UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

FACULTAT DE NÀUTICA DE BARCELONA

-PROYECTO FIN DE CARRERA-

CÁLCULO DEL SISTEMA PROPULSIVO, ESTABILIDAD Y ESTRUCTURA DE UN YATE A MOTOR DE 65 PIES

Autor : Joaquim Ferrer Mercader

Diciembre 2013

CÁLCULO DEL SISTEMA PROPULSIVO, ESTABILIDAD Y ESTRUCTURA DE UN YATE A MOTOR DE 65 PIES

Autor : Joaquim Ferrer Mercader

Directora: Marcel·la Castells Sanabra

Desembre - 2013

Departament Ciència i Enginyeria Nàutica

Facultat de Nàutica de Barcelona (FNB)

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

A mi familia, y en especial a mi mujer, que han vivido conmigo este proyecto, y a William y al resto de chicos de ISONAVAL, que me han enseñado casi todo lo que sé.

"Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado.
Un esfuerzo total es una victoria completa"
Mahatma Gandhi (1869-1948) Político y pensador indio.

RESUMEN Y MOTIVACIÓN

En el presente proyecto se intenta realizar un estudio sobre el sistema propulsivo, la estabilidad y la estructura de un yate de recreo de 20 metros de eslora.

La pretensión de este proyecto nace de antes de empezar la carrera de Ingeniería Técnica Naval Especialidad en Sistemas y Propulsión., pues el diseño del yate es propio y realizado en esbozos que han cobrado forma en este trabajo personal.

Otro fin para realizar este proyecto ha sido la plasmación de los conceptos y de los estudios recibidos durante dicha carrera, así como otros cursos anexos tales como cursos de diseño con Catia V5, Rhinoceros v.4…, o el "Curso de Tecnología y Diseño de Yates", realizado en la misma universidad, a través del Colegio de Ingenieros Navales de España Jorge Juan.

Durante el proceso de realización, se ha podido apreciar el uso natural de la Espiral de Proyectos, pues el todo se ha realizado a partir de modificaciones constantes de los elementos preliminares y la adecuación de éstos para un determinado fin. También el hecho que el todo es un conglomerado de situaciones, algunas de ellas antagónicas, que deben llegar a un determinado equilibrio final.

Se pretende presentar un estudio teórico-práctico de una embarcación de 20 metros de eslora, cumpliendo una serie de requisitos a fin de satisfacer sus posibles distintas utilidades y/o necesidades de diseño, técnicas y ergonómicas.

Durante el proyecto, se hará referencia al modelo inicial, comparándolo con el modelo final a fin de plasmar la Espiral de Proyectos como metodología concurrente y de uso habitual,

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN **pág.1**

1.- REGRESIÓN DE DATOS **pág.4**

2.- DATOS TÉCNICOS DE LA EMBARCACIÓN **pág.5**

2.1- INTECIÓN DE USO pág.5

2.2.- MEDIDAS PRELIMINARES pág.6

3.- DISEÑO CONCEPTUAL DEL MODELO **pág.6**

3.1.-PRIMER MODELO pág.7

4.-DISEÑO DE FORMAS DE LA CARENA **pág.8**

4.1.-MODELO FINAL pág.9

5-ESTUDIO DEL SISTEMA PROPULSIVO pág.12

5.1.- MÉTODO SAVITSKY pág.12

5.2.- ESTIMACIÓN CON HULLSPEED pág.15

5.2.1.- ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA CON TRIMADO A 0° pág. 16

5.2.2.- ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA CON TRIMADO SAVITSKY pág. 18

5.3.- ELECCIÓN DEL PROPULSOR pág. 22

5.4.- CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR DE PROA pág. 22

5.4.1.- ÁREA LATERAL DE LA EMBARCACIÓN pág. 23

5.4.2.- ESCALA DE BEAUFORT pág.23

5.4.3.- ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA DEL MOTOR DE PROA pág. 24

6.-ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD **pág. 25**

6.1.-ESTABILIDAD INICIAL pág. 26

6.2.- BRAZO ADRIZANTE GZ pág. 26

6.3.- METACENTRO (M) pág. 26

6.4.- CASOS DE EQUILIBRIO pág. 27

6.5.- CÁLCULOS PARA EL ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD pág. 27

6.5.1.- ESTIMACIÓN DE PESOS pág. 28

6.5.1.1.- CENTROS DE GRAVEDAD Pág. 30

6.5.2.- CONDICIONES DE CARGA pág. 30

6.5.3.- PUNTOS INUNDABLES O DE POSIBLE ENTRADA DE AGUA pág. 31

6.5.4.- ESTUDIO FINAL CON HYDROMAX Y CURVAS GZ pág. 31

6.5.4.1.- CURVA E ESTABILIDAD Y EQUILIBRIO INICIAL A PLENA CARGA pág. 32

6.5.4.2.- CURVA E ESTABILIDAD Y EQUILIBRIO INICIAL A MEDIA CARGA pág. 33

6.5.4.3.- CURVA DE ESTABILIDAD Y EQUILIBRIO EN ROSCA Pág. 34

6.5.4.4.-CURVA E ESTABILIDAD Y EQUILIBRIO INICIAL A PLENA CARGA Y PERSONAL A BABOR pág. 36

6.6.- COMPARATIVA DE LA ESTABILIDAD CON LA NORMA ISO 12217-1 pág. 37

6.6.1.-INUNDACIÓN pág. 38

6.6.1.1.- CENTROS DE GRAVEDAD pág. 38

6.6.1.2.- CENTROS DE GRAVEDAD pág. 38

6.6.2.-RESISTENCIA A LAS OLAS Y AL VIENTO pág. 39

7.- ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA SEGÚN NORMA ISO 12215-5:2008 **pág. 38**

7.1.-CAMPO DE APLICACIÓN pág. 38

7.1.1.- DETERMINACIÓN DEL TIPO DE EMBARCACIÓN Y MODALIDAD DE FUNCIONAMIENTO pág. 39
7.2.- ESCANTILLONADO DE LA EMBARCACIÓN pág. 39
7.2.1.- ZONAS DE PRESIÓN pág. 40
7.2.2.- FACTORES DE AJUSTE DE PRESIÓN pág. 40
7.2.2.1.-FACTOR DE CATEGORÍA DE DISEÑO pág. 40
7.2.2.2.- FACTOR DE CARGA DINÁMICA EN MODALIDAD PLANEADORA pág. 40
7.2.2.3.- FACTOR LONGITUDINAL DE DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN pág. 41
7.2.2.4.- FACTOR DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN SEGÚN LA SUPERFICIE pág. 41
7.2.2.5.- FACTOR DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN EN EL COSTADO pág. 42
7.2.2.6.- FACTOR DE PRESIÓN PARA SUPERESTRUCTURAS Y CASETAS pág. 43
7.2.3.- PRESIÓN DE DISEÑO DE FONDO DE LAS EMBARCACIONES A MOTOR pág. 43
7.2.4.- PRESIÓN DE DISEÑO DE COSTADO DE LAS EMBARCACIONES A MOTOR pág. 44
7.2.5.- PRESIÓN DE LA CUBIERTA DE LAS EMBARCACIONES A MOTOR pág. 45
7.2.6.- PRESIÓN DE DISEÑO DE SUPERSTRUCTURAS DE LAS EMBARCACIONES A MOTOR pág. 45
7.2.7.- PRESIÓN DE DISEÑO PARA MAMPAROS ESTANCOS Y ESTRUCTURALES pág. 46
7.3.- COSTADO. ECUACIONES DE ESCANTILLONADO pág. 48
7.3.1.- FACTOR DE ALARGAMIENTO DEL PANEL POR RESISTENCIA A FLEXIÓN Y RGIDEZ pág. 48
7.3.2.- FACTOR DE CORECCIÓN DE CURBATURA DE LOS PANELES pág. 49
7.3.3.- ESFUERZO CORTANTE Y MOMENTO SOBRE UN PANEL pág. 49
7.3.3.1.- TENSIONES DE DISEÑO pág. 50
7.3.3.2.- ESPESOR REQUERIDO PARA LOS COSTADOS METÁLICOS pág. 50
7.4.- ESPESOR MÍNIMO DEL REFORZADO DEL CASCO pág. 51
7.5.- ESPESOR MÍNIMO DE CUBIERTA pág. 51
7.6.- REQUISITOS DE LOS ELEMENTOS DE REFUERZO pág. 51
7.6.1.-FACTORES DE AJUSTE DE LAS PROPIEDADES DE LOS REFUERZOS pág. 51
7.6.1.1.- FACTOR DE AJUSTE POR CURVATURA DE LOS REFUERZOS pág. 51
7.6.1.2.- FACTOR DE SUPERFICIE DE CIZALLA DE UN REFUERZO pág. 52
7.6.2.-TENSIONES DE DISEÑO DE LOS REFUERZOS pág. 52
7.6.3.- SUPERFICIE DE CIZALLA Y MÓDULO DE INERCIA DE LOS REFUERZOS pág. 53
7.6.4.- CHAPAS DE COSTADO ASOCIADAS EFECTIVAS pág. 54
7.6.5.- ESQUEMA DE LOS DISTINTOS FORMATOS DE CHAPAS ASOCIADAS pág. 54
7.6.6.- PROPORCIONES MÁXIMAS ENTRE REFUERZOS Y TIPOS EMPLEADOS pág. 55
8.- CONCLUSIONES
9.- BIBLIOGRAFIA/WEBGRAFIA
ANEXO I. DATOS Y REGRESIONES pág. 56
ANEXO II. RENDERIZADOS 1 pág. 58
ANEXO III. CÁLCULO MÉTODO SAVITSKY pág. 59
ANEXO IV. DETALLES DE LOS PROPULSORES pág. 63
ANEXO V. CÁLCULO DE CENTROS DE GRAVEDAD pág. 65
ANEXO VI. RENDERIZADOS 2 pág. 74

INTRODUCCIÓN

El proyecto que se expone a continuación está compuesto por distintas partes que configuran parte del diseño de un yate de recreo, en este caso, de 20 metros de eslora, realizado en aluminio, destinado al uso de recreo familiar y con unas prestaciones deportivas.

Éste será de tipo monocasco, en un principio con flybridge, luego se descartó la idea. Se optó por una embarcación planeadora monocasco por distintas razones:

- El espacio interior en embarcaciones monocasco es mucho más amplio que en las embarcaciones multicasco y, de igual modo, mayor cabida de pertrechos en la mayor parte de ésta.
- El monocasco de desplazamiento, aun ofreciendo una mayor amplitud y confort, también ofrece una velocidad escasa con unos consumos elevados, si queremos alcanzar unas velocidades algo elevadas.
- El precio de un amarre y la facilidad de encontrarlo es mucho mejor en el caso de los monocascos.
- El mercado es más amplio en las embarcaciones monocasco que en las embarcaciones multicasco.
- Por razones estéticas.

No se ha querido superar los 20 metros de eslora de casco de manera expresa. En el caso que entrara en el mercado y con una eslora inferior a 20 metros, el público al que va dirigido aumenta drásticamente. Se debe al hecho que, hasta que no cambien la legislación en España, para un yate inferior a 20 metros se necesita la titulación de patrón de yate y para embarcaciones mayores se requiere el capitán de yate. Esta última con número muy inferior a la primera, en cuanto a titulados.

Para la realización del presente proyecto, se ha dispuesto básicamente de:

- Una bibliografía con libros como “Principles of Yatch Design” , usado para el estudio del Sistema Propulsivo
- Programas de ordenador como:
    1. Catia V5 para el diseño del modelo como de sus componentes. También para el cálculo de pesos como para la ergonomía de los espacios
    2. Rhinoceros V4 para el diseño preliminar del yate
    3. Maxsurf para el primer cálculo de hidrostáticas

4. Hullspeed también para el cálculo de potencia
5. Hydromax para el estudio de la estabilidad
6. Programa ISO para el escantillonado de la estructura
7. Microsoft Excel para la elaboración de estadísticas y bases de datos.
8. Keyshot 3 para la realización de imágenes renderizadas

Las partes que componen este proyecto son:

1.-Regresión de datos. A partir de distintos modelos existentes de embarcaciones con unos usos parecidos al modelo a estudiar. De esta regresión se sacarán las medidas y características principales que conformarán las formas hidrostáticas del yate. Es estudio de distintos modelos de éxito ya existentes en el mercado, es una práctica muy común en las oficinas técnicas para que nuevos modelos sean más eficientes y eficaces.

2.-Datos Técnicos de la embarcación. Con las características básicas y preliminares del modelo, se especificará la categoría de diseño y otras características que medirán los "límites" de uso para los cuáles ha sido creado el modelo. Criterios de navegabilidad.

3.-Diseño conceptual del modelo. En conocimiento de las principales medidas preliminares del modelo se creará un primer diseño con Rhinoceros v4 para convertir el documento en un archivo IGES y crear un modelo MSD de Maxsurf.

4.-Diseño de formas de la Carena. Partiendo como base del archivo IGES se creará una carena con hidrostáticas para un proyecto preliminar de diseño de interiores y obtener datos para realizar una hoja de pesos del yate.

5-Estudio del Sistema Propulsivo. Utilizando Hullspeed se sacará una curva de potencias preliminar que se va a comparar con en estudio realizado mediante el método Savitsky y llegar a un punto acorde a la finalidad del yate, sin que quede corto o sobrado, ambas situaciones no deseables por distintas causas.

6.-Estudio de la Estabilidad. Conociendo la situación de los principales componentes dentro la embarcación se realizará el estudio de estabilidad en distintas situaciones para afianzar la seguridad y viabilidad del modelo para el uso para el que se ha diseñado y que participará directamente en las modificaciones que vayan realizando a la carena o casco del barco.

7.-Estudio de la Estructura según norma ISO 12.215-5. Cogiendo como base las normas ISO 12215 se realizará el escantillonado en aluminio del yate. Se basará en estas normas pues son Europeas y sería el mercado al cuál se destinaría este yate deportivo. También, se utiliza estas normas por ser bien estudiadas y con ello estar seguro que el escantillonado aguantará su cometido

8.-**Diseño Ergonómico del modelo**. Se trata del diseño de interiores y su validez. Se debe establecer como un modelo de medidas reales y aceptadas de manera general y, a la vez, que permita una habitabilidad acorde con un modelo de estas características. Es numerosas ocasiones, se encuentras diseños muy aceptables a la vista pero no pensadas realmente para su uso.

1.-REGRESIÓN DE DATOS

Para poder empezar con unas medidas preliminares válidas, se han tomado distintos barcos existentes el mercado. De estos yates, se han tomados sus características principales.

Todas estas embarcaciones tienen unas medidas parecidas a las del proyecto que se pretende crear para tener unas constantes en los resultados válidos y homogéneos. Es decir, todas las embarcaciones son planeadoras de entre 60 y 68 pies, 18 y 20,5 metros de eslora, más o menos y con un desplazamiento similar si cabe.

Las embarcaciones escogidas para realizar la comparación son:

-Sunseeker Manhattan 63
-Sunseeker Predator 64
-Azimut 62S
-San Lorenzo 62
-Princess 64
-Uniesse 65 HT
-Uniesse 65 Sport
-Uniesse 63 Sport
-AB 65 Open

Se han tomado medidas de yates con y sin flybridge. La razón recae en que el concepto original del modelo preveía la posibilidad de montar flybridge, pero por razones estéticas se descartó.

Las medidas comparadas son:

-La Eslora (LOA)
-La Manga (B)
-El Calado (D)
-Cap. de Combustible (C.C.)
-La Potencia (P)
-La Velocidad (S)
-Capacidad de Agua Dulce (C. Ad.)
-Desplazamiento (Δ)
-La Velocidad de Crucero (V Crucero)

(Características principales de los modelos anteriores obtenidos de distintas webs colgadas en la red. Ver Anexo I - Tabla 1.)

(Gráfica de las Regresiones y resultados en función de la eslora. Ver Anexo I – Tabla 2 y Gráficas 1-9)

Fruto de las regresiones realizadas a partir de los datos de la tabla 1, se ha obtenido los siguientes resultados plasmados en la tabla siguiente.

	Resultado f(LOA)	*Unidades*
LOA	*20*	*m*
Beam	*5,26*	*m*
Draft	*1,08*	*m*
Max Speed	*37,8*	*Kts*
V Crucero	*30,6*	*Kts*
Power	*2504*	*hp*
Weight	*32639*	*kg*
Capacidad Combustible	*3407,9*	*kg*
Capacidad Agua Dulce	*978*	*kg*

Tabla 3 – Resultados calculados con el programa Excel

2.-DATOS TÉCNICOS DE LA EMBARCACIÓN

A partir de los resultados obtenidos en las medias mostradas anteriormente, se pasa a evaluar los datos del modelo que pretendemos realizar. Para ello tendremos en cuenta las preferencias de uso de la embarcación y disponer, también, la categoría de diseño y la zona de navegación adecuada.

2.1- INTENCIÓN DE USO

Con la intención de uso se pretende marcar uno requisitos mínimos, a los que se debe abordar, para que el concepto final sea válido.

Gran parte del tiempo en uso se realizará a velocidad de crucero pero dando la oportunidad de navegar a alta velocidad durante unos paseos relativamente largos. Con navegación cercana a la costa, en zonas resguardadas y en mar abierto. El diseño debe comprender la posibilidad de buena navegabilidad en zonas marítimas como el Mar Mediterráneo.

Deberá poseer espacios amplios, luminosos, adecuados y cómodos para permitir una habitabilidad más que aceptable durante un período o estancia mínima de 10 días. La temporada a la que se dedica podrían ser la primavera, verano y principios de otoño básicamente. Temporada Veraniega.

Por tanto, los objetivos que debe alcanzar la embarcación son:

-Alta velocidad
-Gran manejabilidad
-Facilidad de uso
-Look atractivo y moderno
-Interior Espacioso
-Luminosidad
-Zona Solarium

2.2 MEDIDAS PRELIMINARES

Las medidas preliminares de la embarcación con las que se empieza y la categoría y la zona de navegación a las que se ajustan más a los requisitos son:

Loa	*20 metros*
Beam	*5,26 metros*
Desplazamiento	*32.639 kg*
Potencia máxima	*2.504 Hp*
Draft	*1,08 metros*

Tabla 4 – Resultados calculados con el programa Excel

Categoría de Diseño = 2

Zona de Navegación = 2

3.-DISEÑO CONCEPTUAL DEL MODELO

Partiendo del primer esbozo de diseño que se realizó en un simple papel, se crea un modelo 3D que se rija con las medidas esenciales anteriormente calculadas y estipuladas.

Se mostrará la variación del primer modelo creado con el último para visualzar los cambios que se han ido efectuando. Y, aunque se representen sólo dos modelos, el cambio de uno a otro es de manera progresiva y no directa.

3.1 PRIMER MODELO

El primer esbozo que se realizó del yate fue un simple diseño que carecía tanto de estructura como de medidas reales. Se trata de la interpretación de un diseño imaginario que, modificándolo y adaptándolo, irá tomando valores más o menos reales.

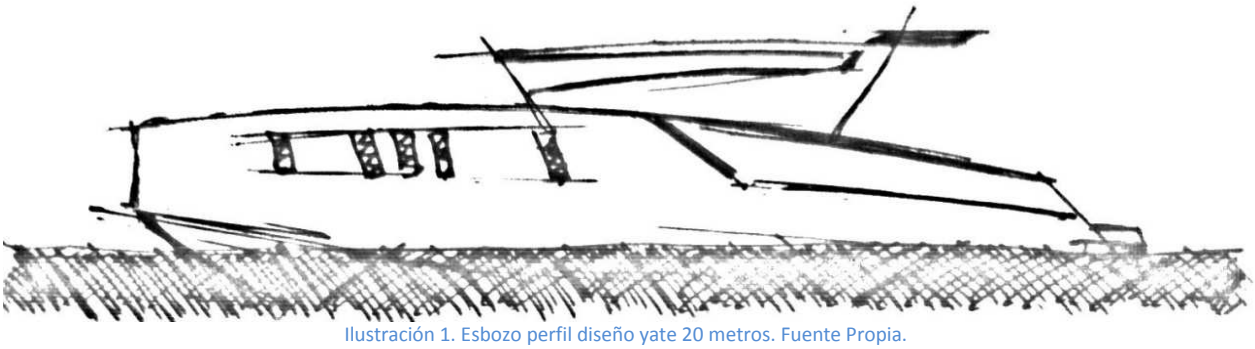


Ilustración 1. Esbozo perfil diseño yate 20 metros. Fuente Propia.

Con este esbozo, se crea, utilizando el programa Rhinoceros V.4, un modelo 3D para dar volumen al diseño y analizar así, también, su estética. El diseño ya se creó con la cabina para dar más realidad al concepto.

Hay que decir que, en esta fase tan temprana del proyecto, las dimensiones que se han seguido para el boceto 3D son las calculadas en la Tabla 3.

Plano Perfil del diseño preliminar donde ya se aprecian unas líneas agresivas pero con una gran cabina cerrada, para tener zona de uso aun con días poco favorables.

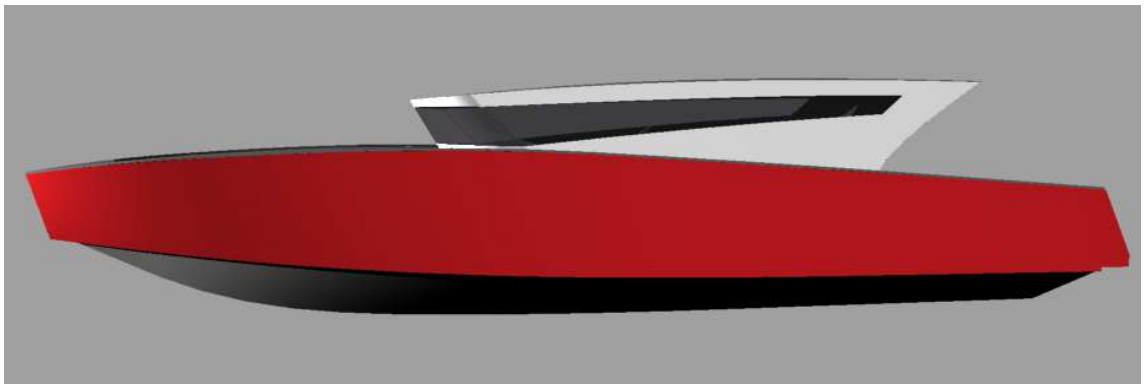


Ilustración 2. Vista perfil del yate de 20 metros. Fuente propia, realizado con Rhinoceros v.4.0.

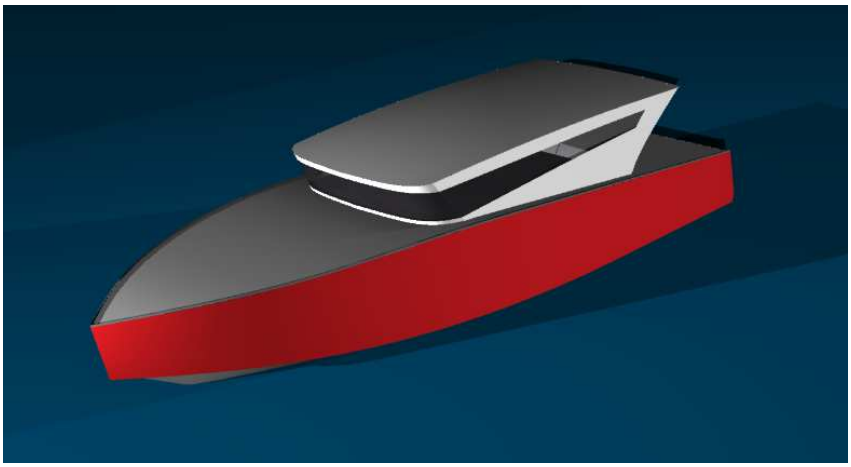


Ilustración 3. Vista perspectiva del yate de 20 metros. Fuente propia, realizado con Rhinoceros v.4.0.

4.-DISEÑO FORMAS DE CARENA

De este modelo anterior, se crea un archivo IGES que se usará en el programa para el cálculo de hidrostáticas, Maxsurf. Para ello, deberemos hacer un modelo con unas superficies lo más limpias posible y sin deformaciones o incongruencias geométricas. Plano Perfil del archivo tratado en ".iges" en el que se aprecia las líneas agua.

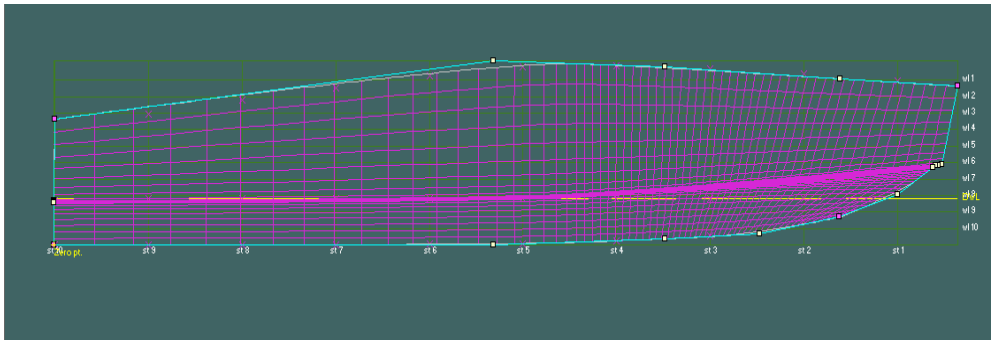


Ilustración 4. Vista perfil del yate de 20 metros. Fuente propia, realizado con Maxsurf.

Al igual que en el caso anterior, también se expone una vista perspectiva y, con sólo el casco, renderizada para una mejor interpretación, y de forma general, de las formas del casco.

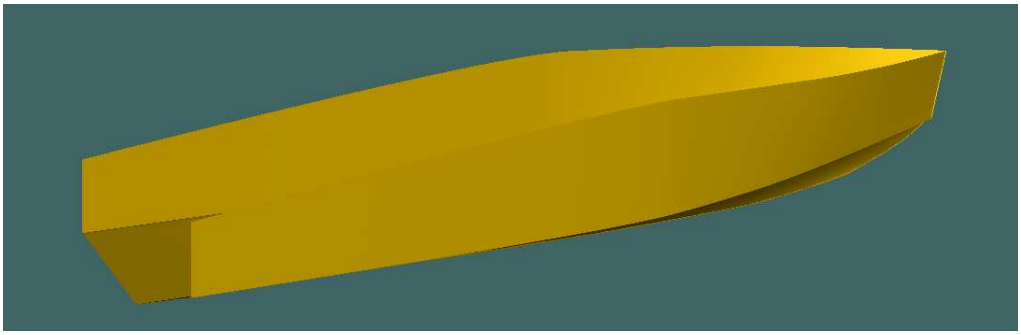


Ilustración 5. Vista tridimensional del yate de 20 metros. Fuente propia, realizado con Maxsurf.

(Distintos diseños que se han estudiado antes de llegar al modelo final. Ver Anexo 2 - Ilustración 6, 7 ,8 y 9.)

4.1 MODELO FINAL

Este modelo conceptual, se modificó por no reunir las condiciones de habitabilidad requeridas. El francobordo daba un resultado de 2,59m de altura, lo que dificultaba un interior espacioso y con una altura de cabina muy poco recomendable para una embarcación de esta envergadura. A ello, se modificaron las formas generales del casco intentando mantener unas medidas lo más parecidas a las calculadas en las regresiones, de los distintos modelos ya existentes en el mercado. Haciendo patente el uso de la espiral de proyectos concurrente.

