9
Oyster 575	17.89	15.72	5	2.7	27.25	150	950	1300	194.8	
Speedy 57	17.3		4.35	4.35	9.5					
Gunfleet 58	18.25	16.36	5.2	3.6	31	150	1000	1500	174	
Discovery 58	17.9	16.4	5.1	2.35	27.25	150	1000	1300	247	10
Solaris 58	17.4	16	5.05	3.2	19.5	175	700	500	188	6.8
Shipman 59	18.9	17.45	5.29	3	17.8	75	600	400	470	5.4
Nauta 59	17.7		4.78	3	18	125	700	800	172	6
Wild Joe 60	18.5		4.01	4.1	9.9					
IRC 60	18.3		4.85	4.1	11					
Wally 60	18.46	15.91	4.95	4	17.5	88			210	
Swan 60	18.86	16.7	5.09	3.6	21.3	106	500	400		8.65
Baltic 60 Mattone	18.5	16.11	5	3	20.7	140	540	700		7.447
Baltic 60 OPS5	18.02	15.14	4.5	3.3	17.15	75	590	460		7.163
Baltic Ultimate	18.5	16.11	5	3	20.7	140	500	770		7.137
Performance cruiser 60	18.3	16.5	4.96	3.95	18.5					
Minimaxi 60'	18.57		4.01	4.1	10.12					
Oceanis 60	18.24	17.75	4.99	2.7	21.66	140				
Warwick 60	18.31	15.8	5	3.2	24	140	700	800	177	7
Open 60	18		5.6	4.5	8				600	
Advanced 60	18.6	17.08	5.15	3.4	17.2	110	860	680	220	6.2
Solaris 60	18.97	17.1	5.15	3.3	34	200	800	600	235	7.7

Moody 62	19.3	17.2	5.25	2.95	30	150	725	720	190	10
Oyster 625	19.37	17.24	5.44	2.8	33.5	180	1200	1700	235.86	
Ocean star 62.1	18.88	17.27	5.4	2.45	28.5	160				
Minimaxi 63	19.2		4.88	4.55	12.77	75				
Shipman 63	19.2	17.6	4.95	3	16.5	110	440	910		6.5
Hanse 630	19	17.1	5.2	2.95	23.7	110	800	600	214.6	8.9
Jeanneau 64	20.1	19.55	5.4	2.95	31	180	1000	825	170	
Warwick 64	19.5	16.57	5.05	3.23	26	140	800	980	200.6	9
Warwick 65	19.91 2	16.1	5.16	2.8	32.52	140			184.07	10.16
X65	20.01	17.69	5.36	3.4	27.7		900	700		10.095
Marten 65	19.5	18.74	5.51	4.01	16.6		300	1318		4
Baltic 65	21.13		4.95	4.1	17.9					

Al obtener las dimensiones directamente de internet, no se han encontrado todos los datos de cada embarcación.

Por lo tanto, se han descartado las embarcaciones que presentan pocos datos y que pueden dar resultados pocos fiables. Y además, las que también presentan unas características que no se ajustan al diseño a proyectar.

Así que para conseguir un mejor ajuste en las regresiones y obtener unas mejores dimensiones principales, se han seleccionado una serie de embarcaciones que más se parecen a la embarcación proyecto.

Se han tenido en cuenta la eslora y el desplazamiento, ya que el objetivo es que sea una embarcación rápida y ligera.

2. Métodos de cálculo

Para el cálculo las dimensiones principales se han planteado dos tipos de cálculo para escoger las dimensiones principales del diseño:

A) Regresiones.

A partir de la base de datos, se ha procedido a realizar distintas regresiones para obtener las dimensiones y relaciones principales para empezar a diseñar la embarcación modelo.

Teniendo la eslora como principal objetivo de este proyecto, se han estudiado un total de seis tipos de regresiones diferentes. Donde en todas ellas se ha comparado la eslora con las siguientes dimensiones principales; la eslora en la flotación, la manga, el calado, el desplazamiento y la superficie vélica.

B) Buque base.

En el libro "*Principles of Yacht Design*", en el que se indican una serie de relaciones para obtener parámetros de una embarcación a partir de otras de similares características. En este caso se ha optado de entre todos los buques de la base de datos por el *Shipman 59*. Que es el modelo que más se ajusta a nuestras especificaciones.



3. Dimensiones principales

3.1. Eslora total

Esta la dimensión principal definida por las especificaciones del proyecto. Loa = 18 m.

3.2. Eslora en la flotación

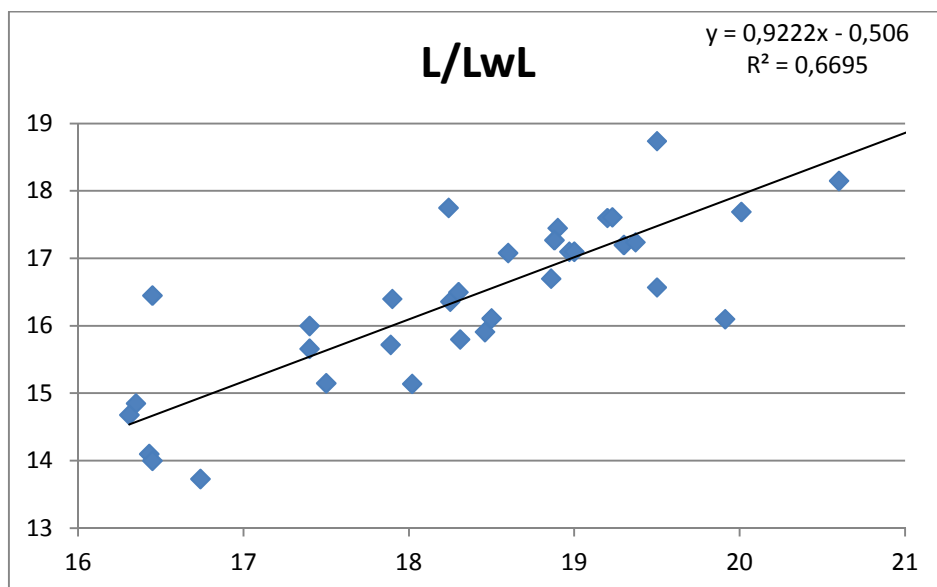
La eslora en la flotación depende de las formas deseadas para el casco. La eslora en la flotación (LWL) podrá tener entorno a un 95-97% de la eslora total.

En este caso, se ha buscado un diseño con una proa recta, dado que proporcionan gran habitabilidad y un corte más limpio del flujo.

Este caso, al ser un velero crucero-regata se va a intentar que con esta dimensión repercuta a tener unas buenas condiciones de amplitud y comodidad en el interior de la embarcación. Descartando esloras de flotación muy pequeñas.

De la base de datos, se obtiene Lwl en función de la eslora total.

Partiendo de que LOA= 18 m, se obtiene una Lwl= 16,094 m.



Como buque base se elige el *Shipman 59*, ya que es el velero que más se parece a la embarcación a diseñar. Semejándose en la mayoría de sus dimensiones principales y también, en el material del caso, la fibra de carbono.

Embarcación	LOA m	LWL m	B m	T m	Δ T	Potencia HP	Agua l	Fuel l	Área velas m ²
Shipman 59	18.9	17.45	5.29	3	17.8	75	600	400	470

Tabla 2. Dimensiones principales Shipman 59.

Larsson relaciona entre las esloras de proyecto y la del buque base como se muestra a continuación:

$$LWL = LWL_{base} * \lambda^{0.7777}$$

$$\lambda = \frac{L_{proyecto}}{L_{base}} = \frac{18}{18.9} = 0.952$$

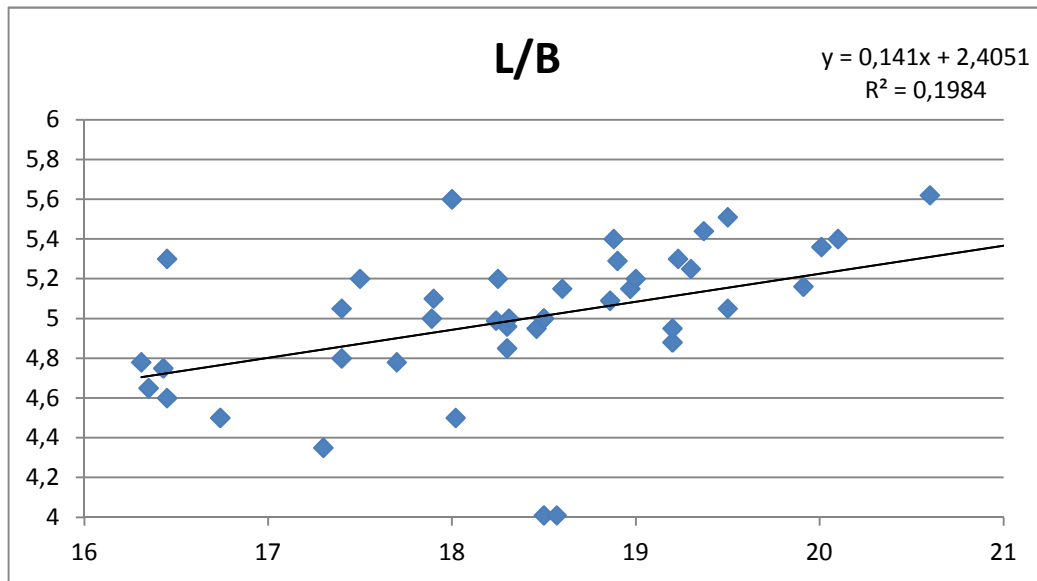
$$LWL_{proyecto} = LWL_{base} * \lambda^{0.7777} = 16.8 \text{ m}$$

	Regresión	Shipman59	Proyecto
L (m)	18	18,9	18
LwL (m)	16,094	17,45	16,8

3.3. Manga máxima

Este dato suele ser facilitado por los diseñadores, cabe destacar que difiere bastante de la manga en la flotación.

A continuación, se representa la regresión de la manga máxima frente a la eslora total.



De la regresión se obtiene una B = 4.943 m.

El método de Larsson propone una relación del tipo:

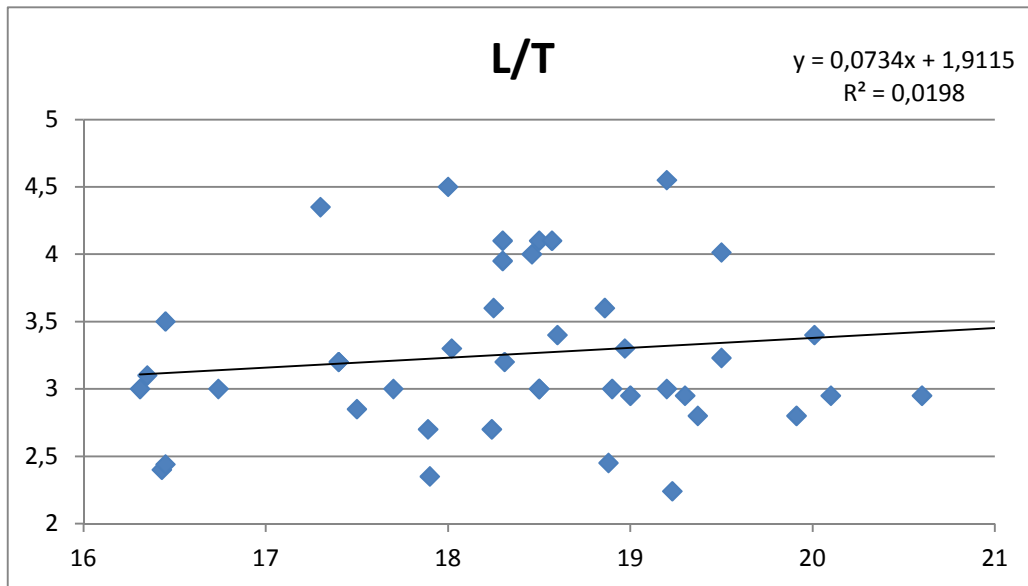
$$B_{proyecto} = B_{base} * \lambda^{0.7}$$

$$\lambda = 0.952$$

	Regresión	Shipman59	Proyecto
B (m)	4,943	18,9	5,112

3.4. Calado máximo

En este caso se incluye los apéndices, la quilla y los timones, a diferencia del calado en casco desnudo. Se expresa este dato en función de la eslora.



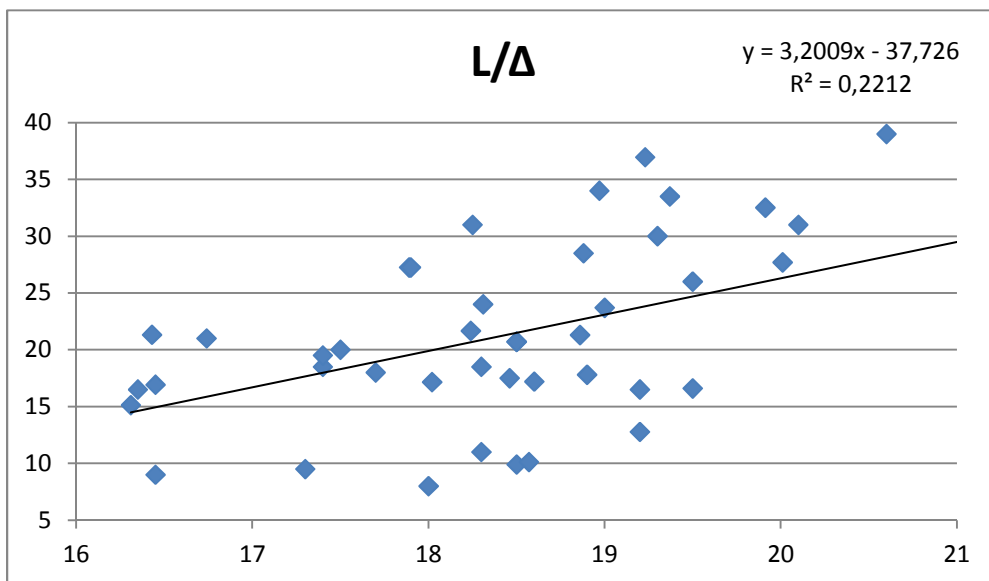
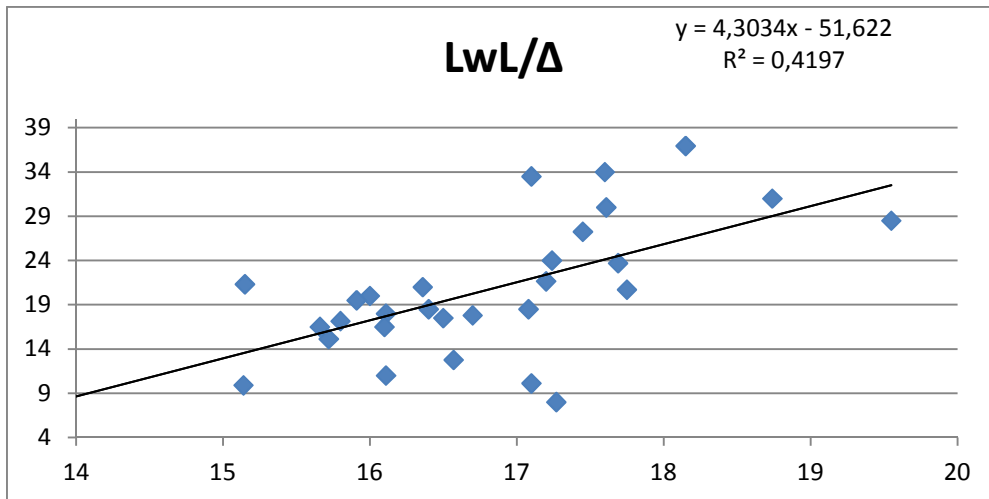
El método de Larsson plantea la siguiente relación:

$$T_{proyecto} = T_{base} * \lambda^{0.7}$$

	Regresión	Shipman59	Proyecto
T(m)	3,233	3	2,708

3.5. Desplazamiento

Al ser el desplazamiento una de las dimensiones principales con gran importancia a tener en cuenta. Se ha representado el desplazamiento en función de la eslora de la eslora de flotación, para poder tener diferentes posibilidades de desplazamiento.



Después de comparar las dos regresiones, se ha observado que la relación de la eslora con el desplazamiento se ajusta más a la dimensión que se quiere obtener.

Por otro lado, Larsson relaciona el desplazamiento de la siguiente forma:

$$\nabla_{proyecto} = \nabla_{base} * \lambda^{3.66}$$

	Regresión	Shipman59	Proyecto
Δ (Kg)	19,890	17,8	16,245

3.7. Resultados finales

Finalmente, los resultados obtenidos por los dos métodos se muestran más abajo:

	Larsson	Regresión	Media
LWL (m)	16,800	16,094	16,447
B (m)	5,112	4,866	4,989
T (m)	2,708	3,233	2,971
Δ (Kg)	16,245	19,890	18,068

Se puede observar que se encuentran algunas diferencias respecto el calado, esto se debe a que algunas de las embarcaciones tienen quilla y otras quilla y bulbo, variando un poco en esta dimensión. Se intentará encontrar un valor entremedio de las dos dimensiones.

La manga y el desplazamiento son dimensiones directamente proporcionales. Se puede ver como existe diferencia entre Larsson y las regresiones. En consecuencia, se priorizará un diseño de la carena con una manga muy ajustada debido a una eslora en la flotación grande y un desplazamiento para una embarcación de planeo.

Las otras dimensiones satisfacen al diseñador para poder empezar a modelar el casco, los sus apéndices y el plano vélico en el siguiente cuadernillo.

CUADERNILLO 2. DISEÑO DE LAS FORMAS

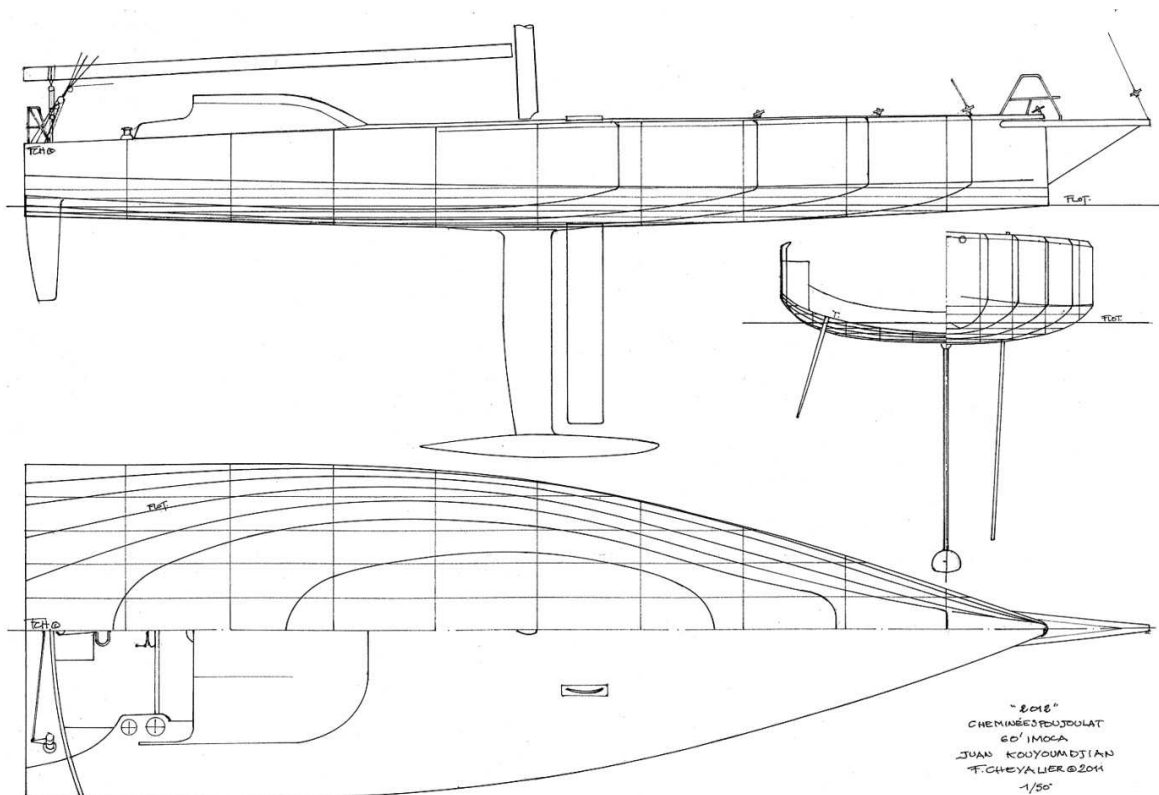
1. Formas de la carena	2
2. Dimensionamiento de la carena	4
3. Dimensionamiento de los apéndices	10
3.1. Timón.....	10
3.2. Quilla y bulbo	12
4. Dimensionamiento del plano vélico.....	14
4.1. Dimensionamiento de las velas.....	16
5. Posición longitudinal de los apéndices y del mástil	18

1. Formas de la carena

Se ha iniciado el desarrollo de las formas de la carena, basándose en la experiencia en la navegación del diseñador y su continuo interés en los veleros oceánicos, documentándose a través de crónicas de regatas y revistas especializadas.

Una de las principales variables que se ha tenido en cuenta, es la velocidad. Ya que para este caso, se ha considerado una velocidad media de crucero de 10 kn. El objetivo es que las formas sean lo más esbeltas posibles y se puedan conseguir velocidades de planeo.

Se ha tomado la inspiración de los barcos de la clase IMOCA (Open 60) que se emplean para las regatas oceánicas más exigentes del mundo. Siendo barcos de pura regata, con carenas muy extremas. Se ha intentado buscar un híbrido entre crucero y regata con un estilo propio, con un mayor volumen interior y un buen confort durante la navegación.

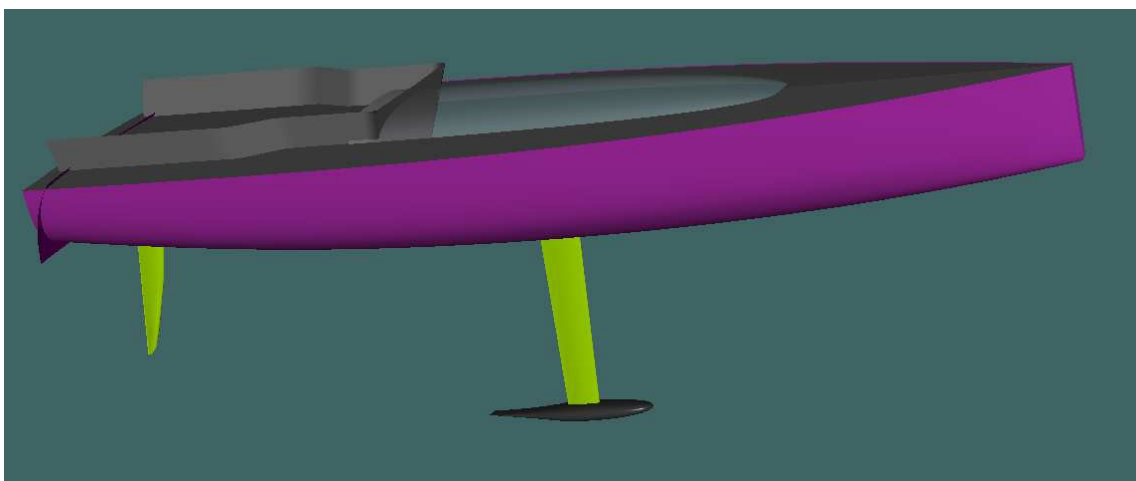


El primer elemento distintivo de un barco IMOCA es su manga, al ser barcos que normalmente se navegan en solitario o con poca tripulación y con vientos portantes, estas embarcaciones pueden aprovechar bien sus generosas amplias mangas. Como ellos, este diseño también aprovecha el uso de la manga, no sólo como una manera de proveer estabilidad inicial, sino también, para proveer volumen interno a la embarcación.

Aunque el exceso de manga puede traer un efecto nocivo para un barco de crucero, como es el ángulo de asiento de la carena con la escora. Por eso se ha tratado de moderar la manga, suavizando las curvas. También en ese sentido se ha empleado una carena de formas llenas, con líneas de agua potentes, pero no radicales.

A diferencia de los diseños más radicales, se ha decidido por una carena que no tenga cantoneras ni aristas, ya que de no ser bien estudiado su efecto usando CFD, no tienen mucho sentido, más que el de dar una línea de referencia a los ojos del espectador. Por eso, buscando un diseño más armonioso se descartaron. Así también ha quedado definida la geometría de las curvas verticales del barco, donde se ha querido una popa planeadora, pero una proa más ceñidora con curvas no tan llenas.

En el mismo sentido, usando elementos de estilo moderno, la proa y la popa tienen poco lanzamiento, y el arrufo es de líneas tendidas, para darle al barco un aire estilizado, elegante y clásico a la vez.



2. Dimensionamiento de la carena

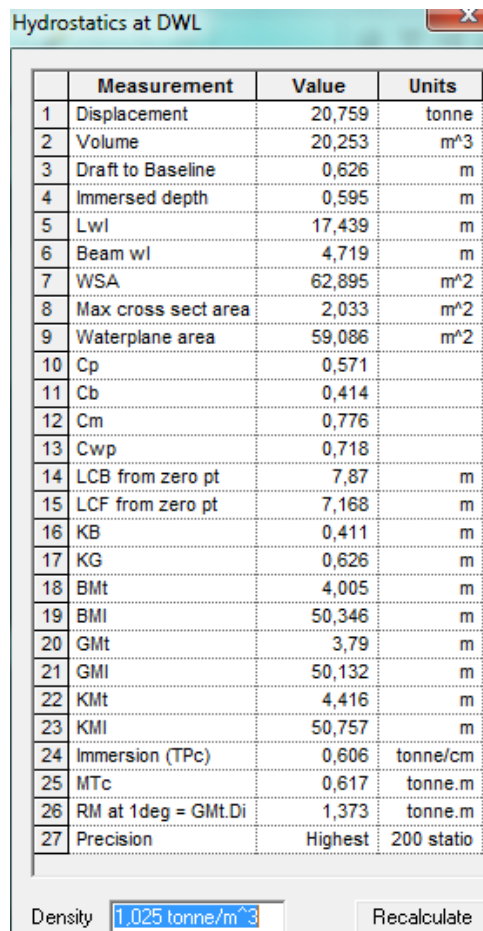
Según los datos obtenidos por la base de datos, se ha intentado llegar a ellos con valores concretos, para luego de ahí ir trabajando las formas de la carena.

Se ha procedido al modelado del velero con el programa Maxsurf. Seguidamente, se ha escogido uno de los veleros modelo, el "Fast Yacht", ya facilitado por el programa.

Después de la creación de cuatro versiones modelo distintos, se ha conseguido llegar a las formas deseadas, a medida de ir retocando las curvas que componen la carena.

Mediante la realización de una transformación paramétrica se han obtenido las dimensiones deseadas.

A continuación, se han obtenido las hidrostáticas del casco sin apéndices a través del programa Maxsurf:



	Measurement	Value	Units
1	Displacement	20,759	tonne
2	Volume	20,253	m ³
3	Draft to Baseline	0,626	m
4	Immersed depth	0,595	m
5	Lwl	17,439	m
6	Beam wl	4,719	m
7	WSA	62,895	m ²
8	Max cross sect area	2,033	m ²
9	Waterplane area	59,086	m ²
10	Cp	0,571	
11	Cb	0,414	
12	Cm	0,776	
13	Cwp	0,718	
14	LCB from zero pt	7,87	m
15	LCF from zero pt	7,168	m
16	KB	0,411	m
17	KG	0,626	m
18	BMt	4,005	m
19	BMI	50,346	m
20	GMt	3,79	m
21	GMI	50,132	m
22	KMt	4,416	m
23	KMI	50,757	m
24	Immersion (TPc)	0,606	tonne/cm
25	MTc	0,617	tonne.m
26	RM at 1deg = GMt.Di	1,373	tonne.m
27	Precision	Highest	200 statio

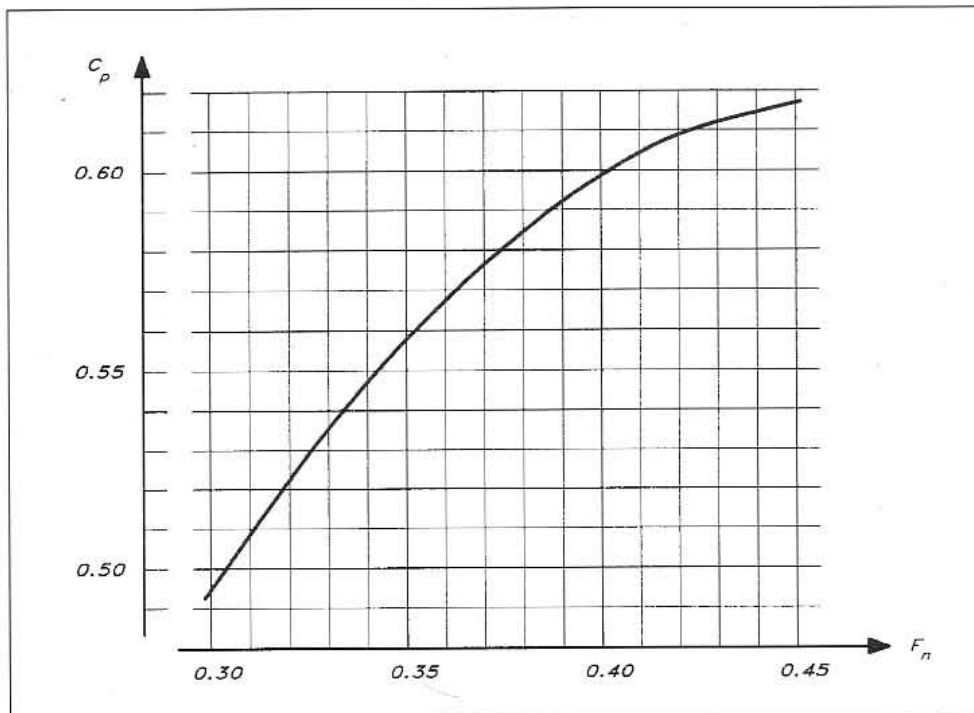
Density Recalculate

Para el cálculo de las hidrostáticas se ha tomado como origen de referencia la perpendicular de popa con la intersección a la línea de agua.

Se han analizado los datos obtenidos considerando las siguientes conclusiones:

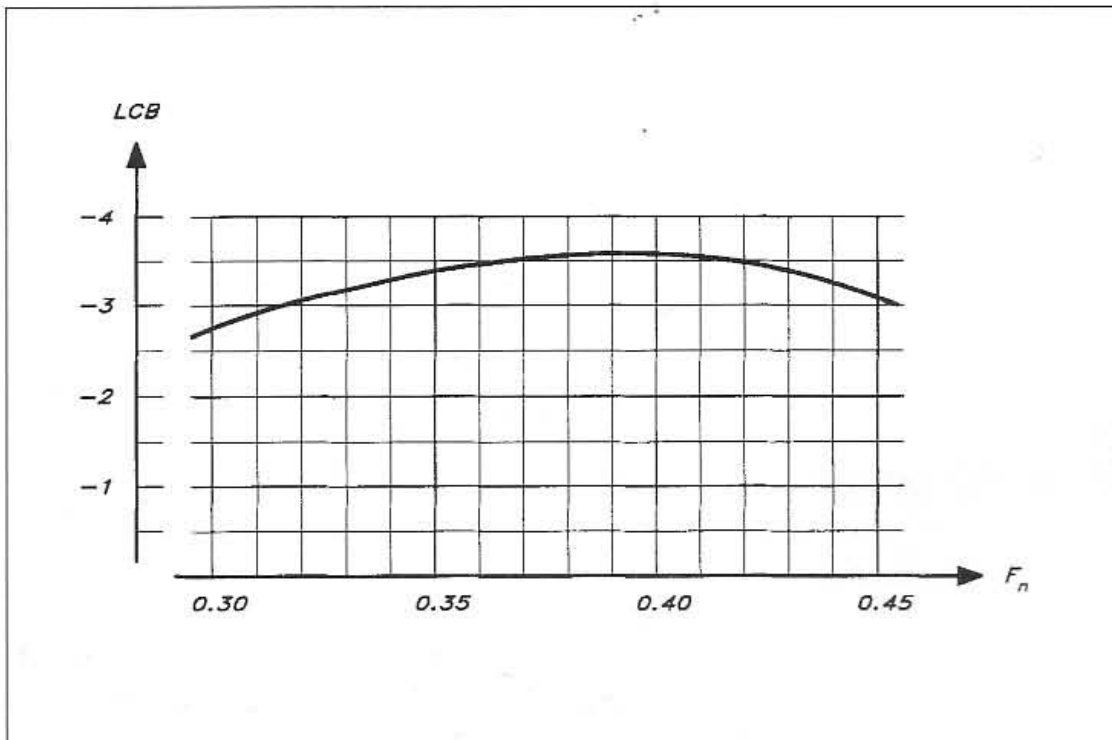
1. El valor del coeficiente prismático **Cp=0,571**, se ajusta a las condiciones de diseño propuestas. Teniendo en cuenta que se trata de un casco de desplazamiento mediano. En la serie de Delft, se indica que para desplazamientos grandes/medianos (Serie 1 Delft), el valor óptimo de Cp aumenta con la velocidad.

Este en caso, se intentado tener un valor de Froude entre 0,35 y 0,45, para que pueda ser una embarcación que alcance grandes velocidades planeadoras. Como se representa en la siguiente gráfica del coeficiente óptimo.



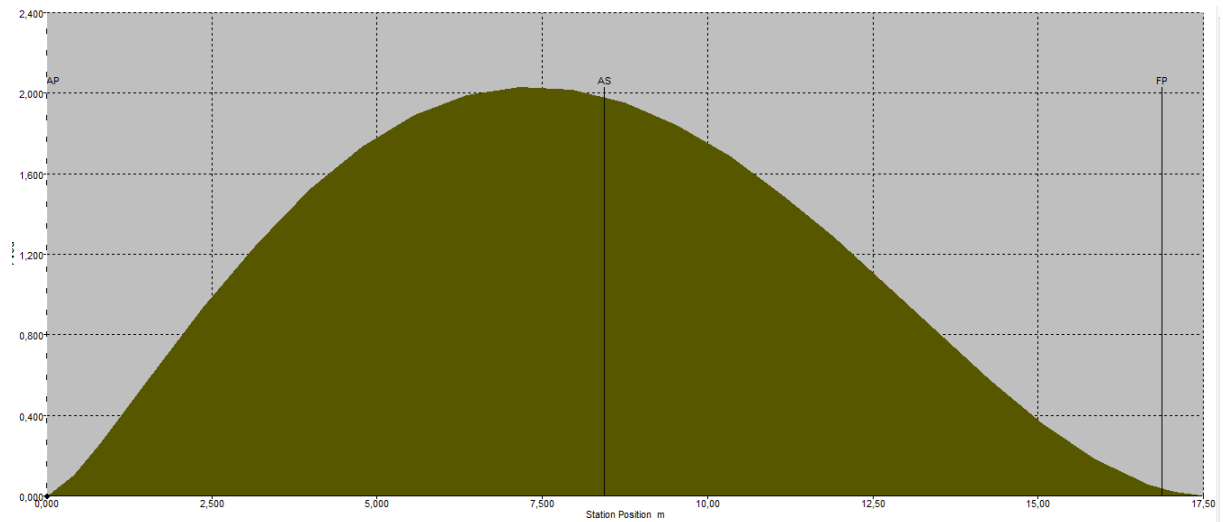
Para el número de Froude del proyecto que es $F_n=0.39$; se puede observar que el C_p óptimo es 0.59. Bastante ajustado en el diseño realizado.

2. El centro de carena LCB, atendiendo a las mismas referencias bibliográficas se indica que el LCB óptimo para este tipo de embarcaciones, debe estar situado en torno al 3,6 % de la eslora en la flotación desde la cuaderna maestra hacia popa.



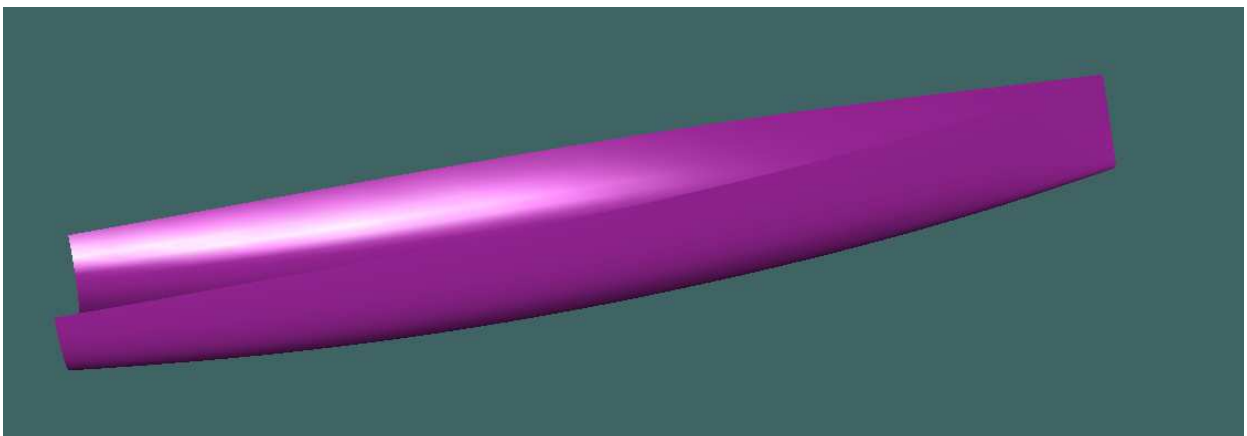
3. El desplazamiento es mayor que los datos calculados en el *cuadernillo 1*, pero no tiene relevancia ya que se ha querido priorizar unas formas un poco más llenas para poder alcanzar velocidades de planeo.

