

Universidad Politécnica de Cartagena

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica

PROYECTO FIN DE GRADO

Grado en Arquitectura Naval e Ingeniería de sistemas Marinos

**ANTEPROYECTO DE UNA
EMBARCACIÓN DE RECREO DE
15 METROS DE ESLORA**

2019

Autor: Borja Girona Berná
Tutor: Jerónimo Antonio Esteve Pérez

El objetivo de este trabajo, como bien se refleja en el título del mismo, es la realización del anteproyecto de una embarcación de recreo de eslora inferior a 15 metros construida en materiales compuestos.

Al no tratarse de un caso real, sino de un trabajo destinado enteramente a fines académicos, no se tienen más requisitos a parte del mencionado anteriormente de no superar los 15 metros de eslora. Aun así, se tratará de ser lo más fieles posibles a la realidad actual, en cuanto al diseño de embarcaciones de recreo se refiere.

La elección de no superar los 15 metros de eslora se debe a que, según el Real Decreto 875/2014 del 10 de octubre, ésta es la máxima eslora que es posible gobernar con el título de Patrón de embarcación de recreo. Este título, como también indica el mismo Decreto, es el que permite gobernar una embarcación de mayor eslora sin la necesidad de estar en posesión de otro título previo ni complementario. Así, según se estipula, el título de Patrón de embarcación de recreo permite gobernar embarcaciones de recreo de hasta 15 metros de eslora para navegación entre la zona comprendida entre la costa y una línea paralela a la misma y trazada a 12 millas de ésta. También, para la navegación entre las islas del archipiélago balear y canario.

Además, según la Orden FOM/1144/2003, este límite de navegación en millas paralelas a la costa implica que se trata de un buque que podrá navegar por las zonas 4, 5, 6 y 7. Esto indica que se tratará de una embarcación con categoría de diseño C, categoría que influirá en ciertos aspectos a lo largo del proyecto.

Como se ha mencionado, se tratará de ser lo más fieles posibles a la realidad. Por tanto, el proyecto de la embarcación comenzará con la búsqueda y recopilación de información de embarcaciones ya construidas similares a nuestro objetivo, con el fin de poder estimar unas dimensiones y características con las que empezar a trabajar. Una vez conseguidas éstas, se utilizarán para el diseño de las formas de la embarcación, que se realizará con el software “Rhinoceros”.

Una vez obtenidas las formas óptimas, se analizarán con el software “Maxsurf” para así poder obtener sus características hidrostáticas y de arquitectura naval, así como su resistencia al avance. Éstas servirán de base para el estudio del comportamiento de la embarcación en la mar y para el cálculo de la planta propulsora.

La selección de la planta propulsora permitirá la estimación de las dimensiones de la cámara de máquinas, que a su vez permitirá hacer una primera aproximación a la disposición general de la embarcación.

ÍNDICE

Capítulo 1. Dimensionamiento Preliminar	6
1.1.- Cifra de mérito	7
1.2.- Estudio estadístico.....	8
2.2.1.- Nomenclatura utilizada.....	8
1.2.2.- Regresiones	8
1.2.3.- Francobordo	17
1.2.4.- Relaciones funcionales	17
Capítulo 2. Generación de las formas	19
2.1.- Estudio de las formas	20
2.1.1.- Forma de las cuadernas.....	20
2.1.2.- Forma del fondo	21
2.1.3.- Astilla muerta.....	21
2.1.4.- Codillo	22
2.1.5.- Conclusiones	22
2.2.- Generación de las formas	22
Capítulo 3. Potencia y motorización.....	25
3.1.- Consideraciones previas	26
3.2.- Estimación de coeficientes	26
3.3.- Método de Mercier-Savitsky	29
3.4.- Maxsurf Resistance	30
3.5.- Resultados	31
3.6.- Selección del motor.....	31
3.6.1.- Volvo Penta IPS	32
3.6.2.- Planta propulsora convencional	33
3.6.3.- Conclusión	36
Capítulo 4. Equipos y servicios	39
4.1.- Orden FOM 1144.....	40
4.2.- Elementos de salvamento	41
4.3.- Luces y marcas de navegación.....	42
4.4.- Líneas de fondeo	44
4.5.- Material náutico	46
4.6.- Material de armamento diverso	47
4.7.- Medios de conrainscendios	47
4.8.- Medios de achique	49
4.9.- Sistema de prevención de vertidos	50

4.9.1.- Descarga de aguas sucias.....	51
4.10.- Sistema de agua dulce	51
4.11.- Sistema de combustible	52
4.12.- Prevención de caídas y reembarque	52
4.12.1.- Superficie antideslizante	53
4.12.2.- Asideros	53
4.12.3.- Barandilla.....	54
4.12.4.- Medios de reembarque.....	54
4.13.- Equipos de radiocomunicaciones	54
Capítulo 5. Escantillonado	55
5.1.- Disposición estructural.....	56
5.2.- Materiales	57
5.2.1.- Tejidos de fibra de vidrio.....	57
5.2.2.- Resinas.....	58
5.2.3.- Materiales de núcleo.....	59
5.3.- Escantillonado.....	61
5.3.1.- Datos iniciales	61
5.3.2.- Evaluación de las propiedades del laminado	63
5.3.3.- Cálculo de las presiones de diseño	64
5.3.4.- Fondo.....	67
5.3.5.- Costados.....	72
5.3.6.- Cubierta	75
5.3.7.- Mamparos	77
5.3.8.- Refuerzos	85
Capítulo 6. Disposición General.....	96
6.1.- Cubierta superior.....	97
6.1.1.- Solarium proa.....	97
6.1.2.- Puente de gobierno	98
6.1.3.- Terraza.....	98
6.1.4.- Plataforma baño	98
6.2.- Cubierta interior	98
6.2.1.- Camarote doble de proa	99
6.2.2.- Camarote individual	99
6.2.3.- Cuarto de baño común.....	99
6.2.4.- Cocina.....	99
6.2.5.- Camarote principal	100

6.2.6.- Compartimento de los motores	100
6.3.- Planos de disposición general	100
Capítulo 7. Cálculos de Arquitectura Naval.....	101
7.1.- Arqueo.....	102
7.2.- Estimación de pesos y cálculo del centro de gravedad.....	103
7.2.1.- Peso de la estructura:.....	103
7.2.2.- Peso de la maquinaria.....	104
7.2.3.- Fondeo y amarre.....	105
7.2.4.- Servicios	105
7.2.5.- Habilitación.....	106
7.2.6.- Carga	108
7.3.- Estudio de estabilidad.....	109
7.3.1.- Condiciones de carga.....	111
7.3.2.- Inundación	111
7.3.3.- Ensayo de compensación de pesos	114
BIBLIOGRAFIA	118
ANEXOS.....	121



Capítulo 1. Dimensionamiento Preliminar

Uno de los métodos más comunes a la hora de comenzar con el diseño de una embarcación es el de conseguir unas características principales preliminares a partir del estudio estadístico de otras embarcaciones ya construidas y con características similares a las que se pretende llegar.

Así, se ha realizado una base de datos formada por 41 embarcaciones cuyas esloras están comprendidas entre 8,24 y 21,58 metros, todas ellas formando parte del mercado actualmente.

La base de datos debe contener el mayor número de características posibles de todas las embarcaciones que la forman. A pesar de que se ha pretendido obtener todas las características de las embarcaciones, ha resultado imposible debido a que los astilleros guardan la mayoría de la información con gran recelo. Así, se han dejado fuera algunas de las embarcaciones de la base de datos a la hora de realizar ciertas regresiones ya que no se contaba con el dato en cuestión.

Como se ha comentado anteriormente, el principal requisito a cumplir en el presente trabajo, es el de no superar los 15 metros de eslora. Por tanto, y para tratar de maximizar el espacio del que se dispondrá, se tomará este valor como base para el cálculo de las regresiones.

1.1.- Cifra de mérito

La cifra de mérito es la característica o valor que se trata de optimizar a la hora de realizar el proyecto, pudiendo interesar maximizarla o minimizarla en función de la que se trate.

En la mayoría de buques, a no ser que se trate de un caso muy específico, se toma como cifra de mérito alguna cuestión económica (coste de construcción mínimo, inversión total mínima, flete requerido mínimo...), ya que no se debe olvidar que uno de los objetivos del proyectista es el de proyectar y permitir la construcción del buque al menor coste posible.

Sin embargo, en este caso, ya que no se va a llevar a cabo el presupuesto del proyecto, se dará prioridad a la comodidad y el disfrute de los pasajeros. De esta forma, se tratará de maximizar el área de cubierta a partir, por ende, de maximizar eslora y manga.

De esta manera, como se ha mencionado anteriormente que el principal requisito a cumplir en el presente trabajo es el de no superar los 15 metros de eslora, será éste el valor que se tomará como valor base a la hora de proceder con el estudio estadístico y, por tanto, será nuestra cifra de mérito.

1.2.- Estudio estadístico

2.2.1.- Nomenclatura utilizada

Las abreviaturas que se utilizarán en los apartados siguientes, correspondiente a diferentes dimensiones y características de la embarcación están reflejadas en la Tabla 1:

Tabla 1. Abreviaturas utilizadas

Eslora total	LOA
Eslora del casco	LH
Eslora de la flotación a máxima carga	Lg
Manga máxima	B
Calado máximo	T
Peso en rosca	PR
Peso en plena carga	Pmax
Capacidad de combustible	Cc
Capacidad agua dulce	Cad
Capacidad aguas negras	Can
Autonomía	Au
Velocidad máxima	Vmax
Velocidad de crucero	Vc
Potencia	Pot

1.2.2.- Regresiones

Las regresiones realizadas y los datos obtenidos a partir de las mismas, que constituirán las características de partida de la embarcación, son los siguientes:

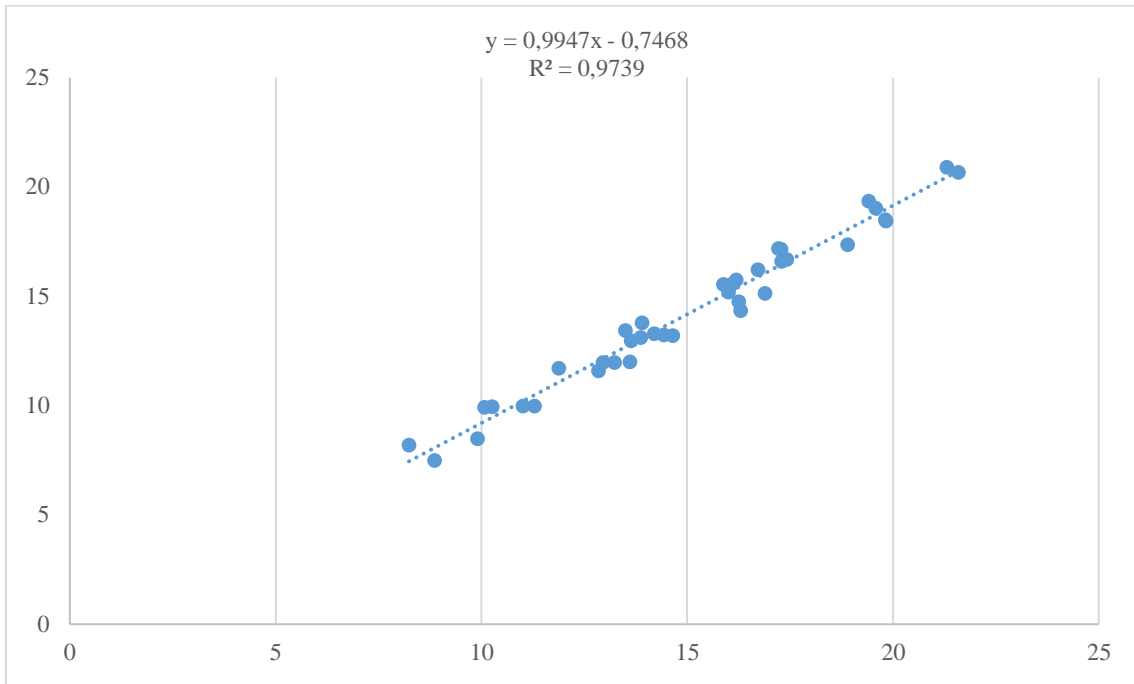


Gráfico 1. Eslora total - Eslora del casco

$$LH = 0,9947 * 15 - 0,7468 = 14,1737 \text{ m} \quad (1)$$

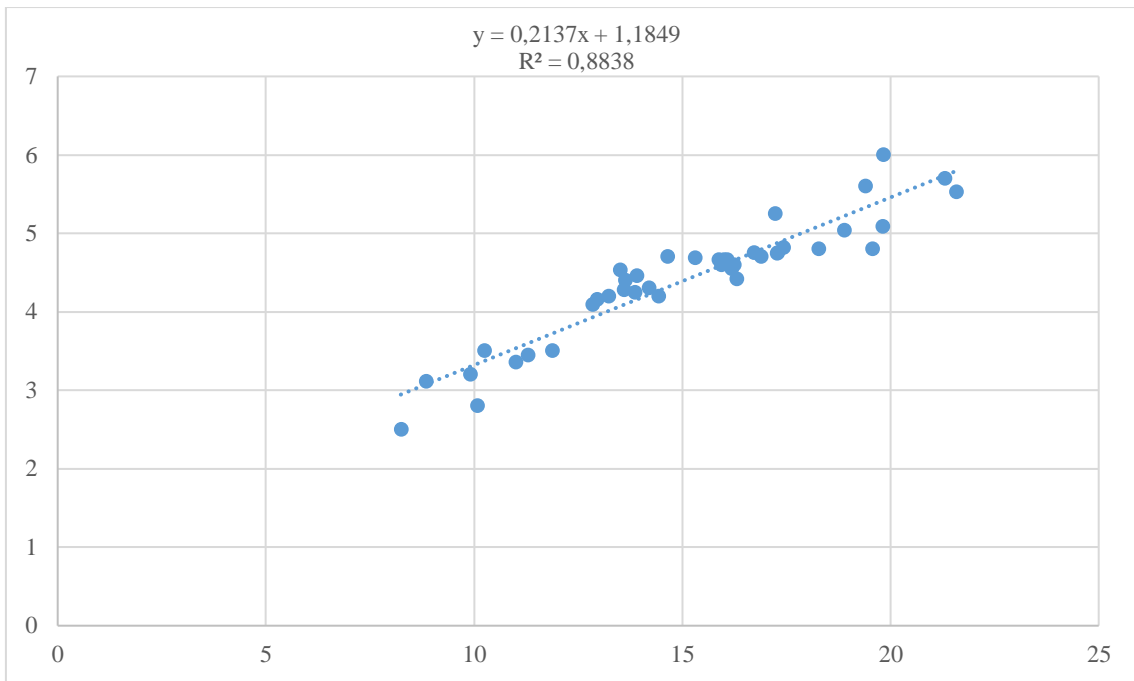


Gráfico 2. Eslora total - Manga

$$B = 0,2137 * 15 + 1,1849 = 4,3904 \text{ m} \quad (2)$$

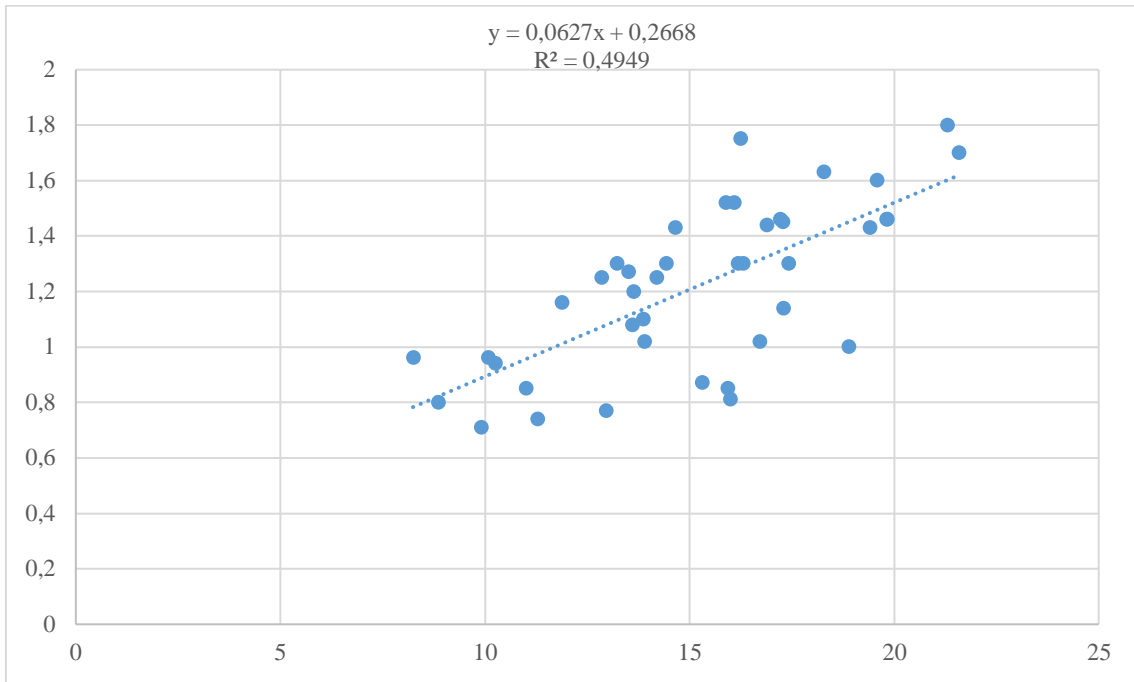


Gráfico 3. Relación Eslora total – Calado

Como el valor del índice de correlación es muy bajo, 0,4949, se intentará estimar el calado a partir de otra regresión, esta vez utilizando el peso a plena carga.