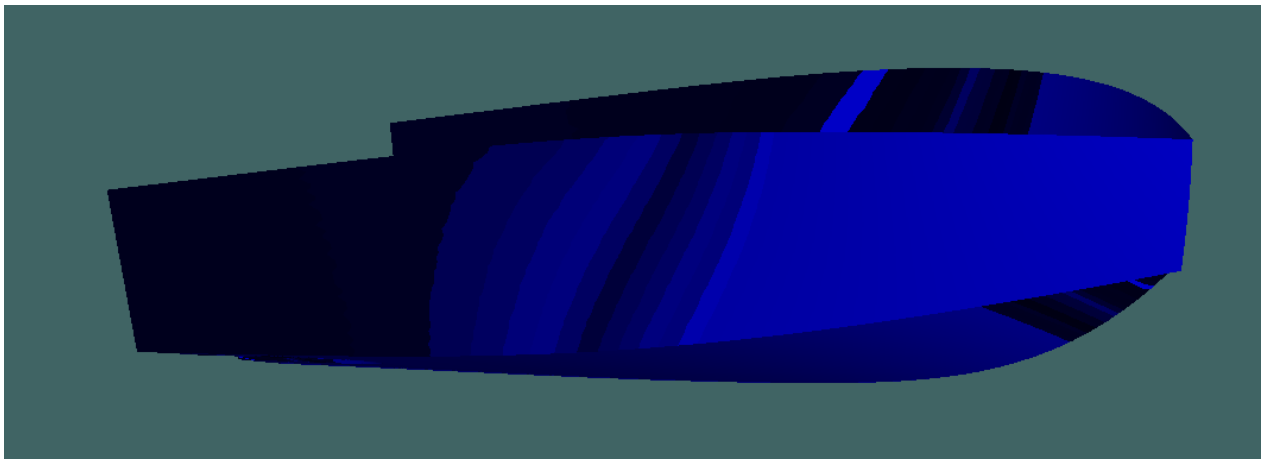


Ilustración 10. Vista tridimensional del yate de 20 metros. Fuente propia, realizado con Maxsurf.

Vista perfil con las líneas de agua del casco

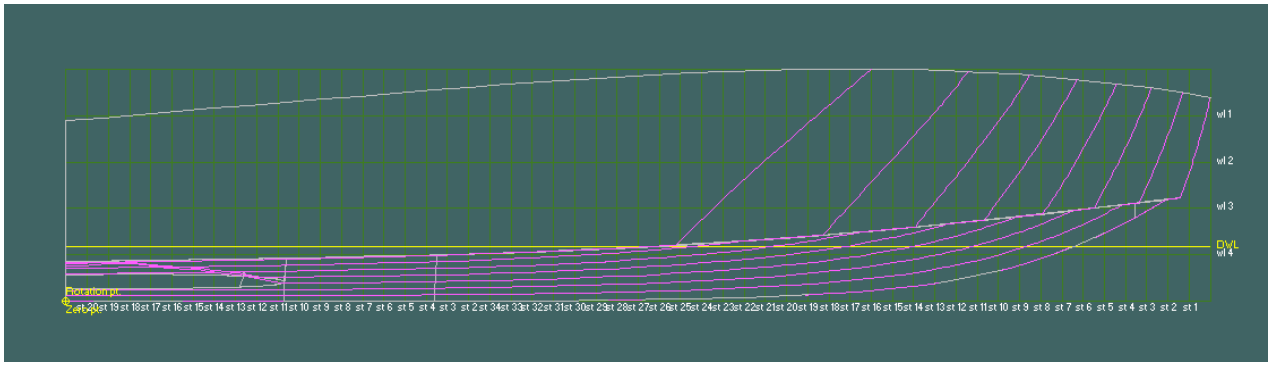


Ilustración 11. Vista tridimensional del yate de 20 metros. Fuente propia, realizado con Maxsurf.

Con estas vistas ya se aprecia el “engorde” que ha sufrido el casco principalmente en el plano ZX, es decir, un aumento de francobordo considerable. A su vez se han afinado las superficies del casco haciéndolas más lisas y finas, a la vez que efectivas.

En la tabla 5 se aprecia que, cogiendo los resultados de las regresiones, los resultados del casco y comparándolos, se observa que son cifras bastantes similares o que no distan mucho entre ellas.

(*) La eslora del modelo es de casco, mientras que la media trata de eslora total. La diferencia se usará para instalar una plataforma de baño que podrá ser desmontable.

	Media	*Modelo*	*Unidades*
LOA	*20*	*19,43**	*m*
Beam	*5,08*	*5,24*	*m*
Draft	*0,95*	*0,92*	*m*
Weight	*32458,75*	*31253,7*	*kg*

Tabla 5 – Resultados calculados con el programa Excel

Las hidrostáticas resultantes del modelo nos serán necesarias para el cálculo posterior de estabilidad y potencia. Los resultados hidrostáticos se muestran en la siguiente tabla:

Concepto	*Cantidad*	*Unidad*
Displacement	*31253,7*	*kg*
Volume	*30,24*	m^3
Draft to Baseline	*0,92*	*m*
Immersed depth	*0,92*	*m*
L_{wl}	*17,093*	*m*
Beam wl	*5,03*	*m*
WSA	*75,061*	m^2
Max cross sect area	*2,649*	m^2
Waterplane area	*65,599*	m^2
C_p	*0,668*	
C_b	*0,382*	
C_m	*0,578*	
C_{wp}	*0,763*	
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	*6,378*	*m*
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	*6,821*	*m*
LCB from zero pt. (+ve fwd) % Lwl	*37,312*	*%*
LCF from zero pt. (+ve fwd) % Lwl	*39,904*	*%*
KB	*0,625*	*m*
KG	*-0,882*	*m*
BMt	*3,725*	*m*
BMl	*38,194*	*m*
GMt	*5,232*	*m*
GMl	*39,701*	*m*
KMt	*4,35*	*m*
KMl	*38,819*	*m*
Immersion (TPc)	*0,672*	*tonne/cm*
MTc	*0,72*	*tonne.m*
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	*2830,179*	*kg.m*
Precision	*Medium*	*50 stations*

Tabla 6 – Resultados calculados con el programa Maxsurf

Además de los valores, se presentan distintas ilustraciones tipo plano del casco definitivo en las tres vistas. Vista de líneas de casco, seccionales, longitudinales y en planta, proyectadas del programa Maxsurf y Catia V5.

Vista Planta con proyección-intersección de distintos planos XY con el casco.

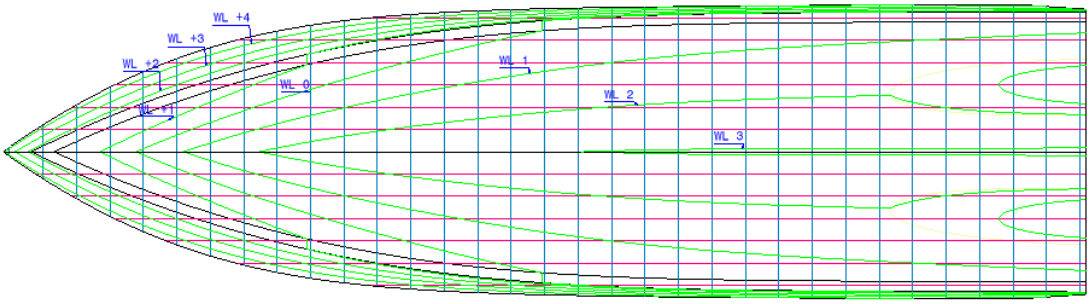


Ilustración 12. Vista Planta. Fuente propia, realizado con Catia V5

Vista Perfil con proyección-intersección de distintos planos ZX con el casco.

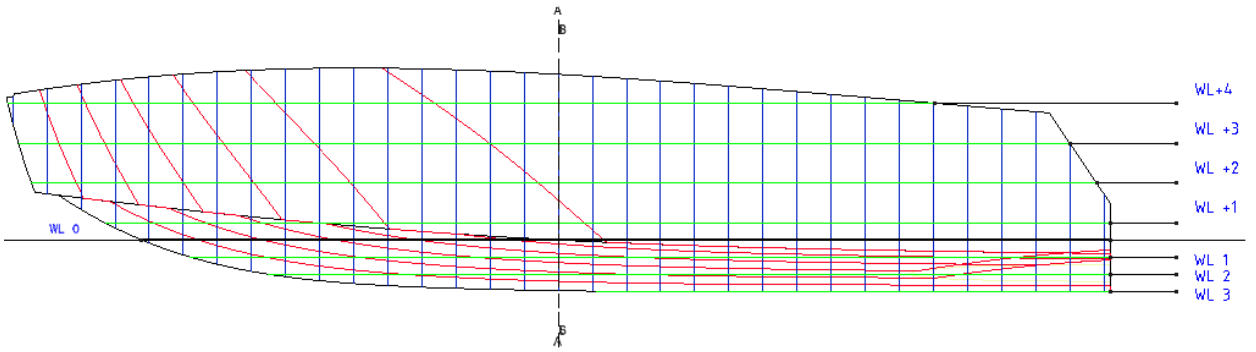


Ilustración 13. Vista Perfil. Fuente propia, realizado con Catia V5

Vista Alzado con proyección-intersección de distintos planos XY con el casco.

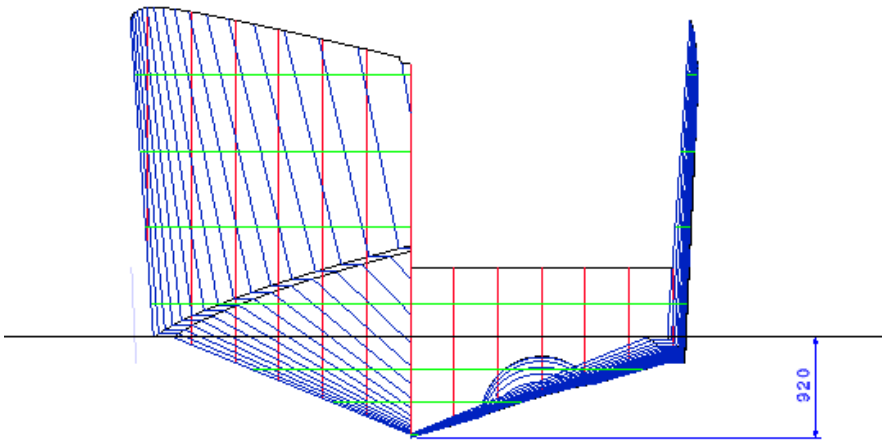
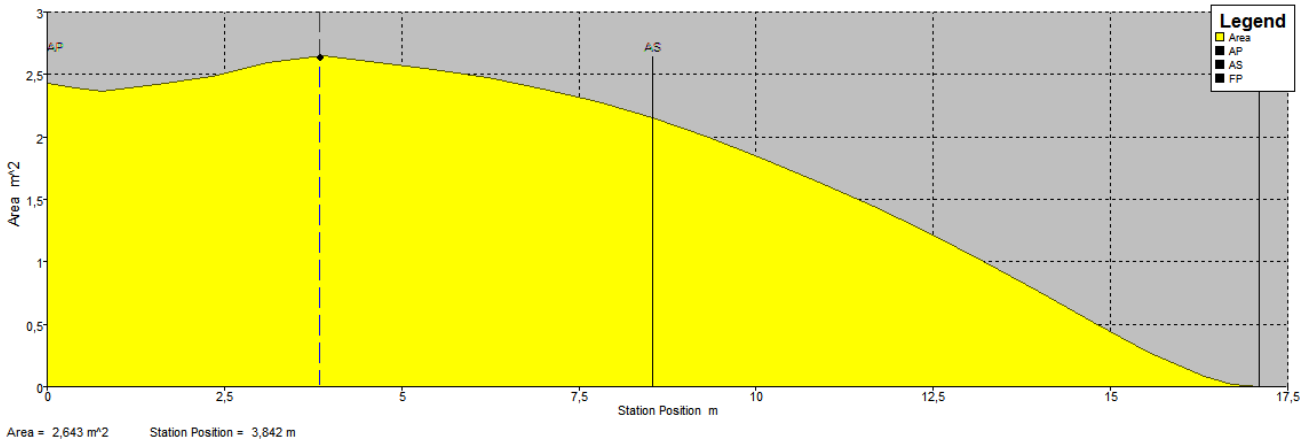


Ilustración 14. Vista Alzado. Fuente propia, realizado con Catia V5

Curva de áreas donde se aprecia la disminución de área en su tercio inicial en la evolución de la curva, de más eslora a menos eslora, propia o resultante de los canales para las hélices realizados en el casco para una mayor eficiencia propulsiva.



Gráfica 11. Curva de áreas del casco. Fuente propia, realizado con Maxsurf

Esta gráfica de curva de áreas desvela las formas de la carena. Este gráfico representa el área de las cuadernas o secciones en el eje de las ordenadas y la eslora de la embarcación en el eje de las abscisas y/o la posición de dicha sección o cuaderna.

5.- ESTUDIO DEL SISTEMA PROPULSIVO

En este capítulo, se pretende calcular la potencia necesaria para la embarcación acorde a los parámetros de diseño exigidos. Se procederá a calcularla de dos maneras distintas. La primera, por el método Savitsky y la segunda a través del uso del programa Hullspeed, cuál nos dará unas curvas de potencia gráficamente.

5.1.- MÉTODO SAVITSKY

Este método matemático, realizado de forma “manual”, trata sobre los estudios realizados a superficies planas, a distintos grados de trimado y al que se la aplican unos coeficientes para hacer compatibles los resultados a las embarcaciones. Dentro de este método, cabe diferenciar el cálculo de superficies planeadoras a alta velocidad de las de baja velocidad, pues hay ciertos matices que deben ser tomados en cuenta, y que dependerán en gran medida del número de Reynolds, que depende a su vez de la viscosidad del fluido.

Otro dato interesante a calcular es el Número de Froude, o Froude number (Fn). Este resultado adimensional, relacionado directamente con la velocidad de la embarcación y su

eslora, nos da una idea del tipo de casco que tenemos, si es de desplazamiento, semi-desplazamiento o planeo. Se considera:

- Desplazamiento: Las embarcaciones con un Fn < 0,6. La Hidrodinámica es casi insignificante y, las fuerzas de sustentación que actúan, son mayoritariamente fuerzas hidrostáticas. Este tipo de embarcaciones se caracteriza por disminuir su centro de gravedad vertical a medida que va aumentando la velocidad hasta llegar al punto posicional menor.
- Semi-desplazamiento: Aquellas embarcaciones con un 0,6 < Fn < 1,3. Las fuerzas hidrodinámicas empiezan a tener un papel más importante y el centro de gravedad o KG va aumentando con la velocidad.
- Planeo: Aquellas embarcaciones con un Fn > 1,3. En este caso, las fuerzas de sustentación, las fuerzas hidrodinámicas, son muy importantes y van ganando valor a medida que el FN aumente. Como en el caso de Semi-desplazamiento, también va aumentado el KG con la velocidad.

Por este motivo, lo primero en calcular va a ser el número de Froude y Reynolds. Tomaremos:

a) la velocidad de 42 Kts, 21,607 m/s

b) la aceleración de la gravedad de 9,81 m/s

c) la eslora de flotación de 17,093 m.

$$F_N = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} = \frac{21{,}607}{\sqrt{9{,}81 \cdot 17{,}093}} = \frac{21{,}607}{13{,}266} = 1{,}63$$

$$R_N = \frac{V \cdot L}{\nu} = \frac{21{,}607 \cdot 17{,}093}{1{,}23 \cdot 10^{-6}} = 300262401$$

Para realizar el resto de los cálculos, se seguirá el procedimiento descrito en el libro “Principles of Yatch Design” de Lars Larsson. A continuación se mostrarán los parámetros y valores.

Podemos diferenciar dos partes, una en la que se calcula el trimado y la Resistencia de Fricción y una segunda donde se calcula la potencia.

- Índice de los parámetros que deben salir del modelo, ser estimados o ya tienen su propio valor.

ρ	*Densidad*	*1025 kg/m³*	L_m	*Eslora media mojada*	*13,423 m*
g	*Gravedad*	*9,81 m/s²*	f	*Distancia paralela entre el eje de la hélice y el CG*	*1,391 m*
V	*Velocidad*	*21,607 m/s*	LCG	*Centro de Gravedad Longitudinal des de popa*	*6,349 m*
λ	*Ratio Eslora/manga*	*2.630*	VCG	*Centro de Gravedad Vertical desde el fondo*	*1,53 m*
L_c	*Eslora chine mojado*	*9,752 m*	m	*Masa de la embarcación*	*31253 kg*
L_k	*Eslora de quilla mojada*	*17,093 m*	ε	*Ángulo del eje de la hélice respecto la dirección del fluido*	*11,806 °*

Tabla 7 – Resultados de los parámetros a calcular y de aquellos con valor predefinido

- Índice de los parámetros que deben ser calculados por el Método Savitsky y con los resultados dados por esta metodología.

τ	*Ángulo de Trimado*	*2,631°*
C_{lo}	*Brazo de elevación*	*0,052 m*
C_v	*Coeficiente de velocidad o Froude de manga*	*3,097*
$\Delta\lambda$	*Incremento de ratio eslora/manga*	*0,63*
L_{CP}	*Centro Longitudinal de Presiones*	*7,973 m*
R_F	*Resistencia de Fricción*	*32.981 kN*
C_F	*Coeficiente de Fricción*	*0,0017875*
e	*Brazo o distancia relativa entre L_{CG} y L_{CP}*	*1,623 m*
η_{MEC}	*Rendimiento Mecánico*	*54 %*
R_T	*Resistencia Total*	*42,776kN*
P_E	*Potencia Efectiva*	*1247,75 Hp*
P_R	*Potencia Real*	*2310,65 Hp*

Tabla 8 – Resultados de los parámetros a calcular y de aquellos con valor predefinido

(Operaciones y resultados por el Método Savitsky. Ver Anexo 3 – Tabla 8-12.)

Esquema y dibujo de los parámetros extraídos del yate.

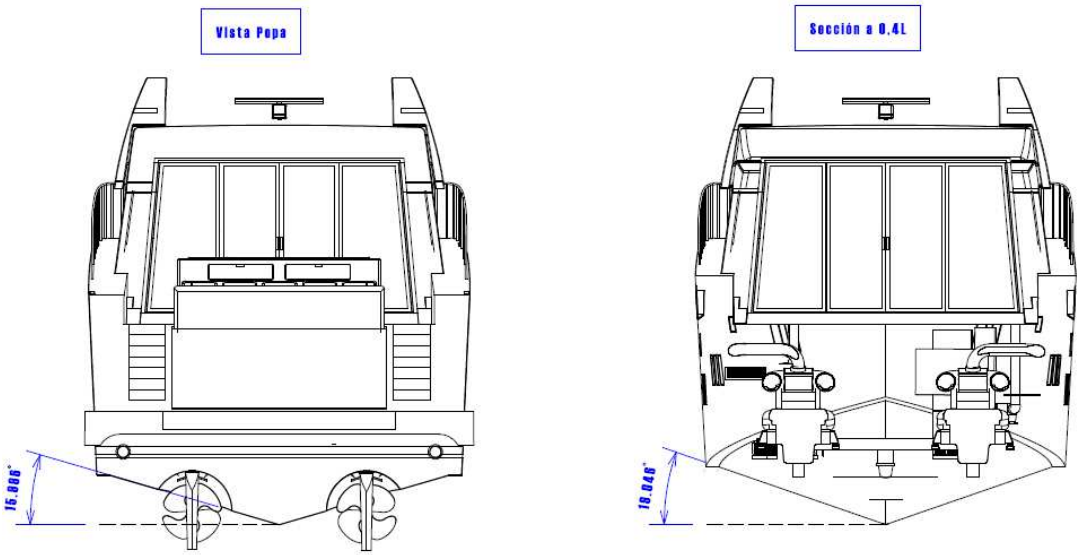


Ilustración 15. Vista Alzado y sección a 0,4L con su ángulo de astilla muerta.

Fuente propia, realizado con Catia V5.

Vista Perfil de los parámetros y fuerzas que actúan en una planeadora según Savitsky.

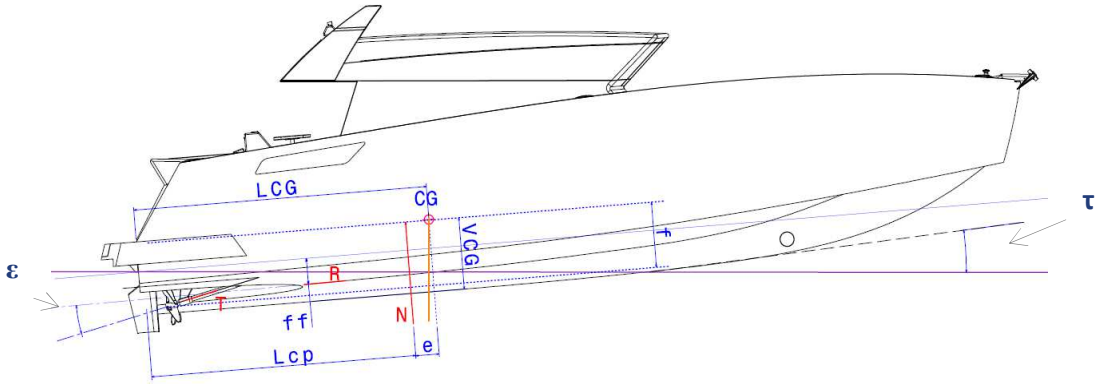


Ilustración 16. Vista Perfil con las fuerzas y ángulos que actúan en una embarcación según Savitsky.

Fuente propia y esquema de "Principles of Yacht design" de Lars Larsson, realizado con Catia V5.

5.2.-ESTIMACIÓN CON HULLSPEED

A través del programa Hullspeed, se ha calculado la potencia requerida para el modelo anterior de manera teórica.

Se ha optado por un rendimiento propulsivo del 54 por ciento, después de cortejar distintos puntos de información. Todos los datos, rondaban entre el 50 y el 56 por ciento para embarcaciones propulsadas por motores intra-bordas con ejes y, como en este caso, dos.

Para poder obtener una comparativa, y ver las diferencias que puedan haber, no sólo por el hecho de variar un ángulo de inclinación en concreto, sino también por variar el

volumen y forma geométrica sumergidas en el fluido, se calculará, en las mismas condiciones de calado y rendimiento, los resultados de dos trimados distintos.

En el primer caso con trimado a 0°, obtenemos un resultado menos real, pues una planeadora siempre se eleva, y más por la proa que por la popa.

En el segundo caso, se intenta acercar más el modelo a una situación real elevando el ángulo de trimado en 0'8°, calculado por el método Savitsky.

La elevación de la embarcación, cuando ésta planea, es generalizada en toda la embarcación, es decir, el calado disminuye, se obtiene un menor desplazamiento. En este caso, sólo dispondremos cambios en el valor de trimado, no en el calado, ya que se desconoce cuánto podría ser.

También se quiere enfatizar que, el programa Hullspeed basa sus cálculos en los mismos que el Método Savitsky, pero teniendo en cuenta ciertas correcciones con las que se determinan unos resultados "menos ideales" o más reales.

Como resultados de Maxsurf, se presentan unas gráficas de las que se obtiene una curva parabólica pero progresiva, sin cambios bruscos. En el eje de abscisas se coloca la velocidad y el Número de Froude y, en el eje de las ordenadas, se dispone potencia requerida. En función de la velocidad, entre otros factores, se obtiene la curva de potencia requerida.

5.2.1.- ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA CON TRIMADO A 0°

Primeramente se presenta la curva de potencia con el trimado de la embarcación a 0°. En esta se aprecia como tiene, básicamente dos puntos de inflexión causando una parábola que asciende más rápidamente en su primer tercio, luego asciende de manera más suave y cerca de su último tercio, sobre los 35 nudos, vuelve a ascender más enérgicamente.

En este segundo punto de inflexión, se puede deducir donde la embarcación obtiene su mejor relación velocidad/potencia y por tanto se toma, este punto de inflexión, justo antes que empiece a ascender de manera más drástica, como velocidad de crucero,

$$Velocidad\ de\ Crucero = 35{,}3\ nudos$$

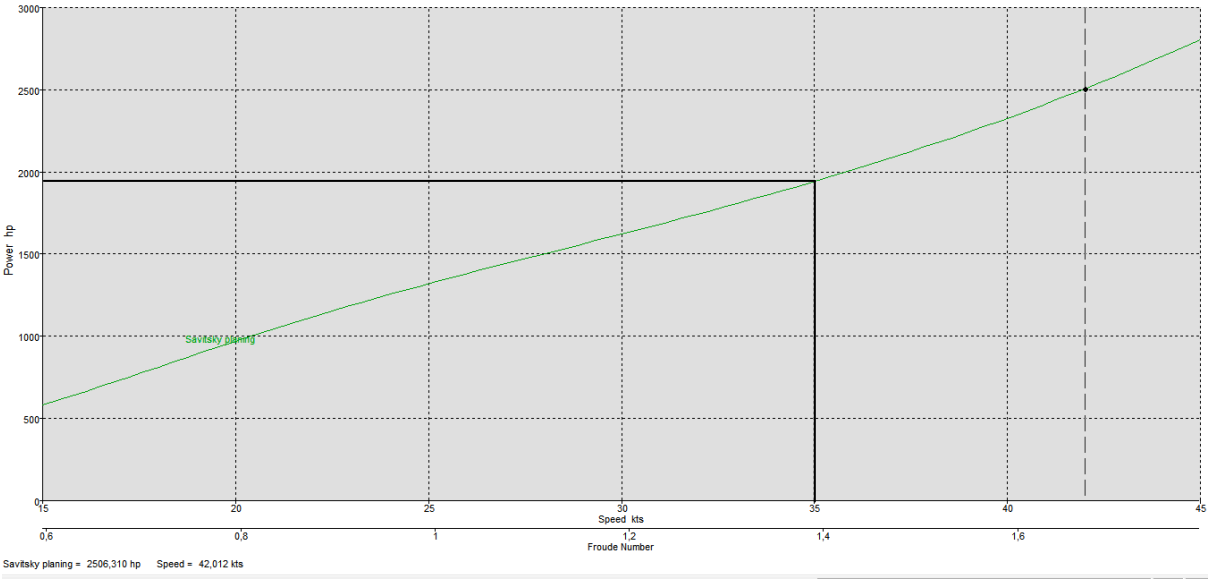
$$Potencia\ en\ ese\ punto\ de\ inflexión = \ 1963{,}01\ hp$$

$$Pf(V) = 55{,}61\ hp/Kts$$

$$Velocidad\ Máxima = 41{,}43\ nudos$$

$$Potencia\ a\ Velocidad\ Máxima = \ 2452{,}33\ hp$$

$$Pf(V) = 59{,}19\ hp/Kts$$



Gráfica 12.Curva velocidad/potencia.. Fuente propia, realizado con Maxsurf

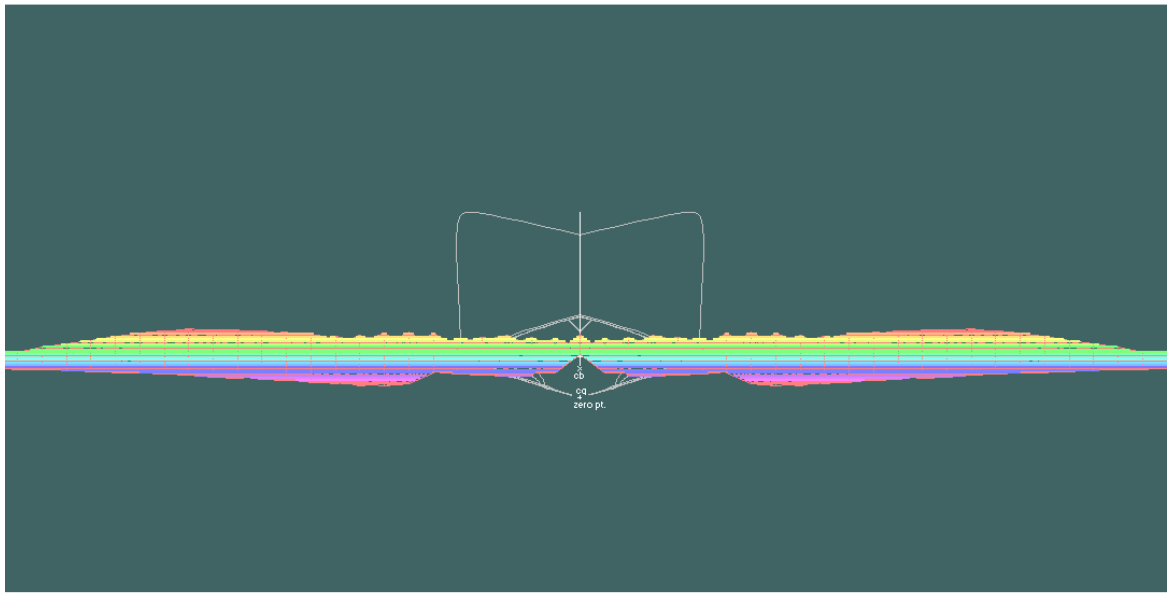


Ilustración 17. Vista Alzado del yate con el espectro de fuerzas actúan en la embarcación.

