DISEÑO DE UN VELERO DE 22M. CATEGORÍA A. NAVEGACIÓN OCEÁNICA

PROYECTO FINAL DE CARRERA

DIRECCIÓN DE PROYECTO:
MARCEL.LA *CASTELLS SANABRA*
AUTOR: ALFONS CASALS SAMORA
TITULACIÓN: ENG.TÈC. NAVAL PROP.
I SERVEIS DEL VAIXELL
CURSO: 2014

ÍNDICE (PROVISIONAL)

1.0- INTRODUCCIÓN.

2.0- ESPECIFICACIONES DE PARTIDA.

2.2- MEDIDAS INICIALES. (Maxsurf.)

3.0- DISEÑO CONCEPTUAL.

4.0- ESTUDIO ESTADÍSTICO.

5.0- DISEÑO DE CARENA.

5.1 MECÁNICA DE FLUIDOS APLICADA AL BUQUE.

5.2 DESCOMPOSICIÓN RESISTENCIA AL AVANCE.

5.3 LA RESISTENCIA POR FORMACIÓN DE OLAS.

5.4 ANÁLISIS DE LAS ZONAS DE PROA.

5.5 COEFICIENTES PRINCIPALES Y FORMAS DE CARENA.

5.6 TRANSFORMACIÓN PARAMÉTRICA DE LA CARENA.

5.7 CÁLCULO RESISTENCIA AL AVANCE CON SERIES DELFT.

5.8 COMPARATIVA DE RESULTADOS Y CONCLUSIÓN

6.0- MODELADO DEL VELERO EN 3D CON CATIA V5.

6.1 IMÁGENES DEL PROCESO DE DIBUJADO PASO A PASO.

7.0- ESCANTILLONADO DE PANELES CON ISO-12215-5-2008.

7.1 PRESIONES DE DISEÑO.

7.2 ESCANTILLONADO DE PANELES.

7.3 COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS DE ESCANTILLONADOS OBTENIDOS.

7.4 ESCANTILLONADO DE LA CUBIERTA Y LA BAÑERA EN SANDWICH.

8.0- ESCANTILLONADO DE REFUERZOS CON ISO-12215-5-2008.

8.1 COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS ENTRE EL ESCANTILLONADO ORIGINAL Y EL DEL EXPERIMENTO*.*

9.0- CÁLCULO DE PESOS.

10.0- ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD.

11.0- DIMENSIONADO ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE GENERACIÓN.

12.0- DIMENSIONADO DE LA JARCIA Y ARBOLADURA.

13.0- CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE TIMONES.

14.0- PLANO VÉLICO.

15.0- DIMENSIONADO ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE GENERACIÓN.

16.0- CONCLUSIONES.

17.0- BIBLIOGRAFIA.

ANEXO I: TABLAS I CÁLCULOS EN EXCEL.

ANEXO II: PLANOS.

1.0-INTRODUCCIÓN

Mi idea es diseñar un velero de 22 metros de eslora, de categoría de diseño A y zona de navegación oceánica. Con la idea de aplicar y reforzar algunos de los conocimientos adquiridos durante la ***Ingeniería Tècnica Naval en Propulsió y Serveis del Vaixell.***

Además de intentar acercarme a los pasos que haría una empresa de ingeniería naval para diseñar un velero.

Este proyecto lo inicié partiendo de unos requisitos iniciales, unos valores de eslora y manga máximas que me permitieran hacer los primeros cálculos además de algunas ideas conceptuales de como debiera ser el velero

para después obtener unos resultados orientativos con Maxsurf. Con estos resultados, pude reducir la cantidad de veleros candidatos para conseguir un estudio estadístico mediante regresiones y obtener así una menor dispersión en los resultados, discriminando aquellos que se alejaban de los datos preliminares.

Hice un estudio estilístico mediante bocetos a mano, hasta una idea estética final, para luego diseñar una carena aplicando los principios físicos necesarios, explicados en el redactado.

El siguiente paso fue dibujar la carena obtenida en Catia V5 para tener una idea visual y real. Parametricé el casco primigenio hasta que conseguí uno más eficiente, comparando resultados con Series Delft.

Luego procedí al escantillonado con la Norma ISO, tanto del casco como de los refuerzos en monolítico y cubiertas en sándwich, pudiendo explorar así distintas configuraciones. Pude hacer pruebas duplicando los refuerzos iniciales y obteniendo así distintos resultados comparativos que me condujeron a obtener varias conclusiones para optimizar el modelo.

Hice después un cálculo de pesos, mediante Excel y Catia V5, éste último fue de gran ayuda para obtener datos muy importantes.

El estudio de estabilidad lo hice con Maxsurf y la norma ISO correspondiente.

El dimensionado de la jarcia con NBS (Nordic Boat Standard).

Realicé el dimensionado eléctrico para la planta de generación del velero.

Este proyecto me ha permitido poner en práctica los conocimientos adquiridos en la carrera y aplicar los principales programas y normativas usados en ingeniería naval.

2.0-ESPECIFICACIONES DE PARTIDA

El concepto de velero que quiero desarrollar es una embarcación muy cómoda con amplios espacios de habilitación, con una gran bañera abierta al mar. Es de vital importancia la acomodación y la posibilidad de navegar con vientos portantes para facilitar la navegación oceánica, ello condiciona que la manga sea más amplia.

Las exigencias de partida son:

- Camarote de armador con baño completo propio, a proa.
- Camarote de doble acomodación con baño propio.
- Camarote de doble acomodación.
- Camarote se acomodación simple.
- Un baño completo de uso general.
- Cocina abierta al salón con vitrocerámica y toda la equipación.
- Salón comedor-cocina con espacio de mapas integrada.
- Gran bañera con amplia zona de solárium.

- Dinete exterior en bañera.
- Cocina completa exterior, con barbacoa.
- Desalinizadora.
- Lavadora secadora.
- Nevera grande en cocina.
- Nevera pequeña en bañera.
- Máquina de hielo.
- Doble timonera.
- Generador.
- Electrónica para navegación. (Interior y exterior).

He querido instalar varios electrodomésticos para poder hacer una estimación de potencia para dimensionar el generador.

2.1- MEDIDAS INICIALES

Estas medidas iniciales me sirven para realizar los primeros cálculos y poder usar la metodología de la espiral de diseño. Para obtener luego unos resultados finales mediante iteraciones sucesivas. Primeros resultados obtenidos con Maxurf.

- Eslora: L_T=22m.
- Eslora de flotación: L_{WL}=19,993m.
- Manga máxima B_{MAX}=6m.

- Manga de flotación: B_{WL}=4,9m.
- Puntal=3,75m.
- Desplazamiento=40753kg.

3.0- DISEÑO CONCEPTUAL.

El proceso de diseño conceptual comenzó con diferentes croquis generales incluyendo los requisitos iniciales que se deben cumplir. Empecé dibujando las líneas principales estilísticas haciendo variaciones hasta llegar a un concepto final que me gustó.

Para llegar a este concepto final, investigué las embarcaciones parecidas que existen en el mercado, tanto las fabricadas en serie por las grandes marcas como Hanse, Jeanneau , Wally , así como las de construcción exclusiva One off. Analicé sus líneas y formas fui cogiendo ideas de diferentes embarcaciones hasta dar con el diseño que me gustó.

Así que después de muchos croquis y bocetos llegué a estos:

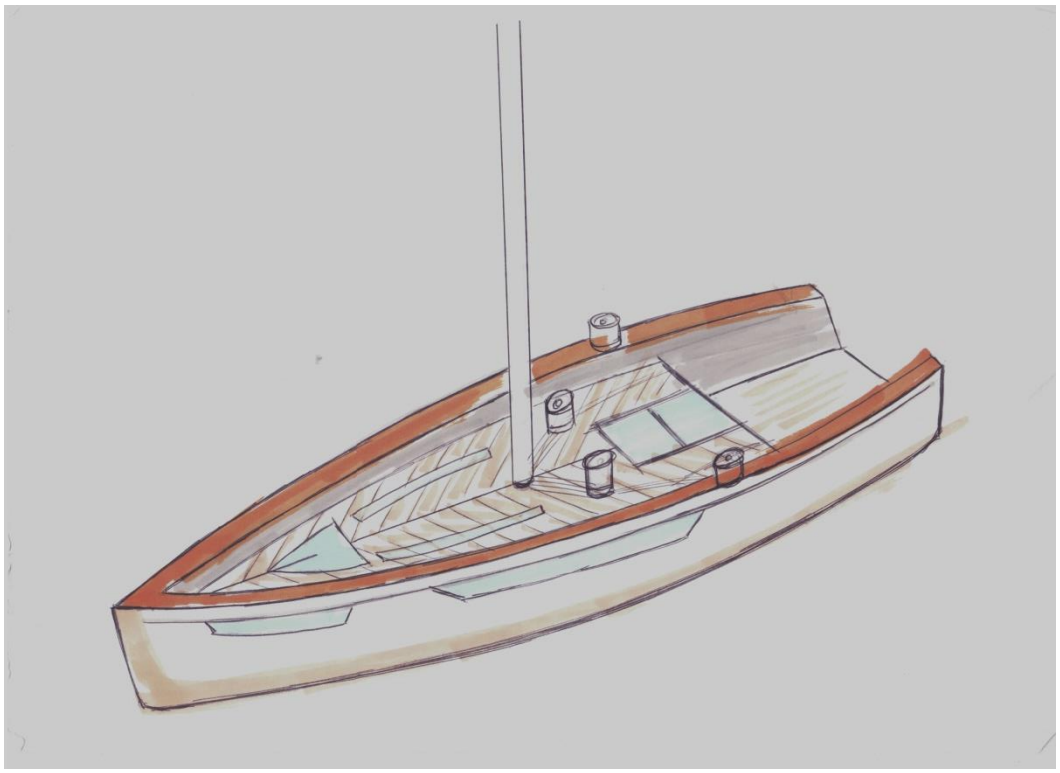


FIG: Nº1 BOCETO INICIAL. FUENTE PROPIA.

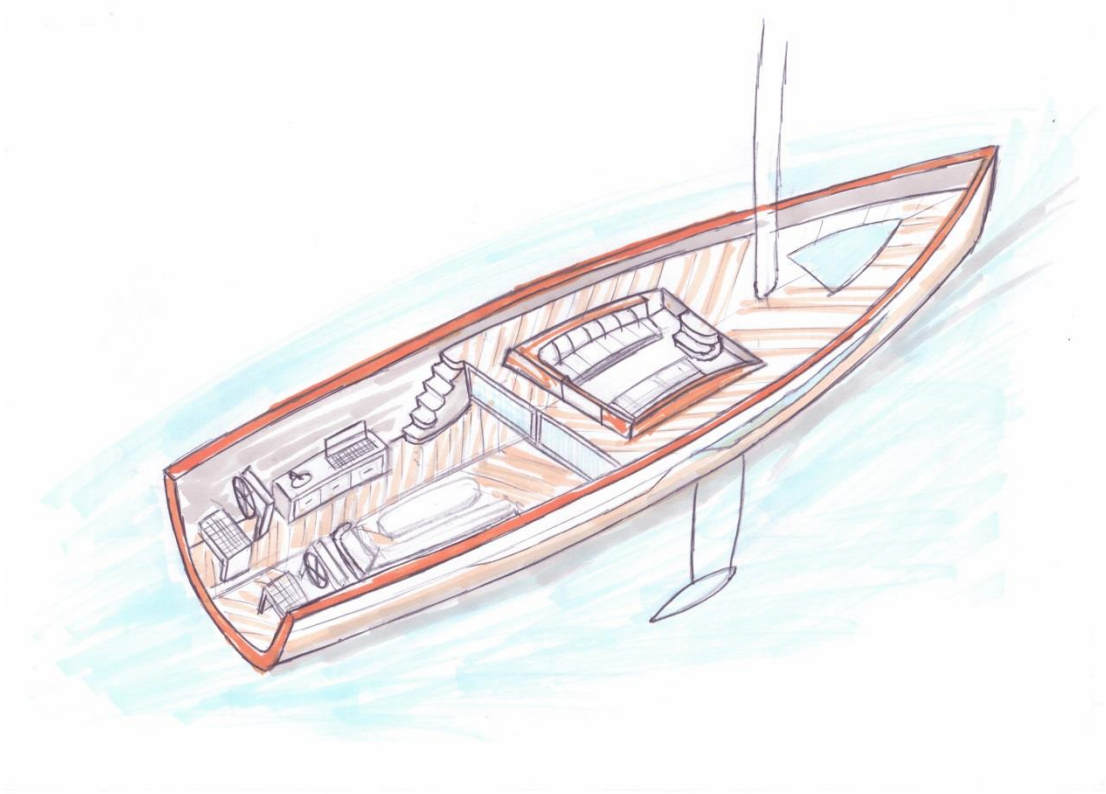


FIG:Nº2 BOCETO FINAL DEL VELERO.
FUENTE PROPIA.

El hacer bocetos a mano permite ir variando las ideas conceptuales iniciales variando elementos como, perfil del casco, líneas estilísticas principales, situación de la bañera, ventanas, variaciones de la distribución exterior e interior.

En fin que desde una idea inicial de partida y después de varios bocetos he llegado a un diseño final que define un concepto. Generando un nicho de mercado buscando unos rasgos característicos que diferencien este velero del resto de embarcaciones existentes.

La idea es conseguir unos espacios de acomodación generosos, dando tanta importancia a la superficie de acomodación, como a la zona exterior en la bañera y en la cubierta. Consiguiendo espacios abiertos al mar muy grandes, que permiten una interacción mayor entre los tripulantes y el mar.

La bañera comprende además del doble puesto de control de la nave, de amplia dinette y gran sofá, con cocina exterior equipada con barbacoa. Equipamos una gran puerta-ventanal que hace la transición entre la zona exterior y la interior, facilitando la entrada de luz natural al interior y ofreciendo buenas vistas del exterior.

En los costados de la bañera unas bonitas escaleras simétricas que llevan a la cubierta superior, donde hay un gran solárium con sofás y zona de relax independiente de la bañera, que ofrece un espacio de acomodación exterior adicional a la bañera típica.
Además de ofrecer una buena iluminación al interior debido a los grandes ventanales que dispone esta embarcación.

El diseño del casco muy estilizado, con una proa más alta y agresiva, además de unas anchas líneas de borda confiere a este velero una sensación de gran dinamismo, al mismo tiempo que simplicidad de formas.

PLANTEAMIENTO ACOMODACIÓN INTERIOR

El planteamiento de la acomodación es muy importante, ya que condiciona mucho a la hora de plantear la estructura final del velero. Ya que la posición de mamparos o cuadernas viene determinada por la separación de estancias interiores, por ejemplo la pared de un camarote puede interferir con una cuaderna o un mamparo y obligarte a cambiarlos de posición. Afectando a los cálculos estructurales que ya se habían hecho.

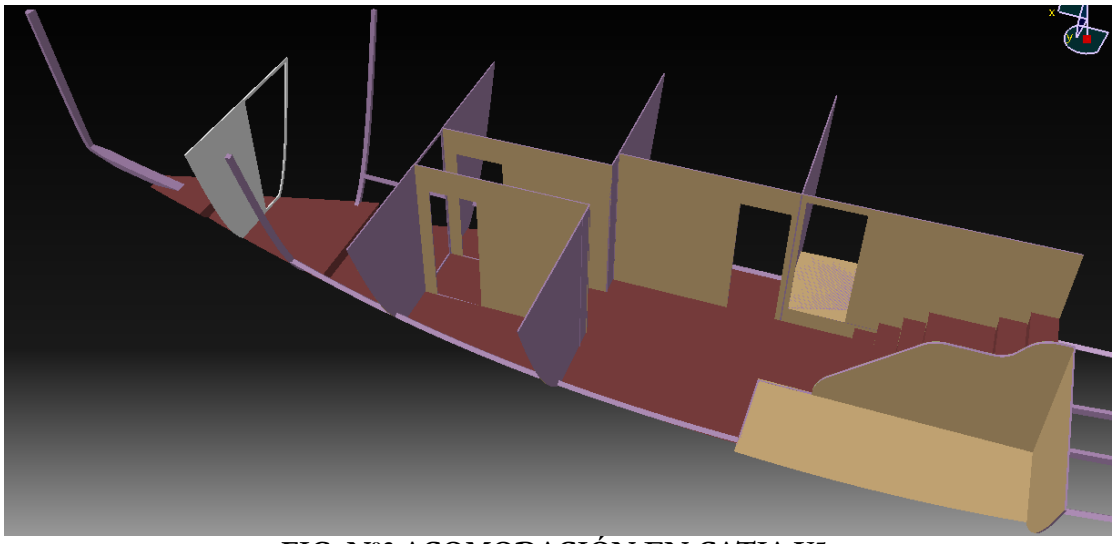


FIG: Nº3 ACOMODACIÓN EN CATIA V5.
FUENTE PROPIA.

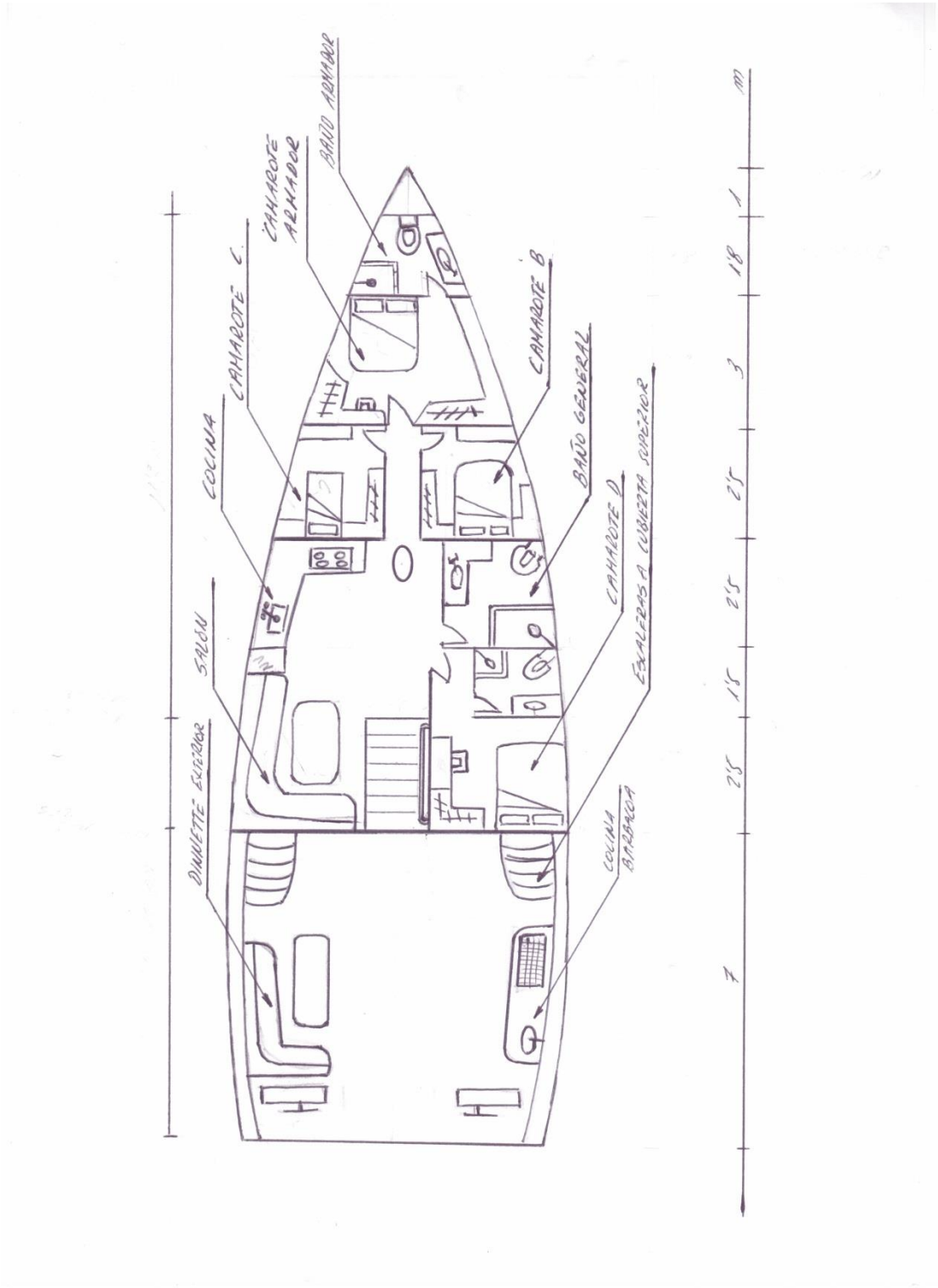


FIG: Nº4 BOCETO ACOMODACIÓN.FUENTE PROPIA.

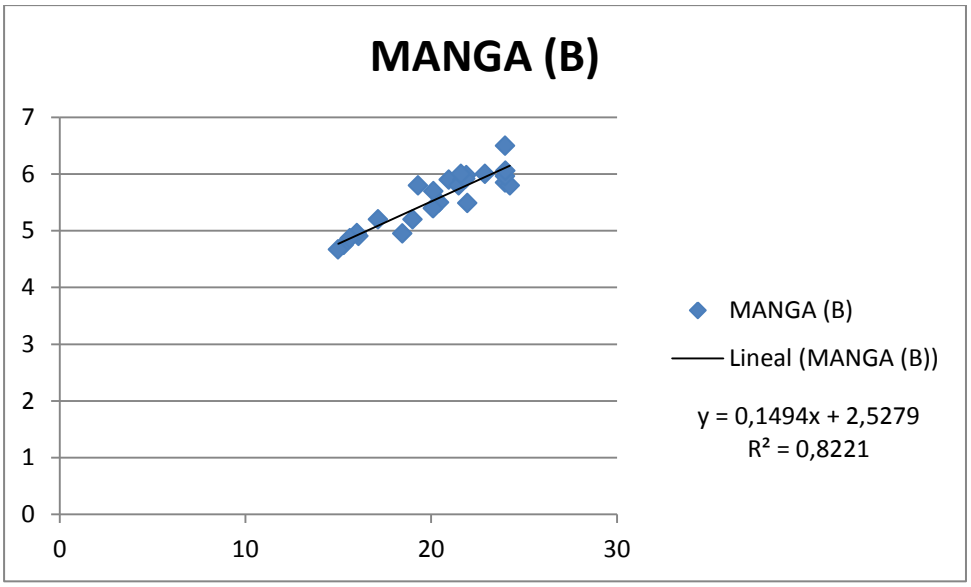
4.0- ESTUDIO ESTADÍSTICO.

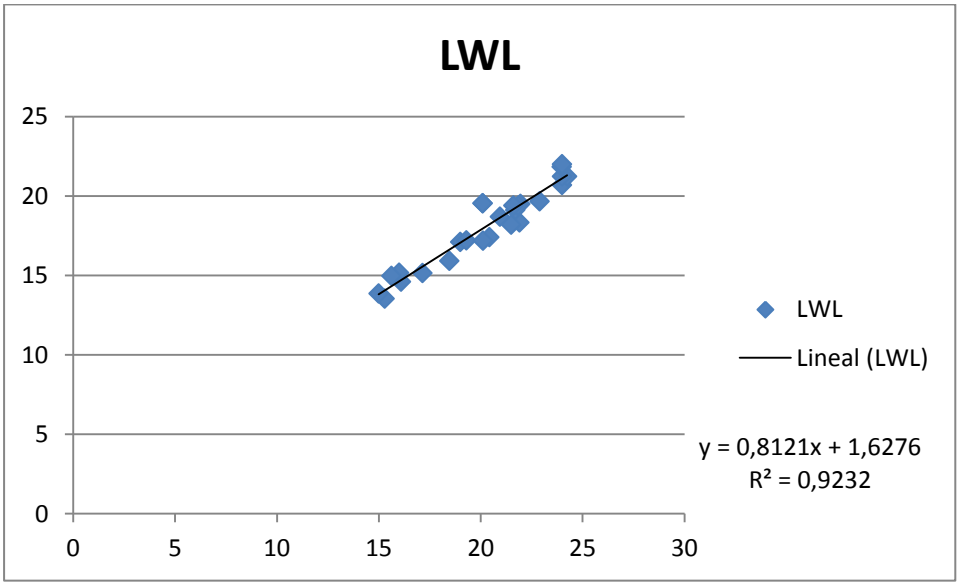
He realizado un estudio estadístico para extraer las medidas principales del velero. Usando embarcaciones existentes muy parecidas existentes en el mercado, desde constructores en serie tipo Hanse a los constructores de embarcaciones on-off tipo Wally.

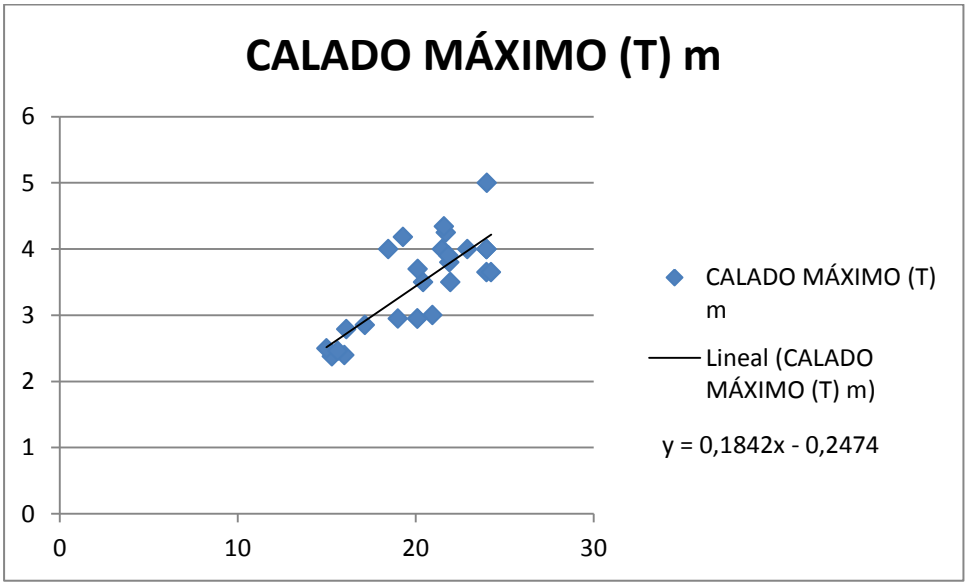
Ha sido complicado obtener información técnica detallada de las embarcaciones ya que hay datos a los que no he podido acceder. Así que la lista ha sido reducida a un número de veleros de los cuales he podido obtener información más o menos fiable.