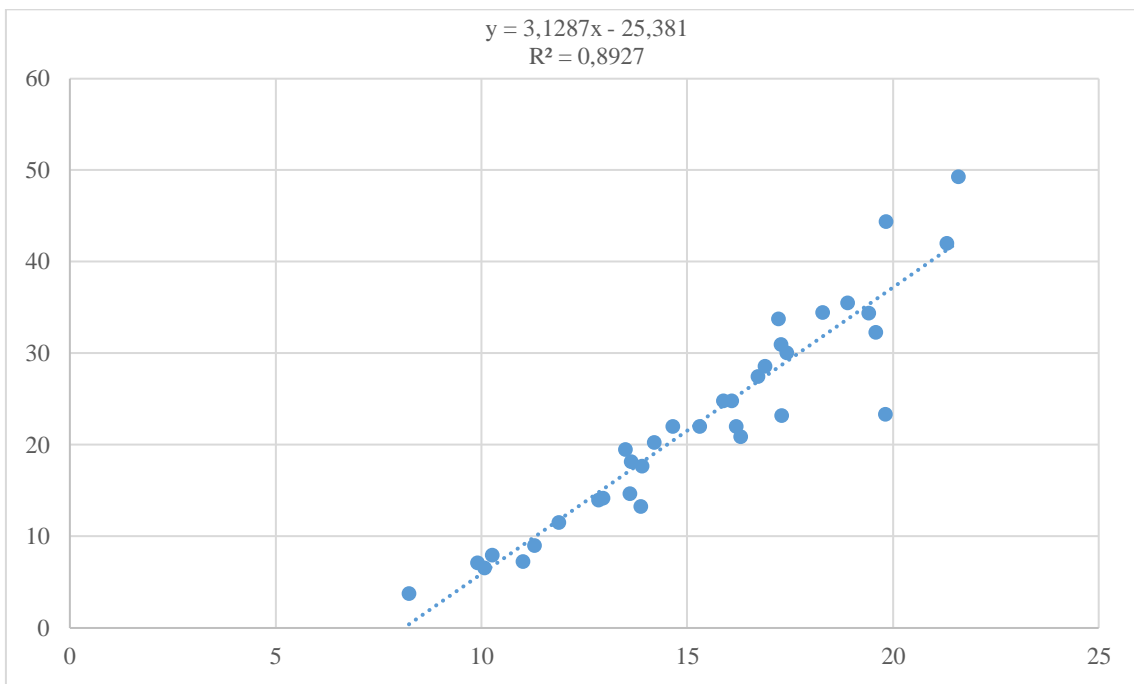


Gráfico 4. Relación Eslora Total - Peso máximo

$$P_{max} = 3,1287 * 15 - 25,381 = 21,5495 \text{ t} \quad (3)$$

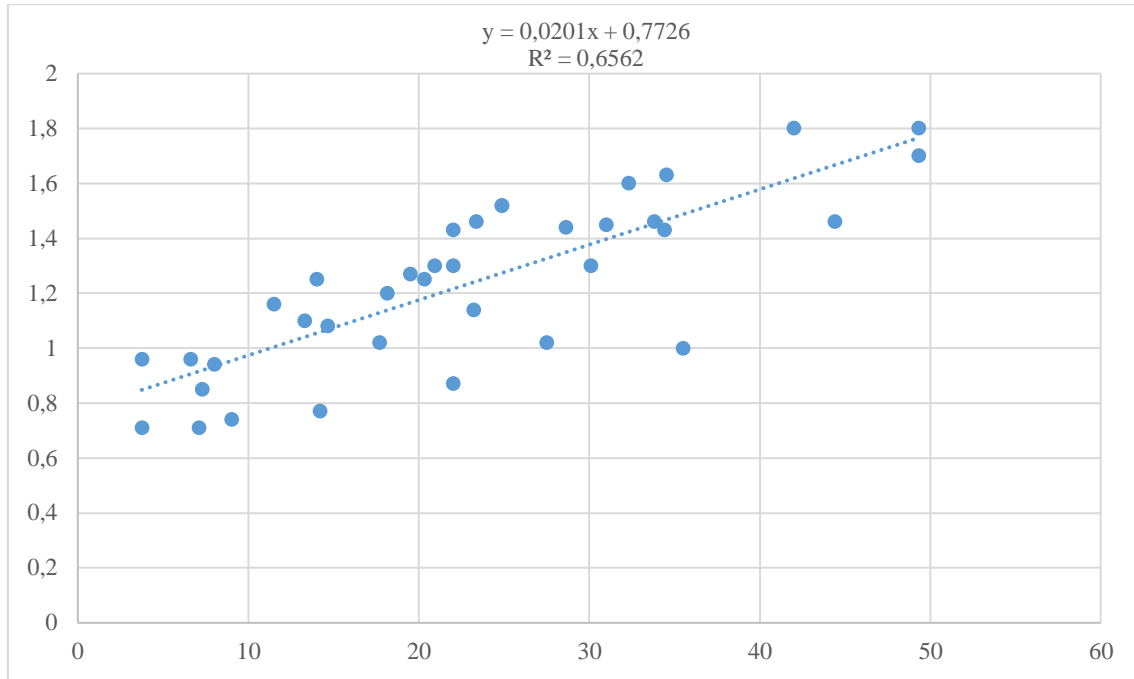


Gráfico 5. Peso máximo – Calado

$$T = 0,0201 * 21,5495 + 0,7726 = 1,2057 \text{ m} \quad (4)$$

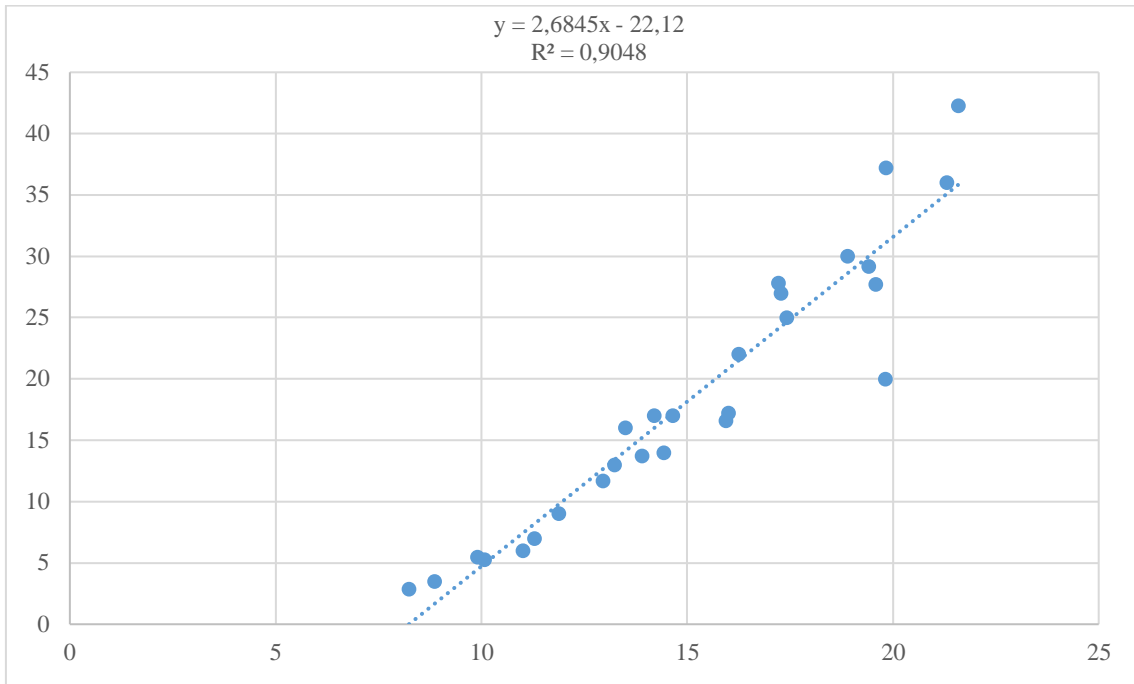


Gráfico 6. Eslora total - Peso en rosca

$$P_{rosca} = 2,6845 * 15 - 22,12 = 18,1475 t \quad (5)$$

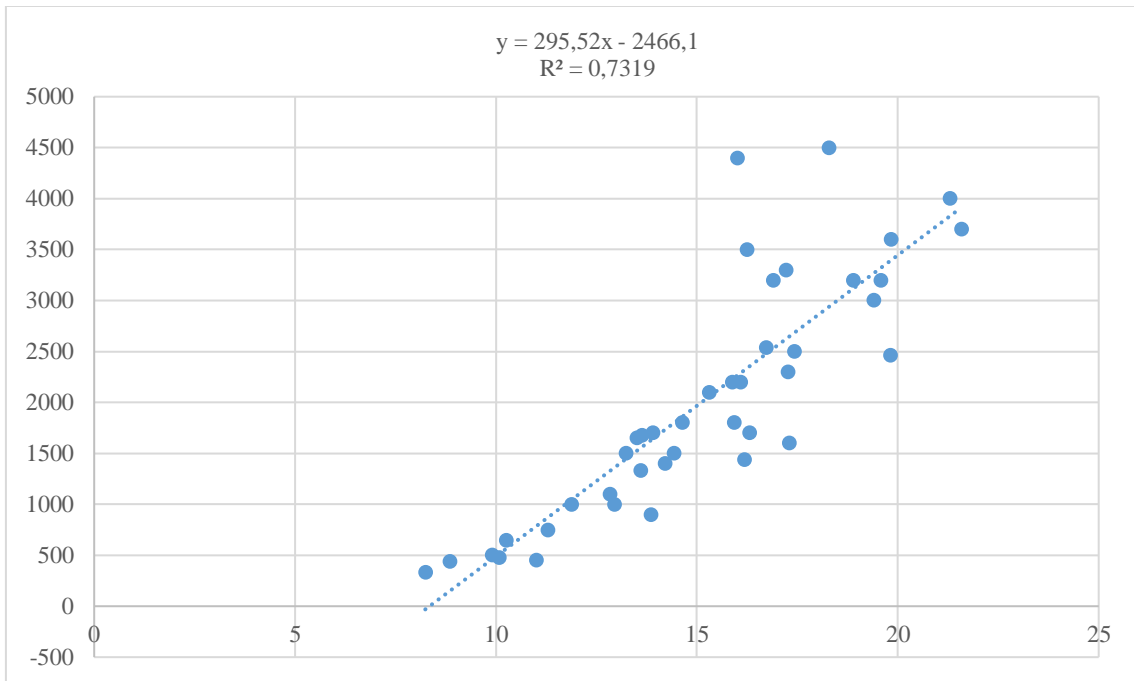


Gráfico 7. Eslora total - Capacidad de combustible

$$Cc = 295,52 * 15 - 2466,1 = 1966,7 l \quad (6)$$

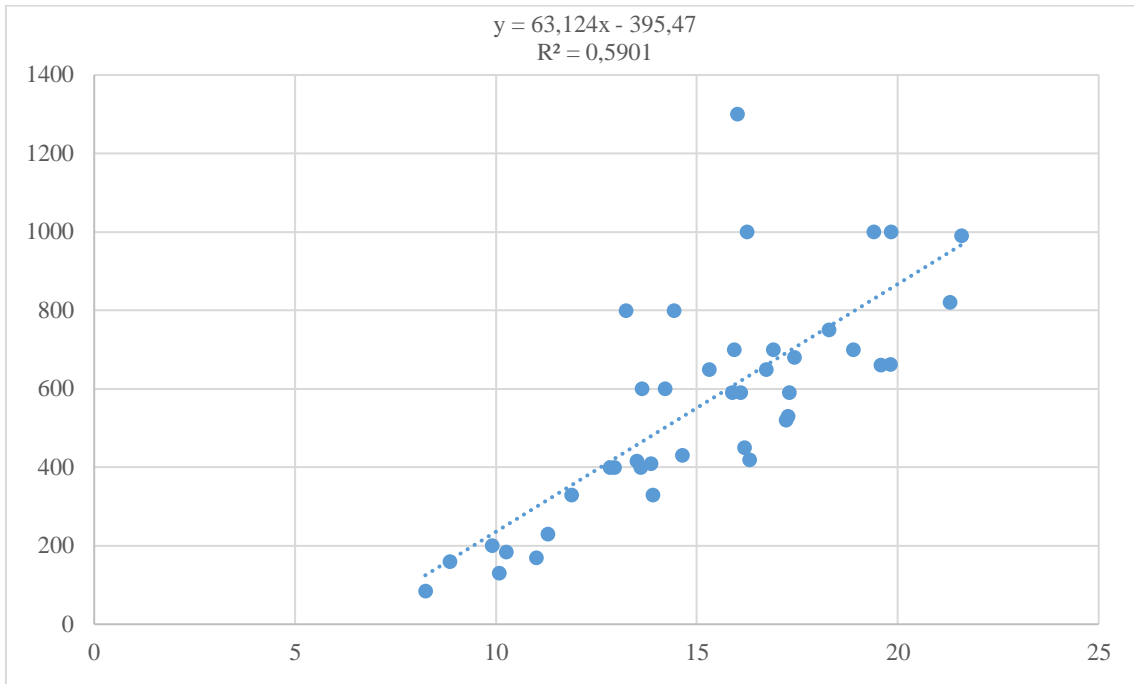


Gráfico 8. Eslora total - Capacidad de agua dulce

Al igual que en el caso del calado, al no ser el índice de correlación muy elevado, se realiza otra regresión relacionando la capacidad de agua dulce con el peso a plena carga.

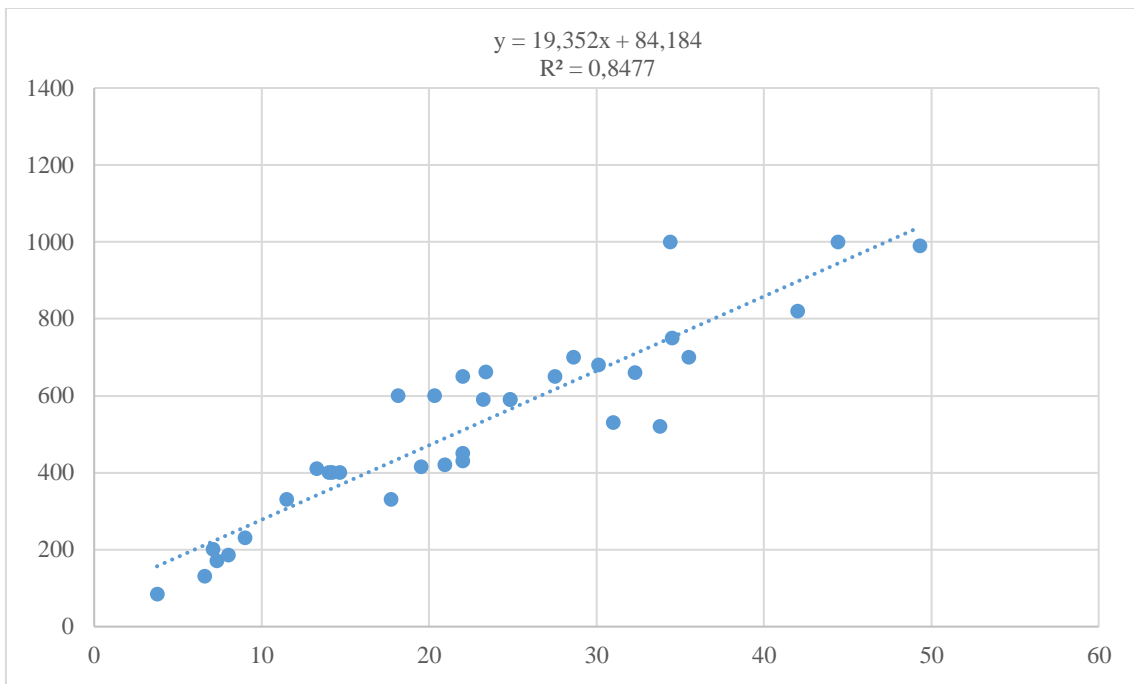


Gráfico 9. Peso máximo - Capacidad de agua dulce

$$Cad = 19,352 * 21,5495 * 84,184 = 501,2099 \text{ l} \quad (7)$$

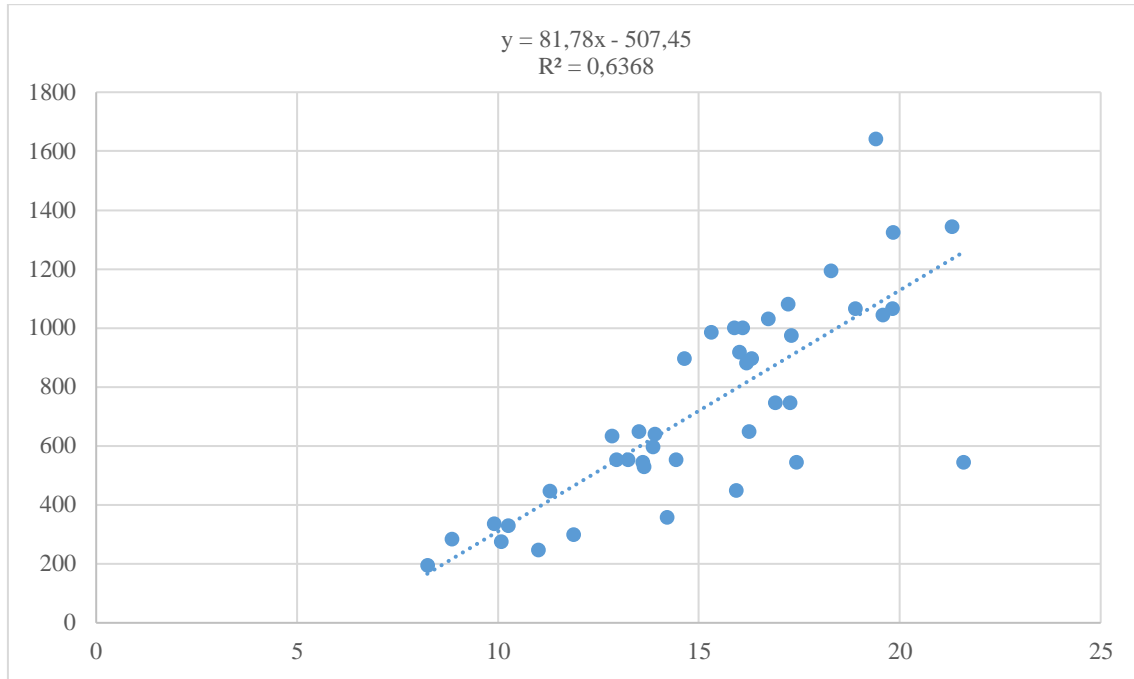


Gráfico 10. Eslora total – Potencia

$$Pot = 81,78 * 15 - 507,45 = 719,25 \text{ kw} \quad (8)$$

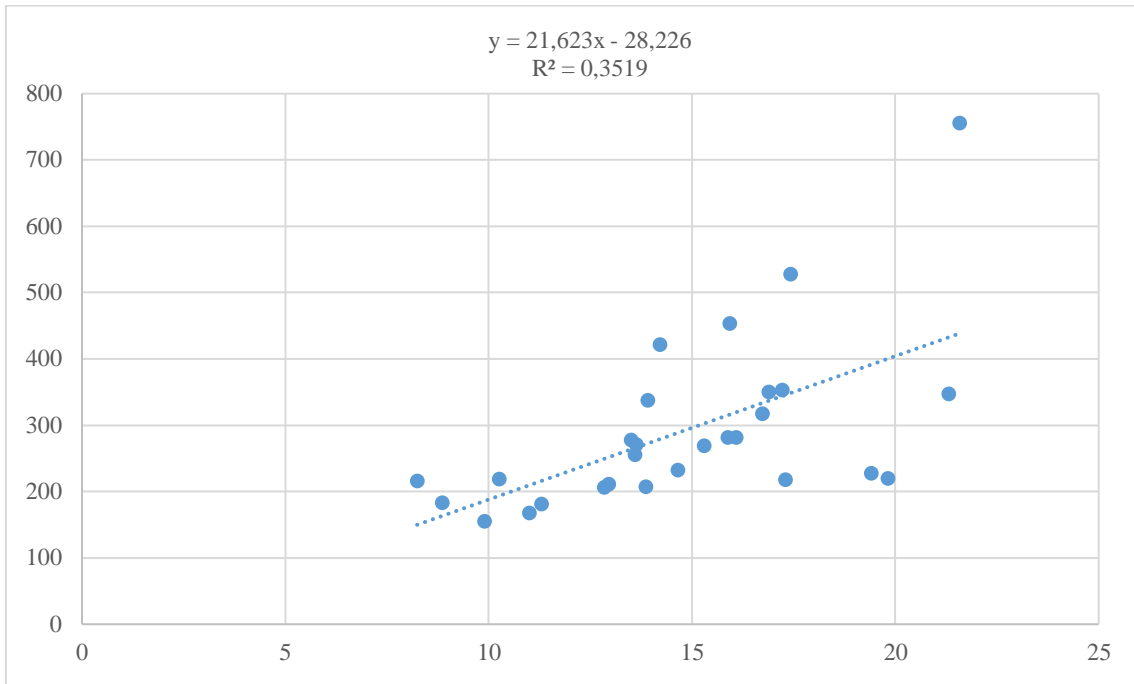


Gráfico 11. Eslora total - Autonomía

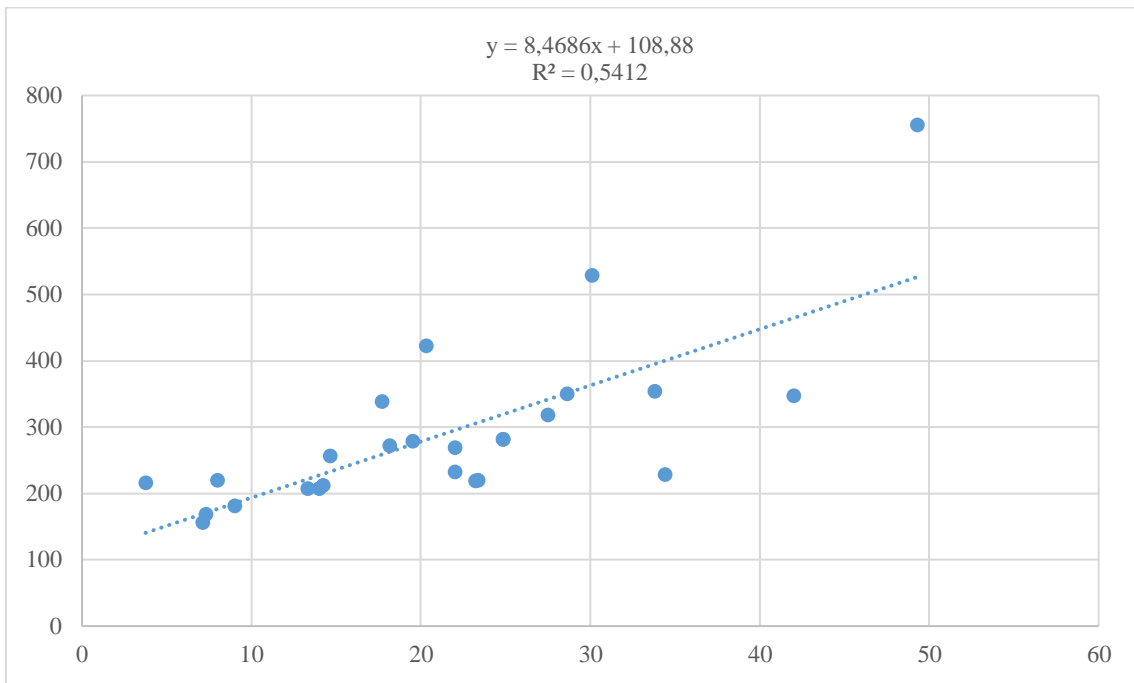


Gráfico 12. Peso máximo – Autonomía

Para intentar mejorar el coeficiente de correlación, se relaciona la potencia con el cociente entre el peso máximo y la potencia. Siendo este cociente igual a 0,030, se obtiene:

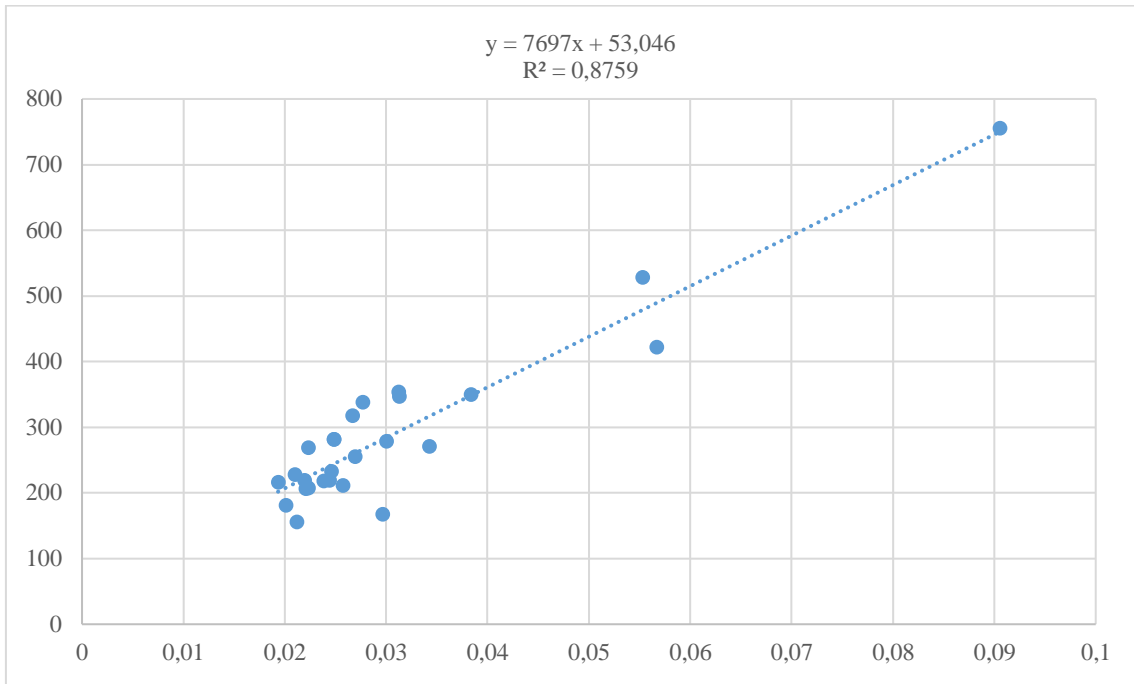


Gráfico 13. Peso máximo/Potencia – Autonomía

$$Au(V_{max}) = 7697 * 0,02996107 + 53,046 = 283,65636 \text{ mn} \quad (10)$$

Así, los datos obtenidos de la base de datos son los mostrados en la Tabla 2:

Tabla 2. Características preliminares 1

Eslora total (m)	15
Eslora del casco (m)	14,174
Manga máxima (m)	4,390
Calado máximo (m)	1,206
Peso en rosca (t)	18,148
Peso máximo (t)	21,551
Capacidad de combustible (m)	1966,700
Capacidad de agua dulce (m)	501,210
Potencia (kW)	719,250
Autonomía (mn)	283,656

En el Anexo 1 se pueden consultar los datos de todas las regresiones utilizadas. Además, en la bibliografía se facilitan los datos de los sitios web que se han utilizado para crear la base de datos.

1.2.3.- Francobordo

Para tener una magnitud aproximada del puntal, siendo éste la suma del calado y el francobordo, según la circular 7/95 el francobordo medio no puede ser inferior a $0.2 \cdot B$.

Entendiendo como francobordo la distancia vertical medida en el costado, desde la cara superior del trancanil o línea de cubierta hasta la línea de agua en condición de máxima carga. Si existe un punto por debajo de la línea de cubierta por donde pueda producirse inundación progresiva, se tomará éste como el límite de la distancia a medir.

Así pues, el francobordo medio mínimo será:

$$f_{\text{medio mínimo}} = 0,2 \cdot B = 0,2 \cdot 4,3904 = 0,878 \text{ m} \quad (11)$$

Resultando un puntal mínimo de:

$$H = f + T = 0,87808 + 1,2057 = 2,084 \text{ m} \quad (12)$$

1.2.4.- Relaciones funcionales

Con el objetivo de comprobar con mayor seguridad que los valores obtenidos en el estudio estadístico no difieren en exceso de la realidad actual, se calculan relaciones entre dimensiones y características, de todas las embarcaciones de la base de datos y de la de este trabajo fin de grado.

Las relaciones que se han tenido en cuenta son:

- LOA/B
- LOA/T
- B/T
- Pmax/LOA
- Pmax/Pot
- Pot/Cc
- Pot/Cad.

Así, de cada una de estas relaciones se han sacado el máximo y mínimo de entre todas las embarcaciones de la base de datos, para así comprobar que las relaciones de la embarcación se encuentran dentro de los límites. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Relaciones funcionales base de datos

	LOA/B	LOA/T	B/T	Pmax/LOA	Pmax/Pot	Pot/Cc	Pmax/Cad
Máx	4,077	19,753	5,753	2,285	0,091	0,671	2,309
Mín	2,846	8,583	2,604	0,455	0,019	0,147	0,550

Una vez calculados los valores máximos y mínimos, solamente resta comprobar si los valores calculados con las características obtenidas a partir del estudio estadístico no sobrepasan los límites que marca la base de datos. Los valores de las relaciones funcionales de la embarcación que se está proyectando están recogidos en la Tabla 4:

Tabla 4. Relaciones funcionales propias

	LOA/B	LOA/T	B/T	Pmax/LOA	Pmax/Pot	Pot/Cc	Pmax/Cad
Buque	3,417	12,424	3,637	1,437	0,030	0,366	1,435

Con lo que se observa que los valores de las relaciones del presente trabajo fin de grado están dentro de los límites establecidos por las embarcaciones de la base de datos. Esto permite afirmar que ninguno de los valores hallados en el estudio estadístico posee un error excesivo.

Así, los datos obtenidos se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5. Características preliminares 2

Eslora total (m)	15
Eslora del casco (m)	14,170
Manga máxima (m)	4,390
Calado máximo (m)	1,206
Francobordo (m)	0,878
Puntal (m)	2,084
Peso en rosca (t)	18,148
Peso máximo (t)	21,550
Capacidad de combustible (l)	1.966,700
Capacidad de agua dulce (l)	501,210
Potencia (kW)	719,250
Autonomía (Au)	283,656 mn

Cabe recordar que estos valores son solamente orientativos, ya que se han sacado mediante formas estadísticas que poseen un cierto error. Por ello, y a pesar de que se pretenderá distanciarse lo menos posible de ellos, es muy probable que varíen a lo largo del proyecto.



Capítulo 2. Generación de las formas

La generación de las formas de la embarcación es una fase de vital importancia dentro del proyecto puesto que está íntimamente ligada a otras muchas fases del mismo. Las formas de la carena influyen directamente en varios de los aspectos más importantes del barco, como puede ser la estabilidad, la potencia necesaria o la posición del centro de gravedad.

Para poder realizar correctamente la tarea de generar unas formas adecuadas para la embarcación, es necesario realizar un estudio previo del efecto que tiene la variación de las distintas formas. Todo ello con el fin de determinar qué parámetros y formas es conveniente elegir para cada proyecto.

2.1.- Estudio de las formas

2.1.1.- Forma de las cuadernas

Principalmente, para embarcaciones de recreo, se distinguen dos tipos de cuadernas, las de forma de U y las de forma de V. Para realizar un correcto análisis de la conveniencia de unas u otras, se dividirá su estudio en las zonas de proa y popa, indicando las ventajas e inconvenientes que presenta cada tipo de cuaderna en cada una de las zonas mencionadas.

- Proa

Las cuadernas en U son más llenas y tienen más tendencia a producir “slamming” o pantocazos al navegar con mal tiempo de proa, reduciendo así la velocidad y provocando sobreesfuerzos en la estructura de proa. Se suelen utilizar en buques grandes de carga, ya que aumentan la capacidad y reducen los problemas de comportamiento en la mar, sufriendo menos los efectos del mal tiempo.

Las cuadernas en V en la zona de proa suelen utilizarse en embarcaciones rápidas que son más afectadas por el mal tiempo. Con el afinamiento de las formas se consigue mejorar este comportamiento, permitiendo que la embarcación pase mejor las olas de proa.

- Popa

Al ser más llenas, las cuadernas en U son peores hidrodinámicamente hablando ya que aumentan la resistencia de presión de origen viscoso. También pueden producir grandes turbulencias.

Desde éste punto de vista, las cuadernas en V son mejores debido a que el flujo pasa perpendicularmente a ellas. Como contraparte, pueden causar que la hélice trabaje mal y produzca vibraciones y dar problemas en la configuración de la estela.

Para llegar a una solución de compromiso entre ambas se pueden diseñar cuadernas U-V, que consisten en una forma intermedia entre los dos tipos.

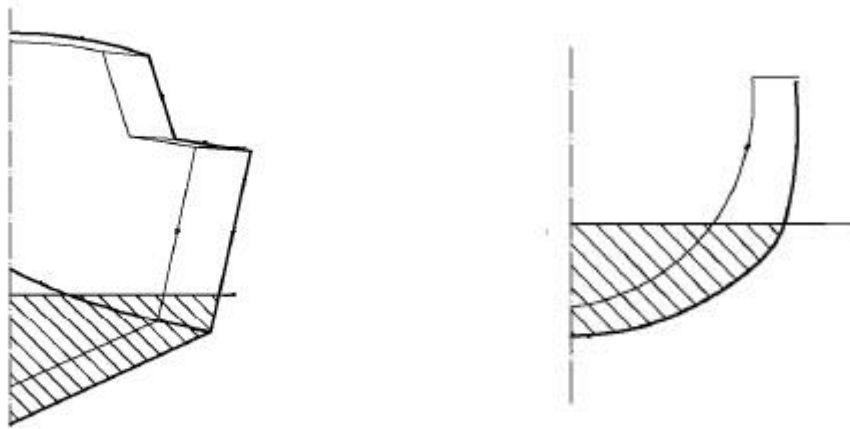


Ilustración 1. Cuadernas en V/Cuadernas en U

2.1.2.- Forma del fondo

Este apartado se refiere a la forma del fondo de la embarcación en el sentido longitudinal. Principalmente se pueden destacar tres tipos de fondos: cóncavo, convexo y recto.

El fondo con forma cóncava ofrece un mejor rendimiento de planeo a baja velocidad y provoca un movimiento descendente de la proa al aumentar la velocidad. El punto de máxima presión se encuentra muy a popa.

El fondo convexo ofrece un mayor rendimiento al aumentar la velocidad acompañado de un movimiento ascendente de la proa. La posición del punto de máxima presión se encuentra muy a proa.