Fuente propia, realizado con Maxsurf.

Velocidad (Kts)	*Resistencia Savitsky Planing(kN)*	*Potencia Savitsky Planing(Hp)*
14,48	*29,55*	*546,51*
15,7	*31,65*	*634,76*
16,93	*33,69*	*728,49*
18,15	*35,59*	*825,2*
19,38	*37,25*	*922,02*
20,6	*38,62*	*1016,41*
21,83	*39,69*	*1106,7*
23,05	*40,49*	*1192,29*
24,28	*41,06*	*1273,41*
25,5	*41,47*	*1350,87*
26,73	*41,76*	*1425,73*
27,95	*41,98*	*1499,14*
29,18	*42,18*	*1572,18*
30,4	*42,38*	*1645,86*
31,63	*42,6*	*1721,06*
32,85	*42,86*	*1798,55*
34,08	*43,16*	*1879*
35,3	*43,53*	*1963,01*
36,52	*43,96*	*2051,09*
37,75	*44,45*	*2143,68*
38,98	*45,01*	*2241,18*
40,2	*45,64*	*2343,96*
41,43	*46,34*	*2452,33*
42,65	*47,1*	*2566,58*
43,88	*47,94*	*2687,01*
45,1	*48,84*	*2813,85*
46,33	*49,8*	*2947,34*
47,55	*50,83*	*3087,71*
48,78	*51,92*	*3235,17*
50	*53,07*	*3389,92*

Tabla 13 – Resultados del cálculo de la Resistencia y la Potencia estimada con Maxsurf

Y, al igual que las últimas operaciones, se muestra la relación de la potencia pero, en este caso, en relación a la resistencia

$$R.Velocidad\ crucero = 43{,}53\ kN \qquad R.Velocidad\ máxima = 46{,}34\ kN$$

$$P.Velocidad\ Crucero = 1963{,}01\ hp \qquad P.Velocidad\ máxima = 2452{,}33\ hp$$

$$Pf(R) = 47{,}4\ hp/kN \qquad Pf(R) = 52{,}9\ hp/kN$$

5.2.2.- ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA CON TRIMADO SAVITSKY

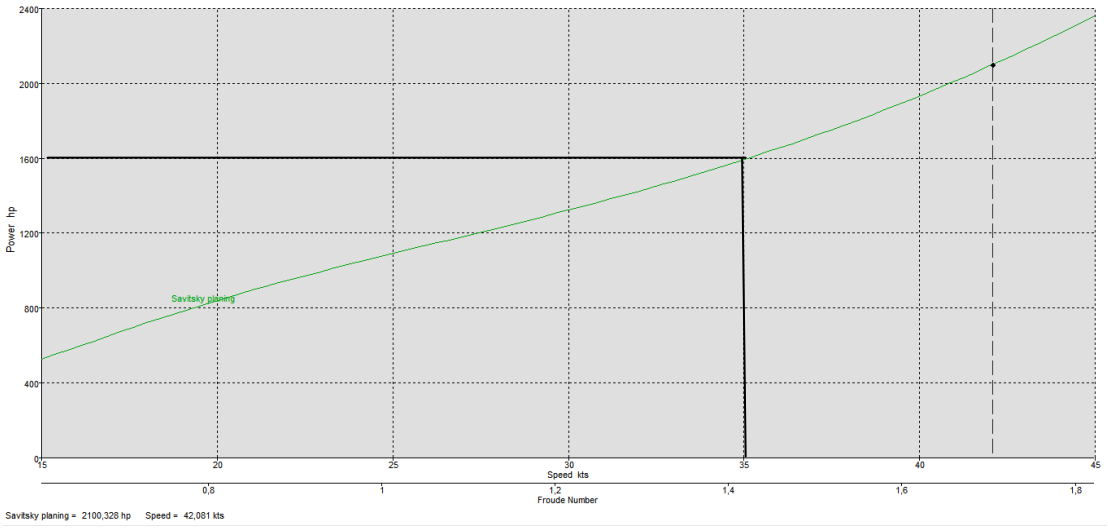
A continuación se presenta la curva de potencia con el trimado de la embarcación a 0,8°. En esta se aprecia, como en el caso anterior, básicamente dos puntos de inflexión causando una parábola que asciende más rápidamente en su primer tercio, luego asciende de manera más suave y cerca de su último tercio, sobre igualmente los 35 nudos, vuelve a ascender más enérgicamente.

En este segundo punto de inflexión, se puede deducir donde la embarcación obtiene su mejor relación velocidad/potencia y por tanto se toma, este punto de inflexión, justo antes que empiece a ascender de manera más drástica, como velocidad de crucero,

$$Velocidad\ de\ Crucero = 35{,}25\ nudos \qquad Velocidad\ Máxima = 42\ nudos$$

$$P.punto\ de\ inflexión = 1608{,}17\ hp \qquad P.velocidad\ max = 2093{,}47\ hp$$

$$Pf(V) = 45{,}62\ hp/Kts \qquad Pf(V) = 49{,}84\ hp/Kts$$



Gráfica 13.Curva velocidad/potencia.. Fuente propia, realizado con Maxsurf

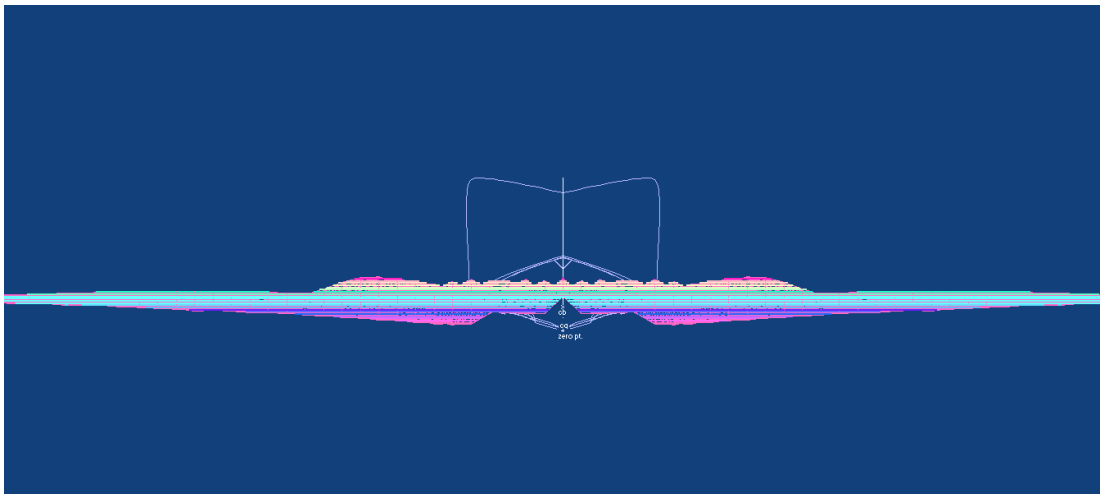


Ilustración 18. Vista Alzado del yate con el espectro de fuerzas actúan en la embarcación.

Fuente propia, realizado con Maxsurf.

Velocidad (Kts)	*Resistencia Savitsky Planing(kN)*	*Potencia Savitsky Planing(hp)*
15	*27,55*	*528,03*
15,75	*28,64*	*576,27*
16,5	*29,65*	*624,98*
17,25	*30,56*	*673,45*
18	*31,36*	*721,06*
18,75	*32,03*	*767,3*
19,5	*32,59*	*811,87*
20,25	*33,03*	*854,62*
21	*33,38*	*895,55*
21,75	*33,64*	*934,78*
22,5	*33,83*	*972,52*
23,25	*33,97*	*1009,01*
24	*34,07*	*1044,51*
24,75	*34,13*	*1079,3*
25,5	*34,18*	*1113,63*
26,25	*34,22*	*1147,76*
27	*34,26*	*1181,91*
27,75	*34,31*	*1216,3*
28,5	*34,36*	*1251,12*
29,25	*34,43*	*1286,55*
30	*34,51*	*1322,74*
30,75	*34,62*	*1359,85*
31,5	*34,74*	*1397,99*
32,25	*34,88*	*1437,3*
33	*35,05*	*1477,88*
33,75	*35,25*	*1519,82*
34,5	*35,47*	*1563,22*
35,25	*35,71*	*1608,17*
36	*35,98*	*1654,74*
36,75	*36,27*	*1703*
37,5	*36,59*	*1753,02*
38,25	*36,93*	*1804,87*
39	*37,3*	*1858,6*
39,75	*37,7*	*1914,28*
40,5	*38,11*	*1971,94*
41,25	*38,55*	*2031,66*
42	*39,02*	*2093,47*
42,75	*39,5*	*2157,43*
43,5	*40,01*	*2223,57*
44,25	*40,54*	*2291,96*
45	*41,1*	*2362,61*

Tabla 14 – Resultados del cálculo de la Resistencia y la Potencia estimada con Maxsurf

$$R.Velocidad\ crucero = 41{,}53\ kN \qquad R.Velocidad\ máxima = 46{,}34\ kN$$

$$P.Velocidad\ Crucero = 1963{,}01\ hp \qquad P.Velocidad\ máxima = 2452{,}33\ hp$$

$$Pf(R) = 47{,}4\ hp/kN \qquad Pf(R) = 52{,}9\ hp/kN$$

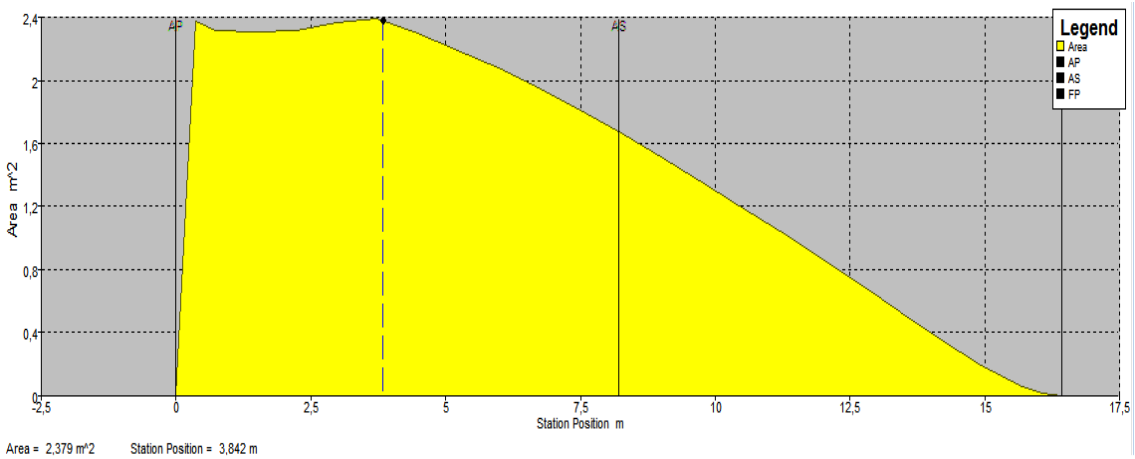
También, se muestra a continuación las hidrostáticas resultantes, del modelo trimado a 0'8°. Se observa la diferencia en el desplazamiento y como afecta directamente a la potencia y a la resistencia resultante final.

Esto detalle evidencia el hecho que las planeadoras trabajan mejor realmente cuando planean, su función básica desde el punto de vista del rendimiento propulsivo final.

Displacement	*24691,409*	*kg*
Volume	*24,089*	*m3*
Draft to Baseline	*0,92*	*m*
Immersed depth	*0,915*	*m*
Lwl	*16,444*	*m*
Beam wl	*5,028*	*m*
WSA	*67,167*	*m2*
Max cross sect area	*2,4*	*m2*
Waterplane area	*58,731*	*m2*
Cp	*0,61*	
Cb	*0,318*	
Cm	*0,555*	
Cwp	*0,71*	
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	*5,814*	*m*
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	*6,395*	*m*
LCB from zero pt. (+ve fwd) % Lwl	*35,357*	*%*
LCF from zero pt. (+ve fwd) % Lwl	*38,89*	*%*
KB	*0,65*	*m*
KG	*0*	*m*
BMt	*3,961*	*m*
BMl	*37,964*	*m*
GMt	*4,612*	*m*
GMl	*38,615*	*m*
KMt	*4,612*	*m*
KMl	*38,615*	*m*
Immersion (TPc)	*0,602*	*tonne/cm*
MTc	*0,58*	*tonne.m*
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	*1987,273*	*kg.m*
Precision	*Medium*	*50 stations*

Tabla 15 – Resultados calculados con el programa Maxsurf

Nueva Curva de Áreas, más estrecha y afilada y denota la inclinación del espejo de popa, cuando la grafica tiende a cero.



Gráfica 14.Curva de áreas del casco.. Fuente propia, realizado con Maxsurf

En la gráfica de la curva de áreas, se observa como ésta se alarga y ya no es completamente vertical en la popa, debido al ángulo de inclinación del espejo de popa, pero que en total, la superficie mojada es mucho menor al modelo sin trimar, reduciéndose en casi 10 m^2, acercándose al 15% de disminución, y el desplazamiento en unos 6000 kg, acercándose al 22% de disminución.

Como detalle, en principio casual, la potencia calculada manualmente por el Método Savitky nos da un valor muy cercano a la media entre las dos potencias calculadas mediante Maxsurf y Hullspeed.

Método Savitsky	*Hullspeed trimado 0°*	*Hullspeed Trimado 0'8°*
2303,52 hp	*2452,33 hp*	*2093,57 hp*

5.3.- ELECCIÓN MOTORIZACIÓN

Con estos resultados se ha escogido el motor siguiente, usado también más tarde, para el cálculo de pesos en el apartado de Hidrostática y Estabilidad del proyecto.

- Motor Modelo: MTU V8 2000 M94
- n° cilindros: 8
- Peso: 2360 kg (con reductora)
- Potencia en la hélice: 1250 hp

Para la instalación de este motor en el yate, se cuenta con dos unidades.

(Características Técnicas del motor MTU V8 2000 M94. Ver Anexo 3 – ilustración 19)

5.4- ESTUDIO DE LA POTENCIA DEL MOTOR DE PROA

Aunque no se trate de una sistema propulsor para avanzar, sino para maniobrar, se calculará la potencia de lo que se trata de un propulsor muy utilizado en este tipo de embarcaciones y mayores. Desde su implantación, el uso de este tipo de motores ha experimentado un auge masivo en casi cualquier tipo de buque.

Para el cálculo de la potencia requerida para maniobra, se necesita tener en cuenta ciertos parámetros estipulados en tablas tales como: los vientos a que expondrá el yate, área lateral del yate,…

5.4.1.-ÁREA LATERAL DE LA EMBARCACIÓN

Para el cálculo del área lateral del yate, simplemente hemos realizado una proyección de la parte del yate que se encuentra por encima de la línea de flotación. Esta área será la que nos servirá para el pronóstico de la potencia del motor de proa, pues es la parte expuesta al viento que pueda producirse.

Para ello se entenderá como si esta proyección fuera una pared plana contada en metros cuadrados. En la realidad no es exactamente así. El barco no es plano del lateral pero nos aseguramos que la potencia no sea escasa o demasiado justa. De esta manera, se considera como una potencia adecuada con un margen, digamos, de seguridad en su límite máximo.

Área Total en el plano ZX: 62,38 m^2

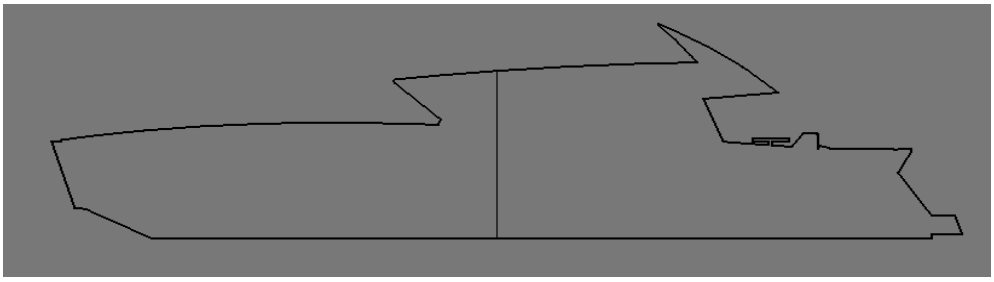


Ilustración 20. Vista Perfil del área lateral del yate. Fuente propia, realizado con Rhinoceros v.4.0

5.4.2.- ESCALA DE BEAUFORT

Otro factor muy importante es el tipo de viento al que se expondrá la embarcación. Usada de manera extensiva, una manera de medir de forma empírica la ”calidad” , intensidad o fuerza del viento es mediante la llamada Escala de Beaufort que tiene en cuenta, no sólo el viento, sino también el estado de la mar y sus olas. A continuación se muestra la tabla de la Escala de Beaufort que se ha utilizado para realizar los posteriores cálculos,

Fuerza	*m/s*	*kt (nudos)*	*Denominación*
1	*0 - 0,2*	*< 1*	*Calma*
2	*0,3 - 1,5*	*1 -3*	*Ventolina*
2	*1,6 - 3,3*	*4 - 6*	*Brisa muy débil*
3	*3,4 - 5,4*	*7 -10*	*Brisa débil o flojo*
4	*5,5 - 7,9*	*11- 16*	*Brisa moderada*
5	*8,0 - 10,7*	*17- 21*	*Fresquito o Brisa fresca*
6	*10,8 - 13,8*	*22 - 27*	*Brisa fuerte*
7	*13,9 - 17,1*	*28 - 33*	*Viento fuerte*

8	*17,2 - 20,7*	*34 - 40*	*Temporal*
9	*20,8 - 24,4*	*41 - 47*	*Temporal fuerte*
10	*24,5 - 28,4*	*48 - 55*	*Temporal duro*
11	*28,5 - 32,6*	*56 - 63*	*Temporal muy duro*
12	*> 32,7*	*> 65*	*Huracanado*

Tabla 16 – Escala de Valores Beaufort. Fuente Internet.

5.4.3.- ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA DEL MOTOR DE PROA

Ante todo, el motor de proa, maniobra o bowthruster, debe cumplir no sólo con poder "empujar" sino hacerlo también en condiciones de contorno adversas debidas al viento, la mar y el oleaje. Se debe tener en cuenta distintos factores como la presión del viento, el área lateral del barco expuesta, el radio de giro,…

Como valor del viento se ha preferido ser precavido y, al creer que se trata de una embarcación con la que se podría recorrer distancias moderadamente largas, al igual que encontrarse con distintas climatologías, se opta por elegir el factor 8 de la escala de Beaufort.

Para el cálculo de la potencia se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$F = Área \cdot P_v \cdot C_a \qquad \text{y} \qquad M_{max} = F \cdot R_g$$

Dónde:

F = será la fuerza necesaria que tendrá que abarcar el motor de proa.

Área = el área de la embarcación expuesta por encima la línea de flotación.

P_v = referencia a la presión del aire

C_a = Coeficiente de arrastre

R_g = distancia de la popa al motor de proa

- La presión del viento, relacionada con el valor de la escala escogido, da el siguiente resultado:

$$P_v = V_v^2 x\ 0{,}00256 \qquad \rightarrow \qquad \text{para paredes planas}$$

- La velocidad de viento es el máximo del valor de la escala.

$$V_v = 24{,}4\ m/s$$

Por tanto → $P_v = 1{,}52$

- El Coeficiente de arrastre es $C_a = 1{,}6$

La Fuerza que debería aguantar el motor de proa, bajo las inclemencias meteorológicas más adversas calculadas, será de:

$$F = 151{,}71\ N$$

El par o momento a abastecer es:

$$\boldsymbol{M = 2406{,}54\ N \cdot m}$$

Se ha el motor de la empresa marca Vetus modelo **BOW28548C** 2854 N/m de fuerza como indica a su vez el nombre del modelo. Aunque se pasa de potencia, otros no desarrollaban esa potencia o eran mucho más caros con valores técnicos parecidos.

(Características Técnicas del motor Vetus BOW28548C. Ver Anexo 4 – ilustración 21.)

6.- ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD

La estabilidad de una embarcación es la capacidad que tiene ésta de recuperar la verticalidad, o posición inicial, después de ser apartado de ésta por acción de fuerzas exteriores como el mar o el viento y en distintas condiciones de carga. Para hacer este estudio se realizará a través del programa Hydromax.

Existen dos conceptos de estabilidad a distinguir:

1. ***Estabilidad Estática*** → Estabilidad Estática estudia las condiciones de equilibrio de un buque en aguas absolutamente tranquilas. Aun cuando por estar flotando en un medio líquido la nave está en constante movimiento, es válido el estudio de la Estabilidad Estática y es válida su aplicación, ya que el comportamiento promedio de una nave en el mar es muy similar al comportamiento de ésta en aguas tranquilas.(*)

2. ***Estabilidad Dinámica*** → el trabajo que hay que efectuar para llevar un buque desde un ángulo de inclinación hasta la posición de equilibrio. (**)

   A su vez podemos dividir la estabilidad estática en dos:

- Estabilidad Transversal → el movimiento es normal al eje de crujía del barco y se refiere a inicial con ángulos de 10° y para grandes escoras, dependiendo del tipo de buque
- Estabilidad Longitudinal → con el movimiento paralelo al eje de crujía y con menor incidencia en la seguridad de la embarcación.

(*) Definición extraída de la página web de www.desarrollomarítimo.cl
(**) Definición extraída de la página web de www.Slideshare.net. Estabilidad.

6.1.-ESTABILIDAD TRANSVERSAL INICIAL

La estabilidad transversal se divide en inicial si la escora es menor de 10° y para grandes escoras si ésta es superior a 10°. Esto se debe a que en los primeros ángulos de escora "pequeños" las verticales trazadas desde el centro de flotabilidad se cortan prácticamente en el punto llamado METACENTRO. Para mayores escoras, ese punto puede variar de manera muy pronunciada y las intersecciones se realizados en distintos puntos del plano transversal de la embarcación.

6.2 BRAZO DE ADRIZANTE O GZ.

Para pequeñas escoras, una embarcación, al cambiar su ángulo de flotabilidad o trimado transversal variará a su punto de flotabilidad, por haber cambio el volumen y forma de la carena sumergida pero no va a cambiar el centro de gravedad del barco producido por los pesos que hay en él.

El punto que cruza la recta del centro de gravedad, que es perpendicular a la línea de agua transversal, con la recta del centro de flotación se llama metacentro. Las fuerzas de la flotación y del desplazamiento, con dirección contraria, forman un par de fuerzas cuyo brazo es el llamado Brazo GZ. Este brazo actúa normal a la fuerza de empuje de la flotabilidad y afectará en dirección a la flecha sobre la embarcación, adrizándola.

Momento del brazo adrizante o par de estabilidad

$$M_e = D \cdot GZ$$

La estabilidad transversal de una embarcación es mayor en cuanto mayor sea su brazo adrizante GZ

6.3.-METACENTRO (M)

El Metacentro es el punto donde se cruzan el plano diametral de una embarcación con la vertical que parte desde el centro de carena. También, como se ha explicado en el apartado

anterior, punto que cruza la recta del centro de gravedad, que es perpendicular a la línea de agua transversal, con la recta del centro de flotación se llama metacentro. Este punto es el punto máximo al que puede llegar una embarcación que ha sido escorada, pudiendo volver a su punto inicial de estabilidad.

$$KM = CM + KC \;\; ; \;\; GM = KM - KG$$

Donde:

K → Quilla M → Metacentro

C → Centro de Carena G → Centro de Gravedad

6.4.-CONDICONES DE EQUILIBRIO

En el estado de equilibrio de una embarcación depende del par adrizante y dependerá tanto del centro de gravedad como de flotación y sus posiciones. Podemos distinguir tres situaciones distintas:

- Condición de Equilibrio Estable o Positivo → Al escorar una embarcación por una causa externa y el metacentro se mantiene por encima del centro de gravedad. Se produce el brazo adrizante y la embarcación vuelve a su situación inicial. (A)
- Condición de Equilibrio Indiferente o Nulo → Al escorar una embarcación por una causa externa y el metacentro coincide con el centro de gravedad. Al producirse par en ninguna dirección, la embarcación permanecerá en esa escora.(B)
- Condición de Equilibrio Inestable o Negativo → Al escorar una embarcación por una causa externa y el metacentro cae por debajo del centro de gravedad. El par no será adrizante sino escorante haciendo que la embarcación gire en dirección contraria hacia su estabilidad inicial.(C)

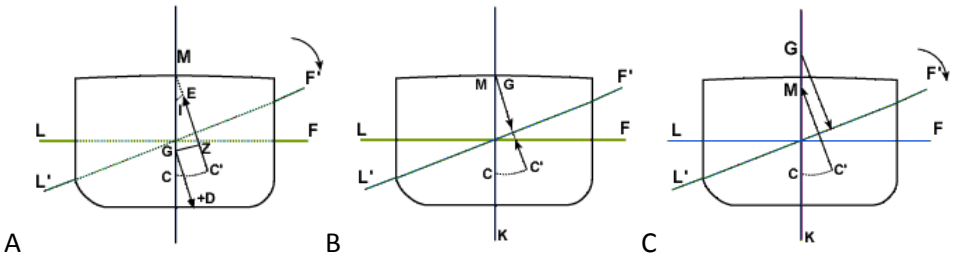


Ilustración 21. Detalle de las distintas condiciones de estabilidad, sus CG y flotación. Fuente www.desarrollomarítimo.cl

6.5.- CÁLCULOS PARA ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD

Para este estudio se debe realizar distintos cálculos y mediciones y para poder llevar a cabo un resultado lo más real posible, tales como:

- Estimación de pesos
- Distintas condiciones o casos de carga
- Cálculos realizados con Maxsurf (efectuados anteriormente sobre el casco)
- Anotación de distintos puntos de posible entrada de agua
- Estudio final con el programa Hydromax

6.5.1.- ESTIMACIÓN DE PESOS

La estimación de pesos, trata básicamente de buscar el centro de gravedad a partir de todos o la mayoría de los pesos que conforman la embarcación. Hay que medir, no solo su peso, sino su posición en los distintos ejes de coordenadas, obteniendo así, los momentos que estos producen en el barco y su posición en el espacio.

Cabe tener en cuenta, que los datos técnicos del casco, calculados anteriormente, nos reflejan el centro de flotación ligado al volumen de este. En cambio, los cálculos de estimación de pesos son relativos al peso y no al volumen, de aquí la importancia de precisar la ubicación en el espacio.

Las fuerzas que actúan, resumidamente, son la gravedad por la masa de resultante de la estimación de pesos en dirección Z negativa y la fuerza de empuje del agua contra el casco en Z positiva. Para un buen diseño de una embarcación es necesario que estas fuerzas estén los más próximas posible entre ellas para llegar a un equilibrio deseado en toda la embarcación y distintas condiciones de entorno. La posición tridimensional de estas fuerzas y la interacción entre ellas serán las que darán una muy aproximada predicción del comportamiento del yate referente a la navegabilidad de éste.

Estos cálculos son unos de los más importantes dentro del proyecto de un barco ya que dan validez a éste desde el punto de vista de la seguridad.

Para calcular el LCG (o CGx), el VCG (o CGy) y el TCG (o CGz) se han realizado distintas tablas separadas por sistemas con sus distintos elementos más significativos:

- Sistema Estructural
- Sistema Propulsivo y maniobra
- Sistema Eléctrico
- Sistema de fondeo, amarre y equipos de seguridad
- Tanques Principales
- Tripulación e invitados

- Interiores

Representación del Centro de Gravedad, en Sección Perfil y Frontal, con vista de los elementos que lo producen, tales como la estructura (no la definitiva), el sistema propulsivo, etc.