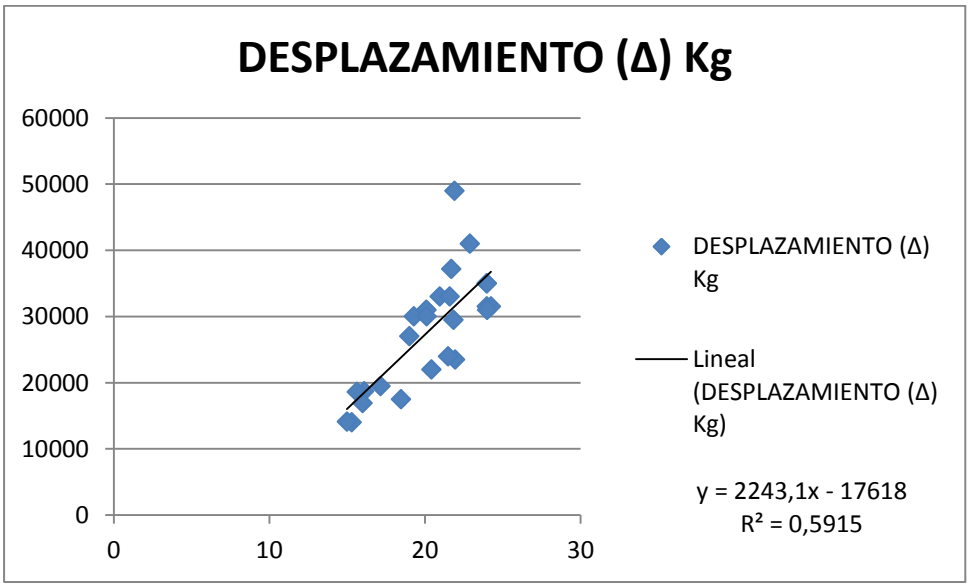
LISTADO DE EMBARCACIONES

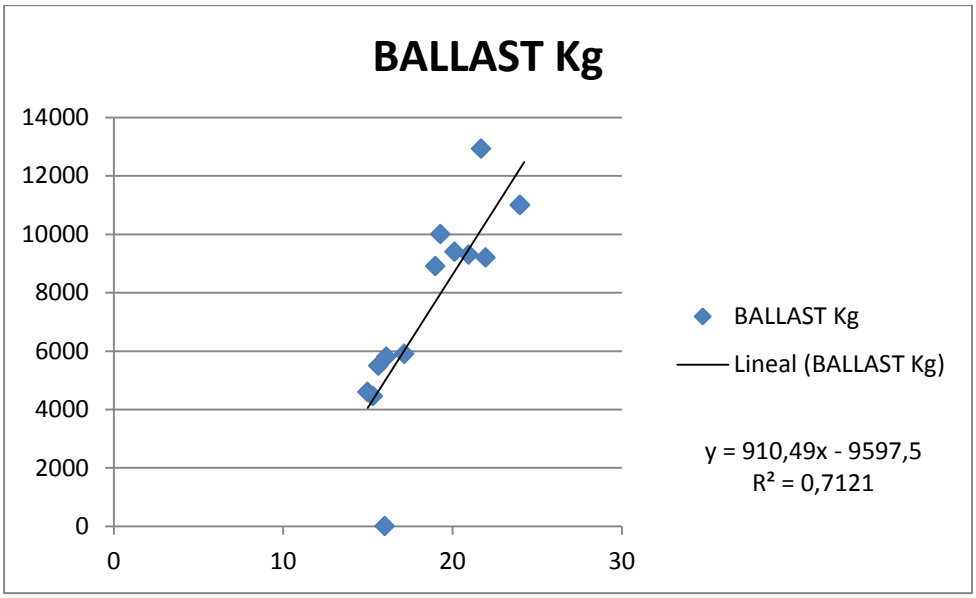
HANSE 540	WALLY TANGO G
HANSE 505	WARWICK YACHTS 72
HANSE 575	WARWICK YACHTS 75
HANSE 630 E	
HANSE 675	NORTH WIND 72
BENEATEU OCEANIS 55	MOODY
BAVARIA CRUISER 51	SHIPMAN 72
BAVARIA CRUISER 56	SHIPMAN 80
JEANNEAU 64	JEANNEAU 64
WALLY ÑO	GOETZ CUSTOM YACHTS
WALLY ITACA 67	SOUTHERN WIND
WALLY TUAMATA 77	ICE 72 YACHTS
WALLY J ONE	ICE 80
WALLY TANGO G	SWAN 66

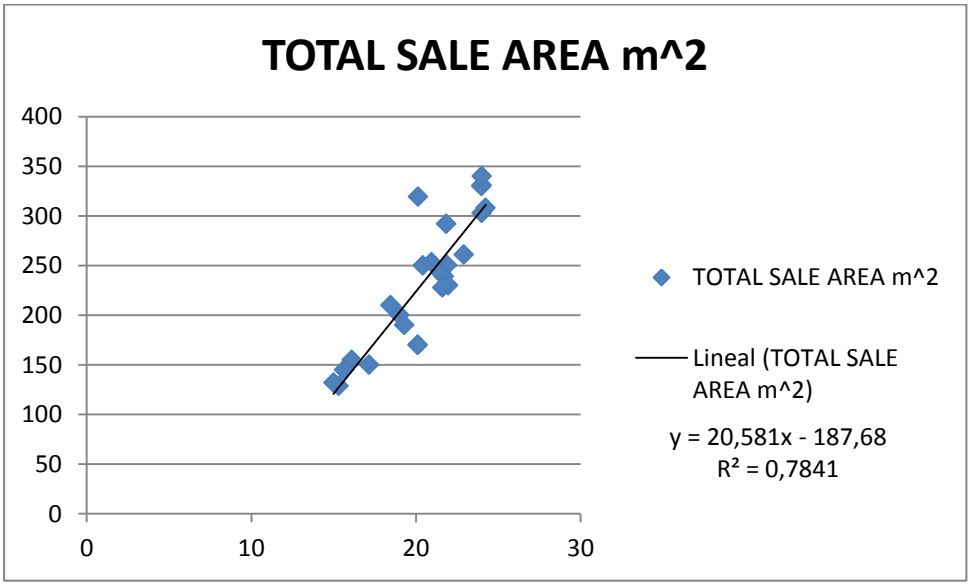

MANGA (B)
7
6
5
4
3
2
1
0
0
10
20
30
MANGA (B)
Lineal (MANGA (B))
y = 0,1494x + 2,5279
R² = 0,8221

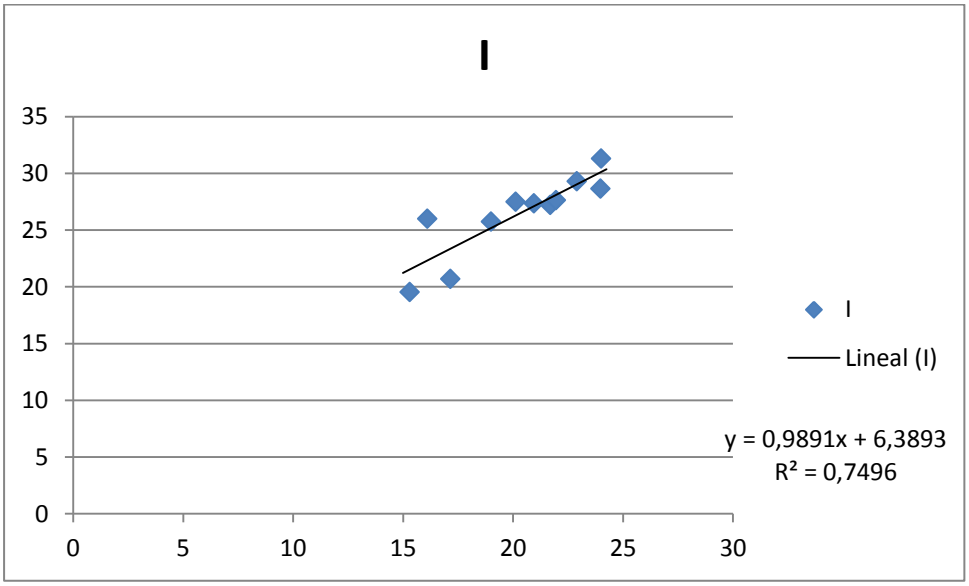

LWL
25
20
15
10
5
0
0
5
10
15
20
25
30
LWL
Lineal (LWL)
y = 0,8121x + 1,6276
R² = 0,9232

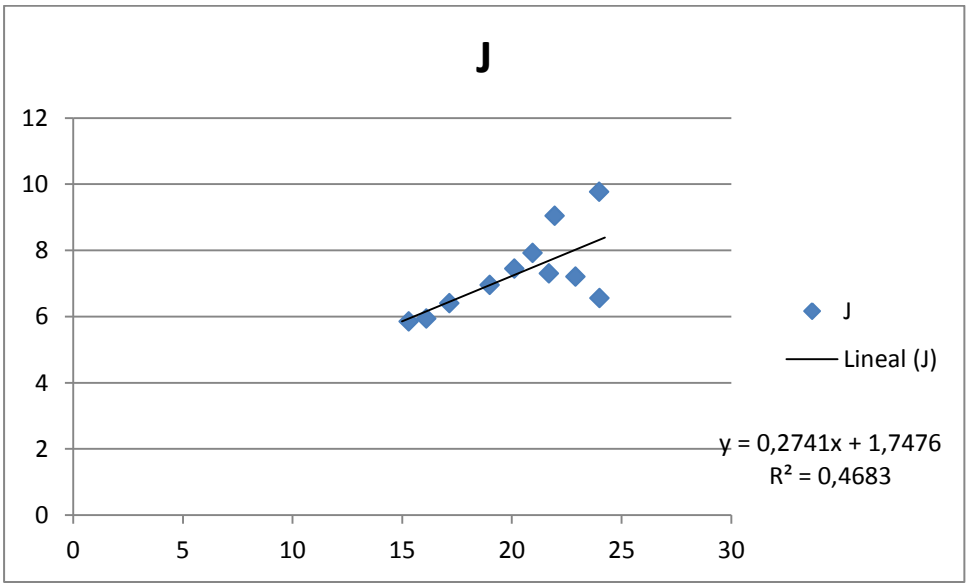

CALADO MÁXIMO (T) m
6
5
4
3
2
1
0
0
10
20
30
CALADO MÁXIMO (T) m
Lineal (CALADO MÁXIMO (T) m)
y = 0,1842x - 0,2474

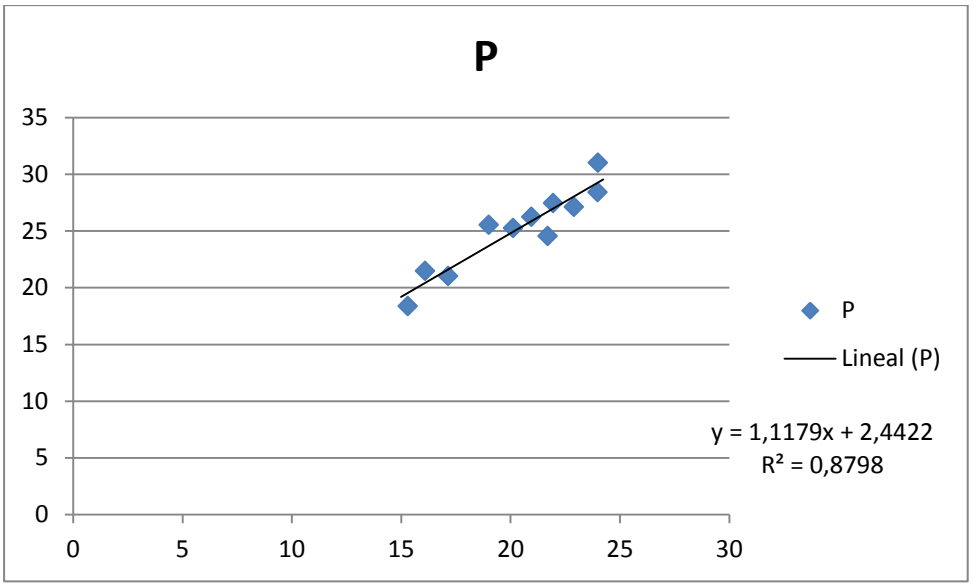

DESPLAZAMIENTO (Δ) Kg
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
0
10
20
30
DESPLAZAMIENTO (Δ) Kg
Lineal (DESPLAZAMIENTO (Δ) Kg)
y = 2243,1x - 17618
R² = 0,5915

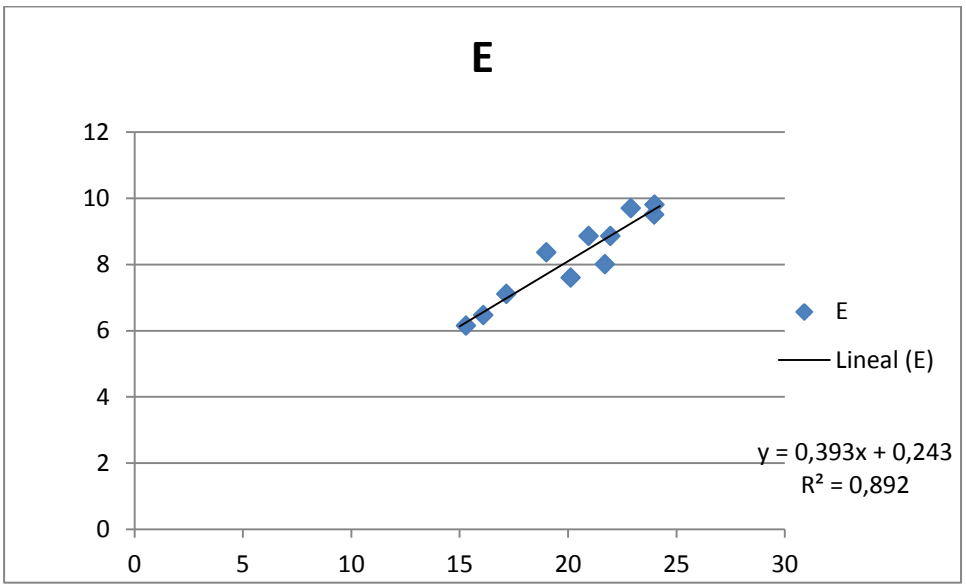

BALLAST Kg
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
0
10
20
30
BALLAST Kg
Lineal (BALLAST Kg)
y = 910,49x - 9597,5
R² = 0,7121

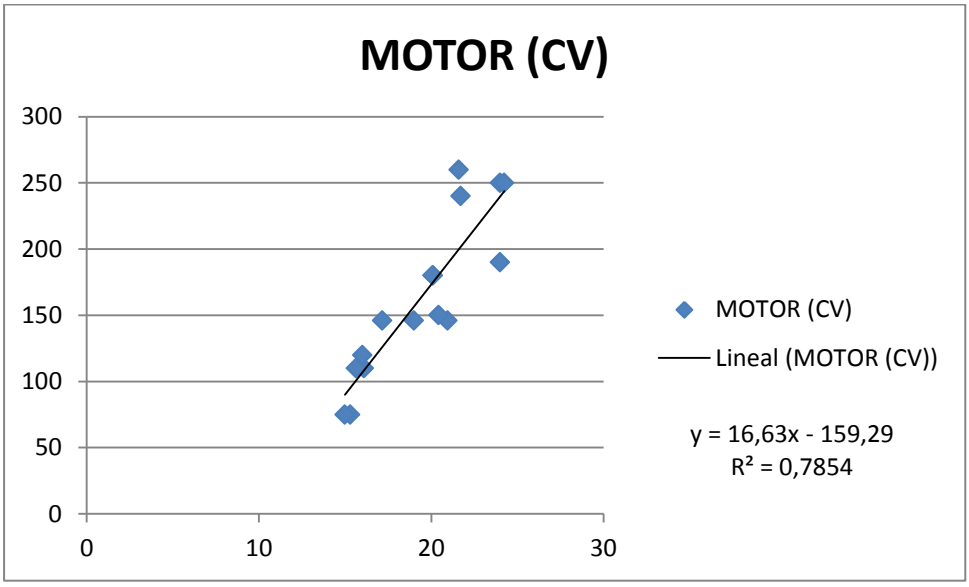

TOTAL SALE AREA m^2
400
350
300
250
200
150
100
50
0
0
10
20
30
TOTAL SALE AREA m^2
Lineal (TOTAL SALE AREA m^2)
y = 20,581x - 187,68
R² = 0,7841


I
35
30
25
20
15
10
5
0
0
5
10
15
20
25
30
I
Lineal (I)
y = 0,9891x + 6,3893
R² = 0,7496


J
12
10
8
6
4
2
0
0
5
10
15
20
25
30
J
Lineal (J)
y = 0,2741x + 1,7476
R² = 0,4683


P
35
30
25
20
15
10
5
0
0
5
10
15
20
25
30
P
Lineal (P)
y = 1,1179x + 2,4422
R² = 0,8798


E
12
10
8
6
4
2
0
0
5
10
15
20
25
30
E
Lineal (E)
y = 0,393x + 0,243
R² = 0,892



RESULTADO LAS REGRESIONES

L/L_{WL}=19,493m

L/B=5,81m

L/T=3,805m

L/∇ =31,730Kg

L/MOTOR=206,57CV

L/I=28,14m

L/J=7,77m

L/P=27,03m

L/E=8,88m

$L/SA=265m^2$

L/BALLAST=10433Kg

5.0- DISEÑO DE CARENA

Para diseñar una carena eficiente hay que tener en cuenta varias consideraciones. La estabilidad, volumen de acomodación, comportamiento en el mar y estética de la embarcación. Así como un buen rendimiento del casco para reducir la necesidad propulsiva y buena maniobrabilidad.

Hay que priorizar estos aspectos porque difícilmente se cumplirán todos plenamente.

Cabe destacar la importancia de los fenómenos físicos que afectan al casco de una embarcación, los más representativos los he dividido en diferentes apartados:

5.1 MECÁNICA DE FLUIDOS APLICADA AL BUQUE.

La carena de una embarcación se ve afectada por el flujo hidrodinámico alrededor de un casco. En su línea de flotación (DWL) se puede observar cuatro tipos de flujo distintos.

- Zona exterior, alejada del casco: flujo potencial.
- Zona de proa: flujo laminar.
- Zona intermedia del casco: flujo turbulento.
- Zona de popa: flujo turbulento desprendido.

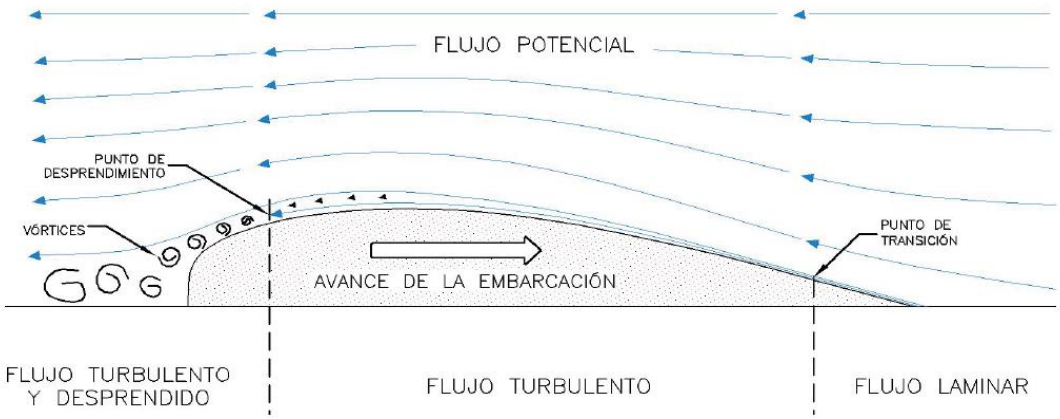


FIG Nº5.1: COMPORTAMIENTO DEL FLUJO HIDRODINÁMICO ALREDEDOR DE UN CASCO.
FUENTE: APUNTES J.G.Espinosa. (Mirar bibliografía.)

El flujo potencial no está afectado por el avance del barco, es el flujo inicial con que el casco se encontrará al ir avanzando.

El flujo laminar en la zona de proa se puede describir como una superposición de capas de fluido que se deslizan unas sobre otras. La capa más interna del fluido se pega al casco con lo que se mueve a la misma velocidad de avance del barco. En cambio la capa más externa tiene una velocidad cercana a la del flujo más exterior del medio (velocidad nula si el fluido del medio está en reposo o a la velocidad del medio inicial).

Este tipo de configuración del fluido distribuido en capas, se produce en la zona más cercana al casco denominada capa límite.

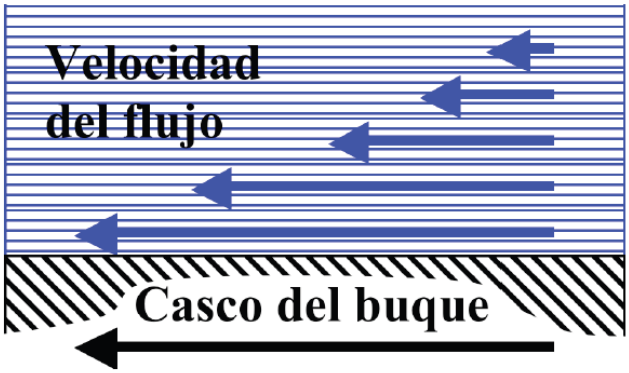


FIG Nº5.2: COMPORTAMIENTO DEL FLUJO LAMINAR ALREDEDOR DE UN CASCO.
FUENTE: APUNTES J.G.Espinosa. (Mirar bibliografía.)

La extensión en la dirección de la eslora del casco de la capa límite, depende del número de Reynolds (Rn).

$$Rn = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu}$$

Siendo, ρ la densidad del fluido, μ la viscosidad, V la velocidad de avance del móvil y L su eslora.

La longitud de la zona laminar también depende del ángulo de entrada en la proa, así como de la curvatura del casco, (la curvatura y la rugosidad excesivas generan un flujo turbulento). Normalmente en aplicación naval típica esta zona laminar es de más o menos el 10% del total de la eslora mojada de la embarcación,(empezando por proa). A medida que nos alejamos de este punto de transición empieza el flujo turbulento.

El flujo turbulento cuando aparece después del punto de transición, se genera vórtices en el fluido que implica una pérdida energética, las turbulencias generadas implica un aumento de la resistencia por fricción.

Las turbulencias crecen a medida que progresan por la eslora del casco de proa a popa. Cuando la turbulencia ha crecido lo suficiente ésta se

desprende generando un aspecto caótico dando a lugar a la estela típica que una embarcación deja atrás al avanzar.

El desprendimiento del flujo representa una mayor contribución a la resistencia de presión por fricción en el área del casco afectada. El flujo caótico induce una pérdida de eficacia severa en el rendimiento de apéndices.

En definitiva la aparición de turbulencias y su separación depende principalmente del valor del número de Reynolds, también es importante la curvatura de las líneas de agua de popa y el ángulo que forman estas líneas con el plano de crujía.

Se puede deducir entonces que es muy importante la forma del casco en la zona de popa, para obtener un desprendimiento del flujo que minimice la resistencia de presión por fricción y reduciendo por tanto, la resistencia al avance del velero.

5.2 DESCOMPOSICIÓN RESISTENCIA AL AVANCE.

Otro factor importante al diseñar una carena es la descomposición de la resistencia al avance. La más importante de estas componentes de la resistencia al avance de una embarcación es la resistencia viscosa. Ésta se descompone en dos, *la resistencia por fricción* y la *resistencia de presión por fricción*[5].

La resistencia por fricción aplicación de la teoría de la capa límite, línea de fricción ITTC57 placa plana, el coeficiente adimensional de fricción C_F. y Definición del coeficiente de fricción.

$$C_F = \frac{0.075}{\left(\log_{10}(Rn) - 2\right)^2} \quad C_F = \frac{R_F}{1/2\,\rho S V^2}$$

De donde Rn es el número de Reynolds, R_F es la resistencia por fricción, ρ densidad del medio, V velocidad del barco, S superficie.

La resistencia de presión por fricción aplicación de la distribución de presión a lo largo de una línea de corriente sobre el casco de la embarcación. Debida a un desequilibrio en las fuerzas de presión sobre el casco producida por fenómenos viscosos.

$$C_V = (1+k)C_F = (1+k)\frac{0.075}{(\log_{10}(Rn)-2)^2}$$ *(Hughes) k factor de forma,*

Un diseño adecuado de las líneas de agua del casco puede reducir sustancialmente la segunda componente antes mencionada, que depende de dos factores: formas del casco y número de Reynolds.

Se recomienda minimizar la resistencia de presión por fricción en limitar las curvaturas de las líneas de agua el casco, así como el ángulo de entrada del agua en la línea de flotación.

Existe una tabla con recomendaciones de coeficientes relacionadas con el Nº de Froude.