Finalmente, el fondo recto posee buen rendimiento tanto a bajas como a altas velocidades, produciendo un movimiento horizontal de la proa. El punto de máxima presión se encuentra muy centrado.

2.1.3.- Astilla muerta

La mejor forma de la carena para obtener el mayor rendimiento de las fuerzas hidrodinámicas es el de la placa plana, pero una embarcación con fondo plano tiene una muy baja capacidad de maniobra y un mal comportamiento con mal tiempo, experimentando excesivos impactos y aceleraciones.

La astilla muerta, o ángulo de astilla muerta, es la elevación del fondo del casco sobre el plano de la quilla medida en la semimanga. Ésta, cuanto mayor es, mejor

comportamiento proporciona a la embarcación debido a que disminuye en gran medida los efectos dinámicos. El inconveniente, como ocurre con las cuadernas en V, es que un excesivo ángulo de astilla muerta reduce el empuje, aumentando por tanto la superficie mojada y la resistencia al avance.

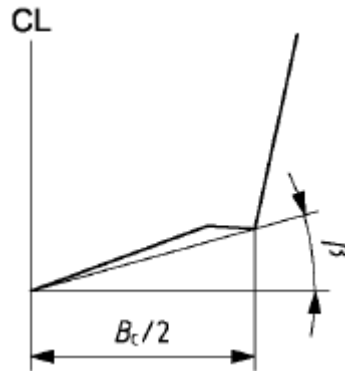


Ilustración 2. Ángulo de astilla muerta

2.1.4.- Codillo

El codillo es un detalle constructivo que recorre el casco del buque desde la roda hasta el espejo de popa. Constituye la transición fondo-costado y proporciona a la embarcación una sección del área de planeo constante.

Generalmente, tiene una posición más elevada en la proa del buque, donde se junta con la roda, y va descendiendo conforme se acerca a la popa de la embarcación.

2.1.5.- Conclusiones

Se proyectará una embarcación con ángulo de astilla muerta variable, siendo éste decreciente en la dirección proa-popa y utilizando cuadernas con forma de V en la zona de proa, con el fin de mejorar el comportamiento de la embarcación con mal tiempo y su gobernabilidad, y pasando a utilizar cuadernas con forma U-V hacia la zona de popa.

En cuanto a la forma del fondo del casco, se proyectará con fondo recto debido a que es la que más disminuye la superficie mojada cuando aumenta la velocidad y ofrece buenos rendimientos tanto a bajas como a altas velocidades.

2.2.- Generación de las formas

Para la creación de las formas deseadas, y como la generación partiendo desde cero resultaría un trabajo excesivo, se parte de los planos de forma de un buque con características en las formas similares a las mencionadas anteriormente.

Concretamente, se toman como referencia los planos de forma de embarcaciones similares extraídos de otros Trabajos Fin de Grado.

Para la generación de las nuevas formas se ha utilizado el programa de diseño Rhinoceros. En éste, y como se ha comentado con anterioridad, se cargan los planos de formas del buque de referencia, a partir de los cuales se comienzan a modelizar las formas que formarán el buque objeto de este Trabajo Fin de Grado, adaptándolas en dimensiones y características.

Una vez finalizada la primera etapa de generación de formas y al comprobar las características hidrostáticas, se observa que el casco ofrece un desplazamiento de más de 40 toneladas. Teniendo en cuenta los valores estimados, resulta claramente excesivo para una embarcación de las dimensiones consideradas y, como ya desde un principio el valor del calado resultaba algo elevado, se decide disminuir éste. Para ello, al querer aprovechar al máximo las ventajas y características del codillo, se disminuye la altura del mismo modificando las formas del casco.

Tras la disminución de altura del codillo, se observa que queda a una altura de aproximadamente 0,850 m. Por tanto, estimando un calado de 0,90 m, las características hidrostáticas que se obtienen son las expuestas en la Tabla 6:

Tabla 6. Características hidrostáticas

Magnitud	Valor
Desplazamiento (t)	31,520
Volumen desplazado (m ³)	30,747
Calado (m)	0,9
Eslora en la flotación (m)	13,537
Manga en la flotación (m)	4,218
Superficie mojada (m ²)	62,437
Área de la maestra (m ²)	2,985
Área de la flotación (m ²)	48,534
Coefficiente prismático	0,761
Coefficiente de bloque	0,598
Coefficiente de la maestra	0,787
Coefficiente de la flotación	0,850
Posición longitudinal del centro de carena (m)	5,433
Posición longitudinal del centro de la flotación (m)	5,917
LCB %	40,134
LCF %	43,709
Posición vertical del centro de carena (m)	0,555
Brazo metacéntrico transversal (m)	2,021
Brazo metacéntrico longitudinal (m)	19,607
KMt (m)	2,576
KML (m)	20,162
Toneladas por centímetro de inmersión	0,497
MTC	0,424

Como puede observarse, la disminución de calado con el rediseño de las formas origina un descenso en el desplazamiento hasta las 30,74 toneladas, lo que ya se aproxima a un valor más adecuado a las dimensiones en cuestión.

Se recuerda también, que ya se comentó que se trataría de optimizar el área de los espacios para dar una mayor sensación de amplitud y comodidad. Por ello, los espacios situados por debajo de la cubierta principal deberán tener la cubierta, como mínimo, por encima del codillo o la manga no sería suficiente para poder proveer a la embarcación del confort necesario. Por esta razón se decide elevar el puntal del buque, modificación que no influye en las hidrostáticas mostradas, para que quede una altura para las estancias bajo la cubierta principal de dos metros, altura que se considera suficiente para el correcto diseño de las mismas.

Finalmente, y tras todas las consideraciones y modificaciones comentadas, el plano de formas de la embarcación es el siguiente:

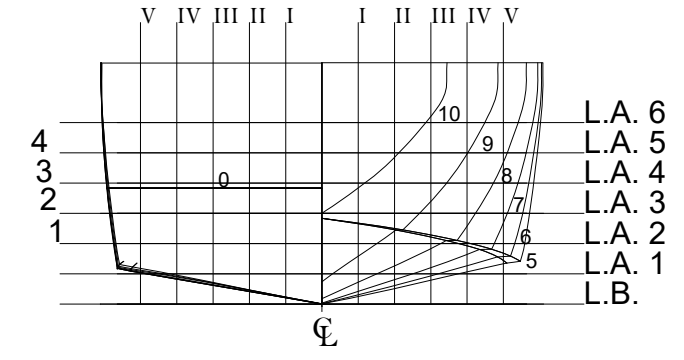
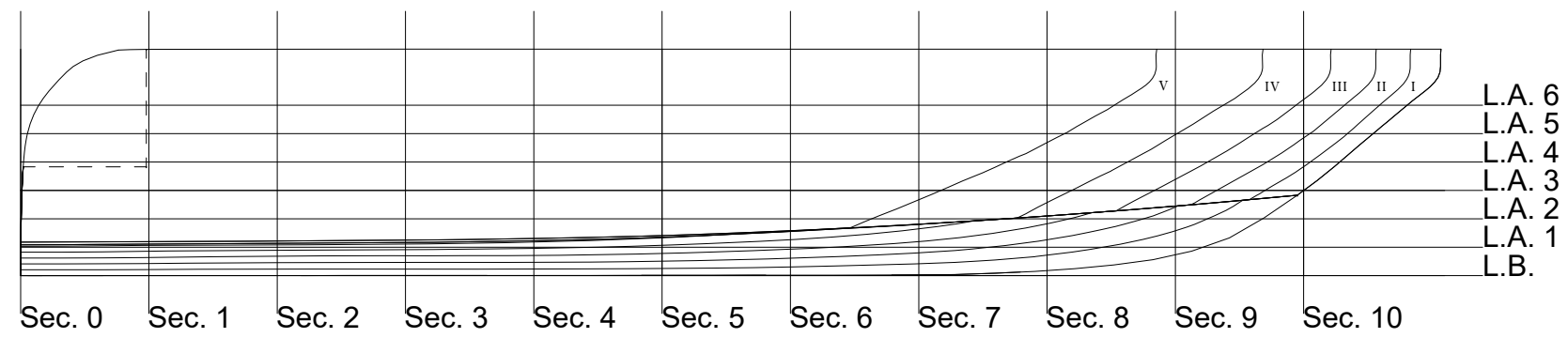
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A

A

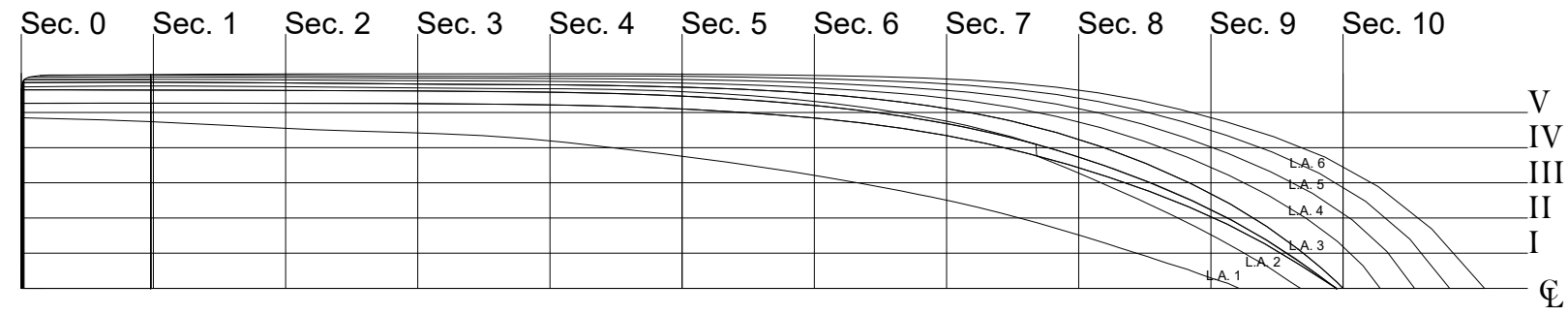
B

B



C

C



Eslora total	15,000 m
Eslora en la flotación	13,540 m
Manga de trazado	4,220 m
Puntal a cubierta ppal	2,390 m
Calado de trazado	0,900 m
Separación cuadernas	1,355 m
Separación longitudinales	0,360 m
Separación líneas de agua	0,300 m

D

D

E

E

Anteproyecto embarcación de recreo		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
Borja Girona Berná		
Escala 1:75	Fecha 22-03-2019	Plano de formas

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



Capítulo 3. Potencia y motorización

El objetivo principal del presente capítulo es el de calcular y definir la planta propulsora del buque. Para ello, se realizará una estimación de la potencia necesaria, así como de la máxima velocidad alcanzada por la embarcación utilizando dicha potencia.

Estas estimaciones, al no tratarse de una embarcación de planeo, se llevarán a cabo utilizando el método de Mercier-Savitsky (tanto programado “a mano” como a través de Maxsurf Resistance). Éste método es apto para calcular la resistencia al avance en buques tanto en condición de desplazamiento como en condición de preplaneo, condición que no se superará.

Así, una vez calculadas la resistencia al avance que ofrece la embarcación y, por tanto, la potencia necesaria para vencerla, se procederá a la elección de motor o motores necesarios.

3.1.- Consideraciones previas

A pesar de que actualmente existan en el mercado numerosas opciones a la hora de propulsar cualquier tipo de embarcación (hélice convencional, waterjet, azimut, etc.), se tomará la opción de utilizar hélice convencional como medio de propulsión, más común y sencilla.

En lo que al motor se refiere, podemos contemplar dos opciones: intraborda y fueraborda. Cada uno de estos tipos de motor cuenta con una serie de ventajas e inconvenientes con respecto al otro. Finalmente, se escoge el motor intraborda debido a que, como ya hemos comentado, se intenta maximizar el área de cubierta para dar un mayor confort y sensación de amplitud; pero los motores fueraborda ocupa un espacio extra en la popa de la embarcación que puede traducirse en cierta incomodidad para los tripulantes.

En cuanto al número de plantas propulsoras, aunque la opción menos complicada sería la de instalar una única línea de ejes, existen varias razones que aconsejan la división de la potencia en dos líneas, las más importantes son:

- Maniobrabilidad
- Seguridad
- Calado

Por lo tanto, se considera que la potencia propulsiva del buque estará dividida en dos motores intraborda, con hélice convencional como medio de propulsión.

3.2.- Estimación de coeficientes

Para poder dar un valor de la potencia que se necesita en motores para propulsar al buque es necesario aplicar el rendimiento propulsivo. Éste relaciona la potencia efectiva para el movimiento del buque a una determinada velocidad (EHP) con la potencia

que entrega el motor (BHP), teniendo en cuenta todas las pérdidas que se producen desde la salida de dicha potencia hasta tener lugar el movimiento real del buque. Además, el rendimiento propulsivo está formado por una serie de rendimientos que se estimará a continuación.

$$\eta_P = \eta_M * \eta_D = \eta_M * \eta_H * \eta_B = \eta_M * \eta_H * \eta_R * \eta_0 \tag{13}$$

En primer lugar (según Donald L. Blount, & David L. Fox (1976). *Small-Craft Power Prediction*) el rendimiento mecánico (η_M) de la planta varía desde 0.93 hasta 0.97 en función del tamaño y la velocidad de la embarcación. A partir de estas indicaciones, se toma un valor medio del rendimiento mecánico de 0,95.

El rendimiento de la carena (η_H) es función de los coeficientes de estela (w) y succión (t), los cuales se estiman a partir de:

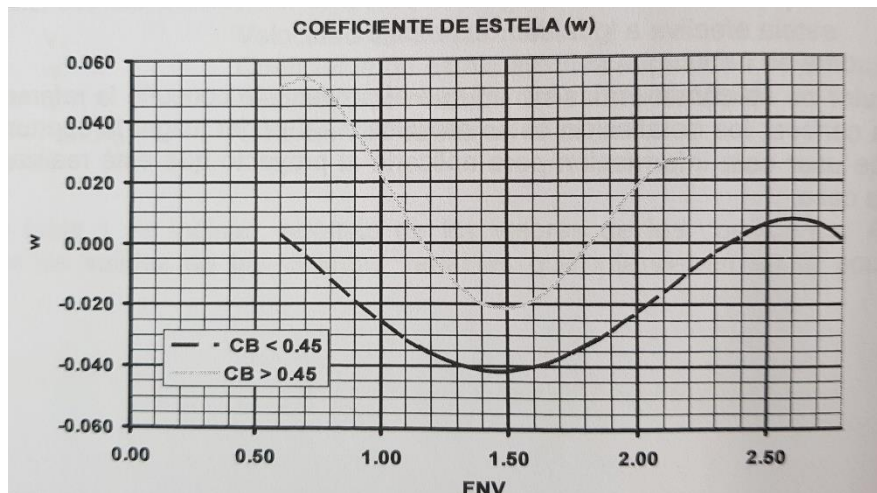


Ilustración 3. Estimación del coeficiente de estela

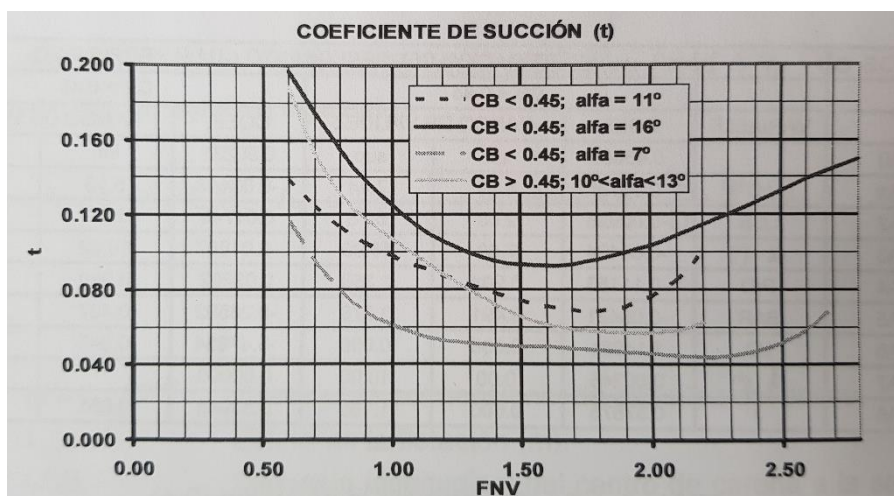


Ilustración 4. Estimación del coeficiente de succión

Suponiendo $w=0$ y $t=0,085$, aproximadamente. Por lo tanto:

$$\eta_H = \frac{1 - t}{1 - w} = 0,942 \quad (14)$$

El coeficiente rotativo-relativo (η_R) también se halla de la misma referencia.

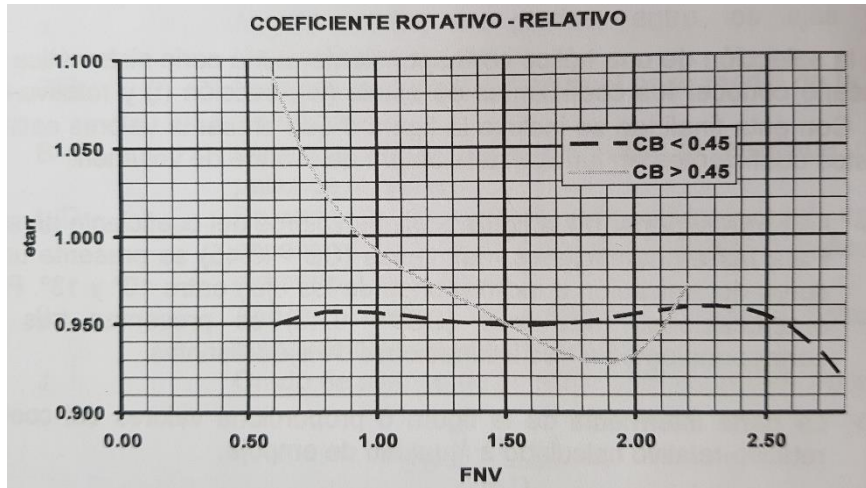


Ilustración 5. Estimación del rendimiento rotativo-relativo

Resultando $\eta_R=0,928$.

Por último, el coeficiente del propulsor aislado (η_0) es función de la hélice utilizada, por lo que su cálculo se realiza a partir de la potencia efectiva estimada por el método de Mercier-Savitsky, cuya obtención se explicará en el siguiente apartado. Así, se tiene una potencia efectiva EHP=264,80 CV (dividiendo la potencia en dos motores como se ha mencionado con anterioridad). Para poder calcular este rendimiento se necesita primero estimar una serie de datos previos para poder comenzar los cálculos, teniendo así:

- Diámetro máximo del propulsor, $D = 0,7$ m.
- Número de palas, $Z = 3$.
- Revoluciones del propulsor, $N = 150$ rpm.

Con estos datos, ya se pueden comenzar los cálculos:

$$THP = EHP * \eta_H = 264,80 * 0,942 = 281,11 \text{ CV} \quad (15)$$

$$THP = \frac{T * V_a}{75} \rightarrow T = \frac{THP * 75}{V_a} = \frac{281,11 * 75}{10,803} = 1.951,52 \quad (16)$$

$$\left(\frac{A_e}{A_0}\right)_{min} = \frac{(1,3 + 0,3 * Z) * T}{(P_0 - P_v) * D^2} + K = 0,488 \quad (17)$$

Siendo:

- $P_0 - P_v = P_a - P_v + \rho gh = 10.139 + (1.026 * 0,9)$
- $K=0,1$ (Coeficiente con valor 0.1 para buques con dos hélices y 0,2 para buques con una sola hélice)

Así, suponiendo un $(A_e/A_0) = 0,5$, y siguiendo los pasos de cálculo de hélices para la serie B de Wageningen, se obtiene una hélice con las siguientes características:

- $D = 0,7$ m.
- $P/D = 2,27$
- $\eta_0 = 0,79$

Por tanto, y con todos los rendimientos calculados hasta ahora, se puede finalmente conocer el valor del rendimiento propulsivo $\eta_p = 0,66$.

3.3.- Método de Mercier-Savitsky

Como se ha comentado en la introducción del capítulo, este método es apto para el cálculo de la resistencia al avance de embarcaciones durante las condiciones de desplazamiento y de semi-desplazamiento o pre-planeo.

Y, por tanto, como alcanzar la condición de planeo no es un objetivo impuesto en el proyecto, este método es válido para realizar los cálculos.

En primer lugar, se explicarán los resultados obtenidos con los cálculos del método programado a mano. Así, los datos que se necesita de la embarcación para realizar los cálculos son los indicados en la Tabla 7.

Tabla 7. Datos previos estimación de potencia

Lwl (m)	13,537
B (m)	4,218
T (m)	0,9
Δ (kg)	31.520
∇ (m³)	30,747
Ángulo	31,3
A maestra (m²)	2,988
A espejo (m²)	2,986
Viscosidad (N*s/m²)	0,00000119
Rugosidad (μm)	0,00015

Con ellos se realizan todas las operaciones que marca el método, y estimando una velocidad máxima de 21 nudos, se obtiene una resistencia de remolque $R_T=3676,66$ kg, y un EHP=529,61 CV o, lo que es igual, 389,79 kW. Aplicando ahora el rendimiento propulsivo calculado con anterioridad, se puede conocer la potencia que se necesita:

$$BHP = EHP * \eta_p = 389,79 * 0,66 = 594,03 \text{ kW} \quad (18)$$

3.4.- Maxsurf Resistance

En segundo lugar, se mostrarán los datos obtenidos, para la misma condición, a partir del Maxsurf Resistance. Para este caso, igual que para el cálculo de la programación manual, se utiliza un rendimiento propulsivo de 0,66. Así, los datos obtenidos mediante este método se reflejan en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados Maxsurf Resistance

Velocidad (nudos)	Fn LWL	Fn Vol.	Resistencia (kW)
10,00	0,446	0,928	-
10,50	0,469	0,975	-
11,00	0,491	1,021	224,872
11,50	0,513	1,067	287,694
12,00	0,536	1,114	347,722
12,50	0,558	1,160	393,394
13,00	0,580	1,207	437,998
13,50	0,603	1,253	462,126
14,00	0,625	1,299	486,812
14,50	0,647	1,346	510,804
15,00	0,670	1,392	535,252
15,50	0,692	1,439	551,325
16,00	0,714	1,485	565,445
16,50	0,737	1,531	588,540
17,00	0,759	1,578	616,527
17,50	0,781	1,624	639,705
18,00	0,804	1,671	658,058
18,50	0,826	1,717	677,392
19,00	0,848	1,763	698,504
19,50	0,871	1,810	720,697
20,00	0,893	1,856	746,588
20,50	0,915	1,903	772,984
21,00	0,938	1,949	801,627
21,50	0,960	1,995	830,766

Mediante Maxsurf Resistance para una velocidad de 21 nudos, como puede observarse, se obtiene:

$$\text{BHP}=801,627 \text{ kW}$$

3.5.- Resultados

Lo que se observa en primera instancia al comparar los dos métodos utilizados es que existe una diferencia de 207,597 kW entre ambos. En segundo lugar, recordando que en el dimensionamiento preliminar se obtuvo una potencia de motorización de 719,25 kW, se comprueba este valor se encuentra aproximadamente entre los dos obtenidos a partir de las estimaciones.

Finalmente, debido a que se tiene más confianza en los cálculos programados a mano que en los obtenidos a partir de Maxsurf Resistance, se decide seleccionar y proseguir con la primera potencia obtenida de 594,03 kW, que como ya se ha mencionado, se dividirá en dos motores.

Por tanto, el buque tendrá que disponer de dos motores con una potencia mínima de 297,015 kW. Sin embargo, se hace necesario mencionar que a la hora de proyectar un buque se han de tener en cuenta una serie de situaciones que podrían suponer un aumento de la demanda de potencia exigida al motor.

Por esta razón, se considera que la potencia anteriormente mencionada para cada uno de los motores que formará la planta propulsora de la embarcación es la correspondiente a lo que se conoce como la “Potencia en servicio normal para propulsión”. A partir de ésta, se aplica un margen de mar (como si se tratara de un rendimiento) del 90%, para tener en cuenta los posibles estados de la mar y tener una posible reserva de potencia para malas condiciones. Con este margen de mar aplicado se tiene el punto de máxima potencia demandada al motor.

Por último, se aplica también un margen de motor (del 85%) por las pérdidas extra que pudieran originarse debido a otras razones como pueden ser ensuciamiento del casco, resistencia añadida por apéndices, etc. Llegando así al punto de máxima potencia del motor, potencia que será la realmente utilizada para la selección del motor.

Se seleccionarán por tanto motores con potencia igual o superior a 388,25 kW.

3.6.- Selección del motor

A la hora de realizar el estudio estadístico se comprobó que una gran cantidad de los buques escogidos para formar la base de datos utiliza los nuevos motores VOLVO PENTA IPS. Por esta razón, se decide hacer un análisis y comparación entre en este tipo de motores y una planta propulsora con motor intraborda convencional, para así comprobar la justificación de la eficiencia e instalación de este nuevo tipo de motores para la propulsión de embarcaciones de recreo.

3.6.1.- Volvo Penta IPS

Los motores Penta IPS de Volvo están compuestos por un motor y un conjunto que integra reductora, hélice y timón.

Además, como es de suponer, cuenta también con todos los circuitos y sistemas auxiliares para el correcto funcionamiento del conjunto como puede ser: sistema de refrigeración, conexiones de exhaustación, servomotor y sistema de control del mismo, etc.