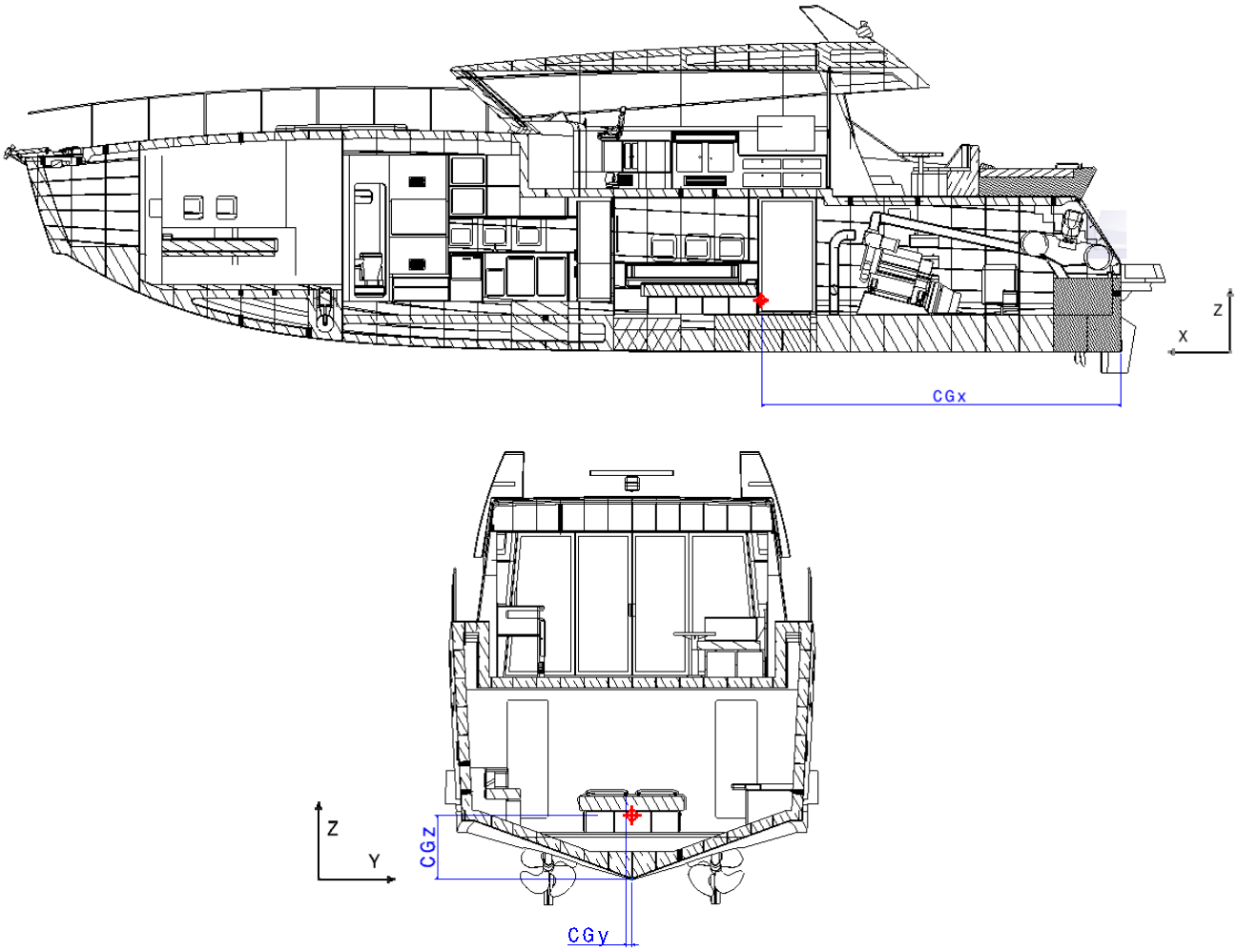


Ilustración 22. Vista Perfil y Alzado. Fuente propia, realizado con Catia V5.

6.5.1.1.- CENTROS DE GRAVEDAD

El sumatorio global de Centros de Gravedad se expresa en la siguiente tabla:

	CGx	CGy	CGz	Peso Acumulado	MGz	MGy	MGz
Estructura	7,621	0,107	2,135	13262.222	101073,945	1413,278	28308,360
Sistema Propulsivo	3,539	0,003	1,103	5221,611	18477,627	17,871	5756,968
Sistema Eléctrico	6,175	-0,301	1,730	1531,600	9457,005	-461,586	2648,917
Interiores	9,290	-0,265	2,773	1823,698	16942,653	-482,707	5056,799
Tanques Principales	5,423	0,000	0,590	8514,350	46177,030	0,000	5025,918
Tripulación y pasaje	7,022	0,000	3,337	900,000	6320,100	0,000	3002,850
Total				31253,482	198448,360	486,856	49799,812

Total	31253,482
CGx	6,349
CGy	0,016
CGz	1,593

Tabla 17 – Resultado de los valores de los CG de la embarcación.

(Cálculo de los Centros de Gravedad de los principales sistemas. Ver Anexo 5 – Tablas 18-26)

6.5.2.- CONDICIONES DE CARGA

Las condiciones de carga son distintas condiciones en las que una embarcación puede encontrarse durante una navegación cualquiera, y son importantes para proteger los bienes personales y materiales que hay en ella.

Se trata de asegurar el comportamiento, en cuanto a la estabilidad, en distintas configuraciones de pesos y distribuciones que harán variar el centro de gravedad de la embarcación. Se han predeterminado cuatro configuraciones distintas:

a) A Plena Carga → en este caso se considera que la embarcación se encuentra llena al completo con todo el material y personal posible y con los tanques llenos. En este caso coincide prácticamente con los cálculos del apartado anterior.

$$CGx = 6{,}349\ m$$
$$CGy = -0{,}016\ m$$
$$CGz = 1{,}593\ m$$
$$Desplazamiento = 31.253\ Kg$$

b) A Media Carga → en este caso se considera que la embarcación se encuentra con los tanques al 50% pero con todo el personal y pertrechos.

$$CGx = 6.495\ m$$
$$CGy = -0{,}058\ m$$
$$CGz = 1{,}641\ m$$
$$Desplazamiento = 26.922{,}3\ Kg$$

c) En Rosca → se considera con el personal mínimo para gobernar la embarcación, tanques de agua dulce y aguas grises/negras vacío y con el 10% de combustible.

$$CGx = 6{,}627\ m$$

$$CGy = -0{,}058\ m$$

$$CGz = 1{,}769\ m$$

$$Desplazamiento = 22.407{,}4\ Kg$$

d) En rosca personal a un costado → se considera el desplazamiento en rosca anterior pero con toda la tripulación situada en un costado de la embarcación.

$$CGx = 6.734\ m$$

$$CGy = -0.160\ m$$

$$CGz = 1.827\ m$$

$$Desplazamiento = 23.307{,}4\ Kg$$

Todas estas variaciones, al modificar lo que es el centro de gravedad de la embarcación afectarán directamente al brazo GZ, mencionado anteriormente, y por tanto su comportamiento ante unas mismas situaciones de entorno.

6.5.3.- DISTINTOS PUNTOS DE POSIBLE ENTRADA DE AGUA

Para ser más precisos en la determinación del estudio hidrostático, se debe tener en cuenta los posibles puntos de entrada de agua que pueda haber en la embarcación que puedan modificar el resultado final.

En este caso se han tenido en cuenta 3 en especial:

1) Penetraciones para la ventilación de costado de la sala de máquinas.
2) Penetración de entrada de la cabina exterior a la cubierta interior.
3) Zona más alta y directa al exterior del sistema de escape de MM.PP.

6.5.4.- ESTUDIO FINAL CON HYDROMAX Y CURVAS GZ

Este estudio se realiza con los distintos casos de carga, anteriormente descritos, y los puntos inundables, tanques y zonas estancas.

Finalmente, sólo como punto de información adicional, se compararán los resultados con los criterios de estabilidad de la norma ISO 12217 que posee Hydromax. Es simplemente para puntualizar si el modelo sería capaz de pasar unos criterios, o de cumplir unos mínimos, aceptables en países del entorno europeo que se rigen por esta norma.

6.5.4.1 CURVA DE ESTABILIDAD Y EQUILIBRIO INICIAL A PLENA CARGA

Partiendo del cálculo de pesos anterior, el equilibrio inicial en este caso da el siguiente resultado de escora.

Con la carga máxima calculada, la embarcación reúne las siguientes características:

- *Escora = 0,7° a babor*
- *Calado a Proa = 0.914 m*
- *Calado a LCF = 0,922 m*
- *Calado a Popa = 0,93 m*
- *Trimado = 0,016m (+ a proa,apopado)*
- *Ángulo de Trimado = 0.1° (positive)*
- *KG = 1,510 m*
- *KB = 0,627 m*
- *LCB = 6,346 m (+ a proa)*
- *KMt = 4,326 m*
- *BMt = 3.699 m*

La escora inicial no es cero. Se realiza de esta manera para estudiar la embarcación forzándola más al límite y en peor condición, y entendiendo que al corregirlo, los resultados mejoran.

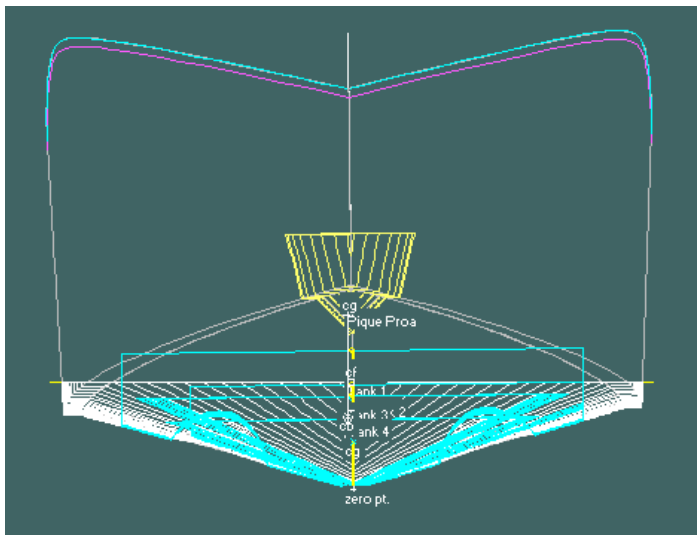
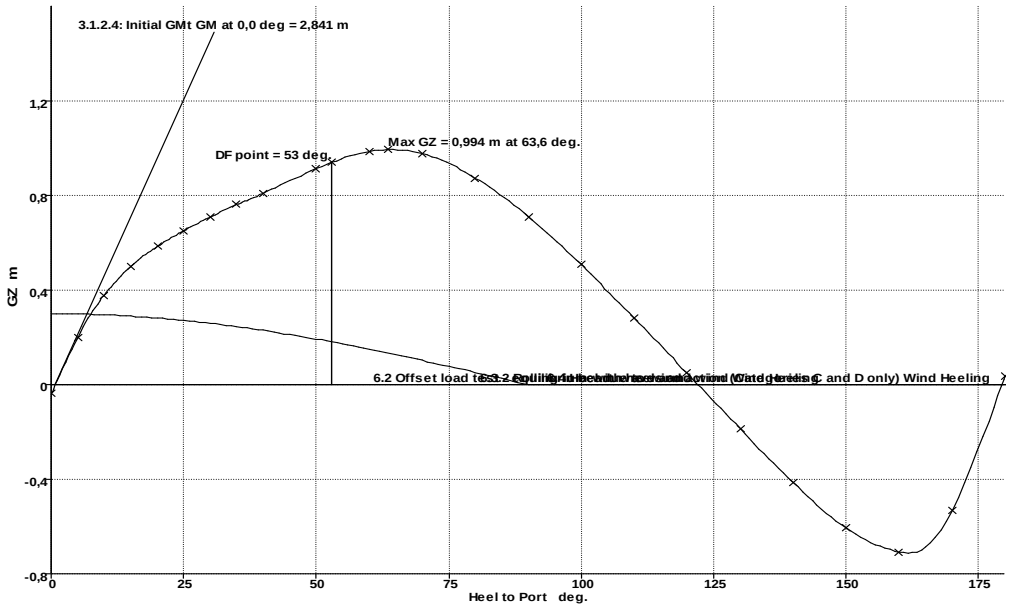


Ilustración 23. Grado de inclinación 0,7° en estabilidad inicial a plena carga

En cuanto a la curva GZ, se obtiene un brazo máximo a 63,6° grados con una longitud de brazo de 0,994 m. La verticalidad en el inicio de la curva revela una alta estabilidad hasta los 15° y luego la curva es más progresiva, lo que revela que tiende más a un balanceo con una

frecuencia menor o más larga. El rango de estabilidad de este yate va desde 0° hasta los 122.63° de estabilidad positiva.



Gráfica 15.Curva Brazo GZ a plena carga, estabilidad. Fuente propia, realizado con Maxsurf

6.5.4.2 CURVA DE ESTABILIDAD Y EQUILIBRIO INICIAL A MEDIA CARGA

EL equilibrio inicial en este caso ha dado el siguiente resultado de escora:

Con la media carga calculada, la embarcación reúne las siguientes características:

- *Escora = 1,3° a babor*
- *Calado a Proa = 0.837 m*
- *Calado a LCF = 0,865 m*
- *Calado a Popa = 0,908 m*
- *Trimado = 0,070 m (+ a popa ,aproado)*
- *Ángulo de Trimado = -0.2° (negativo)*
- *KG = 1,612 m*
- *KB = 0,589 m*
- *LCB = 6,503 m (+ a proa)*
- *KMt = 4,639 m*
- *BMt = 4,050 m*

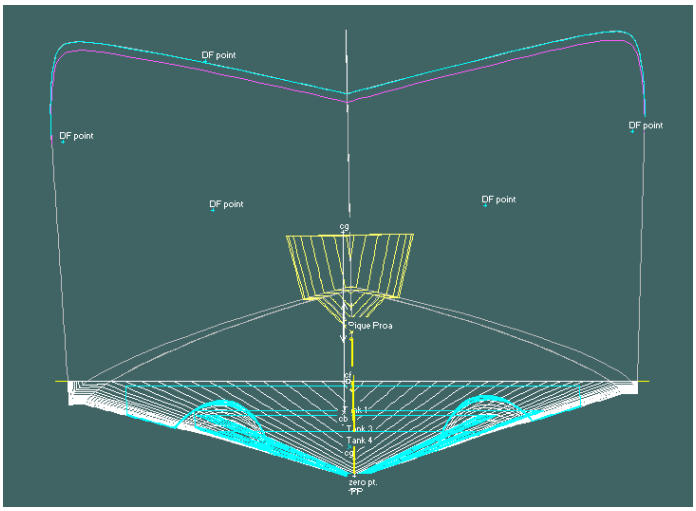
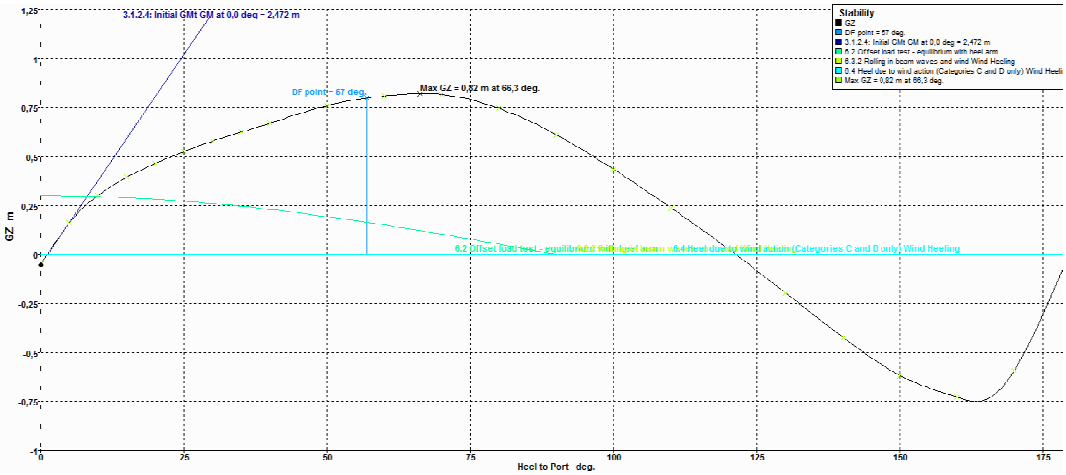


Ilustración 24. Grado de inclinación 1,1° en estabilidad inicial a media carga

En cuanto a la curva GZ, se obtiene un brazo máximo a 66,3° grados con una longitud de brazo de 0,820 m. En este caso, la verticalidad en el inicio de la curva revela una alta estabilidad hasta los 10°, más o menos, y luego la curva es más progresiva, lo que revela que tiende más a un balanceo con una frecuencia menor o más larga, más larga que en el caso anterior. El rango de estabilidad de este yate a media carga va desde 0° hasta los 121.34° de estabilidad positiva, perdiendo algo más de un grado respecto a plena carga.

Al observar que la curva es menos pronunciada, determina que tiende a un mayor balanceo y facilidad de pérdida de estabilidad.



Gráfica 16.Curva brazo GZ a media carga, estabilidad. Fuente propia, realizado con Maxsurf

6.5.4.3 CURVA DE ESTABILIDAD Y EQUILIBRIO INICIAL EN ROSCA

EL Equilibrio inicial en este caso ha dado el siguiente resultado de escora:

Con la carga mínima calculada, la embarcación reúne las siguientes características:

- *Escora = 1,7° a babor*
- *Calado a Proa = 0.879 m*
- *Calado a LCF = 0,746 m*
- *Calado a Popa = 0,798 m*
- *Trimado = 0,130 m (+ a popa ,aproado)*
- *Ángulo de Trimado = -0.4° (negativo)*
- *KG = 1,746 m*
- *KB = 0,545 m*
- *LCB = 6,646 m (+ a proa)*
- *KMt = 4,834 m*
- *BMt = 4,289 m*

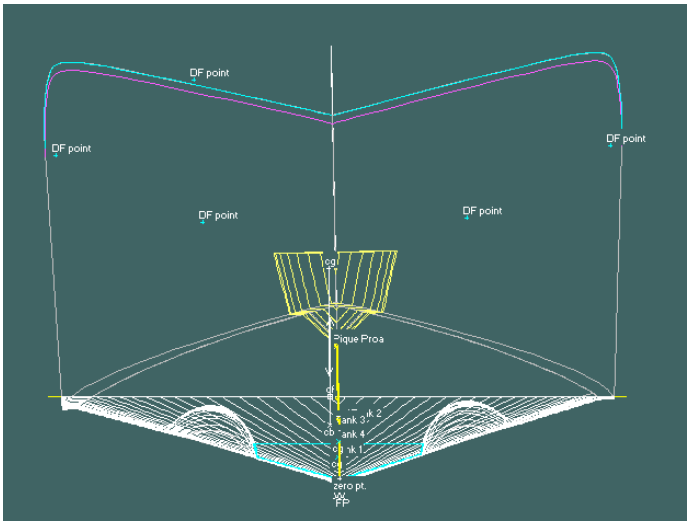
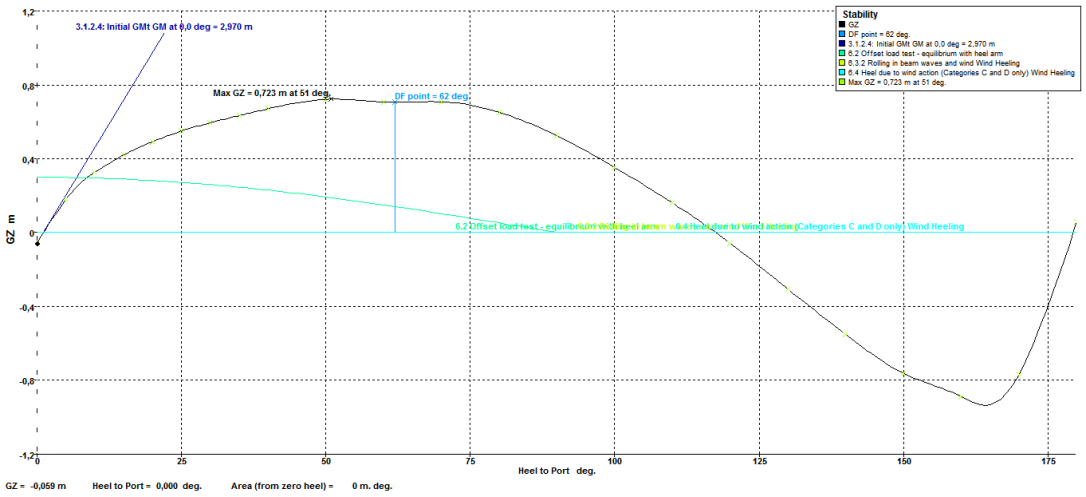


Ilustración 25. Grado de inclinación 1,1° en estabilidad inicial en rosca.

En cuanto a la curva GZ, se obtiene un brazo máximo a 51° grados con una longitud de brazo de 0,723 m. En este caso, la verticalidad en el inicio de la curva revela una alta estabilidad hasta poco más de los 10°, más o menos, y luego la curva es más progresiva, lo que revela que tiende más a un balanceo con una frecuencia menor o más larga, más larga aun que en el caso anterior. El rango de estabilidad de este yate a media carga va desde 0° hasta los 117,33° de estabilidad positiva, perdiendo algo más de cinco grados respecto a plena carga.



Gráfica 17. Curva brazo GZ en rosca, estabilidad. Fuente propia, realizado con Maxsurf

Al observar que la curva es muy progresiva, determina que tiende a un mayor balanceo y facilidad de pérdida de estabilidad.

6.5.4.4 CURVA DE ESTABILIDAD Y EQUILIBRIO INICIAL A PLENA CARGA y PERSONAL A BABOR

EL Equilibrio inicial en este caso ha dado el siguiente resultado de escora:

Con la carga máxima calculada y TODO el personal a babor, la embarcación reúne las siguientes características:

- ***Escora = 1,9° a babor***
- *Calado a Proa = 0.917 m*
- *Calado a LCF = 0,932 m*
- *Calado a Popa = 0,923 m*
- *Trimado = -0,016m (+ a proa,apopado)*
- *Ángulo de Trimado = 0.1° positivo*
- *KG = 1,510 m*
- *KB = 0,625 m*
- *LCB = 6,422 m (+ a proa)*
- *KMt = 4,319 m*
- *BMt = 3.693 m*

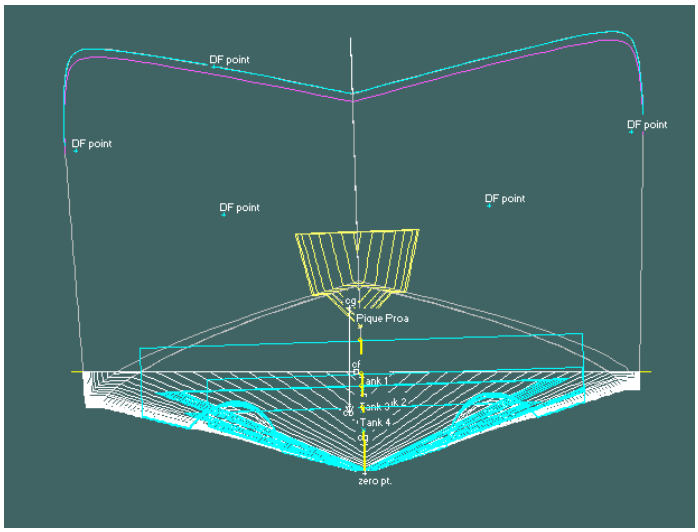
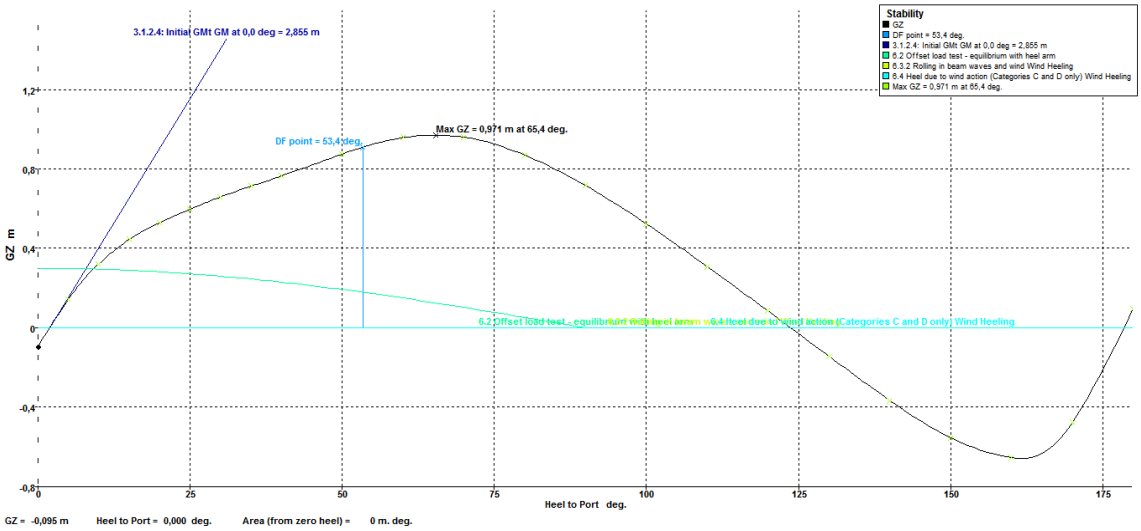


Ilustración 26. Grado de inclinación 1,9° en estabilidad a plena carga y personal a babor.



Gráfica 18. Curva brazo GZ a plena carga y personal a babor, estabilidad. Fuente propia, realizado con Maxsurf

En cuanto a la curva GZ, se obtiene un brazo máximo a 65,4° grados con una longitud de brazo de 0,971 m. La verticalidad en el inicio de la curva revela una alta estabilidad hasta los 12,5° y luego la curva es más progresiva, lo que revela que tiende más a un balanceo con una frecuencia menor o más larga. El rango de estabilidad de este yate va desde 0° hasta los 123,68° de estabilidad positiva.

6.6.- COMPARATIVA DE LA ESTABILIDAD CON LA NORMA ISO 12217-1

Finalmente, se pretende evaluar la estabilidad del yate con una normativa vigente hasta el momento y con el fin de representar esta embarcación con un mínimo valor de cara a un mercado, desde un punto de vista legal de seguridad-estabilidad.

La norma que se aplicará es la ISO 12217-1:2013 para pequeñas embarcaciones de más de 3 metros no propulsadas a vela.

Los puntos críticos que se van a evaluar son:

1. Inundación
2. Resistencia a las olas y la viento

Para este cálculo se ha contado con la norma y el uso del programa Hydromax con las opciones activadas de la norma ISO en cuestión dentro del menú "Criteria".

Se ha optado por la categoría de Diseño B, lo que define a la embarcación como una capaz de navegar dentro del nivel 8 de la escala de Beaufort con mar gruesa y olas de hasta 4 metros de altura.

Esta categoría será la que definirá los parámetros así como los máximos y mínimos que deberá superar la embarcación dentro de esta norma,

6.6.1.-INUNDACIÓN

La finalidad de este apartado es evaluar haya un nivel mínimo de la estanqueidad al agua para la categoría designada. Dentro de este apartado cumple:

- Escotillas o ventanas practicables a una distancia no menor a 0,2m por encima Lwl.

  $Embarcación = 1{,}06\ metros \qquad resultado \rightarrow \boldsymbol{cumple}$

6.6.1.1.- ALTURA REQUERIDA DE INUNDACIÓN

Para la categoría B, la altura requerida de inundación, y su resultado sobre L_{wl}, se calcula del siguiente modo:

$$\frac{L_H}{17} = 1{,}17\ metros$$

El punto inundable más bajo se considera la parte alta del tubo de escape de los motores principales.

$$h_{r.inundación} = 1{,}43\ metros \qquad resultado \rightarrow \boldsymbol{cumple}$$

6.6.1.2.-ÁNGULO DE INUDACIÓN

Este parámetro es necesario para la comprobación de que existe un margen de ángulo suficiente de escora antes que haya una entrada de agua importante en la embarcación.