Fn	R_V/R_T	Acciones
0.19	70%	Mantener C_P en un valor mínimo (reduce R_V)
		Reducir superficie mojada –formas en V- (reduce R_V)
		Formas finas en popa (reduce R_V)
0.23	60%	Mantener C_P en un valor mínimo (reduce R_V)
		Formas finas en popa (reduce R_V)
0.25	60%	Mantener C_P en un valor mínimo (reduce R_V)
		Formas finas en popa (reduce R_V)
0.29-0.31	50%	Mantener C_P en un valor mínimo (reduce R_V)
		Disponer una popa con el espejo en ligera inmersión, llevando hacia popa el LCB (reduce R_W)
		Aumentar ligeramente C_P sobre todo en popa (reduce R_W)
0.33-0.36	40%	Disponer una popa con el espejo con inmersión significativa, llevando hacia popa el LCB (reduce R_W)
		Aumentar C_P sobre todo en popa (reduce R_W)
0.50	30-35%	Disponer una popa con el espejo con inmersión significativa, llevando hacia popa el LCB (reduce R_W)
		Aumentar C_P sobre todo en popa (reduce R_W)
		Fondo plano en la zona de popa para facilitar el planeo (reduce R_W)
		Reducir relación $L/\Delta^{1/3}$ (reduce R_W)
> 0.50	> 35%	Reducir superficie mojada –formas en V y spray rails- (reduce R_V)
		Disponer flaps, steps o interceptores para reducir el trimado dinámico (reduce R_V)
		Disponer una popa con el espejo con gran inmersión (reduce R_W)

TABLA Nº1: RECOMENDACIONES GENERALES PARA REDUCIR LA RESISTENCIA AL AVANCE RELACIONANDO EL Nº DE FROUDE Y LOS

COEFICIENTES PRINCIPALES.
FUENTE: APUNTES J.G.Espinosa. (Mirar bibliografía.)

5.3 LA RESISTENCIA POR FORMACIÓN DE OLAS.

A bajas velocidades las olas generadas por el buque son de pequeña amplitud, lo que implica que casi toda la resistencia generada sea de carácter viscoso. Al aumentar la velocidad de la embarcación el patrón de olas cambia su altura y longitud de onda varia.

Durante este proceso se generan trenes de ola de interferencia positiva se suman sus crestas, interferencia negativa se cancelan entre ellas. Teniendo en cuenta que la energía transportada por una ola depende del cuadrado de su amplitud, el efecto de interferencia provoca oscilaciones en la componente de resistencia por formación de olas.

Según Wigley en 1.931 determinó mediante ensayos cinco sistemas de olas.

- Un sistema simétrico de olas a lo largo del buque y que viaja con él. Por su simetría, este sistema no absorbe energía.
- El sistema de olas de proa que comienza en la proa con una cresta.
- El sistema de olas de proa que comienza con una depresión.
- El sistema de olas del hombro de popa que comienza con una depresión.
- El sistema de olas de popa que comienza con una cresta.

La longitud de onda de las olas generadas por el velero, depende del número de Froude Fn, que se define en función de la velocidad del barco V, su eslora L y la aceleración de la gravedad g, por:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g \times L}}$$

La longitud de onda λ de las olas transversales generadas por el barco a partir de la fórmula:

$$\lambda = 2\pi Fn^2 L$$

Donde aparece el número de Froude Fn y la eslora de la embarcación.

Al aumentar la velocidad el buque, la longitud de onda de los sistemas de olas no simétricos aumenta. Para un número de Froude alrededor de 0,4 la longitud de las olas generadas por el barco es aproximadamente igual a su eslora. Esto provoca que la ola generada en proa y la de popa se sumen al coincidir sus crestas.

Para valores de Froude cercanos a 0,34 la longitud de ola es aproximadamente de 2/3 de la eslora, lo que hace que la cresta de una coincida con el valle de la otra y se resten entre ellas anulándose.

Para valores de Froude mayores de 0,4 el valle de la ola generada en proa, coincide en la popa, se induce un aumento del trimado dinámico del buque, por la depresión que se produce.

Por todo ello buscaremos que las olas se atenúen entre ellas, reduciendo así la resistencia por generación de olas.

Para reducir la resistencia por olas se puede afinar la forma de la proa que retrasa la aparición de la ola de proa. La popa de espejo provoca un efecto similar en la ola de popa, a la vez que disminuye el Fn efectivo, al aumentar virtualmente la eslora.

Existen otras componentes de la resistencia, que afectan a veleros:

- La resistencia inducida por la deriva del barco, que se debe al cambio de ángulo de incidencia aparente de los apéndices de un velero en la situación real de navegación con deriva. Cuando la deriva se incrementa pueden aparecer fenómenos de separación importantes en los apéndices, que incrementan la resistencia de manera significativa.

- La resistencia generada por la escora del barco, que se debe al cambio de forma aparente del velero en la situación real de navegación, que incrementa los valores de la resistencia viscosa y por formación de olas.

- La resistencia debida al viento, cuya naturaleza es similar a la resistencia viscosa de la carena.

- La resistencia añadida por el estado de la mar, debido a que el resto de componentes de la resistencia se calculan para un mar en calma (aguas tranquilas).En general esta resistencia suele considerarse como un porcentaje definido de la resistencia en aguas tranquilas.

- La resistencia por ruptura de olas generadas en la proa.

- La resistencia debida a la rugosidad del casco, que aumenta el efecto de fricción entre casco y agua.

- La resistencia de los apéndices, que es eminentemente de origen viscoso.

5.4 ANÁLISIS DE LAS ZONAS DE PROA.

Tres conceptos principales para trazar las formas de un barco. (En veleros los trazados de hombros aplicables a buques no se usan).

1: Semiángulo de entrada en la línea de flotación del barco. Un ángulo excesivo provoca un aumento de resistencia. También hay recomendaciones para este Semiángulo de entrada en función del coeficiente prismático. Para un C_P=0,55 se recomiendan valores cercanos a 8º, para C_P=0,70 entre 10º y 14º, para C_P=0,8 valores de unos 33º.

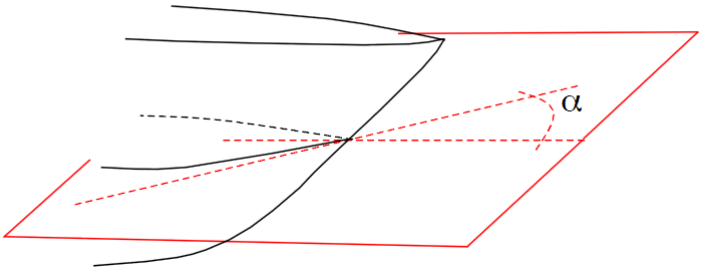


FIG Nº5: SEMIÁNGULO DE ENTRADA EN LINEA DE FLOTACIÓN. FUENTE: APUNTES J.G.Espinosa. (Mirar bibliografía.)

2: Abanico y lanzamiento. Se han de disponer de forma que disminuya el cabeceo y el embarque de agua. Se recomienda que la roda forme, en su intersección con el plano de la flotación un ángulo entre 15 y 30º permitiendo de esta manera conseguir un ángulo de entrada del agua constante para una mayor zona de calados. El abanico en las formas de proa permite amortiguar el cabeceo del buque, debido a la fuerza hidrostática adicional generada por la inmersión de un mayor volumen en este movimiento.

Por otra parte, un abanico excesivo puede provocar que las olas creen grandes momentos torsores en esta zona del buque, a la vez que incrementar la resistencia al avance por olas rompientes.

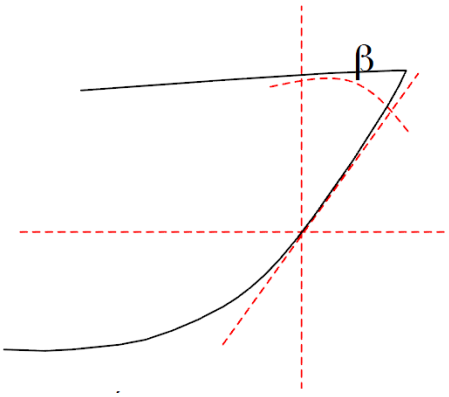


FIG Nº6: ÁNGULO DE LA RODA EN SU INTERSECCIÓN CON EL PLANO DE FLOTACIÓN.
FUENTE: APUNTES J.G.Espinosa. (Mirar bibliografía.)

5.5 COEFICIENTES PRINCIPALES Y FORMAS DE CARENA PARA VELEROS.

El coeficiente de forma del buque que más influye en la resistencia viscosa es el coeficiente prismático C_p. A medida que C_P aumenta, más llenas son las formas del casco, las de popa en particular. El aumento de la curvatura de las líneas de agua del casco, influye en el aumento de la resistencia de presión por fricción. Resistencia viscosa[6] se descompone con un coeficiente adimensional C_V[6] de una placa plana.

Si aumenta C_P, el coeficiente de bloque C_B también lo que hace que aumente la resistencia al avance. Al fijar los valores de C_P y C_B ya obtenemos una velocidad máxima de la embarcación.

La posición del centro de carena LCB también influye en la resistencia al avance. Unas formas llenas en popa incrementan la resistencia de presión por fricción, pero la resistencia por formación de olas puede reducirse

debido al fenómeno de separación de ola provoca que, la eslora efectiva del casco sea mayor.

Cabe destacar que la resistencia por formación de olas es la componente más importante para valores de Froude entre $0,35<Fn<0,45$ aproximadamente un casco con formas llenas en popa será más eficaz.

Mientras que formas más afinadas serán mejores para valores de Froude menores.

Para un valor de Froude de $Fn>0,45$ sería una zona de semiplaneo, las formas deberían tener un fondo plano en popa. Poco adecuadas para navegar a bajas velocidades.

Respecto a las formas transversales (forma de cuadernas) estas influyen en la resistencia por fricción, ya que determinan la superficie mojada del casco. Cuanto más nos acercamos a la forma semicircular menor superficie mojada. Remarcar el hecho que estas formas pueden originar un movimiento de balanceo excesivo, en cambio las formas en V marcadas pueden provocar problemas de gobierno.

Las formas de proa, unas líneas finas pueden retrasar la ola de proa y por tanto reducir la velocidad del velero. En cambio unas formas muy llenas aumentan el cabeceo. Se amortiguan estos efectos aumentando el volumen de proa en dirección vertical.

5.6 TRANSFORMACIÓN PARAMÉTRICA DE LA CARENA.

En la práctica hemos visto hasta ahora que, variando los valores de los coeficientes C_P y C_B, podemos variar las formas del casco para aumentar su rendimiento. Esto se consigue con la herramienta de *Parametric Transformation* del programa Maxsurf. Se obtiene un casco con buen rendimiento cuando la curva de áreas obtenida sea suave.

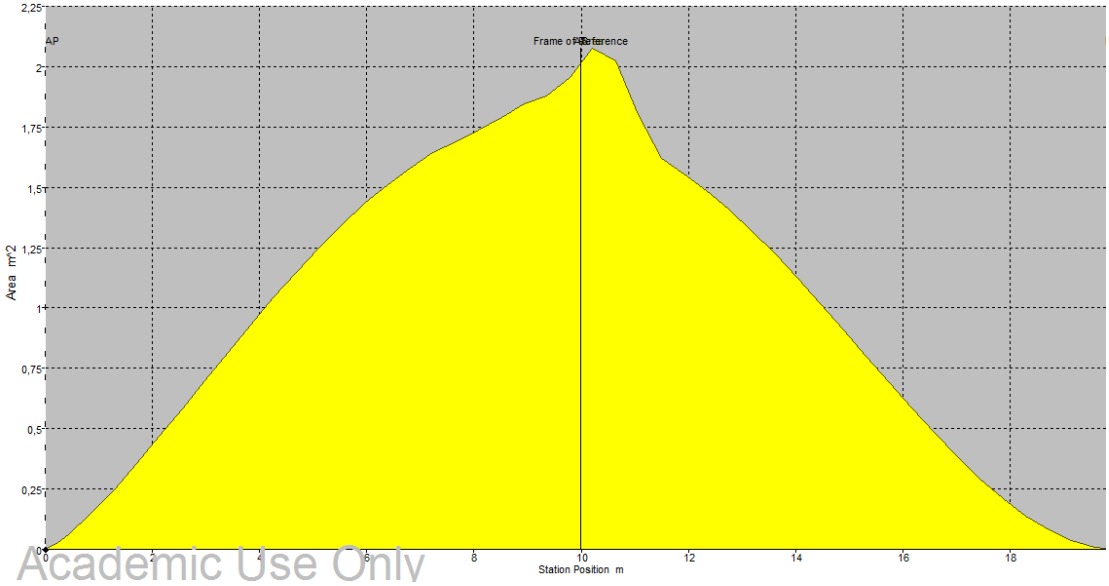


FIG:7 CURVA DE ÁREAS INICIAL.

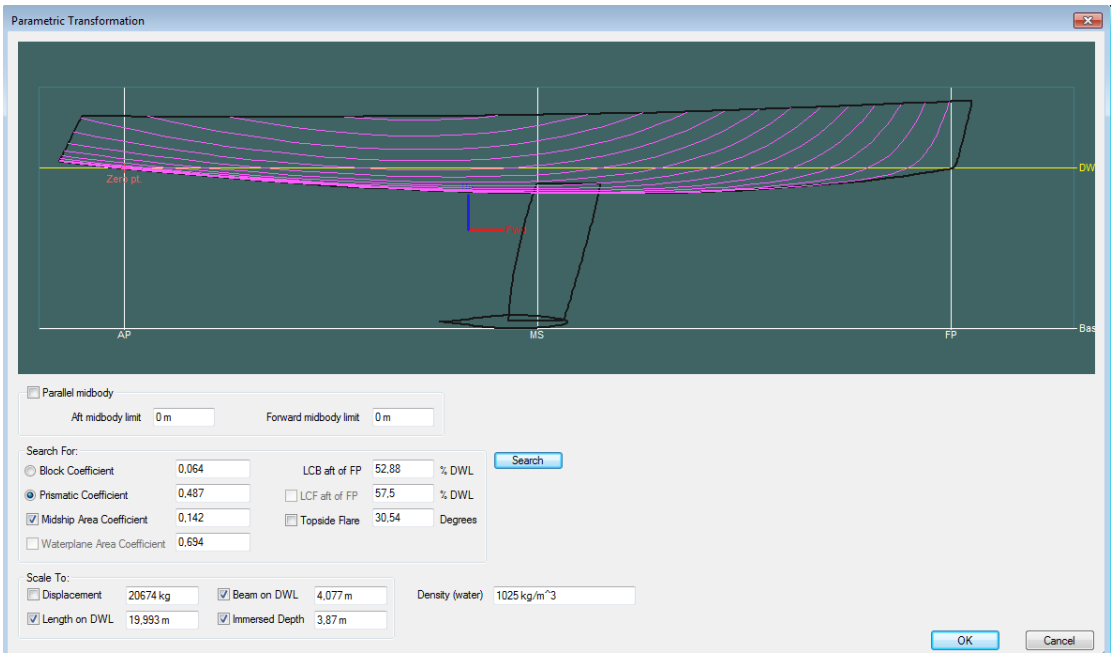


FIG:8 PARÁMETROS INICIALES.

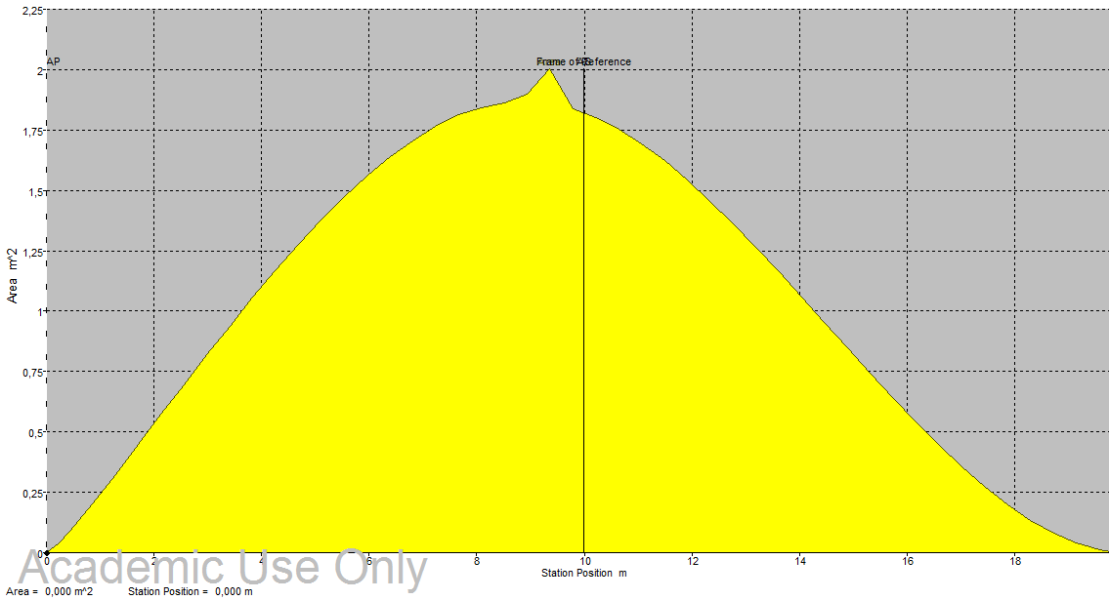


FIG:9 CURVA DE ÁREAS PRIMERA PARAMETRIZACIÓN CON APENDICES.

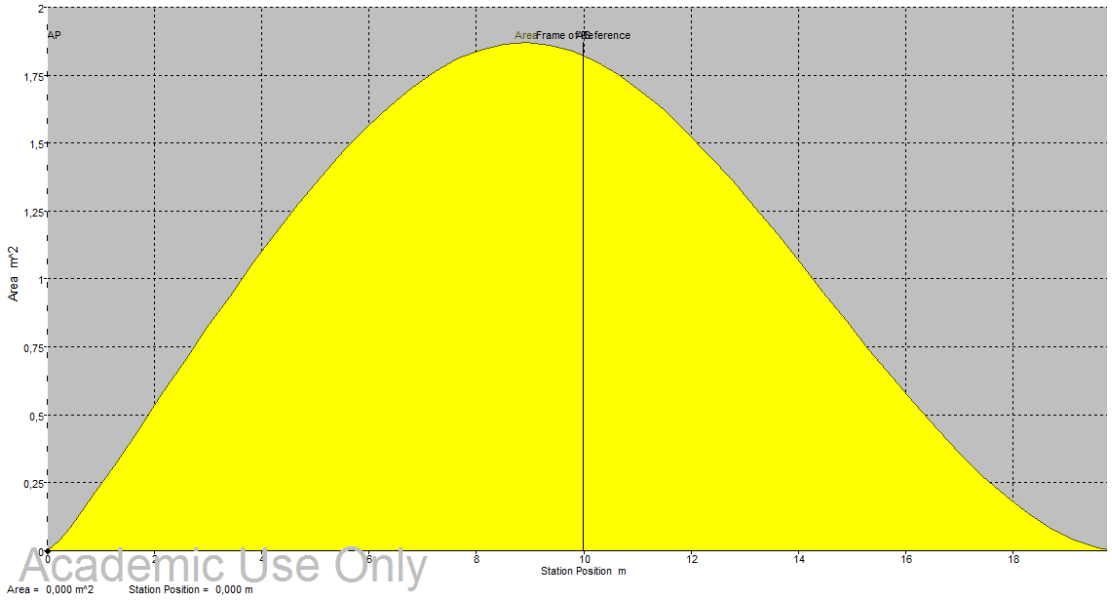


FIG Nº10: CURVA DE ÁREAS PRIMERA PARAMETRIZACIÓN OBTENIDA SIN APÉNCICES

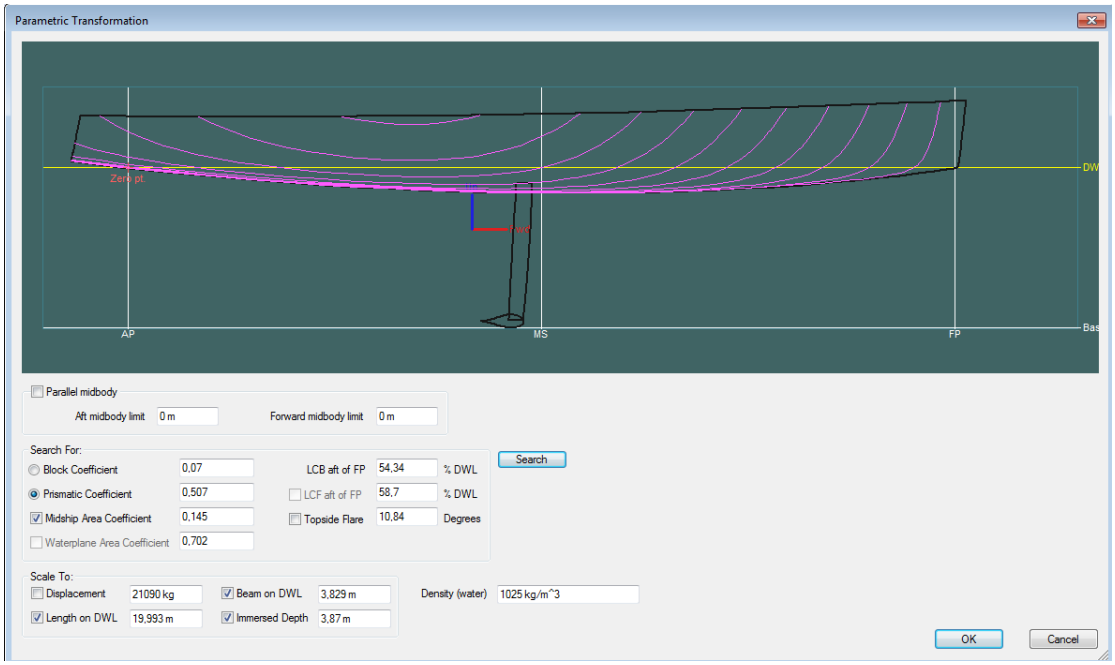


FIG Nº11: PARÁMETROS PRIMERA PARAMETRIZACIÓN.

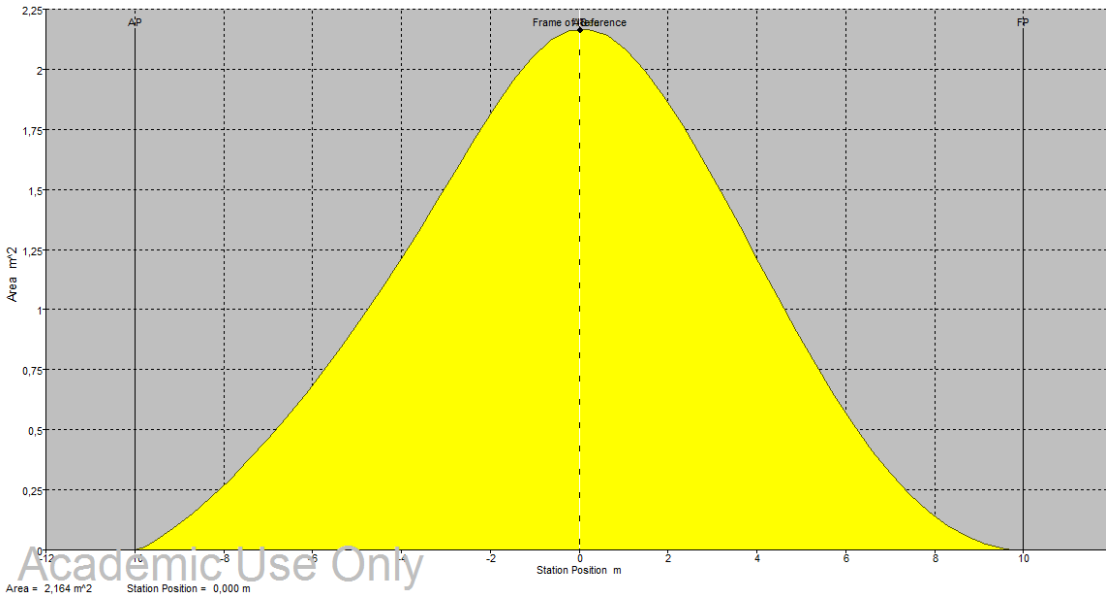


FIG Nº12: CURVA DE ÁREAS SEGUNDA PARAMETRIZACIÓN SIN APÉNDICES.

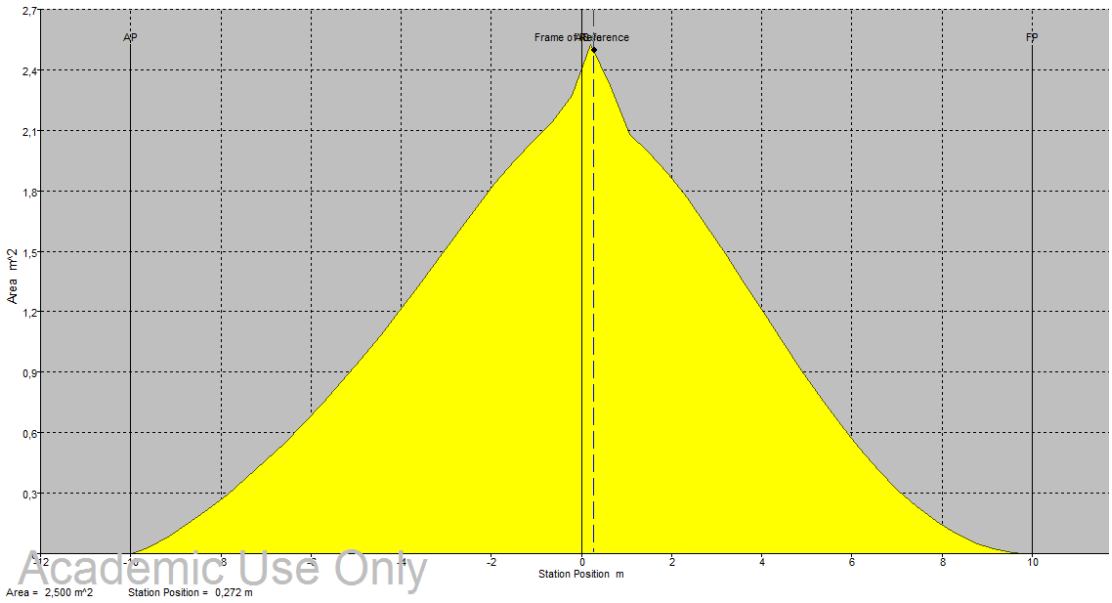


FIG Nº13: CURVA DE ÁREAS SEGUNDA PARAMETRIZACIÓN CON APÉNDICES.

RESULTADOS DESPUÉS DE PARAMETRIZAR LA CARENA.