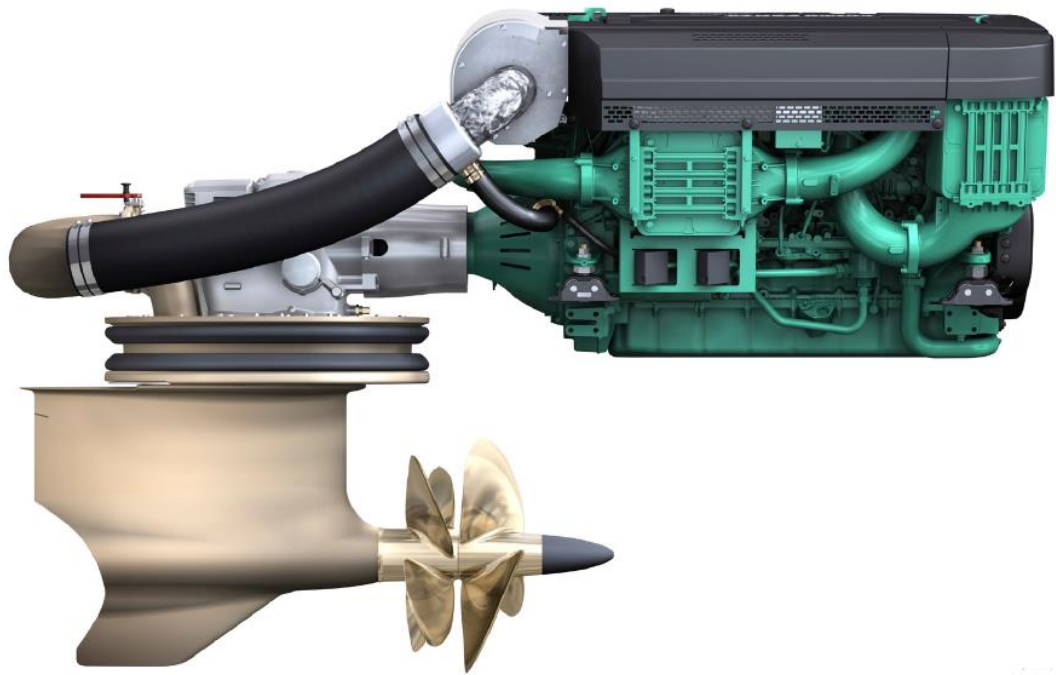


Ilustración 6. Ejemplo motor Volvo Penta IPS

Como puede observarse, la salida del motor atraviesa directamente el casco del motor sin necesidad de línea de ejes, directamente en la popa del barco. Esto permite, en primer lugar, un claro ahorro de volumen que supondrá una gran ganancia en espacios de habilitación, cosa que supondría un punto a favor en el intento de maximizar espacios y confortabilidad. En segundo lugar, el hecho de no necesitar línea de ejes evita problemas de ajustes precisos de excentricidad a la hora de la construcción y del montaje. También, la salida directa sin necesidad de línea de ejes permite que el motor se pueda desplazar hacia popa en su disposición, consiguiendo, por tanto, desplazar la coordenada longitudinal del centro de gravedad en el mismo sentido.

Finalmente, la salida directa hacia abajo supone una ganancia de calado para la hélice, lo que es altamente beneficioso para evitar la cavitación y normalmente se consigue inclinando la línea de ejes para conseguir el calado requerido a la salida.

Para poder comparar los pesos con los de una planta propulsora convencional, se selecciona el motor D8-IPS700, con una potencia de 405kW y un peso en seco del paquete de 1.410 kg.

3.6.2.- Planta propulsora convencional

Como es sabido, una planta propulsora convencional contaría primeramente con un motor principal y una reductora (con chumacera de empuje incorporada, que absorba los esfuerzos provocados por la creación de empuje por parte del propulsor) para que las revoluciones se adecuen a las exigidas por la hélice.

En segundo lugar, se requiere de una línea de ejes que fuera lo suficientemente larga como para permitir un ligero ángulo a la salida de la reductora para así conseguir, como ya se ha mencionado anteriormente, el calado necesario en la hélice para evitar la existencia de cavitación. Ésta longitud y ángulo de inclinación de línea de ejes supone, a parte de ligeras complicaciones a la hora de montar el conjunto, una gran pérdida de espacio. También sería muy probable la necesidad de instalar arbotantes que soporten el peso de eje y hélice debido a la salida de la línea. Y finalmente, en la parte más a popa de la línea de ejes, la hélice correspondiente.

Además, a popa de la hélice se instalaría el timón con su correspondiente mecha para soportarlo y el servomotor para su control y manejo.

A continuación, se realiza una estimación de los pesos necesarios en la planta propulsora convencional.

- Motor

Se selecciona el motor D8-550 de Volvo, con una potencia exacta al anterior de 405 kW y un peso de 840 kg.

- Eje de la hélice

En primer lugar, se estima el diámetro del eje mediante la fórmula facilitada por Det Norske Veritas:

$$Ds = \sqrt[3]{\frac{321.000 * SHP * SF}{St * RPM}} \quad (19)$$

Donde:

- Ds: diámetro, en pulgadas.
- SHP: máxima potencia en el eje, en HP.

- SF: factor de seguridad, varía entre 5 y 6 para yates y buques ligeros.
- St: límite de elasticidad del material, en psi.
- RPM: revoluciones por minuto del eje.

Obteniendo un diámetro de 4,416 cm.

En segundo lugar, a partir de la posición de la cámara de máquinas y del motor del buque que se tomó como referencia para la generación de las formas, se estima una longitud del eje de 3,6 metros.

Finalmente, tomando como material acero inoxidable austenítico de densidad 7888,773 kg/m³, se obtiene un peso del eje de 43,493 kg.

- Hélice

Mediante la búsqueda en catálogos comerciales, para hélices con diámetros de 0,7 metros (valor utilizado para los cálculos de estimación de los coeficientes propulsivos), se observan los pesos indicados en la Tabla 9.

Tabla 9. Ejemplos hélices comerciales

Modelo	Peso (kg)
Dyna-jet	27,216
MY-T3	25,855
DJ-355	28,123
Machine pitch	24,948

Y se toma un peso medio de 26,535 kg.

- Timón

Para el dimensionamiento del timón, se siguen las siguientes fórmulas:

$$A_T = \frac{L * T}{100} * \left(f + 25 * \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right) \quad (20)$$

$$h = H - 0.14 * H \quad (21)$$

$$c = \frac{A_T}{h_{max}} = 2.481 \quad (22)$$

$$e = E * c = 0.372 \text{ m} \quad (23)$$

Donde:

- A_T : área mínima del timón, en m^2 .
- h : altura máxima del timón, en m.
- H : altura del vano del codaste, en m.
- c : cuerda del timón, en m.
- e : espesor máximo del timón, en m.
- E : relación de espesor.

Por lo que tomando una altura del vano del codaste $H=0,7$ m, una relación de espesor $E=0,15$, y una densidad de aluminio ultraligero de 2.730 kg/m^3 , se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10. Valores dimensiones timón

At (m^2)	0,415
H (m)	0.602
C (m)	0,690
E (m)	0,103
Peso (kg)	58,682

- Mecha

Investigando en catálogos comerciales, se selecciona una mecha “Stock AQ-22”. Ésta, para las dimensiones que se han estimado para el timón, tiene un peso de 12,265 kg.

- Servomotor y reductora

Para el caso de la reductora, a partir de catálogos comerciales en función de la potencia y las revoluciones del motor, se selecciona una reductora ZF80-A, con un peso de 69 kg.

De igual manera, a partir de la búsqueda en catálogos, se selecciona un servomotor SM130 con un peso de 13 kg.

Así, la estimación de pesos quedaría recogida en la Tabla 11.

Tabla 11. Pesos planta propulsora convencional

	Peso (kg)
Motor	840
Eje	43,493
Hélice	26,535
Timón	58,682
Mecha	12,265

	Peso (kg)
Reductora	69
Servomotor	13
TOTAL	1.062,976

3.6.3.- Conclusión

Debido a todos los aspectos comentados anteriormente, se opta por escoger el motor Penta IPS. Éste, a pesar de suponer un aumento de peso de aproximadamente 350 kg, aporta numerosas ventajas al proyecto. Resumiendo, estas ventajas son:

- Ahorro de espacio.
- Mayor facilidad de construcción y montaje.
- Desplazamiento a popa del centro de gravedad del buque.
- Posibilidad de aumento de la inmersión de la hélice que evita la aparición de cavitación.

Por ello, la planta propulsora del buque dispondrá finalmente de dos motores VOLVO PENTA D8-IPS700, cuyas características y curvas se aportan a continuación:

Datos técnicos

Denominación del sistema	D8-IPS700
Cilindrada, l (in ³)	7,7 (469,7)
Configuración	6 en línea
Potencia al cigüeñal, kW (CV)	405 (550) @ 2900 rpm
Potencia al eje de la hélice, kW (CV)	384 (523) @ 2900 rpm
Aspiración	Turbocompresor de doble entrada y compresor
Potencia	R5
Peso en seco aprox. del paquete, incl. hélices, kg (lb)	1410 (3109)
Serie de hélices	NS4-NS5, N1-N7
Voltaje	24V
Límites de emisiones	IMO NOx, EU RCD Stage II, US EPA Tier 3
Aplicación	En instalaciones dobles y triples de embarcaciones de aletas hidrodinámicas
Rango de velocidad	De 20 a 40 nudos

Ilustración 7. Datos técnicos Volvo Penta D8-IPS 700

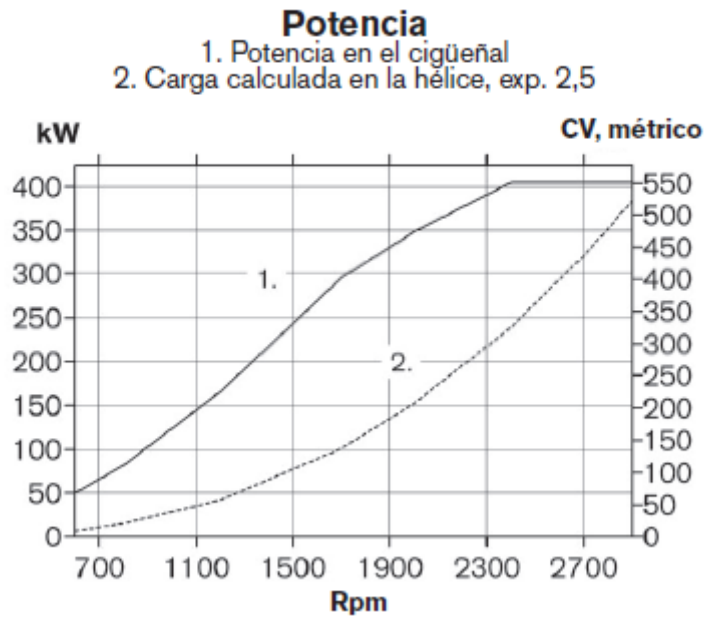


Ilustración 8. Curva potencia Volvo Penta D8-IPS700

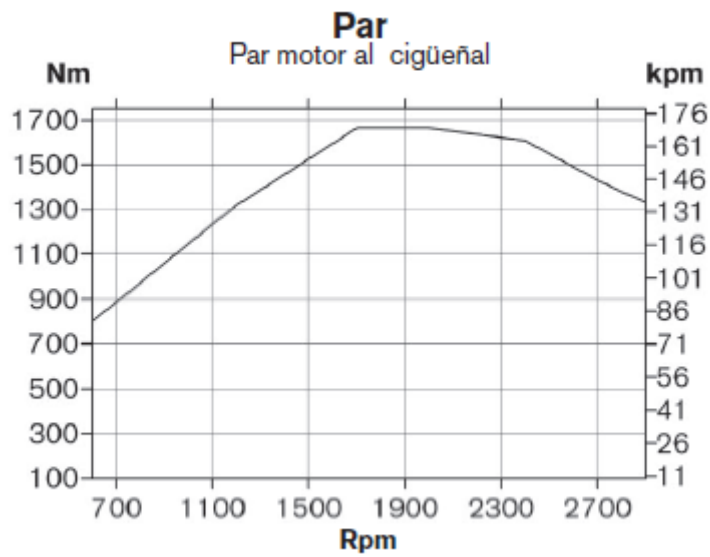


Ilustración 9. Curva Par Volvo Penta D8-IPS700

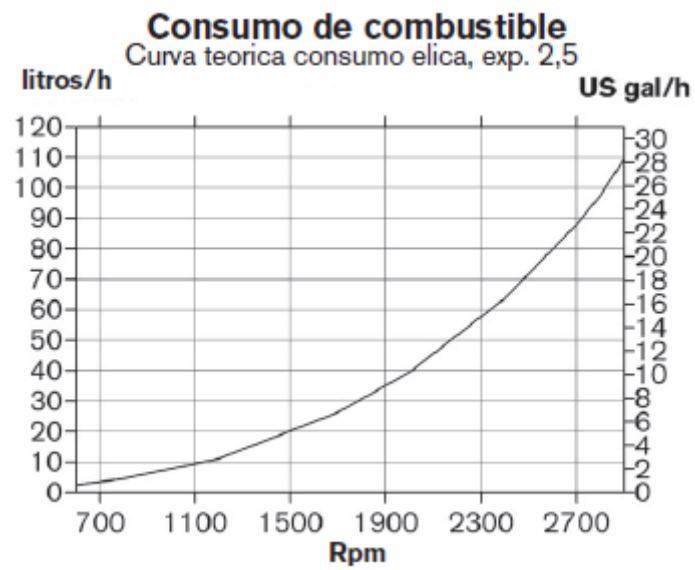


Ilustración 10. Curva Consumo Volvo Penta D8-IPS700

Finalmente, se adjuntan unos planos detallando como queda este tipo de disposición en la instalación a bordo.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A

A

B

B

C

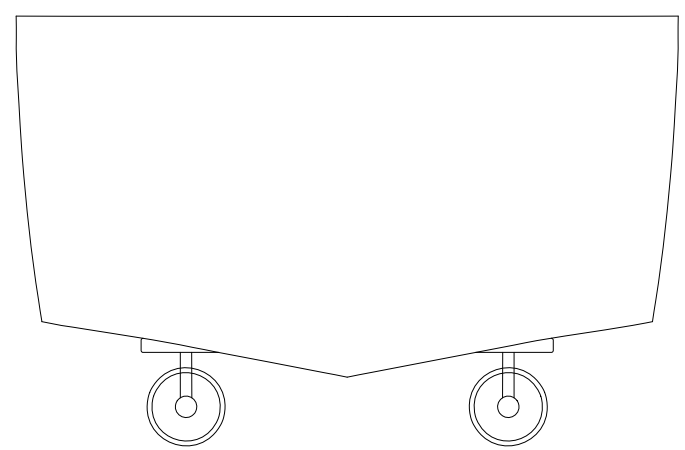
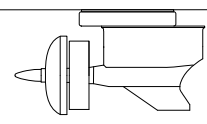
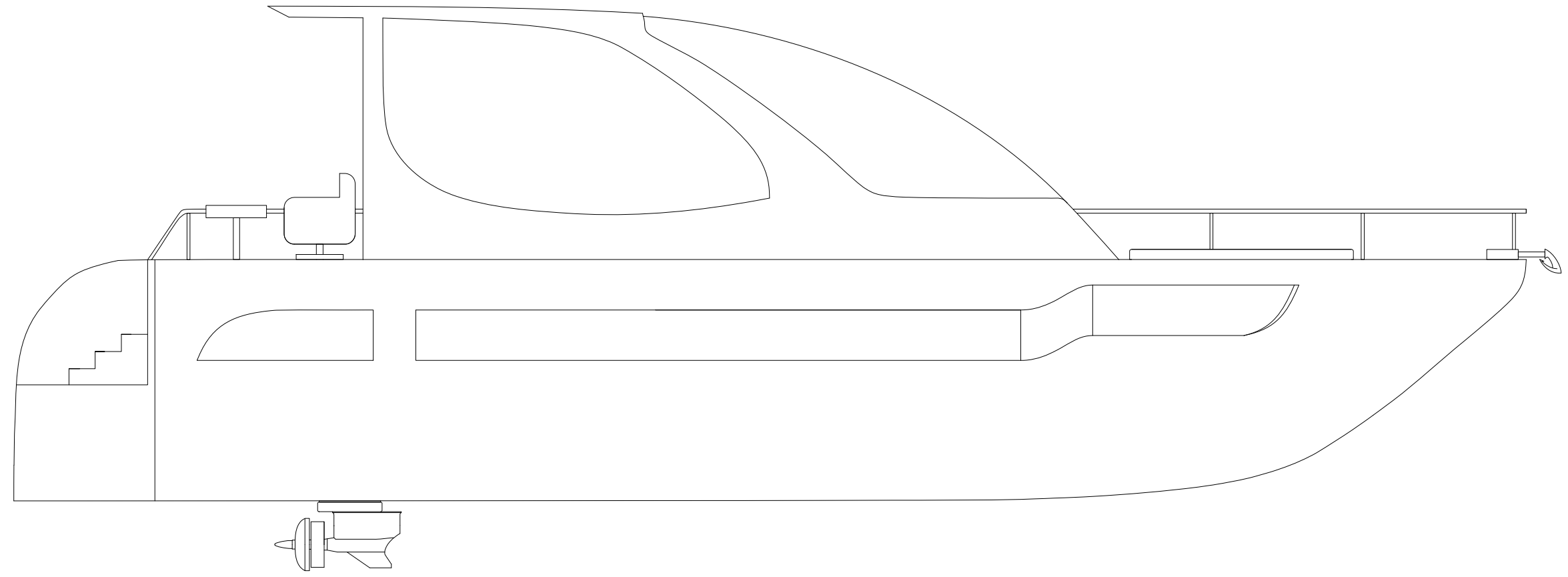
C

D

D

E

E



Motor _____ Penta D8-IPS700
 Potencia máxima _____ 405 kW
 Revoluciones máximas _____ 290 rpm
 Consumo máximo _____ 108 l/h
 Cilindrada _____ 7,7 l

Anteproyecto embarcación de recreo		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
Borja Girona Berná		
Escala 1:50	Fecha 22/03/2019	Detalle propulsor

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



Capítulo 4. Equipos y servicios

El objetivo del presente capítulo es el de listar y definir los equipos y servicios con los que es necesario que cuente la embarcación para poder cumplir con la normativa vigente.

Para ello, se seguirá principalmente la Orden FOM 1144, que presta indicaciones sobre todos los sistemas generales con los que se debe contar a bordo de la embarcación. Además de ésta, también se seguirán las normas UNE-EN ISO 15083, que profundiza en mayor medida en el sistema de bombeo y achique de sentinas, la 15084, que da más indicaciones acerca de los sistemas de fondeo amarre y remolque, y la 15085, que trata sobre la prevención de caídas de personas al mar y el reembarque de las mismas a bordo.

4.1.- Orden FOM 1144

Como ya se ha comentado, esta orden es la que se va a seguir principalmente y clasifica los equipos de salvamento, iluminación y fondeo, material náutico y de armamento y diverso, medios de achique, prevención de vertidos y descarga de aguas sucias. Para clasificar todos los apartados mencionados, comienza con la subdivisión de las embarcaciones según las zonas de navegación por las que puede navegar, en función de la categoría de diseño.

Categoría de Diseño (Anexo I 1 del R.D. 297/1998)			Definición	Zonas de Navegación correspondientes
Embarcaciones diseñadas para la navegación	Fuerza del Viento (Escala Beaufort)	Altura significativa de las olas (metros)		
A: Oceánica	Más de 8	Más de 4	Embarcaciones diseñadas para viajes largos en los que los vientos puedan superar la fuerza 8 (escala de Beaufort) y las olas la altura significativa de 4 metros o más, y que son embarcaciones autosuficientes en gran medida.	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
B: En Alta Mar	Hasta 8 incluido	Hasta 4 incluido	Embarcaciones diseñadas para viajes en alta mar en los que pueden encontrarse vientos de hasta fuerza 8 y olas de altura significativa de hasta 4 metros.	2, 3, 4, 5, 6, 7
C: En aguas costeras	Hasta 6 incluido	Hasta 2 incluido	Embarcaciones diseñadas para viajes en aguas costeras, grandes bahías, y grandes estuarios, lagos y ríos, en los que pueden encontrarse vientos de hasta fuerza 6 y olas de altura significativa de hasta 2 metros.	4, 5, 6, 7
D: En aguas protegidas	Hasta 4 incluido	Hasta 0,5 incluido	Embarcaciones diseñadas para viajes en pequeños lagos, ríos y canales, en los que pueden encontrarse vientos de hasta 4 y olas de altura significativa de hasta 0,5 metros.	7

Ilustración 11. Zonas de navegación según categoría de diseño

Como se ha comentado anteriormente, el buque que se está proyectando pertenece a la categoría de diseño C. Así, como puede observarse, tiene permitido navegar por las

zonas 4, 5, 6 y 7. Las tres primeras son zonas de navegación de aguas costeras, según esta Orden FOM:

- “Zona 4: Navegación en la zona comprendida entre la costa y la línea paralela a la misma trazada a 12 millas.”
- “Zona 5: Navegación en la cual la embarcación no se aleje más de 5 millas de un abrigo o playa accesible.”
- “Zona 6: Navegación en la cual la embarcación no se aleje más de dos millas de un abrigo o playa accesible”.

Y finalmente, la última zona pertenece a la zona de navegación en aguas protegidas:

- “Zona 7: Navegación en aguas costeras protegidas, puertos, radas, rías, bahías abrigadas y aguas protegidas en general.”

4.2.- Elementos de salvamento

A modo resumen, la Orden FOM ofrece las siguientes indicaciones:

ELEMENTO	ZONA DE NAVEGACIÓN 1	ZONA DE NAVEGACIÓN 2	ZONA DE NAVEGACIÓN 3	ZONA DE NAVEGACIÓN 4	ZONA DE NAVEGACIÓN 5, 6, 7
BALSAS SALVAVIDAS	100% Personas SOLAS	100% Personas SOLAS o ISO 9650	100% Personas SOLAS o ISO 9650	NO	NO
CHALECOS SALVAVIDAS	110% Personas SOLAS o CE (275 N) (1)	100% Personas SOLAS o CE (150 N) (2)	100% Personas SOLAS o CE (150 N) (2)	100% Personas SOLAS o CE (150 N) (2)	100% Personas SOLAS o CE (100 N) (3)
AROS SALVAVIDAS	2	1	1	1	NO

Ilustración 12. Elementos de salvamento según zona de navegación

CLASE DE SEÑAL	ZONA DE NAVEGACIÓN 1	ZONA DE NAVEGACIÓN 2	ZONA DE NAVEGACIÓN 3, 4	ZONA DE NAVEGACIÓN 5, 6
Cohetes con luz roja y paracaídas	6	6	6	—
Bengalas de mano	6	6	6	3
Señales fumígenas flotantes	2	2	1	—

Ilustración 13. Señales luminosas según zona de navegación

Por tanto, y al formar parte la embarcación de hasta la zona 4 de navegación, no es necesario que se disponga de balsa salvavidas pero sí se deberá contar con:

- Chalecos salvavidas, normalizado según SOLAS o la norma ISO, para el 100% de los pasajeros a los que pueda dar cabida la embarcación. Como por legislación, una embarcación de recreo no tiene permitido navegar con más de 12 pasajeros, éste será el número de chalecos salvavidas que se dispondrá.
- Un aro salvavidas con luz y rabiza.
- Seis cohetes con luz roja y paracaídas, homologados según lo establecido en el Real Decreto 809/1999.
- Seis bengalas de mano, homologadas por el mismo decreto.
- Una señal fumígena flotante, también homologada de acuerdo al mismo decreto.

4.3.- Luces y marcas de navegación

Según la Orden, todas las luces y marcas se rigen por el Reglamento Internacional para prevenir los Abordajes. Según éste, una embarcación de más de 12 metros de eslora pero menos de 50, debe estar provista de:

- Luz de tope, 3 millas (por ser la eslora inferior a 20 metros). Ésta es una luz blanca sin interrupción en todo un arco del horizonte de 225 grados y que se coloca en el eje longitudinal del buque de manera que se vea desde proa y hasta 22,5 grados a popa desde cada costado.
- Luces de costado, 2 millas. Se trata de dos luces, verde a estribor y roja a babor, sin interrupción en todo un arco de horizonte de 112,5 grados, y visibles desde la proa hasta 22,5 grados a popa por cada costado. En éste caso, menos de 20 metros de eslora, ambas se pueden combinar en solo farol sobre el eje longitudinal.
- Luz de alcance, 2 millas. Luz blanca sin interrupción colocada lo más a popa posible, que se muestra en todo un arco del horizonte de 135 grados, fijada de forma que se vea en un arco de 67,5 grados, desde popa y hacia cada banda.

- Luz de remolque, 2 millas. Luz amarilla con las mismas características que la anterior.
- Luz todo horizonte blanca, roja, verde o amarilla, 2 millas. Luz sin interrupción en todo un arco de 360 grados.

Además de éstas, es posible necesitar de más luces para su utilización en circunstancias poco habituales.

En primer lugar, si la embarcación necesita actuar como remolcador, requerirá de una luz de tope adicional y exige que la luz de remolque quede por encima de la luz de alcance.

En segundo lugar, bajo la posibilidad de que el buque quede sin gobierno, se exige la utilización de dos luces rojas todo horizonte. Además, para avisar de esta condición excepcional durante el día y al no ser visibles las luces, se colocarán dos bolas rojas a proa.

Por último, la embarcación fondeada o varada requiere de la utilización de una luz blanca todo horizonte o de una bola en la parte de proa para las horas de luz.

Por lo tanto, las luces que se instalarán en la embarcación serán:

- Dos luces de tope.
- Dos luces de costado, una a cada banda.
- Luz de alcance.
- Luz de remolque.
- Dos luces todo horizonte, de las cuales una como mínimo debe poder utilizar luz roja y blanca, en función de si se encuentra sin gobierno (junto a la otra luz roja) o fondeado, respectivamente.