Debe cumplir que:

Categoría de diseño	*Ángulo de Inundación en grados* (φ_D)	*Ángulo mínimo de inundación en grados* $(\varphi_{D(R)})$
B	$>(\varphi_{D(R)})$	φ_0+25

El ángulo de escora, ϕ_0, resulta de la siguiente fórmula:

$$\varphi_0 = 11{,}5 + \frac{(24-L_H)^3}{520} = 11{,}63°, \text{ entonces } \quad \varphi_{D(R)} = 36{,}63°$$

El ángulo de inundación, ϕ_D, resulta de:

$$\varphi_{0(R)} = tan^{-1}(z_D/y'_D)$$

Donde:

z_D → es la altura del punto superior de inundación por encima de la L_{wl}, expresado en metros

y'_D → es la distancia transversal desde el punto de inundación hasta la línea de crujía de la embarcación, expresada en metros.

$$\varphi_{0(R)} = 38{,}6° \qquad resultado \rightarrow \boldsymbol{cumple}$$

6.6.2.- RESISTENCIA A LAS OLAS Y AL VIENTO

Este apartado está reflejado en la tabla siguiente. Estos resultados han sido calculados con la ayuda del programa Hydromax.

Código	*Criterio*	*Valor*	*Resultado*	*Estatus*
ISO 12217-1:2002(E)	*6.1.2 Downflooding height at equilibrium*		*1,430 m*	*Pass*
ISO 12217-1:2002(E)	*6.1.3 Downflooding angle*		*38,6 °*	*Pass*
ISO 12217-1:2002(E)	*6.2 Offset load test - heel at equilibrium*		*9,1 °*	*Pass*
ISO 12217-1:2002(E)	*6.2 Offset load test - required freeboard at equilibrium*		*1,946 m*	*Pass*
ISO 12217-1:2002(E)	*6.3.3 Resistance to waves (Value of GZ)*	*>0,2 m*	*0,692 m*	*Pass*
ISO 12217-1:2002(E)	*6.3.3 Resistance to waves (Value of RM(30))*	*7 kN·m*	*155,1 kN·m*	*Pass*
ISO 12217-1:2002(E)	*6.4 Angle of steady*		*0,9 °*	*Pass*

Tabla 27 – Resultado de los valores de Criteria, Norma ISO 12217 por Hydromax.

7.-ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA SEGÚN NORMA ISO 12215-5:2008

En este capítulo del proyecto se pretende analizar la estructura de la embarcación a partir del cumplimiento de las normas regidas por la norma ISO 12215-5, para pequeñas embarcaciones comprendidas en el rango de 2,5 a 24 metros de eslora.

Se realizarán los cálculos necesarios para la determinación mínima, con respecto esta norma, de los espesores del material de construcción, en este caso aluminio, como del dimensionamiento de los refuerzos y la separación entre ellos de forma adecuada. Para ello, se deberán mostrar los cálculos para la obtención de presiones y tensiones de diseño que padecerá la embarcación según el tipo o uso a la que ésta está destinada.

7.1.- CAMPO DE APLICACIÓN

Primeramente se llevará a cabo unos cálculos para determinar si esta embarcación reúne las características necesarias para asegurar que entra dentro del rango o campo de aplicación de de dicha norma.

Según norma, para la determinación del escantillonado de una embarcación, ésta debe poseer las siguientes condiciones:

1. Una eslora de casco comprendida entre los 2,5 y 24 metros.
2. Material de construcción con plástico reforzado con fibras, madera, aleaciones de aluminio o acero o cualquier material conveniente para la construcción de embarcaciones.
3. Sólo para embarcaciones en estado intacto.
4. Sólo se aplicará para embarcaciones con una velocidad máxima de 50 nudos o 92,6 km/h o 25,72 m/s.

7.1.1.- DETEMRNIACIÓN DEL TIPO DE EMBARCACIÓN Y MODALIDAD DE FUNCIONAMIENTO

Aunque se haya planificado esta embarcación como planeadora, la norma requiere de ésta que esté en un rango que la identifique como tal. A su vez, también entiende una embarcación planeadora, sólo lo es cuando esta planea a partir de cierta velocidad y con la mar llana. En los demás casos la considera de desplazamiento. Para que se determine que se trata de una planeadora debe pasar primeramente los dos siguientes rangos:

1º. Para que se considere embarcación a motor, su velocidad no debe ser inferior a:

$2{,}36\sqrt{L_{WL}}$ resultado → $9{,}757$ nudos < 42 nudos como velocidad de diseño

2º. Para que se considere una embarcación planeadora debe cumplir:

Velocidad/Eslora	$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} \geq 5$	Resultado	10,16	APROBADO

Tabla 28 – Tabla de requisito para embarcación planeadora. Fuente Norma ISO 12215-5

Donde:

$V = 42\ Kts$ ó $21{,}606\ m/s$ $L_{WL} = 17.093\ m$

7.2.- ESCANTILLONADO DE LA EMBARCACÓN

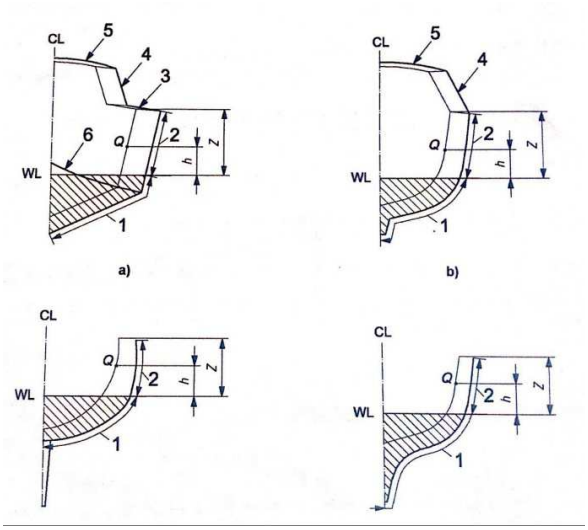
Para poder calcular el escantillonado de la embarcación se empezará por conocer las presiones que se ejercen sobre las distintas partes de ella.

Dichas presiones son distintas dependiendo del lugar zona que se analice, pues no es igual donde hay contacto con el agua, y ésta ejerza una presión determinada, de aquellas donde no lo hay, o de una zona de costado con una zona de cubierta. Por ello se tomarán distintas presiones de diferentes zonas cogiendo como base la cuaderna maestra y extrapolar esta a todo el barco.

La base en la que se toma la cuaderna número 10, desde popa. Es aquella que por la cercanía de los motores y su mayor manga en el barco, que es una de las zonas donde las presiones son mayores.

7.2.1.- ZONAS DE PRESIÓN

Según la normativa ISO a la que se refiere el cálculo, especifica cómo dividir las zonas según la presión a las que están sometidas, así como la altura de los paneles. En la siguiente ilustración se puede apreciar esta definición.



Donde:

1	Fondo
2	Costado
3	Cubierta
4	Superestructura
5	Pantoque superior de superestructura
6	Pantoque vivo

Ilustración 27. Definición de las partes o zonas según a la presión sometida. Fuente norma ISO 12215.5

7.2.2.- FACTORES DE AJUSTE DE PRESIÓN

La presión de diseño final se ajusta con ayuda de un conjunto de factores, que son función del diseño, tipo de embarcación, situación,… (Extracto de la norma)

7.2.2.1.-FACTOR DE CATEGORÍA DE DISEÑO

$$k_{DC} = 0,8$$

Este factor tiene en cuenta las distintas variaciones de cargas que se producen debidas al estado del mar o mejor dicho a la categoría de diseño de la embarcación. En este caso categoría B.

7.2.2.2.-FACTOR DE CARGA DINÁMICA EN MODALIDAD PLANEADORA

$$n_{CG} = 3,62$$

En modalidad desplazamiento, al ser mayor que 3, se tomará el mismo.

$$n_{CG} = 3,62$$

Este factor tiene en cuenta la aceleración negativa que soporta la embarcación, bien cuando choca contra una ola a gran velocidad, o bien cuando cae desde una cresta de una ola hasta su sima. Se expresa en gs siendo 1g=9,81m/s^2.No se tomará ni > 6 ni < 3

$$n_{CG} = \left(\frac{0{,}5 \cdot V}{m_{LCD}^{0{,}17}}\right)$$

7.2.2.3.-FACTOR LONGITUDINAL DE DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN

Este factor tiene en cuenta la variación de las cargas de presión debidas a la situación de la embarcación y depende de si es un panel o un refuerzo. No debe ser > 1 ni < 0,6.

Para el cálculo se ha escogido los paneles centrales de la estructura, o lo que es lo mismo, el segundo desde popa y como refuerzo, el que coincide con la cuaderna número 10 por estar cercana a los propulsores, al 30% de la eslora total y por ser la que posee una manga máxima.3

$$k_L = \frac{1 - 0{,}167 \cdot n_{CG}}{0{,}6} \cdot \frac{x}{L_{WL}} + 0{,}167 \cdot n_{CG}$$

	k_L		
Varenga	*1*	*Panel de Fondo*	*1*
Cuaderna Casco	*1*	*Panel de Costado Casco*	*1*
Bao	*1*	*Panel de Cubierta*	*1*
Bao Cabina	*0,978*	*Panel Frente Cabina*	*1*
Cuaderna Cabina	*0,978*	*Panel Costado Cabina*	*0,940*
		Panel Posterior Cabina	*0,763*
		Panel Sup <800	*0,940*
		Panel Sup >800	*0,940*

Tabla 29 – Tabla Factor Longitudinal de distribución de presiones.

7.2.2.4.-FACTOR DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN SEGÚN LA SUPERFICIE

Este factor tiene en cuenta la variación de cargas de presión según el tamaño del panel o del refuerzo.

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

Este factor debe entrar en el rango de 0,25 < k_{AR} < 1. Donde:

k_R = 1 para paneles de fondo, costado y cubierta en modalidad planeadora

k_R = 0,9 para paneles de fondo, costado y cubierta en modalidad desplazamiento

k_R = 1 para refuerzos de fondo, costado y cubierta en modalidad desplazamiento

A_D = Área de diseño en metros cuadrados y:

$$A_{Dpanel} = (l \cdot b) \cdot 10^{-6} \ \ para\ chapas\ pero < 2{,}5 \cdot b^2 \cdot 10^{-6}$$

$$A_{Drefuerzo} = (l_u \cdot s) \cdot 10^{-6} \ \ para\ refuerzos\ pero < 0{,}33 \cdot {l_u}^2 \cdot 10^{-6}$$

	k_{AR}		
Varenga	*1*	*Panel de Fondo*	*1*
Cuaderna Casco	*1*	*Panel de Costado Casco*	*1*
Bao	*1*	*Panel de Cubierta*	*1*
Bao Cabina	*0,978*	*Panel Frente Cabina*	*1*
Cuaderna Cabina	*0,978*	*Panel Costado Cabina*	*0,940*
		Panel Posterior Cabina	*0,763*
		Panel Sup <800	*0,940*
		Panel Sup >800	*0,940*

Tabla 30 – Tabla Factor de Reducción de presión.

7.2.2.5.- FACTOR DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN EN EL COSTADO

Este factor interpola dos presiones distintas, la de costado, desde la línea de flotación hasta la cubierta y la de fondo desde la línea de flotación hasta el canto bajo del costado.

$$k_Z = \frac{Z - h}{Z}$$

Donde:

Z = distancia entre la línea de flotación y el punto más alto de casco con la cubierta

h = distancia entre el centro del panel o refuerzo (por encima de la línea de flotación) y la línea de flotación

	k_L		
Cuaderna Casco	*0,477*	*Panel de Costado Casco*	*0,629*
Cuaderna Cabina	*0,978*	*Panel Costado Cabina*	*0,940*

Tabla 31 – Tabla Factor de Reducción de presión en el costado.

7.2.2.6.-FACTOR DE REDUCCIÓN DE PRESIÓN PARA SUPERESTRUCTURAS Y CASETAS

El factor de reducción de presión para las superestructuras y casetas está definido en la siguiente tabla de acuerdo con su situación y el tipo de embarcación.

Situación panel	k_{SUP}	*Aplicación*
En el frente de proa	*1*	*Todas las zonas*
En el costado	*0,67*	*Zonas de paso*
En el costado	*0,5*	*Zonas de no paso*
En la cara posterior	*0,5*	*Todas las zonas*
Parte superior, < 800 mm encima L_{WL}	*0,5*	*Zonas de paso*
Parte superior, > 800 mm encima L_{WL}	*0,35*	*Zonas de paso*
Pisos superiores	*Pmin de 5kN/m²*	*Zonas de no paso*

Tabla 32 – Tabla Factor de Reducción para superestructuras.

7.2.3.- PRESIÓN DE DISEÑO DE FONDO DE LAS EMBARCACIONES A MOTOR

La presión de fondo se refiere a la presión que reciben los distintos paneles de fondo y que están en contacto con el agua, es decir, desde la línea de flotación hasta el fondo. De esta manera, la parte del espejo de popa situada por debajo la línea de flotación se considerará, también de fondo.

Para este cálculo ser realizará tanto para modalidad planeadora como para modalidad de desplazamiento y se tomará como aceptada la mayor de las dos.

Para el cálculo en modalidad desplazamiento se tomará el mayor valor de:

$$P_{BMD} = P_{BMD\ BASE} \cdot k_{AR} \cdot k_{DC} \cdot k_L \, {}^{kN}/_{m^2} \qquad \text{ó}$$

$$P_{BM\ MIN} = 0{,}45 \cdot m_{LCD}^{0,33} + (0{,}9 \cdot k_{DC} \cdot k_{WL}) \, {}^{kN}/_{m^2}$$

Donde:

$$P_{BMd\ BASE} = 2{,}4 \cdot m_{LCD}^{0{,}33} + 20\ {}^{kN}/_{m^2}$$

	$P_{BMD\ BASE}$	$P_{BM\ MIN}$	P_{BMD}
Varenga	*93,034 kN/m²*	*26,001 kN/m²*	*28,630 kN/m²*
Panel			*75,295 kN/m²*

Tabla 33 – Tabla Presión de Diseño de Fondo para panel y refuerzo. Modo desplazamiento.

Para el cálculo en modalidad planeadora se tomará el mayor valor de:

$$P_{BMP} = P_{BMD\ BASE} \cdot k_{AR} \cdot k_{DC} \cdot k_L\ {}^{kN}/_{m^2} \qquad \text{ó}$$

$$P_{BM\ MIN} = 0{,}45 \cdot m_{LCD}^{0{,}33} + (0{,}9 \cdot k_{DC} \cdot k_{WL})\ {}^{kN}/_{m^2}$$

Donde:

$$P_{BMP\ BASE} = 0{,}1 \cdot m_{LCD}^{0{,}33} \cdot \frac{\left(1 + k_{DC}^{0{,}5} \cdot n_{CG}\right)}{L_{WL} \cdot B_C}\ {}^{kN}/_{m^2}$$

	$P_{BMP\ BASE}$	$P_{BM\ MIN}$	P_{BMP}
Varenga	*156,057 kN/m²*	*26,001 kN/m²*	*104,040 kN/m²*
Panel			*157,875 kN/m²*

Tabla 34 – Tabla Presión de Diseño de Fondo para panel y refuerzo. Modo planeadora.

7.2.4.- PRESIÓN DE DISEÑO DE COSTADO DE LAS EMBARCACIONES A MOTOR

La presión de costado se refiere a la presión que reciben los distintos paneles y refuerzos de costado y que están por encima la línea de flotación hasta el canto alto del costado con la cubierta. De esta manera, la parte del espejo de popa situada por encima la línea de flotación se considerará, también de costado.

Para este cálculo ser realizará tanto para modalidad planeadora como para modalidad de desplazamiento y se tomará como aceptada la mayor de las dos.

Para el cálculo en modalidad desplazamiento se tomará el mayor valor de:

$$P_{SMD} = [P_{DM\ BASE} + k_Z \cdot (P_{BMD\ BASE} - P_{DM\ BASE})] \cdot k_{AR} \cdot k_{DC} \cdot k_L\ {}^{kN}/_{m^2} \qquad \text{ó}$$

$$P_{SM\ MIN} = 0{,}9 \cdot L_{WL} \cdot k_{DC}\ {}^{kN}/_{m^2}$$

	$P_{DM\ BASE}$	$P_{SM\ MIN}$	P_{SMD}
Cuaderna casco	*20,583 kN/m²*	*12,307 kN/m²*	*13,663 kN/m²*
Panel de costado casco			*51,644 kN/m²*

Tabla 35 – Tabla Presión de Diseño de Costado para panel y refuerzo. Modo desplazamiento.

Para el cálculo en modalidad planeadora se tomará el mayor valor de:

$$P_{SMP} = [P_{DM\ BASE} + k_Z \cdot (P_{BMP\ BASE} - P_{DM\ BASE})] \cdot k_{AR} \cdot k_{DC} \cdot k_L \, {}^{kN}/_{m^2} \qquad \text{ó}$$

$$P_{SM\ MIN} = 0{,}9 \cdot L_{WL} \cdot k_{DC} \, {}^{kN}/_{m^2}$$

	$P_{DM\ BASE}$	$P_{SM\ MIN}$	P_{SM}
Cuaderna casco	*20,583 kN/m²*	*12,307 kN/m²*	*18,536 kN/m²*
Panel de costado casco			*23,849 kN/m²*

Tabla 36 – Tabla Presión de Diseño de Costado para panel y refuerzo. Modo planeadora.

7.2.5.- PRESIÓN DE LA CUBIERTA DE LAS EMBARCACIONES A MOTOR P_{DM}

La presión de diseño de la cubierta expuesta a la intemperie de las embarcaciones a motor P_{DM} es el mayor valor de:

$$P_{DM} = P_{DM\ BASE} \cdot k_{AR} \cdot k_{DC} \cdot k_L \, {}^{kN}/_{m^2} \quad \text{ó} \quad P_{DM\ MIN} = 5 \, {}^{kN}/_{m^2}$$

Donde $$P_{DM\ BASE} = 0{,}35 \cdot L_{WL} + 14{,}6 \, {}^{kN}/_{m^2}$$

	$P_{DM\ BASE}$	$P_{DM\ MIN}$	P_{DM}
Bao Cubierta	*20,583 kN/m²*	*5 kN/m²*	*58,67 kN/m²*
Panel Cubierta	*20,583 kN/m²*	*5 kN/m²*	*17,084 kN/m²*

Tabla 37 – Tabla Presión de Diseño de Cubierta (P_{DM}) para panel y refuerzo.

7.2.6.- PRESIÓN DE DISEÑO DE SUPERESTRUCTURAS Y CASETAS DE LAS EMBARCACIONES A MOTOR

La presión de diseño $P_{SUP\ M}$ de las superestructuras y casetas expuestas a la intemperie de las embarcaciones a motor es proporcional a la presión de cubierta. Por zonas de paso, no se debe tomar un valor inferior a la $P_{DM\ MIN}$.

$$P_{SUP\ M} = P_{DM\ BASE} \cdot k_{DC} \cdot k_{AR} \cdot k_{SUP} \, {}^{kN}/_{m^2}$$

	$P_{DM\ BASE}$	$P_{DM\ MIN}$	$P_{SUP\ M}$
Transversal cabina	*20,583 kN/m²*	*5 kN/m²*	*6,897 kN/m²*
Long. Cabina		*5 kN/m²*	*8,061 kN/m²*
Panel de costado cabina		*5 kN/m²*	*9,344 kN/m²*
Panel Frente cabina		*5 kN/m²*	*17,486 kN/m²*
Panel posterior Cabina		*5 kN/m²*	*8,942 kN/m²*
Parte superior <800 mm		*5 kN/m²*	*6,973 kN/m²*
Parte superior >800 mm		*5 kN/m²*	*4,881 kN/m²*

Tabla 38 – Tabla Presión de Diseño de Cubierta ($P_{SUP\ M}$) para panel y refuerzo. Embarcación a motor.

7.2.7.- PRESIÓN DE DISEÑO PARA MAMPAROS ESTANCOS Y ESTRUCTURALES

En esta embarcación se han propuesto la instalación de 5 mamparos estancos y estructurales, y su presión de diseño deberá ser la de estructurales, por ser mayor y por exigirlo la norma en el apartado 11.8. La fómula para determinar dicha presión es:

$$P_{WB} = 10 \cdot h_B \ {}^{kN}/_{m^2}$$

Dónde:

h_B = es la altura de carga de agua, en metros medida desde:

- Para chapas de costado, la distancia medida desde la parte superior del mamparo a un punto situado a 2/3 de la altura total de mamparo.
- Para refuerzos verticales, la distancia medida desde la parte superior del mamparo a un punto situado a 2/3 de la altura total del refuerzo.
- Para refuerzos horizontales, la altura medida desde el refuerzo hasta la parte del mamparo.

Los mamparos a analizar son:

1.- Cuaderna 29 → mamparo pique de proa 2.-Cuaderna 23→ mamparo estructural

3.- Cuaderna 15 → mamparo estructural 4.- Cuaderna 9 → mamparo estructural

5.- Cuaderna 3 → mamparo estructural-pique de popa

Los mamparos anteriormente citados, se muestran a continuación en sección y vista alzado.

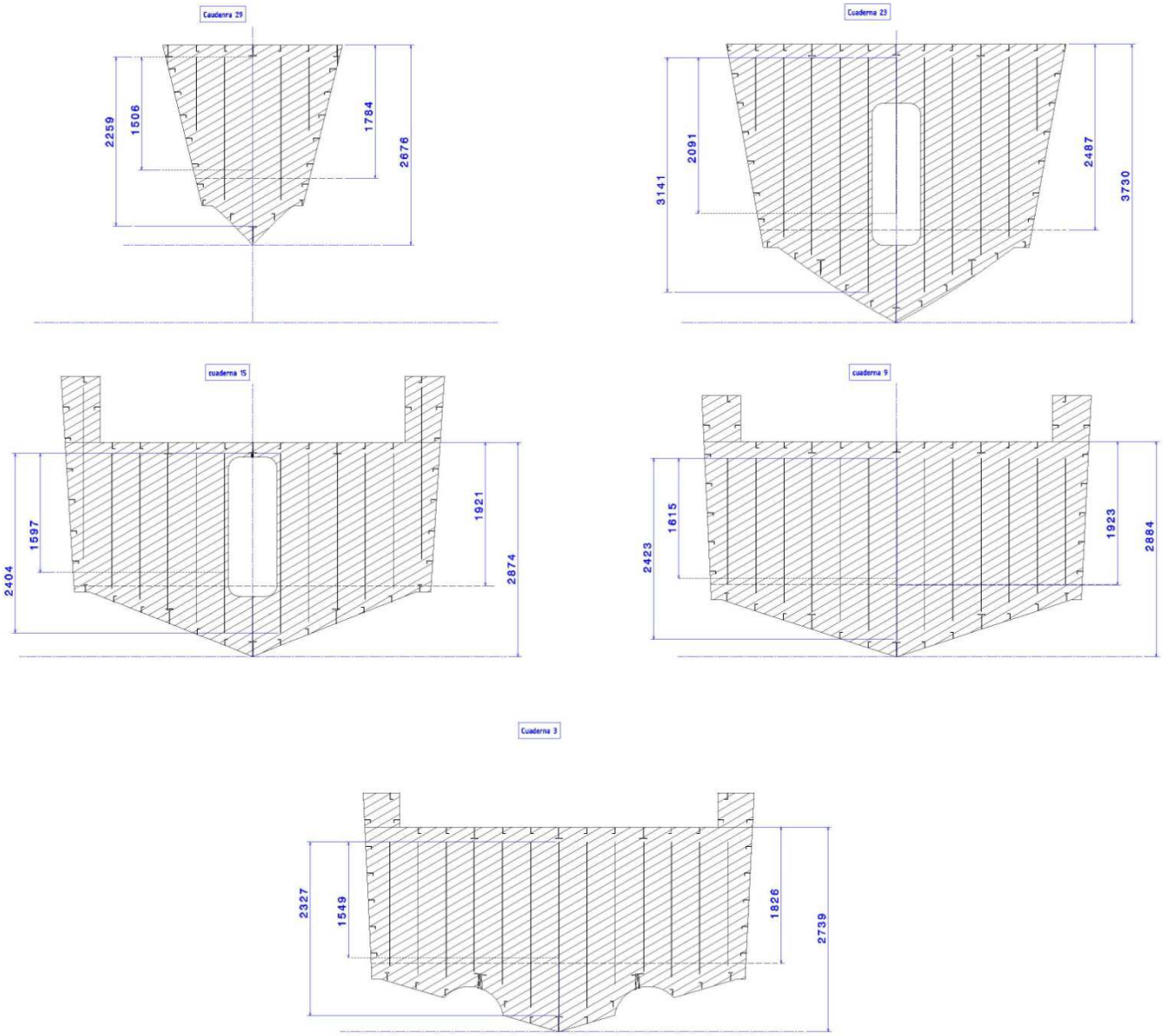


Ilustración 28. Vista Alzado de los mamparos estructurale/estancos con sus FB.

Cuaderna 29	h_B	P_{WB}
Panel	*1784 mm*	*17,84 kN/m²*
Refuerzo vertical	*1506 mm*	*15,06 kN/m²*

Cuaderna 23	h_B	P_{WB}
Panel	*2487 mm*	*24,87 kN/m²*
Refuerzo vertical	*2091 mm*	*20,91 kN/m²*

Cuaderna 15	h_B	P_{WB}
Panel	*1921 mm*	*19,21 kN/m²*
Refuerzo vertical	*1597 mm*	*15,97 kN/m²*

Cuaderna 9	h_B	P_{WB}
Panel	*1923 mm*	*19,23 kN/m²*
Refuerzo vertical	*1615 mm*	*16,15 kN/m²*

Cuaderna 3	h_B	P_{WB}
Panel	*1826 mm*	*18,26 kN/m²*
Refuerzo vertical	*1549 mm*	*11,179 kN/m²*

Tabla 39 – Tabla Presión y dimensiones de mamparos estancos-estructurales.

7.3.-COSTADO. ECUACIONES DE DE ESCANTILLONADO

Para las ecuaciones de escantillonado de costado se debe calcular, estimar y tener en cuenta los factores que determinan las posibles deformaciones que afecten a los elementos a estudio.

7.3.1.-FACTOR DE ALARGAMEINTO DEL PANEL POR RESISTENCIA A LA FLEXIÓN *k2* Y RIGIDEZ *k3*

Panel	*Alargamiento del panel l/b*	*Factor k2*	*Factor k3*
Costado	*1,38 ≃ 1,4*	*0,436*	*0,023*

Tabla 40 – Tabla Factores alargamiento panel por resistencia a la flexión(k2) y Rigidez(k3).

7.3.2.-FACTOR DE CORECCIÓN DE CURBATURA DE LOS PANELES

El factor de corrección de la curvatura se utiliza para ”corregir” matemáticamente el abombamiento de los paneles y se rige mediante la siguiente tabla:

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

Tabla 41 – Tabla Factor de corrección de curvatura de los paneles.

Todos los paneles son prácticamente planos, por tanto se generaliza a un valor igual para todos y que en este caso será 1.

7.3.3.-ESFUERZO CORTANTE Y MOMENTO SOBRE UN PANEL

Para la determinación del esfuerzo cortante y del momento sobre un panel se debe utilizar las siguientes fórmulas:

a) Para el esfuerzo cortante, en N/mm

$$F_d = \sqrt{k_C} \cdot k_{SHC} \cdot P \cdot b \cdot 10^{-3}$$

b) Para el momento de flexión en dirección b, en N/mm/mm

$$M_d = 83{,}33 \cdot k_C^2 \cdot 2k_2 \cdot P \cdot b^2 \cdot 10^{-6}$$

Donde k_{SHC} se determina mediante la siguiente tabla y/o fórmula:

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

Tabla 42 – Tabla K_{shc} según L/b. Fuente ISO 12215-5

Y para valores l/b <2

$$k_{SHC} = 0{,}0335 + 0{,}394 \cdot \left(\frac{l}{b}\right) - 0{,}09 \cdot \left(\frac{l}{b}\right)^2$$

Los valores l/b del panel de costado analizado es 1,38

$$k_{SHC} = 0{,}406$$

7.3.3.1.-TENSIONES DE DISEÑO

Primeramente se expone la tabla de propiedades mecánicas y tensiones en compresión para planchas extraído directamente de la norma ISO 12215-5:2008 Anexo F. (*Valores en N/mm^2)

Referencia EN	Producto y espesor	Composición	Estado	σ_u	σ_{uw}	σ_y	σ_{yw}	σ_d/σ_u	σ_d/σ_y	$\sigma_d{}^b$	$\tau_d{}^a$
EN AW-5083	Plancha, banda, chapa 3<t<50	Al, Mg 5-6	H32	*305*	*270*	*215*	*125*	*0,6*	*0,9*	*113*	*65*

Tabla 43 – Tabla Tensiones de Diseño del Aluminio 5083. Fuente ISO 12215-5

Donde:

σ_{yw} → es el valor mínimo del límite elástico a la tracción, en condiciones soldadas y en N/mm^2.