RESULTADOS TRANSFORMACIONES PARAMÉTRICAS	INICIAL	1ª	2ª
CB	0,064	0,07	0,054
CP	0,487	0,507	0,412
LCB % (FP)	52,88	54,34	49,154
▼	20674	21090	20575
LWL (m)	19,993	19,993	19,993
BWL (m)	4,077	3,829	4,2
T (m)	3,87	3,87	4,465

5.7 CÁLCULO RESISTENCIA AL AVANCE CON SERIES DELFT.

En los años 70 en la Deltf [7] University of Technology en Holanda hicieron ensayos en un canal con varios modelos a escala de veleros. Se basan en la variación sistemática de 5 parámetros del casco:

Lwl/Bwl , Bwl/T, C_p, LCB y Lwl/ $\nabla^{1/3}$.

Estos 5 parámetros y Fn permiten estimar la variación de resistencia residual del casco.

Característica	Mínimo	Máximo
Lwl/Bwl	2.76	5.00
Bwl/Tc	2.46	19.32
Lwl/Dc^1/3	4.34	8.50
LCB	0.0	-6.0
Cp	0.52	0.60
Fn	0.00	0.75

TABLA Nº2: LÍMITES DE APLICACIÓN SERIES DELFT
FUENTE: APUNTES J.G.Espinosa. (Mirar bibliografía.)

7: Hoja de cálculo de las Series Deltf (Facilitadas por J. Garcia Espinosa en el curso DTY-2014).

5.8 COMPARATIVA DE RESULTADOS Y CONCLUSIÓN.

Fn	Rtotal	Ptotal	Fn	Rtotal	Ptotal
0,10	152,5	213,6	0,10	127,5	178,6
0,15	404,7	850,2	0,15	421,9	886,4
0,20	804,4	2253,0	0,20	861,1	2412,0
0,25	1371,0	4800,1	0,25	1494,6	5232,9
0,30	2013,4	8459,2	0,30	2256,6	9481,0
0,35	3248,2	15921,6	0,35	3630,9	17797,4
0,40	6528,0	36568,9	0,40	7379,9	41341,3
0,45	10520,1	66298,6	0,45	11883,1	74888,9
0,50	13637,0	95491,0	0,50	15660,9	109663,0
0,55	15187,8	116985,3	0,55	18769,2	144571,0
0,60	16032,2	134715,9	0,60	19304,2	162209,2

Fn	Rtotal	Ptotal
0,10	129,4	181,2
0,15	264,7	556,1
0,20	677,2	1896,9
0,25	1213,8	4249,9
0,30	1348,9	5667,1
0,35	2894,8	14189,2
0,40	7197,7	40320,9
0,45	11673,4	73567,0
0,50	16888,9	118261,9
0,55	17747,2	136699,3
0,60	17031,9	143115,6

Superior izquierda resultados sin parametrizar.
Superior derecha resultados con casco parametrizado.
Inferior resultados de parametrización con formas más afinadas.

Los resultados obtenidos con la Serie Deltf no son los que yo esperaba. Ya que creía que al mejorar la curva de áreas parametrizando la carena original con Maxsurf (aumentando C_P y C_B y consiguiendo una curva de área más suave), daría unos resultados más significativos.

Los resultados arrojan una mejoría del rendimiento de la carena debido a la reducción de la resistencia total entre los rangos de $0,10<Fn<0,25$, con lo que la mejoría es sustanciosa y en este rango si vale la pena tener en cuenta la parametrización del casco. En cambio para valores mayores de Froude la resistencia total aumenta sustancialmente y perjudica al rendimiento del casco seriamente.

En la segunda parametrización buscando formas más afinadas y por tanto reduciendo C_p se obtiene un mejor rendimiento de carena entre los valores de 0,15<Fn<0,35 reduciendo la resistencia total al avance de forma significativa.

Teniendo en cuenta que la velocidad de diseño de este proyecto es de entre 9 y 10 nudos tenemos un Froude de entre 0,33 y 0,36 respectivamente, queda claro que la primera parametrización realizada no es efectiva y por tanto dicha parametrización no se tendrá en cuenta en el proyecto.

La segunda parametrización es más favorable para el Froude de proyecto que tenía planteado inicialmente. También es más favorable en el rango de Froude entre 0,10<Fn<0,35. Aunque las formas de casco derivadas son un tanto extrañas. Este casco es el más eficiente que he podido conseguir y será el casco elegido para el proyecto.

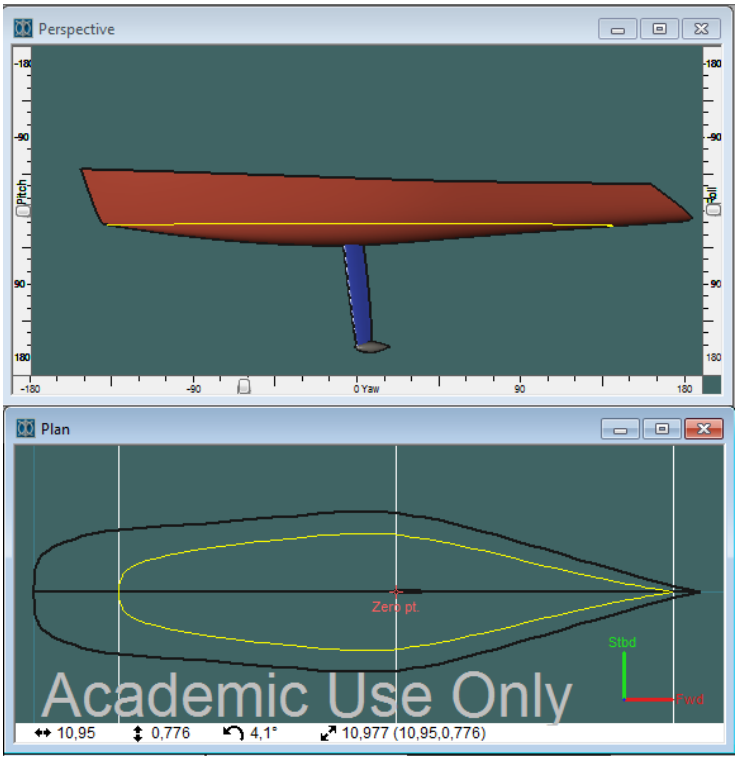


FIG Nº14: CASCO DERIVADO SEGUNDA PARAMETRIZACIÓN.

6.0- MODELADO DEL VELERO EN 3D CON CATIA V5

He decidido usar CATIA V5 porqué es el software más potente y el más usado en la industria tanto aeronáutica como la del automóvil. A diferencia de otros como Rhino y Autocad , Catia V5 es un programa paramétrico. Que permite trabajar tanto con cuerpos sólidos, superficies, volúmenes.

Lo más importante de este programa es que agrupa multitud de aplicaciones, que permite que con una sola interfaz, se puedan controlar todas las fases de diseño de un producto, diseño, validación, cálculo (con elementos finitos) y fabricación. Por todo ello he decidido usarlo.

Después de parametrizar el casco con Maxsurf, tal como he explicado antes. He exportado el casco a Catia, para generar las superficies necesarias para obtener el casco en 3D.

Para luego dibujar las cuadernas y el resto de refuerzos según el escantillonado que he calculado y se muestra más adelante. Luego he dibujado los volúmenes de sala de máquinas y los volúmenes de acomodación. Dibujando las paredes y toda la distribución interior incluyendo las escaleras de transición al exterior. A continuación he dibujado la cubierta principal apoyada en los refuerzos así como, la superficie de la bañera todo ello, con el espesor de escantillonado calculado.

Finalmente he dibujado las escaleras de transición entre bañera y cubierta principal. Así como algún detalle para hacer más realista la zona de la bañera incluyendo los sofás exteriores y las timoneras con sus respectivas consolas.

Al dibujar todo el conjunto en Catia en 3D permite hacerse una idea real de cómo sería el velero y también la posibilidad de construirlo realmente, ya que todo es a tamaño real.

Los planos constructivos se entregan en los anexos en PDF y en A3.

6.1 IMÁGENES DEL PROCESO DE DIBUJADO PASO A PASO

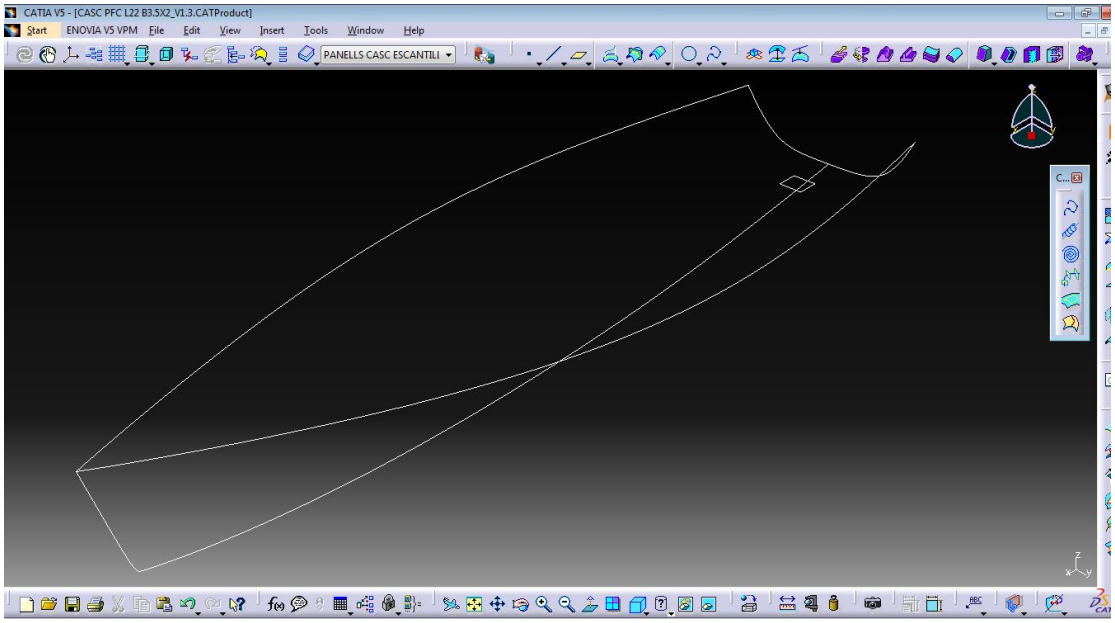


FIG Nº6.1: TRASPASO DE MAXURF A CATIA EN .IGES DEL WIREFRAME DEL CASCO.

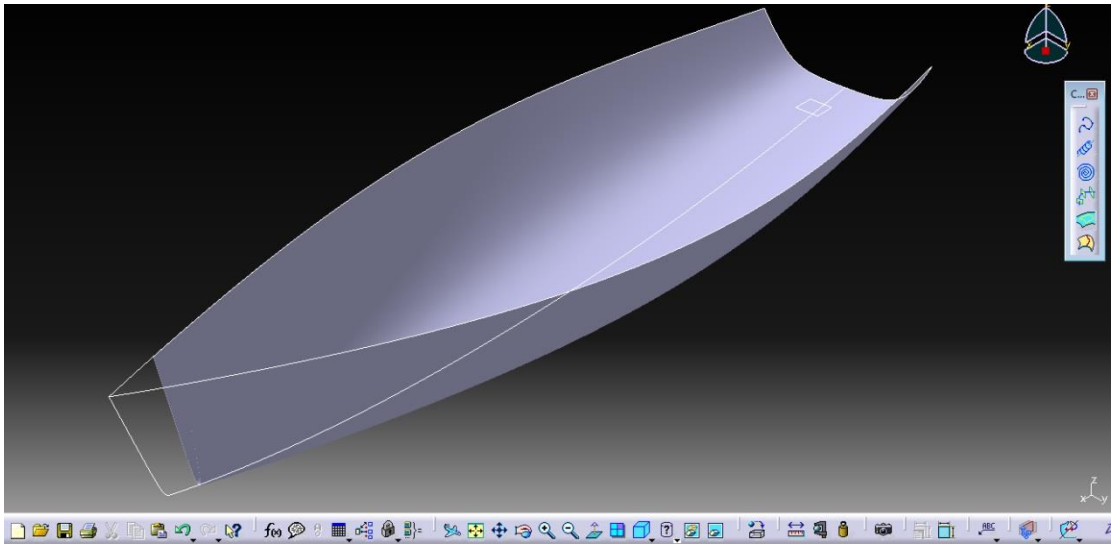


FIG. Nº 6.2: GENERAR LA SUPERFICIE DEL CASCO SIN PROA (VISTA ISOMÉTRICA).

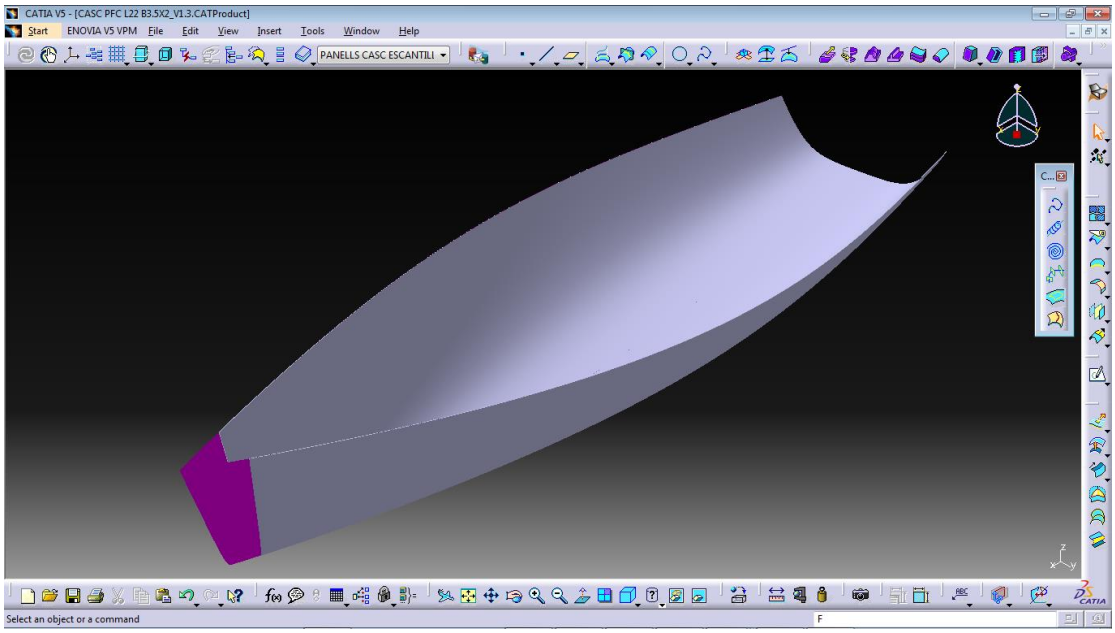


FIG. Nº6.3: GENERAR LA SUPERFICIE DE PROA E INTEGRAR AL RESTO DEL CASCO.

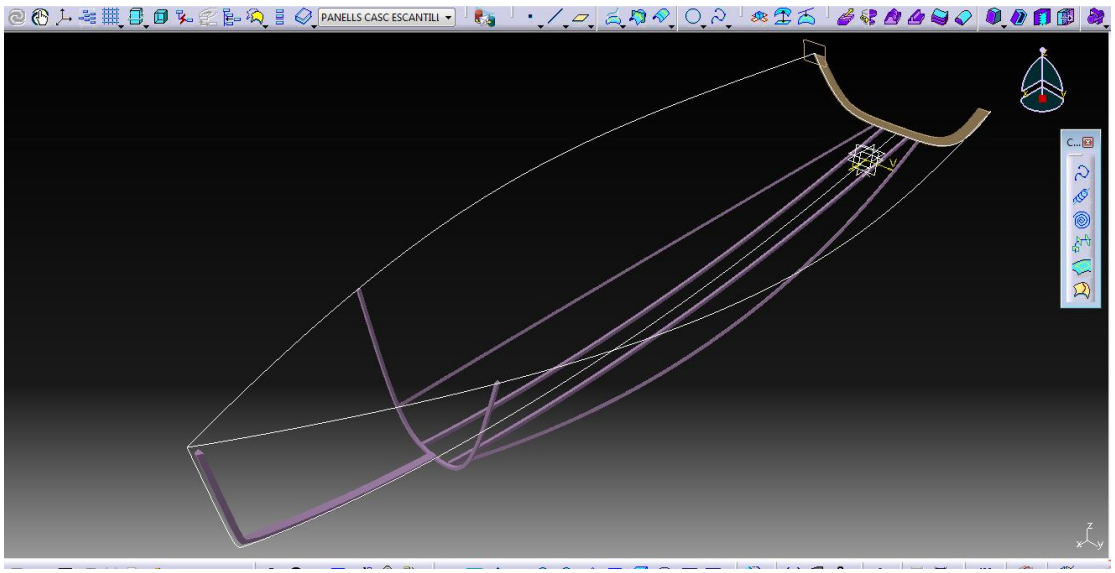


FIG Nº6.4: GENERAR ESTRUCTURA LONGITUDINAL DE FONDO. (CASCO ESCONDIDO PARA VISUALIZAR MEJOR LA ESTRUCTURA).

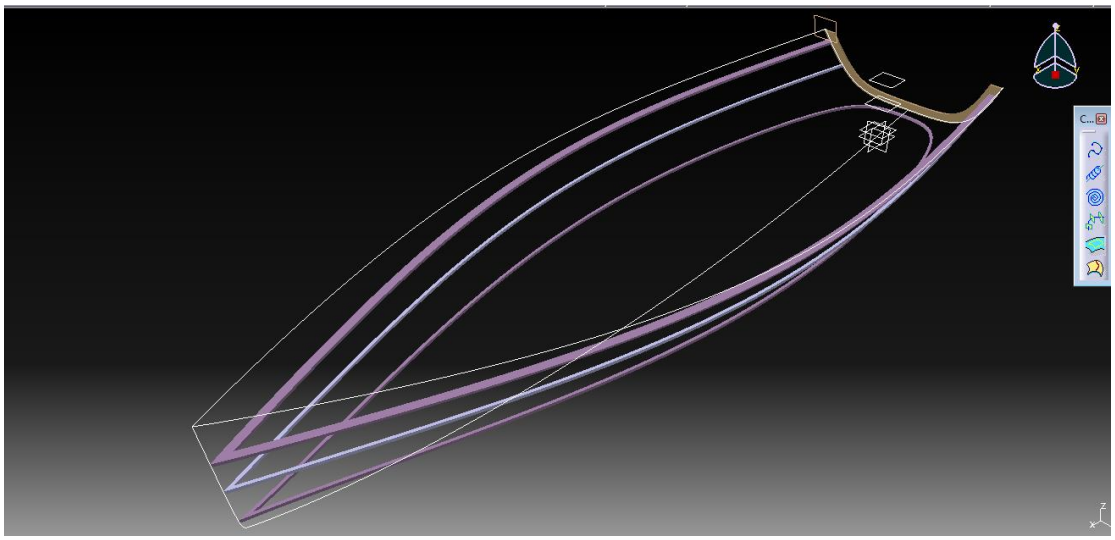


FIG.Nº6.5: GENERAR REFUERZOS LATERALES POR ENCIMA DE DWL.

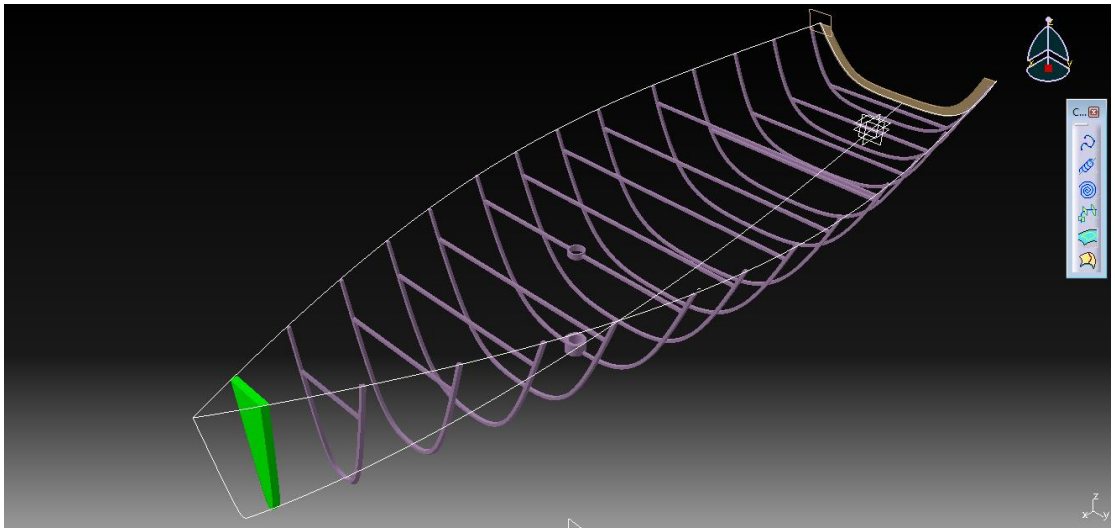


FIG.Nº6.6: GENERAR ESTRUCTURA TRANSVERSAL CUADERNAS.

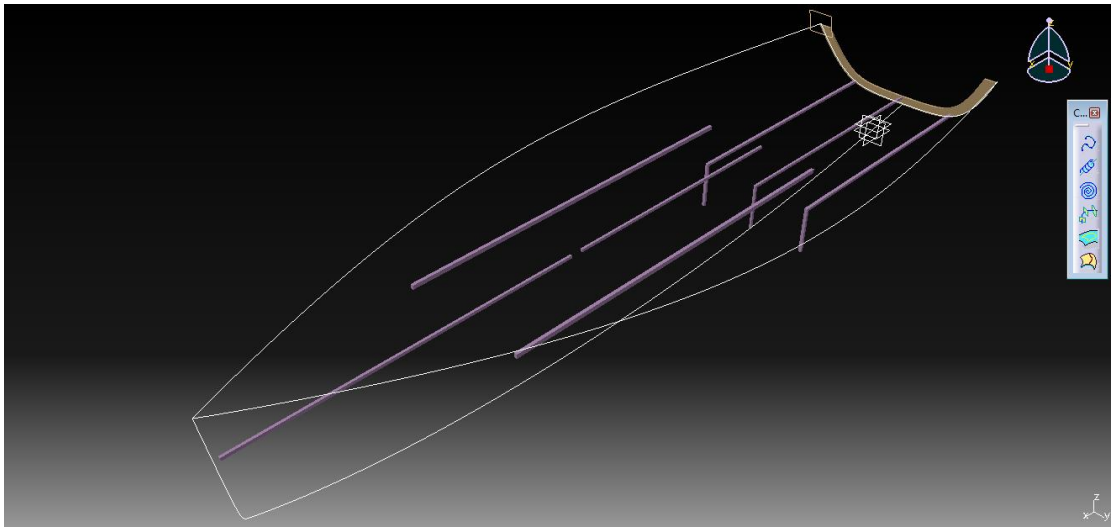


FIG.Nº6.7: GENERAR ESTRUCTURA LONGITUDINAL PARA REDUCIR TAMAÑO DE PANELES DE CUBIERTA Y BAÑERA.

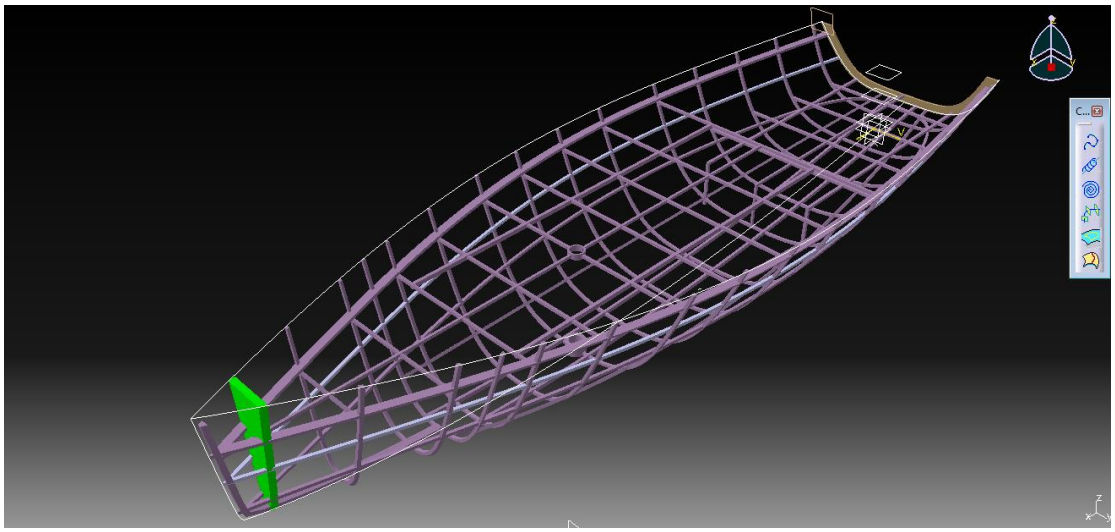


FIG.Nº6.8: VISTA ESTRUCTURA GENERAL EN ISOMÉTRICA.

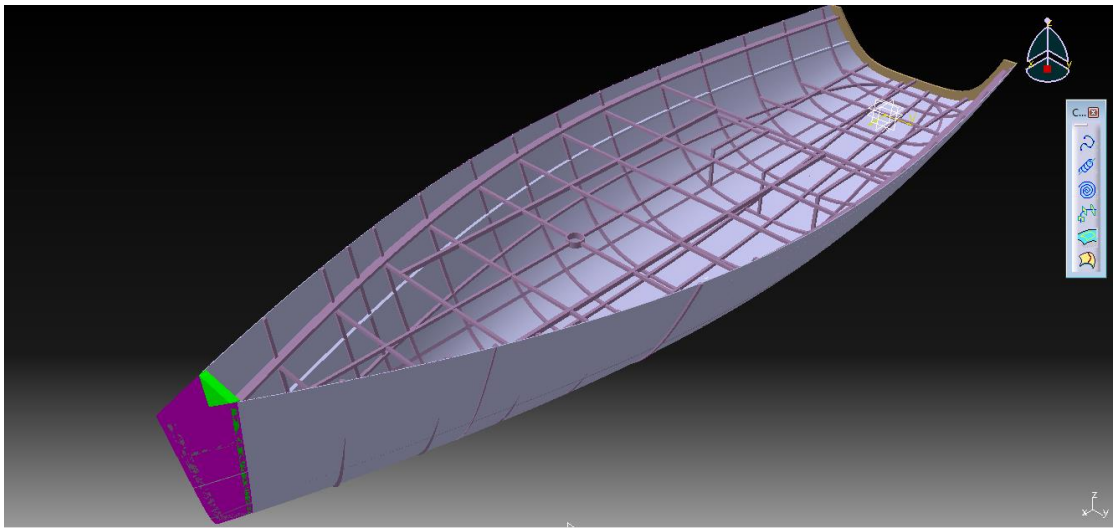


FIG. Nº6.9: CASCO Y ESTRUCTURA INTEGRADOS.