En cuanto a posición de las mismas, a continuación se aportará un plano de la disposición de las luces de navegación, en correspondencia a lo exigido.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A

B

C

D

E

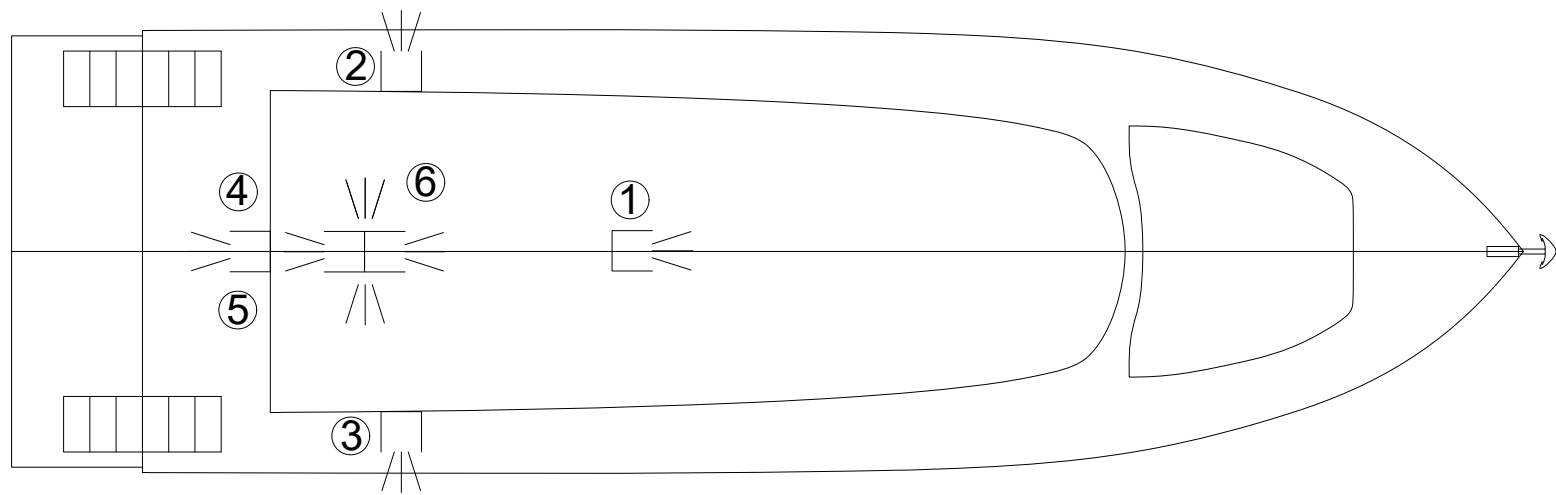
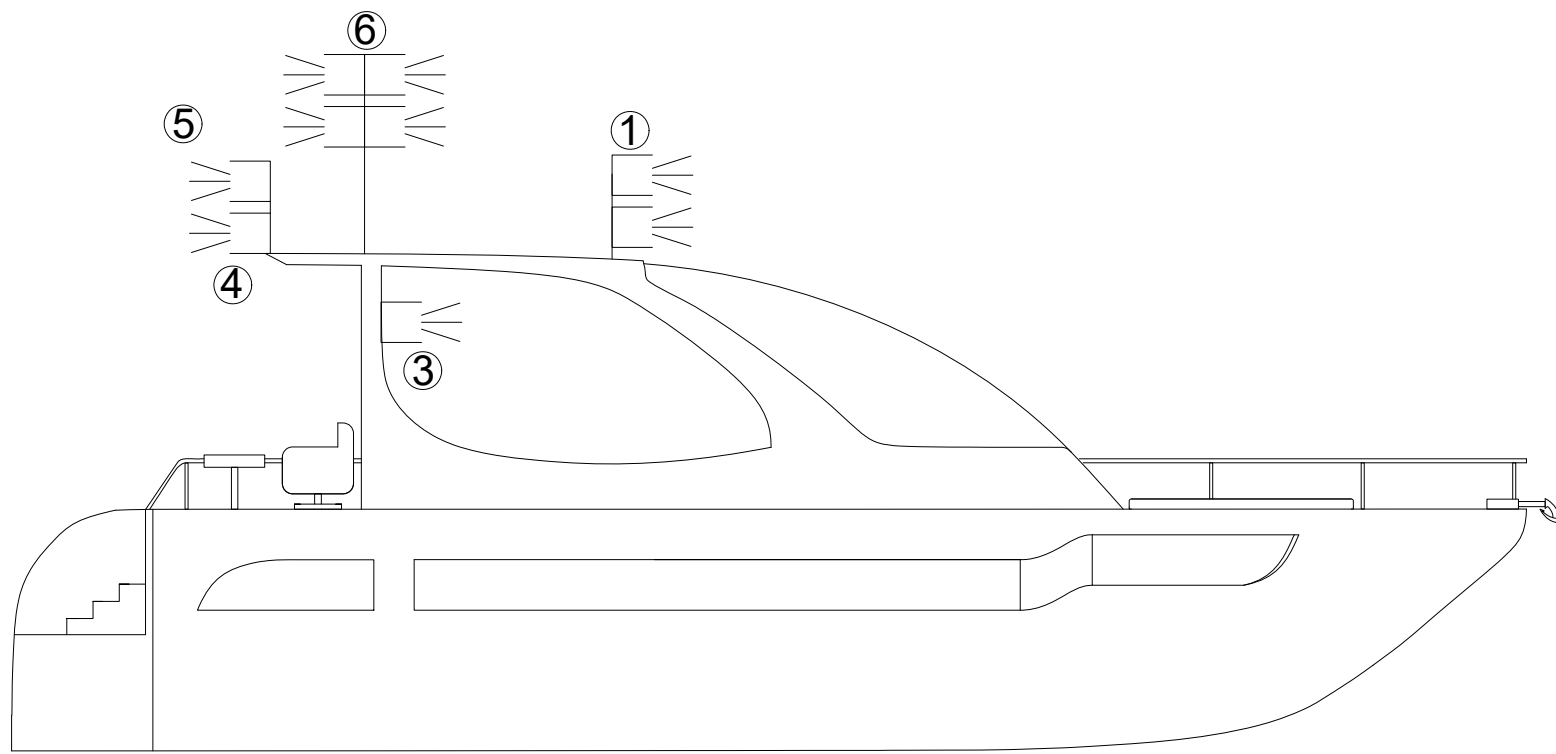
A

B

C

D

E



- 1) Luces de tope. Sector de visibilidad: 225°
- 2) Luz de costado Babor. Sector de visibilidad: 112,5°
- 3) Luz de costado Estribor. Sector de visibilidad: 112,5°
- 4) Luz de alcance. Sector de visibilidad: 135°
- 5) Luz de remolque. Sector de visibilidad: 135°
- 6) Luces todo horizonte. Sector de visibilidad: 360°

Anteproyecto embarcación de recreo		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
Borja Girona Berná		
Escala 1:75	Fecha 22/03/2019	Luces de navegación

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

4.4.- Líneas de fondeo

En primer lugar, la Orden FOM da una serie de indicaciones, de las cuales conciernen a este proyecto:

- La línea de fondeo debe ser superior a cinco veces la eslora de la embarcación.
- El tramo de cadena tendrá una longitud mínima igual a la eslora.
- Las cadenas serán de acero galvanizado o equivalente según lo establecido en la norma EN 24565.
- Las estachas serán de nylon con carga de rotura mayor a la de la cadena.
- Las anclas referidas son de alto poder de agarre.

Además, adjunta los valores de peso de ancla y diámetros de cadena y estacha en función de la eslora de la embarcación:

ESLORA (m)	Peso del Ancla (kg)	Diámetro de cadena (mm)	Diámetro de estacha (mm)
L = 3	3,5	6	10
L = 5	6	6	10
L = 7	10	6	10
L = 9	14	8	12
L = 12	20	8	12
L = 15	33	10	14
L = 18	46	10	14
L = 21	58	12	16
L = 24	75	12	16

Ilustración 14. Características de ancla, cadena y estacha según eslora

En segundo lugar, la norma UNE EN ISO 15084, establece los puntos de amarre, fondeo y remolque, así como las cargas que deben soportar.

En ella se establece que todas las embarcaciones deben contar con un punto a proa para fondeo y remolque. Además, por superar los 6 metros de eslora, un punto de amarre adicional a popa. Y finalmente, por superar los 12 metros, otro punto adicional a proa y otro a popa.

En cuanto a las cargas que deben soportar:

- A proa, para fondeo y remolque:

$$P_1 = f * (3.5 * L_C - 5.4) \tag{24}$$

- A proa para amarre:

$$P_2 = f * (3.5 * L_C - 4.3) \quad (25)$$

- A popa

$$P_3 = f * (3.0 * L_C - 3.8) \quad (26)$$

Donde:

- $f = 0,9$; por pertenecer el buque a la categoría de diseño C.
- $L_C = \frac{L_H + L_{WL}}{2}$

Por lo tanto, la embarcación dispondrá de:

- Ancla de alto poder de agarre de 33 kg.
- Línea de cadenas de acero galvanizado con una longitud de 75 metros y un diámetro de 10 milímetros.
- Línea de estachas de nylon con una longitud de 60 metros y un diámetro de 14 milímetros.
- Un punto a proa, para fondeo y remolque, con resistencia mínima de 39,4 kN.
- Un punto adicional a proa para el amarre con resistencia mínima de 40,23 kN.
- Dos puntos a popa con resistencia mínima de 34,38 kN.

A continuación, se mostrará también un plano mostrando la posición de los puntos de amarre:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A

A

B

B

C

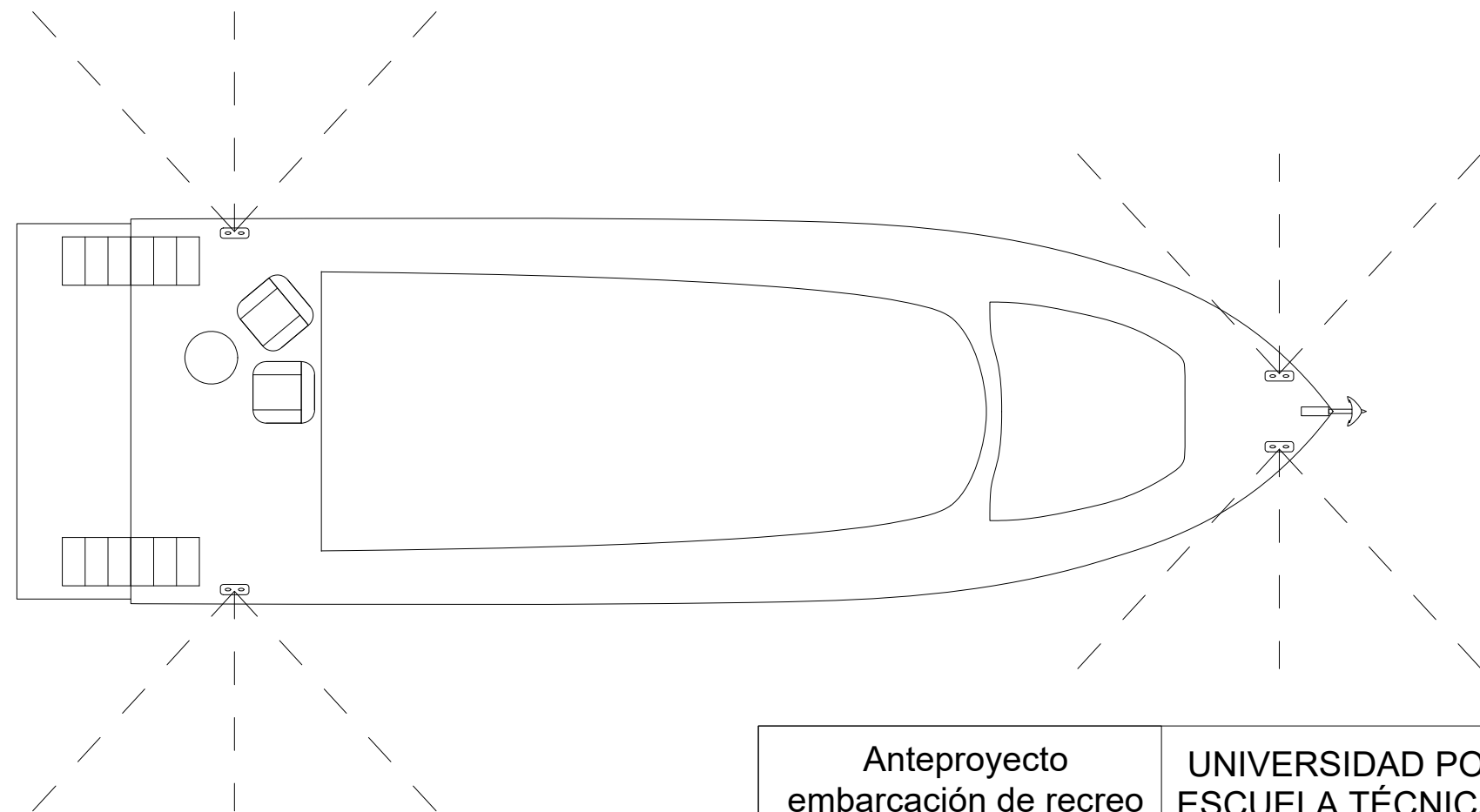
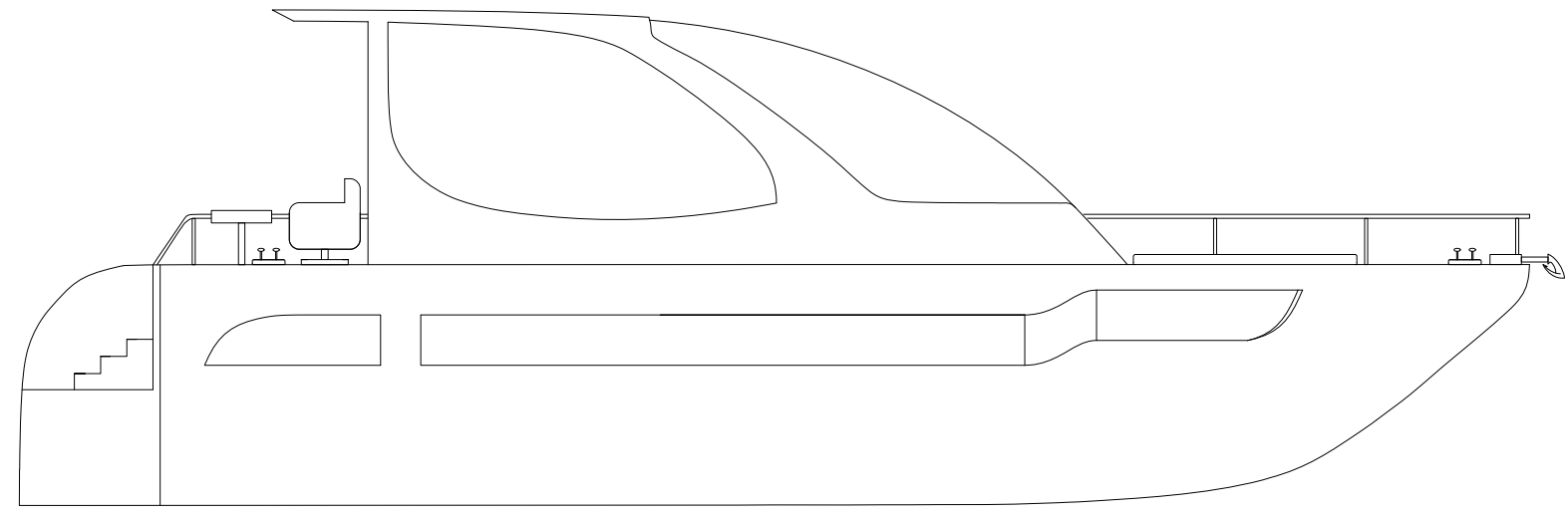
C

D

D

E

E



Anteproyecto embarcación de recreo		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
Borja Girona Berná		
Escala 1:50	Fecha 22/03/2019	Puntos de amarre

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

4.5.- Material náutico

Se establece por la Orden FOM, además de ciertas indicaciones que se irán comentando a medida que se numeren los elementos requeridos, lo siguiente:

MATERIAL	Zona de Navegación				REQUISITOS
	1	2	3, 4	5, 6, 7	
Compás	1	1	1		a)
Corredera	1	1			b)
Sextante	1				c)
Cronómetro	1				
Compás de puntas	1	1			
Transportador	1	1			
Regla de 40 cm.	1	1			
Prismáticos	1	1	1		
Cartas y libros náuticos.	1	1	1		d)
Bocina de niebla	1	1	1	1	e)
Barómetro	1	1			
Campana o similar	1	1	1		f)
Pabellón nacional	1	1	1	1	
Código de banderas ...	1	1			g)
Linterna estanca	2	2	1		h)
Diario de navegación ..	1				
Espejo de señales	1	1	1	1	
Reflector de radar	1	1	1		i)
Código de señales	1	1	1	1	j)

Ilustración 15. Material náutico requerido según zona de navegación

Por tanto, en este caso se deberá contar con:

- Un compás de gobierno, evitando siempre perturbaciones sobre el mismo.
- Un par de prismáticos.
- Cartas y libros náuticos que cubran los mares correspondientes a las zonas de navegación y los portulanos de los puertos que utilicen.

- Una bocina de niebla. De presión manual o accionada por gas en un recipiente a presión.
- Una campana con peso igual o superior a 5 kilogramos.
- Pabellón nacional.
- Una linterna estanca. Con una bombilla y un juego de pilas, como mínimo, de repuesto.
- Espejo de señales.
- Reflector de radar.
- Código de señales.

4.6.- Material de armamento diverso

Que concierna al tipo de embarcación que se está proyectando:

- Dos estachas de amarre, como mínimo, de longitud y resistencia adecuadas a la eslora del buque.
- Un bichero.
- Un botiquín tipo “Balsa de salvamento”.

MEDICAMENTOS		CANTIDAD
ACIDO ACETILSALICÍLICO. 20 compr. de 500 mg.		1 caja
METAMIZOL. 2 Ampollas de 2 gr.		1 caja
MATERIAL MÉDICO		CANTIDAD
POVIDONA IODADA. 10% solución dérmica de 125 ml.		1 envase
VENDAS DE GASA ORILLADAS	5 cm. x 5 m.	1 unidad
	10 cm. x 5 m.	1 unidad
COMPRESAS DE GASA ESTÉRILES. 20 x 20 cm.		40 unidades
ALGODÓN HIDRÓFILO. 100 gr.		1 paquete
ESPARADRAPO HIPOALÉRGICO. 2,5 cm. x 5 m.		1 rollo
APÓSITOS ADHESIVOS PLÁSTICOS. Rollo 1 m. x 6 cm.		1 unidad
MANTAS PARA QUEMADOS Y SUPERVIVIENTES TERMOAISLANTE ORO-PLATA		2 unidades

Ilustración 16. Contenido botiquín tipo "Balsa Salvamento"

4.7.- Medios de contraincendios

En lo referente a extintores portátiles, la norma los divide en función de la eslora de la embarcación y en función de la potencia propulsiva:

L	Número y tipo de extintores*
Si tiene cabina cerrada y $L < 10$ m	1, tipo 21 B
$10 \leq L < 15$ m	1, tipo 21 B**
$15 \leq L < 20$ m	2, tipo 21 B**
$20 \leq L < 24$ m	3, tipo 21 B**

(*) Tipo de extintores: eficacia mínima.
 (**) Para embarcaciones de la lista 6.ª y $L > 10$ m, un extintor más de los indicados.

Ilustración 17. Extintores portátiles según eslora

Potencia máxima instalada	Número y tipo de extintores*
$P \leq 150$ kw	1 tipo 21 B.
$150 < P \leq 300$ kw	1 tipo 34 B (con un motor). 2 tipo 21 B (con 2 motores).
$300 < P \leq 450$ kw	1 tipo 55 B (con un motor). 2 tipo 34 B (con 2 motores).
450 kw $< P$	Con 1 motor: 1 tipo 55 B y además el número de extintores necesarios para cubrir la potencia del motor por encima de los 450 kw. Con 2 motores: 1 tipo 55 B por cada motor (que puede ser 34 B si la potencia de cada uno de los motores es inferior a 300 kw) y además el número de extintores necesarios para cubrir la potencia total instalada.

Ilustración 18. Extintores portátiles según potencia de motorización

Además, se indica que al no tratarse de motores que utilizan combustibles del grupo 1 (motores de ignición por chispa) según lo establecido por esta misma orden, no es necesario un sistema fijo de extinción de incendios.

En cuanto a la disposición de baldes contraincendios, con capacidad mínima de siete litros, se establece:

Zona de Navegación	Número de baldes Contraincendios con rabiza
3, 4 1, 2 1 y 2 (L > 20 m)	1 2 3

Ilustración 19. Baldes de contraincendios según zona de navegación

También se deberá contar con un sistema de detección de incendios que debe cumplir los siguientes requisitos:

- Indicación automática.
- Indicadores centralizados en el puesto de mando.
- Alimentación eléctrica directa.
- Accionamiento de señales luminosas y sonoras.

En definitiva, el sistema de contraincendios deberá contar con:

- Tres extintores tipo 21 B (2 kg).
- Dos extintores tipo 55 B (5 kg).
- Un balde de contraincendios, con capacidad mínima de 7 litros.
- Sistema de detección de incendios.

4.8.- Medios de achique

La Orden FOM establece que para una embarcación que vaya a navegar por hasta zona 4, en lo referente a achique, se debe contar con un balde y una bomba. También se indica que, para esloras superiores a 10 metros, la capacidad de la bomba no debe ser menor de 30 litros/minuto (a 10 kPa de presión).

Sin embargo, según lo establecido en la norma UNE-EN ISO 15083, las embarcaciones que pertenezcan a las categorías de diseño A, B o C y que además presenten un puesto principal de gobierno protegido (esto quiere decir que está previsto para utilizarse con mal tiempo y que presenta protecciones en, como mínimo, tres de los costados), deben instalar dos bombas. En primer lugar, deben estar provistas de una bomba o sistema de bombeo motorizado operable desde el puesto de gobierno principal. Además, se tiene que contar con una bomba o sistema adicional (manual, mecánico o eléctrico) que permita eliminar el agua de todos los compartimentos de sentinas y que además se pueda operar desde una posición de fácil acceso. En cuanto a la capacidad de las bombas, indica los mismos valores que la Orden FOM.

A modo resumen, la UNE -EN ISO 15083 incluye:

Tipo de embarcación	Características de la embarcación	Tipo de bomba	Requisitos de la bomba de sentinas o de los medios de achique	Apartado
Embarcaciones abiertas y con cubierta parcial Categorías de diseño A, B, C, D			Véase el manual del propietario	5.1.2
Embarcaciones con cubierta completa Categorías de diseño A, B, C	Puesto de gobierno expuesto	Bomba principal	1 bomba manual (altura de carga de agua menor de 1,5 m)	5.1.3.2 a)
			1 bomba manual, mecánica o eléctrica (altura de carga de agua igual o mayor de 1,5 m)	5.1.3.2 b)
	Bomba secundaria	1 bomba manual, mecánica o eléctrica	5.1.3.3	
	Puesto de gobierno protegido	Bomba principal	1 bomba manual, mecánica o eléctrica	5.1.3.2 c)
	Bomba secundaria	1 bomba manual, mecánica o eléctrica	5.1.3.3	
Embarcaciones con cubierta completa Categorías de diseño D	L_H mayor de 6 m	Bomba principal	1 bomba manual, mecánica o eléctrica	5.1.3.2
	L_H menor o igual de 6 m	Bomba principal	1 bomba manual, para alternativas, véase el manual del propietario	5.1.3.2

Ilustración 20. Medios de achique en función de diversas características de la embarcación

Por tanto, por el hecho de cubrir las necesidades más exigentes, se contará con:

- Una bomba principal con capacidad de 30 litros/minuto.
- Una bomba secundaria de la misma capacidad.
- Un balde

4.9.- Sistema de prevención de vertidos

Como se indica en la Orden, los aseos deberán estar provistos de depósitos de retención para así contener las aguas sucias generadas durante las navegaciones. Además, estos depósitos deberán estar conectados con las descargas de los aseos, de la manera más corta y directa posible, e instalados en lugares fácilmente accesibles.

En lo referente a la capacidad de los depósitos, se indica que como mínimo se dimensionen para retener las aguas sucias generadas por el máximo número de pasajeros, 12 en este caso, a razón de 4 litros por persona y día durante dos días. Por tanto:

$$\text{Capacidad aguas sucias}_{\text{mínima}} = 2 * 12 * 4 = 96 \text{ litros} \quad (27)$$

Pero tras dimensionar el tanque se obtiene una capacidad final de 120 litros.

Por último, se indica que se debe contar con una conexión universal a tierra para poder conectar el conducto de las instalaciones de recepción que cuenten, además, con las correspondientes válvulas que impidan la apertura inintencionada.

4.9.1.- Descarga de aguas sucias

A modo resumen, en la Orden se ofrecen las siguientes indicaciones:

ZONA	OPCIÓN DE DESCARGA
Aguas portuarias. Zonas protegidas. Rías, Bahías, etc.	No se permite ninguna descarga, ni siquiera con tratamiento.
Hasta 4 millas.	Se permite con tratamiento. Ni sólidos ni decoloración.
Desde 4 millas hasta 12 millas.	Se permite desmenuzada y desinfectada. Para descargar el tanque, la velocidad de la embarcación debe ser superior a 4 nudos.
Más de 12 millas.	Se permite en cualquier condición. Para descargar el tanque, la velocidad de la embarcación debe ser superior a 4 nudos.

Ilustración 21. Métodos de descarga de aguas sucias en función de la separación a la costa

4.10.- Sistema de agua dulce

Este sistema será el encargado de conducir el agua dulce desde el tanque de almacenamiento hasta los distintos puntos de consumo, contando para ello con todos los elementos necesarios.

Aunque ni la Orden FOM ni la Norma ISO establecen los elementos con los que debe contar el sistema de agua dulce, este debe estar compuesto por: tanque de agua, bomba de presión, tuberías, grifos y válvulas.

En cuanto al tanque de agua, se estima su capacidad en función de la autonomía de la embarcación. Debido a la categoría de diseño en la que se encuentra, no se considerará ésta superior a 48 horas. Con ello, estableciendo un consumo de 25 litros por tripulante al día, con un máximo de 12 tripulantes, se obtiene un volumen de agua dulce de 600 litros.

Tras dimensionar el tanque de agua dulce, se tiene finalmente una capacidad de 720 litros.

4.11.- Sistema de combustible

El sistema de combustible tiene la misión de conducir el combustible desde sus tanques de almacenamiento hasta los motores para su alimentación.