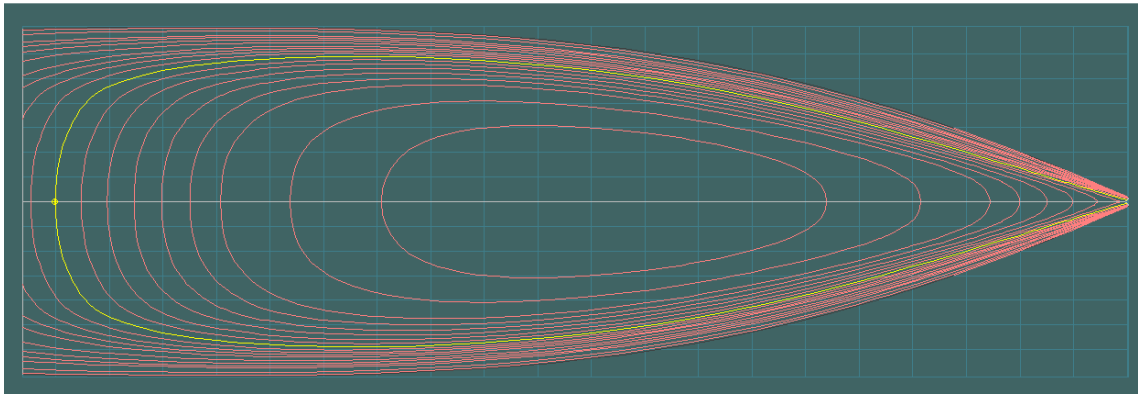
A continuación, se representa en la siguiente figura la curva de áreas.



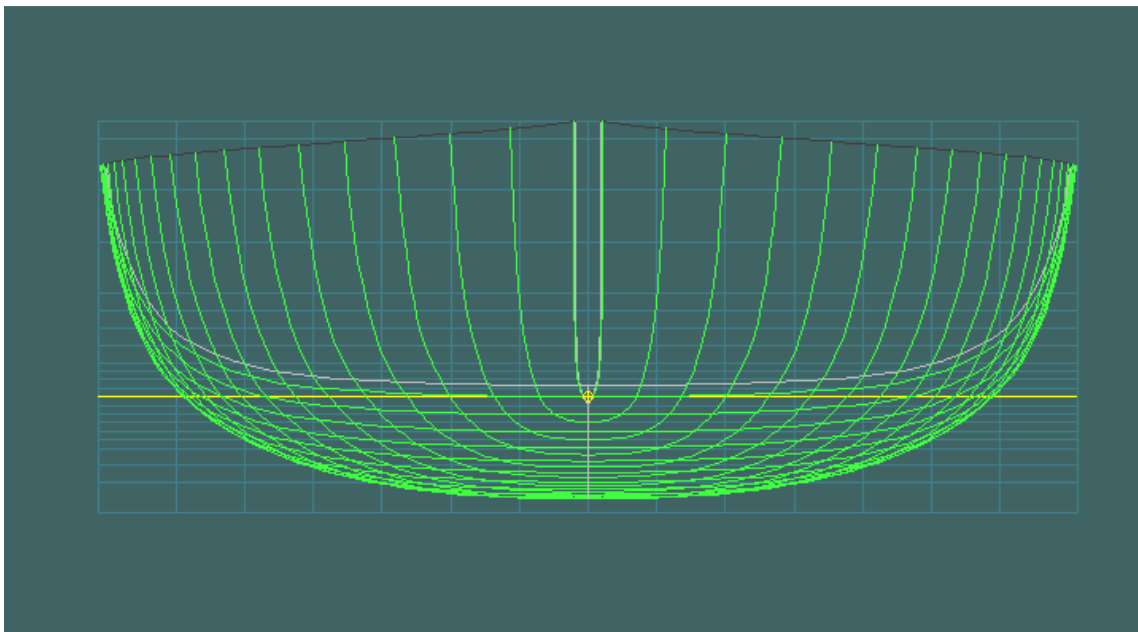
Se puede observar una curva de áreas sin “hombros” en la parte central, lo que indica un cambio de curvatura suave.

En la siguiente figura se puede ver la carena modelizada.

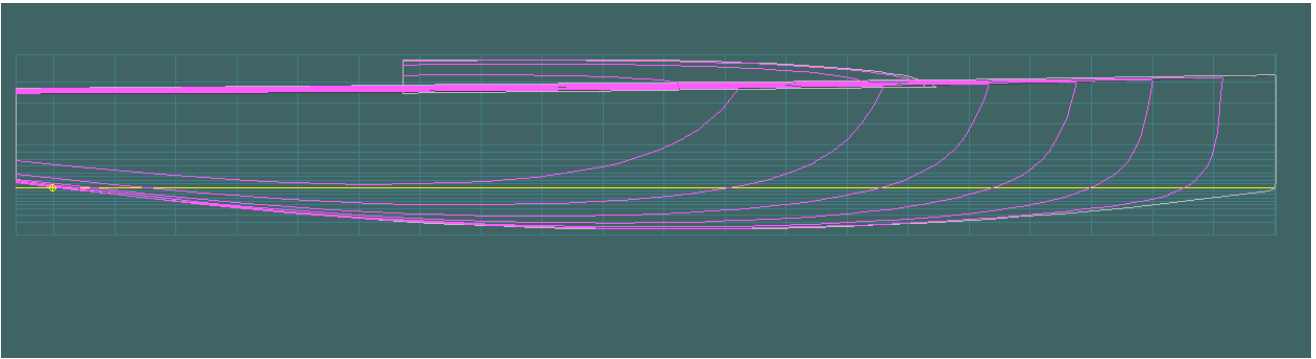




Después de encontrar la carena deseada, con unas formas suaves y esbeltas, se pueden ver más arriba las líneas de aguas.

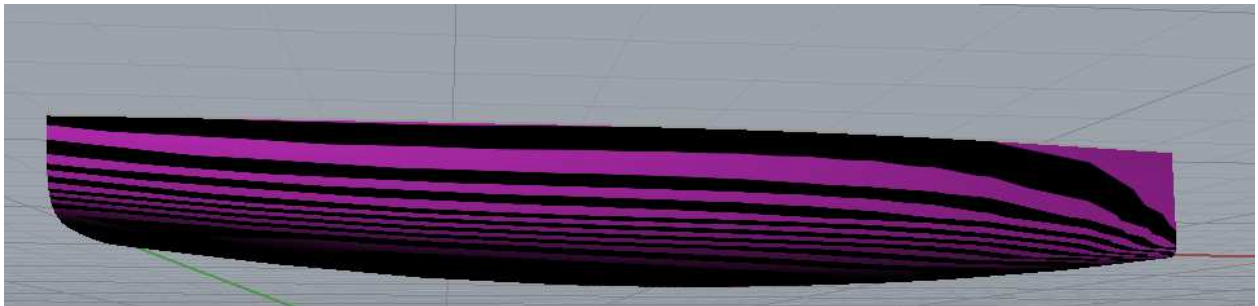


Vista de la sección frontal de la carena sin apéndices.



Perfil del casco sin apéndices.

Se ha analizado la carena con el programa *Rhinoceros*, se ha utilizado la función de cebreado para verificar que las formas sean lisas y paralelas en el sentido al avance.



Se puede observar que se han conseguido unas líneas muy paralelas a lo largo de toda la eslora, excepto en la zona de proa. Esto se debe a que la proa no está totalmente cerrada y se crean turbulencias, por eso, se ha decidido instalar un botalón de proa.

Una vez se han finalizado las formas de la carena, el casco y se ha unido con la cubierta para conseguir unas formas con unas buenas propiedades hidrodinámicas. En todo momento se ha buscado una fusión suave, y con unas curvas compatibles para estos tres elementos: carena, botalón y cubierta.

3. Dimensionamiento de los apéndices

Los apéndices, la quilla y el timón, junto con el casco actúan como superficies sustentadoras. Se genera la fuerza transversal necesaria para compensar la fuerza de deriva provocada por el viento en las velas. Este efecto se provoca al navegar con un ángulo de deriva respecto al rumbo del barco.

El timón tiene además la misión de corregir la sustentación para mantener el control del barco. La quilla y el bulbo aportan volumen de lastre y bajan el centro de gravedad de la embarcación.

El diseño se ha encaminado para conseguir la sustentación necesaria y al mismo tiempo, que se produzca la menor resistencia al avance posible para un rango amplio de velocidades y escoras.

Igual que con el diseño de la carena, los apéndices se han parametrizado de un modelo del programa Maxsurf. Se ha partido de una geometría conocida que ya tenía una curvas muy similares a las deseadas. Seguidamente, se han añadido puntos de control para poder modelizar con más precisión los apéndices.

3.1. Timón

La función primordial del timón es la de mantener el rumbo, con un ángulo de ataque respecto la propia deriva del barco. El régimen al que suele trabajar este apéndice es turbulento, por estar situado en la parte de popa de la embarcación y además en el flujo de salida de la quilla.

Para maximizar la sustentación, la distribución de presiones en el timón debe ser elíptica. Esto se consigue a través de formas elípticas para el plano del timón, o usando una relación adecuada de conicidad y ángulo de flecha adecuada.

Debido a la amplia manga diseñada, se ha decidido colocar dos timones en dicha embarcación.

El tipo de perfiles que se han empleado son los NACA, en concreto los simétricos.

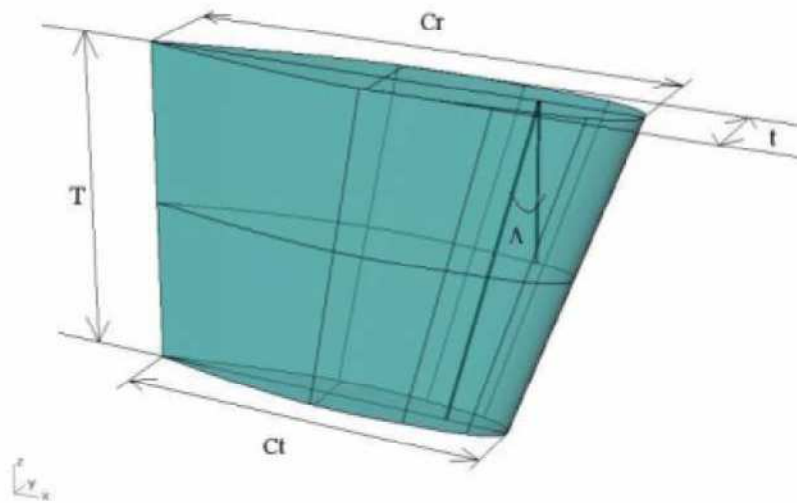


Figura 1

En la figura 1 se recogen las particularidades geométricas fundamentales de un apéndice tipo. Con la siguiente nomenclatura:

- **cr**: Cuerda del perfil en la raíz del apéndice.
- **ct**: Cuerda del perfil en el extremo del apéndice.
- **Λ**: Ángulo de flecha (Sweep Angle): Medido entre la vertical y la línea imaginaria trazada uniendo los puntos de las cuerdas al 25% del borde de entrada.
- **b** (ó T): Envergadura del apéndice,

A partir de estos valores se pueden definir:

- Cuerda Media: **cm** = $(ct + cr)/2$
- Área Lateral del apéndice: **A** = $b \cdot cm$
- Alargamiento geométrico (Aspect Ratio): **AR** = $b/cm = b^2/A$
- Estrechamiento o conicidad (Taper Ratio): **λ** = ct/cr
- Superficie Mojada del apéndice: **S**

En cada sección a lo largo de la envergadura:

- Espesor máximo del perfil: **t**
- Cuerda del perfil: **c**
- Relación espesor máximo cuerda: **t/c**

El tipo de perfil NACA escogido para el timón viene definido por el programa Maxsurf y los datos se han obtenido a través de éste.



3.2. Quilla y bulbo

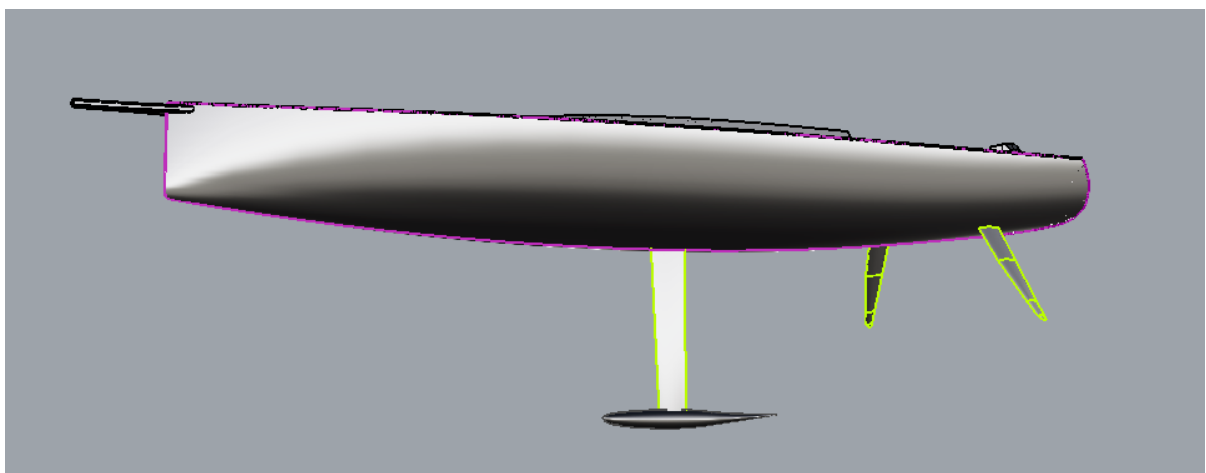
Este apéndice se ha decidido que sea tipo bulbo, para conseguir un centro de gravedad más bajo, lo que permite reducir el lastre debido al mayor par adrizante que se obtiene en relación con otros tipos de quilla.

Los dos aspectos más importantes que optimizar de la quilla son el perfil y su forma transversal. La quilla tiene que tener un perfil más delgado para obtener menor resistencia al avance y una mayor velocidad del velero. Por consiguiente, se tiene que llegar a un compromiso entre la sustentación suficiente, resistencia estructural y velocidad.

Igual que con el timón, se ha buscado una distribución elíptica para reducir la pérdida de sustentación.

Teniendo en cuenta que se ha querido diseñar una quilla con bulbo de formas suaves, pero con un peso considerable para soportar las fuerzas de las velas durante la navegación.

Como se puede observar en el siguiente modelado, el bulbo se ha estilizado lo máximo posible para que no tenga ángulos de entrada muy pronunciados y se creen turbulencias. Y finalmente, se ha pronunciado un poco más el ángulo de salida para que no se creen muchas turbulencias a la entrada de los timones.



4. Dimensionamiento del plano vélico

Para que el velero cumpla con los objetivos de navegación se ha querido diseñar un plano vélico con un diseño moderno y estilizado. Compuesto por una mayor con alunamiento mediano, y génovas cortos de poca superposición. Para los vientos portantes, se ha decidido instalar un botalón para izar un asimétrico o un código cero dependiendo del rumbo y las condiciones de viento.

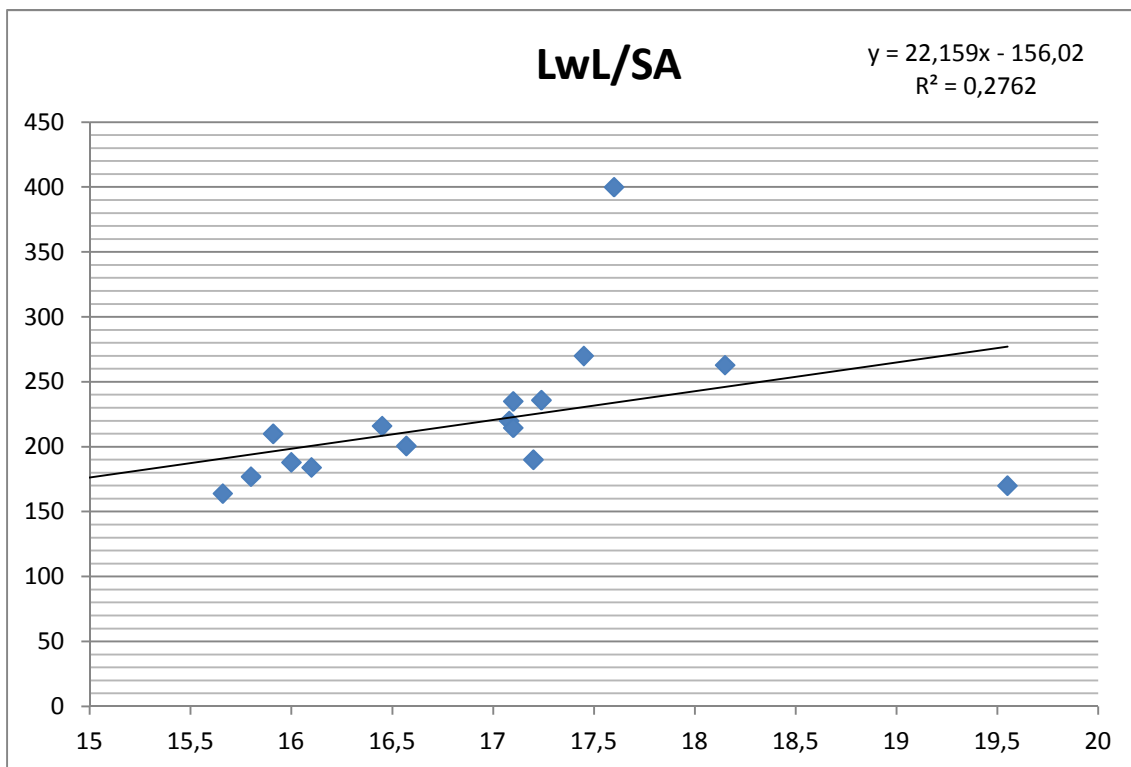
Para el dimensionamiento del área vélica, se ha empezado por ver los datos de la base de datos, y en base a eso, se ha intentado dar un aire más regatero al barco, utilizando un plano vélico más próximo a los utilizados en regata.

El primer paso para el dimensionamiento de la jarcia, es conocer la superficie vélica que se quiere diseñar. Se ha considerado que la configuración vélica tenga un papel importante en este proyecto. En consecuencia, se ha reducido la base de datos del *cuadernillo 1* para encontrar unos resultados más óptimos.

Embarcaciones	Área velas (m2)
JP 54	216
Gran Solei 54	155
Warwick 54	137,3
Warwick 55	153,2
Dibley 57	164
Solaris 58	188
Shipman 59	270
Nauta 59	172
Wally 60	210
Warwick 60	177
Open 60	600
Advanced 60	220
Solaris 60	235
Moody 62	190

Oyster 625	235,86
Shipman 63	400
Hanse 630	214,6
Jeanneau 64	170
Warwick 64	200,6
Warwick 65	184,07
Oyster 665	262,9

En primer lugar, se ha generado una regresión en función de la eslora en la flotación:



El resultado de la regresión de la superficie de la velas respecto la eslora de flotación es el siguiente:

Área velas (m2)
230,410801

4.1. Dimensionamiento de las velas

Con esta área aproximada de las velas y tomando como barco modelo el *Shipman 59* se han aproximado los valores al diseño de la embarcación proyecto para poder dimensionar las velas.

Para el cálculo de la jarcia se ha recurrido a los siguientes métodos; el descrito por Larsson en su libro, y el método de Skene, algo más viejo, pero emplea la fórmula de Euler para columnas.

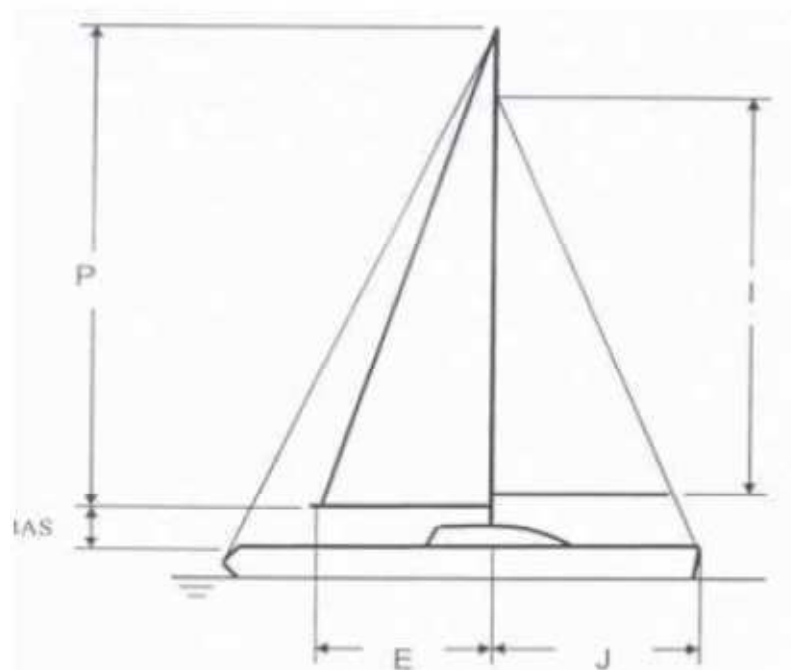
Mayor	87,1
Génova	72,8
Código 0	140
Spinnaker	190
I	21,3
J	7,2
P	20,9
E	6,5

I= Altura en el palo del triángulo delantero.

J= Base del triángulo desde el palo a proa.

P= Altura de la mayor medida en el palo.

E= Base de la mayor a la botavara.



Se han calculado los siguientes valores de I,P,J,E en base a la configuración requerida y teniendo el modelo base como referencia.

Después de probar varias configuraciones distintas, en la tabla siguiente se pueden ver los valores obtenidos:

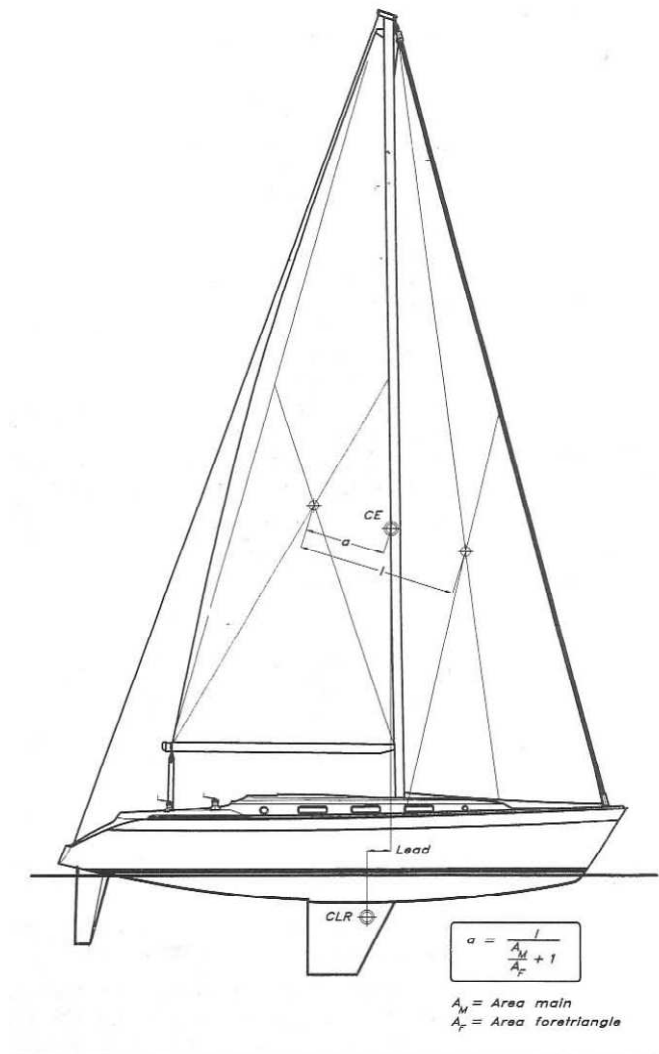
I	25
J	7,35
P	25,4
E	8,25

En consecuencia, se ha obtenido una superficie vélica de **196.65** m² para navegar en rumbos cerrados y una superficie de **241.93** m² para una navegación con rumbos abiertos.

5. Posición longitudinal de los apéndices y del mástil

Una vez dimensionados los apéndices y el plano vélico, se debe encontrar su ubicación en la posición longitudinal. La optimización de su posición relativa al plano vélico es fundamental para un buen comportamiento en propulsión y gobierno.

En primer lugar, si se tiene un barco en el que la quilla tiene la mayor parte del lastre, para conseguir un equilibrio adecuado su centro de gravedad no debe estar muy lejos del LCB de la carena. Con un reparto de pesos habitual se puede estar hablando de que el centro de la quilla este algo a proa del LCB.



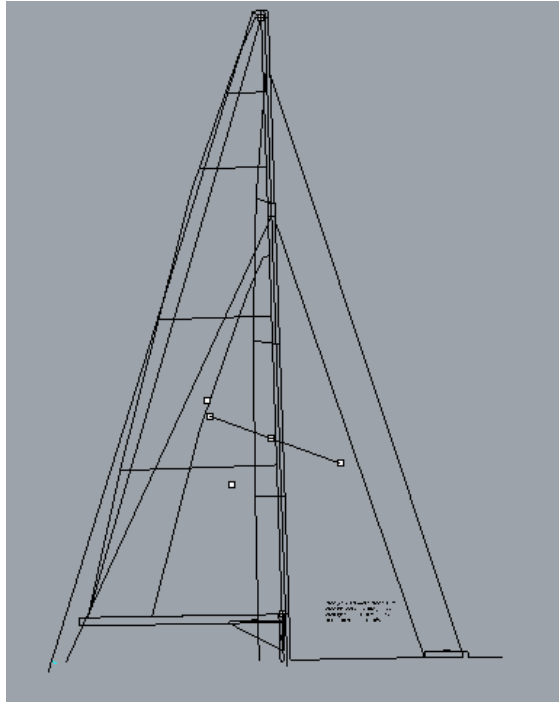
Para el cálculo del CLR (centro resistencia lateral), se ha utilizado el método de la quilla extendida. Consiste en prolongar la quilla hasta la línea de la flotación y estimar la posición del CLR, como la intersección de la línea que pasa por el 25 % de las cuerdas de la quilla resultante con la línea de agua al 45% del calado de proyecto. Además, el CLR debe estar a popa del centro de esfuerzo vélico (CE) entre un 5-9 % de la eslora en la flotación. A dicha distancia se le llama "lead" o adelanto.

La proyección sobre el plano de crujía se determina:

- Para la mayor ("A"), como intersección de dos líneas rectas ("a" y "b") trazadas, una de ellas ("b"), desde el punto de intersección del extremo de proa de la botavara, hasta el punto medio de la proyección sobre el plano de crujía de la baluma. Y la otra "a", trazada desde el extremo de popa de la botavara hasta el punto medio de la longitud del mástil desde la cubierta.
- Para el Génova, las rectas ("c" y "d"), cuya intersección determinan su correspondiente centro de esfuerzos ("B") se definen, la primera desde el punto medio de la proyección sobre crujía de la línea base del Génova hasta la proyección del vértice superior del triangulo de la vela("d") y la segunda("c"), desde el punto medio de la línea de borde de ataque hasta el extremo de popa de la línea base de la vela.

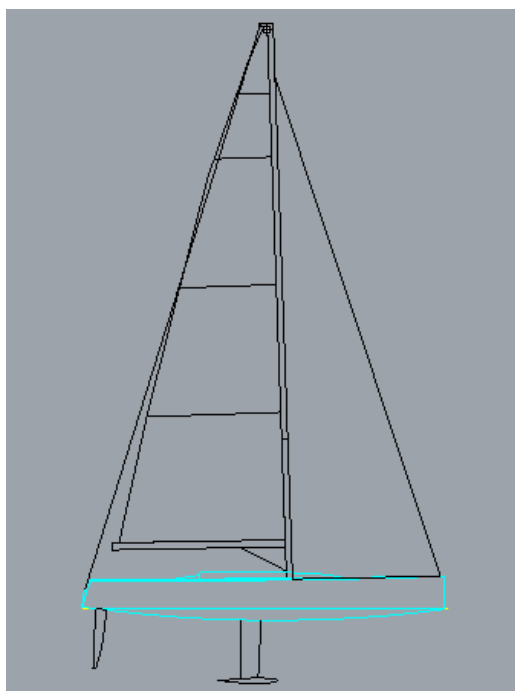
Con ambos esfuerzos definidos y conocida la distancia existente entre ellos , es posible determinar la posición sobre la línea recta que los une del centro de esfuerzo(CE) de combinación de ambas velas. Para ello se calcula el cociente entre la distancia entre centros y el factor $(1+A_{mayor}/A_{Génova})$.

Finalmente, la posición del CE se sitúa sobre la recta de unión de ambos centros de esfuerzos vélicos y hacia proa del centro de la mayor.



Una vez situados los dos puntos CE y LCR, hay que mover la quilla hasta que la distancia longitudinal entre ambos puntos sea del 6 % de la eslora. Tomando un valor dentro del rango permitido para el tipo de aparejo.

Situando la quilla en la posición indicada se ha obtenido las siguientes formas finales del velero, con la quilla correctamente situada.



CUADERNILLO 3. DISPOSICIÓN GENERAL

1. Introducción	2
2. Descripción de la disposición general	3
3. Habilitación y disposiciones de interiores.....	5
4. Características interiores.....	16
5. Disposición en cubierta	17

1. Introducción

Este cuaderno trata sobre la distribución de los espacios en el velero; tanto su distribución de interiores y acomodación, disposición de cubierta y situación de los diversos elementos de acastillaje y escotillas, la situación de la cámara de maquinas, y disposición de otros equipos que en cuadernos posteriores se tratarán en mayor medida.

El aspecto principal es el uso que se le va a dar el velero, que por las especificaciones de proyecto, es un velero de tipo crucero-regata. Pero se intentará buscar un modo más crucero en el interior en cuanto a comodidad, pero que a su vez puedan cambiarse los pesos para poder tener un buen rating de regatas.

Por lo tanto, se pretende que tanto los camarotes, el salón, los baños y la cocina, sean los más espaciosos posibles, aumentando así el francobordo para conseguir un mayor volumen interior que ayude a acomodar un mayor número de elementos de habitación.

Otro aspecto a tener en cuenta, es la apariencia del interior-belleza y funcionalidad-asociada al espacio habitable. La luz y el color deben considerarse en todo caso. Al igual que el uso de maderas claras y elementos sintéticos de bajo mantenimiento, con el objeto de alegrar la vista del navegante.

Se tendrán que disponer cofres suficientes para estibar la balsa salvavidas, los cabos y las velas. Así como un buen reparto de armarios y cajones para que todo pueda ir bien estibado o trincado.

La facilidad en el control del barco en los atraques y fondeos y el gobierno con mar gruesa son otros aspectos importantes, además del acceso al motor, y dedicar un espacio para la mesa de cartas de navegación.

Finalmente, se deben eliminar del barco todos los posibles bordes agudos o salientes que puedan producir heridas, sobre todo causadas por los movimientos violentos debido a la situación de la mar. Todos los elementos, tales como camas, sofás, lámparas, que podrían moverse durante la navegación han sido fijados al barco. Las

puertas de los armarios disponen de cierres especiales para que no se abran con la escora del barco.

2. Descripción de la disposición general

Teniendo en cuenta cuadernos posteriores, se han establecido unas condiciones a considerar para la descripción de la disposición general.

- Mamparo de colisión, la situación del mamparo de colisión viene limitado por el SOLAS, situado a una distancia mínima de la proa del 5 % de la eslora y máxima del 5 %+3 m de la eslora total del barco.

- El espacio entre cuadernas es de 600 mm.

- La cámara de maquinas se sitúa en la parte de popa, debajo de la bañera, para aprovechar el bajo puntal que provoca el hundimiento de la bañera. Se sitúa en crujía, para evitar desequilibrios de pesos. El acceso a la misma se hará por uno de los pasillos de los camarotes, y también por cubierta.

- La ubicación de los tanques será del siguiente modo:

- a. Tanques de agua dulce: situados en proa debajo del camarote de proa, repartidos en dos tanques simétricos respecto crujía. Según las estimaciones del cuaderno 1, están en torno a los 900 l de volumen total.

- b. Tanques de aguas grises. Los desagües de los lavabos, de la pila de la cocina y de las duchas van a un tanque de aguas grises dotado de registro de limpieza e indicador de nivel. Este tanque se vacía mediante una bomba eléctrica o por gravedad.

- c. Los tres inodoros desaguan en un tanque de aguas negras dotado de una tapa de registro e indicador de nivel de tanque en el cuadro eléctrico.

- d. Depósitos de gasoil, tanques de combustible situados bajo el salón a ambos lados de la cámara de maquinas, situados simétricamente respecto de crujía.

- Las alturas de los diversos espacios interiores son las siguientes:

- Cocina 2,20 m
- Salón 2,10 m
- Camarote proa 2,07 m
- Camarote popa 1,90 m
- Baño proa 2,07 m
- Baño popa 1,85 m
- Cámara de maquinas 1,60 m

Para poder conseguir estas alturas en el interior del barco, se ha tenido que modificar ligeramente la altura del francobordo.