σ_{utw} → es el valor mínimo de la resistencia a la tracción, en condiciones soldadas y en N/mm^2.

Para el cálculo de la tensión de diseño para un costado metálico en aleación de aluminio tipo EN AW-5083 debe ser el valor menor de:

$$\sigma_d = 0{,}6 \cdot \sigma_{uw} = 162 \ {}^{N}/_{mm^2}$$

$$\sigma_d = 0{,}9 \cdot \sigma_{yw} = 112.5 \ {}^{N}/_{mm^2}$$

7.3.3.2.-ESPESOR REQUERIDO PARA LOS COSTADOS METÁLICOS

El espesor del metal dado por la siguiente fórmula no ha tenido en cuenta ningún margen para la corrosión ni para los efectos de las técnicas de fabricación. Se considera que se han aplicado los revestimientos de protección cuando se ha considerado necesario.

El espesor mínimo, en mm, requerido para las chapas de costado t es:

$$t = b \cdot k_c \cdot \sqrt{\frac{P \cdot k_2}{1000 \cdot \sigma_d}}$$

$$t = 6{,}07 \ mm$$

donde:

b → dimensión menor del panel en mm

k_c → es el factor de corrección de la curvatura de los paneles curvos

P → es la presión de diseño que corresponde al elemento analizado

k_2 → es el factor de alargamiento del panel por tensión en flexión

σ_d → es la tensión de diseño del costado de metal

7.4.- ESPESOR MÍNIMO DEL REFORZADO DEL CASCO

Para el cálculo del espesor del refuerzo o su masa, se utiliza la siguiente ecuación que se apoya en la tabla 14 de la norma capítulo 10.6.2, donde especifica que:

Material	Situación	A	k_5	k_7	k_8
Aluminio	Fondo	1,0	$\sqrt{(125/\sigma_y)}$	0,02	0,1
	Costado	1,0		0	0,1

Tabla 44 – Tabla espesor mínimo de los refuerzos en Aluminio. Fuente ISO 12215-5

$$\tau_{MIN} = k_5 \cdot \left(A + k_7 \cdot V + k_8 \cdot m_{LCD}^{0,33}\right)\ mm$$

$$\tau_{MIN\ fondo} = 3{,}72\ mm$$

$$\tau_{MIN\ costado} = 3{,}08\ mm$$

7.5.-ESPESOR MÍNIMO DE CUBIERTA

Los valores del espesor mínimo de cubierta se deducen de la fórmula siguiente basada en la eslora de flotación de la embarcación.

$$t_{MIN\ cubierta} = 1{,}35 + 0{,}06 \cdot L_{WL}$$

$$t_{MIN\ cubierta} = 2{,}38\ mm$$

7.6.-REQUISITOS DE LOS ELEMENTOS DE REFUERZO

El costado debe ser reforzado por un conjunto de elementos de refuerzo según norma ISO 12215-5.

La rigidez relativa de los elementos de refuerzo principales y secundarios debe ser tal que transmita efectivamente del secundario al principal, y de ahí al casco y a los mamparos**.**

7.6.1.- FACTORES DE AJUSTE DE LAS PROPIEDADES DE LOS REFUERZOS

Los factores de ajuste para los refuerzos se resumen en dos.

7.6.1.1.-FACTOR DE AJUSTE POR CURVATURA DE LOS REFUERZOS k_{CS}

Se obtiene a partir de la tabla siguiente:

c_u/l_u	k_{CS}
0 a 0,03	1
0,03 a 0,18	$1{,}1 - 3{,}33 \cdot (c_u/l_u)$
$> 0{,}18$	0,5

Tabla 45 – Tabla Factor de ajuste por curvatura de refuerzos. Fuente ISO 12215-5

Para cada tipo de refuerzo se deduce el valor del factor en la siguiente tabla:

Elemento	c_u/l_u	k_{CS}
Varenga	*0*	*1*
Cuaderna costado	*0*	*1*
Palmejar	*0*	*1*
Bao	*0*	*1*
Transversal cabina	*0,0084*	*1*
"cuaderna" cabina	*0*	*1*
Longitudinales Casco Prim.	*0*	*1*
Longitudinales Casco Secun..	*0*	*1*
Longitudinales Cubierta Prim.	*0*	*1*
Longitudinales Cubierta Secun..	*0*	*1*

Tabla 46 – Tabla resultados del Factor de ajuste por curvatura de los refuerzos.

Donde:

$c_u \rightarrow$ es el abombamiento o flecha del refuerzo curvado en mm

$k_{CS} \rightarrow$ se aplica tanto a refuerzos convexos como cóncavos.

7.6.1.2.-FACTOR DE SUPERFICIE DE CIZALLA DE UN REFUERZO k_{SA}

El valor del factor de superficie de cizalla de un refuerzo se obtiene directamente de la tabla 17 de la norma ISO.

Disposición del refuerzo	k_{SA}
Unido al costado	*5*
Otras disposiciones (flotante)	*7,5*

Tabla 47 – Tabla Factor de superficie de cizalla de los refuerzos.

7.6.2.-TENSIONES DE DISEÑO DE LOS REFUERZOS

Las propiedades mecánicas del material, son extraídas directamente de lo capítulo anexo F de la norma. Según a estos efectos, pero, no se deberán tomar valores para la tensión mínima de cizalla, para el aluminio, por debajo de:

$$\tau_{min} = 0{,}58 \cdot \sigma_y$$

$$\tau_{min} = 124{,}7 \ {}^{N}/_{mm^2}$$

Siendo:

Material	*Tensión de diseño en tracción y compresión σ_d N/mm²*	*Tensión de diseño a la cizalla τ_d N/mm²*
Aleaciones de Aluminio	*$0,7 \cdot \sigma_{yw}$*	*$0,4 \cdot \sigma_{yw}$*

Tabla 48 – Tabla tensión de los refuerzos en Aluminio. Fuente ISO 12215-5

$$\sigma_d = 87,5 \ {}^{N}/_{mm^2}$$

$$\tau_d = 50 \ {}^{N}/_{mm^2} \quad \rightarrow \quad \tau_d = 124,7 \ {}^{N}/_{mm^2}$$

7.6.3.-SUPERFICIE DE CIZALLA Y MÓDULO DE INERCIA DE LOS REFUERZOS

La superficie del alma AW y el módulo de inercia mínimo SM del refuerzo, incluyendo la chapa asociada, no debe ser menor a:

$$A_W = \frac{k_{SA} \cdot P \cdot s \cdot l_u}{\tau_d} \cdot 10^{-6} \ cm^2$$

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

Elemento	k_{SA}	*P*	*s*	l_u	τ_d	A_W	*SM*
Cuaderna	*5*	*37,663 kN/m²*	*590 mm*	*2285 mm*	*124,7 N/mm²*	*2,036 cm²*	*110,492 cm³*
Bao	*5*	*12,301 kN/m²*	*590 mm*	*4207 mm*	*124,7 N/mm²*	*1,224 cm²*	*122,329 cm³*
Varenga	*5*	*114,355 kN/m²*	*590 mm*	*851 mm*	*124,7 N/mm²*	*2,302 cm²*	*46,533 cm³*
Palmejar	*5*	*37,663 kN/m²*	*397 mm*	*590 mm*	*124,7 N/mm²*	*0,354 cm²*	*4,957 cm³*
Bao Cabina	*5*	*17,486 kN/m²*	*590 mm*	*1866 mm*	*124,7 N/mm²*	*0,772 cm²*	*34,204 cm³*
Transv. Cabina	*5*	*17,486 kN/m²*	*590 mm*	*1109 mm*	*124,7 N/mm²*	*0,459 cm²*	*12,094 cm³*
Longitudinales Casco Prim.	*5*	*114,355 kN/m²*	*350 mm*	*590 mm*	*124,7 N/mm²*	*0,947 cm²*	*15,164 cm³*
Longitudinales Casco Secun..	*5*	*114,355 kN/m²*	*350 mm*	*590 mm*	*124,7 N/mm²*	*0,947 cm²*	*15,164 cm³*
Longitudinales Cubierta Prim.	*5*	*12,301 kN/m²*	*350 mm*	*590 mm*	*124,7 N/mm²*	*0,102 cm²*	*1,631 cm³*
Longitudinales CubiertacSecun..	*5*	*12,301 kN/m²*	*350 mm*	*590 mm*	*124,7 N/mm²*	*0,102 cm²*	*1,631 cm³*

Tabla 49 – Tabla valores mínimos de A_W y SM.

Teniendo como referencia los resultados de la tabla anterior, a continuación se presentan los valores de los refuerzos que se han instalado en la embarcación. Estos resultados últimos, deberán ser mayores a los resultados de los SM y A_W anteriores.

Elemento	A_W	*SM*
Cuaderna	*33,4 cm²*	*114,409 cm³*
Bao	*49,0 cm²*	*129,0 cm³*
Varenga	*34,4 cm²*	*54,794 cm³*
Palmejar	*16,3 cm²*	*10,4 cm³*
Bao Cabina	*28,0 cm²*	*43,7 cm³*
Transv. Cabina	*21,6 cm²*	*22,7 cm³*
Longitudinales Casco Prim.	*28,4 cm²*	*20,8 cm³*
Longitudinales Casco Secun..	*27,0 cm²*	*17,7 cm³*
Longitudinales Cubierta Prim.	*16,8 cm²*	*10,1 cm³*
Longitudinales CubiertacSecun..	*16,4 cm²*	*8,5 cm³*

Tabla 50 – Tabla valores de A_W y SM de los refuerzos instalados

7.6. 4-CHAPAS DE COSTADO ASOCIADAS EFECTIVAS

El ala de base de los miembros de refuerzo que trabajan a flexión es una banda del costado llamada “chapa efectiva”. La extensión efectiva de la capa asociada para aluminio es:

$$Chapa\ asociada_{Aluminio};\ b_e = 60 \cdot t$$

Con un grosor de 6 mm, más o menos, obtenemos que la chapa asociada es de:

$$Chapa\ asociada_{Aluminio}; b_e = 60 \cdot 6 = 360\ mm$$

Lo que es lo mismo que 180 mm por cada lado desde su centro.

7.6.5.- ESQUEMAS DE LOS DISTINTOS FORMATOS DE CHAPAS ASOSCIADAS

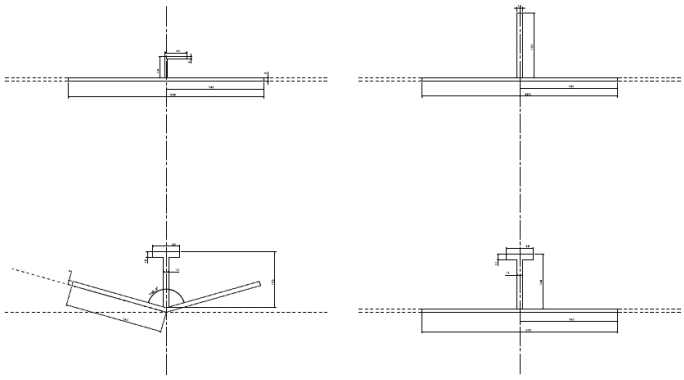


Ilustración 29. Geometría de los distintos refuerzos con su chapa asociada

7.6.6.-PROPORCIONES MÁXIMAS ENTRE REFUERZOS Y TIPOS EMPLEADOS

Los tipos de refuerzos empleados en la estructura de la embarcación son de medidas estándar. Estos son:

Elemento	*Tipo Perfil*
Cuaderna	*Tipo T 120x10-100x7*
Bao	*Tipo T 120x10-100x5*
Varenga	*Tipo FB 100x10*
Palmejar	*Tipo L 40x40x5*
Bao Cabina	*Tipo FB 100x10*
Transv. Cabina	*Tipo FB 60x8*
Longitudinales Casco Prim.	*Tipo T 50x6-50x6*
Longitudinales Casco Secun..	*Tipo L 50x50x5*
Longitudinales Cubierta Prim.	*Tipo T 40x4-40x4*
Longitudinales CubiertacSecun..	*Tipo L 40x40x4*

Tabla 51 – Tabla del tipo de refuerzos instalados

Para según el tipo de refuerzo que se use, se tiene una tabla de valores máximos, parte extraída de la tabla 20 capítulo 11.7.3 de la norma ISO.

Material	*Tipo de perfil*		
	Llanta plana	*Refuerzo con perfil T o L*	
	h/t_w *máx.*	h/t_w *máx.*	d/t_f *máx.*
Aluminio	*12*	*40*	*12*

Tabla 52 – Tabla proporciones geométricas máximas de los refuerzos instalados. Fuente ISO 12215.5.

Los refuerzos usados en la embarcación dan las siguientes proporciones geométricas

Tipo de perfil				
Llanta plana	*Refuerzo con perfil T*		*Refuerzo con perfil L*	
h/t_w	h/t_w	d/t_f	h/t_w	d/t_f
10	*12-10-8*	*5*	*10-8*	*8*

Tabla 53 – Tabla proporciones geométricas de los refuerzos instalados.

Una vez comprobado que, tanto en proporciones geométricas como en SM, los refuerzos y los paneles están dentro de los límites admisibles establecidos por la norma ISO 12215.5. A su vez, dado que el peso de la estructura se encuentra dentro del rango del 45-50% del peso total del yate, se concluye este apartado dando por aceptable la geometría de la estructura establecida en esta embarcación.

8.-CONCLUSIÓN

Una vez finalizado este proyecto, puedo asegurar que éste me ha ayudado conocer mejor lo que es parte del estudio para la construcción una embarcación. El hecho necesario de buscar información, estudiarla y aplicarla, se ha convertido en un intensivo trabajo de aprendizaje y exploración.

Lo mejor de este proyecto es la amplitud de situaciones en las que uno se encuentra, para intentar sacar algo positivo adelante. Son una infinidad las situaciones en las que no se sabe hacia dónde tirar, pero la perseverancia y las ganas han podido sacar el proyecto de un yate.

Otro tema muy positivo, que he podido desarrollar a lo largo del proyecto, es el uso de diferentes programas informáticos, tanto de diseño 3D paramétrico como el Catia V5, diseño 3D como el Rhinoceros como en otros de cálculo como el Maxsurf, Hydromax o Hullspeed. Y, con menos transcendencia pero igual de válidos, los programas Excel y Word del paquete Office. La asistencia a clases de aprendizaje, en diversas empresas y centros, ha sido de vital ayuda para el progreso en cuanto al diseño.

Algo que podía parecer fácil como el hecho de diseñar una embarcación, ahora se entiende de otra manera al ver todos los engranajes a configurar, y que hay que cuadrar para que estos no se entorpezcan sino que se complementen.

En cuanto al diseño, he comprobado que el papel lo aguanta todo, pero en la realidad las cosas son más complejas. Igual de bonitas, pero deben obedecer a unos criterios, en su parte necesarios. Es en este punto donde se aprende y se experimenta la espiral de diseño. Se ha experimentado el diseñar, calcular y retocar sucesivamente hasta llegar a un punto de equilibrio final aceptable.

El escantillonado, ha sido uno de los capítulos más difíciles. Parte de esta dificultad ha recaído en el entendimiento de la norma a la hora de aplicarla. A su vez, he podido observar el escantillonado de una embarcación según una norma vigente.

El proyecto, en definitiva, ha sido un gratificante aprendizaje en muchos sentidos. También una herramienta que no acabará aquí, sino que me ha “re-ilusionad0” para seguir con más proyectos, más amplios y con más campo de apliación.

9.-BIBLIOGRAFIA

- *Antonio Bonilla de la Corte, Construcción "Naval y Servicios". Autor/Editor, 1984. ISBN 9788439826293*
- *"Illustrated Custom Boatbuilding". Bruce Roberts-Goodson. Ed. Alard Coles Nautical, 1980. ISBN 10:0822780291*
- *Lars Larsson, Rolf E. Eliasson. "Principles of Yacht Design" .3rd Edition. Ed International Marine/McGraw-Hill. 1994. ISBN 9780713678550*
- *Maxsurf. Version 13. User Manual. Formation Design Systems Pty Ltd 1984 – 2007.*
- *Hydromax. Version 13. User Manual. Formation Design Systems Pty Ltd 1984 – 2007*
- *Hullspeed. Version 13. User Manual. Formation Design Systems Pty Ltd 1984 – 2007*
- *Rhino Level 1 y 2. Fundació CIM. 2012*
- *Catia V5r22. Basic y Advance Cadtech Manuals.2012*

WEBGRAFIA

www.fomento.es → Consultada entre Enero y Septiembre de 20123

www.desarrollomarítimo.cl → Consultada entre Agosto y Noviembre de 2013

www.fondear.com → Consultado entre Enero y Septiembre de 2013

www.wikipedia.org → Consultada entre Enero Y Septiembre

www.enavales.com → Consultada entre Enero y Noviembre de 2013

www.Slideshare.net → Consultada entre Agosto y Noviembre de 2013

www.mtu-oline.com

www.vetus.com

APUNTES

- Projectes. Julio Garcia Espinosa. FNB, 2010.
- Fonaments de la construcción naval i propulsors. Vicente Sáenz y Adrián Prada. FNB, 2009.

- Inspecció técnica d'embarcacions d'esbarjo. William Pegram. FNB, 2011.
- Curso de diseño y tecnología de Yates. Colegio de Ingenieros Navales de España y la Fundación Jorge Juan. 2011-2012.

NORMATIVA

- Normativa ISO 12215-5:2008. Pequeñas embarcaciones. Construcción del casco y escantillones. Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación del escantillón.
- Normativa ISO 12217-2:2008.

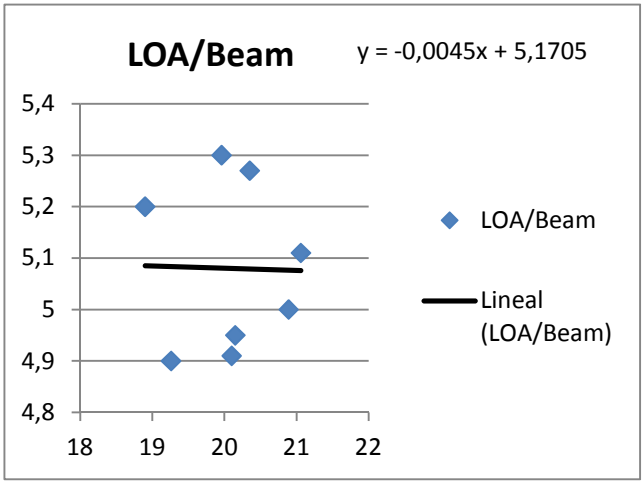
10.-ANEXOS

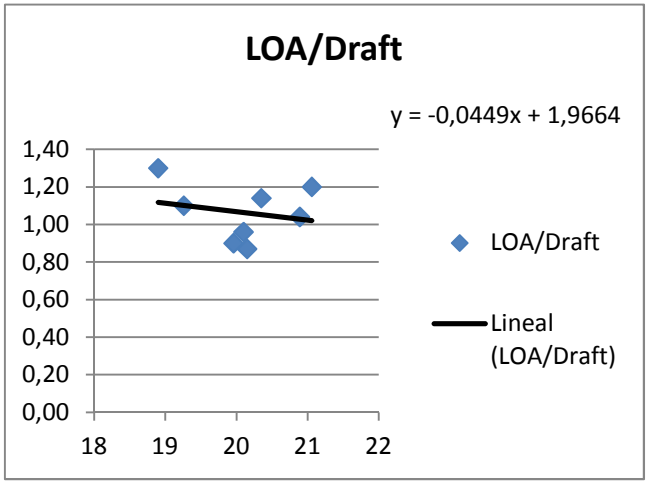
ANEXO I. DATOS Y REGRESIONES

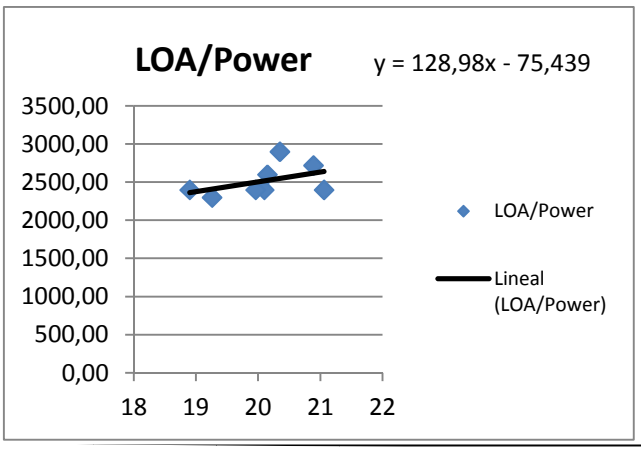
Tabla 1 – Características principales de las embarcaciones utilizadas para obtener una media con regresión de datos.

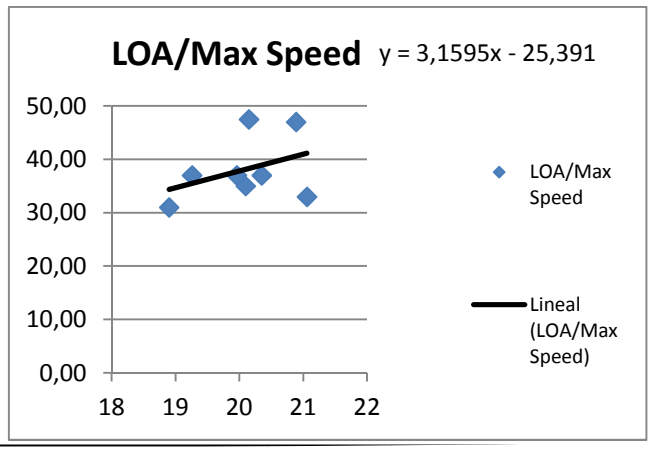
	Unds.	Sunseeker 63 Manhattan	Sunseeker 64 Predator	Azimut 62 S	San Lorenzo 62	Uniesse 65MY	Uniesse 65 Sport	Uniesse 63 HT	AB 65 Open	Princess 64
Loa	m	21,06	20,10	19,26	18,90	20,35	20,89	18,96	20,15	19,70
B	m	5,11	4,91	4,90	5,20	5,27	5,00	5,30	4,95	5,03
D	m	1,20	0,96	1,10	1,30	1,14	1,04	0,95	0,87	1,10
P	Hp	2400	2400	2300	2400	3100	2720	2400	2600	2200
V	Kn	33,00	35,00	37,00	31,00	37,00	47,00	37,00	47,50	33,00
V crucero	Kn	23,00	28,00	32,00	25,00	31,00	33,00	31,00	42,00	28,00
Δ	Kg	35000	29000	30700	43000	35000	32570	30400	24000	34000
C.C.	L	3000	3500	2700	3000	4200	3500	3000	4000	3409
C.Ad.	L	700	850	900	700	1220	870	800	1000	909
Deck	Unid.	3	2	2	3	3	2	2	2	3

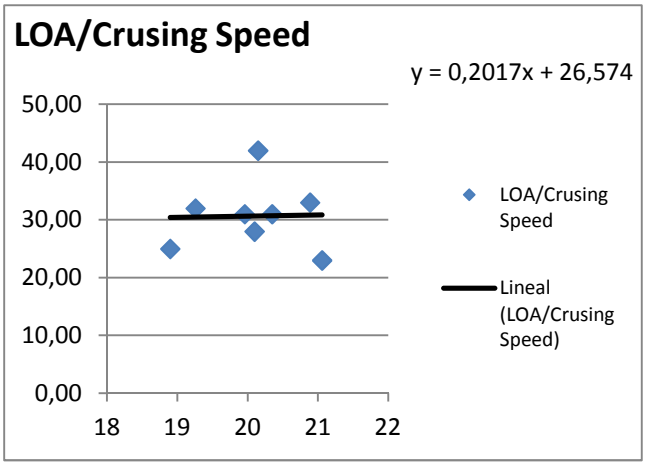
Gráficas 1-9 de las líneas de tendencia realizadas en función de la LOA.

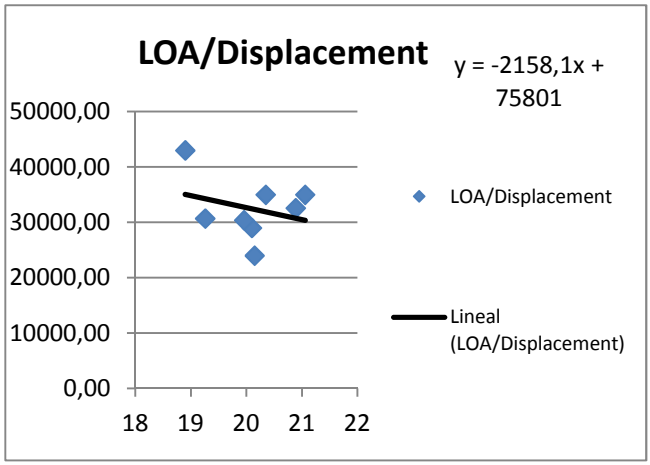


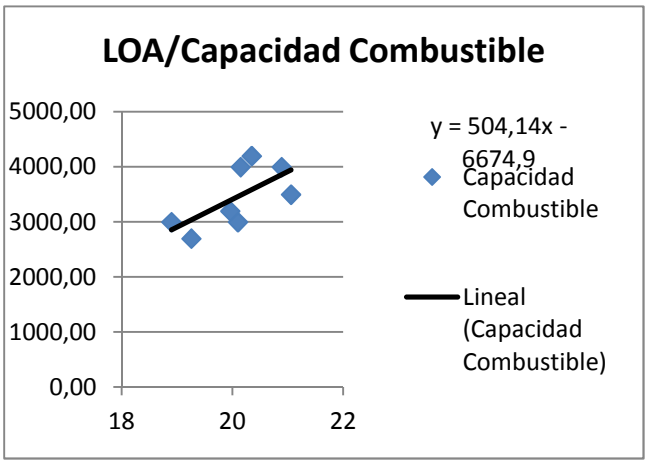












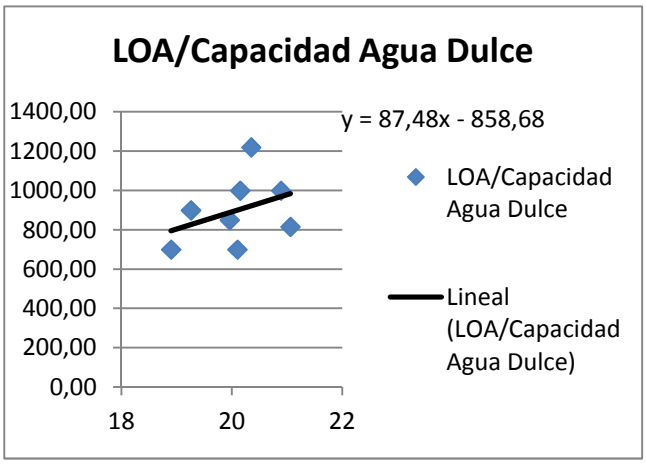


Tabla 2 - Resultado de las regresiones

L	*B*	*D*	*V*	*P*	*Δ*	*C.C.*	*C.Ad.*	*V crucero*
18,5	*5,25375*	*1,1524*	*33,05975*	*2310,691*	*35876,15*	*2651,69*	*759,7*	*30,30545*
19	*5,256*	*1,1304*	*34,6395*	*2375,181*	*34797,1*	*2903,76*	*803,44*	*30,4063*
19,5	*5,25825*	*1,1084*	*36,21925*	*2439,671*	*33718,05*	*3155,83*	*847,18*	*30,50715*
20	*5,2605*	*1,0864*	*37,799*	*2504,161*	*32639*	*3407,9*	*890,92*	*30,608*
20,5	*5,26275*	*1,0644*	*39,37875*	*2568,651*	*31559,95*	*3659,97*	*934,66*	*30,70885*
21	*5,265*	*1,0424*	*40,9585*	*2633,141*	*30480,9*	*3912,04*	*978,4*	*30,8097*
21,5	*5,26725*	*1,0204*	*42,53825*	*2697,631*	*29401,85*	*4164,11*	*1022,14*	*30,91055*

ANEXO II. RENDERIZADOS 1

Distintas disposiciones que se han estudiado antes de llegar al modelo final.