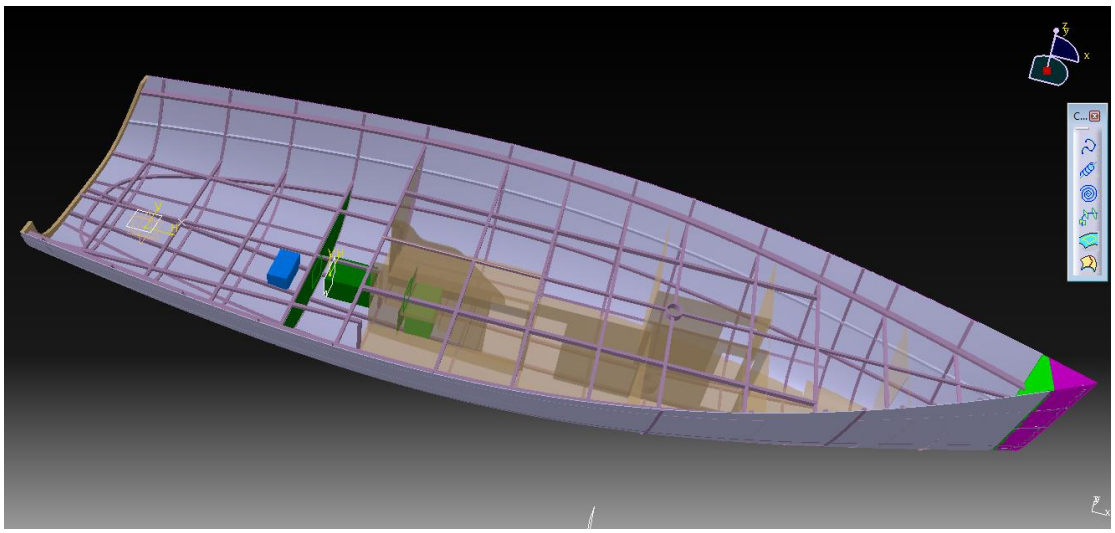


FIG. Nº6.10: SALA DE MÁQUINAS INTEGRADA CON DISTRIBUCIÓN INTERIOR. VOLUMEN AZUL PLANTA DESALINIZADORA, VERDE OSCURO VOLUMEN MOTOR PRINCIPAL Y VERDE CLARO VOLUMEN GENERADOR.

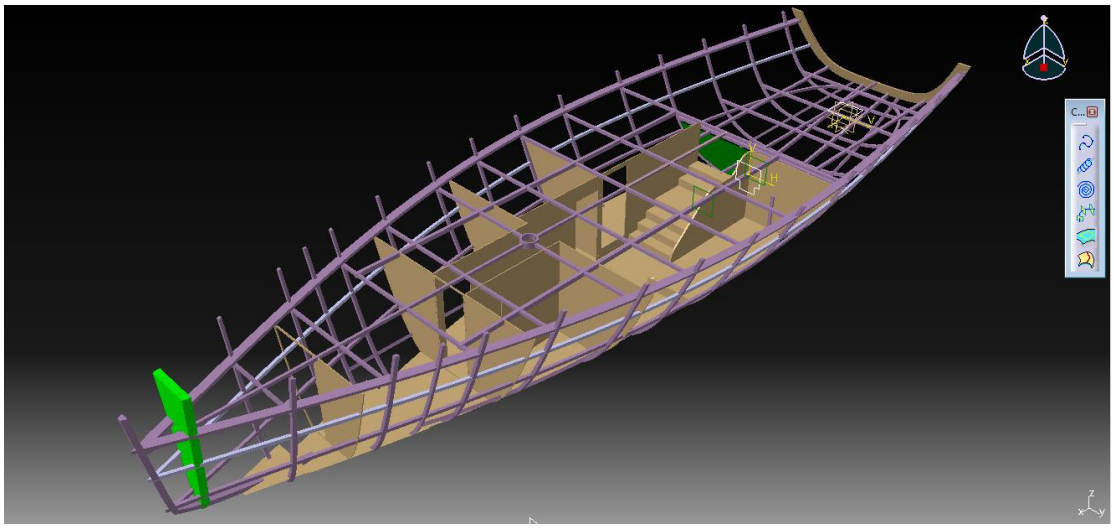


FIG.Nº6.11: VOLÚMENES DE ACOMODACIÓN INTEGRADOS.

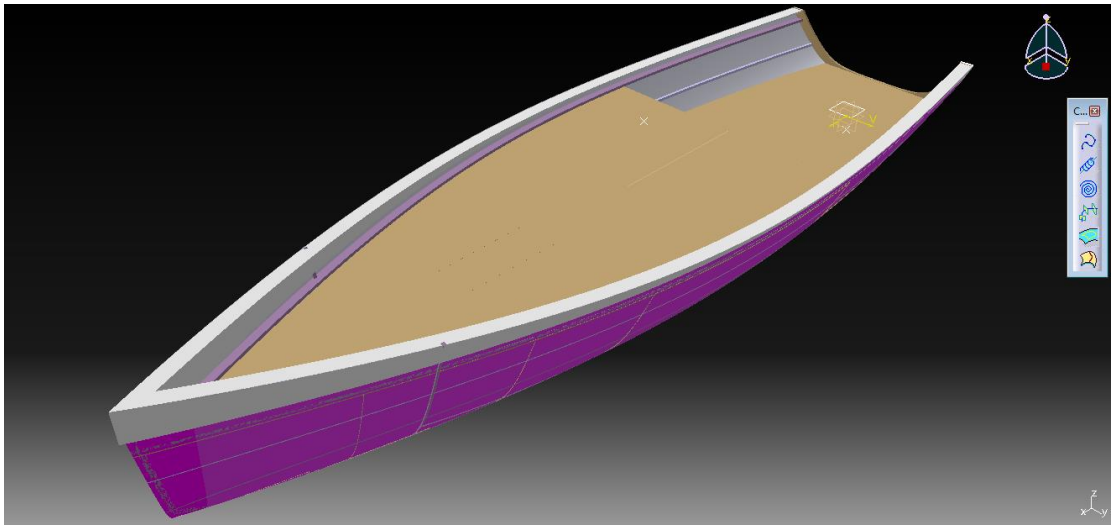


FIG Nº6.12: CUBIERTA Y BAÑERA INTEGRADAS CON EL CASCO.

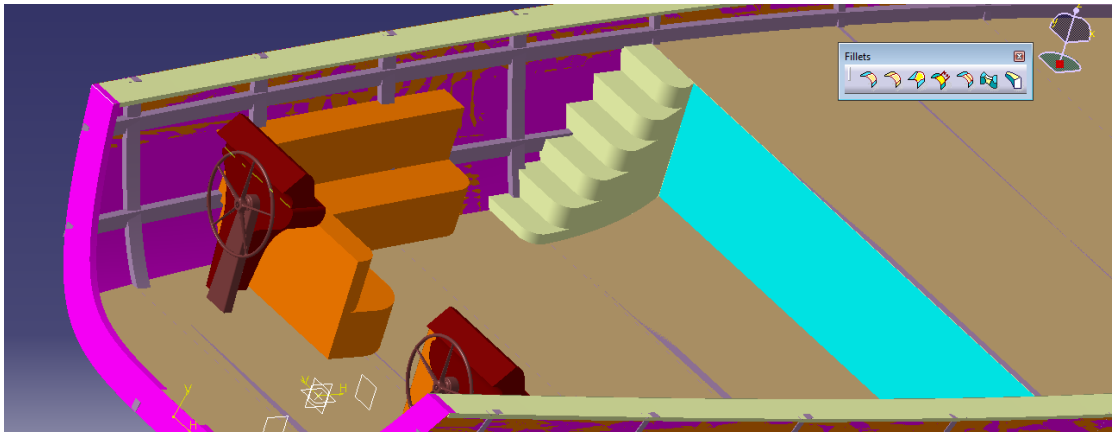


FIG.Nº6.13: DETALLE BAÑERA CON ESCALERAS A CUBIERTA PRINCIPAL, PUERTA ACRISTALADA AL INTERIOR, SOFÁS EXTERIORES Y TIMONERAS.

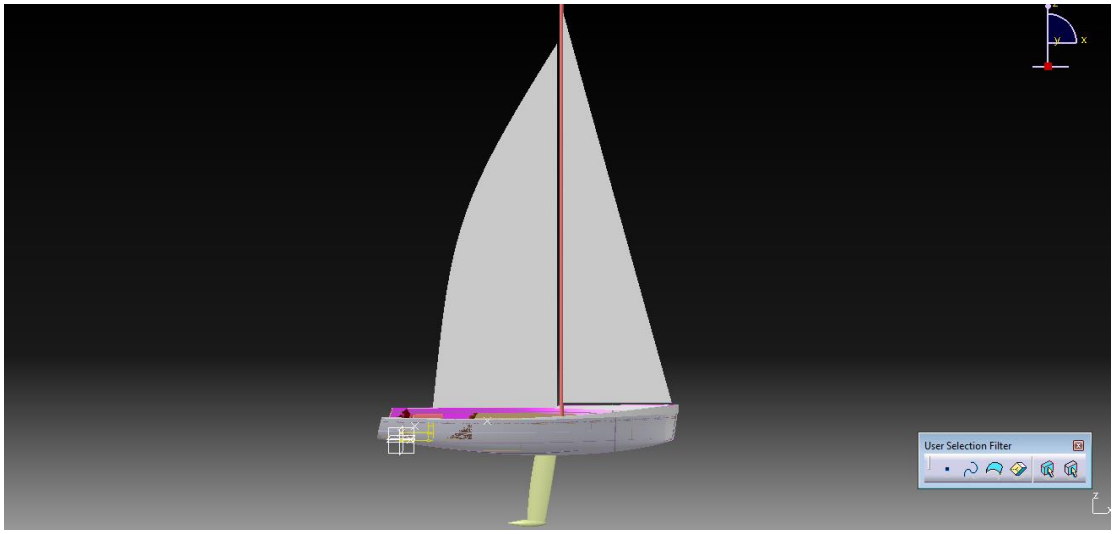


FIG.Nº6.14: VISTA GENERAL VELERO.

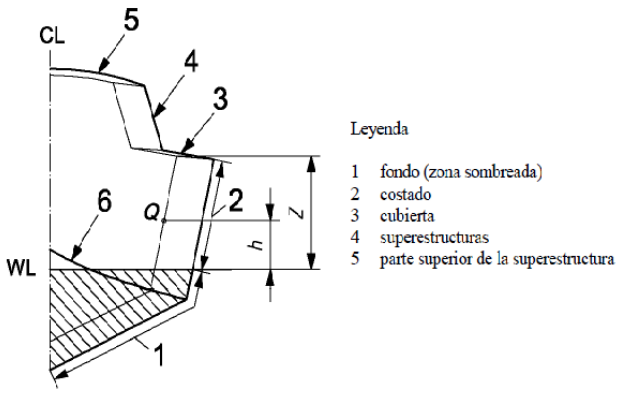
7.0- ESCANTILLONADO DE PANELES CON ISO-12215-5:2008

Para escantillonar los paneles del casco he usado:

Pequeñas embarcaciones.
Construcción de cascos y escantillones.
Norma ISO 12215-5:2008
Parte 5: Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación del escantillón.

Objetivo y campo de aplicación[8]: Esta norma se aplica para determinar las presiones de diseño y para la determinación del escantillonado. Incluyendo los refuerzos de la estructura interior, de las pequeñas embarcaciones de un solo casco construidas de plástico reforzado con fibras, y aleaciones de aluminio o acero, de madera encolada, o de cualquier otro material conveniente para la construcción de embarcaciones de eslora de casco L_H comprendida entre 2,5m y 24m, determinada en la Norma ISO 8666. Esta norma solo se aplica a las embarcaciones en estado intacto.

Sólo se debe aplicar a las embarcaciones que tengan una velocidad máxima de 50 nudos en condiciones de m_{LDC}.



Leyenda
1 fondo (zona sombreada)
2 costado
3 cubierta
4 superestructuras
5 parte superior de la superestructura

Donde m_{LDC} es la masa del desplazamiento en carga de la embarcación en kg.

8: Texto integral extraído de la Norma ISO 12215-5:2008

7.1 PRESIONES DE DISEÑO

El proceso de escantillonado se inicia en el apartado: **8.2 Presiones de diseño para veleros de la Norma.**

A. La presión de diseño en los fondos de los veleros PBS es el mayor valor de:

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

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

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

El factor de reducción de la presión según la superficie **KAR** tiene en cuenta la variación de las cargas de presión según el tamaño del panel o refuerzo.

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

El factor de categoría de diseño **KDC** definido en la tabla, tiene en cuenta la variación de las cargas de presión debidas a la mar con la categoría de diseño.

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

En este caso KDC=1 (categoría de diseño A)

El factor longitudinal de distribución de la presión **KL** tiene en cuenta la variación de cargas de presión debidas a la situación en la embarcación.

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

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

RESULTADOS: P_{BS}=26,785 kN/m^2 **$P_{BS_{MIN}}$=39,615 kN/m^2**

Según la norma elegimos la mayor de las 2 presiones.
La unión casco quilla tiene una excepción PBS x 1,8. $P_{BS_{casco\text{-}quilla}}$=48,213 kN/m2

B. La presión de diseño en los costados de los veleros P_{SS} es el mayor valor de:

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

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

RESULTADOS: P_{SS}=519,19 kN/m^2 **$P_{SS_{MIN}}$=27,99 kN/m^2**

El resultado de P_{SS} está fuera de rango, por tanto elegimos **$P_{SS_{MIN}}$.**

C. La presión de diseño en las cubiertas expuestas a la intemperie de los veleros PDS es el mayor valor de:

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

$$P_{DS\,MÍN.} = 5 \text{ kN/m}^2$$

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

RESULTADOS: P_{DS}=9,075 kN/m^2 **$P_{DS_{MIN}}$=28,068 kN/m^2**

Según la norma hay que elegir la mayor de las dos presiones.

Hay que tener en cuenta una definición de la norma para *elementos muy grandes*. Se ha de comprobar.

Se define como elementos muy grandes como los paneles o refuerzos para los que el producto de la medida más pequeña por la más grande (paneles) o de la luz por la separación (refuerzo) excede de las siguientes superficies[9].

- *Estructura de fondo 30% del producto* $L_{WL} \times B_{WL}$
- *Estructura de costado 30% del producto de* $L_{WL} \times D$ *(puntal del casco)*
- *Estructura cubierta 30% del producto de* $L_{WL} \times B_{WL}$

Hechos los cálculos ningún panel o refuerzo supera o iguala estas dimensiones, con lo cual no se aplica.

Los cálculos de este apartado los he hecho a mano. Ver archivo adjunto en el CD donde están los cálculos escaneados.

7.2 ESCANTILLONADO DE PANELES DEL CASCO.

El escantillonado de los paneles lo he calculado entre las cuadernas que tenían más luz (separación entre ellas), ya que son las que generan paneles mayores y son los que sufren mayores deformaciones debido a los esfuerzos que han de soportar. Con la idea que el resto de paneles no tan críticos cumplirán con la Norma ISO. Ya que esta te obliga a escoger el espesor de panel más restrictivo en cada zona.

Por tanto no hace falta calcular el resto de paneles con separación de cuadernas menor a la calculada.

El escantillonado del casco será del tipo monolítico. La zona de cubierta y bañera será en sándwich. Con la idea de aportar más peso al casco con la idea de bajar un poco el centro de gravedad general del velero.

Los paneles a escantillonar los he denominado de forma que el nombre de cada panel corresponde a una zona del casco.

- P-F00, es el panel de fondo situado entre la línea de crujía RF-00 y el primer refuerzo longitudinal de fondo RF-01.
- P-F01, es el panel de fondo situado entre el primer RF-01 y el segundo RF-02 refuerzo longitudinal de fondo.
- P-F02, es el panel situado entre el segundo refuerzo de fondo RF-02 y el primero lateral en la línea de RL-DWL+200mm.
- P-C00, es el panel situado entre el refuerzo lateral RL-DWL+200mm y el refuerzo lateral RL-DWL+1000mm.
- P-C01, panel situado entre el refuerzo lateral RL-DWL+1000mm y el refuerzo lateral RL-DWL+1700mm.
- P-C02, panel situado entre el refuerzo lateral RL-DWL+1700mm y el perfil de línea de borda.

Para ver la situación de los paneles, sus coordenadas respecto el (0,0,0) en DWL y perpendicular de popa, cotas de L ,B, curvatura y área de cada uno, ver plano adjunto: PFC-EP-00.

PONER PLANO: PFC-EP-00 ENCUADERNACIÓ

El proceso de escantillonado de los paneles se inicia con **la TABLA C.2 de la Norma.**

Hay que tomar algunas decisiones preliminares. Que afectan al cálculo del escantillonado.

- Elegir el método de producción, en este caso he escogido el método de laminado con bolsa de vacío ya que garantiza un porcentaje de refuerzo del 45% al 55%, el contenido de fibras respecto a otros métodos de laminado es más elevado.

- Tipo de fibras, combinación de Roving-Mat. MAT225, MAT450 y ROVING800.

- Resina de Epoxi. Por su buena capacidad de adhesión a gran cantidad de materiales de refuerzo se obtienen por ello laminados con alto contenido en fibra. Posee muy buenas propiedades mecánicas, mayor resistencia térmica y buena resistencia a la abrasión. Baja contracción durante el curado entre 0 y 1%. Posee una baja absorción de agua idónea para estructuras marinas. Se usa frecuentemente en estructuras que requieran máxima resistencia con el mínimo peso. También se usa en aplicaciones aeroespaciales además de las navales.

- Gelcoat como cubrimiento exterior que protege al laminado de los agentes externos además de dar un acabado estético al casco.

- Topcoat, es el cubrimiento en la parte interna del laminado para facilitar un curado completo y evitar la humedad del ambiente en la última capa del laminado.

- El anexo C de la Norma obliga a determinar los requisitos de escantillonado con uno de los 3 métodos que dependen del nivel de evaluación de las propiedades mecánicas usado por el constructor y definido en la tabla C.1.

- Como no haré ningún ensayo en las propiedades de laminado la Norma obliga a usar el nivel de evaluación EL-c, que obliga a aplicar la restricción de multiplicar algunos factores por 0,8.

Nivel de evaluación	Definición	Método
EL-a	Las propiedades mecánicas y el contenido de fibra se determinan por mediciones efectuadas con la ayuda de normas de ensayo reconocidas sobre escantillones representativos del producto fabricado.	Utilizar los resultados de las mediciones corregidas según el apartado C.1.1.
EL-b	El contenido de fibra en masa ase determina por mediciones. Se efectúan verificaciones puntuales con ayuda de normas de ensayo reconocidas sobre escantillones representativos del producto fabricado para garantizar que el producto cumple o excede los valores de las tablas C.4 a la C.7.	Valores por defecto (tablas C.4 a la C.7)
EL-c	No se hacen mediciones explícitas ni del contenido de fibra ni de las propiedades mecánicas. El contenido de fibra se deduce de la tabla C.2 o de otros valores nominales.	Multiplicar los valores por defecto (tablas C.4 a la C.7) por 0,8.

TABLA 7.1- OBTENIDA DE LA NORMA ISO12215-5:2008.

I. De la tabla C2 de la Norma, extraemos el valor de contenido en fibra en masa del laminado.

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

TABLA 7.2- OBTENIDA DE LA NORMA ISO12215-5:2008.

II. De la tabla C4A de la Norma, extraemos las propiedades mecánicas del laminado de fibra de vidrio E.

Propiedad	**Valores** N/mm^2	
Mat laminado a mano (CSM), combinado roving/mat, tejido roving (WR) y refuerzos alternados (CP) – 0/90 [a]		
Resistencia de rotura por tracción, σ_{ut}	$800\ \psi^2 - 80\ \psi + 37$	
Resistencia de rotura por compresión, σ_{uc}	$150\ \psi + 72$	
Resistencia de rotura por flexión, σ_{uf}	$502\ \psi^2 + 107$	
Resistencia de rotura por cizalla en el plano (intralaminar), τ_u	$80\ \psi + 38$	
Módulo elástico en el plano, E	$38\ 000\ \psi - 5\ 000$	
Módulo de cizalla en el plano, G	$1\ 700\ \psi + 2\ 240$	
Resistencia de cizalla interlaminar (fuera del plano), $\tau_{u\ Inter}$	$22{,}5 - 17{,}5\ \psi$	
Mat proyectado		
Resistencia de rotura por tracción, σ_{ut}	$150\ \psi + 25$	
Resistencia de rotura por flexión, σ_{uf}	$300\ \psi^2 + 107$	
Las otras propiedades para el mat proyectado deben obtenerse de las ecuaciones anteriores para el mat		
Reforzado uni-direccional (UD)		
Propiedad	**Paralelo a las fibras**	**Perpendicular a las fibras**
Resistencia de rotura por tracción, σ_{ut}	$880\ \psi^2 + 140\ \psi + 140$	42
Resistencia de rotura por compresión, σ_{uc}	$250\ \psi + 190$	105
Módulo elástico en el plano, E	$46\ 600\ \psi^2 + 7\ 200\ \psi + 7\ 250$	$48\ 600\ \psi^2 - 39\ 000\ \psi + 12\ 500$
Módulo de cizalla en el plano, G	$14\ 380\ \psi^2 - 10\ 560\ \psi + 3\ 840$	
Resistencia de cizalla en el plano, τ_u	50	
Coeficiente de Poisson principal, ν_{12}	0,3	

[a] Para una combinación de mat y roving, ψ puede ser el valor global. Véase el ejemplo del apartado C.3.2.

TABLA 7.3- OBTENIDA DE LA NORMA ISO12215-5:2008.

III. La tensión de diseño a tracción sobre la capa exterior se extrae de la tabla 10 de la Norma.

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

TABLA 7.4- OBTENIDA DE LA NORMA ISO12215-5:2008.

IV. Factor de alargamiento de un panel por resistencia a la flexión K_2, apartado 10.1.2 de la Norma.

$$k_2 = \frac{0,271(l/b)^2 + 0,910(l/b) - 0,554}{(l/b)^2 - 0,313(l/b) + 1,351}$$

V. Tensión de diseño a compresión sobre la capa interior se cogerá el menor valor obtenido de las dos fórmulas.

$$0,5\ \sigma_{uc} \quad \text{o}$$

$$0,3\sqrt[3]{E_c \times E_{co} \times G_c}$$

Donde Ec es el módulo E de compresión según la dirección 0º/90º de la capa interior en el plano del panel en Nxmm^2.

Donde E_{C0} es el módulo de compresión del núcleo, en dirección perpendicular a las capas en Nxmm^2.

Donde Gc es el módulo de cizalla del núcleo en la dirección paralela a la carga en Nxmm^2.

VI. Espesor requerido en cada panel para las chapas de FRO de una sola capa.

$$t = b \times k_c \times \sqrt{\frac{P \times k_2}{1\,000 \times \sigma_d}} \text{ mm}$$

Donde b es la dimensión menor del panel, de acuerdo con apartado 9.1.1 de la Norma en milímetros.

Donde Kc es el factor de corrección de curvatura para los paneles curvos, dado en la tabla 6 de la Norma.

Donde P es la presión de diseño (fondos, costados, cubierta y etc.) del panel, de acuerdo con el capítulo 8 de la Norma .

Donde k_2 es el factor de alargamiento del panel por resistencia a la flexión, dada en la tabla 5 de la Norma.

Donde σ_d es la tensión de diseño de las chapas de FRP dadas en la tabla 7 de la Norma.

VII. Los cálculos de los paneles los he hecho con Excel.

Estos son los resultados obtenidos:

ESPESOR t mm	Nombre Panel
5,691	PANEL DE FONDO P-F00
17,573	PANEL DE FONDO P-F01
18,306	PANEL DE FONDO P-F02
11,956	PANEL DE COSTADO P-C00
9,854	PANEL DE COSTADO P-C01
4,243	PANEL DE COSTADO P-C02

TABLA 7.5- TABLA DE RESULTADOS. FUENTE PROPIA.

Cabe destacar en este momento que el resultado del panel de fondo P-F00 tiene un resultado de espesor 5,6mm debido a que es un panel muy pequeño ya que los refuerzos adyacentes están muy cerca. Es un espesor que no tendré en cuenta. Porque constructivamente el espesor de fondo por debajo de la línea de flotación DWL será de entre 17 y 18 mm tal como indican los resultados obtenidos.

Hay unos planos de laminado donde se reflejan exactamente qué tipo de laminado se aplica en cada zona.

VIII. Con el Excel ya hecho, he podido variar algunos valores de panel y hacer pruebas. Por ejemplo una de las pruebas ha consistido en duplicar el número de cuadernas reduciendo así a la mitad la luz entre ellas. Obteniendo así unos espesores de panel menores. Estos son los resultados del experimento:

ESPESOR t mm	Nombre Panel
6,098	Fondo F0
11,803	Fondo F1
12,538	Fondo F2
10,035	Costado C1
9,069	Costado C2
4,586	Costado C3

TABLA 7.6- TABLA DE RESULTADOS EXPERIMENTO. FUENTE PROPIA.