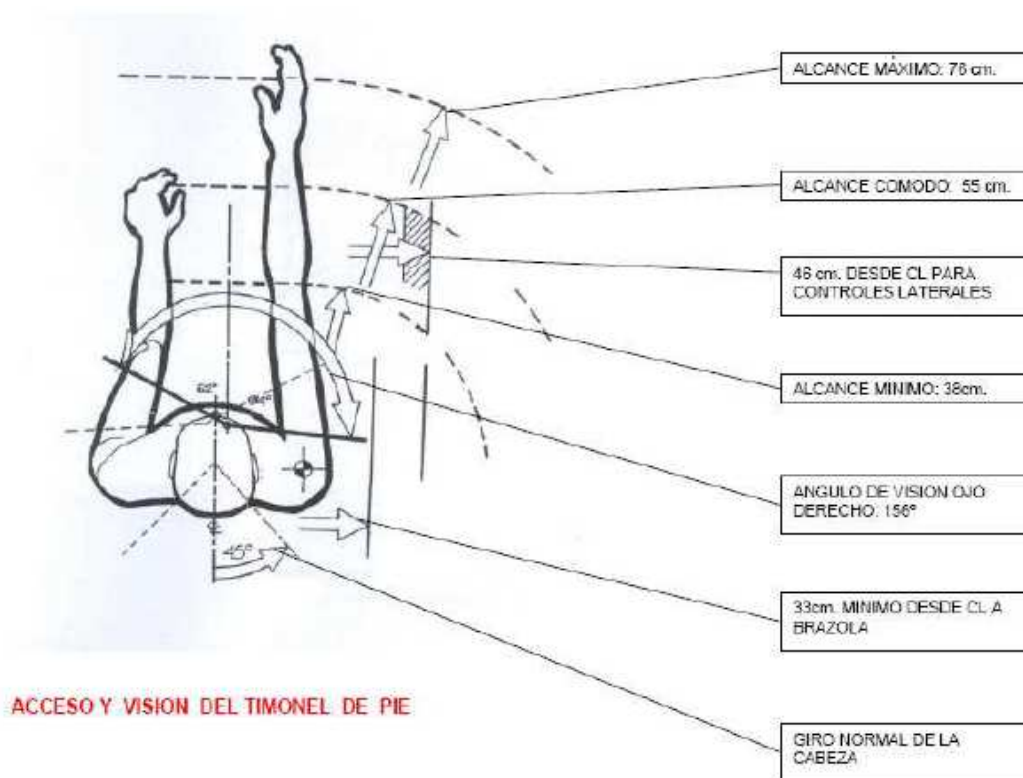
Es una dimensión muy importante por las siguientes tres razones fundamentales; para tener un volumen mínimo del casco del buque fuera del agua:

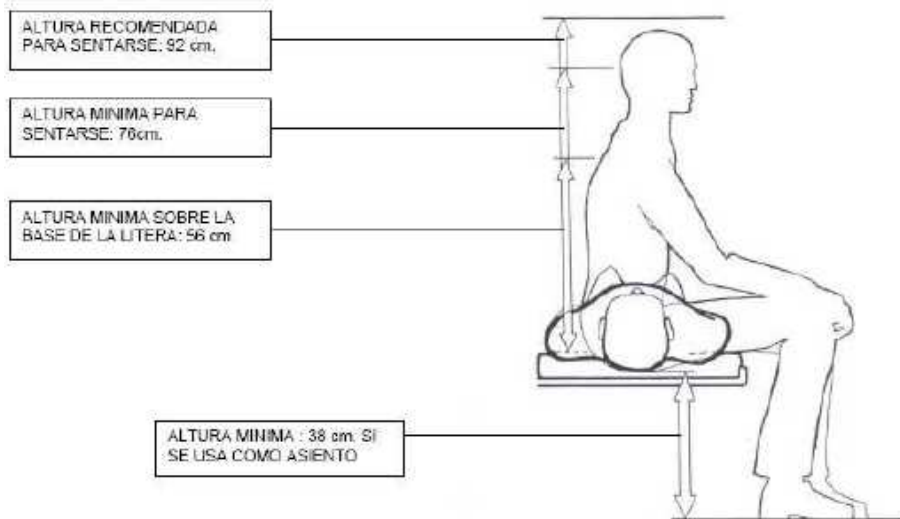
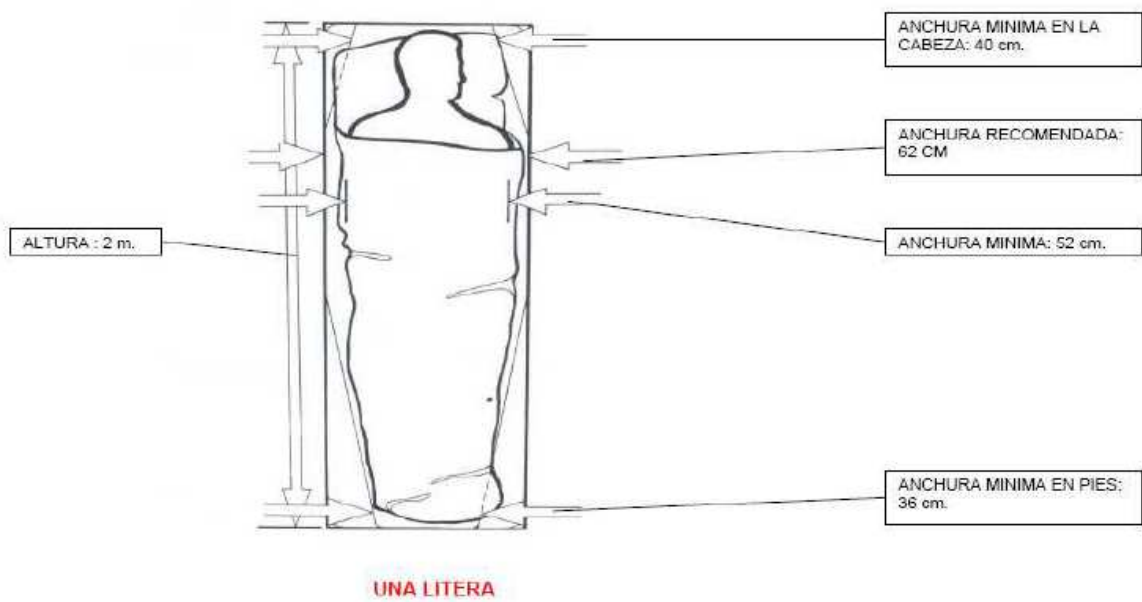
1. Como reserva de flotabilidad, para que cuando el buque navegue entre olas el agua embarcada sea la mínima.
2. En caso de inundación del buque, también la reserva de flotabilidad evitará su hundimiento, o por lo menos lo retrasará el máximo posible.
3. El francobordo influye en la estabilidad transversal, ya que al aumentar el francobordo, el ángulo para el cual se anula la estabilidad, también aumenta.

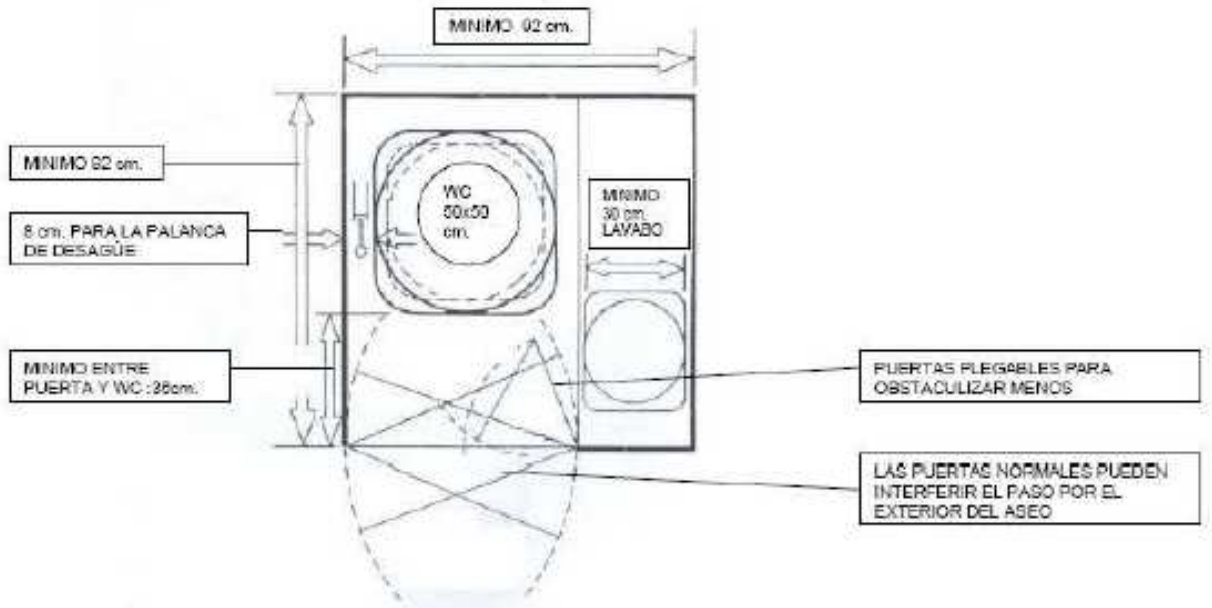
3. Habilitación y disposiciones de interiores

3.1. Ergonomía

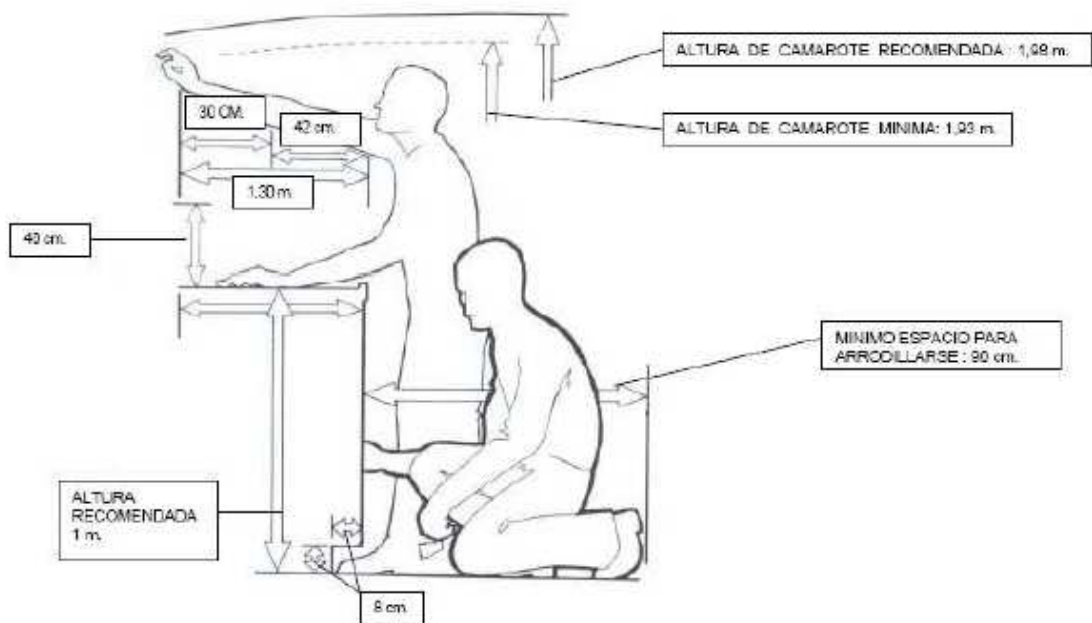
Se ha incluido a continuación diagramas basados en publicaciones del Coast Guard de los Estados Unidos que representan las dimensiones mínimas necesarias en diversos elementos de la habilitación de un barco, estas dimensiones son las que se ha tenido en cuenta para el diseño de los diversos espacios en el interior del velero.



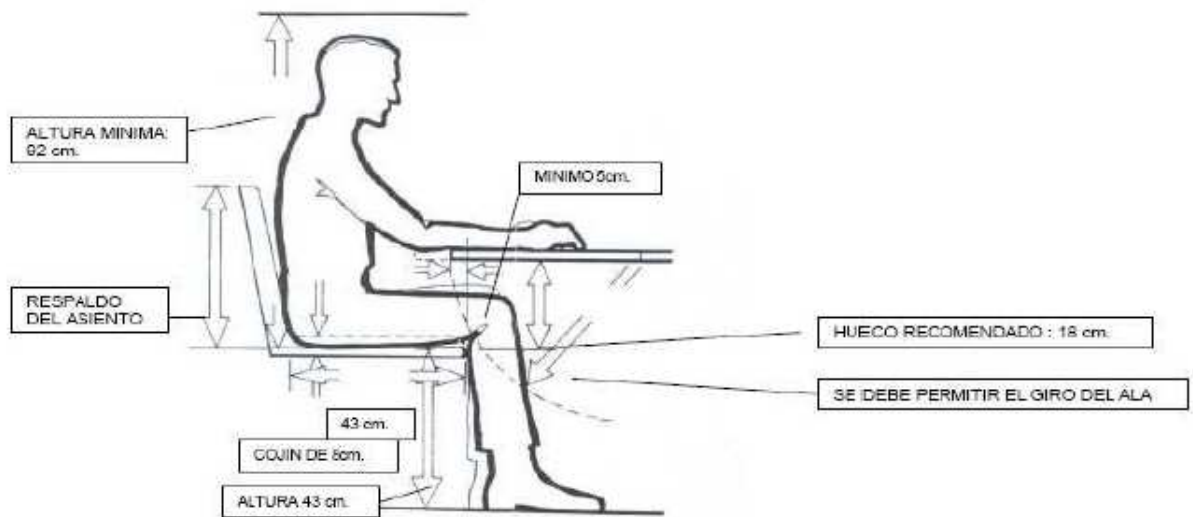




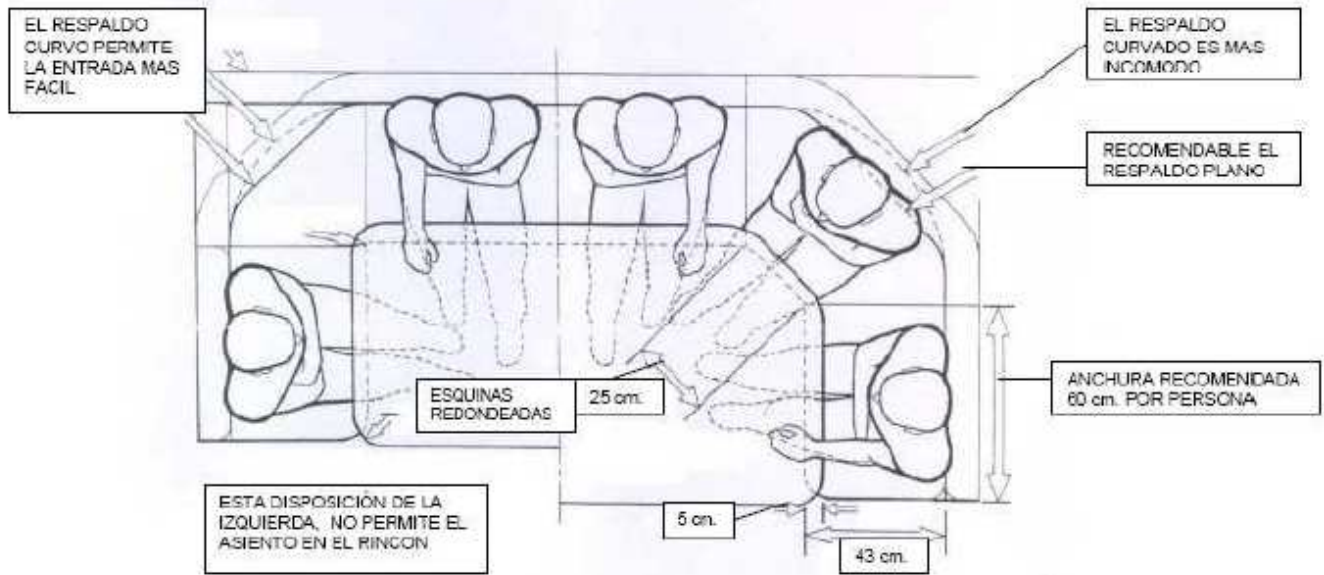
ASEO Y SU ACCESO



DIMENSIONES DE LA COCINA



ASIENTO EN UNA MESA DEL CAMAROTE



DISPOSICIONES DE UNA MESA

3.2. Habilitación

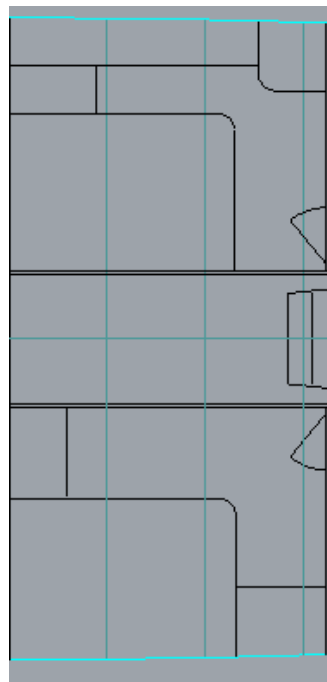
Teniendo en cuenta que en las especificaciones de proyecto, y considerando los diferentes veleros similares consultados a través de las páginas web. Se han dispuesto que los seis (6) tripulantes se alojen en tres camarotes, dos de ellos situados en popa situados simétricamente respecto crujía con doble cama y el tercer camarote con cama de matrimonio situado en proa.

3.3. Camarotes

En la parte de popa se sitúan dos camarotes dobles, uno a cada banda, tal como muestra la figura siguiente. Los camarotes son simétricos respecto crujía, limitando por popa con el pique de popa y en proa con la cámara de maquinas, baño y cocina.

Cada camarote ocupa una superficie aproximada de unos 6.5 m², distribuidos del siguiente modo: dos camas de dimensiones 2x1.50m, pasillo, dos armarios roperos.

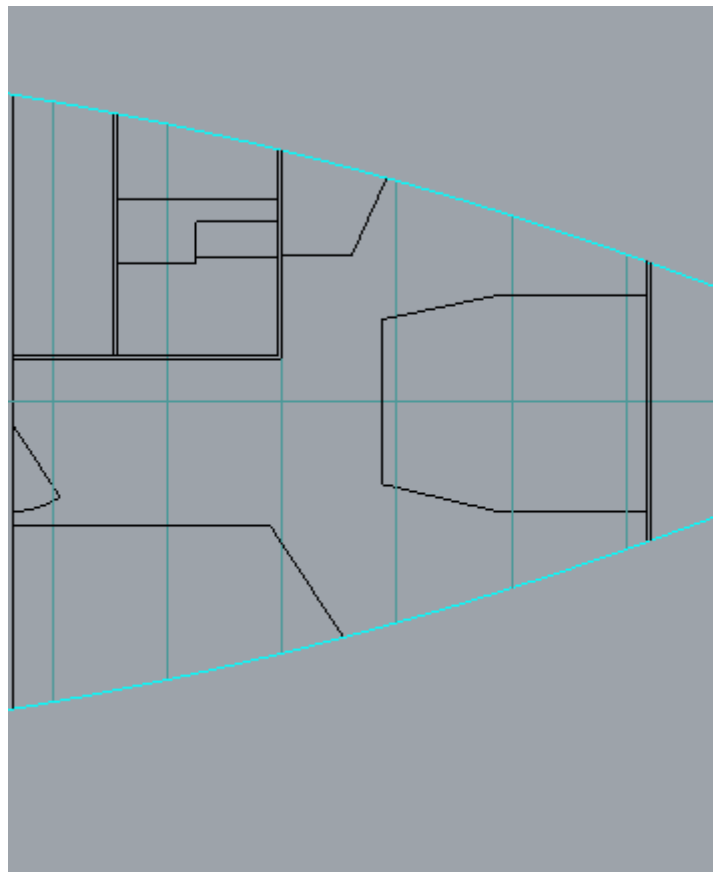
Además para un mejor aprovechamiento del espacio se han habilitado armarios también a ambos costados de la cabina por encima de las camas. Al estar limitado en los costados por la cámara de maquinas, se ha aislado acústicamente en esa zona.



El camarote tiene una altura en los pasillos de 2 m, los armarios roperos tienen una altura máxima de 1.80 m, siguiendo los criterios expuestos en el punto anterior.

Por otra parte, el camarote de proa, el del armador, limita por proa con el pañol de proa y por popa con el salón. Se ha dispuesto de un baño completo a babor, un armario ropero a estribor, armarios a ambos costados de la cama de matrimonio que tiene unas dimensiones de 2x1.65m. En total, ocupando una superficie aproximada de unos 16.5 m².

Los tres camarotes disponen de escotillas en su parte superior y portillos a ambos costados del buque, además las puertas de acceso a los camarotes disponen de juntas de neopreno para evitar vibraciones molestas y garantizar la estanqueidad.



3.4. Baños

El baño se ha limitado por proa con la mesa de cartas y por popa con el camarote de estribor. Se provisto de inodoro de bajo consumo eléctrico, lavabo y ducha.

Los depósitos de aguas grises y negras se encuentran situados debajo de los espacios dedicados a los baños, de forma que al ser de plásticos puedan desinstalarse con facilidad. En la parte superior se ha instalado una escotilla para proveer de ventilación natural al baño.

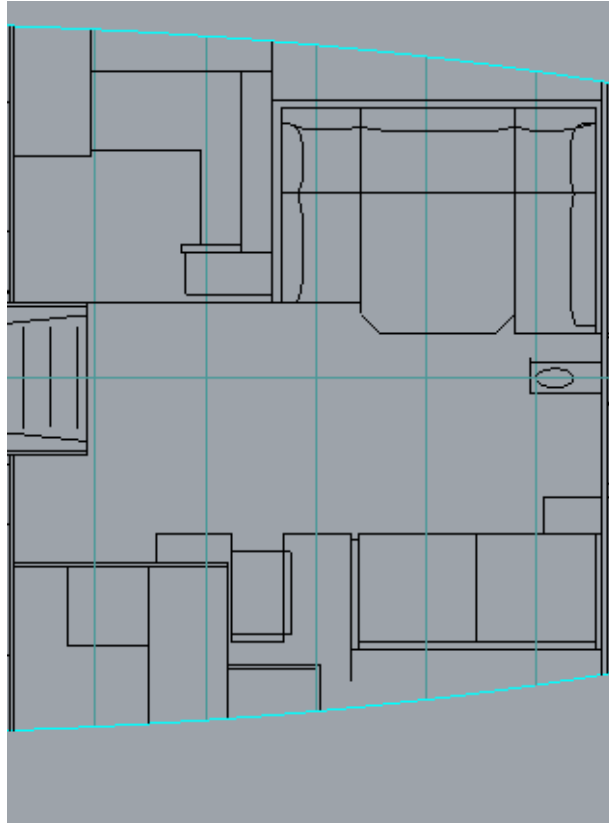
Además, todos los baños disponen grifos monomandos con mitigador, armarios de estiba, toallero, espejos, portavasos, equipo sistema anti-olor y soportes para papel higiénico.

3.5. Salón

Se ha configurado con la siguiente disposición:

- En la parte de babor se ha situado el comedor, compuesto por un sofá en forma de U, con siete (7) plazas.
- A estribor se ha dispuesto otro un sofá de cuatro (4) plazas.

La zona del salón destaca por su luminosidad debido a la disposición de escotillas y ventanales tal como muestra la siguiente figura. También se ha equipado con un TV combo PC con lector dvd de 17 “.



El acceso al salón desde cubierta se hace a través de unas escaleras, a ambos lados se sitúan pasamanos como el de la fotografía.



3.6. Cocina

La cocina se ha situada en la banda de babor, y dispone del siguiente equipamiento:

- Armarios altos y bajos con encimera en madera de teca.
- Cocina con cardan y sujeta útiles, de tres fuegos.
- Extractor de humos.
- Lavaplatos.
- Compactador de basura.
- Horno.
- Nevera con congelador

3.7. Mesa de navegación

Está situada en la banda de babor y cuenta con la mesa donde se encuentran situados los equipos y dispositivos necesarios para la navegación y debajo el cuadro eléctrico.

Se han dispuesto asientos a ambos lados de la mesa aprovechando el sofá de estribor en uno de los lados. Además, se ha buscado que el tamaño de la mesa sea lo suficientemente grande como para manejar con comodidad una carta de papel.

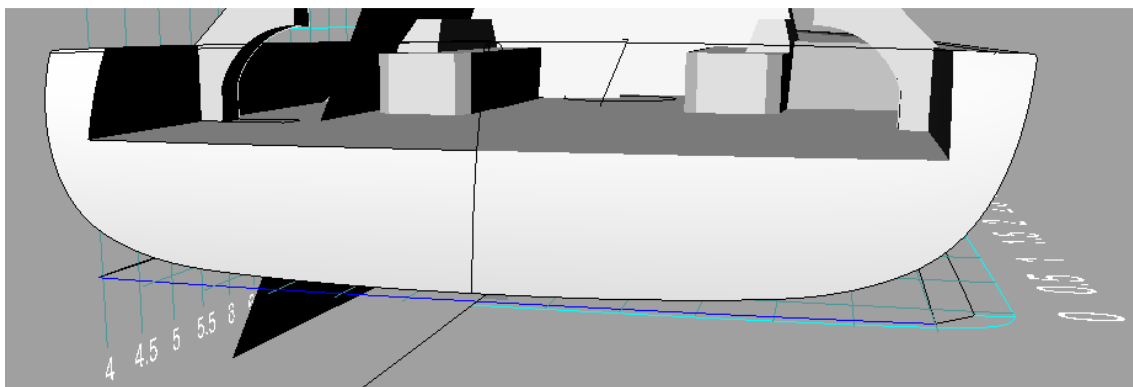
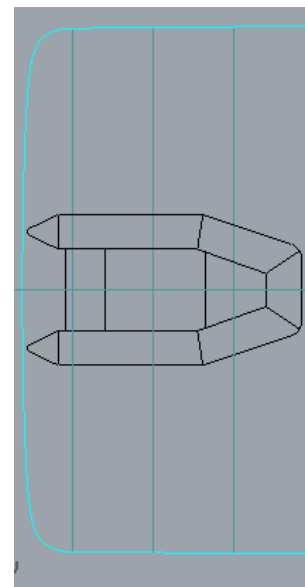


3.8. Registro de popa

Dicho espacio se ha situado en la parte de popa para que pueda albergar una zodiac. El espacio va equipado con una compuerta automática, que sirve de plataforma de baño. Se ha dispuesto de dos tambuchos en popa, donde irá alojada la balsa salvavidas y diversos equipos de salvamento.

Se dispondrá de una escalera plegable de acero inoxidable, de una toma de corriente a tierra y de una ducha de agua dulce (con posibilidad de agua fría y agua caliente).

En la siguiente figura se puede observar de dicho registro de popa.



3.9. Pañol de proa

A proa del camarote del armador se encuentra dicho compartimento, limita por proa con el pique de proa. En dicho espacio se encuentra alojada la caja de cadenas, y sirve como alojamiento de diversos elementos tales como velas.

3.10. Cámara de máquinas

La ubicación es la zona central justo debajo de la bañera, de modo que se aproveche el bajo puntal de esta zona, permitiendo por una parte una fácil extracción del motor en caso de avería por dicha zona, mediante paneles desmontables en la zona de la bañera. El acceso a la cámara de máquinas se diseñó por la habitación.

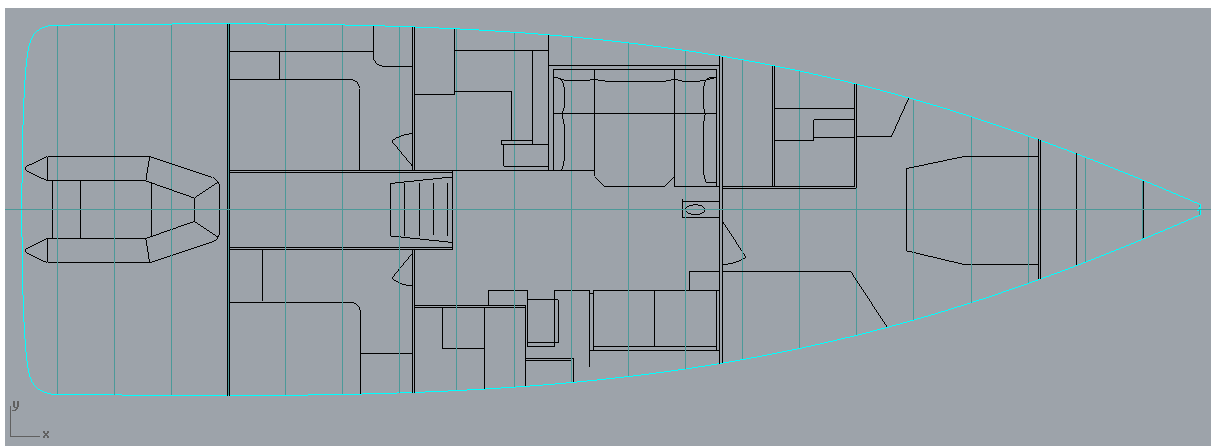
El compartimento del motor está insonorizado con lámina de alta densidad y espuma de goma auto extingible que minimiza el ruido del motor en todo el barco. Se ha puesto especial atención en el aislamiento de las juntas de las compuertas de acceso a la sala de máquinas para evitar fugas acústicas.

Los armarios de los camarotes de popa absorben gran parte del ruido que se transmite a los camarotes, además para la zona del pasillo se ha colocado material para disminuir el nivel de ruido.

4. Características interiores

Cabe destacar los siguientes aspectos en el diseño de interiores:

- Los techos son de tablero contrachapado marino de 20 mm de espesor, con teca de Birmania a una cara. Los techos son desmontables para tener acceso a la sentina.
 - Los mamparos y muebles interiores son de madera de teca de Birmania y chapado sobre tablero marino de Okume. Los muebles se han barnizado en brillo y los suelos en mate.
 - Los techos se ha forrado con un material de color crudo, instalados sin tornillos vistos y con calles de teca de Birmania de 3cm.
 - La iluminación interior, tendrá los suficientes puntos de luz, con interruptores facilitando apagado y encendido. Así como encendido automático en los armarios.
 - La tapicería de las camas, sofás, sillones y sillas, deberá ser de alta calidad.
- Adicionalmente se han instalado cortinas con filtro solar, en todas las ventanas, escotillas y portillos.
- Los accesorios metálicos como cierres y tiradores son de acero inoxidable.
 - Las puertas del mobiliario se han provisto de ranuras escondidas de ventilación.
 - Todas las superficies de madera vista están barnizadas con tres capas de barniz poliuretánico de alta resistencia. Los muebles se barnizan en brillo y los suelos en mate, creando un contraste espectacular.



5. Disposición en cubierta

La cubierta es un elemento muy importante en este tipo de veleros. Sus principales funciones son proteger a la embarcación de los posibles embargos de agua, proporcionar una habitabilidad adecuada y una buena maniobrabilidad durante las regatas. Además, la cubierta sirve de base a una gran cantidad de elementos necesarios para el amarre, maniobra del aparejo y de las líneas de fondeo, así como los de protección de la tripulación ante una caída involuntaria al agua.

Para la cubierta, se ha decidido desde el primer momento que sea el elemento distintivo del casco.

Se ha buscado componer líneas suaves y tendidas con ángulos vivos, y se ha tomado como inspiración algunos de los maxi Yachts más modernos. Se ha logrado una cubierta que ofrece mucho lugar para el navegante, pero a su vez, da protección para las largas trasveías. Se ha decidido la amurada como elemento de estilo que se ha fusionado con una cubierta sin escalones para dar una sensación de ligereza al barco.

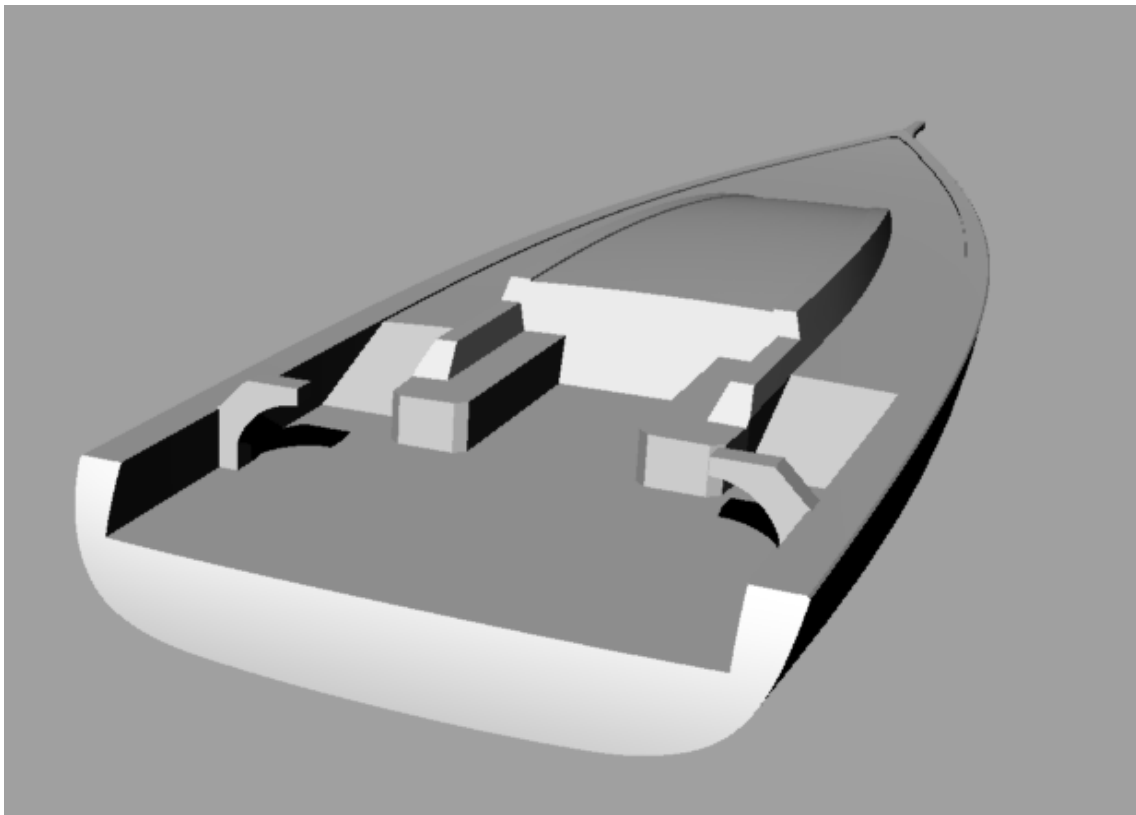
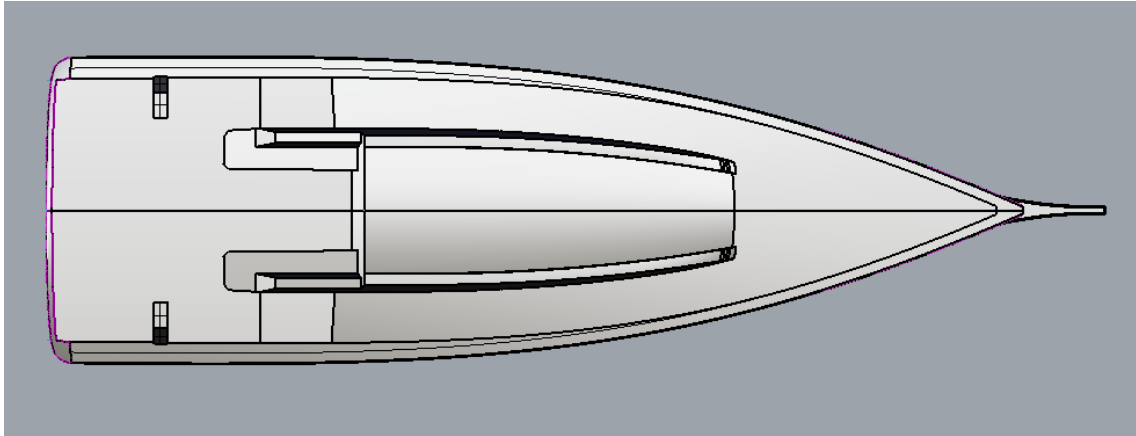
Para modelizar la cubierta se ha utilizado el programa Rhinoceros, que permite diseñar en 3D. A continuación, se puede ver la cubierta en su fase de diseño.

La cubierta se ha construido en sándwich de fibra de carbono con un núcleo de PVC igual que el casco. Como se ha indicado en las condiciones de proyecto.

Todos los herrajes de cubierta son de acero inoxidable AISI 316 ó 316L y acabados en “pulido espejo” en las caras vistas.

Las drizas se han reenviado del mástil a la bañera principal escamoteadas en el doble techo del salón, ofreciendo una cubierta despejada. La bañera ofrece estiba de cabos de maniobra. El piano de cabos se ha situado a los costados de la entrada de la cabina.

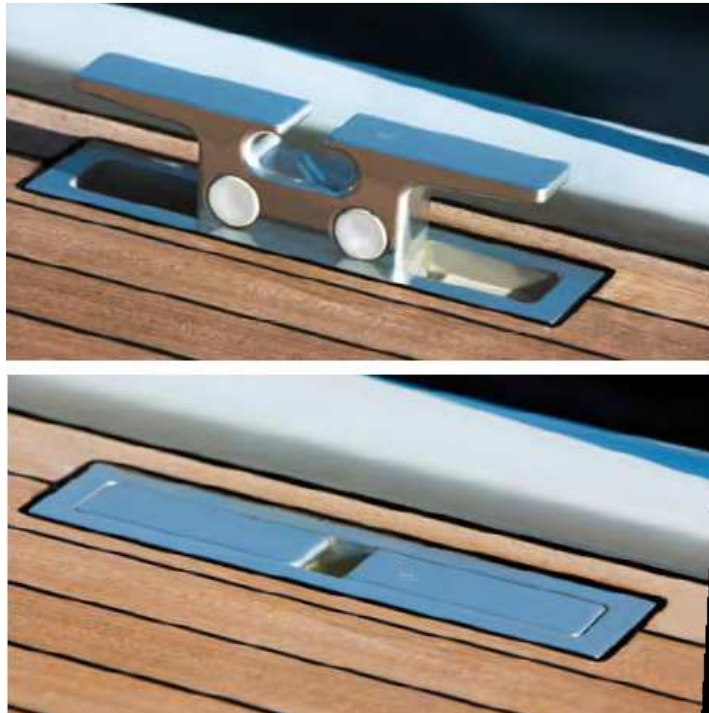
En la página siguiente aparece una disposición general de cubierta.



5.1. Herrajes

Cornamusas: se ha situado una cornamusa a cada banda de proa y popa para el atraque y una a cada costado de la zona central para abarloar el velero y poder amarrar los springs, los través y los largos. El uso de las cornamusas retráctiles es lo más usual en la actualidad, pues hace que los pasos por cubierta sean más limpios y

cuando no se están utilizando no sean un obstáculo. En total: 6 Cornamusas de amarre de aluminio con acabado en “pulido espejo”.



5.2. Elementos de maniobra

Se ha utilizado dos winches a los costados para la escota de la mayor y dos más para el génova y el gennaker. En la zona del piano se ha provisto de dos winches, uno a cada costado, para las demás drizas y cabos.

La maniobra de la escota de la mayor se ha diseñado por el interior desde la parte delantera de la botavara hasta el winche de trimado, a fin de facilitar el paso por cubierta. Además, a proa de los dos timones se ha colocado el escotero de la mayor para maniobra completa con raíl, carro y mordazas.

También, se han situado a ambos costados, dos escoteros de génova para maniobra completa con raíles, carros y poleas.

5.3. Bañera

La bañera – “cockpit” en inglés - que permite la instalación de los elementos de gobierno y es el alojamiento de la tripulación durante la navegación o en situación de fondeo con buen tiempo.