El dimensionamiento del tanque de combustible será función de la autonomía de la embarcación y, por consiguiente, del consumo de combustible de los motores. Así, partiendo de la autonomía en millas obtenida de las regresiones del capítulo 1, y a partir del consumo de combustible de los motores seleccionados, se tiene (Véase Tabla 12):

Tabla 12. Volumen tanque de combustible 1

Au (mn)	Cons (l/h)	Vmax (kn)	Cc (l)
283,656	60	21	1.620,874

Calculando, a partir de esta capacidad de combustible obtenida, el tiempo de navegación, se observa que solamente se podría navegar para un máximo de 13 horas. Por lo tanto, se decide aumentar la capacidad de combustible y, por ende, la autonomía. Teniendo finalmente (Véase Tabla 13):

Tabla 13. Volumen tanque de combustible 2

Au (mn)	Cc (l)
1.858,100	5.308,8

4.12.- Prevención de caídas y reembarque

Para este apartado se seguirán las indicaciones marcadas por la Norma UNE EN ISO-15085. Esta Norma especifica los medios de protección con los que debe contar la cubierta principal tanto para evitar las caídas de personas al mar como para facilitar el reembarque de las mismas a bordo de la embarcación.

En ella se marcan, en función de la categoría de diseño, los elementos mínimos que se deben instalar. Estos son:

Dispositivo de seguridad	N°	Opciones					
		1	2	3	4	5	6
		Categoría de diseño					
	A	B $L_H > 8,5 \text{ m}$	B $L_H \leq 8,5 \text{ m}$	B	C	D	
Superficie antideslizante	1	X	X	X	X	X	X
Reposapiés	2	X	X	X	X		
Asideros	3	X	X	X	X	X	X
Barandilla o pasamanos bajos	4			X			
Barandilla o pasamanos altos	5	X	X				
Puntos de enganche	6	X			X		
Soporte del cuerpo en las embarcaciones de alta velocidad (si procede)	8	X	X	X	X	X	X
Medios de reembarque	9	X	X	X	X	X	X
NOTA 1 – Para cualquier categoría se pueden aplicar los requisitos de una categoría superior. NOTA 2 – Un asidero que satisfaga los requisitos del capítulo 13 puede ser también un punto de enganche. NOTA 3 – Se pueden mezclar las opciones siempre que se satisfagan los requisitos mínimos de la categoría. EJEMPLO Una barandilla que satisfaga los requisitos mínimos de los asideros situada a menos de 300 mm del borde de la cubierta de trabajo a proa y asideros a popa.							

Ilustración 22. Elementos de seguridad en función de la categoría de diseño

Por lo tanto, al estar tratando con una embarcación con categoría de diseño C, pero no tratarse de una embarcación de alta velocidad, se requiere de:

- Superficie antideslizante.
- Asideros.
- Medios de reembarque.

Además, se considera la instalación de barandillas.

Todos los elementos se detallarán a continuación.

4.12.1.- Superficie antideslizante

Para el presente proyecto, debido a las características que posee el buque y a la idea que se tiene del mismo, solamente se indica que toda la superficie de la cubierta principal debe ser de material antideslizante.

4.12.2.- Asideros

Un asidero es cualquier elemento de la embarcación a la que una persona pueda agarrarse con la mano para disminuir el riesgo de caída al mar.

En la Norma se indica que los asideros que se encuentren a menos de 300 mm desde el límite de la cubierta deben tener una altura mínima de 350 mm sin superar las superestructuras adyacentes. Los asideros que estén a más de 300 mm, pueden estar a cualquier altura.

4.12.3.- Barandilla

Como se ha comentado anteriormente, no es obligatorio por la categoría de diseño dentro de la cual se encuentra el buque, pero se decide instalar una línea de barandillas bajas con altura de 450 mm.

4.12.4.- Medios de reembarque

En este caso, se necesitará contar con una escala cuyo escalón inferior debes estar, como mínimo, 300 mm por debajo de la línea de flotación con la embarcación en condiciones de navegación mínimas (calado mínimo).

4.13.- Equipos de radiocomunicaciones

Por ser parte de la categoría C, únicamente se debe contar con un transmisor receptor de VHF, siempre aprobado por la Dirección General de la Marina Mercante.



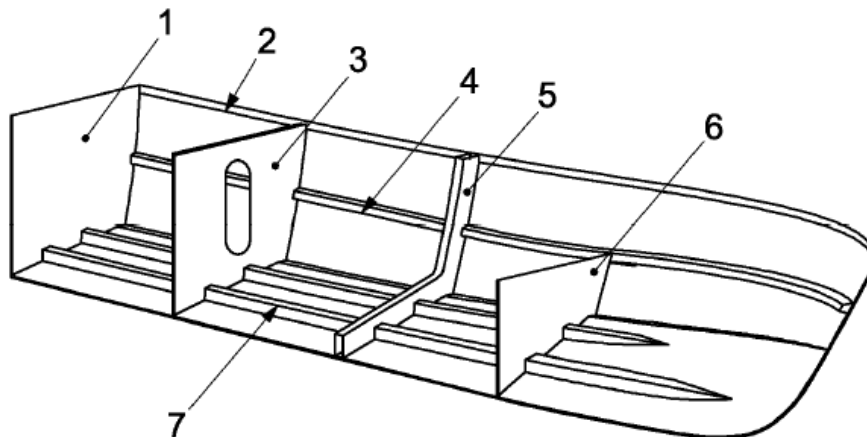
Capítulo 5. Escantillonado

El objetivo del presente capítulo es el de realizar el estudio y diseño de la estructura de la embarcación. En éste, se indicarán los materiales utilizados, la disposición estructural, las cargas a soportar, así como los espesores de paneles y refuerzos, y las fases de laminado.

Para ello se sigue la norma “ISO 12215: Pequeñas embarcaciones, construcción de cascos y escantillones”, que se aplica a embarcaciones de recreo con esloras comprendidas entre 2,5 y 24 metros, y que además no superen los 50 nudos de velocidad.

5.1.- Disposición estructural

Se decide optar por una estructura formada por refuerzos principales transversales, que soportan una estructura secundaria longitudinal. Se decide seguir dicha configuración debido a que, según la norma, es la más usual en la construcción de pequeñas embarcaciones de fibra.



Leyenda

- 1 espejo de popa
- 2 tapa de regala
- 3 mamparo
- 4 refuerzo longitudinal de costado (palmejar)
- 5 bulárcama
- 6 varenga profunda
- 7 refuerzo longitudinal de fondo (vagra o palmejar); constituye una buena práctica el disponer los extremos de acuerdo con las figura 4 a) o 4 c).

Ilustración 23. Ejemplo estructura mixta

De forma más exhaustiva, la embarcación dispondrá de:

En primer lugar, tres mamparos estancos con los que se subdividirá la embarcación. Éstos se dispondrán a popa y proa del compartimento del motor (haciendo el primero a su vez de mamparo de pique de popa) y a proa de la embarcación el mamparo

de colisión o de pique de proa. Cabe destacar que estos mamparos, al ser estancos se consideran como mamparos estructurales y se dimensionan, por tanto, con objeto de que ayuden a la resistencia de la embarcación.

En segundo lugar, como se ha comentado que la estructura principal será transversal, se dispondrán cuatro anillos transversales (varenga, cuaderna y bao). Tres de los mismos se encontrarán equiespaciados entre los mamparos de colisión y de proa del compartimento motor. El cuarto se dispondrá en el compartimento motor para reforzar la estructura de la embarcación en dicha zona, ya que el soporte del peso de los motores es un gran esfuerzo a tener en cuenta.

Por último, la estructura longitudinal secundaria estará apoyada en la estructura transversal, mejorando la resistencia longitudinal de la embarcación. Se dispondrán cinco longitudinales de fondo equiespaciados que atravesarán el fondo de la embarcación de proa a popa apoyándose en las varengas, tres longitudinales de costado que harán lo propio en el costado y dos esloras de cubierta.

5.2.- Materiales

Como ya está definido, en el presente proyecto se realiza una embarcación de fibra de vidrio. Esto quiere decir, que se trata de una embarcación formada por materiales compuestos (que se definen como la unión de dos o más materiales distintos para poder obtener una serie de propiedades que no poseen los originales por separado), que generalmente están formados por un material de unión y una fibra o matriz de refuerzo.

En concreto, se utilizará plástico reforzado con fibra de vidrio, que se trata de un material ligero pero muy resistente, fácilmente moldeable y con un muy buen comportamiento frente a la corrosión.

5.2.1.- Tejidos de fibra de vidrio

En este caso y como es habitual, se utilizará la combinación de dos tipos distintos de fibras con el objetivo de alcanzar las propiedades requeridas, reduciendo en la medida de lo posible el coste y los espesores de laminado.

- Tejido WOVER ROBIN

Es un tejido formado por una combinación de fibras entrelazadas entre sí dispuestas en ángulos de 0 y 90 grados. Posee una resistencia muy elevada por lo que es el tejido que principalmente aguantará las cargas.



Ilustración 24. Disposición de fibras en tejido Robin

- Tejido MAT

Se trata de un tejido formado por fibras cortas dispuestas de forma aleatoria, obtenido de cortar fibras más largas. Ofrece precarias propiedades mecánicas, pero es muy económico y fácil de empapar en resina.

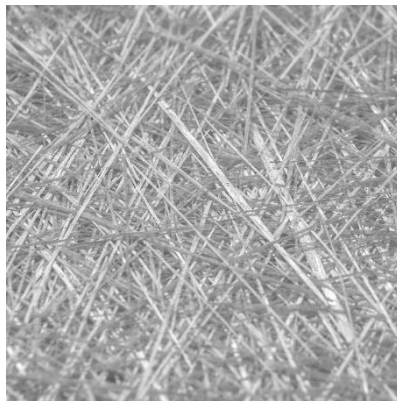


Ilustración 25. Disposición de fibras en tejido MAT

5.2.2.- Resinas

Para este caso, y como es habitual en las embarcaciones de recreo, se utilizará resina de poliéster. Este tipo de resinas se presentan en estado líquido, añadiendo catalizadores y aceleradores para controlar el proceso de curado hasta llegar al estado sólido. Las razones principales para la utilización de resina de poliéster son:

En primer lugar, su bajo coste frente a otras resinas, debido a que la resina puede llegar a constituir entre un 30 y un 50% del compuesto, es un factor muy a tener en cuenta.

En segundo lugar, tiene la posibilidad de variar las proporciones de catalizador y acelerador, permitiendo aumentar o disminuir la velocidad del curado según interese.

Y, por último, posee la propiedad de curar a temperatura ambiente, lo que puede facilitar y abaratar enormemente el proceso. Además, esta propiedad junto con el hecho

de presentarse en estado líquido, permite utilizarse en la elaboración de piezas complejas sin necesidad de modificaciones previas.

5.2.3.- Materiales de núcleo

Los materiales de núcleo se utilizan para aligerar, a la vez que fortalecer, distintos elementos de la estructura. Además, también proporcionan otras propiedades como pueden ser resistencia a la compresión o a la penetración de agua y humedad. En este caso se utilizarán para el relleno de mamparos estancos y refuerzos de la estructura.

A pesar de que a lo largo de la historia se han utilizado numerosos materiales para esta misión (como por ejemplo madera de balsa, corcho, contrachapado marino, etc.), en la actualidad los materiales más comúnmente utilizados son las espumas sintéticas.

Éstas ofrecen un peso menor, una mayor resistencia a la absorción de agua y humedad, y también una vida útil mucho mayor. Por ello, en este caso se utilizará un núcleo de espuma PVC.

En la Norma ISO 12215-2 se indican las propiedades mínimas que deben cumplir los materiales que se utilicen como núcleo en los laminados. Éstos son:

Propiedad	Estándar, método de prueba	Valores mínimos requeridos		Unidad
		Grado I	Grado II	
Resistencia a la tracción	ISO 1926 ^{a, b}	1,0	0,6	N/mm ²
Módulo de tracción	ISO 1926	60	30	N/mm ²
Resistencia a la compresión	ISO 844 ^{a, b, c} , 23 °C	1,0	0,6	N/mm ²
Módulo de compresión	ISO 844 ^{a, b, c} , 23 °C	49	40	N/mm ²
Resistencia a la compresión	ISO 844 ^{a, b, c} , 45 °C	60% del valor obtenido a 23 °C	50% del valor obtenido a 23 °C	N/mm ²
Módulo de compresión	ISO 844 ^{a, b, c} , 45 °C	70% del valor obtenido a 23 °C	50% del valor obtenido a 23 °C	N/mm ²
Resistencia a la cizalladura ^d	ISO 1922	0,6	0,4	N/mm ²
Módulo de cizalladura ^e	ISO 1922	18	9	N/mm ²
Alargamiento a la cizalla	ISO 1922	Valor mínimo especificado por el fabricante	Valor mínimo especificado por el fabricante	
Absorción de agua	ISO 2896, 40° 1 semana, en el agua	1,5 máximo	1,5 máximo	% (VII)
Resistencia al agua	Porcentaje de retención de resistencia a la compresión y a la tracción después de 4 semanas en agua (ISO 2896) a 23 °C	75	70	%
Densidad	ISO 45	Valor mínimo especificado por el fabricante	Valor mínimo especificado por el fabricante	kg/m ³
Índice de oxígeno	ISO 4589	Valor fijado	Valor fijado	
NOTA – Todas las muestras deben cumplir los valores mínimos.				
^a Velocidad máxima de deformación mm/minuto 10% del espesor inicial medido. ^b Medidas de la muestra: 50 mm x 50 mm x espesor del producto en milímetros. ^c Ensayo a llevar a cabo en muestras con una capa de resina adecuada para estabilizar las paredes de la celda del núcleo en las superficies cargadas. ^d Material del núcleo a ensayar con o sin una unión adhesiva longitudinal. La unión se hará a un plano medio de la muestra, paralelo a los soportes de acero y a una distancia igual desde los soportes. ^e Alargamiento en la rotura o en un punto en que la carga ha decrecido hasta el 80% de su valor máximo.				

Ilustración 26. Propiedades mínimas requeridas por los materiales de núcleo

Además, en la ISO 12215-5 se facilitan los valores de diferentes propiedades de las espumas en función de su densidad. Éstos se muestran a continuación:

Tipo de núcleo	Densidad ρ_c kg/m ³	Alargamiento a la rotura %	Resistencia a la cizalla τ_u N/mm ²	Módulo de cizalla G_c N/mm ²	Resistencia en compresión σ_{uc} N/mm ²	Módulo de elasticidad en compresión ^a E_{co} N/mm ²
Fibra de balsa de los extremos	90-220	NR	$0,0178 \rho_c - 0,34$	$0,868 \rho_c - 1,43$	$0,102 \rho_c - 5$	$30,7 \rho_c - 1350$
Tipo genérico – PVC reticulado						
PVC rígido I	36-250	30%	$0,0024 \rho_c^{1,334}$	$0,1633 \rho_c^{1,136}$	$0,0014 \rho_c^{1,487}$	$0,1138 \rho_c^{1,449}$
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%	$0,017 \rho_c - 2 \times 10^{-3} \rho_c^2 - 0,613$	$0,46 \rho_c - 20$	$6,7 \cdot 10^{-4} \rho_c^{1,59}$	$0,024 \rho_c^{1,75}$
^a Módulo a través del espesor (transversal). Este 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.						

Ilustración 27. Propiedades mecánicas de espumas sintéticas

Para este proyecto se utilizará la espuma PVC reticulado I con densidad de 80 kg/m³.

5.3.- Escantillonado

En este apartado se seguirá el procedimiento marcado por la ISO 12215-5 para el cálculo de presiones de carga y espesores del casco en función de la zona de la embarcación de la que se trate. Todos los cálculos se realizarán mediante una hoja de cálculo Excel, explicando y detallando los puntos más complejos y relevantes, y mostrando finalmente los resultados obtenidos.

5.3.1.- Datos iniciales

La norma indica que todos los valores que se nombrarán a continuación, se miden en la condición de plena carga de la embarcación. Los valores base para los cálculos son:

- m_{LDC} : desplazamiento, en kilogramos.
- L_H : eslora del casco, en metros.
- L_{WL} : eslora en la flotación, en metros.
- B_C : manga en el pantoque medida a $0.4 L_{WL}$ a proa del extremo de popa, en metros.
- β_C : semiángulo del diedro del fondo a $0.4 L_{WL}$ a proa del extremo de popa, en grados. Debe encontrarse entre los 10 y los 30°.

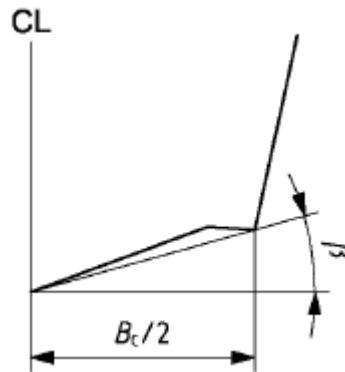


Ilustración 28. Medición de manga y ángulo requeridos

- V: velocidad máxima en aguas tranquilas, en nudos. No debe ser menor que $2.36\sqrt{L_{WL}}$.
- k_{DC} : factor de categoría de diseño.

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

Ilustración 29. Valor del factor de categoría de diseño

- n_{CG} : factor de carga dinámica. No debe tomarse menor que 3.

$$n_{CG} = \frac{0.5 * V}{m_{LDC}^{0.17}} \quad (28)$$

Así, se tienen los resultados reflejados en la Tabla 14:

Tabla 14. Valores iniciales escantillonado

Parámetro	Valor
m_{LDC} (kg)	31520
L_H (m)	15
L_{WL} (m)	13,537
B_C (m)	2,032
β_C (°)	10,98
k_{DC}	0,6
n_{CG}	3

5.3.2.- Evaluación de las propiedades del laminado

Para la determinación de los escantillones es necesario conocer las propiedades del material a utilizar, PRFV en este caso. Para ello, la Norma establece tres niveles de evaluación para las propiedades de los laminados:

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 se 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.

Ilustración 30. Niveles de evaluación de las propiedades de los materiales empleados en escantillado

Al tratarse el presente proyecto únicamente de una fase de diseño, se selecciona el nivel de evaluación c, que indica que hay que multiplicar los resultados obtenidos por 0.8.

Por último, las propiedades y factores a tener en cuenta vienen recogidos en las siguientes tablas:

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

Ilustración 31. Contenido nominal de fibra en masa

ψ	0,25	0,30	0,36	0,38	0,41	0,50	0,55	0,58	0,60	0,66
t/w^a	2,89	2,34	1,87	1,75	1,59	1,22	1,07	0,99	0,95	0,82

^a Relación entre el espesor, en milímetros, y la masa de fibra seca, en kilogramos por metro cuadrado.

Ilustración 32. Valores de t/w en función del contenido de fibra en masa

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	
Coefficiente 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.

Ilustración 33. Propiedades mecánicas del laminado de fibra de vidrio E

5.3.3.- Cálculo de las presiones de diseño

El cálculo de las presiones de diseño es necesario para la determinación de los escantillones de la embarcación. Para el cálculo de éstas, a parte de los parámetros mencionados en el apartado anterior, será necesario calcular otros previamente. Éstos son:

- k_L : factor longitudinal de distribución de presión.

$$k_L = \frac{1-0.167*n_{CG}}{0.6} * \frac{x}{L_{WL}} + 0.167 * n_{CG}; \text{ pero sin ser } >1, \text{ para } \frac{x}{L_{WL}} \leq 0.6 \quad (29)$$

$$k_L = 1; \text{ para } \frac{x}{L_{WL}} > 0.6 \quad (30)$$

Donde $\frac{x}{L_{WL}}$ es la posición del centro del panel proporcional a L_{WL} , con valor 0 y 1 en los puntos más a proa y popa, respectivamente.

- k_{AR} : factor de reducción de presión según la superficie.

$$k_{AR} = \frac{k_R * 0.1 * m_{LCD}^{0.15}}{A_D^{0.3}} \quad (31)$$

Donde $k_R = 1.5 - 3 * 10^{-4} * b$ para paneles de embarcaciones de desplazamiento a motor, y A_D es el área de diseño del panel, que no debe tomarse mayor que $2.5 * b^2 * 10^{-6}$.

Además, el valor de k_{AR} no debe ser superior a 1 ni inferior a los valores que figuran en la siguiente figura:

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		
		$\frac{x}{L_{WL}} \leq 0,4$	$0,4 < \frac{x}{L_{WL}} < 0,6$	$\frac{x}{L_{WL}} \geq 0,6$
A	0,25 todas las embarcaciones casco y cubierta	0,4 todas las embarcaciones	Interpolación entre los valores $\frac{x}{L_{WL}} = 0,4$ y $0,6$	0,5 fondo de veleros y costado 0,5 fondo embarcaciones a motor 0,4 costado embarcaciones a motor
B	0,25 todas las embarcaciones casco y cubierta	0,4 todas las embarcaciones		0,4 todas las embarcaciones
C y D	0,25 todas las embarcaciones casco y cubierta	0,4 todas las embarcaciones		

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

Ilustración 34. Valores mínimos del factor de reducción de presión

- k_Z es el factor de reducción de presión en el costado.

$$k_Z = \frac{Z - h}{Z} \quad (32)$$

Donde Z es la distancia desde la línea de la flotación hasta la parte superior del casco, en metros, y h la altura del centro del panel por encima de la línea de flotación, también en metros.

- k_{SUP} es el factor de reducción de presión para las superestructuras y casetas.

En función del tipo de embarcación y de la situación de la superestructura o caseta en cuestión:

Situación del panel	k_{SUP} para superestructuras y casetas	Aplicación
En el frente de proa	1	Todas las zonas
En el costado	0,67	Zonas de paso
En el costado	0,5	Zonas de no paso
En la cara posterior	0,5	Todas las zonas
Parte superior, ≤ 800 mm por encima de cubierta	0,5	Zonas de paso
Parte superior, > 800 mm por encima de cubierta y pisos superiores	0,35	Zonas de paso
Pisos superiores ^a	Presión mínima de cubierta 5 kN/m^3	Zonas de no paso

^a Los elementos no expuestos a la intemperie deben considerarse como pisos superiores.

Ilustración 35. Valores del factor de reducción de superestructuras y casetas

Ahora que ya se han definido y calculado todos estos factores, se puede pasar a calcular las presiones de diseño (todas en kN/m^2) de las distintas zonas de la embarcación.

Presión en los fondos para embarcaciones a motor en modalidad de desplazamiento

$$P_{BMD} = P_{BMD \text{ BASE}} * k_{AR} * k_{DC} * k_L \quad (33)$$

$$P_{BM \text{ min}} = 0.45 * m_{LDC}^{0.33} + (0.9 * L_{WL} * k_{DC}) \quad (34)$$

Donde:

$$P_{BMD \text{ BASE}} = 2.4 * m_{LDC}^{0.33} + 20 \quad (35)$$

Presión en los costados para embarcaciones a motor en modalidad de desplazamiento

$$P_{SMD} = [P_{DM \text{ BASE}} + k_Z * (P_{BMD \text{ BASE}} - P_{DC \text{ BASE}})] * k_{AR} * k_{DC} * k_L \quad (36)$$

$$P_{SM\ min} = 0.9 * L_{WL} * k_{DC} \quad (37)$$

Donde:

$$P_{DM\ BASE} = 0.35 * L_{WL} + 14.6 \quad (38)$$

Presión en la cubierta para embarcaciones a motor

$$P_{DM} = P_{DM\ BASE} * k_{AR} * k_{DC} * k_L \quad (39)$$

$$P_{DM\ min} = 5 \quad (40)$$

Presión en superestructuras para embarcaciones a motor

$$P_{SUP\ M} = P_{DM\ BASE} * k_{DC} * k_{AR} * k_{SUP} \quad (41)$$

Así, una vez realizados los cálculos pertinentes, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 15:

Tabla 15. Presiones de diseño

FONDO	
PBS _{MIN} (KN/m ²)	21,773
P _{BMD BASE} (KN/m ²)	93,239
COSTADO	
P _{SM MIN} (KN/m ²)	7,310
CUBIERTA	
P _{DM MIN} (KN/m ²)	5,000
P _{DM BASE} (KN/m ²)	19,338

5.3.4.- Fondo

A partir de la subdivisión en paneles definida por la disposición estructural indicada en el apartado 5.1., se procede al cálculo de las presiones y, finalmente, del espesor del laminado.

Una vez dividido el fondo en los paneles correspondientes y definidas sus dimensiones y posiciones se tienen los datos contenidos en la Tabla 16:

Tabla 16. Paneles de fondo

PANEL	X (m)	X/L _{WL}	KL	b (mm)	KR	l (mm)	AD (m ²)	K _{AR}	PBS (KN/m ²)
1A	1,350	0,100	0,584	698,00	1,291	2.695,00	1,218	0,575	18,793
1B	1,350	0,100	0,584	698,00	1,291	2.695,00	1,218	0,575	18,793
1C	1,350	0,100	0,584	670,00	1,299	2.693,00	1,122	0,593	19,386
2A	4,470	0,330	0,776	699,00	1,290	3.555,00	1,222	0,575	24,935
2B	4,470	0,330	0,776	703,00	1,289	3.555,00	1,236	0,572	24,827
2C	4,520	0,334	0,779	662,00	1,301	3.555,00	1,096	0,599	26,087
3A	7,370	0,544	0,954	710,00	1,287	2.251,00	1,260	0,568	30,299
3B	7,370	0,544	0,954	713,00	1,286	2.252,00	1,271	0,566	30,202
3C	7,540	0,557	0,964	600,00	1,320	2.250,00	0,900	0,644	34,755
4A	9,620	0,711	1,000	750,00	1,275	2.256,00	1,406	0,544	30,453
4B	9,620	0,711	1,000	740,00	1,278	2.263,00	1,369	0,550	30,771
4C	9,250	0,683	1,000	315,33	1,405	1.697,25	0,249	1,009	56,454
5A	11,710	0,865	1,000	500,00	1,350	2.015,50	0,625	0,735	41,125
5B	11,310	0,835	1,000	793,33	1,262	1.298,25	1,030	0,592	33,094
6A	13,160	0,972	1,000	294,00	1,412	435,75	0,128	1,237	69,189

Como puede observarse, se llega a superar el valor de $P_{BS\ MIN}$. Por esta razón, se toma como presión de diseño del fondo el valor máximo obtenido de 69,189 kN/m².

A continuación, el paso a seguir es la determinación del espesor mínimo marcado por la norma. Para ello es necesario calcular previamente dos parámetros.

- K_2 : factor de alargamiento del panel por resistencia a la flexión.