7.3 COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS DE ESCANTILLONADO OBTENIDOS.

Nombre Panel	ESPESOR t mm	ESPESOR t mm
Fondo F0	5,691	6,098
Fondo F1	17,573	11,803
Fondo F2	18,306	12,538
Costado C1	11,956	10,035
Costado C2	9,854	9,069
Costado C3	4,243	4,586

TABLA 7.7- TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS.
FUENTE PROPIA.

Comparando los resultados del escantillonado que tenía pensado originalmente, con el escantillonado del experimento, se pueden llegar a varias reflexiones:

- Que duplicando el Nº de cuadernas instalado y por tanto reduciendo a la mitad la luz de separación entre ellas, se obtiene un espesor de casco menor.

- Que un menor espesor de casco reduce el peso de la embarcación, pero hay que construir el doble de refuerzos transversales (cuadernas).

- Entonces hay que buscar un compromiso entre los costes productivos y el uso que se le dará al velero.

- Valorar que nos interesa más, un espesor de casco más ligero y con más refuerzos transversales. Con lo que obtendremos una estructura total más ligera. O una estructura con espesor de panel más gruesa y con menos cuadernas y más económica en costes constructivos pero más pesada.

7.4 ESCANTILLONADO DE LA CUBIERTA Y LA BAÑERA EN SANDWICH.

Para escantillonar los paneles de la cubierta y la bañera he usado:

Pequeñas embarcaciones.
Construcción de cascos y escantillones.
Norma ISO 12215-5:2008
Parte 5: Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación del escantillón.

Objetivo y campo de aplicación[8]: Esta norma se aplica para determinar las presiones de diseño y para la determinación del escantillonado. Incluyendo los refuerzos de la estructura interior, de las pequeñas embarcaciones de un solo casco construidas de plástico reforzado con fibras, y aleaciones de aluminio o acero, de madera encolada, o de cualquier otro material conveniente para la construcción de embarcaciones de eslora de casco L_H comprendida entre 2,5m y 24m, determinada en la Norma ISO 8666. Esta norma solo se aplica a las embarcaciones en estado intacto.

Sólo se debe aplicar a las embarcaciones que tengan una velocidad máxima de 50 nudos en condiciones de m_{LDC}.

8: Texto integral extraído de la Norma ISO 12215-5:2008

Se inicia el proceso de escantillonado de los paneles de la bañera y de la cubierta **en el apartado 10.5 Chapas de FRP tipo Sándwich de la Norma.**

10.5.3 Valores mínimos del Módulo de Inercia y del segundo momento.

Hay que tomar algunas decisiones preliminares. Que afectan al cálculo del escantillonado.

- Elegir el método de producción, en este caso he escogido el método de laminado con bolsa de vacío ya que garantiza un porcentaje de refuerzo del 45% al 55%, el contenido de fibras respecto a otros métodos de laminado es más elevado.

- Tipo de fibras, combinación de Roving-Mat. MAT225, MAT450 y ROVING800.

- Material de relleno del sándwich: Espuma de PVC de 96kg/m^3 de densidad. Con estas características.

  Resistencia al corte de 1,5 MPa
  Módulo de corte 45 MPa
  Resistencia a la tracción de 2,48 MPa
  Resistencia a la compresión 1,79 MPa

- Resina de Epoxi. Por su buena capacidad de adhesión a gran cantidad de materiales de refuerzo se obtienen por ello laminados con alto contenido en fibra. Posee muy buenas propiedades mecánicas, mayor resistencia térmica y buena resistencia a la abrasión. Baja contracción durante el curado entre 0 y 1%. Posee una baja absorción de agua idónea para estructuras marinas. Se usa frecuentemente en estructuras que requieran máxima resistencia con el mínimo peso. También se usa en aplicaciones aeroespaciales además de las navales.

- Gelcoat como cubrimiento exterior que protege al laminado de los agentes externos además de dar un acabado estético al casco.

- Topcoat, es el cubrimiento en la parte interna del laminado para facilitar un curado completo y evitar la humedad del ambiente en la última capa del laminado.

- El anexo C de la Norma obliga a determinar los requisitos de escantillonado con uno de los 3 métodos que dependen del nivel de evaluación de las propiedades mecánicas usado por el constructor y definido en la tabla C.1.

- Como no haré ningún ensayo en las propiedades de laminado la Norma obliga a usar el nivel de evaluación EL-c, que obliga a aplicar la restricción de multiplicar algunos factores por 0,8.

Nivel de evaluación	Definición	Método
EL-a	Las propiedades mecánicas y el contenido de fibra se determinan por mediciones efectuadas con la ayuda de normas de ensayo reconocidas sobre escantillones representativos del producto fabricado.	Utilizar los resultados de las mediciones corregidas según el apartado C.1.1.
EL-b	El contenido de fibra en masa ase determina por mediciones. Se efectúan verificaciones puntuales con ayuda de normas de ensayo reconocidas sobre escantillones representativos del producto fabricado para garantizar que el producto cumple o excede los valores de las tablas C.4 a la C.7.	Valores por defecto (tablas C.4 a la C.7)
EL-c	No se hacen mediciones explícitas ni del contenido de fibra ni de las propiedades mecánicas. El contenido de fibra se deduce de la tabla C.2 o de otros valores nominales.	Multiplicar los valores por defecto (tablas C.4 a la C.7) por 0,8.

TABLA 7.1- OBTENIDA DE LA NORMA ISO12215-5:2008.

Tomando de partida la Presión de cubierta calculada en el capítulo 7.1.

P_{DS}=9,075 kN/m^2

I. De esta tabla se extrae el contenido en fibra.

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

II. La tensión de diseño a tracción sobre la capa exterior se extrae de la tabla 10 de la Norma.

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

TABLA 7.4- OBTENIDA DE LA NORMA ISO12215-5:2008.

III. De la tabla C4A de la Norma, extraemos las propiedades mecánicas del laminado de fibra de vidrio E.

Propiedad	Valores N/mm^2	
Mat laminado a mano (CSM), combinado roving/mat, tejido roving (WR) y refuerzos alternados (CP) – 0/90 [a]		
Resistencia de rotura por tracción, σ_{ut}	$800\ \psi^2 - 80\ \psi + 37$	
Resistencia de rotura por compresión, σ_{uc}	$150\ \psi + 72$	
Resistencia de rotura por flexión, σ_{uf}	$502\ \psi^2 + 107$	
Resistencia de rotura por cizalla en el plano (intralaminar), τ_u	$80\ \psi + 38$	
Módulo elástico en el plano, E	$38\ 000\ \psi - 5\ 000$	
Módulo de cizalla en el plano, G	$1\ 700\ \psi + 2\ 240$	
Resistencia de cizalla interlaminar (fuera del plano), $\tau_{u\ Inter}$	$22,5 - 17,5\ \psi$	
Mat proyectado		
Resistencia de rotura por tracción, σ_{ut}	$150\ \psi + 25$	
Resistencia de rotura por flexión, σ_{uf}	$300\ \psi^2 + 107$	
Las otras propiedades para el mat proyectado deben obtenerse de las ecuaciones anteriores para el mat		
Reforzado uni-direccional (UD)		
Propiedad	**Paralelo a las fibras**	**Perpendicular a las fibras**
Resistencia de rotura por tracción, σ_{ut}	$880\ \psi^2 + 140\ \psi + 140$	42
Resistencia de rotura por compresión, σ_{uc}	$250\ \psi + 190$	105
Módulo elástico en el plano, E	$46\ 600\ \psi^2 + 7\ 200\ \psi + 7\ 250$	$48\ 600\ \psi^2 - 39\ 000\ \psi + 12\ 500$
Módulo de cizalla en el plano, G	$14\ 380\ \psi^2 - 10\ 560\ \psi + 3\ 840$	
Resistencia de cizalla en el plano, τ_u	50	
Coeficiente de Poisson principal, ν_{12}	0,3	
[a] Para una combinación de mat y roving, ψ puede ser el valor global. Véase el ejemplo del apartado C.3.2.		

TABLA 7.3- OBTENIDA DE LA NORMA ISO12215-5:2008.

IV. Del apartado 10.5.3 se extraen los valores mínimos del Módulo de Inercia y del segundo momento.

Módulo mínimo de inercia requerido para la capa exterior de una tira de un panel tipo sándwich de 1cm de ancho.

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

Módulo mínimo de Inercia requerido para la capa interior de una tira de un panel tipo sándwich de 1cm de ancho.

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

Esta ecuación se puede escribir para resultados de S.I.

$$EI \text{ por mm de anchura} = \frac{b^3 \times k_c{}^3 \times P \times k3}{12 \times 10^3 \times k_1} \text{ N} \cdot \text{mm}^2/\text{mm}$$

V. La tensión de diseño en compresión sobre la capa interior que será el valor menor de:

σ_{dci} es la tensión de diseño en compresión sobre la capa interior, que es el menor valor de

$0{,}5\ \sigma_{uc}$ o

$0{,}3 \sqrt[3]{E_c \times E_{co} \times G_c}$

Donde Ec es el módulo E de compresión según la dirección 0º/90º de la capa interior en el plano del panel en N*mm^2.

Donde E_{C0} es el módulo de compresión del núcleo, en dirección perpendicular a las capas en N*mm^2.

Donde Gc es el módulo de cizalla del núcleo en la dirección paralela a la carga en $N*mm^2$.

VI. De la tabla D1 se extrae el Módulo de elasticidad en compresión.

Escogemos el PVC rígido II, es el que se parece más al elegido antes. Justificación matemática en el CD, es donde están los cálculos a mano escaneados.

Tipo de núcleo	Densidad ρ_c kg/m³	Alargamiento a la rotura %	Resistencia a la cizalla τ_u N/mm²	Módulo de cizalla G_c N/mm²	Resistencia en compresión σ_{uc} N/mm²	Módulo de elasticidad en compresión [a] E_{co} N/mm²
Fibra de balso de los extremos	90-220	NR	$0{,}017\ 8\ \rho_c - 0{,}34$	$0{,}868\ \rho_c - 1{,}43$	$0{,}102\ \rho_c - 5$	$30{,}7\ \rho_c - 1\ 350$
Tipo genérico – PVC reticulado						
PVC rígido I	36-250	30%	$0{,}002\ 4\ \rho_c^{1{,}334}$	$0{,}163\ 3\ \rho_c^{1{,}136}$	$0{,}001\ 4\ \rho_c^{1{,}487}$	$0{,}113\ 8\ \rho_c^{1{,}449}$
PVC rígido II	33-250	20%	$0{,}017\ \rho_c - 0{,}29$	$0{,}33\ \rho_c - 1$	$0{,}025\ \rho_c - 0{,}69$	$1{,}2\ \rho_c - 18$
Tipo genérico – PVC lineal [b] o SAN [b]						
PVC lineal	50-140	55%	$0{,}014\ \rho_c - 0{,}33$	$0{,}29\ \rho_c - 5{,}3$	$0{,}012\ \rho_c - 0{,}24$	$0{,}84\ \rho_c - 19$
SAN A	60-210	40%	$0{,}017\ \rho_c - 2 \times 10^{-5}\ \rho_c^2 - 0{,}613$	$0{,}46\ \rho_c - 20$	$6{,}7\ 10^{-4}\ \rho_c^{1{,}59}$	$0{,}024\ \rho_c^{1{,}75}$

[a] Módulo a través del espesor (transversal). Esto valor no puede utilizarse para calcular el refuerzo en flexión en la madera de balsa (véase el apartado H.2.1).

[b] ρ_c es la densidad media del núcleo. Ya se han tenido en cuenta en los coeficientes las variaciones típicas de densidad.

TABLA 7.8- OBTENIDA DE LA NORMA ISO12215-5:2008.

VII. Espesor requerido para la capacidad de soportar el esfuerzo cortante. Un espesor efectivo del laminado tipo sándwich *ts* no de be ser inferior al valor obtenido de la fórmula:

$$t_s \geq \sqrt{k_C}\,\frac{k_{SHC} \times P \times b}{1\,000 \times \tau_d}\ \text{mm}$$

De donde Kc es el factor de curvatura igual a 1 según Tabla 6 de la Norma.

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

TABLA 7.9- OBTENIDA DE LA NORMA ISO12215-5:2008.

De donde KSHC es el factor de alargamiento de tensión de cizalla de la tabla 12 de la Norma.

e

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

TABLA 7.10- OBTENIDA DE LA NORMA ISO12215-5:2008.

De donde τ_d es la tensión de cizalla e diseño del núcleo, de acuerdo con la Tabla 11 de la Norma.

Material	Tensión de cizalla de diseño τ_d (N/mm^2)
Madera de balsa de los extremos	0,5 τ_u [a]
Núcleo teniendo un alargamiento a la rotura por cizalla < 35% (reticulado de PVC, etc.)	0,55 τ_u
Núcleo teniendo un alargamiento a la rotura por cizalla > 35% (PVC lineal, SAN, etc.)	0,65 τ_u
Núcleo en nido de abeja (que debe ser compatible con una utilización marina)	0,5 τ_u [b]

[a] Si la balsa presenta un grado pequeño de variabilidad de sus propiedades mecánicas y se toman medidas para encapsular el núcleo mediante resina, se puede tomar τ_d igual a 0,55 τ_u.

[b] Utilizar las propiedades del núcleo en la dirección menor del panel (*b*).

TABLA 7.11- OBTENIDA DE LA NORMA ISO12215-5:2008.

VIII. Con los resultados obtenidos hasta ahora de SMo=0,447Cm^3/cm hay que ir a la Tabla D.3 de la norma para escoger los valores de espesor de laminado.

Espesor del núcleo (mm)	Espesor de cada capa (mm)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
12	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60			
16	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80	0,96		
20	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60
24	0,24	0,48	0,72	0,96	1,20	1,44	1,68	1,92
28	0,28	0,56	0,84	1,12	1,40	1,68	1,96	2,24
32	0,32	0,64	0,96	1,28	1,60	1,92	2,24	2,56
36	0,36	0,72	1,08	1,44	1,80	2,16	2,52	2,88
40	0,40	0,80	1,20	1,60	2,00	2,40	2,80	3,20

TABLA 7.8- OBTENIDA DE LA NORMA ISO12215-5:2008.

IX. Con los resultados obtenidos hasta ahora de SMi=0,536Cm^3/cm hay que ir a la Tabla D.3 de la norma para escoger los valores de espesor de laminado.

Espesor del núcleo (mm)	**Espesor de cada capa** (mm)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
12	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60			
16	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80	0,96		
20	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60
24	0,24	0,48	0,72	0,96	1,20	1,44	1,68	1,92
28	0,28	0,56	0,84	1,12	1,40	1,68	1,96	2,24
32	0,32	0,64	0,96	1,28	1,60	1,92	2,24	2,56
36	0,36	0,72	1,08	1,44	1,80	2,16	2,52	2,88
40	0,40	0,80	1,20	1,60	2,00	2,40	2,80	3,20

TABLA 7.9- OBTENIDA DE LA NORMA ISO12215-5:2008.

X. Con los resultados obtenidos hasta ahora de Momento de Inercia I=0,985Cm^4/cm hay que ir a la Tabla D.3 de la norma para escoger los valores de espesor de laminado.

Espesor del núcleo (mm)	Espesor de cada capa (mm)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
12	0,08	0,20	0,34	0,51	0,72			
16	0,14	0,32	0,54	0,80	1,10	1,45		
20	0,22	0,48	0,79	1,15	1,56	2,03	2,55	3,14
24	0,31	0,68	1,09	1,57	2,10	2,70	3,36	4,10
28	0,42	0,90	1,44	2,05	2,72	3,47	4,29	5,18
32	0,54	1,16	1,84	2,59	3,42	4,33	5,32	6,40
36	0,68	1,44	2,28	3,20	4,20	5,29	6,47	7,74
40	0,84	1,76	2,77	3,87	5,06	6,35	7,73	9,22

TABLA 7.10- OBTENIDA DE LA NORMA ISO12215-5:2008.

XI. Como resultado final el espesor más restrictivo es el del momento de inercia que ofrece un panel de espesor mayor que es de:

16mm de espesor de núcleo + 5mm de capas de laminado MAT-ROVING.

Ver plano de laminado con toda la información.

XII. Contenido de la masa de fibra mínimo de paneles Sandwich de la cubierta. Apartado 10.5.6 de la Norma.

Para reducir el riesgo de perforación o daño de la capa exterior, la masa mínima requerida de fibra en kilogramos por metro cuadrado viene dada por la fórmula:

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

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

Donde Wos es la masa en fibra por m^2 de la capa exterior en Kg/m^2

Donde Wis es la masa en fibra por m^2 de la capa interior en Kg/m^2

Donde k4 es el fcator de colocación para los paneles de sándwich que es de 0,7 para la cubierta.

Donde k5 es el factor de tipo de fibra para los paneles mínimos en sándwich. Que es de 0,9 para los refuerzos continuos de fibra de vidrio (es decir biaxiales, tejidos Roving, unidireccionales, doble sesgo o multiaxiales).

Donde k6 es el factor de cuidado para las capas mínimas tipo sándwich. Que será de 0,9 para las embarcaciones en las que se espere que la capa exterior del sándwich pueda perforarse después de colisionar con un objeto puntiagudo. Y de 1 para el resto. Yo aplicare 1 para ser más seguro.

Si se aplica el valor de 0,9 en el manual del propietario hay que incluir un aviso indicando que la embarcación puede verse perforada después de colisionar con un objeto puntiagudo y este daño debe ser rápidamente reparado.

Contenido de masa en fibra mínimo W_{OS}=1,354 kg/m^2 de la capa externa.

Contenido de masa en fibra mínimo W_{is}=0,94 kg/m^2 de la capa externa.

XIII. RESULTADO FINAL:

ESPESOR NÚCLEO=16mm

ESPESOR CAPA= 5mm

Contenido de masa en fibra mínimo W_{OS}=1,354 kg/m^2 de la capa externa.

Contenido de masa en fibra mínimo W_{is}=0.94 kg/m^2 de la capa externa.

VER PLANO PARA MÁS INFORMACIÓN.

8.0- ESCANTILLONADO DE REFUERZOS CON ISO-12215-5:2008

Para escantillonar los refuerzos estructurales del casco he usado:

Pequeñas embarcaciones.
Construcción de cascos y escantillones.
Norma ISO 12215-5:2008
Parte 5: Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación del escantillón.

Objetivo y campo de aplicación[8]: Esta norma se aplica para determinar las presiones de diseño y para la determinación del escantillonado. Incluyendo los refuerzos de la estructura interior, de las pequeñas embarcaciones de un solo casco construidas de plástico reforzado con fibras, y aleaciones de aluminio o acero, de madera encolada, o de cualquier otro material conveniente para la construcción de embarcaciones de eslora de casco L_H comprendida entre 2,5m y 24m, determinada en la Norma ISO 8666. Esta norma solo se aplica a las embarcaciones en estado intacto.

Sólo se debe aplicar a las embarcaciones que tengan una velocidad máxima de 50 nudos en condiciones de m_{LDC}.

Este apartado está hecho en Excel.

El escantillonado de refuerzos empieza en el **capítulo 9.2 de la Norma.**

Definición según la Norma de la separación de refuerzos **S** en, mm entre los ejes de los refuerzos. Apartado 9.2.1 de la Norma.

Definición según la Norma de la mayor dimensión **lu** en, mm de un panel entre dos refuerzos adyacentes. Apartado 9.2.2 de la Norma.

8: Texto integral extraído de la Norma ISO 12215-5:2008

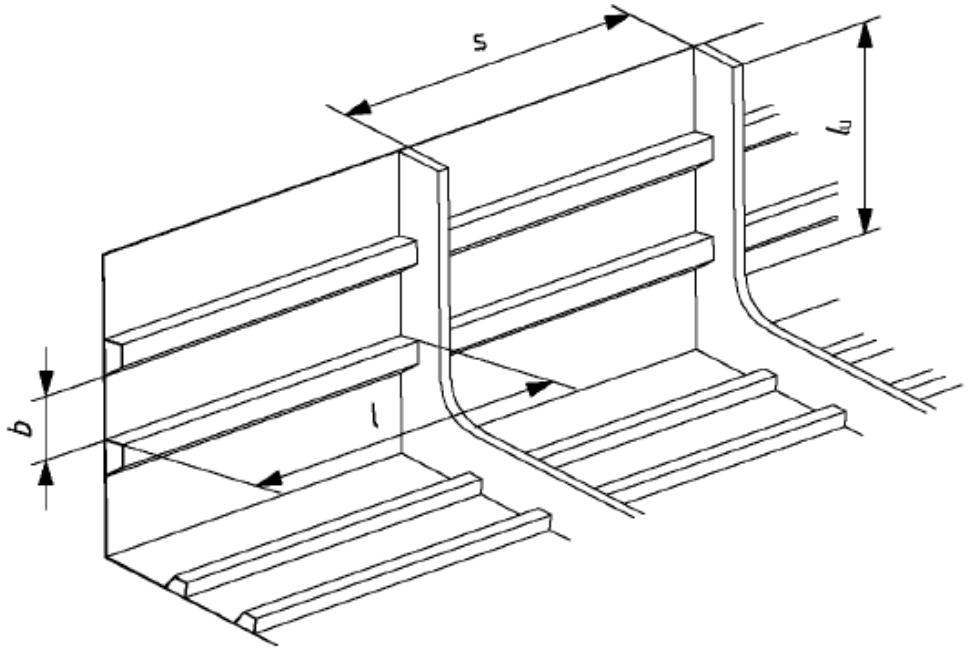


FIG.Nº8.1 IMAGEN DONDE SE APRECIA MEJOR EL DIMENSIONADO DE REFUERZOS SEGÚN LA NORMA.
IMAGEN EXTRAIDA DE NORMA ISO-12215-5:2008

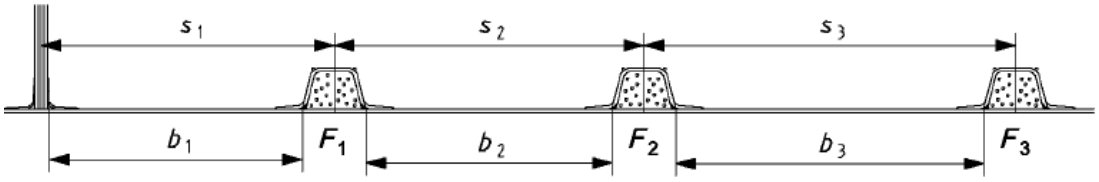


FIG.Nº8.2 IMAGEN DONDE SE APRECIA MEJOR EL DIMENSIONADO DE MAMPAROS Y REFUERZOS EN SOMBRERO DE COPA TRANSVERSALES. IMAGEN EXTRAIDA DE NORMA ISO-12215-5:2008

I. **Se toma como presión de diseño de este apartado la Presión de Fondo P_{BS}=39,615 kN/m^2**

II. Factor longitudinal de la distribución de presión K_L .

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

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

De donde X es la posición longitudinal del centro del panel o del punto medio del refuerzo analizado a proa y popa de LWL.

Descarto la restricción X/LWL<0.6, ya que el resultado de KL es de 0,77 es mayor, se aplicaría si estuviese por debajo.

III. El factor de reducción de la presión según la superficie **KAR** tiene en cuenta la variación de las cargas de presión según el tamaño del panel o refuerzo.

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

De done AD es el área de diseño en metros cuadrados.

$A_D = (l \times b) \times 10^{-6}$ para las chapas del costado, pero no se debe tomar mayor de $2{,}5 \times b^2 \times 10^{-6}$;

KAR No puede ser inferior a 0,25 según tabla Nº3 de la Norma.

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

[a] El valor mínimo de k_{AR} se aplica a los requisitos de resistencia a la flexión o cizalla y con la flecha máxima.

TABLA.Nº8.1 VALOR RESTRICTIVO DE KAR.
IMAGEN EXTRAIDA DE NORMA ISO-12215-5:2008

IV. El factor de ajuste de curvatura KCS se toma de la Tabla Nº16 de la Norma.

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

TABLA.Nº8.2 VALOR DE Kcs.
IMAGEN EXTRAIDA DE NORMA ISO-12215-5:2008

V. El factor de superficie de cizalla de un refuerzo KSA se toma de la tabla 17 de la Norma.

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

FIG.Nº8.3 VALOR DE Ksa.
IMAGEN EXTRAIDA DE NORMA ISO-12215-5:2008

VI. Del apartado 11.4.1 de la Norma se extrae el valor de la superficie de cizalla y el módulo de inercia mínimo.

Superficie del alma Aw y el módulo de inercia mínimo SM del refuerzo, incluyendo la chapa del costado asociada efectiva. No deben ser menores a los valores dados por las fórmulas:

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

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

$\sigma_{d1}=0,5\sigma_{ut}$ dando SM1

$\sigma_{d2}=0,5\sigma_{uc}$ dando SM2

VII. Del apartado 11.4.2 requisitos suplementarios de rigidez para laminados de FRP. El segundo momento de área incluyendo la chapa efectiva asociada, no debe ser inferior al valor dado por la siguiente fórmula.

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

De donde Etc es la medida de los módulos de elasticidad en tracción /compresión del material Anexo C.

De donde k1s= 0,05 es el factor de flexión flecha para los refuerzos.

De donde Etc, es el requisito suplementario de rigidez para el laminado de FRP. Es la media de los módulos de elasticidad en tracción/compresión.

VIII. **Con los resultados obtenidos hay que ir a la tabla G3**, Propiedad de los refuerzos de los sombreros de copa altos. Elegir las dimensiones de los refuerzos según los resultados obtenidos.

IX. Espesor de refuerzo tw , apartado G.2.4 sombrero de copa altos. Es el resultado de la fórmula:

$$t_w/2 = 2{,}34 \times w_f$$

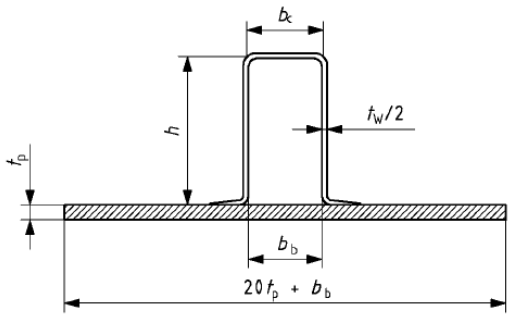


FIG.Nº8.4 SECCIÓN DE LOS REFUERZOS.
IMAGEN EXTRAIDA DE NORMA ISO-12215-5:2008

Los resultados obtenidos están reflejados en el Excel y en los planos de escantillonado de los refuerzos.