Se ha compuesto de los siguientes elementos:

- Mesa de teca de alas plegables, que se puede desmontar y permitir la navegación durante las regatas.
- Ambas bandas de la mesa, se han habilitado zonas de asiento para 3 personas por banda, posibilitando ver la maniobra al resto de tripulación y en momentos de relax ofrece la función de salón-comedor al aire libre.
- Se le ha dotado de dos puestos de gobierno, debido que al probar la opción de una rueda las dimensiones de esta no eran compatibles, ya que había que reducir la altura de camarotes y disminuir la manga. En ambos puestos, los elementos del timón y mandos del motor son comunes. Se han dispuesto a ambos costados los displays de navegación.
- A popa de estos elementos y ya fuera de lo que se considera “cockpit”, se ha instalado una plataforma de baño con su correspondiente escalera plegable de acero inoxidable. Como se ha mencionado anteriormente, en esta zona se ha dispuesto la toma de tierra y una pequeña toma de agua dulce, para utilizar después de los baños.

5.2. Escotillas, portillos y ventanas

Son aquellos elementos cuya función es dar suficiente visibilidad y ventilación a zonas interiores del barco, dando una sensación de confort a la disposición interior.

Aunque la mayoría de elementos se detallan en el cuaderno de escantillonado, se procura que se puedan abrir tanto desde el exterior como desde el interior, permitir bloquear la posición cuando este abierto.

Finalmente, se han escogido las ventanas panorámicas de cristal laminado de 10 mm semitintadas, grises, selladas al barco con adhesivos especiales con protección a los rayos ultravioleta, sobre la cabina elevada del salón.

- En cuanto a los portillos:

- 1 portillo en cada camarote de popa.
- 1 en cada costado del camarote de proa.
- 1 portillo en mesa de cartas.
- 1 portillo en el salón-comedor.
- 1 portillo en el otro salón.

- Para las ventanas:

- Todas ubicadas en la cabina, un total de 8.

- Y las escotillas:

- 1 en la parte superior de cada baño.
- 1 en la parte superior de cada camarote, lo más centrada posible.

CUADERNILLO 4. SISTEMA DE PROPULSIÓN

1.	Cálculos de la resistencia al avance.....	2
2.	Introducción a la embarcación híbrida	5
3.	Sistema híbrido.....	7
3.1.	Configuración del sistema híbrido: Configuración en paralelo.....	8
4.	Potencia.....	10
5.	El motor diesel.....	12
5.1.	Elección del motor.....	12
6.	Motor eléctrico.....	15
7.	Almacenamiento de la energía.	17
7.1.	Elección del tipo baterías	18
8.	Gestión de energía.	20
9.	Panel de control.	22
10.	Variador de frecuencia.....	23
11.	Convertidor CC/CC.	25
12.	Saildrive.....	27

1. Cálculos de la resistencia al avance

La resistencia al avance de un barco, depende principalmente: de las formas de la carena, de las propiedades del fluido, del campo gravitatorio y de la velocidad de avance.

Para calcular la resistencia al avance de la embarcación se ha recurrido a un método analítico, y dentro de éste a una serie sistemática, la serie de Delft que es la herramienta más utilizada para veleros. Una serie sistemática se desarrolla para optimizar las formas de la carena.

Se ha calculado la resistencia al avance del modelo para estimar la potencia necesaria para navegar en las condiciones de proyecto, es decir, la embarcación tiene que alcanzar una velocidad máxima de 10 nudos.

Cabe mencionar que en este cuardenillo se ha dado importancia a la configuración y características del motor, pero no al método de cálculo, ya que se trata de un velero y se ha decidido desarrollar otros aspectos más importantes a lo largo del presente proyecto.

Los pasos que se han seguido han sido los siguientes; primero, se ha introducido el modelo con apéndices en Hullspeed para calcular la resistencia al avance del casco mediante el método de la serie de Delft I,II y III, aplicable para veleros. Segundo, una vez obtenida la resistencia de esta embarcación se ha podido hacer una estimación de la potencia.

Hullspeed utiliza una serie de parámetros de formas e hidrostáticos de la carena del barco a máxima carga para obtener la resistencia del mismo al avance y, posteriormente predecir de forma orientativa la potencia necesaria para remolcarlo.

Se ha calculado la resistencia al avance en dos situaciones diferentes teniendo en cuenta las pérdidas que se pueden producir en el sistema de propulsión.

- Situación 1: rendimiento del sistema de propulsión del 100%. Resistencia al avance sin pérdidas.
- Situación 2: rendimiento del sistema de propulsión del 70%. Resistencia al avance con pérdidas.

A continuación, se pueden observar los resultados obtenidos de las dos situaciones planteadas.

Situación 1 : Resistencia al avance sin pérdidas:

En este caso, se ha considerado una situación ideal para saber qué resistencia al avance tiene la embarcación sin pérdidas, es decir, con un rendimiento del 100%.

La tabla obtenida después de la simulación muestra la resistencia que se genera a las diferentes velocidades. En este caso, la resistencia al avance es de **6,97 KN** a la velocidad de 10 nudos, velocidad máxima de proyecto.

Speed (kts)	Delft I,II Resist. (kN)	Delft I,II Power (kW)	Delft III Resist. (kN)	Delft III Power (kW)
0,75	0,01	0	0,24	0,09
1,13	0,03	0,01	0,21	0,12
1,5	0,05	0,04	0,2	0,15
1,88	0,08	0,08	0,18	0,18
2,25	0,11	0,13	0,18	0,21
2,63	0,16	0,21	0,18	0,25
3	0,21	0,32	0,19	0,29
3,38	0,31	0,54	0,25	0,44
3,75	0,46	0,89	0,37	0,71
4,13	0,51	1,08	0,44	0,94
4,5	0,54	1,24	0,51	1,18
4,88	0,59	1,47	0,58	1,46
5,25	0,65	1,75	0,66	1,78
5,63	0,72	2,07	0,75	2,16
6	0,8	2,47	0,86	2,65
6,38	0,89	2,92	0,98	3,22
6,75	1,01	3,52	1,11	3,84
7,13	1,14	4,19	1,25	4,59
7,5	1,28	4,93	1,44	5,55
7,88	1,57	6,37	1,71	6,93
8,25	1,95	8,27	2,03	8,6
8,63	2,44	10,84	2,64	11,72
9	3,08	14,24	3,33	15,44
9,38	4,06	19,56	4,2	20,27
9,75	5,42	27,2	5,45	27,33
10,13	7,07	36,83	6,97	36,3
10,5	8,38	45,24	7,99	43,18
10,88	9,64	53,93	8,97	50,16
11,25	10,91	63,12	9,98	57,74
11,63	11,87	70,98	11,15	66,7
12	13,25	81,77	12,5	77,16
12,38	14,4	91,68	13,74	87,48
12,75	15,51	101,72	14,95	98,07
13,13	16,66	112,52	16,09	108,61
13,5	17,74	123,23	17,18	119,33
13,88	18,71	133,56	18,23	130,09

Situación 2 : Resistencia al avance con pérdidas:

En este segundo caso, se han considerado las pérdidas mecánicas que se producen en el sistema de propulsión. Normalmente, debidas a la instalación del motor, engranajes, ánodo y la propia hidrodinámica.

Se ha estimado un rendimiento del 70% razonando con el sistema que se desea instalar, ya que se ha incorporado un sistema saildrive que va acoplado al motor por lo tanto tiene menos pérdidas que un motor con una línea de eje.

Seguidamente, se pueden ver los resultados obtenidos para el rendimiento mencionado. Para la resistencia al avance de 6,97 KN la tabla siguiente indica que se requiere una potencia de 52 KW.

Speed (kts)	Delft I,II Resist. (kN)	Delft I,II Power (kW)	Delft III Resist. (kN)	Delft III Power (kW)
0	--	--	--	--
0,38	0	0	0,27	0,07
0,75	0,01	0,01	0,24	0,13
1,13	0,03	0,02	0,21	0,18
1,5	0,05	0,05	0,2	0,22
1,88	0,08	0,11	0,18	0,25
2,25	0,11	0,19	0,18	0,3
2,63	0,16	0,3	0,18	0,35
3	0,21	0,45	0,19	0,42
3,38	0,31	0,77	0,25	0,63
3,75	0,46	1,28	0,37	1,01
4,13	0,51	1,54	0,44	1,34
4,5	0,54	1,77	0,51	1,69
4,88	0,59	2,1	0,58	2,09
5,25	0,65	2,5	0,66	2,55
5,63	0,72	2,96	0,75	3,09
6	0,8	3,53	0,86	3,79
6,38	0,89	4,17	0,98	4,6
6,75	1,01	5,03	1,11	5,49
7,13	1,14	5,98	1,25	6,56
7,5	1,28	7,05	1,44	7,93
7,88	1,57	9,1	1,71	9,9
8,25	1,95	11,82	2,03	12,29
8,63	2,44	15,49	2,64	16,74
9	3,08	20,35	3,33	22,05
9,38	4,06	27,94	4,2	28,96
9,75	5,42	38,85	5,45	39,05
10,13	7,07	52,61	6,97	51,86
10,5	8,38	64,63	7,99	61,69
10,88	9,64	77,05	8,97	71,66
11,25	10,91	90,17	9,98	82,48
11,63	11,87	101,4	11,15	95,28
12	13,25	116,82	12,5	110,23
12,38	14,4	130,97	13,74	124,97
12,75	15,51	145,32	14,95	140,1
13,13	16,66	160,74	16,09	155,16

Después de los cálculos anteriores, se procede a la dimensionar la configuración del sistema propulsivo que se desea instalar en el velero.

2. Introducción a la embarcación híbrida

Actualmente, los armadores de las embarcaciones a vela buscan una forma de navegación más económica, eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

En la mayoría de vehículos se utilizan sistemas de propulsión que utilizan combustibles fósiles como el petróleo, gas, carbón, etc. Este tipo de combustibles son limitados, no son energías renovables y generan una gran cantidad de residuos perjudiciales para la atmosfera en forma de CO₂, NO_x y SO_x. Los grandes problemas que se generan son el cambio climático y el efecto invernadero a causa de este tipo de combustibles que se utilizan.

Por lo tanto, un cambio de filosofía en el sistema de propulsión es ahora mismo una de las prioridades de las embarcaciones a vela. Se está investigando cómo reducir los combustibles limitados y encontrar soluciones en las energías renovables como fuente de energía para la propulsión de los barcos y así disminuir costes globales en el proyecto.

Las embarcaciones de vela ya se consideran más limpias por ser propulsadas por las velas utilizando la energía eólica, pero en este proyecto se da un paso más en el campo de las energías renovables instalando el sistema de propulsión híbrido y la incorporación de paneles solares.

La solución que se está adoptando en la mayoría de vehículos es la incorporación de la energía eléctrica como fuente de propulsión. Se trata de una energía renovable, inagotable, bastante fácil de generar por medio de otras energías renovables como la eólica, solar, biomasa, mareomotriz, undimotriz, etc.

Consecuentemente, la transformación tecnológica de las embarcaciones se encuentra en un futuro inmediato a causa de la evolución que se ha producido durante los últimos años con los combustibles fósiles que se utilizan.

Es necesario un cambio de pensamiento para evolucionar en este mundo y reducir lo máximo posible las consecuencias que producen los combustibles fósiles.

El gran cambio que se produce es la cantidad de fuentes de energía que se utilizan para un motor eléctrico, ya que éste se alimenta de las baterías que pueden almacenar energía gracias a varias fuentes. En cambio, el motor de combustión se alimenta de una sola fuente de energía.

El ejemplo más actual de la incorporación de un sistema 100% limpio y sin emisiones, es la embarcación de regatas Acciona 100% Ecopowered. Es un Open 60, embarcación diseñada para la vuelta al mundo a vela, que ha marcado un hito al realizar por primera vez en la historia una circunnavegación completa sin llevar combustibles fósiles a bordo. Este proyecto se ha desarrollado durante varios años como un proyecto I+D para provocar un cambio radical en este tipo de navegación. Es muy interesante ya que abre las puertas a que en los próximos años se consiga evolucionar para reducir o eliminar el combustible a bordo, finalmente, podría dar lugar a la eliminación del motor de combustión fósil.

Después de ver las consecuencias y problemas de la utilización de combustibles fósiles, en este proyecto se propone un sistema alternativo que combine un motor de combustión y un motor eléctrico con la instalación de varias baterías para el almacenamiento y optimización de la energía.

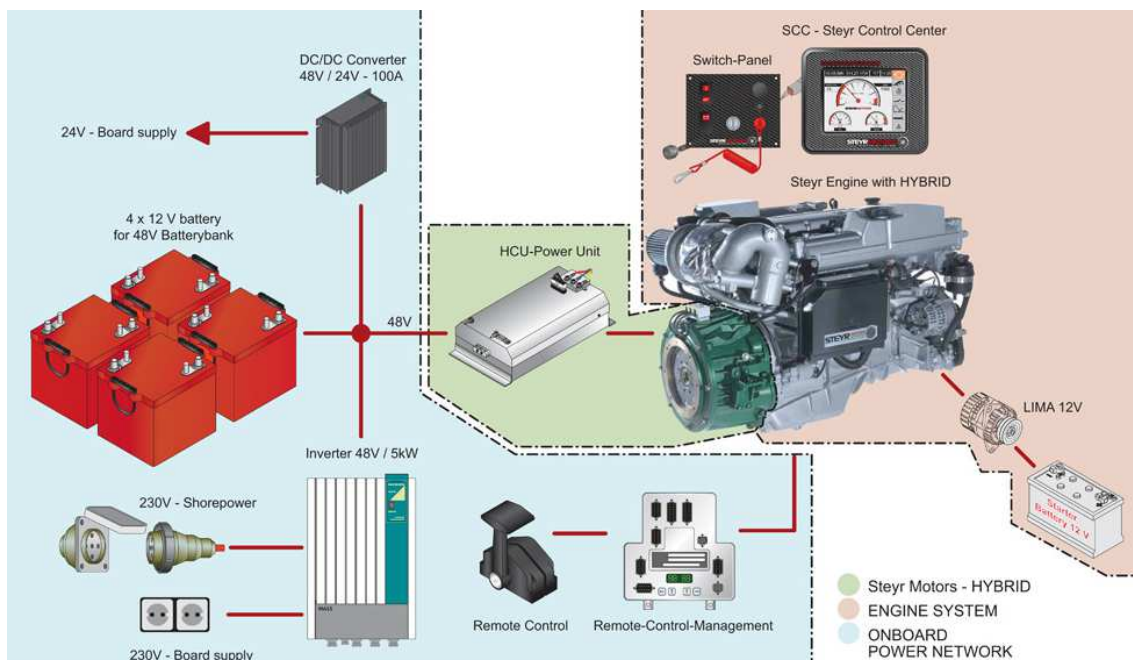
3. Sistema híbrido

El sistema que se ha propuesto instalar es un sistema alternativo de propulsión, que combina dos fuentes de energía, formado por un motor eléctrico y un motor de combustión.

La instalación de este sistema en el velero requiere la instalación de un banco de baterías para suministrar la energía necesaria al motor eléctrico para una navegación totalmente sostenible.

Este sistema, que parece simple, exige un motor que tenga un rendimiento óptimo, una capacidad de baterías importante y un medio de recarga rápida.

A continuación se muestra el esquema que se ha adoptado para este sistema de propulsión.



El sistema híbrido que se ha diseñado se compone de diferentes dispositivos distribuidos con una configuración en paralelo para el correcto funcionamiento del sistema.

Esta instalación se compone de un motor diesel acoplado directamente a un motor eléctrico en el mismo eje. El motor diesel-eléctrico va conectado a una unidad de gestión de la energía que informa en tiempo real de la autonomía que queda. La unidad de gestión de energía conectada a un panel de control instalado en el puesto de mando donde se configuran los distintos modos de funcionamiento del sistema.

La energía eléctrica generada se almacena en un banco de baterías para posteriormente poder utilizar esta energía a bordo en los dispositivos y para la alimentación del motor eléctrico.

Para poder suministrar la corriente continua a los dispositivos de la embarcación se ha instalado un variador de frecuencia que se encarga de cambiar de corriente alterna a corriente continua.

Finalmente, se ha incorporado un convertidor de corriente continua para ajustar la corriente necesaria para cada uno de los dispositivos que demandan corriente en el velero.

3.1. Configuración del sistema híbrido: Configuración en paralelo

Para el sistema híbrido que se propone se escoge una configuración en paralelo.

Este tipo de configuración en paralelo de motor de combustión acoplado al motor eléctrico es un sistema eficaz gracias a que el motor eléctrico ofrece su potencia en la aceleración desde el momento cero.

En este sistema, el motor de combustión llega a su máxima potencia y el motor eléctrico se suma a ello. Gracias a esta ventaja dicha configuración de motor de combustión más eléctrico puede ser de dimensiones más reducidas incluyendo asimismo una reducción en el coste.

Otra ventaja es que en caso de fallo de uno de los dos motores el otro puede propulsar la embarcación.

El inconveniente de esta configuración del sistema, es que presenta escasa libertad en cuanto a la disposición de los elementos, es decir, la configuración en paralelo debe situarse de manera sucesiva, para hacer efectivo su correcto funcionamiento.

4. Potencia

La potencia es el trabajo efectuado por unidad de tiempo. Se puede dividir en diferentes tipos según el sistema de propulsión instalado.

El primer concepto de potencia se utiliza al estudiar la resistencia al avance, que se define como potencia de remolque o potencia efectiva, es la potencia necesaria para mover el barco. Es definida como:

$$EHP = R_t \cdot V$$

Según el tipo de maquinaria se pueden considerar las siguientes potencias:

- Potencia indicada IHP: es la potencia medida en los pistones.
- Potencia al freno BHP: es la potencia medida en el plato de acoplamiento del cigüeñal al eje, mediante la aplicación de un par de frenado tipo eléctrico, hidráulico o magnético. Se determina mediante las medidas en el banco de pruebas en el taller de los motores diesel.
- Potencia en el eje SHP: es la potencia que se mide a la entrada de la línea de ejes en la bocina. Se determina midiendo el par transmitido mediante un torsiómetro y las revoluciones del eje mediante un cuentarrevoluciones o tacómetro. Esta es la potencia que se mide en las pruebas de mar en el caso de turbinas de vapor o de gas.
- Potencia de empuje THP: es la potencia producida por el empuje suministrado por la hélice, desplazándose respecto al agua a una velocidad. Debido a un efecto de arrastre del agua por la carena esta velocidad es inferior a la de avance del barco.
- Potencia entregada a la hélice DHP: es la potencia que recibe directamente la hélice.

En este proyecto, la potencia en el eje será mucho menor a la habitual debido al sistema saildrive que se ha instalado que va directamente acoplado al motor con una configuración Z. En consecuencia, se tienen en cuenta las pérdidas por los engranajes que incorpora este tipo de transmisión.

El dimensionamiento de la potencia en este tipo de embarcación tiene que ser muy ajustada, normalmente se navegará a velocidades más bajas que la máxima especificada. No conviene sobredimensionar el motor, ya que se instalará un motor lo más pequeño y compacto posible.

Para la elección del motor se consideran los siguientes factores:

- Empacho y desmontaje: se intentará instalar el motor con fácil acceso para su posible desmontaje y mantenimiento.
- Peso: es el factor más importante en este tipo de veleros.
- Precio: tratado el gran desembolso que supone la planta propulsora hay que analizar con detalle el costo del motor.
- Combustible y consumo: se favorecerá el combustible adecuado.
- Mantenimiento: es uno de los costes importantes dentro de los costes de explotación del motor, se tiene en cuenta el programa de mantenimiento del motor.
- Resistencia: el motor seleccionado debe ser capaz de propulsar el barco a la velocidad de proyecto.
- Electricidad: la demanda eléctrica de la embarcación debe ser abastecida.
- Rendimiento: se tendrán en cuenta los rendimientos explicados anteriormente.

5. El motor diesel.

El motor diesel es una máquina alternativa en cuyos cilindros se introduce una carga de aire que se comprime hasta el punto en que se produce la ignición y combustión espontáneas de un chorro atomizado de combustible inyectado en dicha carga de aire comprimido, lo que da lugar a una expansión y consiguiente movimiento del pistón.

El movimiento alternativo del pistón se convierte en rotativo en el cigüeñal mediante un sistema de biela-manivela.

Según el margen de revoluciones por minuto de giro del cigüeñal con que operan se clasifican en rápidos, semirrpidos y lentos. Estos últimos pueden ir acoplados directamente a la hélice.

Entre sus ventajas se encuentra el hecho de ser directamente reversibles y poseer un consumo específico de combustible muy bajo.

El rendimiento de los motores diesel se ve incrementado en el balance energético total por el aprovechamiento de energías residuales, tales como el calor de los gases de exhaustación.

La calidad del combustible es un factor importante a la hora de obtener un rendimiento satisfactorio del motor, un ciclo de vida prolongado y unos niveles de emisión de gases de escape aceptables.

5.1. Elección del motor

La resistencia al avance obtenida con la simulación de Hullspeed es de **6,97 KN**, se ha considerado un rendimiento del 70 % a causa de las pérdidas por la transmisión del sistema de propulsión, obteniendo una potencia necesaria de unos **52 KW**.

La potencia del motor que se requiere instalar tiene que ser como mínimo la mencionada anteriormente, que debe garantizar la fuerza necesaria para la navegación de crucero establecida en el proyecto.

Se han estudiado varias marcas de motores marinos para finalmente escoger el más adecuado para esta embarcación. Los diferentes motores que se han contemplado han sido Yanmar, Volvopenta, Nannidiesel y Steyr Motors.

En cada uno de los motores estudiados se ha considerado como sería su instalación en el sistema híbrido. Se han descartado los motores Volvopenta y Yanmar por no facilitar la incorporación del motor eléctrico directamente acoplado al motor diesel.

Los motores de la marca Nannidiesel ofrecen un sistema de gestión de la energía muy parecido a Steyr motors pero se ha descartado por el ajuste de la estimación de la potencia de la embarcación.

Se ha decidido instalar un motor diesel de la marca Steyr Motors.

El principal motivo del motor seleccionado de Steyr Motors MO84K32 es la opción de tener desarrollado el sistema híbrido para este tipo de motores por la misma marca con todos sus componentes y recomendaciones, por su peso ligero y por último la facilidad de acoplamiento con el saildrive.

Los componentes de que proporciona el pack de Steyr Motors son el motor diesel, el motor eléctrico, el centro de gestión de energía y el panel de control.

Las características del motor seleccionado son las siguientes:

Modelo	MO84K32
Configuración	4 tiempos
Máxima potencia	55 kW 75 HP
Revoluciones máxima carga	3200 rpm
Desplazamiento	2133 cm ³
Cilindros	4 en línea

Par máximo	190 Nm
Alternador	90 A
Sistema de escape	Agua dulce y agua salada
Sistema refrigeración	Agua dulce
Sistema lubricación	En el cárter
Peso	243 kg



Este motor está equipado con dos circuitos de refrigeración cerrado y otro abierto.

a) Circuito de refrigeración cerrado

El circuito de refrigeración cerrado incluye un colector monobloque y un colector de escape, un intercambiador térmico y un depósito de expansión. La temperatura se controla mediante el termostato. El termostato determina la cantidad de refrigerante que circula por el intercambiador térmico, controlando así la temperatura de funcionamiento del motor.

Un sensor controla la temperatura de refrigeración, ya que si hay un aumento excesivo de la temperatura del refrigerante se produce una alarma óptica y acústica, consecuentemente, de una disminución de la potencia del motor.

b) Circuito de refrigeración abierto

La energía térmica transferida por el motor y absorbida por el refrigerante del motor es drenada a través del circuito de agua sin tratar, en este caso es agua salada. El agua es absorbida por la bomba a través de la toma de mar, y bombeada constantemente a través del intercooler del sobrealimentador y del intercambiador de calor, y expulsada junto con los gases de escape gracias al aspersor. Durante su expulsión, el agua que penetra en el tubo de escape enfría los gases de escape.

Igual que el circuito de refrigeración cerrado, un sensor controla la temperatura del agua y los gases de escape. Si se produce un aumento excesivo se dispara una alarma óptica y acústica, disminuyendo también en este caso la potencia del motor.

6. Motor eléctrico

Los motores eléctricos ofrecen un alto rendimiento ya que aprovechan prácticamente toda la energía eléctrica que reciben para crear energía mecánica. Estos motores son muy compactos y seguros.

La utilización de estos motores para la propulsión de veleros empieza a tener importancia en el mercado actual. La navegación a vela es silenciosa por lo tanto el uso del motor eléctrico contribuye a un mayor confort dentro de la embarcación, ya que se trata de un sistema motriz, que tiene la capacidad de dar par desde la primera revolución, sin emitir ningún tipo de residuo.

A nivel técnico, un motor eléctrico tiene una disponibilidad de par a bajas revoluciones muy superior al motor térmico, al mismo tiempo que tiene una respuesta más rápida. Su mantenimiento es muy inferior al no tener fluidos en su interior y proporciona una fiabilidad mayor. También ofrece unas mayores posibilidades de control lo cual hace que pueda ser óptimamente adaptado a los requerimientos del velero.

El principal problema de los motores eléctricos es su alimentación, la necesidad de la energía eléctrica hace que se dimensione un banco de baterías que son alimentadas

durante la navegación a vela o por los paneles solares que se instalan en esta embarcación.

Las ventajas de un motor eléctrico se dividen entre el confort, la navegación y la seguridad. En el confort se destacan la ausencia de olores, humos, ruidos y menos vibraciones. Durante la navegación se tiene control total de la energía, se obtiene también una verdadera sensación marina y la posibilidad de un mayor acercamiento a la vida salvaje. En la seguridad ofrece un mayor rendimiento, un mayor control del barco y la no posibilidad de quedarse sin energía. Otras de las ventajas referidas al medio ambiente son la disminución de la contaminación y del calentamiento global, las energías que se utilizan son limpias e infinitas y son embarcaciones silenciosas.

Las principales desventajas son la necesidad de realizar una inversión inicial más cara, también tienen un mayor número de elementos, por lo tanto, más probabilidad de fallo. Estos motores trabajan a bajas y medias potencias y requieren mayores conocimientos técnicos para comprender su funcionamiento.

Uno de los factores clave en el sistema híbrido es el número de conversiones de energía que se realizan durante todo el proceso. El sistema será más eficiente con el menor número de conversiones de energía .

Las conversiones de energía explicar de la siguiente manera:

- El combustible fósil se convierte al par en el cigüeñal.
- El par del cigüeñal se traduce a un alternador que produce energía eléctrica.
- La energía eléctrica se almacena de forma química en baterías.
- La energía química se convierte a energía eléctrica.
- La energía eléctrica se utiliza para activar el motor eléctrico.
- Se activa la hélice mediante un saildrive acoplado al motor.

A partir de aquí, se debería escoger el modelo del motor eléctrico, pero el sistema seleccionado por Steyr Motors ya tiene el motor eléctrico directamente acoplado a la transmisión del motor diesel, ahorrando espacio y siendo un motor compacto como se puede observar en la siguiente imagen.

El motor eléctrico instalado tiene una potencia de salida de 7kW a 48 V, con esta potencia se conseguirá navegar a velocidades bajas.



7. Almacenamiento de la energía.

El almacenamiento de la energía es el punto más importante del sistema híbrido, éste se realiza mediante el uso de baterías.

Las baterías son las responsables de almacenar y suministrar la energía eléctrica que necesita el velero para su funcionamiento. Prestaciones fundamentales del vehículo tales como la autonomía, velocidad máxima, tiempo de recarga, coste y peso dependen fundamentalmente de la tecnología de la batería.

Las baterías recargables son dispositivos capaces de almacenar y suministrar energía eléctrica mediante reacciones electroquímicas de oxidación/reducción. Cuando se utiliza la batería la energía química contenida en los electrodos se transforma directa y espontáneamente en energía eléctrica. La unidad básica de las baterías son las celdas, la unión de dos o más celdas forman las baterías. Los parámetros electroquímicos más importantes son:

- Voltaje: Diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo.

- Capacidad específica: Indica la cantidad total de carga eléctrica que es capaz de almacenar. Para poder comparar dos baterías se normaliza en masa o volumen.

- Energía específica: Indica la cantidad de energía eléctrica que puede acumular la celda o la batería.

- Ciclos de vida: Números de ciclo de carga/descarga que se pueden realizar hasta que la capacidad desciende por debajo del 80% del valor nominal.

- Potencia específica: Indica la energía instantánea (potencia) que puede dar una batería, normalizada en masa o volumen.

El sistema híbrido está compuesto por un sistema de baterías encargado de suministrar al motor eléctrico la energía demandada. En el anexo se detalla el estudio realizado de las baterías que existen en el mercado para su posterior elección según sea la más adecuada para la incorporación en el sistema.

7.1. Elección del tipo baterías

Después de estudiar los diferentes tipos baterías que se encuentran en el mercado, la elección se ha llevado a cabo teniendo en cuenta la cantidad de energía que puede almacenar, la densidad de potencia que puede proporcionar, su fiabilidad, duración, seguridad, peso y coste.

La autonomía de la embarcación dependerá de la energía almacenada y de cómo se gestiona, teniendo en cuenta el consumo del motor eléctrico y los dispositivos de a bordo que demanda energía eléctrica.

Los principales requisitos son la fiabilidad y la duración de las baterías ya que en el caso de que sufran degradación de sus celdas el sistema híbrido dejaría de funcionar.

La seguridad en las baterías es un factor determinante debido al riesgo que una elevada concentración de energía pueda suponer, al que se añaden los peligros de ciertas reacciones químicas bajo condiciones desfavorables creadas por un mal uso. Menos celdas conectadas se requerirán en un banco de baterías para conseguir la tensión necesaria, cuanto más elevado sea el voltaje por celda de una batería, lo que se traduce en disminución de peso aspecto muy importante en este tipo de embarcaciones.

Se ha obtenido del estudio de las diferentes baterías existentes en el mercados con sus propiedades, valorando la energía necesaria para suministrar al sistema de tal forma de que sea lo más eficiente posible.

Se han elegido las **baterías de ion-litio**, por sus buenas propiedades en cuanto a su capacidad de trabajar a altos rangos de voltaje, su alta densidad de carga y potencia en relación con su peso, al tratarse de baterías que no tienen la propiedad de auto-descarga, sino que van disminuyendo su eficiencia progresivamente permite prevenir que la embarcación se quede sin electricidad de forma instantánea.

Entre sus inconvenientes, se encuentra la elevada posibilidad de inflamación, por lo tanto, deben instalarse en un lugar seguro, protegido, estanco y con buena ventilación.

Tal y como, se ha podido ver en la disposición interior, el motor se aloja debajo de la escaleras que acceden al interior de la embarcación. Dejando espacio para toda la configuración mencionada anteriormente entre los dos camarotes de popa.

El coste elevado de estas baterías en comparación con las otras baterías mencionadas también es una gran desventaja.

En el capítulo siguiente, después del balance eléctrico se definen las características de las baterías instaladas.

8. Gestión de energía.

Para controlar la energía generada y almacenada se ha instalado un sistema de gestión de energía. Los principales objetivos de esta unidad de control son, proporcionar una buena optimización de la energía y cambiar de modo de funcionamiento en el sistema híbrido. También esta unidad de control envía y recibe la información crítica permitiendo la monitorización y operación del sistema híbrido.

La autonomía del velero depende directamente de cómo se gestiona y optimiza la energía en la embarcación.

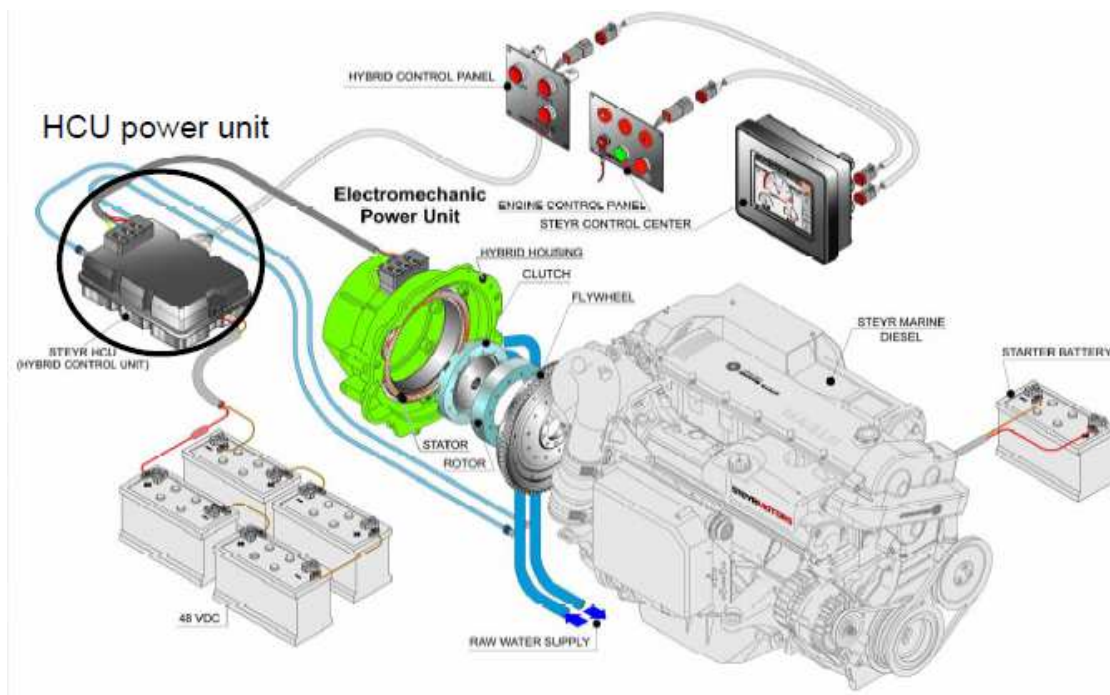
El sistema de gestión de energía tiene la capacidad de:

- ✓ Visualización de las condiciones de operación.
- ✓ Gestión de los diferentes modos de funcionamiento.
- ✓ Monitorización del consumo de combustible.
- ✓ Regulación de velocidad.
- ✓ Información de los datos de la embarcación.
- ✓ Estado de las baterías a tiempo real.
- ✓ Gestión activa de la energía.
- ✓ Propulsión 100% renovable.
- ✓ Gestión automática de generadores.
- ✓ Control del cargador y temperatura de las baterías.
- ✓ Diagnóstico del sistema.

La unidad de control que se ha incorporado es la encargada de cambiar los diferentes modos de funcionamiento del sistema híbrido.

A continuación se detallan los cuatro distintos modos que puede trabajar este motor diesel – eléctrico, dependiendo del funcionamiento deseado:

- **Starter mode:** El motor diesel puede ser arrancado por el motor eléctrico.
- **Electric cruise mode:** En este modo la embarcación está propulsada solamente por el motor eléctrico con una potencia de 7 kW para la propulsar la embarcación.
- **Boost mode:** En un rango de velocidad menor, dependiendo de la condición de la batería, este modo permite el apoyo del motor diesel. Se permite el acoplamiento y desacoplamiento del motor de combustión. Obteniendo una potencia de 10kW.
- **Generator mode:** Se obtiene una potencia de 5 kW para el modo de generador.



Este esquema proporcionado por Steyr Motors, muestra el control y la distribución de la energía en cada uno de sus componentes, como cada uno desarrolla una función determinada para el correcto funcionamiento de la instalación híbrida.

Los dispositivos de este esquema son los siguientes:

- Batería de arranque para el encendido del motor diesel.
- Motor diesel para potencias a velocidades altas.
- Motor eléctrico montado en la transmisión del motor diesel.
- Unidad de control de energía instalado en la sala de máquinas.
- Banco de baterías que proporciona la energía requerida por el motor eléctrico.
- Panel de control permite la monitorización y operación del sistema desde el puesto de mando.

9. Panel de control.

Se ha diseñado para monitorizar las operaciones del sistema híbrido durante la navegación, instalando este dispositivo en el puesto de mando. Este panel proporciona información crítica del motor diesel y del motor eléctrico, así como las rpm, la temperatura, el nivel de la carga de las baterías y más información importante necesaria para asegurarnos una buena navegación al tener la propulsión funcionando perfectamente.

Algunas de las características del panel de control son:

- Interface intuitiva y lógica.
- Diagnóstico integrado del motor.
- Interruptores digitales para entradas y salidas externas.
- GPS, velocidad, posición y tiempo.
- Escoger entre las opciones del sistema híbrido.
- Waterproof.



10. Variador de frecuencia.

Un variador de frecuencia es el encargado de alterar la velocidad del motor cambiando el voltaje y la frecuencia de la electricidad suministrada al motor. Esto lo desarrolla convirtiendo corriente alterna en continua, y luego invirtiendo la corriente continua a corriente alterna sintética con voltaje y frecuencia controlada. Si este proceso es realizado de forma óptima, la velocidad del motor puede ser controlada en un rango amplio, desde cero RPM hasta el doble de la velocidad nominal, con las características de torque apropiadas para la aplicación.

Los cuatro componentes principales que hacen posible la operación de los variadores de velocidad son: convertidor, inversor, circuito de corriente continua y la unidad de control.