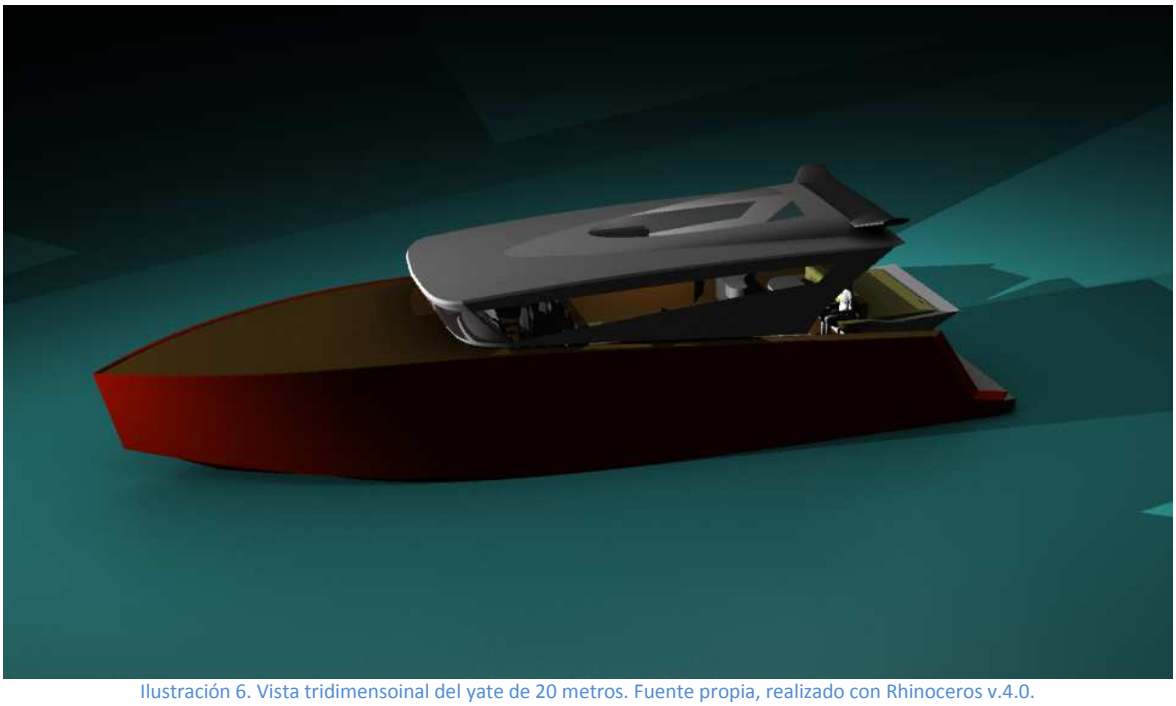


Ilustración 6. Vista tridimensoinal del yate de 20 metros. Fuente propia, realizado con Rhinoceros v.4.0.

Ilustración 7. Vista tridimensional del yate de 20 metros. Fuente propia, realizado con Rhinoceros v.4.0.

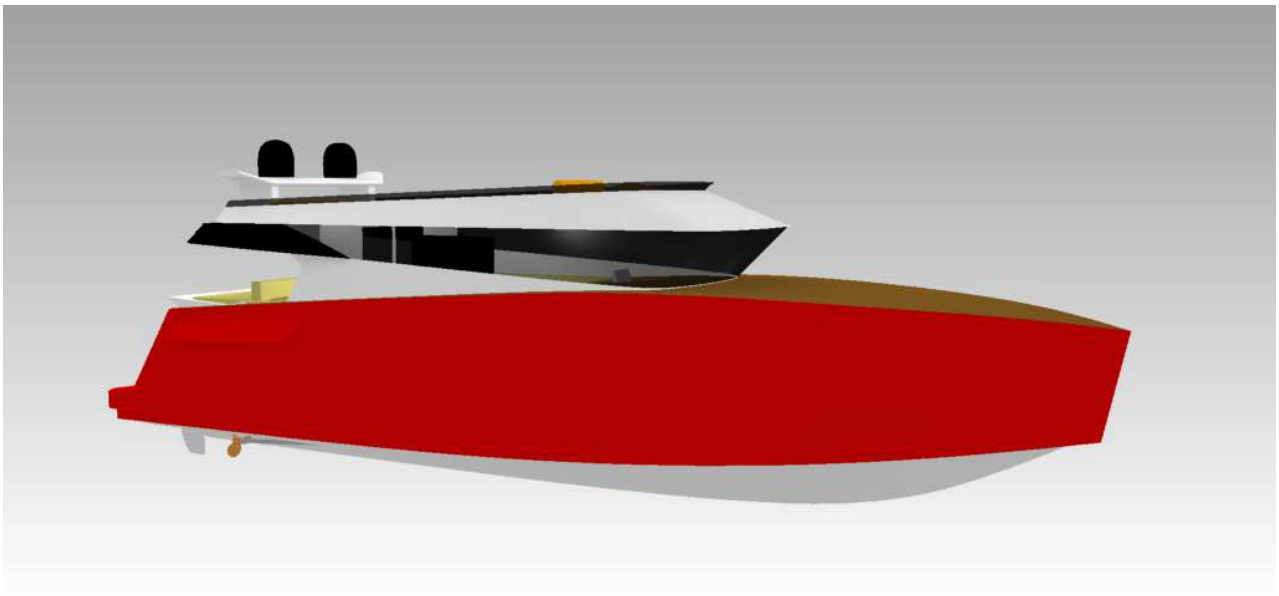


Ilustración 8. Vista tridimensional del yate de 20 metros. Fuente propia, realizado con Rhinoceros v.4.0.

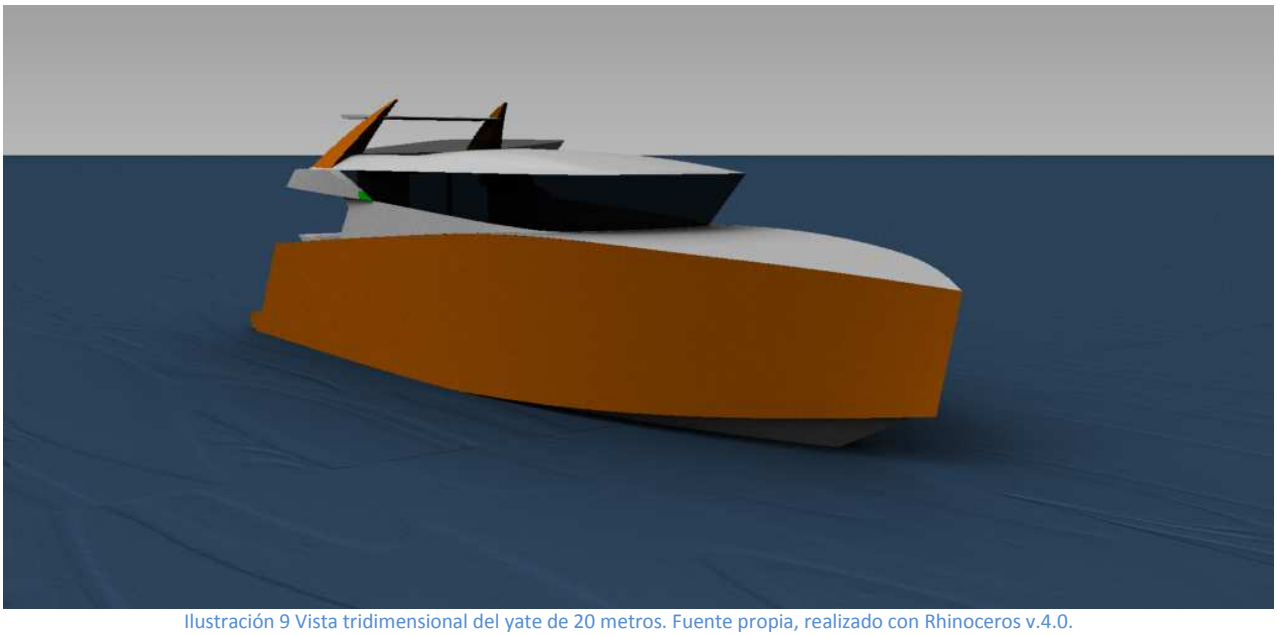


Ilustración 9 Vista tridimensional del yate de 20 metros. Fuente propia, realizado con Rhinoceros v.4.0.

ANEXO III. CÁLCULO MÉTODO SAVITSKY

Tablas con los resultados para el cálculo de la potencia propulsiva necesaria según el método Savitsky y, siguiendo como referente, el libro "Principles of Yacht Design" de Lars Larsson.

Se empezará por el cálculo del trimado, después por la resistencia de fricción y finalmente con la potencia efectiva.

Anexo 3.1.- Cálculo del Trimado y Coeficiente de Elevación.

Definiciones:

Gravedad	G	Manga	b
Ratio eslora/manga	Λ	Coeficiente de elevación	C_{lo}
Ángulo de trimado	T	Eslora mojada	L_w
Coeficiente de Velocidad	C_V	velocidad	V
Eslora de flotación	L_{wl}	Manga de Flotación	b_{wl}

Distintas velocidades a las que se han realizado los cálculos

Speeds	*Kn*	*m/s*
V1	*5*	*2,572*
V2	*10*	*5,144*
V3	*20*	*10,289*
V4	*30*	*15,433*
V5	*42*	*21,607*

Tabla 8 – Tabla de velocidades

Valores invariables y de la embarcación.

Lk	*13,047*	*m*
Lwl	*17,093*	*m*
bwl	*4,96*	*m*
ρ	*1025*	*kg/m3*
g	*9,81*	*m/s2*
Δ	*31253,5*	*kg*

Tabla 9 – Tabla de valores

Primero se empieza calculando el Coeficiente de Elevación mediante la fórmula siguiente, con sus resultados a continuación. Fuente "Principles of Yacht design".

$$C_{Lo} = \tau^{1.1} \cdot (0.012 \cdot \lambda^{0.5} + 0.0055 \cdot \frac{\lambda^{2.5}}{C_v^2})$$

	V1	*V2*	*V3*	*V4*	*V5*
Cv =	*0,36875095*	*0,73750189*	*1,47500379*	*2,21250568*	*3,09750795*
λ =	*2,63044355*	*2,63044355*	*2,63044355*	*2,63044355*	*2,63044355*
Clo =	*3,67530574*	*0,91882643*	*0,22970661*	*0,10209183*	*0,05208767*

Tabla 10 – Tabla de valores

Donde

$$\lambda = \frac{L_w}{b} \quad ; \quad C_v = \frac{V}{\sqrt{g \cdot b}}$$

Seguidamente se busca el valor del coeficiente de elevación a non-deadrise angle, mediante la fórmula siguiente. Sus resultados, a las velocidades anteriores, a continuación.

$$C_{L\beta} = C_{Lo} - 0.0065 \cdot \beta \cdot C_{Lo}^{0.6}$$

$C_{L\beta}1$	3,4483233
$C_{L\beta}2$	0,8200266
$C_{L\beta}3$	0,1867015
$C_{L\beta}4$	0,0756549
$C_{L\beta}5$	0,0344331

Tabla 11 – Tabla de valores

Anexo 3.2.- Cálculo de la Resistencia de Fricción y la Potencia Efectiva

Definiciones

Resistencia de fricción	Rf	Eslora de flotación	Lwl	17,093	m
Superficie mojada	Sw	Velocidad	V	21,607	m
Coeficiente de fricción	Cf	Viscosidad Cinemática	ν	1,23·10-6	m^2/s
Incremento ratio eslora/manga	Δλ	Densidad agua salada	ρ	1025	kg/m^3

Tabla 12 – Tabla de valores

- Se busca el valor de la Resistencia de Fricción, junto con el número de Reynolds y el coeficiente de fricción.

$$R_f = C_f \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot (\lambda + \Delta\lambda) \cdot \frac{b^2}{cos\beta} =$$

$$C_f = \frac{0{,}0075}{(logR_n - 2)^2} = 0.0017875$$

$$R_n = \frac{V \cdot L}{\upsilon} = 300262401$$

- Se calcula el brazo de elevación mediante la fórmula siguiente.

$$ff = VCG - \frac{b}{4} \cdot tan\beta = 1.169\, m$$

- El paso siguiente es buscar el valor o punto de acción del LCP.

$$\frac{L_{cp}}{L_m} = 0.75 - \frac{1}{\frac{5.21 \cdot C_v^2}{\lambda^2} + 2.39} = 7.973\, m$$

- Se calcula el valor de ε, diferencia entre LCG y Lcp

$$\varepsilon = 1.623\ m$$

- Se calcula el momento de presión sobre el casco

$$M_h = g \cdot m \cdot \left[\frac{e \cdot \cos(\tau + \varepsilon)}{cos\ \varepsilon} - f \cdot \frac{sin\tau}{cos\varepsilon}\right] = 489155.14\ N/m$$

- Se calcula el momento por resistencia de fricción

$$M_f = R_f \cdot \left[ff - e \cdot tan\varepsilon - \frac{f}{cos\varepsilon}\right] = -19500.80\ N/m$$

- Suma de Momentos

$$M_t = M_h + M_f = 469654.34\ N/m$$

Con estos momentos calculados se haría una extrapolación, con dos valores más de trimado, para obtener un resultado más conciso del valor del ángulo de trimado y luego con su correspondiente Resistencia de fricción.

- La resistencia total es

$$R = \left[g \cdot m \cdot sin\tau + R_f\right] \cdot \frac{\cos(\tau - \varepsilon)}{cos\varepsilon} = 42776.57\ N$$

- La Potencia Efectiva es

$$P_e = V \cdot R = 924259.15\ W = 1247.75hp$$

Finalmente, la Potencia real que necesitamos teniendo en cuenta el 54% de rendimiento propulsivo es:

$$\boxed{P_{er} = P_e \cdot \eta_p = 2310.65\ hp}$$

ANEXO IV. DETALLES DE LOS PROPULSORES

Especificaciones técnicas del modelo propulsivo y del motor de proa.

Marine

Diesel Engine 8V/10V 2000 M94

for Fast Vessels with Low Load Factors (1DS)

Dimensions and Masses

2000 M94	Dimensions (LxWxH) mm (in)	Mass, dry kg (lbs)
8V	1416x1130x1200 (55.7x44.5x47.2)	1980 (4365)
10V	1600x1135x1250 (63.0x44.7x49.2)	2240 (4938)
2000 M94 - with standard gearbox	**Dimensions (LxWxH) mm (in)**	**Mass, dry kg (lbs)**
8V - ZF 550	2059x1130x1200 (80.9x44.5x47.2)	2360 (5203)
10V - ZF 2050	2135x1135x1245 (84.1x44.7x49.0)	2660 (5864)

Typical applications: Fast yachts, fast patrol boats, police craft and fire-fighting vessels

Engine Model		8V 2000 M94	10V 2000 M94
Rated power ICFN	kW (bhp)	932 (1250)	1193 (1600)
Speed	rpm	2450	2450
No. of cylinders		8	10
Bore/stroke	mm (in)	135/156 (5.3/6.1)	135/156 (5.3/6.1)
Displacement, total	l (cu in)	17.9 (1093)	22.3 (1361)
Flywheel housing		SAE 1	SAE 1
Gearbox model, standard ①		ZF 550	ZF 2050
Optimization of exhaust emissions ②		IMO 2/EPA 2/EU III A ②	IMO 2/EPA 2/EU III A ②
Solas compliance		Yes	Yes

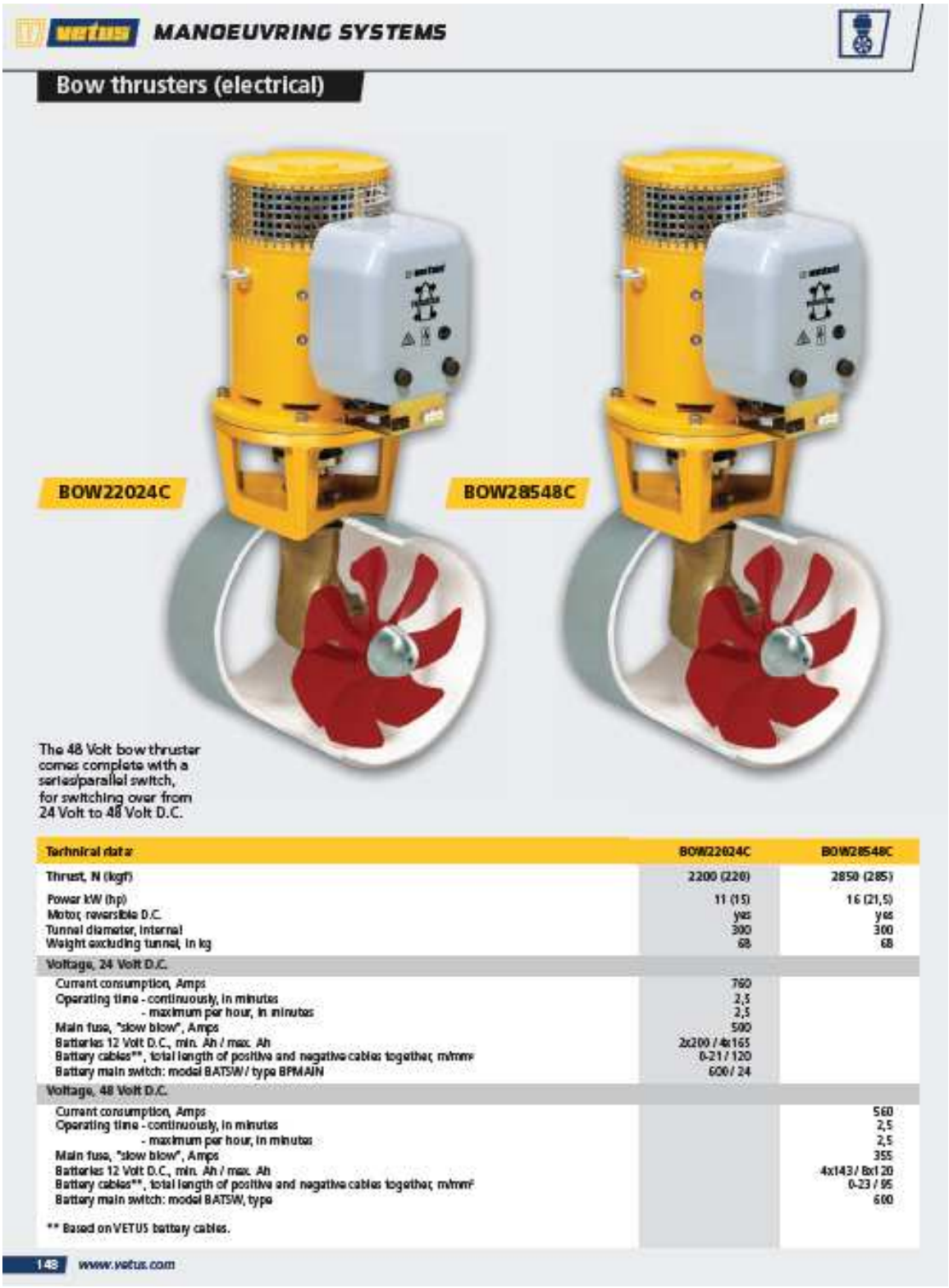
① gear ratio on request
② IMO – International Maritime Organisation; EPA – US Marine Directive 40 CFR 94
③ on request

mtu

Power. Passion. Partnership.

Ilustración 19. Folleto Informativo de las especificaciones técnicas delo modelo propulsivo elegido.

Fuente internet, www.mtu-oline.com.



vetus MANOEUVRING SYSTEMS

Bow thrusters (electrical)

BOW22024C

BOW28548C

The 48 Volt bow thruster comes complete with a series/parallel switch, for switching over from 24 Volt to 48 Volt D.C.

Technical data	BOW22024C	BOW28548C
Thrust, N (kgf)	2200 (220)	2850 (285)
Power kW (hp)	11 (15)	16 (21,5)
Motor, reversible D.C.	yes	yes
Tunnel diameter, internal	300	300
Weight excluding tunnel, in kg	68	68
Voltage, 24 Volt D.C.		
Current consumption, Amps	760	
Operating time - continuously, in minutes	2,5	
- maximum per hour, in minutes	2,5	
Main fuse, "slow blow", Amps	500	
Batteries 12 Volt D.C., min. Ah / max. Ah	2x200 / 4x165	
Battery cables**, total length of positive and negative cables together, m/mm²	0-21 / 120	
Battery main switch: model BATSW / type BPMAIN	600 / 24	
Voltage, 48 Volt D.C.		
Current consumption, Amps		560
Operating time - continuously, in minutes		2,5
- maximum per hour, in minutes		2,5
Main fuse, "slow blow", Amps		355
Batteries 12 Volt D.C., min. Ah / max. Ah		4x143 / 8x120
Battery cables**, total length of positive and negative cables together, m/mm²		0-23 / 95
Battery main switch: model BATSW, type		600

** Based on VETUS battery cables.

148 www.vetus.com

Ilustración 21. Folleto Informativo de las especificaciones técnicas delo modelo propulsivo elegido.

Fuente catálogo de internet, www.vetus.com

ANEXO V. CÁLCULO DE CENTROS DE GRAVEDAD

Cálculo de los Centros de Gravedad de todos los principales sistemas.

Tabla 18 - **Sistema Estructural** → Formado por los elementos que conforman la estructura de la embarcación. En la tabla se aprecia desde refuerzos a chapas de fondo, costado o cabina.

Elemento	X	Y	Z	Grosor **Elemento**	Área Estrcutura	Densidad Material **Estructura**	Peso Total	MX	MY	MZ
					de material (m2)	(Kg/m3)	(Kg)	(Kg/m)	(Kg/m)	(Kg/m)
Casco Costado	9572,611	0,000	2341,624	0,006	98,804	2700,000	1600,625	15322,159	0,000	3748,061
Casco Chines	9641,743	0,000	1022,562	0,008	6,411	2700,000	138,478	1335,165	0,000	141,602
Casco Fondo	7007,478	0,000	447,699	0,008	77,441	2700,000	1672,726	11721,588	0,000	748,878
Espejo Popa	0,000	0,000	979,985	0,008	5,611	2701,000	121,242	0,000	0,000	118,816
Cubierta principal	7825,116	-10,505	3207,550	0,006	108,469	2700,000	1464,332	11458,564	-15,383	4696,917
Quilla	9407,004	-5,000	1142,136	0,010	13,501	2700,000	364,527	3429,107	-1,823	416,339
Refuerzos Longitudinales	7896,061	-3,888	1697,295	0,008	91,190	2700,000	1969,704	15552,903	-7,658	3343,169
Refuerzos Longitudinales MM.PP.	3604,554	-0,231	672,613	0,010	1,449	2700,000	39,123	141,021	-0,009	26,315
Cuadernas Estancas	8182,978	0,000	1955,470	0,010	52,761	2700,000	1424,547	11657,037	0,000	2785,659
Cuadernas Secundarias	7824,684	-1,979	1868,046	0,006	72,407	2700,000	1172,993	9178,303	-2,321	2191,206
Cubiertas Inferiores	8637,667	-25,983	851,813	0,006	49,755	2700,000	806,031	6962,227	-20,943	686,588
Cabina	7117,820	-0,011	4951,875	0,005	58,566	2700,000	790,641	5627,640	-0,009	3915,155
Refuerzos Longitudinales Cabina	7310,903	0,000	5053,940	0,005	24,550	2700,000	331,425	2423,016	0,000	1675,002
Refuerzos Transversales Cabina	7487,221	4965,927	5501,309	0,005	16,025	2700,000	216,338	1619,767	1074,316	1190,139
Demás	4500,000	351,309	2263,851	0,008	48,353	2700,000	979,145	4406,154	343,983	2216,639
Total:					676,940		13091,876	100834,650	1370,153	27900,485

CGx	7,621 m
CGy	0, 107 m
CGz	2,135 m

Tabla 19 - **Sistema Propulsivo y de maniobra** → Formado por los elementos relacionados con la propulsión y la maniobra

Long. tubos y su peso	Estribor	6205,839	mm	a	4,4	kg/m	Te =	27,306
(Marca Vetus)	Babor	6205,839	mm	a	4,4	kg/m	Tb =	27,306

Elemento	Peso (Kg)	X	Y	Z	MX	MY	MZ
Motor MTU V8 2000 M94 Estribor	2200,000	3,623	-1,200	1,186	7970,600	-2640,000	2609,200
Motor MTU V8 2000 M95 Babor	2200,000	3,623	1,200	1,186	7970,600	2640,000	2609,200
Hélices Motor Principal Estribor	25,000	0,638	-1,200	0,166	15,950	-30,000	4,150
Hélices Motor Principal Babor	25,000	0,638	1,200	0,166	15,950	30,000	4,150
Eje MM.PP. Estribor	60,000	1,981	-1,200	0,459	118,860	-72,000	27,552
Eje MM.PP. Babor	60,000	1,981	1,200	0,459	118,860	72,000	27,552
Tubos de escape MM.PP. Estribor (Te)	27,306	3,121	-1,878	1,375	85,221	-51,280	37,556
Tubos de escape MM.PP. Babor (Tb)	27,306	3,121	1,878	1,375	85,221	51,280	37,556
Timón Estribor	30,000	1,241	-1,200	0,370	37,222	-36,000	11,105
Timón Babor	30,000	1,241	1,200	0,370	37,222	36,000	11,105
Bowthruster Vetus	37,000	14,106	0,483	0,661	521,922	17,871	24,457
Demás	500,000	3,000	0,000	0,707	1500,000	0,000	353,386
Total	5221,611				18477,627	17,871	5756,968

CGx	3,539	m
CGy	0,003	m
CGz	1,103	m

Tabla 20 - **Sistema Eléctrico** → Formado por distintos elementos generadores de energía eléctrica, elementos almacenadores de energía y consumidores en general, desde bombas a electrodomésticos

Elemento	Peso	Unidades	Total	X	Y	Z	MX	MY	MZ
Generador KOHLER NH80	382,000	1,000	382,000	2,141	-1,351	1,200	817,862	-516,082	458,400
Baterías Arranque M.P. Estribor Vetus 120 Ah	**41,000**	**2,000**	**82,000**	**3,490**	**2,194**	**1,420**	**286,180**	**179,908**	**116,440**
Baterías Arranque M.P. Babor Vetus 120 Ah	41,000	2,000	82,000	3,490	-2,194	1,420	286,180	-179,908	116,440
Baterías de servicio	41,000	2,000	82,000	3,490	0,000	1,844	286,180	0,000	151,208
Baterías Generador	18,800	2,000	37,600	1,969	-0,376	0,964	74,034	-14,138	36,246
Aire Acon. compresor CHC16RC	26,000	2,000	52,000	2,003	0,384	1,007	104,156	19,968	52,364
Aire Acon.Split Hab. Proa AH6K-DT2	9,100	1,000	9,100	14,214	-1,180	1,524	129,347	-10,738	13,868
Aire Acon. Split Salón AH6K-DT2	9,100	1,000	9,100	10,145	1,076	1,036	92,320	9,792	9,428
Aire Acon. Split Cocina AH6K-DT2	9,100	1,000	9,100	12,556	-1,626	1,522	114,260	-14,797	13,850
Aire Acon. Split Hab Popa AH6K-DT2	9,100	1,000	9,100	8,646	1,656	1,036	78,679	15,070	9,428
Aire Acon. Split Cabina Puesto de Mando 1 AH6K-DT2	9,100	1,000	9,100	8,952	-0,499	3,043	81,463	-4,541	27,691
Aire Acon. Split Cabina Puesto de Mando 2 AH6K-DT2	9,100	1,000	9,100	6,088	1,771	3,042	55,401	16,116	27,682
Potablizadora de Agua Dulce	38,000	1,000	38,000	1,945	1,004	1,022	73,910	38,152	38,836
Desalinizadora de Agua	20,000	1,000	20,000	1,984	0,545	1,719	39,680	10,900	34,380
Calentador para Agua caiente	95,000	1,000	95,000	2,078	1,542	1,878	197,410	146,490	178,410
Bomba Potabilizaora	8,000	1,000	8,000	1,946	0,866	0,714	15,568	6,928	5,712
Bomba Aire Condiconado	3,700	2,000	7,400	1,946	0,270	0,714	14,400	1,998	5,284
Televisor LG32 Hab. Proa	18,000	1,000	18,000	15,064	1,275	2,539	271,152	22,950	45,702
Televisor LG42 Salón/Comedor	20,100	1,000	20,100	12,448	-1,373	2,355	250,205	-27,597	47,336
Televisor LG42 Hab. Popa	20,100	1,000	20,100	8,931	-0,918	2,054	179,513	-18,452	41,285
Televisor LG42 Cabina Puesto de Mando	20,100	1,000	20,100	5,935	-1,672	3,830	119,294	-33,607	76,983
Cocina Vitrocerámica	11,000	1,000	11,000	10,119	-1,871	1,777	111,309	-20,581	19,547

Elemento	Peso	Unidades	Total	X	Y	Z	MX	MY	MZ
Nevera	60,000	1,000	60,000	9,341	-0,920	1,788	560,460	-55,200	107,280
Lavavajillas	24,500	1,000	24,500	11,599	-1,220	1,505	284,176	-29,890	36,873
Iluminación Saón/Comedor Light Hal·logen Cantalupi	0,650	8,000	5,200	11,326	0,151	3,524	58,895	0,785	18,325
Iluminación Hab. Proa Light Hal·logen Cantalupi	0,650	4,000	2,600	15,703	0,000	3,524	40,828	0,000	9,162
Iluminación Hab. Popa Light Hal·logen Cantalupi	0,650	8,000	5,200	7,484	0,000	2,774	38,917	0,000	14,425
Iluminación WC proa Light Hal·logen Cantalupi	0,650	2,000	1,300	13,927	1,342	3,524	18,105	1,745	4,581
Iluminación WC aseo Light Hal·logen Cantalupi	0,650	1,000	0,650	15,528	-0,848	3,524	10,093	-0,551	2,291
Iluminación WC Popa Light Hal·logen Cantalupi	0,650	3,000	1,950	6,121	-0,538	2,774	11,936	-1,049	5,409
Iluminación Cabina/Mando Light Hal·logen Cantalupi	0,650	16,000	10,400	8,616	0,000	4,978	89,606	0,000	51,771
Iluminación Exterior Light Hal·logen Cantalupi	0,650	6,000	3,900	4,300	0,000	4,978	16,770	0,000	19,414

Tabla 21 - **Sistema de fondeo, amarre y equipos de seguridad** → Formado por elementos relacionados con las maniobras de amarre y equipo mínimos de seguridad a bordo mínimo.