SM1	SM2	E_{tc}	I	
251,701955	301,69352	276,697738	6519,73687	CUADERNAS TRANSVERSALES
125,722986	150,693348	138,208167	3587,28781	REFUERZOS LATERALES
278,017096	333,23522	305,626158	8121,64905	LONGITUDINALES FONDO
165,621096	198,515785	182,068441	7919,71394	REFUERZO LONGITUDINAL CUBIERTA

TABLA 8.4- OBTENIDA DEL EXCEL. ESCANTILLONADO ORIGINAL. FUENTE PROPIA.

Las dimensiones de los refuerzos están reflejadas en los planos de escantillonado de los refuerzos.

X. Con el Excel ya hecho, he podido variar algunos valores de panel y hacer pruebas. Por ejemplo una de las pruebas ha consistido en duplicar el número de cuadernas reduciendo así a la mitad la luz entre ellas. Obteniendo así unos espesores de panel menores. Estos son los resultados del experimento:

SM1	SM2	E_{tc}	I	
23,715	28,425	26,070	2001,242	CUADERNAS TRANSVERSALES
28,401	34,042	31,222	1614,913	REFUERZOS LATERALES
66,308	79,478	72,893	3966,368	LONGITUDINALES FONDO
41,405	49,629	45,517	3959,857	REFUERZO LONGITUDINAL CUBIERTA

TABLA 8.5- OBTENIDA DEL EXCEL DEL EXPERIMENTO. FUENTE PROPIA.

8.1 COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS ENTRE EL ESCANTILLONADO ORIGINAL Y EL DEL EXPERIMENTO.

SM1	SM2	E_{tc}	I	
251,701955	301,69352	276,697738	6519,73687	CUADERNAS TRANSVERSALES
125,722986	150,693348	138,208167	3587,28781	REFUERZOS LATERALES
278,017096	333,23522	305,626158	8121,64905	LONGITUDINALES FONDO
165,621096	198,515785	182,068441	7919,71394	REFUERZO LONGITUDINAL CUBIERTA

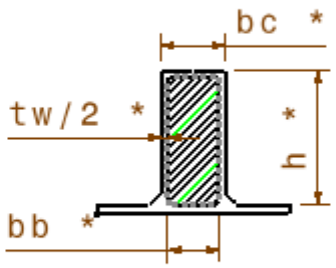
SM1	SM2	E_{tc}	I	
23,715	28,425	26,070	2001,242	CUADERNAS TRANSVERSALES
28,401	34,042	31,222	1614,913	REFUERZOS LATERALES
66,308	79,478	72,893	3966,368	LONGITUDINALES FONDO
41,405	49,629	45,517	3959,857	REFUERZO LONGITUDINAL CUBIERTA

TABLA 8.6- ARRIBA LOS RESULTADOS DEL ESCANTILLONADO ORIGINAL, DEBAJO LOS RESULTADOS ARROJADOS AL DOBLAR LA CANTIDAD DE CUADERNAS. FUENTE PROPIA.

Tal y como se puede comprobar los resultados son muy distantes entre ellos al doblar el número de cuadernas. Los resultados en el experimento difieren muchísimo al escantillonado original. Otra vez entramos en la diatriba para decidir que opción sale más a cuenta. Ligereza a cambio de costes constructivos o rapidez derivada por la ligereza de la estructura. Ya que los resultados del experimento ofrecen la posibilidad de reducir el tamaño de los refuerzos con lo cual reducimos también el peso total de la embarcación.

Teniendo en cuenta esta reducción tan importante en peso y tamaño de refuerzos, puede salir más a cuenta escoger la 2ª opción experimental.

SECCIÓN REFUERZOS
Escala: 1:10



ESCANTILLONADO Nº1					
Nº	REFUERZO	h *	bc *	bb *	tw/2 *
01	TRANSVERSAL-CUADERNAS	250	100	100	10
02	LATERALES DE COSTADO	200	100	100	10
03	DE FONDO	250	100	100	10
04	CUBIERTA Y BAÑERA	250	100	100	10
TODOS SON REFUERZOS DE SOMBRERO ALTOS					

ESCANTILLONADO Nº2					
Nº	REFUERZO	h *	bc *	bb *	tw/2 *
01	TRANSVERSAL-CUADERNAS	150	190	220	10
02	LATERALES DE COSTADO	125	150	175	10
03	DE FONDO	200	100	100	10
04	CUBIERTA Y BAÑERA	200	100	100	10
TIPO 1 Y 2, REFUERZO SOMBRERO COPA ACHATADO					
TIPO 3 Y 4 REFUERZO SOMBRERO COPA ALTO					

FIG.Nº8.7 COMPARACIÓN DE LOS REFUERZOS RESULTANTES DE LOS DOS ESCANTILLONADOS SEGÚN NORMA ISO-12215-5:2008

9.0- CÁLCULO DE PESOS.

En este capítulo se calcula el peso total de la embarcación en las condiciones exigidas por la normativa de estabilidad. Peso de la embarcación en condición de máxima carga y el peso en condición de mínima carga.

Estos son los ejes para los cálculos de LCG, TGC, VCG:

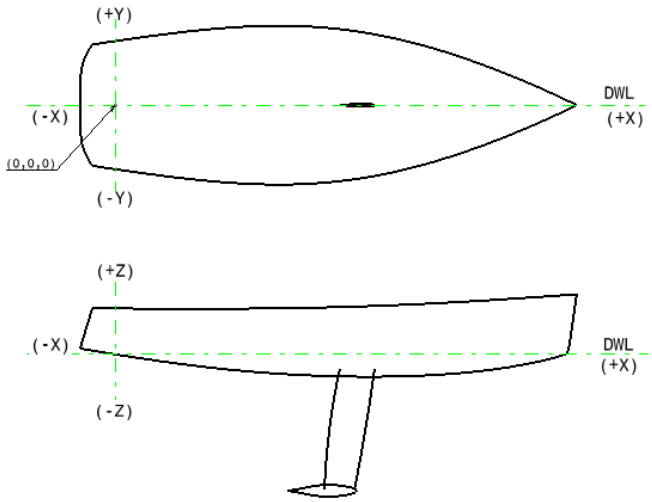


FIG.Nº9.1 SENTIDO EJES PARA CÁLCULO DE PESOS.
FUENTE PROPIA.

PESO EN ROSCA: Es la suma de los pesos, del casco, de los refuerzos estructurales, bulbo, mástil, botavara, maquinaria y equipos.

PESO MUERTO MÁXIMA CARGA: Combustible, agua, Nº personas máximo y sus pertrechos.

PESO MUERTO MÍNIMO CARGA: Combustible, agua, una persona y sus pertrechos.

CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA OPERATIVA: Rosca +10% muerto +10%, máxima carga.

CONDICIÓN DE MÁXIMA CARGA OPERATIVA: Rosca +10% muerto +10%, mínima carga.

VELERO	PESO (Kg)	LCG	TCG	VCG	ML	MT	MV
CASCO	1462,55	8804,007	593,342	372,863	12876300,4	867792,342	545330,781
REFUERZOS:	0	0	0	0	0	0	0
CUBIERTAS	884,98	8033,778	0	1272,758	7109732,85	0	1126365,37
DE COSTADO	738,71	9399,163	0	1246,132	6943255,7	0	920530,17
DE FONDO	377,52	8089,406	0	-368,563	3053912,55	0	-139139,9
CUADERNASS	5885,58	9679,237	-79,209	514,375	56967923,7	-466190,91	3027395,21
LONGITUDINAL SUP	291,55	8014,852	206,435	1066,098	2336730,1	60186,1243	310820,872
BULBO	10443	9395,936	0	-6071,834	98121759,6	0	-63408162
MÁSTIL	296,46	11639,92	0	15577,139	3450770,68	0	4617998,63
BOTAVARA	114,24	8258,631	0	11678,589	943466,005	0	1334162,01
MOTOR	546	4800	-4,284	-91,838	2620800	-2339,064	-50143,548
GENERADOR	450	6500	0	-390	2925000	0	-175500
POTABILIZADORA	70	3228,5	0	-230,5	225995	0	-16135
ACOMODACIÓN	1338	10746,156	-113,171	339,579	14378356,7	-151422,8	454356,702
ESCALERAS TECA E)	250	4791,622	0	978,989	1197905,5	0	244747,25
CÓNSOLA TIMÓN	100	220,1	567,786	1518,62	22010	56778,6	151862
TIMONES	3500	194,2	491,234	1518,31	679700	1719319	5314085
TOTALES	26748,59	111795,508	1662,133	28930,717	213853619	2084123,3	-45741427

FIG.Nº9.1 PESO EN ROSCA: ES LA SUMA DE LOS PESOS, DEL CASCO, DE LOS REFUERZOS ESTRUCTURALES, BULBO, MÁSTIL, BOTAVARA, MAQUINARIA Y EQUIPOS.

EQUIPOS	PESO (Kg)	LCG	TCG	VCG	ML	MT	MV
BOTIQUIN	5	11289,694	1715,005	907,766	56448,47	8575,025	4538,83
EMISORA	6,5	11314,694	1570,795	244,596	73545,511	10210,1675	1589,874
EXTINTOR 1	6	11314,694	684,931	-284,397	67888,164	4109,586	-1706,382
EXTINTOR 2	6	5313,694	1246,92	849,605	31882,164	7481,52	5097,63
CHALECOS SALVAVI	23	5238,694	-1699	787,169	120489,962	-39077	18104,887
AROS SALVAVIDAS	3	5288,694	1810,765	1035,216	15866,082	5432,295	3105,648
SOFA BAÑERA BB	70	1683,209	2781,576	1596,852	117824,63	194710,32	111779,64
SOFA BAÑERA SB	70	1701,589	-2177,431	975,883	119111,23	-152420,17	68311,81
LAVADORA	67	11139,694	1118,369	-322,12	746359,498	74930,723	-21582,04
TOTALES	256,5	64284,656	7051,93	5790,57	16489014,3	1808820,05	1485281,21

FIG.Nº9.2 PESO DE EQUIPOS.

	PESO (Kg)	LCG	TCG	VCG	ML	MT	MV
CASCO	1462,55	8804,007	593,342	372,863	12876300,4	867792,342	545330,781
REFUERZOS:	0	0	0	0	0	0	0
CUBIERTAS	884,98	8033,778	0	1272,758	7109732,85	0	1126365,37
DE COSTADO	738,71	9399,163	0	1246,132	6943255,7	0	920530,17
DE FONDO	377,52	8089,406	0	-368,563	3053912,55	0	-139139,9
CUADERNASS	5885,58	9679,237	-79,209	514,375	56967923,7	-466190,91	3027395,21
LONGITUDINAL SUP	291,55	8014,852	206,435	1066,098	2336730,1	60186,1243	310820,872
BULBO	10443	9395,936	0	-6071,834	98121759,6	0	-63408162
MÁSTIL	296,46	11639,92	0	15577,139	3450770,68	0	4617998,63
BOTAVARA	114,24	8258,631	0	11678,589	943466,005	0	1334162,01
MOTOR	546	4800	-4,284	-91,838	2620800	-2339,064	-50143,548
GENERADOR	450	6500	0	-390	2925000	0	-175500
POTABILIZADORA	70	3228,5	0	-230,5	225995	0	-16135
ACOMODACIÓN	1338	10746,156	-113,171	339,579	14378356,7	-151422,8	454356,702
ESCALERAS TECA EX	250	4791,622	0	978,989	1197905,5	0	244747,25
CÓNSOLA TIMÓN	100	220,1	567,786	1518,62	22010	56778,6	151862
TIMONES	3500	194,2	491,234	1518,31	679700	1719319	5314085
BOTIQUIN	5	11289,694	1715,005	907,766	56448,47	8575,025	4538,83
EMISORA	6,5	11314,694	1570,795	244,596	73545,511	10210,1675	1589,874
EXTINTOR 1	6	11314,694	684,931	-284,397	67888,164	4109,586	-1706,382
EXTINTOR 2	6	5313,694	1246,92	849,605	31882,164	7481,52	5097,63
CHALECOS SALVAVI	23	5238,694	-1699	787,169	120489,962	-39077	18104,887
AROS SALVAVIDAS	3	5288,694	1810,765	1035,216	15866,082	5432,295	3105,648
SOFA BAÑERA BB	70	1683,209	2781,576	1596,852	117824,63	194710,32	111779,64
SOFA BAÑERA SB	70	1701,589	-2177,431	975,883	119111,23	-152420,17	68311,81
LAVADORA	67	11139,694	1118,369	-322,12	746359,498	74930,723	-21582,04
TOTALES	27005,09	176080,164	8714,063	34721,287	215203035	2198075,76	-45552187

FIG.Nº9.3 PESO DE ROSCA MÁS EQUIPOS.

EQUIPOS	PESO (Kg)	LCG	TCG	VCG	ML	MT	MV
BOTIQUIN	5	11289,694	1715,005	907,766	56448,47	8575,025	4538,83
EMISORA	6,5	11314,694	1570,795	244,596	73545,511	10210,1675	1589,874
EXTINTOR 1	6	11314,694	684,931	-284,397	67888,164	4109,586	-1706,382
EXTINTOR 2	6	5313,694	1246,92	849,605	31882,164	7481,52	5097,63
CHALECOS SALVAVIDAS	23	5238,694	-1699	787,169	120489,962	-39077	18104,887
AROS SALVAVIDAS	3	5288,694	1810,765	1035,216	15866,082	5432,295	3105,648
SOFA BAÑERA BB	70	1683,209	2781,576	1596,852	117824,63	194710,32	111779,64
SOFA BAÑERA SB	70	1701,589	-2177,431	975,883	119111,23	-152420,17	68311,81
LAVADORA	67	11139,694	1118,369	-322,12	746359,498	74930,723	-21582,04
PERTRECHOS 12*20Kg	240	0	0	0	0	0	0
PERSONAS 12*75Kg	900	0	0	0	0	0	0
TOTALES	1396,5	64284,656	7051,93	5790,57	89773522,1	9848020,25	8086531,01

FIG.Nº9.4 PESO MUERTO MÁXIMA CARGA.

EQUIPOS	PESO (Kg)	LCG	TCG	VCG	ML	MT	MV
BOTIQUIN	5	11289,694	1715,005	907,766	56448,47	8575,025	4538,83
EMISORA	6,5	11314,694	1570,795	244,596	73545,511	10210,1675	1589,874
EXTINTOR 1	6	11314,694	684,931	-284,397	67888,164	4109,586	-1706,382
EXTINTOR 2	6	5313,694	1246,92	849,605	31882,164	7481,52	5097,63
CHALECOS SALVAVIDAS	23	5238,694	-1699	787,169	120489,962	-39077	18104,887
AROS SALVAVIDAS	3	5288,694	1810,765	1035,216	15866,082	5432,295	3105,648
SOFA BAÑERA BB	70	1683,209	2781,576	1596,852	117824,63	194710,32	111779,64
SOFA BAÑERA SB	70	1701,589	-2177,431	975,883	119111,23	-152420,17	68311,81
LAVADORA	67	11139,694	1118,369	-322,12	746359,498	74930,723	-21582,04
PERTRECHOS 1*20Kg	20	0	0	0	0	0	0
PERSONAS 1*75Kg	75	0	0	0	0	0	0
TOTALES	351,5	64284,656	7051,93	5790,57	22596056,6	2478753,4	2035385,36

FIG.Nº9.4 PESO MUERTO MÍNIMA CARGA.

10.0- ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD.

Norma aplicable a este capítulo.

Pequeñas embarcaciones.
Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad.
Norma ISO 12217:2002 Parte 1 y 2. Embarcaciones a vela de eslora igual o superior a 6m.

Opción	1	2	3	4	5	6
Categorías posibles	A y B	C y D	B	C y D	C y D	C y D
Cubiertas o protecciones	Cubierta completa[a]	Cubierta completa[a]	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Cubierta parcial[b]	Cualquier tipo
Aberturas de inundación	6.1.1	6.1.1	6.1.1	6.1.1	6.1.1	6.1.1
Ensayo de la altura de inundación	6.1.2	6.1.2	6.1.2	6.1.2[c]	6.1.2	6.1.2
Ángulo de inundación	6.1.3	6.1.3	6.1.3	6.1.3 [c]		
Ensayo de compensación de cargas	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
Resistencia a las olas + viento	6.3		6.3			
Escora debida a la acción del viento		6.4[d]		6.4[d]	6.4[d]	6.4[d]
Requisitos de flotación			6.5	6.5		
Material de flotación			Anexo F	Anexo F		

[a] Este término se define en el apartado 3.1.6.

[b] Este término se define en el apartado 3.1.7.

[c] Este ensayo no se requiere para las embarcaciones evaluadas para utilizar la opción 4 si, durante los ensayos de inundación en carga que se especifican en el anexo E, la embarcación ha demostrado poder soportar un peso seco equivalente del 133% de la carga máxima total.

[d] Sólo se requiere aplicar el apartado 6.4 en las embarcaciones en las que $A_{LV} \geq L_H B_H$.

TABLA Nº10.1 -ENSAYOS A REALIZAR SEGÚN CATEGORÍA DE DISEÑO. EXTRAIDA DE LA NORMA ISO-12217-1,2:2002.

Según la tabla hay que hacer los ensayos de:

I. Aberturas de inundación.

II. Ensayo altura de inundación. (Se hace en la embarcación construida).

III. Ángulo de inundación.

IV. Ensayo de compensación de cargas.

V. Resistencia a las olas y viento.

I. Aberturas de inundación:

La normativa dice que la altura que ha de haber para la condición de carga haya suficiente francobordo, para que no entre agua al interior de la embarcación debe ser superior a:

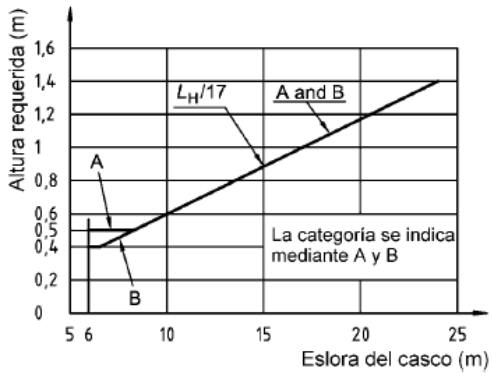


TABLA Nº10.2 -ENSAYOS ABERTURA DE INUNDACIÓN. EXTRAIDA DE LA NORMA ISO-12217-1,2:2002.

Lh/17=22/17=1,294m

Donde Lh, es la eslora de la embarcación.

En este caso si cumple porque la popa supera esta altura dando suficiente francobordo demandado por la Norma.

II. Altura de inundación. (Se hace en la embarcación construida).

III. Ensayo ángulo de inundación.

Este requisito sirve para comprobar que hay margen suficiente del ángulo de escora antes de que pueda entrar en la embarcación cantidades importantes de agua.

Categoría de diseño	Ángulo mínimo de inundación (grados)	
	Opciones 1 a 5[a], utilícese la que sea mayor	
A	ϕ_0 + 25	30
B	ϕ_0 +15	25
C	ϕ_0 + 5	20
D	ϕ_0	
[a] Véase la tabla 2.		

TABLA Nº10.3 – ANGULO MÍNIMO DE INUNDACIÓN. EXTRAIDA DE LA NORMA ISO-12217-1,2:2002.

IV. Ensayo de compensación de cargas.

Este ensayo sirve para comprobar que la embarcación cargada con el peso del desplazamiento en carga tiene una estabilidad suficiente ante un movimiento de pesos realizado por la tripulación.

Para todas las categorías de diseño, el ángulo de escora Φ_0 ni debe ser mayor de:

$$\phi_{O(R)} = 10 + \frac{(24 - L_H)^3}{600}$$

Se obtiene un resultado de ángulo mínimo de inundación:

ϕ_0=10,01º

Con una categoría, debe cumplir ϕ_0 +25 será mayor de 30, cumple porque 10,01+25=35,01 es mayor de 30 como indica la tabla 10.3 extraída de la Norma.

Los 12 tripulantes que pueden embarcar, se situaran en la zona más extrema de la manga que es a 2,905m de línea de crujía.

Hay que calcular el momento que generan.

VI. Resistencia a las olas y viento.

10.2 ENSAYOS REALIZADOS CON MAXSURF.

- CURVAS HIDROSTÁTICAS.
- CURVAS KN.
- CURVAS GZ.
- ENSAYO DE INUNDACIÓN DEL COMPARTIMENTO DE POPA.
- CÁLCULO DEL STIX SEGÚN ISO12217-02:2002.

- NORMATIVA IMO.
- NORMATIVA SOLAS.
  - II-1/8 RANGO ESTABILIDAD RESIDUAL POSITIVA.
  - ÁREA BAJO LA CURVA RESIDUAL GZ.
  - MÁXIMA GZ EN ETAPAS INTERMEDIAS.

Estos son los resultados obtenidos, se adjunta un Excel con todos los valores recogidos.

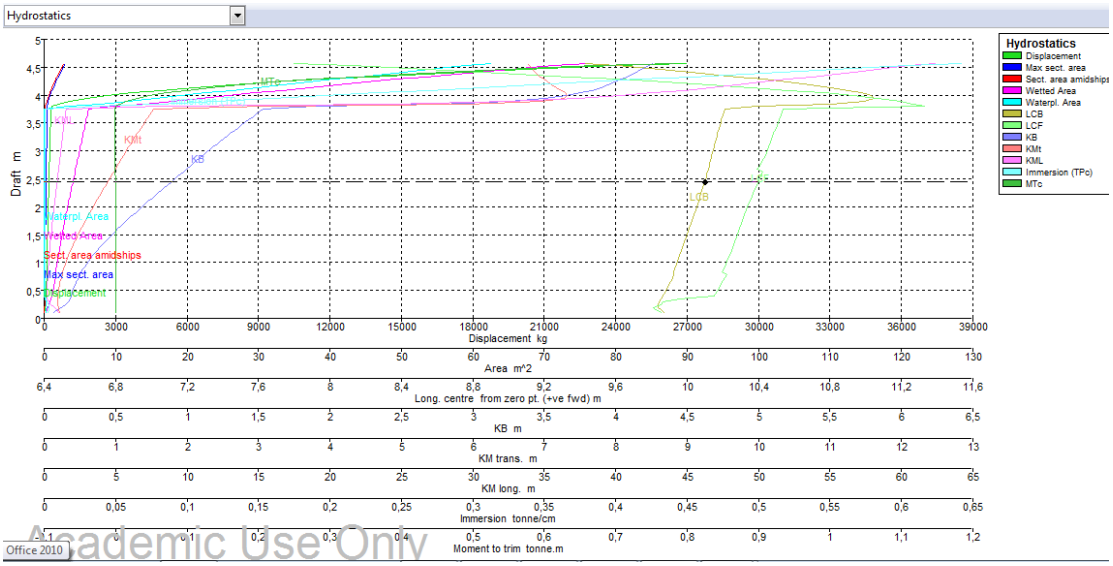


FIG.Nº10.1-CURVAS HIDROESTÁTICAS OBTENIDAS EN MAXSURF.

	KN 15,0 deg. Port.	KN 10,0 deg. Port.	KN 5,0 deg. Port.	KN 0,0 deg.	KN 5,0 deg. Starb.	KN 10,0 deg. Starb.	KN 15,0 deg. Starb.	KN 20,0 deg. Starb.	KN 25,0 deg. Starb.	KN 30,0 deg. Starb.	KN 40,0 deg. Starb.	KN 50,0 deg. Starb.	KN 60,0 deg. Starb.	KN 70,0 deg. Starb.	KN 80,0 deg. Starb.	KN 90,0 deg. Starb.	KN 100,0 deg. Starb.
1	-1,784	-1,210	-0,612	0,000	0,612	1,210	1,784	2,325	2,828	3,295	4,140	4,829	5,283	5,548	5,569	5,368	4,988
2	-1,779	-1,206	-0,609	0,000	0,609	1,206	1,779	2,321	2,828	3,299	4,150	4,829	5,274	5,522	5,548	5,351	4,977
3	-1,774	-1,201	-0,607	0,000	0,607	1,201	1,774	2,317	2,827	3,301	4,158	4,828	5,264	5,499	5,529	5,335	4,967
4	-1,769	-1,197	-0,604	0,000	0,604	1,197	1,769	2,313	2,825	3,302	4,164	4,825	5,254	5,478	5,511	5,321	4,958
5	-1,765	-1,194	-0,602	0,000	0,602	1,194	1,765	2,309	2,823	3,303	4,167	4,821	5,242	5,461	5,495	5,308	4,949
6	-1,761	-1,191	-0,601	0,000	0,601	1,191	1,761	2,306	2,821	3,304	4,169	4,816	5,231	5,445	5,479	5,296	4,942
7	-1,757	-1,188	-0,599	0,000	0,599	1,188	1,757	2,302	2,818	3,303	4,169	4,810	5,219	5,430	5,465	5,285	4,935
8	-1,754	-1,185	-0,597	0,000	0,597	1,185	1,754	2,299	2,816	3,303	4,168	4,802	5,207	5,416	5,452	5,274	4,929
9	-1,751	-1,182	-0,596	0,000	0,596	1,182	1,751	2,296	2,814	3,302	4,166	4,794	5,195	5,402	5,439	5,264	4,924
10	-1,748	-1,180	-0,595	0,000	0,595	1,180	1,748	2,293	2,811	3,301	4,163	4,786	5,184	5,389	5,427	5,255	4,918
11	-1,745	-1,177	-0,593	0,000	0,593	1,177	1,745	2,290	2,808	3,300	4,160	4,776	5,172	5,376	5,415	5,247	4,914
12	-1,742	-1,175	-0,592	0,000	0,592	1,175	1,742	2,287	2,806	3,299	4,155	4,767	5,160	5,364	5,404	5,239	4,910
13	-1,740	-1,173	-0,591	0,000	0,591	1,173	1,740	2,284	2,803	3,297	4,150	4,757	5,149	5,352	5,394	5,232	4,906
14	-1,737	-1,171	-0,590	0,000	0,590	1,171	1,737	2,281	2,801	3,296	4,145	4,747	5,137	5,341	5,384	5,225	4,903
15	-1,734	-1,170	-0,589	0,000	0,589	1,170	1,734	2,278	2,798	3,294	4,139	4,737	5,126	5,329	5,374	5,218	4,900
16	-1,732	-1,168	-0,588	0,000	0,588	1,168	1,732	2,275	2,795	3,292	4,132	4,726	5,115	5,319	5,365	5,212	4,897
17	-1,729	-1,166	-0,587	0,000	0,587	1,166	1,729	2,272	2,793	3,290	4,125	4,716	5,103	5,308	5,356	5,206	4,895
18	-1,727	-1,164	-0,586	0,000	0,586	1,164	1,727	2,269	2,790	3,287	4,117	4,705	5,093	5,298	5,348	5,201	4,892
19	-1,724	-1,162	-0,585	0,000	0,585	1,162	1,724	2,267	2,788	3,284	4,109	4,695	5,082	5,288	5,339	5,195	4,890
20	-1,721	-1,160	-0,584	0,000	0,584	1,160	1,721	2,264	2,786	3,281	4,101	4,684	5,071	5,278	5,330	5,190	4,889
21	-1,719	-1,158	-0,583	0,000	0,583	1,158	1,719	2,261	2,783	3,278	4,092	4,674	5,060	5,269	5,321	5,186	4,887
22	-1,716	-1,156	-0,582	0,000	0,582	1,156	1,716	2,259	2,781	3,275	4,083	4,663	5,050	5,260	5,313	5,181	4,886

FIG.Nº10.2-CURVAS KN OBTENIDAS EN MAXSURF.