El convertidor contiene un rectificador y varios circuitos que se encargan de convertir la frecuencia fija de corriente alterna en continua. El inversor convierte la corriente continua en corriente alterna. Los circuitos de corriente continua filtran la corriente y la conducen al inversor. La unidad de control regula el voltaje y la frecuencia de salida en base a la señal proveniente del proceso.

La unidad que se desea instalar es un Mass Combi 48 V de la marca Mastervolt que combina un cargador de baterías avanzado y un inversor silencioso en un solo dispositivo compacto.

Las baterías de arranque y de servicio se cargan rápida y completamente, mientras que el inversor proporciona una energía silenciosa y limpia. Este variador de frecuencia también posee dos salidas AC, tanto para dispositivos de alto consumo de energía como para los de bajo consumo. Para prevenir que las baterías se agoten de forma innecesaria, los dispositivos que consumen mucha energía solo reciben energía cuando se dispone de voltaje de red o de un generador.

El diseño de este variador de frecuencia es único y específico. En lugar de instalar transformadores pesados, esta tecnología ligera y de alta frecuencia ofrece grandes ventajas en cuanto a tamaño, peso y ruido. Esta tecnología también garantiza una eficiencia extraordinariamente alta con una pérdida de conversión mínima y un bajo consumo en vacío.

Tiene una funcionalidad combinada que proporciona:

- La batería hace que aumente la potencia cuando el voltaje de red es limitado.
- Permite cargar dos bancos de baterías individuales.
- Invierte a 230 V/50 Hz de voltaje de onda sinusoidal pura.
- Tiene múltiples sistemas de distribución y conmutación.



11. Convertidor CC/CC.

Es un dispositivo que transforma corriente continua de baja tensión a alta o a la inversa. También es un regulador de conmutación, dando a su salida una tensión regulada y, la mayoría de las veces con limitación de corriente.

La tensión necesaria para la corriente continua puede variar considerablemente a bordo de un yate. Un cabrestante suele funcionar a 24 V, mientras que los equipos de navegación y comunicación principalmente requieren 12 V. El uso de un convertidor CC/CC permite alcanzar otras tensiones distintas a las aplicadas en su sistema básico. Los convertidores aseguran que todos sus equipos de a bordo reciban un suministro de alimentación estable con la tensión correcta.

El modelo instalado es de Mastervolt, éste puede regular las subidas y bajadas de tensión para asegurar una estabilización óptima de la tensión, incluso cuando la

tensión de la batería fluctúe debido a cargas importantes. También dispone de un aislamiento galvánico entre la entrada y la salida para evitar trastornos en los equipos de comunicaciones y otros componentes.

Ventajas:

- No se genera calor innecesario gracias al uso de electrónica inteligente.
- Tensión de salida continua.
- Fácil instalación.



12. Saildrive.

Es un sistema de transmisión que consiste en que los motores tienen a su salida un eje vertical unido a un eje horizontal fijo mediante engranajes en ángulo recto que va directamente acoplado a la hélice con un ánodo entremedio.

Los Saildrive ayudan a eliminar vibraciones, ruido innecesario, problemas de espacio y de alineación gracias a su directa configuración "power-to-prop". Mejoran el equilibrio del barco, la maniobrabilidad y el empuje.

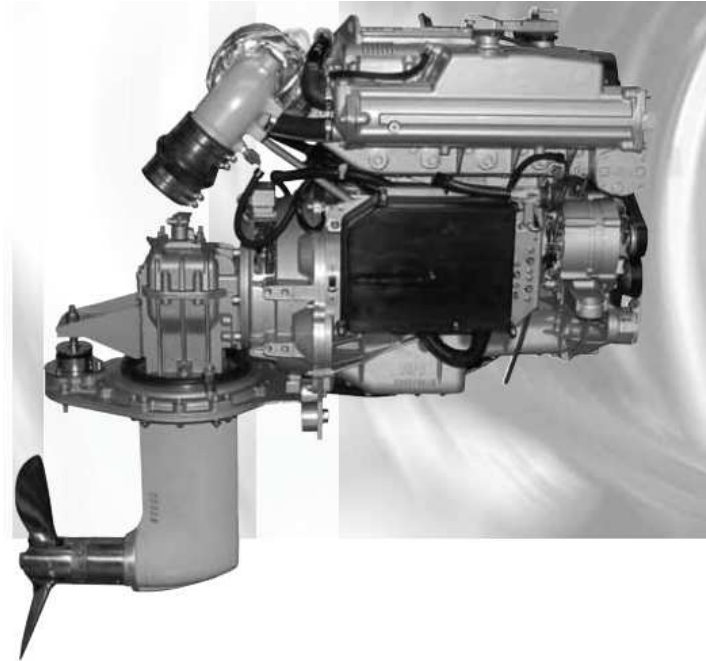
Su aspecto más destacado es la facilidad y la seguridad durante la instalación en cualquier posición, ya que no es necesario ninguna configuración o alineación especial.

El sistema es robusto y fiable, y puede ir equipado de una amplia gama de hélices fijas o plegables, capaces de propulsar el buque con fuerza tanto hacia adelante como hacia atrás. La excelente eficiencia del Sail Drive se obtiene reduciendo la resistencia hidrodinámica de la parte sumergida y maximizando la eficiencia de empuje, que siempre es exactamente paralela a la dirección de movimiento del casco

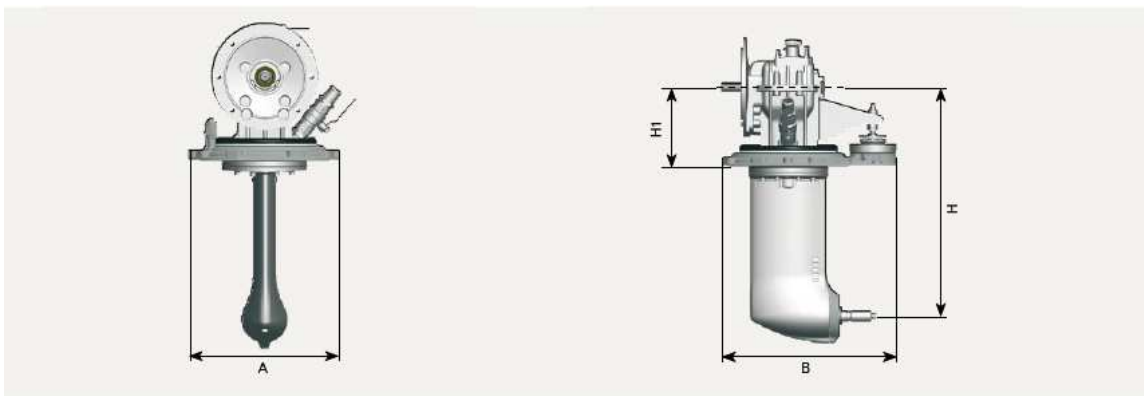
Algunas de sus ventajas son:

- Juntas Interior y Exterior con sensor.
- Silenciosos y exentos de vibraciones.
- Simple y de fácil manejo.
- Sencillo mantenimiento.

Algunas de sus desventajas de este sistema son: su coste más elevado, puede tener corrosión galvánica y fácil obturación de la toma de agua de refrigeración.



El modelo que se instala es un SD 12 de la marca ZF. Se ha escogido este modelo siguiendo las recomendaciones del fabricante del motor.



Model	Ratios	Power/rpm		Input Power Capacity				MAX RPM	Weight		Clamp ring flange dia.- A		Clamp ring flange dia.- B		Drop - H		Height - H1	
		kW/rpm	hp/rpm	3200 rpm		3600 rpm			kg	lb	mm	inch	mm	inch	mm	inch	mm	inch
				kW	hp	kW	hp											
SD 10	2.23:1	0.0153	0.0208	50	67	55	75	3800	40	88	378	15	463	18	605	24	210	8
	2.49:1	0.0153	0.0208	50	67	55	75											
SD 12	2.23:1	0.0188	0.0256	60	82	68	92	3800	40	88	378	15	463	18	605	24	210	8
	2.49:1	0.0188	0.0256	60	82	68	92											



CUADERNILLO 5. SISTEMAS AUXILIARES

1. Introducción	2
2. Sistema de sentinas.....	2
3. Sistema de combustible	5
4. Sistema eléctrico	5
5. Sistema contraincendios	8
6. Sistema de agua dulce.....	10
7. Sistema de aguas negras	10
8. Energía solar	11
9. Mantenimiento	20

1. Introducción

En el siguiente cuadernillo, se han desarrollado los sistemas que componen el velero formados por los dispositivos necesarios para el buen funcionamiento de éstos durante la navegación.

Los mecanismos que componen cada sistema se han escogido con el objetivo de que el conjunto de todos ellos proporcione el funcionamiento de cada sistema.

En este proceso de predimensionamiento de los sistemas se han creado 6 sistemas diferenciados, ya que cada uno trabaja con elementos diferentes.

Se ha procedido a realizar un dimensionamiento lo más optimizado y ligero posible, ya que se trata de una embarcación de vela donde el espacio es un bien muy preciado al igual que el peso.

2. Sistema de sentinas

En toda la embarcación se debe poder achicar de cualquier compartimento estanco que no esté dedicado de manera permanente a contener agua, combustible, aceite o cualquier otro tipo de líquido.

El agua que se va a extraer puede entrar en el interior del buque por diversas causas como golpes de mar, pérdidas de circuitos de tuberías inferiores y vías de aguas entre otros y es por ello que tenemos que poder achicarla de manera rápida y eficaz ya que puede afectar a la estabilidad y calado del barco.

Según qué espacio sea el que se contenga agua, aceite, combustible... se considerarán tres tipos de espacios diferentes:

1. En tanques colocados expresamente para contenerla, como son los tanques de lastre, tanques de agua potable y tanques de compensación.
2. En espacios situados debajo de la cubierta de francobordo, espacios dentro de superestructuras intactas o en casetas de cubierta provistas de puertas eficientemente estancas al agua.
3. En el resto del buque.

El agua que ocupa el tercer punto puede devolverse fácilmente al mar por gravedad a través de las portas de desagüe e imbornales colocados para ello. El agua que se introduce en los espacios mencionados en el segundo punto ha de ser achicada por medios mecánicos, ya que se encuentra por debajo de la línea de flotación. Por gravedad puede hacerse descender a la parte inferior del buque donde se encuentran las sentinas o pozos de sentinas pero a partir de aquí se achica por medio de bombas o eyectores que la expulsan al mar.

Las bombas de sentinas se deben diseñar para poder funcionar de forma continua al 87,5% de la tensión nominal, es decir 21 V para un sistema de 24 V, hasta su tensión de diseño en un punto del intervalo recomendado de funcionamiento de la bomba correspondiente al mayor consumo de energía.

Los materiales utilizados en la construcción de las bombas de sentinas, que puedan estar en contacto con el agua de mar, deben ser:

- Resistentes a la corrosión o estar recubiertos de una protección contra la corrosión.
- Compatibles galvánicamente.
- Resistentes al deterioro causado por los productos de limpieza de las sentinas y a la exposición intermitente a la gasolina, aceite y combustible diesel.

Las bombas sumergibles deben disponer de un filtro u otro dispositivo para evitar que los desechos penetren en el interior de la bomba. Se van a diseñar los filtros y las pantallas de retención de manera que se puedan limpiar y tener sus conexiones eléctricas estancas al agua.

Las bombas centrífugas y de caudal axial que se requieren para el sistema deben ser capaces de funcionar en seco a su tensión de diseño durante un mínimo de 7h sin crear peligro de incendio. Alternativamente, un sistema integrado con las bombas para provocar su parada automática y evitar el peligro de incendio.

Las bombas de sentinas tienen que ser capaces de soportar una tensión de 500 V en corriente continua durante 1 min sin presentar fugas superiores a 1 mA.

El sistema está compuesto por 4 bombas:

- Bomba de achique manual: dos bombas, una situada en la bañera y la otra se encuentra en el interior de la embarcación. Con un caudal de 1500 litros por hora cada una a 12 V.
- Bomba de achique eléctrica: dos bombas que trabajan con corriente continua accionadas desde el panel de control de la embarcación. Con un caudal de 3100 litros por hora cada una a 12V. Están situadas en las partes más profundas de la embarcación para poder vaciar el máximo de caudal de agua posible intentando dejar la embarcación seca.

Las tuberías del sistema tendrán un diámetro de 50 mm la tubería principal y los ramales de 40 mm.

Se ha instalado el modelo Sahara, para las bombas de achique eléctricas.



3. Sistema de combustible

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

A partir de los datos recogidos de las diferentes embarcaciones, se han instalado dos tanques de almacenamiento de diesel con capacidad de unos 400 litros cada uno.

Cada uno de los tanques tiene una conexión eléctrica para el medidor de volumen interno del tanque. También se han instalado un total de 3 tuberías conectadas al tanque; una de entrada, la tubería de suministro de diesel al tanque, una de salida, la tubería principal de suministro de combustible al motor y la tubería del venteo, utilizada entre el llenado y vaciado para no aumentar las presiones en el interior del tanque.

La bomba de alimentación de combustible va instalada directamente en el interior del motor diesel seleccionado.

4. Sistema eléctrico

Este sistema es el encargado de alimentar electricidad a todos los dispositivos de la embarcación que lo demanden.

Para saber cuál es la demanda de electricidad de la embarcación, se ha estudiado el consumo eléctrico que requerirá la embarcación para finalmente poder asignar el número de baterías.

4.1. Balance eléctrico

Se estiman todos los consumidores a bordo para saber el consumo diario en base a aproximaciones de otros veleros crucero-regata similares. La razón de la estimación de este cálculo es que este proyecto se centra en el dimensionamiento preliminar.

La tabla desarrollada muestra los consumidores habituales en un día de navegación en unas condiciones normales. Se enumera la cantidad de cada dispositivo con su capacidad en vatios y se multiplica por la horas estimadas de funcionamiento, obteniendo el consumo total en vatios hora.

Consumidores	Unidad	Capacidad	Hora	Consumo kWh
Luces navegación	4	25	8	0,8
Equipos navegación	6	40	12	2,88
Luces interiores	15	15	4	0,9
Agua/ducha/ lavabo/ bombas achique	8	150	0,2	0,24
Potabilizadora	1	300	0,2	0,06
Winches eléctricos	3	2000	0,2	1,2
Nevera	1	80	8	0,64
Consumos varios	12	20	4	0,96
Sistema de audio	1	250	2	0,5
Televisión	2	150	2	0,6
Ordenador	1	30	2	0,06
Cocina eléctrica	1	2500	0	0
Electrodomésticos	4	200	0,2	0,16
Horno	1	2000	0	0
TOTAL				9

La fuente de electricidad es generada por un conjunto de baterías de 12 voltios cada una. Estas pueden ser cargadas de varias formas diferentes; mediante la toma de tierra, mediante el sistema híbrido de la embarcación y por los paneles solares.

Una vez hecho el cálculo de la necesidad energética del barco, se ha podido decidir las baterías que se deben usar. Se han escogido las baterías muy ajustadas en función del balance eléctrico obtenido.

Se incorpora un banco de 4 baterías de 12 V cada una, de ion-litio como ya se ha mencionado anteriormente. Son de la marca Smartbattery que destacan por ser muy ligeras, tener una larga duración, ningún mantenimiento y siendo un 99.1% eficientes. Obteniendo una capacidad total de **9,6 kWh**.

A parte de estas baterías de uso que se han especificado, también se requiere de una batería de arranque específica para el motor seleccionado. Esta batería viene designada por el fabricante y modelo del motor.

Especificaciones de la batería:

Voltaje nominal	12.8 V
Capacidad	200 Ah/2400wh
Ciclos	5000
Máxima descarga continua	100 A
Peso	40 kg
Precio	2400 €



5. Sistema contraincendios

El sistema de contraincendios constituye un conjunto de equipamientos para la extinción del fuego provocado por cualquier causa en la embarcación.

Se ha diseñado según la normativa ISO 9094-2; *Pequeñas embarcaciones. Protección contraincendios. Parte 2: Embarcaciones de eslora superior a 15 m.* A continuación se detallan algunas partes de la normativa para tener una visión clara de los mecanismos a instalar.

Para la protección de los espacios de máquinas se debe realizar de acuerdo con los siguientes requisitos; se tiene que instalar un sistema fijo de extinción de incendios y un extintor portátil de incendios de un tipo y tamaño adecuado para inundar el espacio de máquinas a través de una abertura de incendios.

El sistema fijo consta de dos bombas con suficiente potencia como para aspirar agua del mar y descargar a una cierta presión por todos los ramales distribuidos por encima de la maquinaria.

Una de las bombas es la de uso habitual y la otra en caso de emergencia. Para aprovechar la disposición de las dos bombas, la de emergencia tiene la instalación necesaria para ser usada en el sistema de achique de sentinas en un caso de emergencia, únicamente con la instalación de la tubería en los espacios más grandes de la máquina para aspirar el fluido, y aprovechando la tubería de aspiración (en caso de que la bomba trabaje como C.I) como descarga.

Los extintores portátiles deben reunir las siguientes características:

- Todos los extintores de incendios portátiles deben ser fácilmente accesibles.
- El extintor puede almacenarse en un armario u otro espacio protegido o cerrado.
- Solo se pueden situar extintores portátiles de dióxido de carbono en los espacios de habitación cuando estén presentes líquidos inflamables o cuando exista equipo eléctrico activo.

- Todos los extintores individuales de CO₂ deben tener una capacidad máxima de 2 kg.

Debe haber un extintor portátil de incendio situado:

- En un radio de 2 m sin obstrucciones, a partir del puesto principal de gobierno.
- En un radio de 2 m desde cualquier fogón o aparato de llama desnuda, pero colocado de forma que sea accesible en el caso de que se produzca incendio en cualquier fogón o aparato de llama desnuda.
- En un radio de 2 m de la abertura de incendios, fuera del espacio de máquinas se ha protegido mediante un extintor portátil de incendios.
- En un radio $L_w/3$ m desde el centro de cualquier litera, medido en su proyección horizontal.

Por lo tanto, la embarcación tendrá un extintor portátil situado en la bañera de la embarcación y 4 extintores portátil en el interior del velero. Todos ellos homologados para cumplir con la normativa.

Para la protección de la cubierta, se dispone de un balde con un acollador unido al mismo, colocado en un sitio fácilmente disponible, es decir, se instala a popa cerca del puesto de gobierno.

6. Sistema de agua dulce

El sistema de agua dulce distribuye a los servicios de a bordo de este elemento. En el concepto de una embarcación de crucero-regata, se traduce en un sistema sencillo compuesto por:

- Dos tanques de unos 500 litros cada uno, dimensionados a partir de la embarcación modelo y la demanda de agua de la embarcación.
- Bomba de presión.
- Tuberías.
- Grifos.
- Tomas de carga.
- Venteos.

Para la alimentación de los tanques de agua dulce se dispone una toma en cubierta. También se hace necesario instalar un venteo para que los tanques puedan ser llenados y vaciados sin problemas de sobrepresión o vacío debidos al aire atrapado en el interior.

7. Sistema de 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 para tal uso. Las aguas grises se pueden descargar 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. Dicho depósito dispone de una descarga al mar mediante una válvula, que podrá ser accionada a partir de 12 millas náuticas de la costa.

8. Energía solar

La energía solar es limpia, silenciosa e infinitamente renovable. Se puede decir que es prácticamente gratuita si mantenemos al margen el coste de un panel solar. Por ejemplo, en sólo 15 minutos el sol bombardea la tierra con más energía de la que necesitaría toda la humanidad durante un año, y la porción que incide sobre un velero de 18 metros equivale aproximadamente a la cantidad de 600 amperios / hora de una batería de 12 voltios. Todo lo que se tiene que hacer es convertir esa energía luminosa en electricidad.

En esta embarcación se ha decidido instalar un conjunto de placas solares ya que al instalar un sistema de híbrido requiere que las baterías tengan una alimentación de energía constante. Para el tipo de navegación que se va a realizar se considera un factor muy importante para el correcto funcionamiento de todo el sistema.

A continuación, se detallan las características que se deben tener en cuenta para elegir los paneles solares más adecuados para este velero.

8.1. Elección del panel

El elemento principal de un sistema para convertir la energía solar en energía eléctrica es la célula fotoeléctrica, también llamada célula solar o célula fotovoltaica. Todas las células solares funcionan por el mismo principio: la luz incide en la superficie superior de la célula, y empuja los electrones del material con el que se ha fabricado hacia una capa inferior. Conectando las dos capas, conseguimos crear un circuito de regreso para dichos electrones.

8.2. Tipos cristalinos

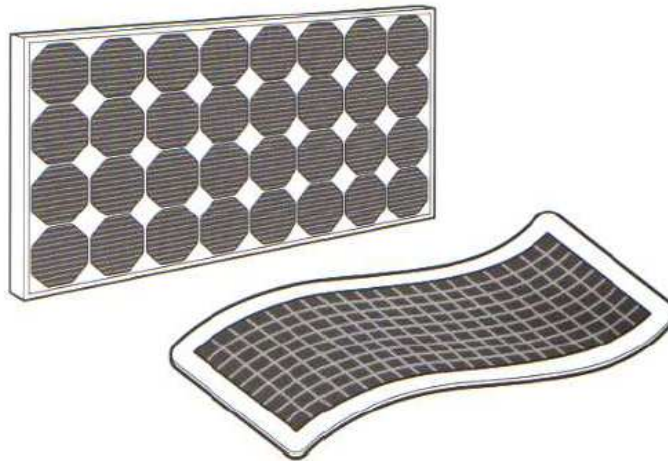
Las células solares más eficientes, basadas en el silicio que se encuentra en abundancia en la arena, son las de tipo monocristalino, donde cada célula se corta con un fino espesor a partir de una barra de silicio que ha recibido un tratamiento específico. Existen también las células de tipo policristalino, que combinan diferentes cortes pequeños de silicio. El tipo policristalino es algo menos eficiente que el monocristalino en condiciones ideales de iluminación, pero es algo mejor cuando el sol alcanza ángulos más bajos de incidencia sobre el panel. Es en la práctica el tipo más usado, aunque no tolera la inclusión de sombras, o los días nublados.

8.3. Thin film

Se trata de un tipo de silicio amorfo (no cristalino) que se usa ampliamente en calculadoras y que tienen un rendimiento inferior a la mitad del rendimiento de un panel basado en células de tipo cristalino. Las únicas ventajas de este tipo de células es que permiten su aplicación en paneles flexibles y que son más económicas de fabricar.

8.4. Número de células

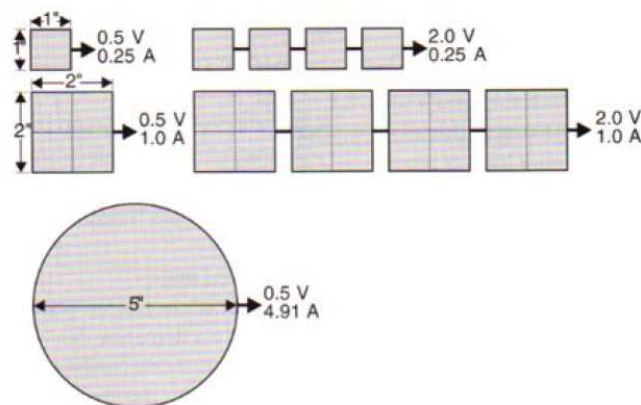
Los paneles normalmente pueden ser de 36, 33 o 30 células. Los paneles con una cantidad superior de células necesitan sistemas de regulación porque alcanzan un voltaje excesivo.



8.5. Potencia y voltaje de salida

Las células fotovoltaicas cristalinas proporcionan un voltaje en circuito abierto de 0,5 voltios aproximadamente, independientemente del tamaño que tengan. La corriente eléctrica que producen es de unos 0,25 amperios por cada pulgada cuadrada de célula.

Las células de un panel se conectan en serie hasta obtener el voltaje deseado, pero al igual que las baterías conectadas en serie, ese conexionado no aumenta su capacidad de generar corriente.



8.6. Fases del día

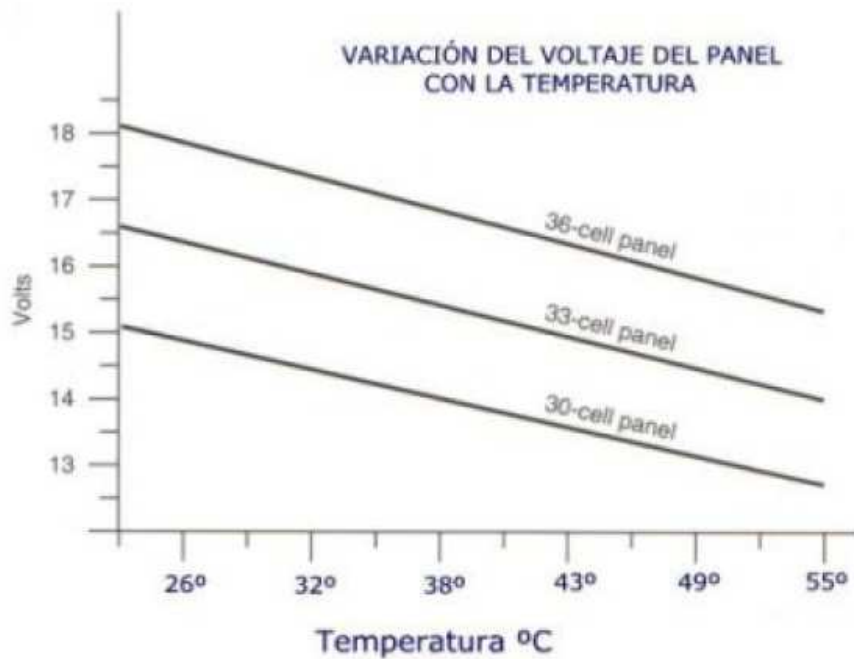
La potencia específica del panel solamente está disponible cuando el sol alcanza su máxima altura y la luz solar incide plenamente y sin ángulo sobre el panel, el resto del día el panel genera una cantidad inferior de corriente. Para aproximar el rendimiento de un panel instalado horizontalmente en un barco, no se puede esperar más que lo que equivale al máximo rendimiento durante cuatro horas; es decir, que un panel que especifica una salida de 5 amperios aportará aproximadamente 20 amperios / hora en un día soleado.

8.7. Temperatura

Las células solares pierden eficacia de voltaje cuando su temperatura aumenta. Por cada aumento de 6º C, el rendimiento disminuye aproximadamente un 3%. No es extraño que un panel solar alcance en verano temperaturas superiores a los 50º C, provocando una reducción del voltaje de un 15%.

8.8. Auto-regulación

Los paneles auto-regulados son los que tienen menos células y por lo tanto producen un voltaje que se puede aplicar directamente para cargar baterías de 12 voltios. Por desgracia, la caída de tensión producida por el aumento de temperatura los vuelve ineficaces comparados con los paneles de 36 células. Por lo tanto, para esta embarcación será mejor paneles con 36 células ya que se tiene previsto navegar en latitudes tropicales o templadas.



8.9. Mantenimiento baterías

Si el barco permanece amarrado varios días, semanas, o incluso meses, un pequeño panel solar puede mantener las baterías plenamente cargadas durante su ausencia, multiplicando por cuatro su vida útil. A diferencia de un cargador de baterías conectado a la toma de tierra, un panel solar no introduce riesgo alguno de fugas de corrientes que producen corrosiones en algunos metales de la embarcación.

8.10. Instalación del panel solar

La orientación del panel depende si la embarcación se encuentra en el puerto o navegando. En el puerto los paneles solares podrían orientarse siguiendo la posición del sol para conseguir el máximo rendimiento a todas horas del día. En cambio, navegando, debido al movimiento aleatorio del barco y a su rumbo variable, la mejor opción consiste en orientar horizontalmente el panel.

En conclusión, en esta embarcación que su principal objetivo es la navegación los paneles se van a orientar de manera horizontal.

8.11. Ubicación

Algunos paneles son demasiado sensibles a la presencia de sombras, incluso una estrecha sombra de un stay o un obenque puede repercutir en una disminución del voltaje de salida. La solución siempre reside en ubicar las placas solares en los lugares donde se tiene garantizada una insolación sin sombras, especialmente en las horas centrales del día.

Por lo tanto, se instalarán en cubierta en los lugares adecuados para evitar sombras y aprovechando las escotillas de la embarcación.

8.12. Ventilación

La temperatura de funcionamiento del panel condiciona considerablemente el voltaje de salida, por lo que un panel bien ventilado o dos paneles con ventilación entre ellos es adecuado para un buen funcionamiento.

8.13. Calibre del cableado

En relación a la corriente de pico que puede proporcionar un panel solar, es conveniente sobredimensionar el cableado utilizado; puesto que con la dificultad de obtener una buena insolación sumada al coste de un panel solar no se desea perder ni una milésima de corriente por culpa de un cable subdimensionado.

8.14. Diodos

Un diodo instalado en la salida “+” del panel permite la circulación de corriente hacia las baterías, y previene que durante la noche haya un flujo de corriente en sentido inverso que podría dañar el panel. Un diodo a la salida de cada panel en instalaciones combinadas proporciona un aislamiento eléctrico entre ellos. No obstante, conviene saber que los diodos causan una pequeña pérdida de voltaje, lo cual es otra razón adicional para usar paneles de 36 células.

8.15. Fusible

Cualquier cable conectado directamente al positivo de una batería debe incorporar un fusible lo más cercano a ésta que sea posible. En otro caso, un cortocircuito en el cable representa un peligro serio de incendio.

8.16. Regulador

Si la salida del panel solar sobrepasa en un 1% la capacidad de la batería se necesita un regulador para prevenir sobrecargas.

8.17. Cálculo panel

Para calcular el panel que se necesita se puede aplicar la fórmula siguiente: Capacidad de baterías expresada en amperios/hora x 0,3% = Corriente de salida x voltaje del panel = Potencia del panel.

Se ha decidido instalar 6 paneles monocristalinos de 36 células con una potencia de 75W cada uno. Cada panel solar se caracteriza por su peso ligero, la resistencia al agua y a la corrosión y con una garantía de 2 años.

Se han colocado los paneles en la parte central de la cubierta encima de la cabina.

A continuación, se puede ver el tipo de panel instalado.



8.18. Impacto medioambiental

El impacto medioambiental generado en este proyecto es bastante bajo gracias a la instalación del sistema híbrido, la incorporación de paneles solares y la energía eólica por la propulsión a vela.

La finalidad de esta embarcación es la navegación a vela, por lo tanto contribuye a una energía verde ilimitada evitando contaminar el medio ambiente.

En el caso de no poder utilizar el viento como recurso, dependiendo de la zona por la que se navegue, se procederá a utilizar el sistema de propulsión. En este caso el sistema híbrido instalado, ofrece la posibilidad de poder utilizar el motor eléctrico en lugar del motor diesel durante la navegación, es un gran avance en cuanto a la disminución de la emisión de gases. Solamente contaminando cuando se utilice el motor diesel que se procurará que sea en el mínimo de casos posibles.

La incorporación de los paneles solares también contribuye a otra fuente de energía verde, por la utilización de la energía solar como recurso natural.

Los únicos desperdicios contaminantes que debería de producir esta embarcación son las aguas sucias. Y en algún caso concreto la utilización del motor diesel, consumiendo combustibles fósiles limitados y emitiendo gases perjudiciales a la atmosfera.

9. Mantenimiento

Las operaciones de mantenimiento se llevan a cabo por la constante amenaza que podría originar un fallo o un error en un sistema, maquinaria o equipo. Existe además una necesidad de optimizar el rendimiento de las unidades y sus componentes, tanto mecánicos como eléctricos y electrónicos, de los procesos dentro de las instalaciones.

El objetivo buscado por el mantenimiento es contar con instalaciones en óptimas condiciones en todo momento, para así poder asegurar una disponibilidad total del sistema.

El mantenimiento debe desempeñarse de forma continua y se debe procurar operar bajo las mejores condiciones técnicas, sin importar las condiciones externas como ruido, polvo, humedad, calor, etc. El mantenimiento además debe estar destinado a dispersos fines.

- Optimizar la producción del sistema.
- Reducir los costos por averías.
- Disminuir el gasto por nuevos equipos.
- Maximizar la vida útil de los equipos.

Los mantenimientos que se llevan a cabo son los siguientes:

Mantenimiento preventivo: En el cual se realizan operaciones de mantenimiento sobre las embarcaciones, cada cierto tiempo, de navegación y de funcionamiento de los aparatos, cumplido, establecidos por los fabricantes y el astillero, de tal forma que garantice el correcto funcionamiento.

Mantenimiento Predictivo: Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar

este mantenimiento, es necesario tener conocimiento de variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos

Mantenimiento correctivo: Se trata de un mantenimiento en el cual se repara, las diferentes piezas o elementos de las embarcaciones en el momento en que dejan de hacer su correcta función. Este tipo de mantenimiento es aquel que se aplica in situ en el momento en que surge una emergencia. No se puede detallar qué se le va a realizar a cada cosa ya que no se sabe qué puede surgir.

9.1. Mantenimiento preventivo

En este tipo de embarcaciones con el sistema híbrido, el mantenimiento que se sigue es el preventivo.

El mantenimiento predictivo se usa más en aparatos mecánicos y el correctivo en el caso de que haya una emergencia y se tenga que actuar in situ.

➤ **Velero**

A la embarcación se le debe aplicar un correspondiente mantenimiento preventivo de tal manera que garantice el buen funcionamiento y fiabilidad manteniendo la calidad de sus materiales y el confort a la hora de navegar.

En este caso la limpieza periódica del casco, para eliminar incrustaciones y aplicar las correspondientes capas de antifouling y patente para evitar el deterioro de la obra viva del casco.

➤ Motor eléctrico

En el motor eléctrico el mantenimiento es casi nulo. Si se hace un buen uso en cuanto a temas de no superar los límites de tensión y corriente, y someterlo a cargas superiores a las establecidas, se puede obtener una larga vida del motor eléctrico.

En los motores de corriente alterna síncronos con rotor de imán permanente o asíncrono con rotor de jaula de ardilla, los únicos elementos que pueden sufrir deterioro son los componentes mecánicos, rodamientos, cojinetes, elementos de sujeción y elementos móviles. Estos según fabricante se les deberá realizar el mantenimiento prescrito, ya sean inspecciones visuales, cambios de piezas mecánicas, cambios de aceite por horas de funcionamiento entre otras.

➤ Baterías

El sistema de baterías es mucho más complejo en el sistema híbrido en comparación a una embarcación propulsada mediante un motor de combustión. Donde las baterías tan solo se encargan de alimentar los sistemas auxiliares y de arranque, mientras que en las embarcaciones propulsadas mediante el sistema híbrido, las baterías son las encargadas según el modo en el que se encuentre el sistema, de alimentar el motor eléctrico.

Por lo que las baterías de dichos sistemas son de dimensiones más grandes, materiales más complejos, de tal forma que otorguen más capacidad y sean más fiables.

Las baterías tienen un escaso mantenimiento, según los materiales que la componen.

El tipo de baterías seleccionado como se ha comentado anteriormente, apenas necesitan mantenimiento, pero al tener problemas de seguridad e inflamabilidad es

necesario un buen aislamiento con materiales estructurales de buenas propiedades, para su empaquetado.

El mantenimiento principal se atañe a la inspección visual y en periodos constantes para asegurarnos de que no haya fugas, o mal funcionamiento.

➤ Panel solar

Un panel solar empieza a generar corriente en el mismo instante en que se expone a la luz solar. Para evitar el riesgo de cortocircuito, se cubre el panel durante su manipulación con un material totalmente opaco. Precaución preventiva.

Normalmente los paneles solares suelen carecer de problemas si permanecen limpios y no reciben maltrato mecánico. Para comprobar el funcionamiento, es necesario realizar medidas de voltaje con el panel desconectado y seguidamente con el panel conectado al circuito de carga. La mayoría de los problemas que pueden surgir tendrán relación con la corrosión en las cajas de conexiones. Es recomendable rellenar con silicona una vez terminado el conexionado como medida preventiva en el mantenimiento de los paneles.

CUADERNILLO 6. JARCIA

1. Introducción	2
2. VPP	3
3. Dimensionamiento de la jarcia.....	8

1. Introducción

Como ya se ha mencionado anteriormente en el segundo cuadernillo, la configuración de velas escogida para esta embarcación se ha compuesto de una mayor, un génova y un gennaker. También se propone instalar un tormentín, que se trata de una vela de menor superficie para navegar en condiciones de viento y ola extremas.

Las área de las velas que se han calculado son las siguientes:

Dimensiones (m)		Áreas (m ²)	
I	25	Mayor	91,88
J	7,35	Génova	95,76
P	25,4	Gennaker	228,22
E	8,25	Tormentín	31,25

El método utilizado requiere que el valor $\frac{I \cdot J}{E \cdot P} \leq 1.6$, en este caso el valor es 0.89, por lo tanto, sí cumple.

Con esta configuración de velas escogida se procede al cálculo de las VPPs para más adelante poder dimensionar el mástil y la jarcia.