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

Ilustración 36. Valores del factor de alargamiento del panel por resistencia a flexión

- K_c : factor de corrección de la curvatura de los paneles

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

Ilustración 37. Valores del factor de corrección de curvatura de los paneles

Donde c es la flecha máxima del panel.

A continuación, a partir de las indicaciones del proceso de evaluación EL-c, se propone la secuencia de laminado indicada en la Tabla 17.

Tabla 17. Secuencia de laminado de fondo

CAPA	TIPO FIBRA	GRAMAJE (Kg/m ²)	ψ	t (mm)	PESO LAMINADO (Kg/m ²)
1	Gelcoat	...	...	...	...
2	MAT	0,3	0,3	0,702	1,000
3	MAT	0,4	0,3	0,936	1,333
4	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
5	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
6	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
7	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
8	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
9	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
10	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
11	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
12	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
13	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
14	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
15	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
16	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
17	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
18	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
TOTAL		11,300	0,727	11,300	15,550

Y también se calculan las propiedades mecánicas del laminado, según la norma, para poder obtener el espesor mínimo (Véase Tabla 18).

Tabla 18. Propiedades laminado de fondo

R	0,221
ψ	0,326
t/w	2,139
σ_{ut}	76,634
σ_{uc}	96,680
σ_{uf}	128,192
τ_u	51,242
E	5.900,177
G	2.234,903
$\tau_{u\ inter}$	13,441
σ_d	64,096

Con estos datos y los coeficientes anteriores se puede calcular el espesor mínimo del laminado (Véase Tabla 19).

$$t_{min} = b * k_c * \sqrt{\frac{P * k_2}{1000 * \sigma_d}} \quad (42)$$

Tabla 19. Espesor paneles de fondo

PANEL	c (mm)	c/b	Kc	l/b	K2	t(mm)
1A	0,000	0,000	1,000	3,861	0,465	15,639
1B	1,000	0,001	1,095	3,861	0,465	17,129
1C	2,000	0,003	1,090	4,019	0,460	16,283
2A	1,000	0,001	1,000	5,086	0,433	15,104
2B	2,000	0,003	1,091	5,057	0,433	16,579
2C	5,000	0,008	1,075	5,370	0,426	15,261
3A	2,000	0,003	1,091	3,170	0,486	17,728
3B	3,000	0,004	1,086	3,158	0,486	17,734
3C	24,000	0,040	0,967	3,750	0,468	13,043
4A	3,000	0,004	1,087	3,008	0,490	18,746
4B	40,000	0,054	0,920	3,058	0,489	15,637
4C	24,000	0,076	0,847	5,382	0,426	5,723
5A	21,000	0,042	0,960	4,031	0,460	10,699
5B	40,000	0,050	0,932	1,636	0,472	16,696
6A	0,000	0,000	1,000	1,482	0,451	6,485
					t_{MIN}	18,746

Como se puede observar, el espesor del laminado propuesto es mayor que el mínimo exigido por el reglamento. Por tanto, resta comprobar que cumple con el contenido en fibra seca mínimo. Para ello, se utiliza la siguiente fórmula:

$$w_{min} = 0.43 * k_5 * (A + k_7 + V + k_8 + m_{LDC}^{0.33}) \quad (43)$$

Donde:

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

Ilustración 38. Valores requeridos para el peso de fibra mínimo de laminado

Y así, se tienen los valores recogidos en la Tabla 20.

Tabla 20. Peso de fibra en seco mínimo fondo

K5	1,000
A	1,500
K7	0,030
K8	0,150
V	21,000
WMIN (Kg /m2)	2,884

Pudiendo comprobar que el peso del laminado propuesto supera al mínimo exigido por la norma.

5.3.5.- Costados

De manera paralela al procedimiento seguido para el fondo, se obtienen los valores indicados en las Tablas 21 a 26.

Tabla 21. Paneles de costado 1

PANEL	Z (m)	h (m)	Kz
1D	1,493	1,160	0,223
1E	1,493	0,490	0,672
1F	1,493	0,000	1,000
2D	1,493	1,160	0,223
2E	1,493	0,490	0,672
2F	1,493	0,000	1,000

PANEL	Z (m)	h (m)	Kz
3D	1,493	1,160	0,223
3E	1,493	0,490	0,672
3F	1,493	0,000	1,000
4D	1,493	1,160	0,223
4E	1,493	0,490	0,672
4F	1,493	0,000	1,000
5D	1,493	1,160	0,223
5E	1,493	0,490	0,672
5F	1,493	0,000	1,000
6D	1,493	1,160	0,223
6E	1,493	0,490	0,672
6F	1,493	0,000	1,000

Tabla 22. Paneles de costado 2

PANEL	X (m)	X/LWL	KL	b (mm)	KR	l (mm)	AD (m2)	KAR	P _{SMD} (KN/m2)
1D	1,50	0,111	0,593	660	1,302	2530	1,089	0,600	7,652
1E	1,39	0,103	0,586	690	1,293	2670	1,190	0,580	14,086
1F	1,35	0,100	0,584	680	1,296	2690	1,156	0,587	19,170
2D	4,47	0,330	0,776	660	1,302	3560	1,089	0,600	10,005
2E	4,47	0,330	0,776	690	1,293	3560	1,190	0,580	18,632
2F	4,52	0,334	0,779	630	1,311	3560	0,992	0,621	27,072
3D	7,37	0,544	0,954	660	1,302	2250	1,089	0,600	12,304
3E	7,38	0,545	0,954	690	1,293	2250	1,190	0,580	22,926
3F	7,45	0,550	0,959	550	1,335	2250	0,756	0,687	36,822
4D	9,62	0,711	1,000	660	1,302	2250	1,089	0,600	12,900
4E	9,62	0,711	1,000	690	1,293	2250	1,190	0,580	24,022
4F	9,35	0,691	1,000	500	1,350	2250	0,625	0,735	41,125
5D	11,87	0,877	1,000	660	1,302	2250	1,089	0,600	12,900
5E	11,87	0,877	1,000	690	1,293	2250	1,190	0,580	24,022
5F	11,58	0,855	1,000	330	1,401	2250	0,272	0,979	54,763
6D	13,88	1,025	1,000	550	1,335	2000	0,293	0,912	19,611
6E	13,50	0,997	1,000	450	1,365	1560	0,293	0,933	38,616
6F	13,33	0,985	1,000	150	1,455	620	0,293	0,994	55,634
P_{SS} MAX									55,634

Tabla 23. Secuencia de laminado costado

CAPA	TIPO FIBRA	GRAMAJE (Kg/m2)	ψ	t (mm)	PESO LAMINADO (Kg/m2)
1	Gelcoat	...	...	...	...
2	MAT	0,3	0,3	0,702	1,000
3	MAT	0,45	0,3	1,053	1,500
4	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
5	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
6	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
7	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
8	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
9	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
10	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
11	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
12	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
13	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
14	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
TOTAL		8,550	0,711	15,026	12,018

Tabla 24. Propiedades laminado de costado

R	0,228
ψ	0,325
t/w	2,145
σ_{ut}	76,369
σ_{uc}	96,589
σ_{uf}	127,996
τ_u	51,194
E	5.877,333
G	2.233,881
τ_u inter	13,451
σ_d	63,998

Tabla 25. Espesor paneles de costado

PANEL	c (mm)	c/b	Kc	l/b	K2	t(mm)
1D	8,000	0,012	1,060	3,833	0,466	14,075
1E	4,000	0,006	1,000	3,870	0,465	13,870
1F	7,000	0,010	1,000	3,956	0,462	13,632
2D	12,000	0,018	1,039	5,394	0,426	13,196
2E	3,000	0,004	1,000	5,159	0,431	13,353

PANEL	c (mm)	c/b	Kc	l/b	K2	t(mm)	
2F	12,000	0,019	1,000	5,651	0,420	12,041	
3D	20,000	0,030	0,999	3,409	0,479	13,450	
3E	6,000	0,009	1,000	3,261	0,483	14,138	
3F	12,000	0,022	1,000	4,091	0,458	10,979	
4D	40,000	0,061	1,000	3,409	0,479	13,462	
4E	22,000	0,032	1,000	3,261	0,483	14,138	
4F	4,000	0,008	1,000	4,500	0,447	9,858	
5D	90,000	0,136	1,000	3,409	0,479	13,462	
5E	25,000	0,036	1,000	3,261	0,483	14,138	
5F	1,000	0,003	1,000	6,818	0,399	6,148	
6D	150,000	0,273	1,000	3,636	0,472	11,138	
6E	35,000	0,078	1,000	3,467	0,477	9,162	
6F	0,000	0,000	1,000	4,133	0,457	2,990	
						t_{MIN}	14,138

Tabla 26. Peso de fibra en seco mínimo costado

K5	1
A	1,5
K7	0
K8	0,15
V	21,000
WMIN (Kg /m2)	2,613

5.3.6.- Cubierta

Igual que con los casos anteriores, los resultados se muestran en las Tablas 27 a 30.

Tabla 27. Paneles de cubierta

PANEL	X (m)	X/L _{WL}	KL	b (mm)	KR	I (mm)	AD (m ²)	KAR	P _{DM} (KN/m ²)
1G	1,560	0,115	0,597	1090	1,173	2280	2,485	0,422	2,923
1H	1,550	0,115	0,596	1090	1,173	2280	2,485	0,422	2,920
2G	4,460	0,329	0,775	1090	1,173	3550	3,905	0,369	3,315
2H	4,460	0,329	0,775	1100	1,170	3550	3,870	0,369	3,315
3G	7,370	0,544	0,954	1090	1,173	2250	2,430	0,425	4,703
3H	7,390	0,546	0,955	1080	1,176	2250	2,453	0,425	4,709
4G	9,630	0,711	1	1090	1,173	2250	2,138	0,442	5,125
4H	9,700	0,717	1	950	1,215	2250	2,453	0,439	5,094

PANEL	X (m)	X/L _{WL}	KL	b (mm)	KR	I (mm)	AD (m ²)	KAR	P _{DM} (KN/m ²)
5G	11,880	0,878	1	1090	1,173	2250	1,688	0,474	5,501
5H	11,530	0,852	1	750	1,275	2250	1,800	0,505	5,865
6G	13,570	1,002	1	800	1,260	1500	0,390	0,790	9,171
6H	13,250	0,979	1	260	1,422	593	0,000	0,000	0,000
P_{DS} MAX									4,703

Tabla 28. Secuencia de laminado paneles de cubierta

CAPA	TIPO FIBRA	GRAMAJE (Kg/m ²)	ψ	t (mm)	PESO LAMINADO (Kg/m ²)
1	Gelcoat	...	...	...	...
2	MAT	0,3	0,3	0,702	1,000
3	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
4	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
5	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
6	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
7	MAT	0,6	0,3	1,404	2,000
9	WR	0,8	0,48	1,042	1,667
TOTAL		4.500	0.264	8,039	12,000

Tabla 29. Espesor paneles de cubierta

PANEL	c (mm)	c/b	Kc	l/b	K2	t(mm)
1G	0,000	0,000	1,000	2,092	0,500	6,783
1H	0,000	0,000	1,000	2,092	0,500	6,783
2G	0,000	0,000	1,000	3,257	0,483	6,668
2H	0,000	0,000	1,000	3,227	0,484	6,735
3G	0,000	0,000	1,000	2,064	0,499	6,779
3H	0,000	0,000	1,000	2,083	0,500	6,720
4G	0,000	0,000	1,000	2,064	0,499	6,779
4H	0,000	0,000	1,000	2,368	0,502	5,924
5G	0,000	0,000	1,000	2,064	0,499	6,779
5H	0,000	0,000	1,000	3,000	0,490	4,623
6G	0,000	0,000	1,000	1,875	0,492	4,938
6H	0,000	0,000	1,000	2,279	0,502	1,621
t_{MIN}						6,783

Tabla 30. Propiedades laminado de cubierta

R	0,467
ψ	0,299
t/w	2,340
σ_{ut}	67,574
σ_{uc}	93,440
σ_{uf}	121,423
τ_u	49,515
E	5079,467
G	2198,187
τ_{u inter}	13,819
σ_d	60,712

En el caso de la cubierta, los valores mínimos requeridos se calculan a partir de los valores indicados en la siguiente tabla:

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

Ilustración 39. Espesor mínimo del laminado de cubierta

Donde $k_5=1$, por tratarse de laminados de fibra de vidrio.

Y mediante la siguiente ecuación, se calcula el peso mínimo de fibra:

$$\frac{t}{w} = \frac{1}{0.3072} * \left(\frac{2.56}{\psi} - 1.36 \right) \tag{44}$$

Obteniendo así los resultados indicados en la Tabla 31.

Tabla 31. Espesor y peso de fibra mínimo cubierta

t_{MIN}	3,35
W_{MIN}	1,43

5.3.7.- Mamparos

Para el cálculo del escantillón de los mamparos, se necesita conocer los siguientes datos:

- h: altura total del mamparo estructural, en metros.
- h_B : altura de carga de agua para mamparos estructurales estancos.
- l: máxima longitud del mamparo, en milímetros.
- b: mínima longitud del mamparo, en milímetros.
- t_s : espesor de la capa de PRVF exterior, en milímetros.
- t_c : espesor del núcleo del Sándwich.
- K_1 : factor de rigidez de flexión para un panel tipo sándwich.
- K_2 : factor de alargamiento del panel por resistencia a flexión.
- K_3 : factor de alargamiento del panel por rigidez a flexión.

Los valores de los factores K_2 y K_3 son función de la relación en las dimensiones l y b del panel. Estos valores están indicados por la norma en la siguiente tabla:

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

Ilustración 40. Valores de los factores de alargamiento para el laminado de mamparos

K_{SHC} : factor de alargamiento por la fuerza de cizalla, es función de l/b.

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 $l/b < 2$.													

Ilustración 41 Tensión mínima de cizalla del diseño del núcleo en función de la eslora

Además de esto, como se trata de mamparos estructurales, deben cumplir una serie de requisitos marcados por la norma. Estos requisitos se encuentran en diferentes partes de la norma, pero a continuación se recogerán los necesarios para el presente proyecto:

En primer lugar, las presiones mínimas de diseño se calculan como se indica en la Tabla 32.

Tabla 32. Presiones mínimas mamparos

	Mamparos estructurales	Mamparos de colisión
Presión mínima de diseño (kN/m²)	$P_{WB} = 7 * h_B$	$P_{WB} = 10 * h_B$

Además, para cada capa se debe cumplir que las tensiones de diseño:

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 $0,5 \sigma_{ut}$ En capas interiores $0,5 \sigma_{uc}$; $0,3\sqrt[3]{E_c \times E_{co} \times G_c}^a$

Ilustración 42 Tensiones de diseño para los paneles de FRP tipo sándwich

Siendo:

- σ_{ut} : resistencia mínima a tracción, en N/mm².
- σ_{uc} : resistencia mínima a compresión, en N/mm².

En segundo lugar, en lo referente a espesores, el del núcleo tiene que ser por lo menos cinco veces mayor que el de la capa con menor espesor. Además, los espesores de las capas (t_s) y del núcleo (t_c), deben cumplir:

$$t_s * t_c \geq \frac{t_b^2}{6} * \left(\frac{25}{\sigma_d}\right) \quad (45)$$

$$t_s * \frac{t_c^2}{2} \geq \frac{t_b^3}{12} * \left(\frac{4000}{E_{io}}\right) \quad (46)$$

Donde:

- $t_b=7*D_b$, siendo D_b la altura del mamparo desde el fondo hasta cubierta en metros.
- σ_d y E_{io} se cogen del Anexo C de la norma

A continuación, los módulos de inercia mínimos que se requieren no deben ser inferiores a los valores proporcionados por las siguientes ecuaciones:

- Capa exterior

$$SM_o / 1 \text{ cm de anchura} = \frac{b^2 * k_C^2 * P * k_2}{6 * 10^5 * \sigma_{dto}} \text{ capa exterior cm}^3/\text{cm} \quad (47)$$

- Capa interior

$$SM_i / 1 \text{ cm de anchura} = \frac{b^2 * k_C^2 * P * k_2}{6 * 10^5 * \sigma_{dci}} \text{ capa exterior cm}^3/\text{cm} \quad (48)$$

También, el segundo momento de inercia para una tira de panel sándwich con anchura de 1 centímetro no será menor de:

$$I / 1 \text{ cm de anchura} = \frac{b^3 * k_C^3 * P * k_3}{12 * 10^6 * E_{io}} \text{ cm}^4/\text{cm} \quad (49)$$

Por último, el espesor mínimo requerido será el dado por la ecuación:

$$t_s \geq \sqrt{k_C} \frac{k_{SHC} * P * b}{1000 * \tau_d} \text{ mm} \quad (50)$$

Todos estos factores cuyo valor mínimo viene fijado por la norma se calcularán de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

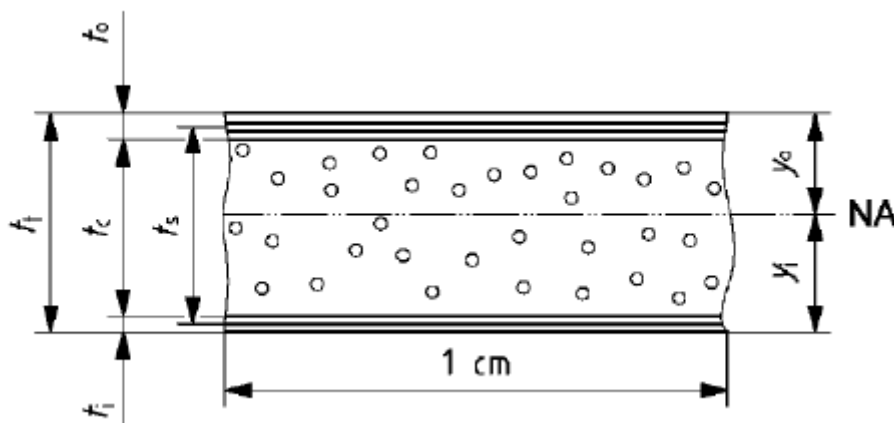


Ilustración 43. Dimensiones estructura tipo sándwich

Espesor total del sándwich (mm):

$$t_t = t_c * t_o * t_i \quad (51)$$

Distancia entre centros de gravedad de las capas (mm):

$$t_s = t_c \frac{(t_o + t_i)}{2} \quad (52)$$

Distancia del punto de la capa exterior más alejada del centro de gravedad (mm):

$$y_o = \frac{t_i * t_s}{t_i + t_o} + \frac{t_o}{2} \quad (53)$$

Distancia del punto de la capa interior más alejada del centro de gravedad (mm):

$$y_i = \frac{t_i * t_s}{t_i + t_o} + \frac{t_i}{2} \quad (54)$$

Segundo momento del área por centímetro de anchura (cm⁴/cm):

$$I = \left(\frac{t_o * t_i * t_s^2}{t_o + t_i} + \frac{t_o^3 + t_i^3}{12} \right) * 10^{-3} \quad (55)$$

Módulo de inercia de la capa exterior por centímetro de anchura:

$$SM_o = \frac{10 * I}{y_o} \quad (56)$$

Módulo de inercia de la capa interior por centímetro de anchura:

$$SM_i = \frac{10 * I}{y_i} \quad (57)$$

Y la tensión de cizalla para el diseño del núcleo se obtiene mediante la siguiente tabla:

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).	

Ilustración 44. Tensiones de cizalla para paneles de FRP tipo sándwich

Además, para reducir los riesgos de daño o perforación, es requerida una masa mínima en kg/m² para las capas exterior e interior, respectivamente:

$$w_{os} = k_{DC} * k_4 * k_5 * k_6 * (0.1 * l_{WL} + 0.15) \quad (58)$$

$$w_{is} = 0.7 * w_{os} \quad (59)$$

Por lo tanto, de acuerdo a todo lo establecido hasta el momento, se tiene, en primer lugar, los contenidos de fibra en seco para las capas exteriores e interiores de los mamparos (Véase Tabla 33).

Tabla 33. Masas mínimas de fibra

W_{os} (kg/m ²)	0,902
W_{is} (kg/m ²)	0,632

En segundo lugar, la secuencia de laminado, así como el espesor final y peso de cada capa de laminado se muestra en la tabla 34.

Tabla 34. Secuencia de laminado mamparos

CAPA	TIPO FIBRA	GRAMAJE (Kg/m ²)	ψ	t (mm)	PESO LAMINADO (Kg/m ²)
1	MAT	0,3	0,3	0,702	1,000
2	WR	0,5	0,48	0,651	1,042
3	MAT	0,3	0,3	0,702	1,000
4	WR	0,5	0,48	0,651	0,938
5	MAT	0,3	0,3	0,702	1,000
6	WR	0,5	0,48	0,651	1,042
7	MAT	0,3	0,3	0,702	1,000

CAPA	TIPO FIBRA	GRAMAJE (Kg/m ²)	ψ	t (mm)	PESO LAMINADO (Kg/m ²)
8	WR	0,5	0,48	0,651	1,042
9	MAT	0,3	0,3	0,702	1,000
TOTAL		3.450	0.489	6,114	7,061

A continuación, a partir de las propiedades mecánicas del laminado y del material de núcleo, se obtienen las propiedades de la estructura tipo sándwich, recogidas en las Tablas 35, 36 y 37, respectivamente.

Tabla 35. Propiedades laminado mamparos

R	0,348
ψ	0,397
t/w	1,646
σ_{ut}	105,236
σ_{uc}	105,287
σ_{uf}	149,021
τ_u	55,833
E	8.080,696
G	2.332,452
τ_u inter	12,437
E_c	8.080,696
σ_{dto}	52,618
σ_{dci} (1)	52,643
σ_{dci} (2)	69,579

Tabla 36. Propiedades del material de núcleo

Tipo	Reticulado rígido de Grado I
ρ_c (Kg/m³)	80,000
T_u (N/mm²)	0,830
σ_{uc} (N/mm²)	0,946
G_c (N/mm²)	23,708
E_{co} (N/mm²)	65,121

Tabla 37. Propiedades estructura sándwich

tc (mm)	32,000
to (mm)	6,114
ti (mm)	6,114
ts (mm)	38,114
yo (mm)	22,114
yi (mm)	22,114
τd (N/mm²)	0,539
I/1cm (cm⁴/cm)	4,479
SM_O/1cm (cm³/cm)	2,025
SM_i/1cm (cm³/cm)	2,025
kg/m² Panel (kg/m²)	16,683

Calculando ahora los valores mínimos exigidos según la norma, se puede observar que se cumple con todas las exigencias marcadas (Véanse Tablas 38, 39 y 40)

Tabla 38. Valores mínimos exigidos para los mamparos

Mamparo	P_{WB} (KN/m²)	SM_O min	SM_i min	I min	t_s min (mm)
1	15,933	1,411	1,410	3,587	32,112
2	11,153	0,988	0,988	2,513	22,492
2	12,467	0,634	0,634	1,222	18,488

Y, finalmente, se puede pasar a comprobar si la relación existente entre el espesor de las capas y el del núcleo cumple con los requisitos exigidos:

Tabla 39. Valores mínimos de las relaciones entre espesores

Mamparo	Relación t_s/t_c min (ecc. 45)	Relación t_s/t_c min (ecc. 46)
1	22,164	193,160
2	22,164	193,160
3	13,569	92,523

Tabla 40. Valores reales de las relaciones entre espesores

Relacion t_s/t_c (ecc. 45)	Relacion t_s/t_c (ecc. 45)
1.219,659	19.514,539

Con lo que se comprueba que la secuencia de laminado propuesta cumple con todos los requisitos exigidos por la norma.

5.3.8.- Refuerzos

Como ya se ha comentado con anterioridad, todos los refuerzos contarán con relleno de espuma PVC, al igual que los mamparos. Así se contribuye a imposibilitar la entrada de agua y se mejora la rigidez de los mismos.

Según indica la normativa, los refuerzos, independientemente de cual se trate, deben cumplir unos valores mínimos de:

Área del alma, en cm²:

$$A_W = \frac{k_{SA} * P * s * l_u}{\tau_d} * 10^{-6} \quad (60)$$

Módulo de inercia mínimo de la sección con la plancha asociada, en cm⁴:

$$SM = \frac{83.33 * k_{CS} * P * s * l_u}{\sigma_d} * 10^{-9} \quad (61)$$

Segundo momento de área, cm⁴:

$$I = \frac{26 * k_{CS}^{1.5} * P * s * l_u}{k_{1S} * E_{tc}} * 10^{-11} \quad (62)$$

Donde:

- k_{SA} : factor de superficie de cizalla del refuerzo.

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

Ilustración 45. Valores del factor de superficie de cizalla en función de la disposición del refuerzo

- P: presión de diseño, en kN/m².
- s: separación entre refuerzos, en mm.
- l_u : separación entre apoyos de un refuerzo, en mm.
- τ_d : tensión de diseño de cizalla del alma del refuerzo.
- σ_d : tensión de diseño del refuerzo, en N/mm².

Material	Tensión de diseño en tracción y compresión σ_d N/mm ²	Tensión de diseño a la cizalla τ_d N/mm ²
Laminado FRP	0,5 σ_{ut} y 0,5 σ_{uc} ^a	0,5 τ_u
Aleaciones de aluminio	0,7 σ_{yw} ^b	0,4 σ_{yw} ^b
Acero	0,8 σ_y	0,45 σ_y
Cuadernas de madera laminada	0,45 σ_{uf} ^c	0,45 τ_u
Cuadernas de madera maciza	0,4 σ_{uf} ^c	0,4 τ_u
Cuadernas de contrachapado sobre los bordes	0,45 σ_{uf} ^c	0,45 τ_u

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

^a Se utiliza σ_c cuando se considera que la tensión es por compresión (normalmente el ala superior del refuerzo) y σ_t cuando se considera que la tensión es por tracción (normalmente las chapas del costado), se tienen que hacer las dos verificaciones.

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

^c Deben tomarse en la tabla E.1 los valores de σ_{uf} para los refuerzos de madera laminada y los de σ_{cf} para la madera maciza. Para el contrachapado no se debe tomar σ_{uf} en la tabla E.2, sino en las tablas E.3 o E.6.

Ilustración 46. Tensiones de diseño de refuerzos

- K_{cs} : factor de ajuste de la curvatura del refuerzo.