Elemento	Peso	Unidades	Total	X	Y	Z	MX	MY	MZ
Molinete Eléctrico Maxwell 2500	32,000	1,000	32,000	18,726	0,057	3,442	599,232	1,824	110,144
Ancla HI-SEA Marine Type N.1	50,000	1,000	50,000	19,800	0,000	3,511	990,000	0,000	175,550
Seasmart Cleats, bitas	2,300	6,000	13,800	9,975	0,000	3,521	137,655	0,000	48,590
Guía para cadena ancla Acero Inox	2,200	1,000	2,200	19,291	0,000	3,448	42,440	0,000	7,586
Cadena Ancla 12mm	2,500	50,000	125,000	18,389	0,000	2,148	2298,625	0,000	268,500
Demás	50,000	1,000	50,000	7,500	0,000	3,000	375,000	0,000	150,000
Equipos salvavidas	4,000	12,000	48,000	2,910	0,000	3,062	139,680	0,000	146,976
Embarcación salvavidas	50,000	1,000	50,000	1,043	0,174	-1,764	52,150	8,700	-88,200
motor embarcación salvavidas	15,000	1,000	15,000	0,929	-1,052	2,248	13,935	-15,780	33,720

Tabla 22 - **Total de los sistemas eléctrico, fondeo y amarre y seguridad**

Elementos	Peso	Unidades	Total	X	Y	Z	dX	dY	dZ
Total	1106,100	151,000	1531,600				9457,005	-461,586	2648,917

CGx	6,175	m
CGy	-0,301	m
CGZ	1,730	m

Tabla 23 y 24 - **Tanques Principales** → Formado por los forros y el líquido que contienen los tanques de combustible, agua dulce y aguas grises y negras.

Parte 1. Estructura de los tanques.

Elemento/Posición	X	Y	Z	Grosor Elemento	Área Estr. de material (m2)	Densidad Mat. Estructura (Kg/m3)	Peso Tanque Vacío (Kg)	Voumen Interior (m3)	Den, Fluido (Kg/m3)
Tanque Agua Dulce	10521,373	0,00	583,179	0,004	9,956	2700	107,525	1,715	1000
Tanque Combustible 1	6192,287	0,00	437,205	0,006	12,784	2700	207,101	1,923	850
Tanque Combustible 2	603,068	0,00	766,879	0,006	11,42	2700	185,004	3,500	850
Tanque Aguas Negras y Grises	7587,763	0	438,909	0,004	9,36	2700	101,088	1,057	1100

Parte 2. Líquidos contenidos en los tanques, o capacidad de estos.

Elemento/Posición	Peso Fluido (kg)	Peso Total (Kg)	MX (Kg/m)	MY (Kg/m)	MZ (Kg/m)
Tanque Agua Dulce	1715	1822,525	19175,463	0,000	1062,858
Tanque Combustible 1	1634,55	1841,651	11404,030	0,000	805,179
Tanque Combustible 2	2975	3160,004	1905,697	0,000	2423,341
Tanque Aguas Negras y Grises	1162,7	1263,788	9589,324	0,000	554,688
Total:	5852,7	8087,968	42074,515	0,000	4846,066

CGx	5,423	m
CGy	0,000	m
CGz	0,590	m

Tabla 25 - **Crew e invitados, pasaje** → Formado por la tripulación e invitados situados de una manera repartida por el barco. Se intenta simular una distribución coherente con un uso diario.

.CREW AND PASSANGERS	unid	peso	total	x	y	z	MX	MY	MZ
Pasajeros Solarium Proa	2	90	180	13,570	0,000	3,037	2442,600	0,000	546,660
Pasajeros Puesto Mando	4	90	360	9,950	0,000	3,591	3582,000	0,000	1292,760
Pasajeros Dinet exterior	4	90	360	3,332	0,000	3,275	1199,520	0,000	1179,000
Pasajeros Solarium Popa	2	90	180	2,000	0,000	3,250	360,000	0,000	585,000
Total			1080	8,447	-0,166	2,982	7584,12	0,000	3603,42

CGx	7,022	m
CGy	0,000	m
CGz	3,337	m

Tabla 26 – **Interiores** → Formado por los elementos que conforman los mamparos no estructurales o los forros interiores, suelos, techos, muebles, picas, sanitarios,…

TIPOS DE MATERIALES	Madera:	Compuesto formado por tabla de madera más espuma de alto nivel aislante		
		Larimar P80	EN 323/93	80 kg/m3
	Colchon:	látex		80 kg/m3

80

	Área	Grosor	Densidad	Peso	X	Y	Z	dX	dY	dZ
Habitación Proa										
muebles	4,829	0,020	80,000	7,726	15,723	0,030	1,949	121,482	0,232	15,059
cama	4,000	0,200	80,000	64,000	16,032	0,000	1,889	1.026,048	0,000	120,896
paredes	33,737	0,020	80,000	53,979	15,695	-1,776	2,259	847,204	-95,867	121,939
Guarda-ropa	4,028	0,020	80,000	6,445	14,369	-1,022	2,578	92,605	-6,587	16,615
demás	1,000	1,000	50,000	50,000	15,455	0,000	2,000	772,738	0,000	100,000
Total:				182,150				2.860,077	-102,222	374,508
Habitación Popa										
Muebles y Armarios	19,905	0,020	80,000	31,848	6,938	1,178	1,596	220,961	37,517	50,829
cama	4,000	0,200	80,000	64,000	7,427	0,000	1,095	475,328	0,000	70,080
Sofá	1,000	1,000	85,000	85,000	7,857	-1,885	1,296	667,845	-160,225	110,160
paredes	50,097	0,025	80,000	100,194	6,974	-0,980	1,449	698,753	-98,216	145,181
demás	1,000	1,000	50,000	50,000	7,299	-0,562	1,812	364,950	-28,121	90,600
Total:				331,042				2.427,837	-249,045	466,851

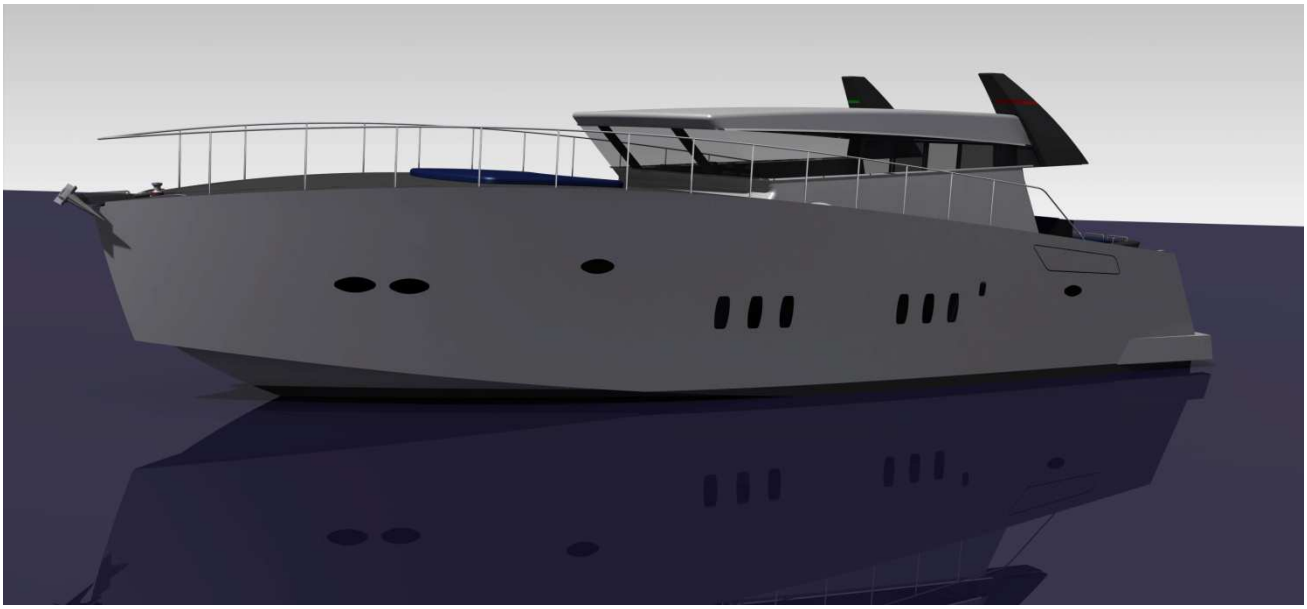
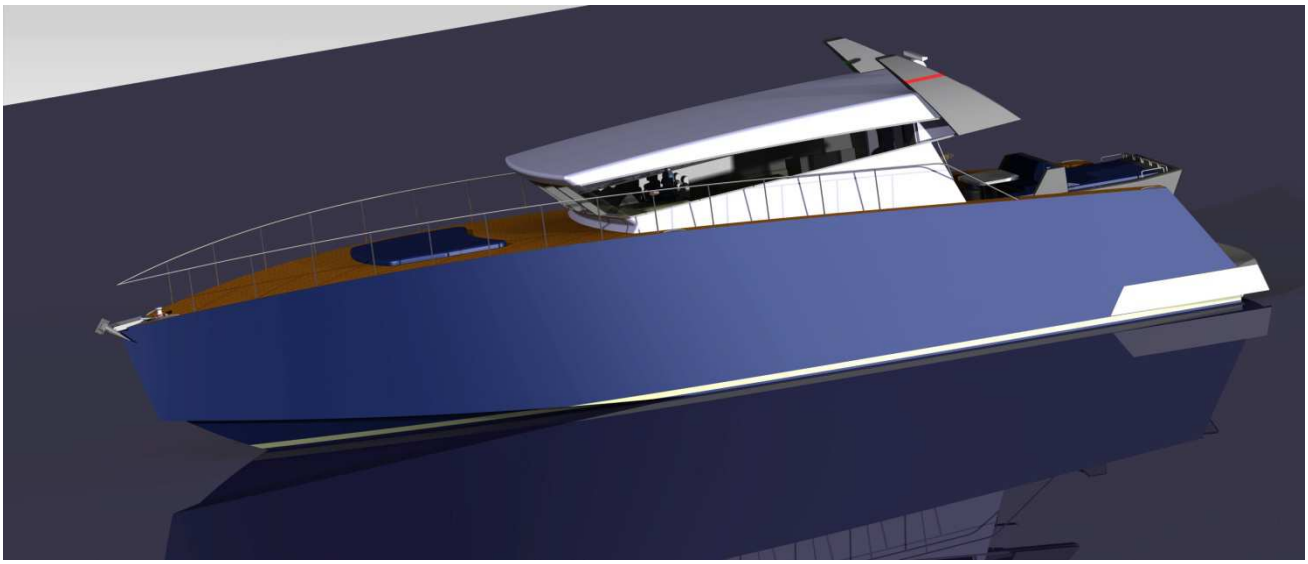
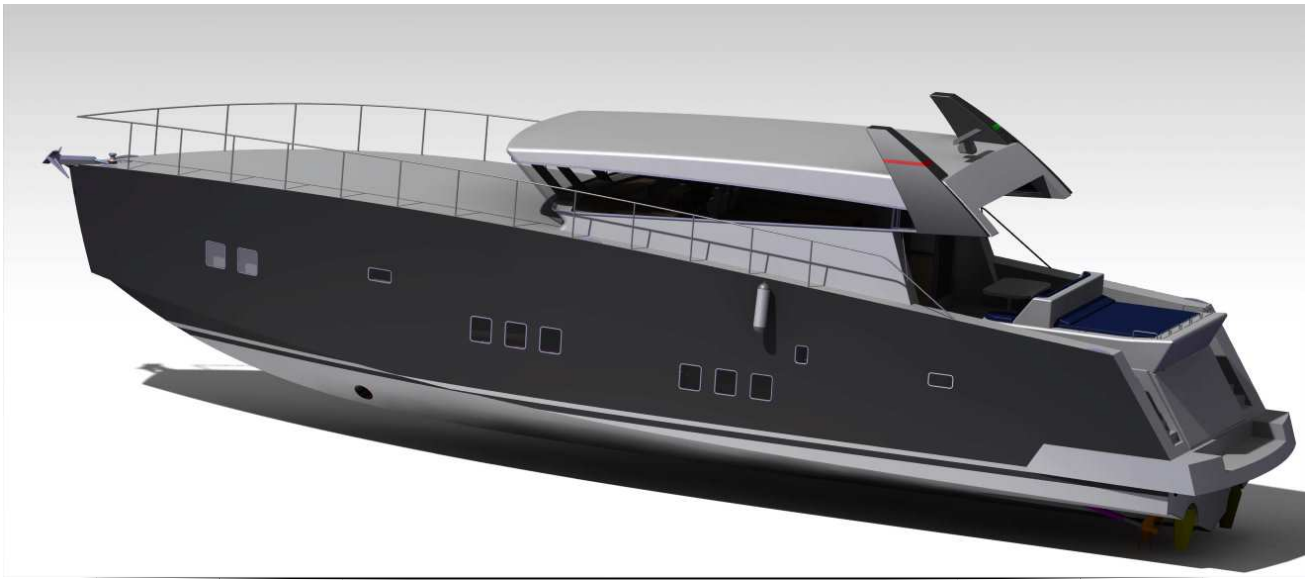
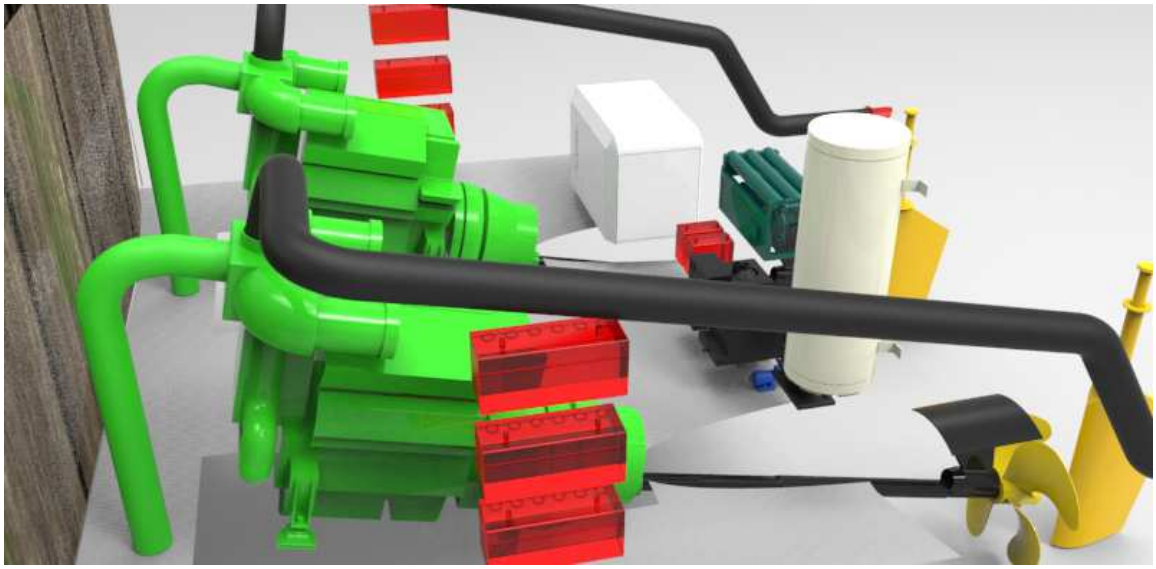
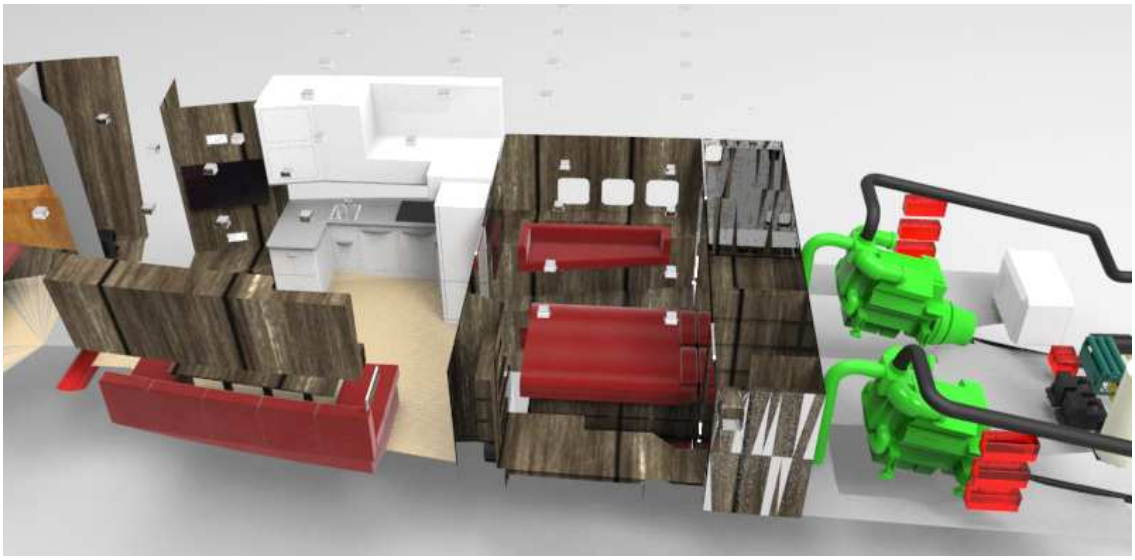
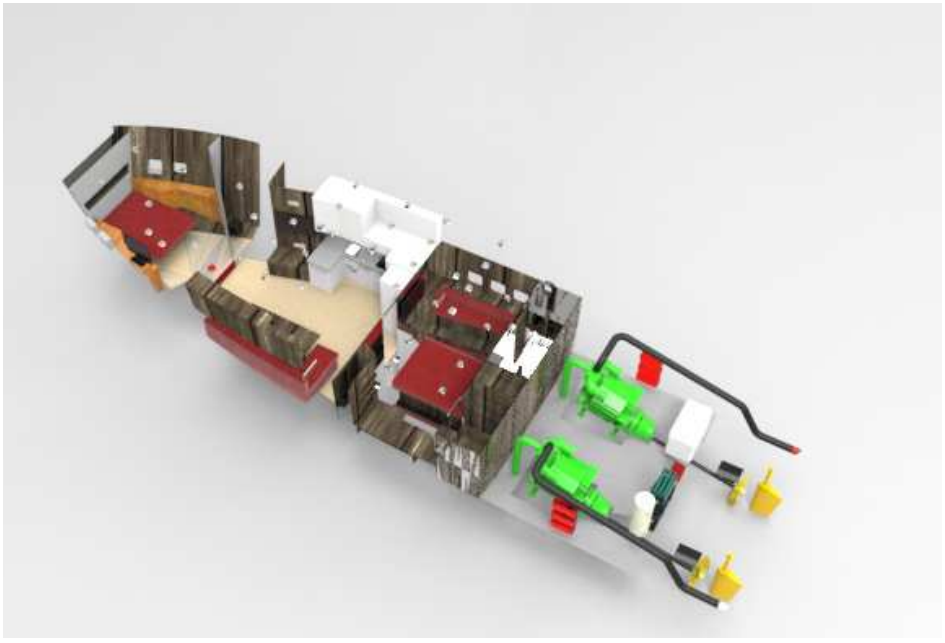
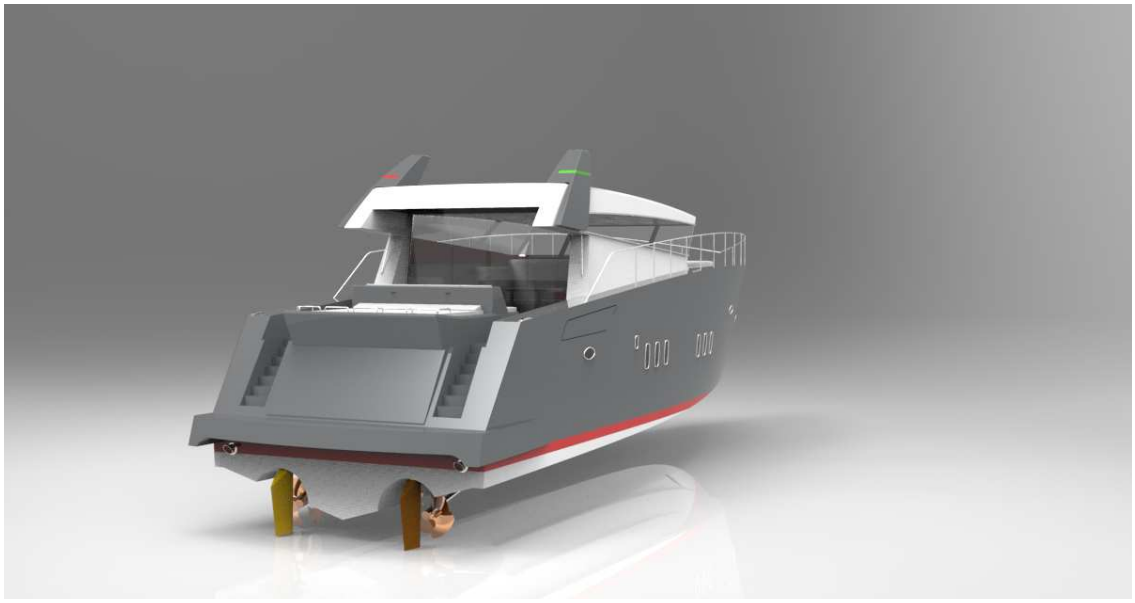
Salón y Cocina										
Sofá	1,000	1,000	80,000	80,000	11,497	0,020	2,180	919,760	1,562	174,400
Mesa	2,346	0,035	80,000	6,569	11,356	1,094	1,534	74,595	7,186	10,077
Mueble estribor	15,489	0,020	80,000	24,782	12,569	-1,449	2,048	311,490	-35,910	50,754
Mueble Babor	14,187	0,020	80,000	22,699	11,416	2,023	3,025	259,134	45,920	68,665
Peldaños Escalera	1,047	0,020	80,000	1,675	9,437	1,258	2,023	15,809	2,107	3,389
Mueble Escalera	6,607	0,020	80,000	10,571	9,425	1,690	1,605	99,634	17,865	16,967
Demás	1,000	1,000	50,000	50,000	8,213	0,773	2,069	410,625	38,629	103,458
Pica	1,000	1,000	3,000	3,000	11,090	-1,790	1,671	33,270	-5,370	5,013
Mueble Cocina	28,500	0,020	80,000	45,600	10,688	-1,766	2,861	487,373	-80,530	130,462
Paredes volumen	19,100	0,020	80,000	30,560	11,160	-0,205	2,334	341,050	-6,265	71,327
Total:				275,457				2.952,739	-14,803	634,512

WC Proa										
Taza váter	1,000	1,000	15,000	15,000	13,164	0,781	1,646	197,460	11,715	24,690
Lavamanos	1,000	1,000	2,000	2,000	14,226	1,465	2,048	28,452	2,930	4,096
Mueble	3,668	0,020	80,000	5,869	15,153	1,360	1,675	88,930	7,982	9,830
Ducha	1,000	1,000	2,000	2,000	13,609	1,808	2,984	27,218	3,616	5,968
Demás	1,000	1,000	15,000	15,000	14,038	1,354	2,088	210,570	20,303	31,324
Total:				39,869				552,630	46,545	75,908

WC Popa										
Taza váter	1,000	1,000	15,000	15,000	6,271	-0,871	0,936	94,065	-13,065	14,040
Lavamanos	1,000	1,000	2,000	2,000	5,394	-2,047	1,448	10,788	-4,094	2,896
Mueble	2,376	0,020	80,000	3,802	5,912	-1,910	1,059	22,475	-7,261	4,026
Mampara Cristal	1,755	0,020	1.500,000	52,650	5,915	-0,529	1,700	311,425	-27,852	89,505
Ducha	1,000	1,000	2,000	2,000	5,996	0,150	2,237	11,992	0,300	4,474
Demás	1,000	1,000	15,000	15,000	5,898	-1,302	1,845	88,464	-19,526	27,675
Total:				90,452				539,209	-71,498	142,616

WC aseo											
	Taza váter	1,000	1,000	15,000	14,500	13,288	-1,337	1,529	192,676	-19,387	22,171
	Lavamanos	1,000	1,000	2,000	2,000	13,566	-0,831	1,591	27,132	-1,662	3,182
	Mueble y mamparos	9,063	0,020	80,000	14,501	13,436	-1,143	2,290	194,833	-16,574	33,207
	Demás	1,000	1,000	10,000	10,000	13,000	-0,828	1,353	130,000	-8,278	13,525
Total:					41,001				544,641	-45,900	72,084
Cabina/Puesto de mando											
	Sofá	1,000	1,000	220,000	220,000	6,658	1,604	3,363	1464,760	352,880	739,860
	Muebles	77,640	0,020	80,000	124,224	7,500	0,157	3,881	931,680	19,503	482,113
	Asientos Capitán	3,000	1,000	30,000	90,000	8,999	-1,095	3,864	809,910	-98,550	347,760
	Salpicadero	77,640	0,025	80,000	155,280	10,011	-1,003	4,135	1554,508	-155,746	642,083
	Elementos electrónicos	77,640	0,020	80,000	124,224	10,100	-0,997	4,028	1254,662	-123,851	500,374
	Demás	150,000	1,000	1,000	150,000	7,000	-0,267	3,854	1050,000	-40,020	578,130
Total:					863,728				7065,520	-45,784	3290,320
Total:	Habitación popa				1823,698				16942,653	-482,707	5056,799

CGx	9,290	m
CGy	-0,265	m
CGz	2,773	m

ANEXO VI. RENDERIZADOS 2

Imágenes renderizadas de distintos detalles y en general del modelo final. Se presenta con distintas opciones de pintura o portillos.