2. VPP

En este apartado se realiza el estudio del avance del barco cuando su medio de propulsión es la vela. Para ello se ha empleado otro modulo del programa Maxsurf, en este caso Span, que es un programa de VPP (velocity prediction program). El programa trata de calcular la velocidad de avance del buque con unas condiciones variables en cuanto a fuerza y dirección del viento.

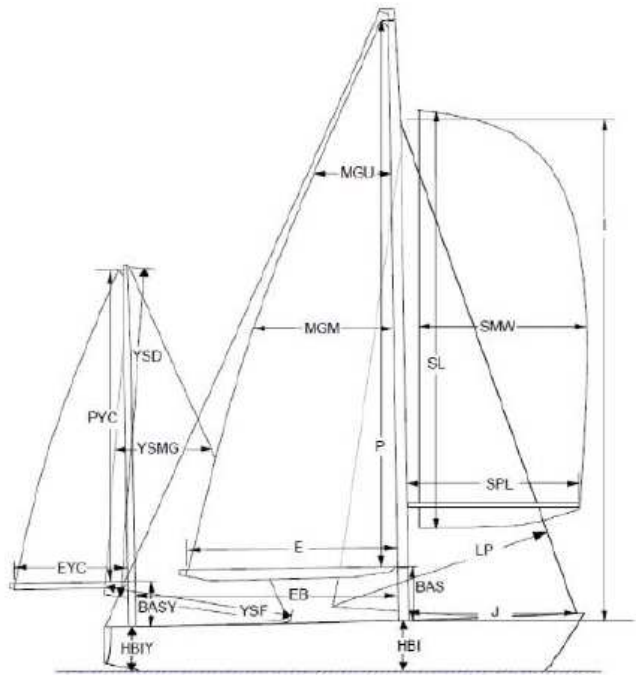
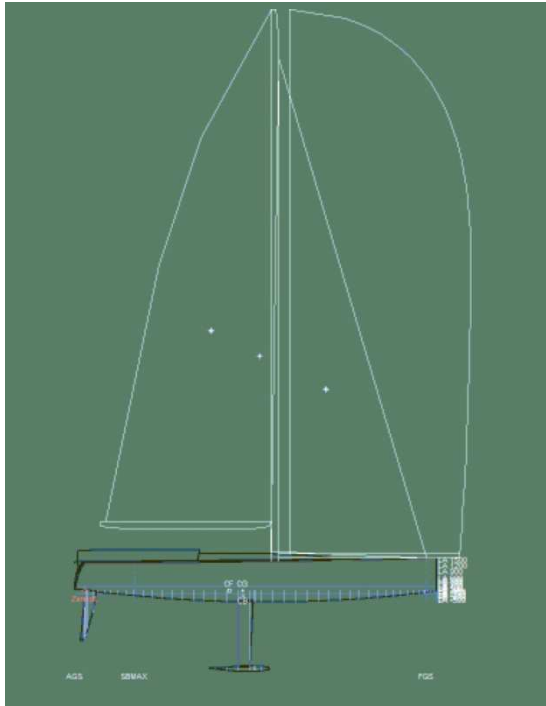
Los cálculos del programa se realizan a través de una iteración, mediante una serie de algoritmos que plantean el equilibrio entre los momentos escorantes y adrizantes debido a los efectos del viento en las velas y al efecto de las formas del casco y los apéndices. Al mismo tiempo también realiza un estudio del equilibrio entre la componente propulsora y la resistencia al avance opuesta estudiada con anterioridad.

Las velocidades vienen expresadas en nudos. Los valores del rizado de la vela no son posibles de obtener en la realidad, de forma que dan una idea cualitativa de si hay o no que tomar rizos en la vela a una velocidad de viento y rumbos determinados.

Los datos se presentan en unas gráficas, que sólo deben ser tomadas como orientación de la velocidad del barco a diferentes rumbos, diferenciando entre el uso del gennaker y el del génova.

Los pasos para el cálculo de las polares son los siguientes:

1. Para la entrada de datos, se añade el modelo en Maxsurf de las formas y superestructura. A continuación, se añaden los datos calculados del aparejo, génova, mayor y gennaker, además de unas dimensiones estimadas de un palo de velero similar.

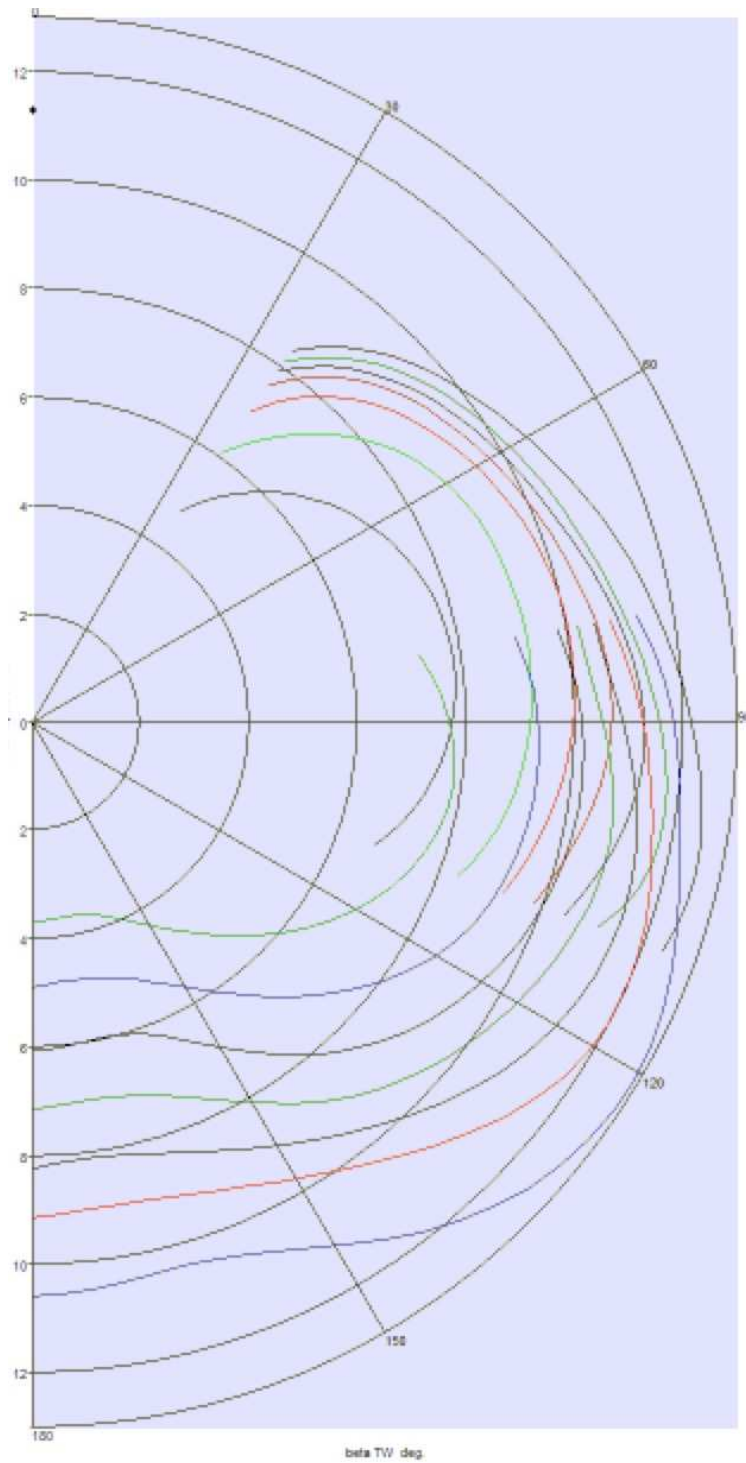


Rig Data ✕

<p>Foresails:</p> <p>I <input type="text" value="25 m"/></p> <p>J <input type="text" value="7.35 m"/></p> <p>LP <input type="text" value="7.35 m"/></p> <p>SPL <input type="text" value="9 m"/></p> <p>SL <input type="text" value="27 m"/></p> <p>SMW <input type="text" value="8.75 m"/></p>	<p>Mast:</p> <p>MDT1 <input type="text" value="0.15 m"/></p> <p>MDL1 <input type="text" value="0.35 m"/></p> <p>MDT2 <input type="text" value="0.1 m"/></p> <p>MDL2 <input type="text" value="0.2 m"/></p> <p>HBI <input type="text" value="1.41 m"/></p> <p>TL <input type="text" value="1.5 m"/></p>	<p>Mainsail:</p> <p>P <input type="text" value="25.4 m"/></p> <p>E <input type="text" value="8.25 m"/></p> <p>MGU <input type="text" value="3.5 m"/></p> <p>MGM <input type="text" value="5.6 m"/></p> <p>BAS <input type="text" value="2 m"/></p> <p><input type="checkbox"/> Full length battens</p>
---	---	---

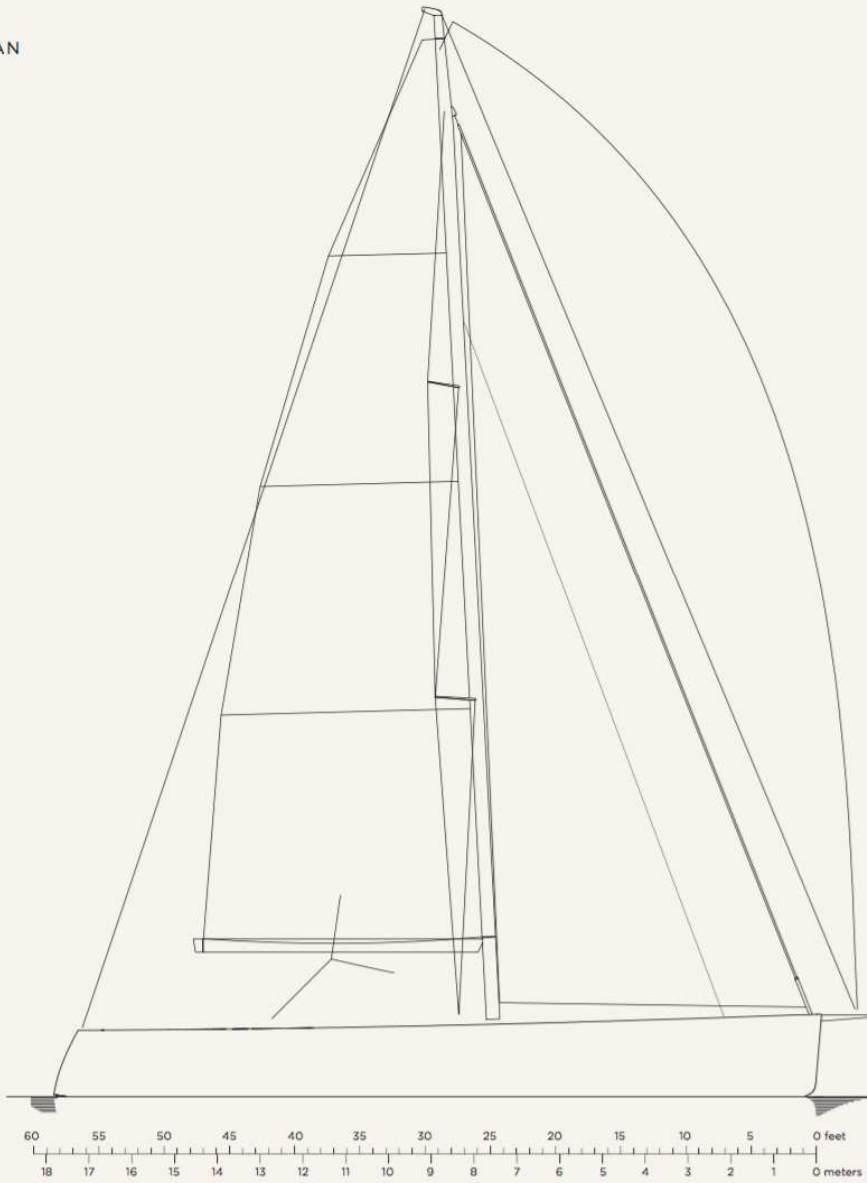
2. Después se indican los rangos de direcciones y velocidades del viento a estudiar, en esta polar se han indicado vientos medios y suaves entre 6 y 20 nudos.

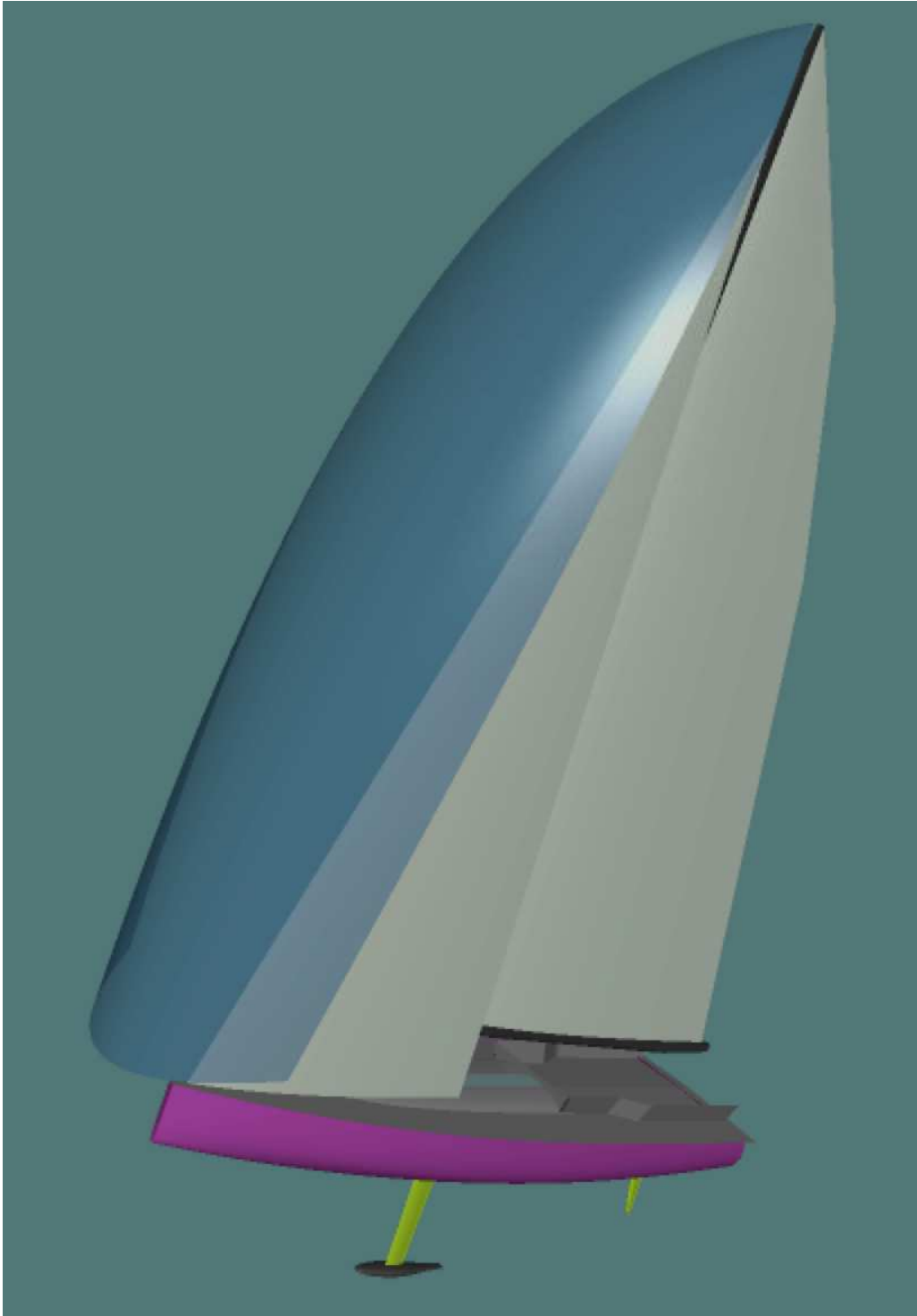
3. Los resultados que se obtienen son las curvas polares del velero.



4. A continuación, se puede observar el plano vélico y el modelado del barco en 3D con sus velas obtenido a través del programa.

SAILPLAN





3. Dimensionamiento de la jarcia

Para poder estudiar las cargas que produce la jarcia, en primer lugar las cargas que produce la jarcia a la hora de dimensionar, y en segundo lugar analizar diferentes opciones de disposición de la misma, para ver cual ofrece un comportamiento mejor estructuralmente.

A continuación, se puede observar un ejemplo de una jarcia parecida a la que se va a dimensionar.

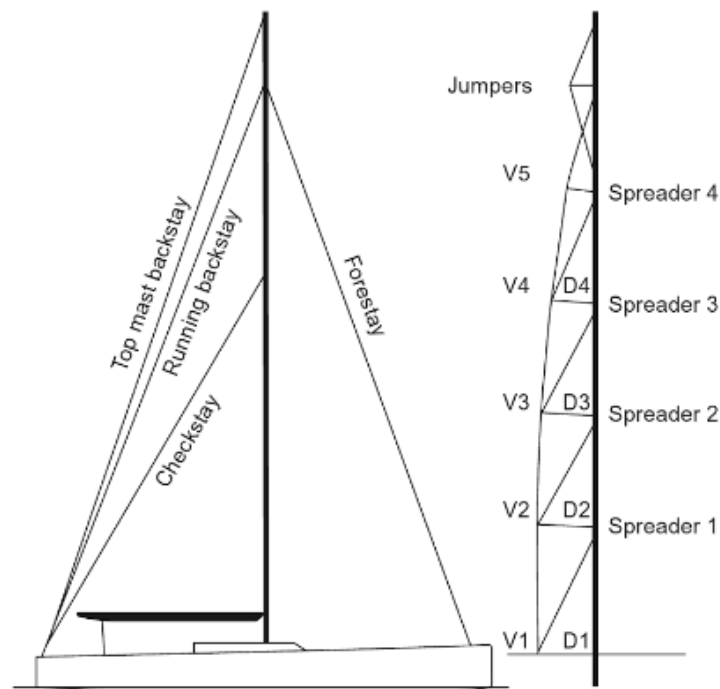


Figure 12.2 A typical modern racing yacht rig (stern at left and bow at right).

Para el cálculo de la jarcia, se combina dos métodos; el descrito por Larsson en su libro y Skene que es un método más viejo que emplea la fórmula de Euler para columnas.

El principio del cálculo de la jarcia es poder equiparar el conjunto del casco y los apéndices, y el correspondiente mástil con las velas. Para ello, se ha utilizado el

método del RM30°, se considera que un ángulo de 30° de escora producido debido al viento es suficiente como para simular una fuerza de viento lo bastante intensa como para dimensionar la jarcia.

Como se puede ver más abajo, las fórmulas se han obtenido del libro *Principles of Yacht Design*.

- G Empty weight of boat [kg]
- Δ Full load weight of boat [kg]
- g Ballast weight [kg]
- B Maximum beam [m]
- L_{OA} Length overall [m]
- A_S Sail area [m²]
- RM Dimensioning righting moment [Nm]
- RM_{30} Righting moment at 30 degrees heeling with empty weight of the boat [Nm]
- RM_1 Righting moment at 1 degree heeling with empty weight of the boat [Nm]
- n Number of persons on board
- F_S Freeboard at mast [m]
- δ_{RM} Additional moment from crew to windward [Nm]
- HA Heeling arm [m]

$$A_M = E \cdot P / 2$$

$$A_F = J \cdot I / 2$$

$$A_S = A_M + A_F$$

If $A_S > RM / (128 \cdot HA)$
the boat is considered to be a sailing boat, and the rig is to be dimensioned accordingly.

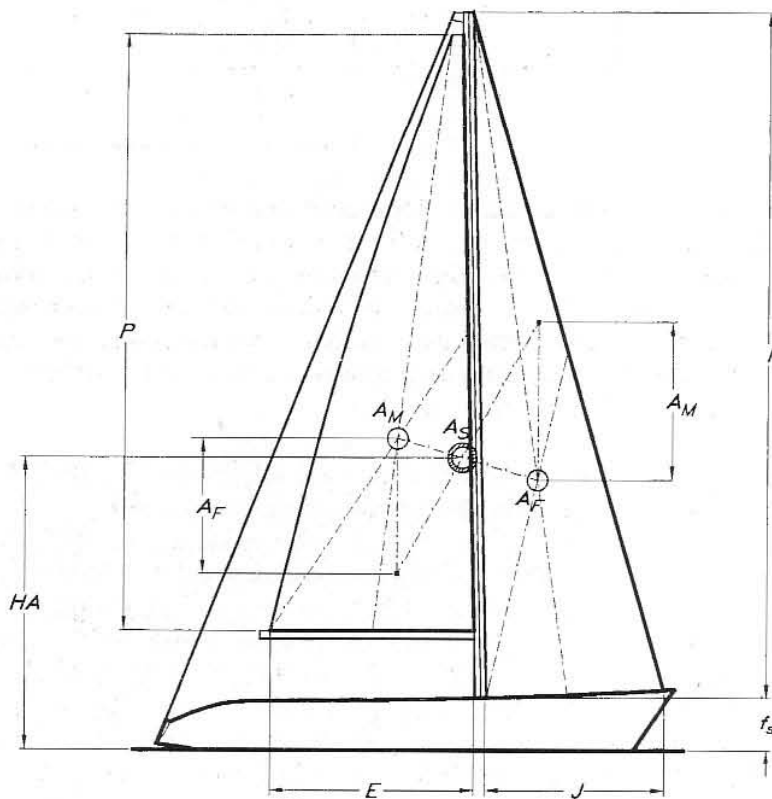
$$\delta_{RM} = 75 \cdot n \cdot (3.4B - 4.9F_S)$$

$$RM = RM_{30} \cdot \Delta / G + \delta_{RM}$$

or

$$RM = 27 \cdot RM_1 \cdot \Delta / G + \delta_{RM}$$

$$RM_{min} = 29 \cdot RM_1$$



3.1. Dimensionamiento del mástil y la jarcia

Primero se calcula la fuerza de compresión en el mástil, que luego servirá para primero calcular la sección requerida, y segundo calcular los esfuerzos realizados por la jarcia.

Para el cálculo del mástil se ha recurrido a Larsson y mediante las relaciones que éste propone, se han construido varias tabla de Excel para obtener todos los cálculos.

A continuación, se puede observar la siguiente tabla con las dimensiones del barco y del palo a tener en cuenta para los cálculos.

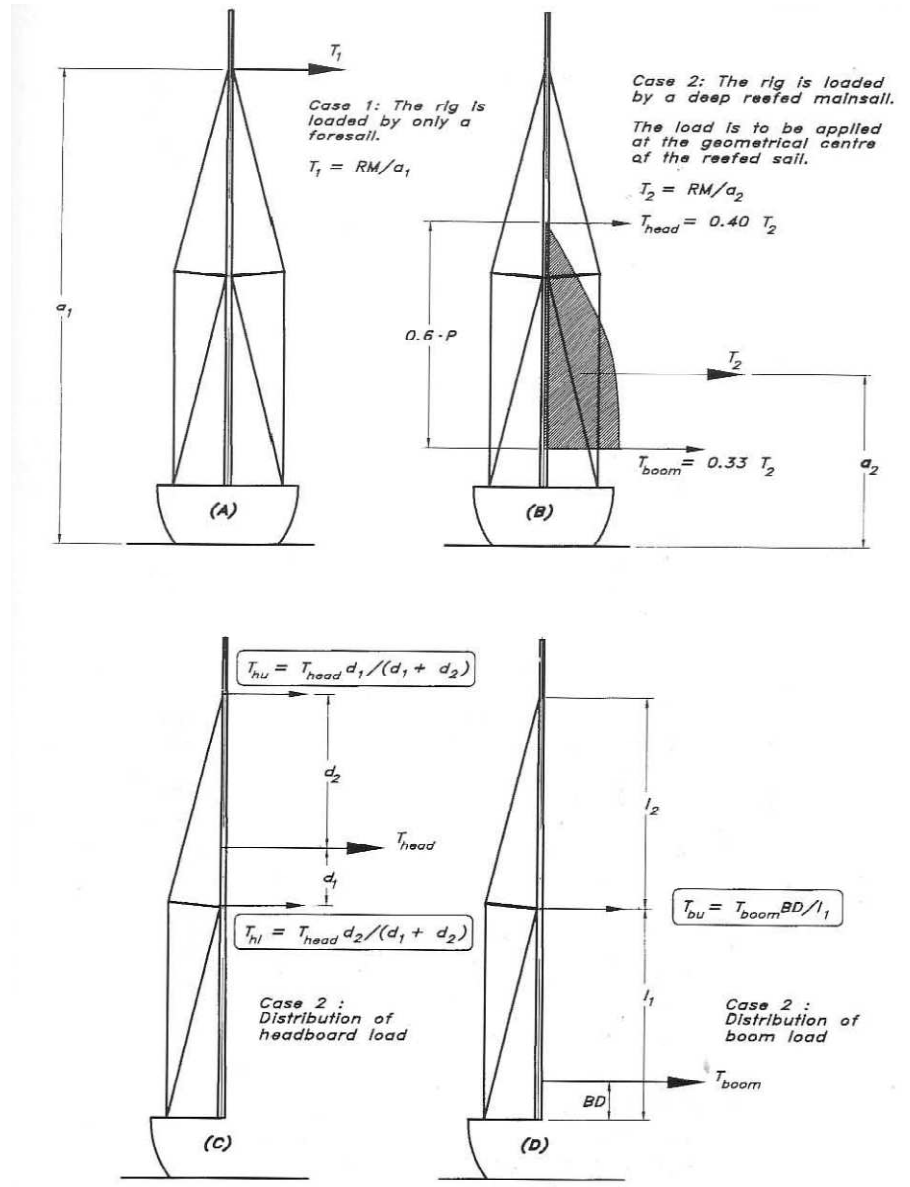
		Dimensions	
LOA	Length overall	18,00	m
B_max	Maximum beam	5,67	m
Lwl	Length waterline (to transom)	17,44	m
Bwl	Waterline Beam	4,72	m
Δ λιγητ	Craft weight light cond	21.000,00	kg
Δ φυλλ	Craft weight full load	25.000,00	kg
n	Crew number on board	16,00	-
Gmt	Righting arm @ 0 heel	0,50	m
MAX Gz @ 58.6	Max Righting arm (@ 66.4 heel)	0,27	m
Ha	Heeling arm	10,89	m
RM @ 1	Righting moment @ 1 heel	13.255,78	Nm
RM @ 30	Righting moment @ 30 heel	261.542,02	Nm
IG	Jib/Genoa Height	25,00	m
J	Jib/Genoa base	7,35	m
P	Mainsail Luff	25,40	m
E	Mainsail Base	8,25	m
Saup	Sail Area upwind	196,65	m ²
Sadn	Sail area downwind	241,93	m ²
Fs	Freeboard @ Main mast	1,41	m
RHA	Heavly reefed mainsail heeling arm	8,90	m
CPW/2	Half Chainplate width	2,56	m
CPY	Mizzen Half Chainplate width	0,00	m
BAD	Boom to deck distance	2,00	m
BH	Backstay height over P	0,20	m

Para el cálculo de la cargas del mástil se analizan dos situaciones:

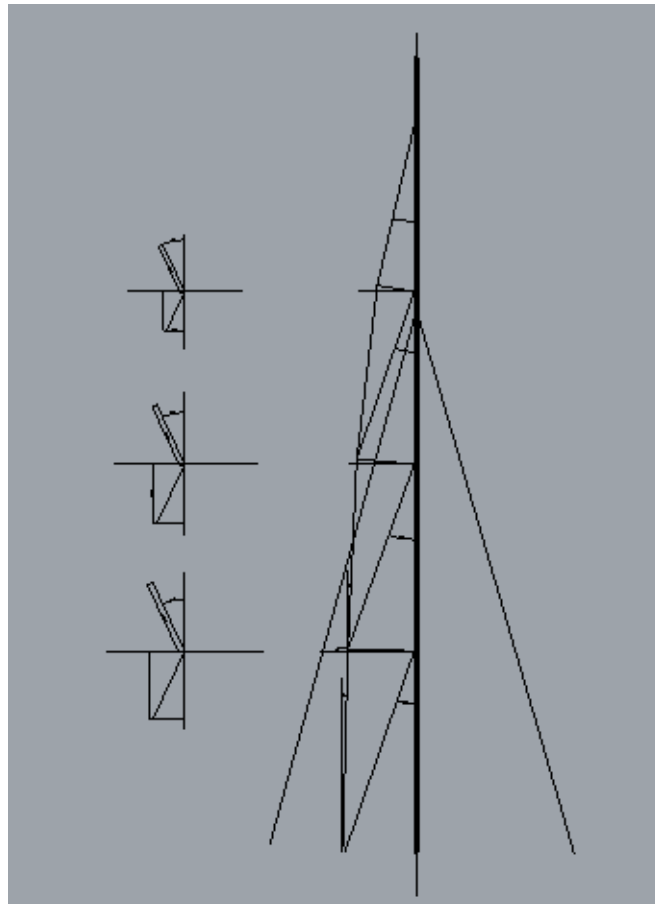
1. Génova izada y mayor arriada.
2. Génova arriada y mayor izada.

Fuerzas de los obenques:

Loadcase scenarios [N]	
T1	12.353
T2	36.654
Thead	14.662
Tboom	12.096
thu	9.139
thl	5.523
tbu	3.456



Finalmente, se deducen los valores de las fuerzas para el caso de tres pares de crucetas y se calculan los ángulos para la configuración diseñada. Se puede observar dicha configuración en la siguiente imagen y los valores calculados en la siguiente tabla.



MAIN MAST			
d1	dist. From Thead to bottom of panel	3,74	m
d2	dist. From Thead to top of panel	2,26	m
β 1	D1 angle	19,00	°
β 2	D2 angle	20,00	°
β 3	D3 angle	19,00	°
γ 1	V1 angle	1,00	°
γ 2	V2 angle	3,00	°
α Φορεσται	Forestay angle	16,00	°
α Βαχκοται	Backstay angle	19,00	°
L1	Panel 1 length	7,00	m
L2	Panel 2 length	6,50	m
L3	Panel 3 length	6,00	m
Ox	upper shrouds point to mainsail upper mark	2,13	m
Oy	forestay point to backstay intersection	3,63	m
Vbl	Vang over boom length	1,10	m
Vml	Vang over mast length	0,95	m
$\delta\Sigma$ 1	spreader 1 horizontal angle	2,00	°
$\delta\Sigma$ 2	spreader 2 horizontal angle	5,00	°
SL1	lower spreader length	2,62	m
SL2	upper spreader length	2,28	m

El material escogido para el mástil y la jarcia es la fibra de carbono, el mismo que en el casco y los apéndices.

En el caso del presente proyecto, se ha decidido emplear jarcia de barra Nitronic dando un compromiso entre diámetro de barra y performance. Hoy en día existen otros materiales para la jarcia, pero hay poca información sobre ellos.

Los obenques van unidos a los cadenotes, mediante un tensómetro, cabe mencionar que la estructura se refuerza en esas zonas. También se han dispuesto los stays de proa y popa para seguir con los cálculos de la jarcia.

En la siguiente imagen, se puede apreciar un ejemplo de la unión de de los obenques con la cubierta.



Mediante el método de Skene, se obtienen las cargas de los obenques y los stays como se puede observar en la tabla de más abajo. Y a partir de esta tabla se obtienen las inercias transversales y longitudinales.

RIGGING SKENE'S METHOD											
	V1	V2	V3	D1	D2	D3	D4	Forestay	Backstay	Inner Forestay	Runners
DESIGN LOADS (Kg)	24121	16080	16080	21441	7309	5847	12182	26801	18322	20101	10525
ROD SIZE (DASH)	60	40	40	60	17	15	30	60	48	48	30
ROD SIZE (mm)	16,76	12,7	12,7	16,76	8,38	7,52	11,1	16,76	14,27	14,27	11,1
BREAKING LOAD (Kg)	27200	17200	17200	27200	7940	6460	13600	27200	21800	21800	13600
ROD WEIGHT (KG/m)	1,735	0,996	0,996	1,735	0,434	0,35	0,761	0,1735	1,258	1,258	0,761
WIRE LENGTH (m)	7,08	6,6	6,084	7,4	6,821	6,16	5,708	26,12	30,47	20,058	20,93
WEIGHT OF ROD	12,28	6,57	6,06	12,84	2,96	2,16	4,34	4,53	38,33	25,23	15,93
WEIGHT OF COMPLETE SHROUD	15,04	7,08	6,56	14,66	3,25	2,17	4,36	7,94	39,75	28,64	17,34
TOTAL WEIGHT	30,09	14,16	13,13	29,33	6,50	4,34	8,71	15,88	39,75	57,29	34,69

material & rig type coefficients		
Mast material		Carbon Fiber
material modulus	Mpa	80.000,00
material factor		0,88
yield strength	Mpa	300,00
k1 panel 1	mast type factor 1	3,24
k1 panel 2 & 3	mast type factor 2	3,35
k2	staying factor	0,95
k3	mast deck factor	1,35

panel compression loading [N]	
PT1	191144,805
PT2	154566,248
PT3	53325,164

Transverse inertias required [cm4]	
Ix1	2674,254
Ix2	1927,904
Ix3	566,733

Longitudinal inertia required [cm4]	
Iy	13502,029

upper mast section modulus [cm3]	
Smx	218,337
Smy	289,531

gooseneck forces [N]	
Fv	137452,444
Fh	135378,212

Boom Section modulus required [cm3]	
Boom vertical modulus	428,370
Boom horizontal modulus	214,185

spreaders		
I lower spreader	cm4	0,807
I upper spreader	cm4	0,544
SM lower spreader	cm3	47,384
SM upper spreader	cm3	45,982
Lower spreader moment	Nm	14215,115
upper spreader moment	Nm	13794,527

Desing Inertias [cm4]	
Mast Section	BOHN 22173
transversal	307,00
longitudinal	746,00

CUADERNILLO 7. CÁLCULO DEL ESCANTILLONADO

1. Materiales	2
2. Aplicación de la normativa	3
3. Descripción de la estructura y del escantillonado	4

1. Materiales

Para el cálculo del escantillonado, lo primero a definir son los materiales. Puesto que se trata de un barco de crucero regata, se ha optado desde un primer momento en hacer el barco en fibra de carbono, con resinas epoxy. En cuanto a la construcción, se utilizan fibras de vidrio unidireccionales (UD), salvo en alguno lugares como en el pegado de la estructura y los mamparos donde se utilizaran bidireccionales (BD), por sus mejores prestaciones al corte respecto de los UD. Tanto casco como cubierta son de tipo sándwich, empleándose núcleos de SAN o PVC, indistintamente, puesto que sus propiedades mecánicas con similares. Para el casco, el núcleo es de 100kg/m^3 , y en la cubierta se emplea en su versión de 80kg/m^3 .

A continuación, se puede ver un ejemplo de un panel de fibra de carbono unidireccional.



2. Aplicación de la normativa

Para el cálculo del escantillonado se utiliza el estándar ISO 12215:2008. Aunque este estándar no es para barcos dedicados exclusivamente a regata donde se emplean métodos de cálculo directo y/o elementos finitos. Para barcos de prestaciones medianas, es un buen estándar, ya que permite espesores menores, con la consiguiente reducción de peso.

De acuerdo con la convención SOLAS y además para un buen diseño mariner, el mamparo proa debe situarse a no más del 5% de la LOA hacia popa.

Para facilitar los cálculos, las tablas Excel que se han empleado para el escantillonado mediante la normativa ISO, se han obtenido directamente de una empresa de diseño de yates.

Seguidamente, se han introducido los datos de la embarcación proyecto, las tablas se pueden ver al final del presente cuadernillo.

3. Descripción de la estructura y del escantillonado

El casco es sólido en la zona de la quilla, y en la pestaña de pegado de la cubierta. Ambos elementos están pegados con adhesivo estructural, asegurando una unión firme y estable.

La estructura del barco también es en carbono, utilizando bidireccionales en los costados de la estructura y en la regala unidireccionales. Eso da una estructura liviana y súper rígida. Siendo la embarcación de construcción única, se ha decidido utilizar estructura de tipo trapezoidal, siendo mas fácil su laminación. El relleno de ésta es de espuma de poliuretano de baja densidad (40kg/m^3) ya que esta no contribuye a la rigidez de la estructura.

El casco se ha reforzado con un longitudinal en la zona de la quilla y con dos longitudinales a sus costados. Se han dividido los paneles con la estructura transversal, que pueden ser mamparos y varengas, dependiendo de la ubicación de éstos.

Después de realizar la división por paneles del casco, se verifica que el panel más solicitado del fondo es el panel B4, justo al costado del mástil. Al ser el panel más solicitado, se puede inferir que los paneles adyacentes tendrán solicitaciones menores, con lo cual se ha dimensionado el laminado del barco usando este panel como referencia.

Siendo un laminado en sándwich, es de gran importancia la resistencia de corte del núcleo, ya que siendo las pieles en carbono, es el núcleo el que definirá el espesor del casco.