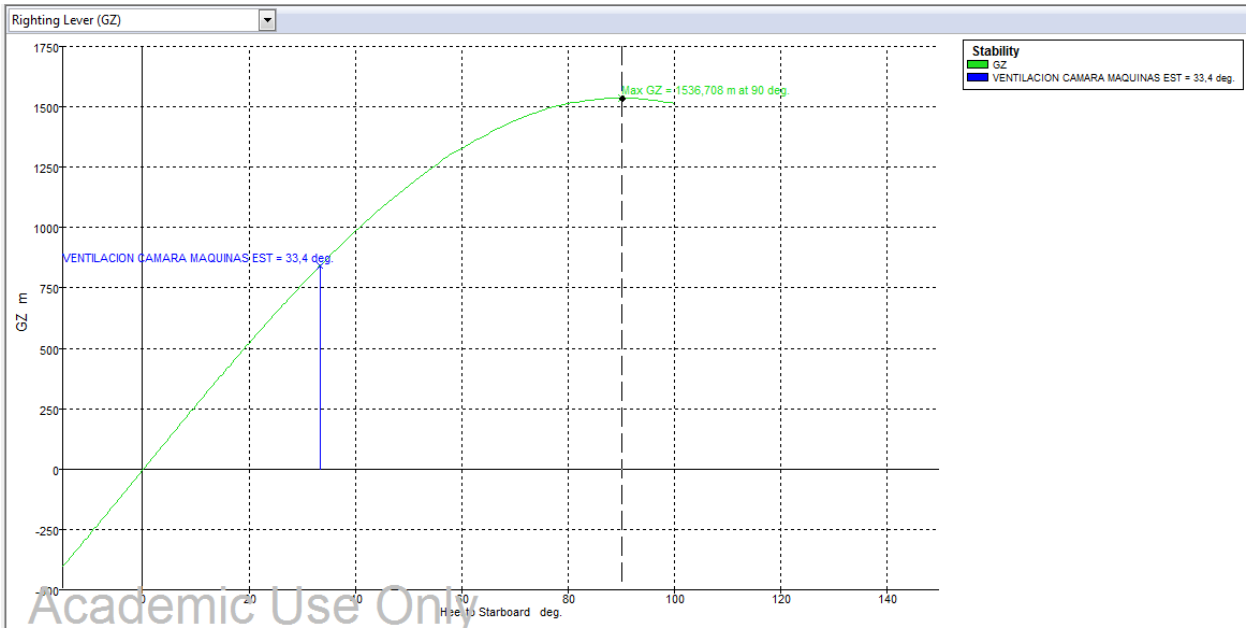


FIG.Nº10.3-CURVAS GZ OBTENIDAS EN MAXSURF. EN CONDICIÓN DE MAXIMA CARGA.

	Heel to Starboard deg	-15,0	-10,0	-5,0	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	45,0	55,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0	110,0	120,0
1	GZ m	-402,88	-271,98	-138,99	-4,957	129,124	262,218	393,311	521,404	645,526	764,731	878,088	1083,84	1256,59	1328,91	1442,72	1512,70	1536,70	1514,20	0,000	0,000
2	Area under GZ curve from zero heel m.deg	3076,07	1388,30	360,085	0,0000	310,606	1289,57	2929,45	5217,59	8137,02	11664,2	15775,0	25609,7	37333,4	43806,8	57687,5	72508,2	87794,4	103074,	103074,	103074,
3	Displacement kg	32027	32027	32027	32027	32027	32027	32027	32027	32027	32027	32027	32026	32025	32027	32028	32029	32028	32330	0,0000	0,0000
4	Draft at FP m	4,627	4,659	4,678	4,684	4,678	4,659	4,627	4,579	4,515	4,430	4,329	4,075	3,715	3,466	2,684	0,892	n/a	157,420	0,000	0,000
5	Draft at AP m	4,561	4,598	4,619	4,627	4,619	4,598	4,561	4,507	4,434	4,338	4,221	3,921	3,475	3,149	2,008	-1,616	n/a	-272,12	0,000	0,000
6	WL Length m	23,269	23,288	23,291	22,768	23,291	23,288	23,269	23,236	23,171	22,785	22,195	21,050	20,116	19,771	19,414	20,020	15,663	19,986	0,000	0,000
7	Beam max extents on WL m	4,478	4,491	4,496	4,497	4,496	4,491	4,478	4,458	4,436	4,250	3,830	3,178	2,974	3,166	3,978	6,016	2,240	2,277	0,000	0,000
8	Wetted Area m^2	80,062	81,254	82,185	82,461	82,186	81,254	80,063	76,895	77,845	77,197	77,038	76,555	75,960	75,439	73,762	70,671	69,130	63,365	0,000	0,000
9	Waterpl. Area m^2	64,378	65,723	66,865	67,147	66,865	65,723	64,379	63,122	62,131	60,284	56,187	47,173	41,074	38,914	35,932	34,808	26,452	0,754	0,000	0,000
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,407	0,404	0,402	0,411	0,402	0,404	0,407	0,410	0,412	0,418	0,431	0,461	0,491	0,506	0,536	0,558	0,711	0,209	0,000	0,000
11	Block coeff. (Cb)	0,068	0,066	0,064	0,066	0,064	0,066	0,068	0,070	0,075	0,084	0,104	0,162	0,243	0,284	0,273	0,150	0,493	0,084	0,000	0,000
12	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	8,996	9,151	9,258	9,298	9,258	9,151	8,995	8,804	8,589	8,360	8,132	7,787	7,611	7,569	7,575	7,810	12,904	15,010	10,146	10,146
13	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	7,761	7,636	7,523	7,506	7,523	7,636	7,761	7,865	7,930	7,935	7,905	7,958	7,997	8,018	8,084	8,329	11,600	12,460	10,146	10,146
14	Max deck inclination deg	15,0011	10,0015	5,0028	0,1641	5,0028	10,0015	15,0011	20,0009	25,0008	30,0008	35,0008	45,0008	55,0010	60,0010	70,0014	80,0024	90,0000	92,5759	0,0000	0,0000
15	Trim angle (+ve by stern) deg	-0,1881	-0,1749	-0,1669	-0,1641	-0,1668	-0,1748	-0,1878	-0,2064	-0,2316	-0,2651	-0,3088	-0,4397	-0,6877	-0,9103	-1,9389	-7,1520	-90,000	-87,336	0,0000	0,0000

FIG.Nº10.4-DATOS CURVA GZ. OBTENIDAS EN MAXSURF.

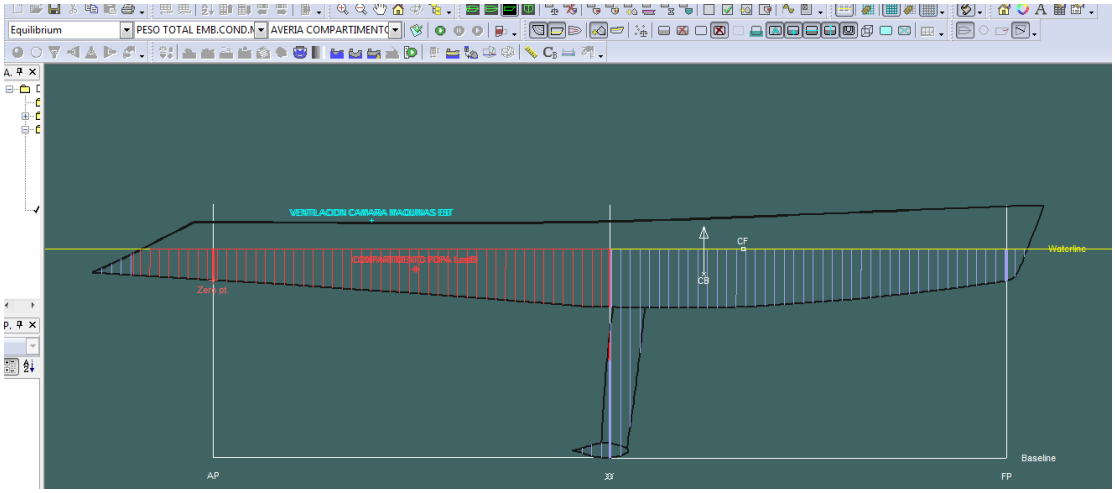
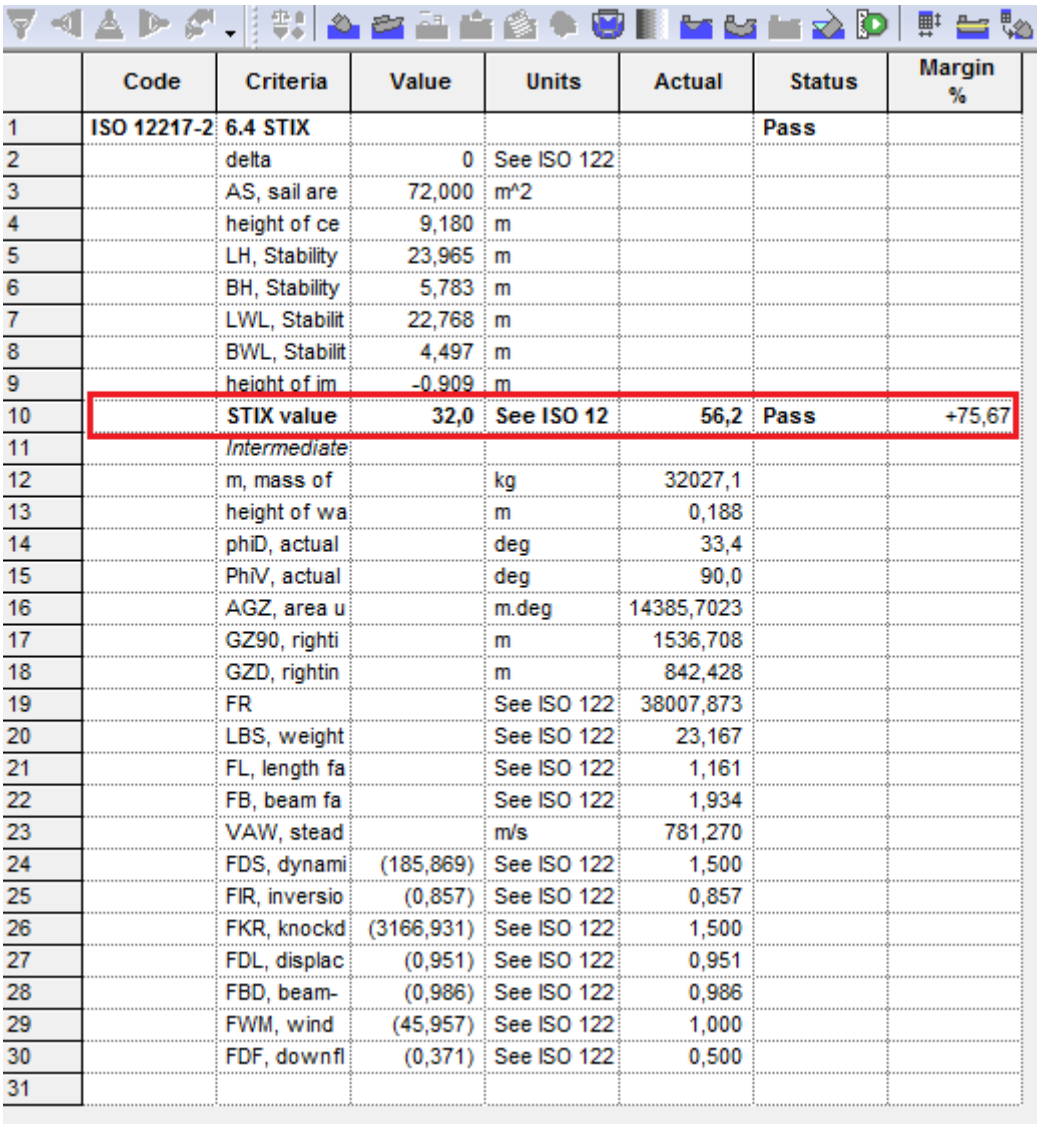


FIG.Nº10.5- ENSAYO INUNDACIÓN DEL COMPARTIMENTO DE POPA. CON MAXSURF. AGUANTA LA AVERIA.



	Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
1	ISO 12217-2	6.4 STIX				Pass	
2		delta	0	See ISO 122			
3		AS, sail are	72,000	m^2			
4		height of ce	9,180	m			
5		LH, Stability	23,965	m			
6		BH, Stability	5,783	m			
7		LWL, Stabilit	22,768	m			
8		BWL, Stabilit	4,497	m			
9		height of im	-0,909	m			
10		**STIX value**	**32,0**	**See ISO 12**	**56,2**	**Pass**	+75,67
11		*Intermediate*					
12		m, mass of		kg	32027,1		
13		height of wa		m	0,188		
14		phiD, actual		deg	33,4		
15		PhiV, actual		deg	90,0		
16		AGZ, area u		m.deg	14385,7023		
17		GZ90, righti		m	1536,708		
18		GZD, rightin		m	842,428		
19		FR		See ISO 122	38007,873		
20		LBS, weight		See ISO 122	23,167		
21		FL, length fa		See ISO 122	1,161		
22		FB, beam fa		See ISO 122	1,934		
23		VAW, stead		m/s	781,270		
24		FDS, dynami	(185,869)	See ISO 122	1,500		
25		FIR, inversio	(0,857)	See ISO 122	0,857		
26		FKR, knockd	(3166,931)	See ISO 122	1,500		
27		FDL, displac	(0,951)	See ISO 122	0,951		
28		FBD, beam-	(0,986)	See ISO 122	0,986		
29		FWM, wind	(45,957)	See ISO 122	1,000		
30		FDF, downfl	(0,371)	See ISO 122	0,500		
31							

FIG.Nº10.6- REQUISITO DE STIX SEGÚN ISO 12217-2:2002 SE PUEDE VER QUE SI LO CUMPLE.

11.0- DIMENSIONADO ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE GENERACIÓN.

Las necesidades energéticas de esta embarcación son grandes, ya que la idea es equipar al velero de varias unidades de consumo para poder hacer un dimensionado del generador principal. Cuantos más equipos instalados mayor consumo de potencia y mayor ha de ser el generador a instalar.

He realizado un balance eléctrico de la embarcación teniendo en cuenta los tres tipos de tensiones posibles en el velero. 380v, 220/230v y 24v.

La tensión más alta para consumidores de potencia, como las bombas de achique sumergibles, la bomba principal de achique, 4 winches y 2 extractores para la sala de máquinas.

La tensión de 220/230v para los consumidores de potencia baja como aire acondicionado, cocina, lavadora y etc.

La tensión de 24v para la electrónica del barco, sondas, radar, GPS y etc.

Se consigue 380v conectando el consumidor entre dos fases del generador, los 220v se consiguen conectando entre una fase y un neutro del generador. Finalmente los 24v en corriente continua, se consiguen conectando un rectificador entre fase y neutro del generador y el consumidor a la salida del rectificador, obteniendo los 24v en continua.

La conexión a tierra se consigue con una placa metálica pegada al casco y ésta en contacto con el agua. Es la forma de proteger a personas y equipos de sobretensiones además de las protecciones usuales como los interruptores diferenciales, magnetotérmicos, fusibles, interruptores limitadores de tensión y guardamotores.

Para evitar desequilibrios de tensión en el generador, las conexiones han de ser equilibradas y repartidas entre las fases de salida del generador.

El generador a instalar es un Panda serie 1500-1800 de 50kW de potencia entregada de 4 cables, 3 fases y neutro. En los cálculos que he hecho con Excel la necesidad media de consumo obtenida es de 45152w en régimen de navegación. Que es la condición de funcionamiento del velero que más energía demanda.

En el Excel **Ku** es el factor de simultaneidad que en este caso es siempre uno, ya que no hay consumidores que estén doblados. **Ksr** es el factor de uso, que varía entre 0 y 1 dependiendo de la intensidad de uso. Por ejemplo una nevera no consume energía todo el rato, solo cuando hay un descenso de temperatura en su interior y por ello le he otorgado un factor ksr=0,5 porque he pensado que se conectará el 50% del tiempo total de uso.

La condición de estada en el puerto, es con el velero conectado al puerto con el generador y motor apagados. Por ello el consumo demandado al generador será cero.

La condición de navegación es con casi todos los consumidores encendidos.

La condición de maniobra es con los consumidores de cocina y servicios de agua caliente apagados, así como lavadora y los servicios de entretenimiento desconectados. El resto de consumidores necesarios para la maniobra estarán conectados con factor Ksr=1 que es el máximo, para obtener la máxima funcionalidad. Los sistemas de habitabilidad como aire acondicionado, nevera, desoladora, cubitera y etc. les he otorgado un Ksr=0,5.

La condición de emergencia tiene los sistemas esenciales conectados, el resto apagados.

CONSUMIDORES (220/230v)	I (A)	P (W)
AIRE ACONDICIONADO CRUSAIR RM 24000 BT	6,9	1587
NEVERA WAECO COOLMATIC	2,6	700
FABRICA CUBITOS	1,5	2070
PLACA INDUCCION BOSCH PIV975N17E	49	10800
CALENTADOR DE AGUA SIGMAR MARINE HCO 8	6	1200
LAVADORA BOSCH	10	2400
DESALADORA AQUAMATIC COMPACT 110L/h	15	3300
ILUMINACIÓN GENERAL INTERIORES		15000
ILUMINACIÓN GENERAL EXTERIORES		5000
TV-HIFI		800
HORNO		2500
LUCES NAVEGACIÓN		1000
SUMAS PARCIALES	91	46357
CONSUMIDORES (380v)	I (A)	P (W)
4 WINCHES HARKEN 900 ELECTRIC UNIPOWER		3600
2 EXTRACTORES SALA MAQUINAS		5000
3 BOMBAS ACHIQUE SUMERGIBLES		5250
BOMBA PRINCIPAL		3000
SUMAS PARCIALES		16850
CONSUMIDORES (24V)	I (A)	P (W)
ELECTRONICA DE ABORDO		282
SUMAS PARCIALES		282
SUMAS TOTALES EN		63489

TABLA 11.1- LISTADO DE CONSUMIDORES
FUENTE PROPIA.

ELECTRÓNICA DE ABORDO COMPRENDE:	P (W)
3 MULTIPANTALLAS CENTRALIZADORAS. RAYM	108
RADAR	110
SONDAS	36
INSTRUMENTACIÓN NAVEGACIÓN	5
COMUNICACIONES 2 EMISORAS	10
SAI	12
GPS	1
POTENCIA TOTAL	282

TABLA 11.1- DESGLOSE ELECTRÓNICA DE ABORDO.
FUENTE PROPIA.

12.0-DIMENSIONADO DE LA JARCIA Y ARBOLADURA.

Para dimensionar la jarcia de este velero, usaré la normativa de la sociedad de clasificación, (NBS), Nordic Boat Standard, que ya incluye unos factores de seguridad adecuados. Hay algunos límites que se deben cumplir para poder aplicar la norma:

Éste estándar es válido para el cálculo de un mástil normal y aparejos

Se aplicará solo a veleros cuya área del triángulo de vela en proa no sea más grande que 1,6 veces el área de la vela mayor.

$$(IxJ)/(ExP)<1,6$$

Recordando resultados anteriores de las regresiones:

- L/I=28,14m
- L/J=7,77m
- L/P=27,03m
- L/E=8,88m
- L/SA=265m2

El resultado obtenido de la fórmula es 0,910 que cumple con el requisito, al ser menor de 1,6.

Para dimensionar la jarcia es necesario, el momento adrizante a 30º. Éste ángulo es un buen ángulo de diseño y corresponde a una fuerza de viento razonablemente alta, con las velas generando grandes cargas estáticas sobre el aparejo y trasmitiendo buenas velocidades al velero a través del agua.

A estas cargas estáticas considerada hay que añadir otras dinámicas, que pueden dar grandes picos de tensiones y compresiones añadidas. Por

ello se le aplica un factor de seguridad al momento adrizante en varias fases del cálculo.

Hay que tener en cuenta la acción de los tripulantes "haciendo banda". La NBS ofrece una fórmula para calcular de forma aproximada cuál es el momento creado por la tripulación "haciendo banda".

$$\delta_{RM} = 75 * n * (3{,}4 * B - 4{,}9 * F_S)$$

Siendo n, el número de tripulantes, B la manga del velero y Fs el francobordo a la altura del mástil. Así obtenemos el momento adrizante inducido por la tripulación "haciendo banda".

El valor del momento adrizante que se usará a lo largo de todo el diseño se hallará con esta fórmula.

$$RM = RM_{30} * \frac{\Delta}{G} + \delta_{RM}$$

Siendo RM_{30} el momento adrizante a 30º de escora del buque en vacío, G el peso del buque vacío y Δ el desplazamiento del buque a plena carga.

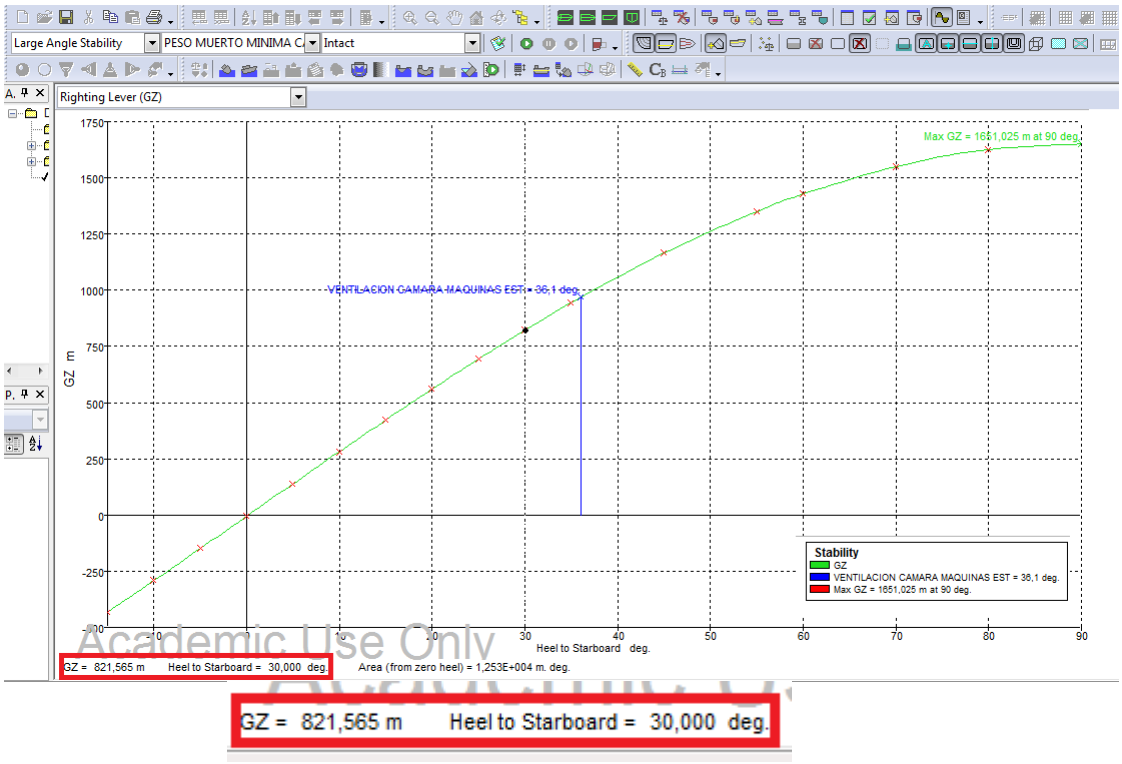


FIG.Nº12.1- MOMENTO ADRIZANTE A 30º, CON BARCO EN VACIO, CALCULADO CON MAXSURF.

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

La estabilidad del mástil longitudinal depende también de la colocación del pie del mástil, del número de crucetas y su colocación (que puede ser retrasada o perpendicular al palo) así como de la tensión aplicada en los stays y obenques.

Un aumento de crucetas implica un palo más delgado y por tanto más ligero. Como inconvenientes se obtiene un palo más difícil de trimar, aumenta el momento de inercia longitudinal.

Ventajas del palo apoyado en la quilla, palo más delgado que mejora la eficiencia de las velas. Ángulos de caza de escota de génova más pequeños,

ya que las crucetas pueden ser más cortas. Como inconveniente palo más difícil de trimar, altas tensiones a la altura de la cubierta por donde lo atraviesa. Posible entrada de agua por la cubierta.