En el caso del panel antes mencionado, podemos cumplir con todos los requisitos utilizando fibras de carbono lo más finas posibles, siendo la externa de alrededor de 3 mm de espesor, y la interna de 1.7 mm de espesor. Con estas fibras y las propiedades antes mencionadas del núcleo empleado, resulta que el espesor efectivo necesario del laminado entero no podrá ser menor de 27 mm. Con lo que se ha dimensionado el espesor del núcleo, fijándolo en 25 mm.

Cabe mencionar que en el escantillonado no se tienen en cuenta espesores extra que podrían surgir, producto de la producción del barco que contribuyen a la rigidez de los paneles y por lo tanto a la rigidez del barco.

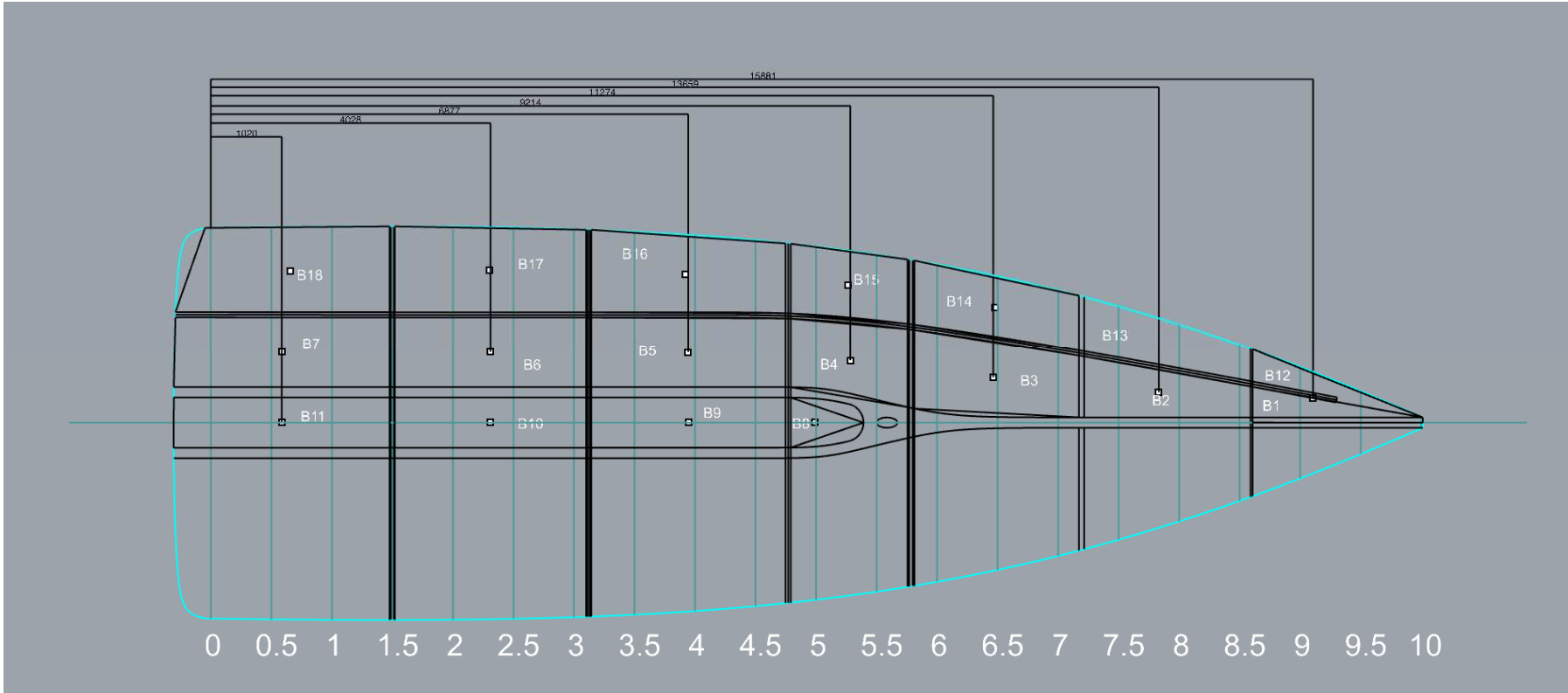
En cuanto al costado del barco, para poder tener una estructura lo más abierta posible, y así favorecer el espacio interno del barco, además de reducir los costos, se ha empleado núcleo también de 100kg/m^3 pero reduciendo el espesor de las fibras. El panel más solicitado del costado del barco, el S1, tiene laminados iguales al B4, ya que se trata de la zona de mayor impacto con las olas del barco, pero éstos se van reduciendo a medida que se avanza hacia la popa.

En cuanto a la cubierta, los requerimientos estructurales propuestos por la normativa ISO 12215:2008, son muy bajos, por lo que se puede optar por paneles más grandes. Es decir, que la cubierta sea sólo sostenida por los mamparos del barco. En este caso, el panel más solicitado de la cubierta es el DW2, correspondiente con el panel de proa de la carroza, y como se puede ver en los resultados de las tablas, se cumple de sobremanera con los requerimientos. Para hacer más liviana la cubierta, se ha empleado un núcleo de 80kg/m^3 , pero manteniendo el espesor de 20 mm, para que sea lo más rígida posible. En las zonas de altas cargas como son los winches y las cornamusas se han utilizado núcleos de mayor densidad, o llegado el caso, se podría hacer un laminado sólido, haciendo especial atención a la transición entre los dos tipos de núcleo (carbono sólido y espuma de PVC) para no concentrar cargas puntuales.

En cuanto a la estructura se ha empleado una estructura simple y abierta, identificándose el longitudinal de proa como el más solicitado, caso que como se ve, es repetido en el barco, puesto que ésta es la zona donde el barco dará los pantocazos.

Se ha seleccionado la estructura la forma de tipo sombrero de copa, por su simplicidad para el cálculo, y además su facilidad en producción. Para mantener la altura lo más acotada posible, se utiliza una base ancha, y además se utilizan gran cantidad de telas en el capping (o corona) de la estructura, dando así buenas propiedades mecánicas.

A continuación se puede observar, el modelo con el diseño de la estructura descrita.



project name	Velero crucero-regata de 60 pies
--------------	----------------------------------

Data required for Sailing Craft scantling

		Metric		Imperial	
LOA	Length overall	18	m	59,06	ft
B_max	Maximum beam	5,67	m	18,60	ft
Lwl	Length waterline (to transom)	17,44	m	57,22	ft
Bwl	Waterline Beam	4,72	m	15,49	ft
Bpx	Chine beam	4,72	m	15,49	ft
Lp	Projected chine length (to trsm)	18,00	m	59,06	ft
LCG	Longitudinal center of gravity	7,87	m	25,82	ft
LCG / Bpx	Gzmax < 60	1,45	m	4,75	ft
β (avge)	Deadrise angle (average)	10,0	°	10,0	°
Δ	Craft weight (as per weights table)	21.000	kg	46.256	lb
∇	Displ. Volume (fresh water)	21,00	m3	742,46	ft3
d	Hull draft	0,59	m	1,94	ft
V	Top speed	10	knts	32,8	ft^2
RA	rudder Area	1,31	m2		

ISO 12-215 General Coefficients & Data			
Vs	Service speed	10	knts
Kdc	Design category factor table 2	1	
Ncg	Dynamic Load factor as per 7.3.3	3,00	
Ar	Reference area	31,75	
Ksls	Light and stable slamming factor as per 7.8	1,00	
PBS Base	Sailing craft botom pressure as per 8.2.1	73,18	kN/m2
PDS Base	Base planning botom pressure as per 8.2.3	25,79	kN/m2
ksea	rudder design category factor as per 7.2	1,4	
Kld	rudder slender craft factor as per 7.2	6,373549124	
kgap	rudder hull gap factor as per 7.2	1	
kuse	rudder usage factor as per 7.2	1	
kmat	matteredial coefficient table 2	0,75	
klc	load case coefficient table 3		

Hull Shell material Data			
Single Skin (solid)		Hull Bottom	
Reinforcing fiber	Carbon fiber	Type	Mfoam 100
Type of reinforcing	UD	density	107,5 kg/m3
ψ	0,55	σc	1,55 N/mm2
σut	1016	Ec core	76 N/mm2
σuc	784,6	τu	1,45 N/mm2
σuf	761,9	Gc core	41 N/mm2
τu	124,3	Shear elongation	52 %
E	103650	Hull Topside & deck	
G	6070	Type	Mfoam 100
Material Data (sandwich)		density	107,5 kg/m3
σo	508,00	σc	1,55 N/mm2
σi	392,30	Ec core	76 N/mm2
Ec Avge	7150	τu	1,45 N/mm2
Et avge	7950	Gc core	41 N/mm2
Etc	7550,00	Shear elongation	52 %

Hull Structure material Data			
Single Skin (solid)		Core Data	
Reinforcing fiber	Carbon fiber	Type	Mfoam 80
Type of reinforcing	Double Bias +- 45	density	85 kg/m3
ψ	0,6	σc	1,02 N/mm2
σut	507,702	Ec core	52 N/mm2
σuc	352,96	τu	1,09 N/mm2
σuf	404,6	Gc core	29 N/mm2
τu	83,253	Shear elongation	58 %
E	46390		
G	5400		
Material Data (sandwich)		σo	253,85
		σi	176,48
Ec Avge	7150		
Et avge	7950		
Etc	7550,00		

Rudder material Data			
Single Skin (solid)		Rudder core	
Reinforcing fiber	Carbon fiber	Type	Mfoam 80
Type of reinforcing	UD	density	107,5 kg/m3
ψ	0,6	σc	1,55 N/mm2
σut	1016	Ec core	76 N/mm2
σuc	784,6	τu	1,45 N/mm2
σuf	761,9	Gc core	41 N/mm2
τu	124,3	Shear elongation	52 %
E	103650		
G	6070		
Material Data (sandwich)		σo	508,00
		σi	392,30
Ec Avge	7150		
Et avge	7950		
Etc	7550,00		

Core Thickness	mm	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	20,000	20,000	20,000
total thickness	mm	29,770	29,770	29,770	29,770	29,770	29,770	29,770	29,770	24,770	24,770	24,770
Neutral Axis	mm	15,193	15,193	15,193	15,193	15,193	15,193	15,193	15,193	12,676	12,676	12,676
d outer	mm	13,066	13,066	13,066	13,066	13,066	13,066	13,066	13,066	10,584	10,584	10,584
d inner	mm	14,319	14,319	14,319	14,319	14,319	14,319	14,319	14,319	11,801	11,801	11,801
d neutral axis	mm	0,944	0,944	0,944	0,944	0,944	0,944	0,944	0,944	0,927	0,927	0,927
z outer	mm	14,577	14,577	14,577	14,577	14,577	14,577	14,577	14,577	12,094	12,094	12,094
z inner	mm	15,193	15,193	15,193	15,193	15,193	15,193	15,193	15,193	12,676	12,676	12,676
SM design outer skin	cm3	1,685	1,685	1,685	1,685	1,685	1,685	1,685	1,685	1,199	1,199	1,199
SM design inner skin	cm3	1,537	1,537	1,537	1,537	1,537	1,537	1,537	1,537	1,075	1,075	1,075
I design	cm4	2,201	2,201	2,201	2,201	2,201	2,201	2,201	2,201	1,269	1,269	1,269
Effective thickness	mm	27,385	27,385	27,385	27,385	27,385	27,385	27,385	27,385	22,385	22,385	22,385
Design shear load capabilities	-	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

Side panels

location code	Side panel
s	transom panel
t	

Panel ID			s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	transom
Location	unit	rule #								
distance from transom	m		15,942	13,659	11,274	9,214	6,877	4,028	1,020	-0,351
Percentile	-		0,914	0,783	0,646	0,528	0,394	0,231	0,058	-0,020
Span	mm		1791,000	1982,000	2045,000	2082,000	2139,000	2016,000	1797,000	1086,000
Length	mm		2640,000	2512,000	2478,000	1782,000	2880,000	2832,000	2940,000	3674,000
Curvature	mm		180,000	280,000	321,000	354,000	434,000	452,000	423,000	157,000
h	mm	7,6	723,000	534,000	433,000	385,000	331,000	334,000	431,000	410,000
z	mm	7,6	1800,000	1800,000	1800,000	1800,000	1800,000	1800,000	1800,000	1800,000
Kz	-	7,6	0,598	0,703	0,759	0,786	0,816	0,814	0,761	0,772
Aspect ratio	-		1,474	1,267	1,212	0,856	1,346	1,405	1,636	3,383
Ad	m2		4,728	4,979	5,068	3,710	6,160	5,709	5,283	2,948
Ad/Ar	-		0,149	0,157	0,160	0,117	0,194	0,180	0,166	0,093
u	-		14,892	15,681	15,960	11,685	19,402	17,982	16,640	9,286
kar	-		0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
kl	-		1,000	1,000	1,000	0,571	0,578	0,586	0,594	0,598
kc	-		0,765	0,630	0,577	0,534	0,500	0,500	0,500	0,619
Kshc	-		0,420	0,390	0,380	0,306	0,402	0,411	0,439	0,500
k1	-		0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
k2	-		0,449	0,404	0,388	0,308	0,424	0,436	0,472	0,479
k3	-		0,024	0,020	0,019	0,014	0,022	0,023	0,026	0,028
k4	-		0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
k5	-		0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
k6	-		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Panel Design Pressures										
PSS	kN/m2	8.1.5	10,654	10,260	10,049	5,684	5,683	5,763	5,965	5,976
PSS min	kN/m2	8.1.5	24,416	24,416	24,416	24,416	24,416	24,416	24,416	24,416
Single Skin (isotropic)										
Min req'd single skin Thickness	mm		6,370	5,499	5,098	4,276	4,827	4,617	4,281	3,225
Minimal dry fibre weight	kg/m2		2,182	2,182	2,182	2,182	2,182	2,182	2,182	2,182
Sandwich Laminate (isotropic)										
SM required outer skin	cm3/cm		0,068	0,050	0,043	0,030	0,039	0,036	0,031	0,017
SM required inner skin	cm3/cm		0,167	0,124	0,107	0,075	0,096	0,088	0,075	0,043
I required	cm4/cm		0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000
thickness required by shear capabilities	mm		22,173	20,644	19,899	15,691	20,494	19,725	18,773	14,383

Data required for ISO scantlings	
Deck Panels	
project name	Velero crucero-regata de 60 pies

location code	
dw	working deck panel
ct	cabin top panel
cp	cockpit floor panel

Panel ID			dw1	dw2	dw3	dw4	dw5
Item	unit	rule #					
distance from AP	m		15,918	12,256	7,741	4,064	1,142
Percentile	-		0,913	0,703	0,444	0,233	0,065
Span b	mm		2116,000	4681,000	5577,000	5673,000	5673,000
Length l	mm		2450,000	4819,000	4654,000	2800,000	3032,000
Curvature c	mm		28,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Aspect ratio	-		1,158	1,029	0,834	0,494	0,534
Ad	m2		5,184	22,558	25,955	15,884	17,201
Ad/Ar	-		0,163	0,710	0,817	0,500	0,542
kar	-		0,628	0,500	0,500	0,500	0,500
kl	-		1,000	1,000	0,575	0,585	0,593
kc	-	10.1.3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Kshc	-	10.5.4	0,371	0,345	0,301	0,208	0,220
k1	-	10.1.1	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
k2	-	10.1.2	0,370	0,321	0,308	0,308	0,308
k3	-	10.1.2	0,018	0,015	0,014	0,014	0,014
k4	-	10.5.6	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700
k5	-	10.5.6	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
k6	-	10.5.6	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Panel Design Pressures (Sailing)							
PBS min	kN/m2		16,192	12,897	7,420	7,550	7,654
PBS	kN/m2		5,000	5,000	5,000	6,000	5,000
Single Skin (isotropic)							
Min req'd single skin thickness	mm		0,689	1,018	0,634	0,265	0,306
Minimal dry fibre weight	kg/m2		2,554	2,554	2,554	2,554	2,554
Sandwich Laminate (isotropic)							
SM required outer skin	cm3		0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
SM required inner skin	cm3		0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
I required	cm4		0,401	1,966	0,676	0,049	0,075
thickness required by shear capabilities	mm		0,566	0,856	0,444	0,226	0,255
minimum skin fibre mass outer	kg/m2		1,193	1,193	1,193	1,193	1,193
minimum inner skin fibre mass inner	kg/m2		0,835	0,835	0,835	0,835	0,835
minimum core shear strength	n/mm2		0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
Design laminate (solid)							
Solid single skin design thickness	mm		3,475	3,475	3,475	3,475	3,475
Design dry fibre weight	kg/m2		2,460	2,460	2,460	2,460	2,460
Design Laminte (sandwich)							
Thickness outer skin	mm		1,722	1,722	1,722	1,722	1,722
Thickness inner skin	mm		1,328	1,323	1,323	1,323	1,323
Core Thickness	mm		20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
total thickness	mm		23,050	23,045	23,045	23,045	23,045

proyect name Velero crucero-regata de 60 pies

Data required for ISO scantlings
Internals

Stiffener ID			L1	L2	L3	L4	L5	L6	BS1	BS2	BS3	BS4	BS5
Item	unit	rule #											
distance from transom	m		9,902	14,266	7,922	6,250	4,584	2,100	9,655	7,953	6,310	4,524	2,135
Percentile			0,568	0,818	0,454	0,358	0,263	0,120	0,554	0,456	0,362	0,259	0,122
Short Dimension S	mm		758,000	1929,000	668,000	1101,000	1135,000	723,000	665,000	942,000	1007,000	1071,000	960,000
unsupported length lu	mm		883,000	4844,000	1891,000	1508,000	1953,000	3007,000	1756,000	1848,000	1586,000	1953,000	2992,000
Crown Curvature cu	mm		2,000	10,000	59,000	1,000	12,000	28,000	14,000	23,000	20,000	35,000	47,000
Aspect ratio			1,165	2,511	2,831	1,370	1,721	4,159	2,641	1,962	1,575	1,824	3,117
Ad	m2	7.5.1	1,949	58,661	8,940	5,685	9,536	2,174	7,709	8,538	6,288	9,536	2,872
Ad/Ar			0,061	1,848	0,282	0,179	0,300	0,068	0,243	0,269	0,198	0,300	0,090
kar		7.5.1	0,300	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
kr		7.5.1	0,823	0,031	0,622	0,698	0,609	0,399	0,649	0,630	0,683	0,609	0,402
kl			0,973	1,000	0,879	0,799	0,720	0,601	0,961	0,880	0,802	0,717	0,603
kcs		11.2.1	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Ksa		11.2.2	0,373	0,500	0,500	0,429	0,481	0,500	0,500	0,496	0,465	0,489	0,500
K1s			0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Stiffener Design Pressures (Sailing)													
PBS min	kN/m2		33,757	33,757	33,757	33,757	33,757	33,757	33,757	33,757	33,757	33,757	33,757
PBS	kN/m2		58,640	2,283	39,987	40,838	32,090	17,535	45,647	40,608	40,068	31,963	17,716
Stiffener required dimensioning													
Web Area	cm2	11.4.1	0,352	3,789	0,607	0,699	0,864	0,882	0,640	0,842	0,714	0,829	1,165
Section Modulus	cm3	11.4.1	5,688	250,783	15,677	16,782	23,986	36,221	15,363	21,442	16,658	22,634	47,616
Inertia required	cm4	11.4.2	1,213	293,322	7,158	6,111	11,311	26,299	6,514	9,568	6,379	10,673	34,400
Stiffener design Dimensions													
Stiffener type			top hat	top hat	top hat	top hat	top hat	top hat	top hat	top hat	top hat	top hat	top hat
h (height)	cm		20,000	15,000	20,000	20,000	20,000	20,000	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500
d (flange width)	cm		8,500	10,000	8,500	8,500	8,500	8,500	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
w (base width)	cm		8,500	15,000	8,500	8,500	8,500	8,500	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
tw (web thickness)	cm		0,553	0,553	0,553	0,553	0,553	0,553	0,308	0,308	0,308	0,308	0,308
tf (flange thickness)	cm		1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	0,538	0,538	0,538	0,538	0,538
t hull shell (be)	cm		0,305	0,305	0,305	0,305	0,305	0,305	0,305	0,305	0,305	0,305	0,305
Effective Width	cm	11,6	14,590	21,090	14,590	14,590	14,590	14,590	11,090	11,090	11,090	11,090	11,090
h/tw		table 20	36,173	27,130	36,173	36,173	36,173	36,173	24,351	24,351	24,351	24,351	24,351
d/tf		table 20	8,395	9,877	8,395	8,395	8,395	8,395	7,438	7,438	7,438	7,438	7,438
Web Area	cm2		22,116	16,587	22,116	22,116	22,116	22,116	4,620	4,620	4,620	4,620	4,620
d (dist.eje neut.)	cm		11,577	8,729	11,577	11,577	11,577	11,577	3,568	3,568	3,568	3,568	3,568
SM_base (cm3)	cm3		324,426	276,084	324,426	324,426	324,426	324,426	35,334	35,334	35,334	35,334	35,334
SM_corona	cm3		441,711	379,280	441,711	441,711	441,711	441,711	32,292	32,292	32,292	32,292	32,292
I (cm4)	cm4		3854,826	2493,984	3854,826	3854,826	3854,826	3854,826	136,817	136,817	136,817	136,817	136,817

Side Stiffeners

Stiffener ID			SS1	SS2	SS3	SS4	SS5
Item	unit	rule #					
distance from transom	m		9,070	8,707	6,336	4,530	2,105
Percentile			0,520	0,499	0,363	0,260	0,121
Short Dimension S	mm		780,000	630,500	997,000	1013,000	746,000
unsupported length lu	mm		1789,000	1773,000	1728,000	1954,000	2981,000
Crown Curvature cu	mm		36,000	13,000	25,000	25,000	49,000
h	mm	7,6	765,000	667,000	382,000	314,000	508,000
z	mm	7,6	1600,000	1600,000	1600,000	1600,000	1600,000
Kz		7,6	0,522	0,583	0,761	0,804	0,683
Aspect ratio			2,294	2,812	1,733	1,929	3,996
Ad	m2	7.5.1	8,001	7,859	7,465	9,545	2,224
Ad/Ar			0,252	0,248	0,235	0,301	0,070
kar		7.5.1	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
kr		7.5.1	0,642	0,645	0,654	0,609	0,404
kl			0,934	0,916	0,803	0,717	0,601
kcs		11.2.1	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Ksa		11.2.2	0,500	0,500	0,482	0,495	0,500
K1s			0,050	1,050	2,050	3,050	4,050
Stiffener Design Pressures							
PSS	kN/m2	8.1.5	5,107	4,907	4,033	3,543	3,109
PSS min	kN/m2	8.1.5	24,416	24,416	24,416	24,416	24,416
Stiffener required dimensioning							
Web Area	cm2	11.4.1	0,409	0,328	0,487	0,574	0,652
Section Modulus	cm3	11.4.1	10,004	7,943	11,930	15,500	26,566
Inertia required	cm4	11.4.2	4,321	0,162	0,121	0,120	0,236
Stiffener design Dimensions							
Stiffener type			top hat	top hat	top hat	top hat	top hat
height	cm		5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
b crown	cm		4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
b base	cm		5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
t sides	cm		0,308	0,308	0,308	0,308	0,308
t crown	cm		0,538	0,538	0,538	0,538	0,538
t hull shell	cm		0,305	0,305	0,305	0,305	0,305
Effective Width	cm	11,6	11,090	11,090	11,090	11,090	11,090
h/tw		table 20	16,234	16,234	16,234	16,234	16,234
d/tf		table 20	7,438	7,438	7,438	7,438	7,438
Web Area	cm2		8,28	8,28	8,28	8,28	8,28
d (dist.eje neut.)	cm		2,412	2,412	2,412	2,412	2,412
SM_base (cm3)	cm3		20,080	20,080	20,080	20,080	20,080
SM_corona	cm3		18,861	18,861	18,861	18,861	18,861
I (cm4)	cm4		54,552	54,552	54,552	54,552	54,552

Data required for ISO scantlings

Bulkheads & Tanks Pannels, Stiffeners

proyect name

Velero crucero-regata de 60 pies

Bulkhead ID			WB1	B2	B3	B4
Item	unit	rule #				
distance from AP	m		11,135	9,641	7,957	7,958
Percentile	-		0,638	0,553	0,456	0,456
Span b	mm		1388,000	3421,000	3471,000	4124,000
Bulkhead Height	mm		1967,000	2390,000	2414,000	1374,000
Curvature c	mm		26,487	0,000	0,000	0,000
Water Head Hb	-		1,311	1,593	1,609	0,916
Kshc	-	10.5.4	0,413	0,266	0,265	0,156
k1	-	10.1.1	0,017	0,017	0,017	0,017
k2	-	10.1.2	0,439	0,308	0,308	0,308
k3	-	10.1.2	0,023	0,014	0,014	0,014
k4	-	10.5.6	0,700	0,700	0,700	0,700
k5	-	10.5.6	0,900	0,900	0,900	0,900
k6	-	10.5.6	1,000	1,000	1,000	1,000
Bulkhead Design Pressures (Sailing)						
PBS	kN/m2		9,179	11,153	11,265	6,412
Single Skin (isotropic)						
Min req'd single skin Thickness	mm		0,525	0,353	0,357	0,090
Minimal dry fibre weight	kg/m2		2,554	2,554	2,554	2,554
Solid plywood thickness		11.8.1	13,769	16,730	16,898	9,618
Sandwich Laminate (isotropic)						
SM required outer skin	cm3		0,000	0,000	0,000	0,000
SM required inner skin	cm3		0,000	0,000	0,000	0,000
l required	cm4		0,162	0,095	0,098	0,002
thickness required by shear capabilities	mm		0,272	0,323	0,329	0,082
minimum skin fibre mass outer	kg/m2		1,193	1,193	1,193	1,193
minimum inner skin fibre mass inner	kg/m2		0,835	0,835	0,835	0,835
minimum core shear strength	n/mm2		0,400	0,400	0,400	0,400
minimum thickness of FRP sandwich bulk	mm	11.8.2.3	3,112	4,594	4,687	1,518
minimum thickness of FRP sandwich bulk	mm	11.8.2.3	18,757	33,647	34,671	6,393
Design laminate (solid)						
Solid single skin design thickness	mm		3,475	3,475	3,475	3,475
Design dry fibre weight	kg/m2		2,460	2,460	2,460	2,460
Design Laminte (sandwich)						
Thickness outer skin	mm		1,000	1,000	1,000	1,000
Thickness inner skin	mm		1,000	1,000	1,000	1,000
Core Thickness	mm		15,000	15,000	15,000	15,000
total thickness	mm		17,000	17,000	17,000	17,000
Neutral Axis	mm		8,500	8,500	8,500	8,500
d outer	mm		8,000	8,000	8,000	8,000
d inner	mm		8,000	8,000	8,000	8,000
d neutral axis	mm		0,000	0,000	0,000	0,000
z outer	mm		8,500	8,500	8,500	8,500
z inner	mm		8,500	8,500	8,500	8,500
SM design outer skin	cm3		0,512	0,512	0,512	0,512
SM design inner skin	cm3		0,512	0,512	0,512	0,512
l design	cm4		0,409	0,409	0,409	0,409
Effective thickness	mm		16,000	16,000	16,000	16,000
Design shear load capabilities	-		Pass	Pass	Pass	Pass
Compliance with rule 11.8.2.3 eq (57)	-		Pass	Pass	Pass	Pass
Compliance with rule 11.8.2.3 eq (58)	-		Pass	Pass	Pass	Pass

Design Laminte (sandwich)					
Thickness outer skin	mm	1,722	1,722	1,722	1,722
Thickness inner skin	mm	1,323	1,323	1,323	1,323
Core Thickness	mm	15,000	15,000	15,000	15,000
total thickness	mm	18,045	18,045	18,045	18,045
Neutral Axis	mm	9,118	9,118	9,118	9,118
d outer	mm	8,066	8,066	8,066	8,066
d inner	mm	8,456	8,456	8,456	8,456
d neutral axis	mm	0,295	0,295	0,295	0,295
z outer	mm	8,927	8,927	8,927	8,927
z inner	mm	9,118	9,118	9,118	9,118
SM design outer skin	cm3	0,607	0,607	0,607	0,607
SM design inner skin	cm3	0,579	0,579	0,579	0,579
l design	cm4	0,490	0,490	0,490	0,490
Effective thickness	mm	16,523	16,523	16,523	16,523

proyect name | Velero crucero-regata de 60 pies

Data required for ISO scantlings
Rudder

Rudder ID			R1
Item	unit	rule #	
Rudder type		6,2	type 1c
Area	m2	6.2.1	1,31
hr	mm	6.2.1	2419
hb	mm	6.2.1	48
hu		6.2.1	776
hc	mm	6.2.1	1062
c1	mm	6.2.1	761
c2	mm	6.2.1	335
co1	mm	6.2.1	218
co2	mm	6.2.1	-256
u	mm	6.2.1	115
Aspect ratio		6.2.1	4,467
c	m	6.2.1	541,546
kb		6.2.1	0,439
zb		8.2.1	1110
r		table 5	47,464
rmin		table 5	54,155
k5		13.3.1.2	0,900
wr	kg/m2	13.3.1.2	2,134
Rudder Design Forces (Sailing)			
F1	N		29883,83
F2	N		N/A
Rudder Bearing Reactions			
Mh	N/m	8.2.1	33171,06
RU	N	8.2.1	42746,21
RH	N	8.2.1	72630,04
	cm4	11.4.2	
Rudder Design Torque (Sailing)			
T	Nm	9	1618,347
Solid circular metal stock requirements			
zeq	mm	10,4	1110,99
d	mm		117,229
tubular stock			
do	mm	10,6	70

ABS	
P	3440,668 kgf
Mn	381914,1 kgfcm
Tn	18632,8 kgfcm
k	100,4
C	1,5
N	1
SOLID RUDDER STOCK	
D	9,57
tubular stock	
do	9
di	7
d eq	9,99

rudder stock laminate properties	
stu	1016,4
scu	784,6
tu	124,3
std	355,74
scd	274,61
tud	43,505

Rudder sistem dimensioning		
Rudder Forces		
Item	unit	
ABS	kgf	3440,668
ISO	Kgf	3047,319
Antognini 1	Kgf	4063,884
Antognini 2	Kgf	2033,469
Rudder Arm	m	0,192
Quadrant specs		
Quadrant Radius	m	0,25
Quadrant max angle		80
Sprocket specs		
Sprocket size	mm	15,875
Sprocket teeth		11
Sprocket diameter	m	0,0556
Rudder Wheel data		
Rudder Wheel diameter	m	1,7
number of turns		1,9989
Rudder resulting moments & forces		
40 deg moment	kgfm	376,0855
quadrant forces	kgf	1504,342
Force on wheel	kg	49,187

Vertical Diameter Variation					
h	M/Mmax	MF(h)	T/Tmax	MT(h)	D/Dmax
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
240	0,01	429,17	0,16	252,28	0,29
480	0,05	1671,45	0,30	484,36	0,40
720	0,11	3659,02	0,43	696,24	0,50
960	0,19	6324,02	0,55	887,91	0,59

di	mm	10,6	60
d	mm	10,6	80,832
Composite Stock required section modulus			
smb req	cm3	10,7	120,793
smt0 req	cm3	10,7	37,199
Design Stock dimensions			
stock length	cm		12
stock width	cm		5
stock side thickness	cm		1,32
stock web thickness	cm		0,9
neutral axis	cm		5,799
lb stock	cm4	(autocad)	553,723
lt stock	cm4	(autocad)	216,230
lp Stock	cm4		769,952
SMB stock	cm3		221,489
SM forward	cm3		34,870
SM astern	cm3		37,287
Combined design stress			0,245
max deflection between bearings	mm		6,619523

1200	0,29	9598,63	0,65	1059,37	0,67
1440	0,40	13415,01	0,75	1210,64	0,74
1680	0,53	17705,33	0,83	1341,69	0,81
1920	0,68	22401,74	0,90	1452,54	0,88
2160	0,83	27436,42	0,95	1543,19	0,94
2400	0,99	32741,53	1,00	1613,63	1,00
2419	1,00	33171,06	1,00	1618,35	1,00
776	1,00	33171,06	1,00	1618,35	1,00
770	0,99	32914,58	1,00	1618,35	1,00
693	0,89	29623,12	1,00	1618,35	0,96
616	0,79	26331,66	1,00	1618,35	0,93
539	0,69	23040,21	1,00	1618,35	0,89
462	0,60	19748,75	1,00	1618,35	0,85
385	0,50	16457,29	1,00	1618,35	0,80
308	0,40	13165,83	1,00	1618,35	0,75
231	0,30	9874,37	1,00	1618,35	0,69
154	0,20	6582,92	1,00	1618,35	0,62
77	0,10	3291,46	1,00	1618,35	0,55
0	0,00	0,00	1,00	1618,35	0,51

proyect name Velero crucero-regata de 60 pies

Data required for ISO scantlings
Keel

Keel Scantlings			keel 1
Item	unit	rule #	
keel type			1,000
M_{keel}	kg	7,4	4626,000
h_k	m	7.5.2	2,200
V_{cg}	m		-1,894
a	m	7,2	1,237
c	m	7,2	0,150
c_{avg}	m		0,170
θ	°		0,000
α	°	7.7.1	5,000
A_{CB}	m ²	7.7.1	0,000
V	knts	7.7.1	10,820
e		7.7.1	0,600
M_{rup}	Nm	7.7.1	0,000
h_{ce}	m	7.7.1	0,000
maximum spacing of bolts	m		0,210
b_{imax}	mm	D.5	155
Σb_i	mm	D.5	840
root length	cm		152,900
root width	cm		17,200
root inertia	cm ⁴		29363,212
root section modulus	cm ³		3414,327
keel material			Lead 4% antimony
σ_{LIM} keel material	Mpa		40,000

Keel Scantlings Larsson		
Item	Unit	
Δ_{Total}	Kg	21000
Δ_{Keel}	Kg	4626
dCG	m	1,237
Lf	m	2,239
Vb	knts	15
Vs	m/s	7,717
Δt	seg	0,25
H	m	2,2
K_r	m	1,529
σ_d	N/mm ²	253,851
n_{fi}		4
n_{kb}		6
Transverse Keel Moment		
M_{kt}	Nm	56136
	A_{min} mm ²	14986
Floor Bending Moment		
M_{fi}	Nm	84204,557
Required Floor Section Modulus		
SM_{fi}	cm ³	332
Impact Force Fi (LARSSON)		
a	m/s ²	30,9
Fi	N	505411
Impact Moment		

K_{mat}		5	0,750
K_{Ic}		5	0,800
Safety Factor			2
Keel Max root moment	Nm		56116,915
Req'd section modulus	cm ³		2805,846
K_{GIRDER}	-	C.2.3	2,086E+12
X_R (from transom)	m	C.9	#iREF!
$\sum I_{Ri}$	mm	D.4.5.1.1	2225
I_{Rimax}	mm	D.4.5.1.1	765
L_{K2}	m	D.4.5.1.1	0,934
Dimensioning Forces & Moments			
Fixed keel @90° knockdown			
F1	N	7,2	45365,332
M1.1	Nm	7,2	56116,915
M1.2	Nm	7,2	62921,715
Canted keel steady load @30° heel			
F2	N	7.3.1	63511,464
M2.1	Nm	7.3.1	39281,841
M2.2	N	7.3.1	44680,315
Keelboat Vertical Pounding			
F3	N	7,4	160573,268
Keelboat longitudinal Impact			
F4	N	7.5.2	192687,922
hf4	m	7.5.2	2,200
M4.1	Nm	7.5.2	423913,429
M4.1.T	Nm	D.4.5.1.1	258950,387
M4.2	Nm	7.5.2	456670,375
Centreboard or Daggerboard on Capsize			
F5	N	7,6	784,528
Centreboard or Daggerboard Upwind Case			
F6	N	7.7.1	#iDIV/0!

M_{kt}	Nm	1111904
Reaction Force		
Pr	N	727210
Floor Bending Moment		
Mfl	Nm	407056
Required Floor Section Modulus		
SM_{fl}	cm ³	1604
Keel Bolt Calculation (Larsson)		
Item	Unit	
SF_{kb}		3
Keel Bolt material		
		Aisi316
σ_y keelbolt	N/mm ²	290
σ_U compressive	N/mm ²	170
Ofbolt	m	0,16
n_{Kb25}	-	3
Total Keelbolt Load		
P_{kt}	N	362170
Keelbolt Tension		
P_{kb}	N	60362
Required Keelbolt diameter		
d_{kb}	mm	28
Req'd strength for keelbolts forward		
A_b	mm ²	624
Fv	N	727210
S_{y25}	N/mm ²	388
Keel Floor Scantlings GL		
Item	Unit	
Fv	N	212030
σ_d	N/mm ²	253,851

F6.1	N	7.7.1	0,000
F6.2	N	7.7.1	#jDIV/0!
M6	Nm	7.7.1	#jDIV/0!
Keel Bolt Calculation			
Load Case 1			
Item	unit	rule #	
d _{neck}	mm	D.4.4.1	32,898
d _{bolt}	mm	D.4.4.1	38,819
F _{bolt}	N	D.4.4.3	45,562
Load Case 4			
d _{neck}	mm	D.4.5.1.1	29,635
d _{bolt}	mm	D.4.5.1.1	34,970
Keel Steel Grid Welds Calculation			
Load Case 1			
Item	unit	rule #	
Sm weld required	cm ³	-	1198,509
Sm weld design	cm ³	-	2580,998
Load Case 3			
Weld area required	mm ²	-	3058,538
Weld area design	mm ²	-	23485,436
Load Case 4			
Weld area required	mm ²	-	8698,483
Weld area design	mm ²	-	3414,541

Floor Bending Moment		
M _{fl}	Nm	118684
Required Floor Section Modulus		
SM _{fi}	cm ³	467,534
Design floor section modulus		
Floor C	cm ³	#jREF!
Floor D	cm ³	#jREF!
Floor E	cm ³	#jREF!
Keel Floor Scantlings ABS		
F _v	N	412020,00
Floor Bending Moment		
M _{fl}	Nm	230628
Required Floor Section Modulus		
SM _{fi}	cm ³	909
Design floor section modulus		
Floor C	cm ³	#jREF!
Floor D	cm ³	#jREF!
Floor E	cm ³	#jREF!

CUADERNILLO 8. CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL

1. Cálculo de pesos.....	2
2. Introducción	5
3. Hidrostática	5
4. Estabilidad	8

1. Cálculo de pesos

Con el fin de poder calcular los diferentes casos de estabilidad con distintas condiciones de carga, se han presentado todos los pesos de la embarcación en una tabla de Excel modelo.

Al tratarse de un proyecto preliminar, algunos de los pesos han sido estimados, sobretodo en el interior del barco. A partir de estos, se han tomado coordenadas de los centros de gravedad de los espacios, volúmenes y áreas. Además, se han incluido también los pesos de los equipos y las capacidades de lastre, agua y combustibles.

En las siguientes páginas, se pueden ver los pesos para las distintas condiciones de carga:

1. Peso en rosca.
2. Carga mínima.
3. Carga media.
4. Carga completa.

Boat Full Dry Weight							
Item	Quantity	Description	Unit Mass [kg]	Total mass [kg]	LCG	VCG	TCG
A. HULL	1	Cored one off	2600,0	2600,0	7,507	0,151	0,000
B. DECK	1	Cored one off	2000,0	2000,0	6,357	1,345	0,000
C. STRUCTURE	1	carbon fiber	1150,0	1150,0	7,507	0,024	0,000
D. INTERIOR WORK	1	Woodworking	1400,0	2100,0	8,720	0,286	0,000
E. SYSTEMS	1	Fresh, Grey, Black, bilge, electrical	1688,0	1688,0	7,400	0,038	0,016
F. DECK GEAR	1	Hardware, safety, docking	704,0	704,0	6,500	1,141	0,000
G. MAST & RIGGING	1	carbon fiber mast & boom	635,0	635,0	9,265	15,427	0,000
H. KEEL	1	T Shaped Lead keel	6315,0	6315,0	7,882	-3,671	0,000
I. RUDDER	2	Carbon fibre shaft	88,3	176,6	1,487	-0,465	0,000
J. MACHINERY	1	Engine	500,0	500,0	5,525	0,009	0,000
Margin (1% dry weight)				178,7			
Total Boat Dry Weight				18047,286	7,476	-0,492	0,002
Loadcase light load							
Item	Quantity	Description	Unit Mass [kg]	Total mass [kg]	LCG	VCG	TCG
Fresh Water	0,1		1760,000	176,000	8,545	-0,140	0,000
Fuel	0,1		874,000	87,400	9,544	0,281	0,015
Personal Effects	1		20,000	20,000	6,564	0,800	0,477
consumibles x dia	1		10,000	10,000	5,152	0,938	-1,598
Sail Inventory	0,5		250,000	125,000	5,000	4,318	0,000
Crew of 5	5		80,000	400,000	9,462	1,800	0,000
margen (1% payload)				8,184			
Total Loadcase				18873,870	7,516	-0,403	0,001

Loadcase Half Load							
Item	Quantity	Description	Unit Mass [kg]	Total mass [kg]	LCG	VCG	TCG
Fresh Water	0,5		1760,000	880,000	8,545	-0,140	1,216
Fuel	0,5		874,000	437,000	9,544	0,281	0,015
Personal Effects	3		20,000	60,000	6,564	0,800	0,477
consumibles x dia	5		10,000	50,000	5,152	0,938	-1,598
Sails	0,75		250,000	187,500	5,000	4,318	0,000
Crew of 5	5		80,000	400,000	9,462	1,800	0,000
margen (1% payload)				20,145			
Total Loadcase				20081,931	7,569	-0,361	0,052
Loadcase Full Load							
Item	Quantity	Description	Unit Mass [kg]	Total mass [kg]	LCG	VCG	TCG
Fresh Water	1		1760,000	1760,000	8,545	-0,140	0,000
Fuel	1		874,000	874,000	9,544	0,281	0,015
Personal Effects	5		20,000	100,000	6,564	0,800	0,477
consumibles x dia	10		10,000	100,000	5,152	0,938	-1,598
Sails	1		250,000	250,000	5,000	4,318	0,000
Crew of 5	5		80,000	400,000	9,462	1,800	0,000
margen (1% payload)				34,840			
Total Loadcase				21566,126	7,628	-0,320	-0,003

2. Introducción

En este apartado, se obtienen las curvas hidrostáticas de la embarcación y se estudia la estabilidad para la condición de máxima carga que es la más crítica.

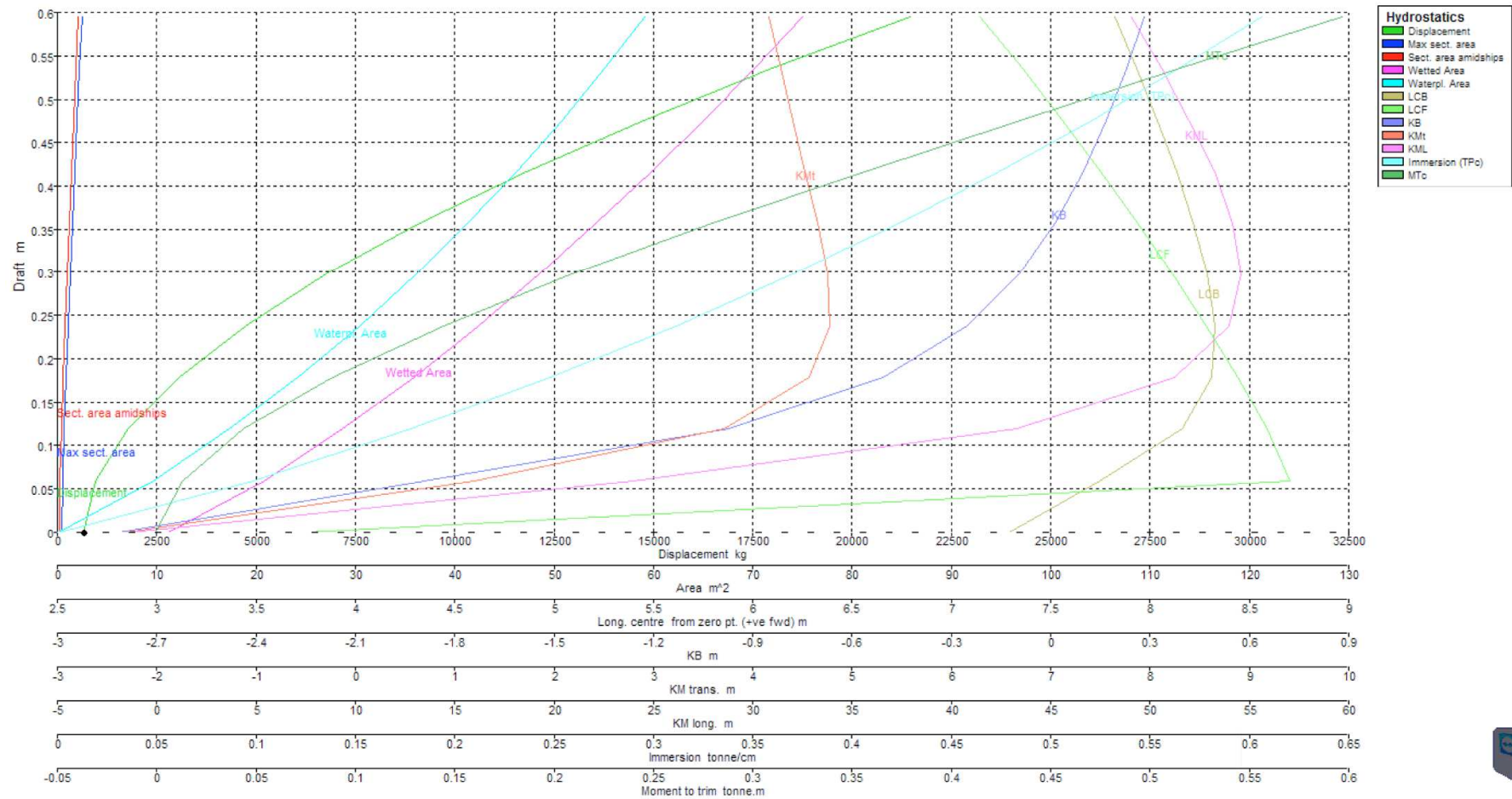
Para el estudio de la estabilidad se ha utilizado el módulo Hydromax del programa Maxsurf.

Al haber estimado algunos pesos de la embarcación, no se ha podido definir la estabilidad real que tendría el barco. Pero siendo un proyecto preliminar se han dado por válidos los resultados obtenidos.

3. Hidrostática

El velero a lo largo de su vida útil navegará en diversos calados. Realizando por tanto un estudio de una serie de situaciones caracterizadas por producir flotaciones paralelas a las de proyecto.

En condiciones a plena carga, el trimado será nulo y sin escora. Obteniendo las curvas hidrostáticas siguientes y sus correspondientes datos, para un total de 10 calados distintos.



	Draft Amidships m	0.595	0.535	0.476	0.416	0.357	0.297	0.238	0.178	0.119	0.059	0.000
1	Displacement kg	21469	17985	14753	11792	9120	6756	4725	3056	1785	957.3	648.0
2	Heel deg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Draft at FP m	0.595	0.535	0.476	0.416	0.357	0.297	0.238	0.178	0.119	0.059	0.000
4	Draft at AP m	0.595	0.535	0.476	0.416	0.357	0.297	0.238	0.178	0.119	0.059	0.000
5	Draft at LCF m	0.595	0.535	0.476	0.416	0.357	0.297	0.238	0.178	0.119	0.059	0.000
6	Trim (+ve by stern) m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	WL Length m	17.441	16.770	15.812	14.990	14.478	13.916	13.288	12.564	11.686	10.512	7.566
8	Beam max extents on WL m	4.719	4.585	4.428	4.249	4.119	4.187	4.255	4.323	4.390	4.457	4.523
9	Wetted Area m ²	75.013	70.160	65.044	59.768	54.242	48.491	42.393	35.869	28.727	20.833	11.160
10	Waterpl. Area m ²	59.128	55.100	50.800	46.239	41.330	36.102	30.425	24.214	17.338	9.617	0.098
11	Prismatic coeff. (Cp)	0.482	0.469	0.461	0.443	0.411	0.372	0.327	0.274	0.215	0.162	0.177
12	Block coeff. (Cb)	0.062	0.056	0.052	0.046	0.039	0.030	0.022	0.015	0.009	0.006	0.005
13	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.137	0.128	0.119	0.109	0.100	0.091	0.083	0.075	0.071	0.075	1.889
14	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.718	0.717	0.726	0.726	0.693	0.620	0.538	0.446	0.338	0.205	0.003
15	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.823	7.933	8.038	8.134	8.219	8.287	8.326	8.307	8.163	7.749	7.292
16	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.146	7.359	7.562	7.751	7.939	8.114	8.282	8.439	8.587	8.704	3.750
17	KB m	0.284	0.229	0.168	0.098	0.014	-0.096	-0.253	-0.505	-0.972	-1.891	-2.813
18	KG m	0.595	0.595	0.595	0.595	0.595	0.595	0.595	0.595	0.595	0.595	0.595
19	Bmt m	3.876	4.049	4.238	4.429	4.638	4.853	5.033	5.078	4.687	3.092	0.501
20	BML m	48.764	50.325	51.779	53.170	54.107	54.664	54.204	51.729	44.268	25.868	1.459
21	Gmt m	3.565	3.683	3.812	3.933	4.057	4.162	4.185	3.978	3.121	0.605	-2.906
22	GML m	48.453	49.960	51.352	52.674	53.526	53.973	53.356	50.629	42.701	23.382	-1.948
23	KMt m	4.160	4.278	4.406	4.528	4.652	4.757	4.780	4.573	3.716	1.200	-2.312
24	KML m	49.048	50.554	51.947	53.269	54.121	54.568	53.951	51.224	43.296	23.976	-1.354
25	Immersion (TPc) tonne/cm	0.606	0.565	0.521	0.474	0.424	0.370	0.312	0.248	0.178	0.099	0.001
26	MTc tonne.m	0.596	0.515	0.434	0.356	0.280	0.209	0.145	0.089	0.044	0.013	-0.001
27	RM at 1deg = Gmt.Disp.sin(1) kg.m	1335.76	1156.01	981.360	809.361	645.801	490.803	345.168	212.173	97.234	10.113	-32.868
28	Max deck inclination deg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
29	Trim angle (+ve by stern) deg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

4. Estabilidad

Para ver el comportamiento del velero se ha estudiado la estabilidad con Hydromax, en el caso de máxima carga para diferentes escoras.

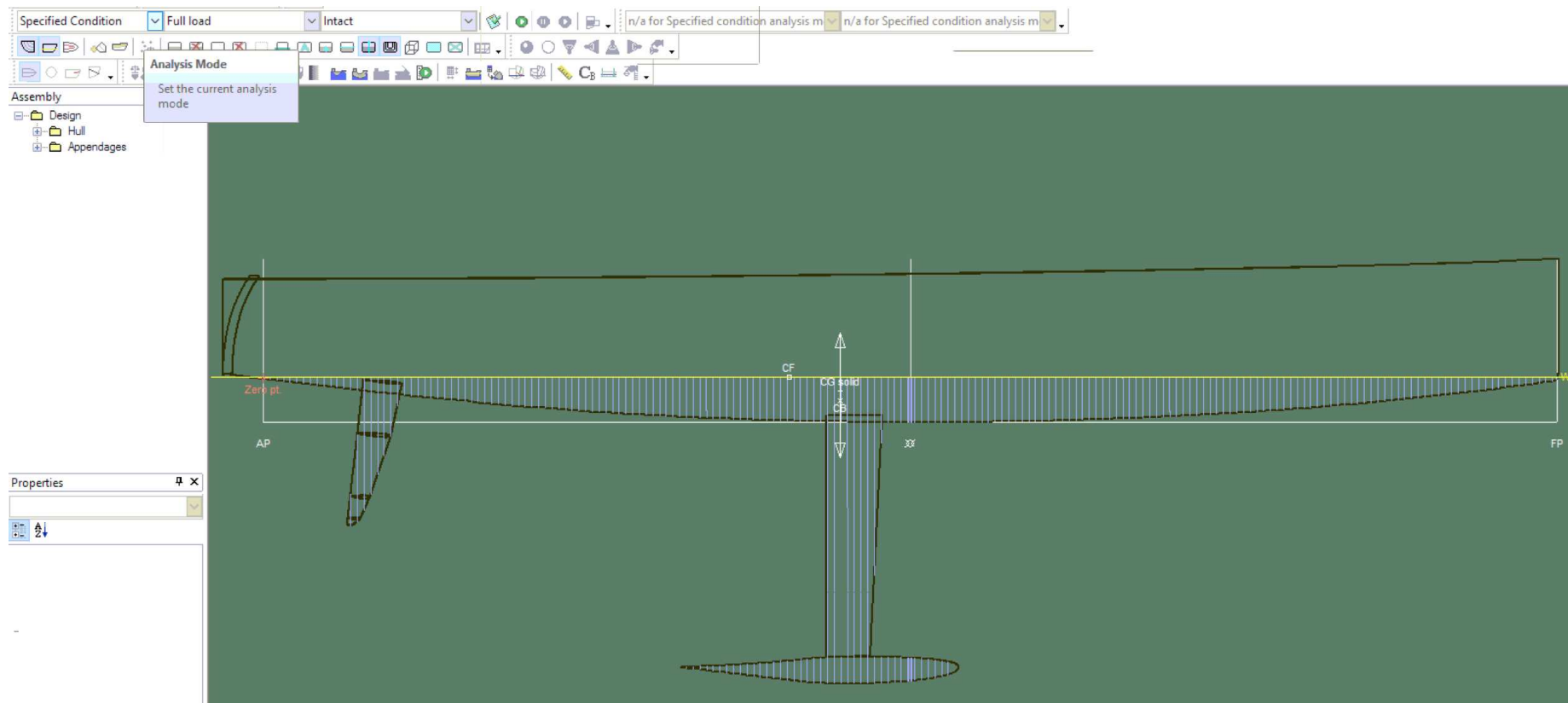
Se puede concluir que la curva de estabilidad da una buena convergencia aunque puede obtener algún error debido a la estimación de los pesos y su posición.

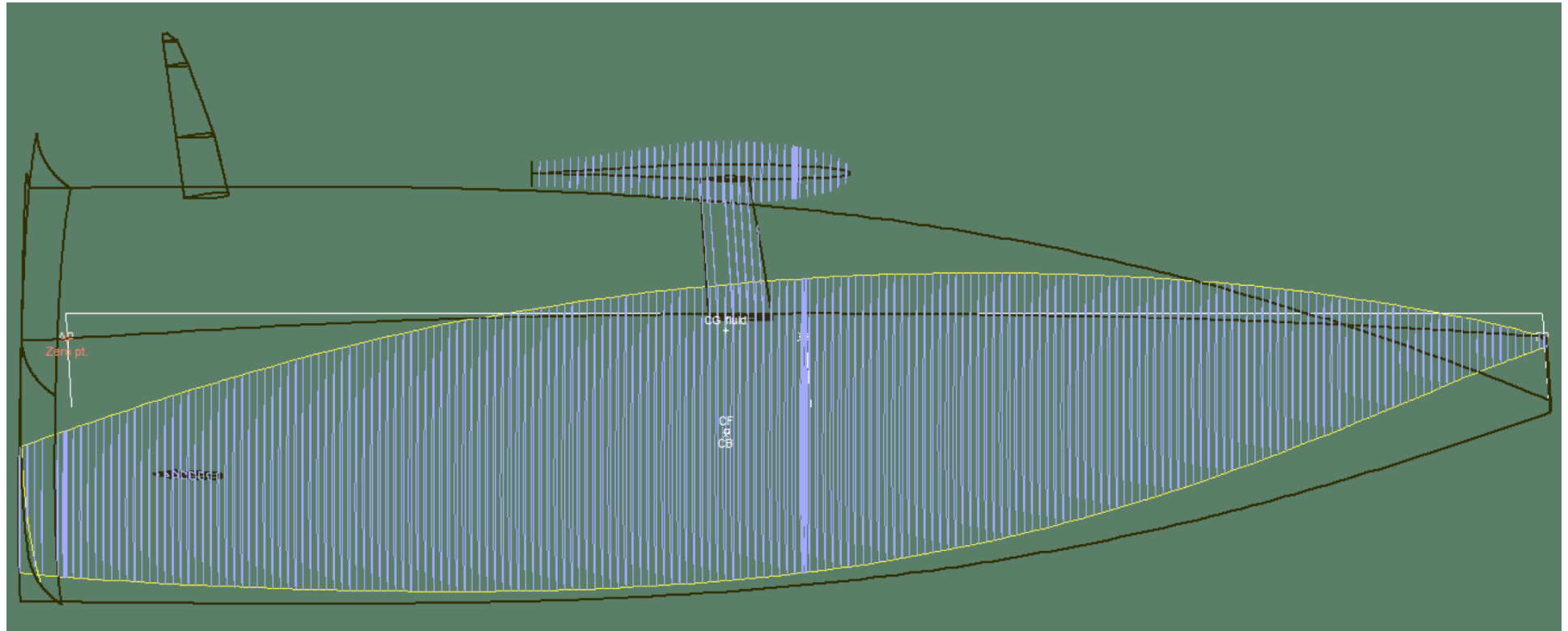
A bajas escoras es una embarcación estable debido a la manga y después a grandes ángulos de escora también tiene gran estabilidad debido al diseño y peso del bulbo.

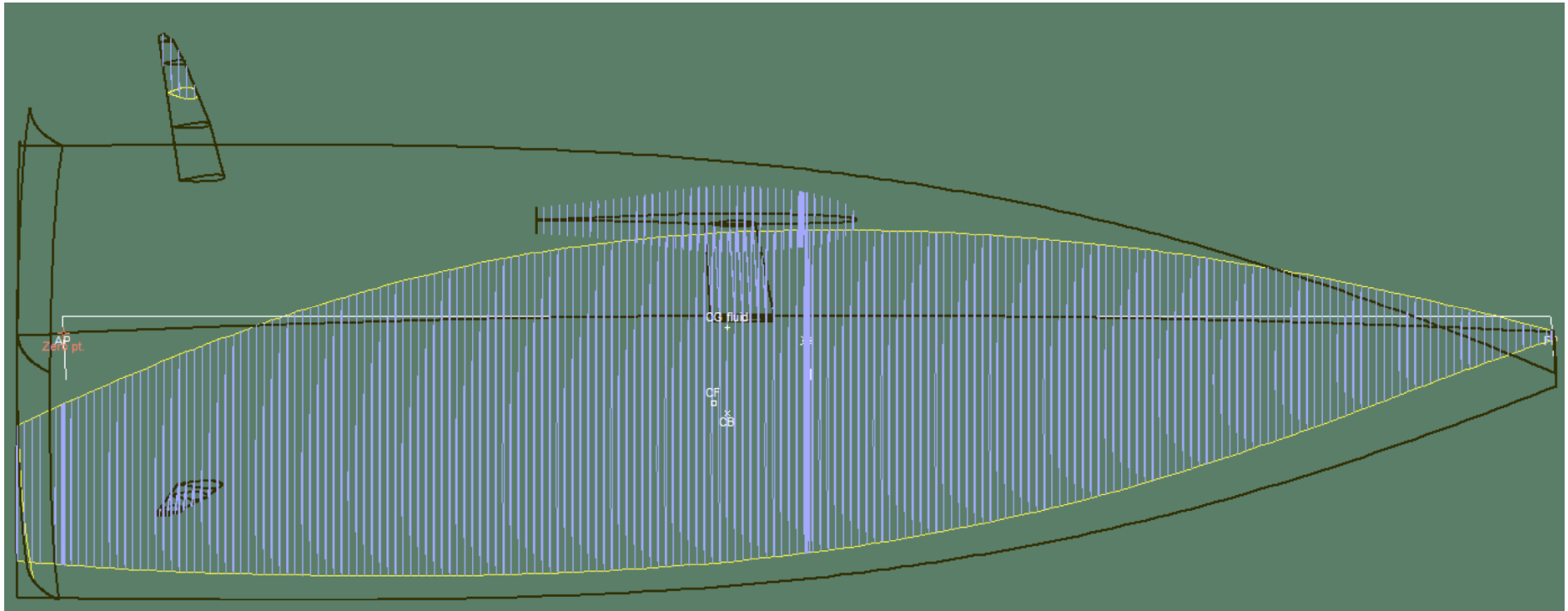
A continuación se pueden ver los resultados obtenidos para las distintas escoras probadas a máxima carga.

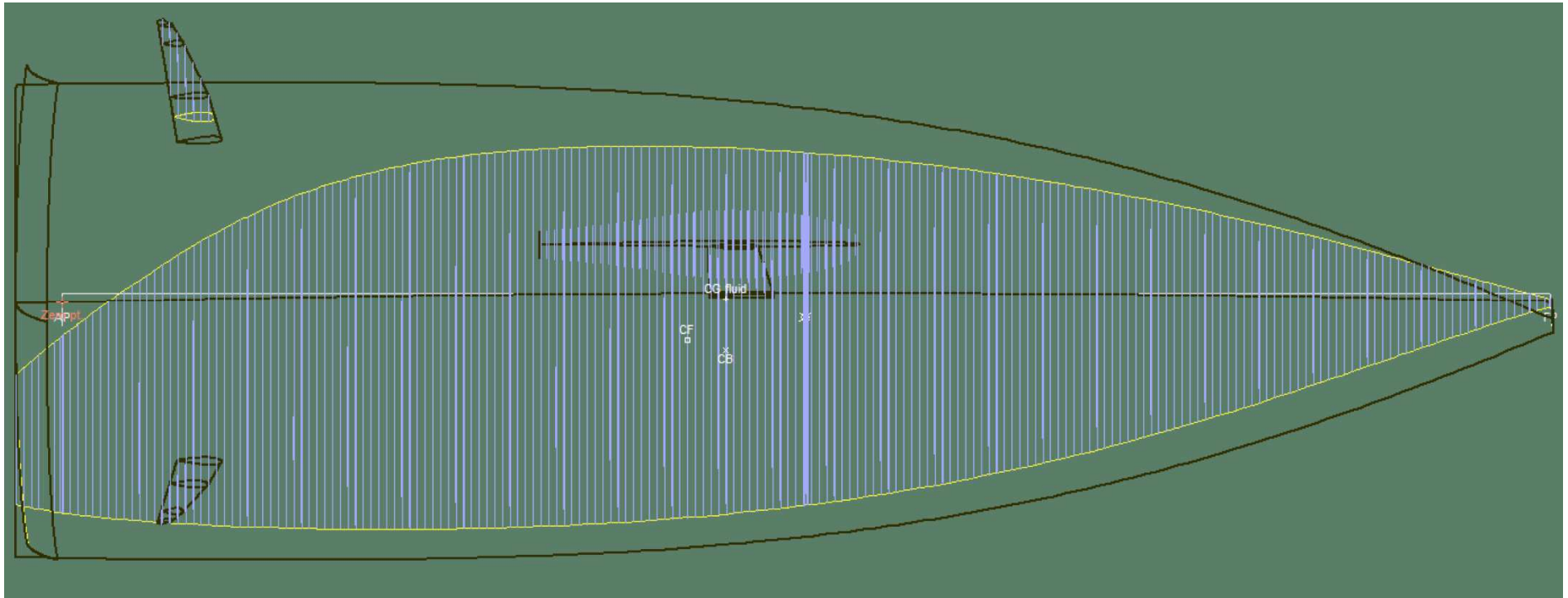
The screenshot shows the Hydromax software interface. At the top, the 'Specified Condition' is set to 'Full load' and the 'Intact' condition is selected. The main window displays a table of 30 stability parameters. On the left, there is an 'Assembly' tree with folders for 'Design', 'Hull', and 'Appendages'. At the bottom left, a 'Properties' panel is visible.

Item	Parameter	Value
1	Draft Amidships m	0.608
2	Displacement kg	22282
3	Heel deg	-0.1
4	Draft at FP m	0.604
5	Draft at AP m	0.611
6	Draft at LCF m	0.608
7	Trim (+ve by stern) m	0.008
8	WL Length m	17.581
9	Beam max extents on WL m	4.748
10	Wetted Area m ²	76.133
11	Waterpl. Area m ²	60.063
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.486
13	Block coeff. (Cb)	0.063
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.139
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.719
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	7.776
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7.083
18	KB m	0.295
19	KG m	0.421
20	BMt m	3.849
21	BML m	48.527
22	GMT m	3.723
23	GML m	48.402
24	KMt m	4.144
25	KML m	48.822
26	Immersion (TPc) tonne/cm	0.616
27	MTc tonne.m	0.618
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) kg.m	1447.896
29	Max deck inclination deg	0.0581
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0.0249



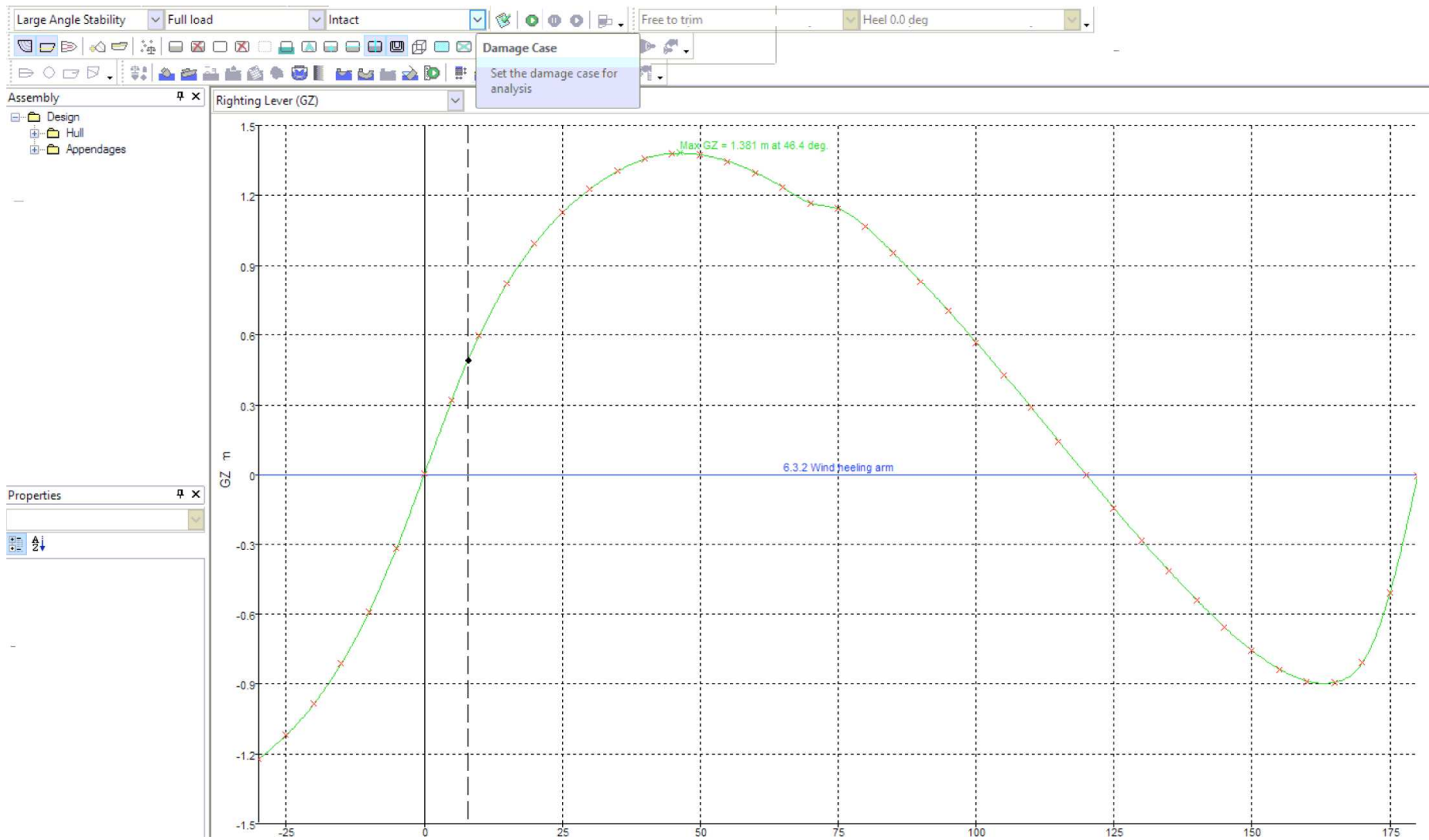






Large Angle Stability | Full load | Intact | Free to trim | Heel -30.0 deg

Item Name	Quantity	Unit Mass kg	Total Mass kg	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM kg.m	FSM Type
1 A. HULL	1	2600.0	2600.0			7.507	0.000	0.151	0.000	User Specifi
2 B. DECK	1	2000.0	2000.0			6.357	0.000	1.345	0.000	User Specifi
3 C. STRUCTURE	1	1150.0	1150.0			7.507	0.000	0.024	0.000	User Specifi
4 D. INTERIOR WORK	1	1400.0	1400.0			8.720	0.000	0.288	0.000	User Specifi
5 E. SYSTEMS	1	1688.0	1688.0			7.400	0.016	0.038	0.000	User Specifi
6 F. DECK GEAR	1	704.0	704.0			6.500	0.000	1.141	0.000	User Specifi
7 G. MAST & RIGGING	1	635.0	635.0			9.265	0.000	15.427	0.000	User Specifi
8 H. KEEL	1	6315.0	6315.0			7.882	0.000	-3.671	0.000	User Specifi
9 I. RUDDER	2	88.3	176.6			1.487	0.000	-0.465	0.000	User Specifi
10 J. MACHINERY	1	500.0	500.0			5.525	0.000	0.009	0.000	User Specifi
11 K. Crew & Payload	0	0.0	0.0			0.000	0.000	0.000	0.000	User Specifi
12 Fresh Water	1	1760.0	1760.0			8.545	0.000	-0.140	0.000	User Specifi
13 Fuel	1	874.0	874.0			9.544	0.015	0.281	0.000	User Specifi
14 Personal Effects	18	20.0	360.0			6.564	0.477	0.800	0.000	User Specifi
15 consumables x dia	18	10.0	180.0			6.000	-1.598	0.938	0.000	User Specifi
16 Sails	1	500.0	500.0			8.000	0.000	4.318	0.000	User Specifi
17 Crew	18	80.0	1440.0			9.462	0.000	1.800	0.000	User Specifi
18 Total Loadcase			22282.6	0.000	0.000	7.776	-0.003	-0.174	0.000	
19 FS correction								0.000		
20 VCG fluid								-0.174		



CUADERNILLO 9. CONCLUSIONES

- Se han cumplido los objetivos planteados por el diseñador, dimensionando un velero de 60 pies que cumple con las características de proyecto planteadas. Con el principal objetivo de que sea una embarcación de crucero y regata.
- El sistema de propulsión híbrida planteado satisface la navegación a vela, siendo económica y silenciosa.
- Se ha podido comprobar que un sistema de propulsión con un motor diesel es más barato que un sistema híbrido a corto plazo, ya que éste último consta de más elementos. Pero a largo plazo, el consumo de combustible será inferior y compensará la instalación del sistema dimensionado para el velero.
- Se han estimado y sobredimensionado algunos valores para que se cumplan con la normativa y sean seguros y de calidad.
- Con la introducción de sistema de propulsión híbrido para la navegación a vela se pretende crear un nuevo concepto en el mercado actual de veleros.
- Los cuadernillos cumplen con la normativa ISO utilizada en este proyecto.
- La incorporación de las energías renovables proporcionan una mayor producción y aprovechamiento de la energía a bordo.
- La estabilidad estudiada cumple con los requisitos del proyecto, dando unos resultados satisfactorios.

Gracias al desarrollo del proyecto he ampliado mis conocimientos en cuanto a las formas del casco, el plano vélico y el sistema híbrido instalado. Así como el saber aplicar una normativa, el desarrollo de los diferentes software y la incorporación de energías renovables.

Finalmente, el presente proyecto ha sido un reto personal dado su complejidad y dificultad de combinar con mi situación de trabajo actual.

Bibliografía

- Lars Larsson and Rolf Eliasson. Principles of yacht design. 3rd Edition. Ed International Marine/McGraw-Hill. 1994.
- Marine Applications of Advanced Fibre-reinforced Composites (Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering) 1st Edition, Kindle Edition.
- Fabio Fossati. Aerodynamics and the performance of sailing yachts. First edition 2009.
- Antonio Bonilla de la Corte, Construcción "Naval y Servicios". Autor/Editor, 1984.
- Tim Barlett. Motores diesel para embarcaciones de recreo. 2ª edición: RYA, año 2006.
- V. Lewis Principles of naval architecture. Vol II Resistance, propulsion. Ed. SNAME.
- Norman Locke Skene. Elements of Yacht Design. Edition 1904.
- Bosch Tous, Ricard; Casals Torrens, Pau. Máquinas eléctricas. Ediciones UPC. Barcelona 2005.

- Normativa ISO.
- Manual de usuario de Hullspeed.
- Manual de usuario de Hydromax
- Manual de usuario de Span.
- Manual de usuario de Maxsurf.
- Manual de usuario de Rhinoceros.

Páginas de internet:

<http://www.lithiumion-batteries.com/>

<http://www.mastervolt.com/>

<http://www.westmarine.com/>

<http://www.steyr-motors.com/>

<http://www.volvopenta.com/>

<http://www.yanmar.es/>

<http://www.oceanvolt.com/es/>

<http://www.zf.com/>

<http://www.boatdesign.net/>

<http://www.hybrid-marine.co.uk/>

<http://www.oceanvolt.com/es/>

<http://www.accastillage-diffusion.es/>

<http://www.wally.com/>

<http://www.germanfrers.com/>

<http://www.nautorswan.com/>

<http://www.oysteryachts.com/>

<http://www.mcconaghyboats.com/>