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

Ilustración 47. Valores del factor de ajuste de la curvatura del refuerzo

- K_{1S} : factor de deflexión con valor fijo de 0.5.
- E_{tc} : media de los módulos de elasticidad en tracción y compresión, en N/mm².

Por último, las propiedades mecánicas correspondientes al laminado de los refuerzos serán las recogidas en la Tabla 41.

Tabla 41. Propiedades laminado refuerzos

R	0,462
ψ	0,299
t/w	2,340
σ_{ut}	67,754
σ_{uc}	93,508
σ_{uf}	121,559
τ_u	49,551
E	5.096,615
G	2.198,954
τ_{u inter}	13,811
σ_d	33,877
τ_d	24,775

Por tanto, a partir de estas indicaciones, se pasará a calcular las características mínimas requeridas para todos los refuerzos en función de su posición.

5.3.8.1.- Longitudinales de fondo

Los requisitos mínimos y los valores finales son los indicados en las Tablas 42 y 43, respectivamente.

Tabla 42. Requisitos mínimos longitudinales de fondo

TRAMO	AW (cm²)	SM_{min} (cm³)	I (cm⁴)
1A	6,951	228,310	255,217
1B	6,951	228,310	255,217
1C	7,170	235,511	263,266
2A	12,165	527,103	777,249
2B	12,112	524,813	773,872
2C	12,727	551,447	813,145
3A	9,356	256,568	239,447
3B	9,326	255,741	238,675
3C	7,418	203,414	189,840
4A	9,403	257,870	240,662
4B	9,502	260,567	243,179
4C	8,460	231,991	216,510
5A	13,122	371,843	358,598
5B	7,764	220,022	212,185
6A	2,028	14,362	3,461

De esta manera, se selecciona el valor más desfavorable de los obtenidos para dimensionar todos los refuerzos de este mismo tipo. Para el caso de los longitudinales de fondo:

Tabla 43. Valores longitudinales de fondo

AW (cm2)	SMmin (cm3)	I (cm4)
13,122	551,447	813,145

De igual manera se procederá con el resto de los refuerzos.

5.3.8.2.- Longitudinales de costado

Al igual que en el caso anterior, los valores para los longitudinales de costado vienen recogidos en las Tablas 44 y 45.

Tabla 44. Requisitos mínimos longitudinales de costado

TRAMO	AW (cm2)	SMmin (cm3)	I (cm4)
1D	2,866	93,972	104,852
1E	5,237	170,436	188,754
1F	6,154	180,758	180,693
2D	4,731	204,704	301,425
2E	9,211	398,523	586,823
2F	12,801	553,883	815,590
3D	3,352	91,927	85,793
3E	7,183	196,990	183,845
3F	1,104	30,263	28,243
4D	2,812	77,105	71,960
4E	7,526	206,401	192,628
4F	12,325	337,998	315,443
5D	1,992	54,616	50,971
5E	7,526	206,401	192,628
5F	1,641	45,008	42,005
6D	0,475	2,894	0,600
6E	8,389	159,500	103,207
6F	14,821	361,278	299,707

Tabla 45. Valores longitudinales de costado

AW (cm2)	SMmin (cm3)	I (cm4)
14,821	553,883	815,590

5.3.8.3.- Esloras de cubierta

Los valores mínimos requeridos (Véase Tabla 46) y los finalmente seleccionados (Véase Tabla 47) para el caso de las esloras, serán los siguientes:

Tabla 46. Requisitos mínimos esloras

TRAMO	AW (cm ²)	SMmin (cm ³)	I (cm ⁴)
1G	1,466	40,747	38,535
1H	1,478	41,078	38,848
2G	2,589	112,007	164,930
2H	2,613	113,055	166,473
3G	2,328	63,842	59,582
3H	2,352	64,497	60,193
4G	2,537	69,561	64,919
4H	2,197	60,260	56,239
5G	2,723	74,673	69,690
5H	1,495	31,520	22,618
6G	2,471	53,604	39,577
6H	0,004	0,038	0,013

Tabla 47. Valores esloras

AW (cm ²)	SMmin (cm ³)	I (cm ⁴)
2,723	113,055	166,473

5.3.8.4.- Varengas

En el caso de las varengas, se muestran los resultados en las Tablas 48 y 49.

Tabla 48. Requisitos mínimos varengas

TRAMO	AW (cm ²)	SMmin (cm ³)	I (cm ⁴)
A	6,938	63,250	18,711
B	6,938	57,500	16,218
C	6,946	55,876	15,297
A	12,182	100,966	28,478
B	12,129	100,527	28,354
C	12,370	99,507	27,241
A	9,356	77,540	21,871
B	9,326	77,290	21,800
C	7,418	39,515	7,429
A	9,403	77,934	21,982
B	9,502	71,584	19,250

Tabla 49. Valores varengas

AW (cm2)	SMmin (cm3)	I (cm4)
12,370	100,966	28,478

5.3.8.5.- Cuadernas

Los valores mínimos requeridos para las cuadernas y los finalmente seleccionados, se recogen en las Tablas 50 y 51, respectivamente.

Tabla 50. Requisitos mínimos cuadernas

TRAMO	AW (cm2)	SMmin (cm3)	I (cm4)
D	2,825	23,411	6,603
E	5,237	44,045	12,606
F	6,460	51,967	14,226
D	4,516	34,676	9,062
E	9,211	77,459	22,169
F	12,801	102,976	28,191
D	3,073	20,598	4,699
E	7,183	60,410	17,290
F	11,035	88,771	24,302
D	2,460	12,594	2,194
E	7,526	62,906	17,948
F	12,325	87,550	22,523

Tabla 51. Valores cuadernas

AW (cm2)	SMmin (cm3)	I (cm4)
12,801	102,976	28,191

5.3.8.6.- Baos

Finalmente, en la Tabla 52 se muestran los mínimos valores exigidos para los baos y, en la Tabla 53, sus valores finales.

Tabla 52. Requisitos mínimos baos

TRAMO	AW (cm2)	SMmin (cm3)	I (cm4)
1G	1,466	19,480	8,807
1H	1,478	19,818	9,042
2G	2,589	34,391	15,549
2H	2,613	35,031	15,984

TRAMO	AW (cm2)	SMmin (cm3)	I (cm4)
3G	2,328	30,928	13,983
3H	2,352	31,532	14,387
4G	2,537	33,698	15,236
4H	2,197	25,443	10,026

Tabla 53. Valores baos

AW (cm2)	SMmin (cm3)	I (cm4)
2,613	35,031	15,984

5.3.8.7.- Dimensiones de los refuerzos

En el anexo G de la Norma, se facilitan tablas y se explica su utilización para obtener las dimensiones de los refuerzos. Para utilizar las tablas, es necesario definir una serie de parámetros previamente según la siguiente imagen:

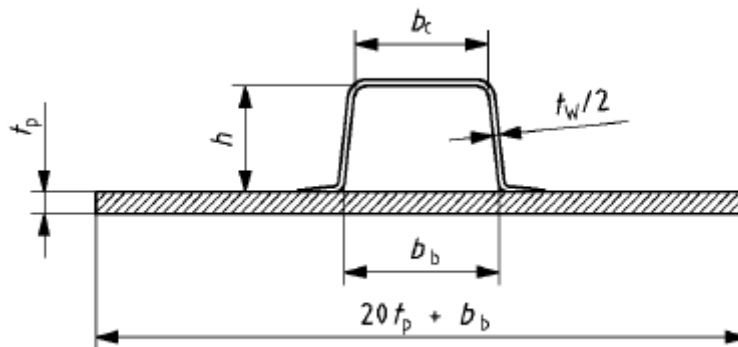


Ilustración 48. Disposición y dimensiones de los refuerzos tipo "sombbrero de copa"

- b_c : anchura de la parte superior (ala).
- h : altura del refuerzo.
- $t_w/2$: espesor del refuerzo.
- b_b : anchura de la base.
- t_p : espesor de la plancha asociada.
- $20t_p + b_b$: longitud de la plancha asociada.

El procedimiento a seguir es, en primer lugar, partiendo de los espesores de las chapas asociadas a cada refuerzo (t_p) se entra en las tablas. En segundo lugar, como para cada valor del espesor de plancha asociada existen varias posibilidades de dimensiones en función del área del alma (A_w), módulo de inercia de la sección (SM) y segundo momento del área (I), calculados los valores mínimos anteriormente, se selecciona el

refuerzo que cumpla con dichos valores. Para valores que no estén en las tablas será necesario interpolar.

Además, las tablas muestran tres tipos distintos de refuerzos: los de sombrero de copa “achatado”, los de sombrero de copa “cuadrados” y los de sombrero de copa “altos”. Por ello, como no da ninguna indicación de las utilidades, ventajas o inconvenientes, más que los propios valores de los factores comentados, se hará una comparativa entre los tres tipos, seleccionando finalmente el más favorable.

Así, los valores con los que entrar en las tablas facilitadas por la norma, para cada refuerzo, son los recogidos en la Tabla 54.

Tabla 54. Valores iniciales dimensionamiento refuerzos

	tp (mm)	AW min	SM min	I min
Long. Fondo	19,801	13,122	551,447	813,145
Long. Costado	15,026	14,821	553,883	815,590
Esloras	8,039	2,723	113,055	166,473
Varengas	19,801	12,370	100,966	28,478
Cuadernas	15,026	12,801	102,976	28,191
Baos	8,039	2,613	35,031	15,984

- Longitudinales de fondo

Como puede observarse, el valor del módulo de inercia mínimo es muy elevado, por lo que únicamente se puede seleccionar un refuerzo de sombrero de copa “alto”, ya que son los únicos que alcanzan valores tan elevados.

Por lo tanto, entrando en las tablas como se ha explicado anteriormente e interpolando se obtienen los valores mostrados en la Tabla 55.

Tabla 55. Características longitudinales de fondo

Tipo refuerzo	tp	h	bb	bc	Chapa	Aw	SM	I	Wf	Peso/long
"Copa alta"	19,801	250	100	100	496,022	49	649,378	13.515,1943	4,2	2,083

- Longitudinales de costado

Al igual que en el caso de los longitudinales de fondo, el único refuerzo que puede llegar a cumplir con los valores exigidos del módulo de inercia es el de copa “alto” (Véase Tabla 56).

Tabla 56. Características longitudinales de costado

Tipo refuerzo	tp	h	bb	bc	Chapa	Aw	SM	I	Wf	Peso/long
"Copa alta"	15,026	250	100	100	400,520	49	476,200	11005	4,2	1,682

- Esloras de cubierta

Para este caso sí es posible utilizar los tres tipos de perfil facilitados por la norma. Por ello, se seleccionará en primer lugar el perfil adecuado de cada tipo para realizar posteriormente una comparativa entre los tres.

La selección a partir de los valores mínimos concluye con unos perfiles de dimensiones mostradas en la Tabla 57.

Tabla 57. Comparativa esloras

Tipo refuerzo	h	bb	bc	Wf	Chapa	Peso/long
Achatado	125	175	150	2.1	335,78	0,705
Cuadrado	150	150	125	2.7	310,78	0,839
Alto	150	75	75	2.7	235,78	0,637

Como puede observarse, el perfil del tipo sombrero de copa “achatado” posee la altura mínima con peso por unidad de longitud intermedio.

Por ello se selecciona éste de entre los tres, quedando finalmente un perfil con las características indicadas en la Tabla 58.

Tabla 58. Características esloras

Tipo refuerzo	tp	h	bb	bc	Chapa	Aw	SM	I	Wf	Peso/long
"Achatado"	8,039	125	175	150	335,780	12,3	134,174	1.270,471	2,1	0,705

- Varengas

Igual que en el caso anterior, se realizará una comparativa y una selección posterior (Véanse Tabla 59 y Tabla 60).

Tabla 59. Comparativa varengas

Tipo refuerzo	h	bb	bc	Wf	Chapa	Peso/long
Achatado	150	220	190	2,7	616,022	1,663
Cuadrado	150	150	125	2,7	546,022	1,474
Alto	150	50	50	2,7	446,022	1,204

En este caso, los tres poseen la misma altura (dimensión importante a tener en cuenta por incidir directamente sobre los espacios de habitación) y el perfil del tipo

sombrero de copa “alto” posee el menor peso de las tres opciones. Por tanto, el perfil seleccionado es:

Tabla 60. Características varengas

Tipo refuerzo	tp	h	bb	bc	Chapa	Aw	SM	I	Wf	Peso/long
"Copa alta"	19,801	150	50	50	446,022	18,9	157,761	2.364,114	2,7	1,204

- Cuadernas

La comparación entre los tres tipos de perfiles queda recogida en la Tabla 61.

Tabla 61. Comparativa cuadernas

Tipo refuerzo	h	bb	bc	Wf	Chapa	Peso/long
Achatado	150	220	190	2,7	520	1,404
Cuadrado	150	150	125	2,7	450	1,215
Alto	150	50	50	2,7	350	0,945

Como ocurre en el caso anterior, se selecciona el perfil tipo sombrero de copa “alta” por ofrecer un menor peso frente a igualdad de altura (Véase Tabla 62).

Tabla 62. Características varengas

Tipo refuerzo	tp	h	bb	bc	Chapa	Aw	SM	I	Wf	Peso/long
"Copa alta"	15,026	150	50	50	350,520	18,9	139,100	1893,000	2,7	0,946

- Baos

La Tabla 63 recoge la comparación realizada entre los tres tipos de perfiles.

Tabla 63. Comparativa baos

Tipo refuerzo	h	bb	bc	Wf	Chapa	Peso/long
Achatado	100	150	125	2,1	310,78	0,653
Cuadrado	100	100	85	1,8	260,78	0,469
Alto	100	50	50	1,8	210,78	0,379

Por las mismas razones que en los dos últimos casos, se selecciona el perfil de sombrero de copa “alto”, cuyas características se facilitan en la Tabla 64.

Tabla 64. Características baos

Tipo refuerzo	tp	h	bb	bc	Chapa	Aw	SM	I	Wf	Peso/long
"Copa alta"	8,039	100	50	50	210,780	8,4	45,615	377,131	1,8	0,379

Con esto, ya se tienen dimensionados todos los refuerzos.



Capítulo 6. Disposición General

El propósito del presente capítulo es el de subdividir y compartimentar el buque, a partir de la disposición estructural elegida y del dimensionamiento de paneles y refuerzos, para establecer la disposición general de la embarcación. Para poder realizarla de forma correcta es necesario tener en cuenta una serie de factores:

- Forma del casco
- Número, posición y tamaño de paneles y refuerzos.
- Posición y tamaño de los motores.

Además, el establecimiento de la disposición general será indispensable para realizar el estudio de pesos y poder calcular el centro de gravedad de la embarcación posteriormente, por lo que es muy importante realizarla mientras se tiene en mente una correcta distribución de los pesos.

A lo largo del capítulo, en primer lugar, se describirán los distintos espacios que conforman la embarcación para, finalmente, mostrar los planos de disposición general de la misma.

6.1.- Cubierta superior

Al hablar de cubierta superior se hace referencia tanto a la parte de la embarcación que está expuesta a la intemperie como al puente de gobierno, protegido mediante la superestructura, es donde se encuentran todos los equipos necesarios para la navegación y el gobierno del buque.

Cabe destacar, como ya se mencionó en el capítulo de equipos y servicios, que toda la cubierta tendrá un recubrimiento de material antideslizante, así como protegida mediante barandillas en los límites exteriores.

A continuación, se describirán con más detalle los distintos espacios que la conforman, desde la proa hasta la popa.

6.1.1.- Solarium proa

Comprende la zona más a proa de la embarcación y se accede a ella desde la zona de popa, a través de los pasillos laterales a ambos lados de la caseta, de 0,63 metros de amplitud.

En esta encontramos, de proa hacia popa, el ancla con su respectivo molinete y un registro a través del cual se puede acceder a la caja de cadenas. También, pegada a la parte frontal de la caseta, se dispondrá una colchoneta que formará el “solárium” propiamente dicho, en el que se podrá disfrutar del sol y la brisa durante las navegaciones con buen tiempo.

Por supuesto, toda la zona rodeada de las correspondientes barandillas de seguridad.

6.1.2.- Puente de gobierno

Éste se encuentra inmediatamente a popa del solárium de proa. Completamente delimitado por la caseta que forma la superestructura de la embarcación, diseñada en su mayor parte de vidrio, siguiendo unas líneas modernas y consiguiendo una gran luminosidad en el interior.

En su interior nos encontramos, en primer lugar, en la zona más a proa y a estribor, el puesto de mando compuesto por dos butacas y las pantallas y equipos necesarios para un correcto manejo de la embarcación. Al lado de éste en la zona de babor, se encuentra la escalera que permite el acceso a la cubierta interior, la cual se describirá más adelante.

En la parte de popa, a estribor se dispondrá un mueble bar, con su correspondiente armario, y cinco taburetes. A babor, un sofá alto y una mesa que podrán utilizarse tanto para descansar como para comer en ellos.

Por último, la entrada al interior se hará a través de una puerta corredera situada en el lado de estribor a continuación de la terraza de la embarcación.

6.1.3.- Terraza

Se trata de la zona más a popa de la parte superior de la cubierta exterior. En ella encontramos, a babor, dos sillones y una mesa, parcialmente cubiertos por el techo de la superestructura.

Como ya se ha comentado, esta zona da paso, en primer lugar, al solárium de proa a través de los pasillos laterales. Y, en segundo lugar, al interior del puente de gobierno a partir de una puerta corredera en el lado de estribor.

Se accede a ella a través de dos escaleras situadas simétricamente a babor y estribor que suben desde la plataforma de baño de la embarcación.

6.1.4.- Plataforma baño

Zona más a popa de la embarcación. Dispone de una escalerilla en el límite más a popa para permitir el embarque desde el agua. También, además de las escaleras, a ambas bandas, que permiten subir a la terraza, hay una puerta con cierre de seguridad hermético, que da a las escaleras que permiten bajar al compartimento de los motores.

6.2.- Cubierta interior

En esta cubierta se encuentra no sólo el grueso de las zonas de habitación, sino también el compartimento de los motores. Por tanto, como se ha mencionado en el punto anterior, el acceso a esta cubierta se hará desde dos partes: a través de la escalera situada

a babor del puesto de mando en el interior de la caseta y que llega, en la banda de babor, a la parte más a proa de la cubierta justo antes del camarote doble que hay en proa, y también desde la escalera que entra desde la plataforma de baño hasta el compartimento de los motores.

6.2.1.- Camarote doble de proa

Este camarote se encuentra ligeramente más elevado que el resto debido a que, por las formas del casco, así se consigue aumentar la manga del mismo. Por ello, es el camarote que menos amplitud tiene.

Está formado por dos camas individuales situadas siguiendo las formas de la proa, simétricamente, y un mueble cajonera de formas ligeramente redondeadas, que recorre toda la manga del camarote en la zona de proa.

6.2.2.- Camarote individual

Está situado justo a popa de la escalera de acceso a cubierta y se accede a él mediante una puerta situada al girar dicha escalera.

Se trata de un camarote sencillo que cuenta con una cama individual, mesita de noche y lámpara, y armario bajo la escalera.

6.2.3.- Cuarto de baño común

Se encuentra en la banda de estribor en la zona más a proa de la cubierta interior y está pensado para ser compartido por los camarotes mencionados hasta este momento. Su puerta de acceso se encuentra situada junto a las escalerillas que suben a la puerta del camarote doble de proa.

Cuenta con un lavabo con su correspondiente mueble, un WC y un plato de ducha.

6.2.4.- Cocina

Colocada en la banda de estribor y justo a popa del cuarto de baño común, no se encuentra separada del acceso a la cubierta por ningún mamparo divisorio.

Cuenta con una encimera con sus correspondientes armarios y horno, y sobre la que se sitúan el fregadero y la vitrocerámica, además de un microondas. Sobre habrá un armario y, a proa de la misma, la nevera. También, en la zona más a babor habrá un mueble armario.

Por último, mencionar que a través de la cocina se llega a la puerta que da acceso al camarote principal.

6.2.5.- Camarote principal

Se encuentra en la zona más a popa de la habitación y ocupa la manga de la embarcación de banda a banda, incluyendo el baño.

Está formado por una amplia cama de matrimonio, dos mesitas de noche con sus correspondientes lamparitas y un armario junto a la puerta del cuarto de baño.

6.2.5.1.- Cuarto de baño del camarote principal

Se accede a él a través de la puerta situada a estribor del camarote, justo al entrar al mismo. Y cuenta, al igual que el otro cuarto de baño, con un lavabo con su correspondiente mueble, un WC y un plato de ducha.

6.2.6.- Compartimento de los motores

Se encuentra en la parte más a popa de la cubierta interior, justo debajo de la terraza, y, como ya se ha comentado, se accede a él por medio de una escalerilla desde la plataforma del baño.

En éste, además de los motores y todos los equipos necesarios para su correcto funcionamiento, se encuentran también los transformadores baterías y equipos que formarán el grueso de la instalación eléctrica de la embarcación.

6.3.- Planos de disposición general

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A

A

B

B

C

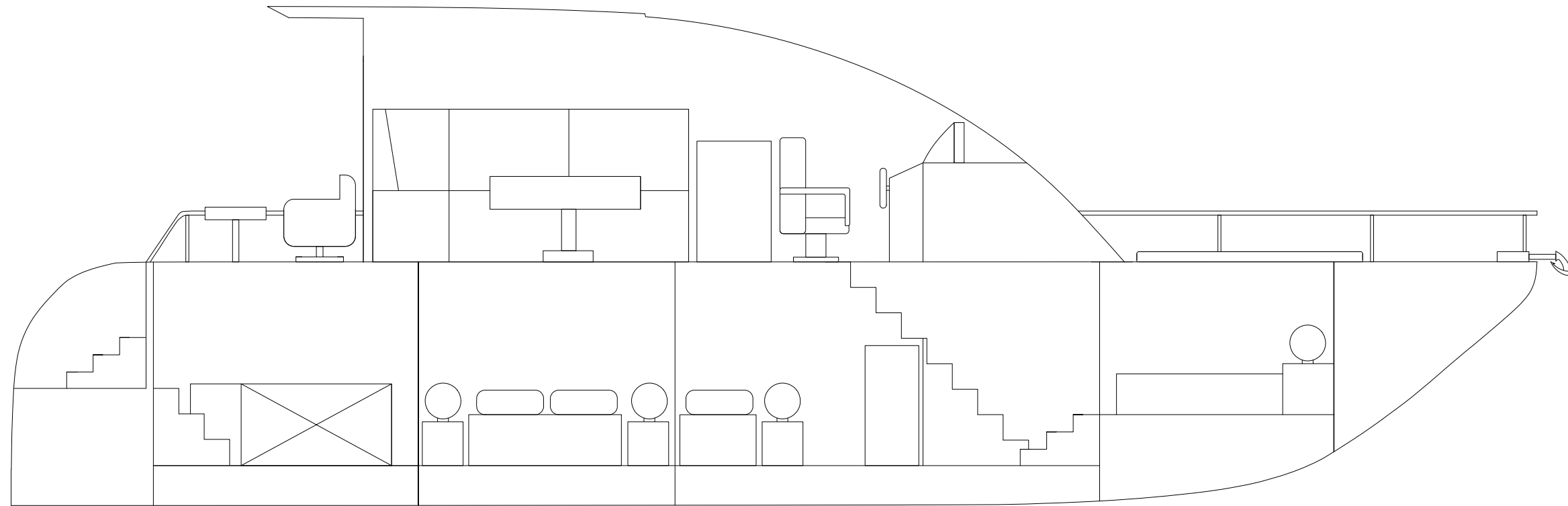
C

D

D

E

E



Anteproyecto embarcación de recreo	
Borja Girona Berná	
Escala 1:50	Fecha 22/03/2019

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
 NAVAL Y OCEÁNICA

Disposición general. Perfil

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A

A

B

B

C

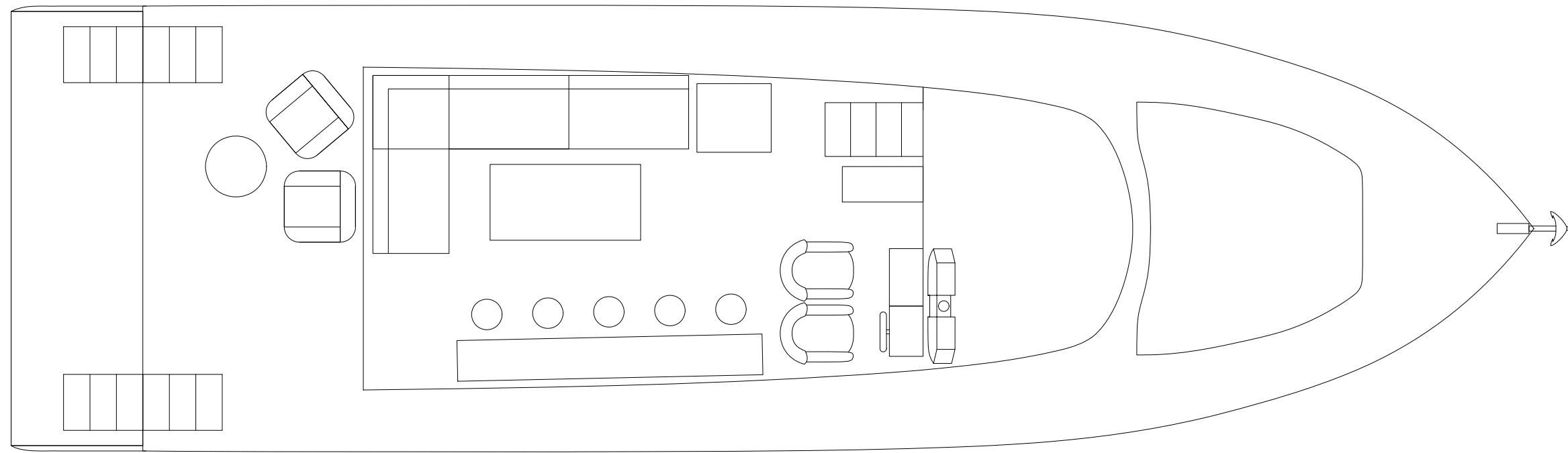
C

D

D

E

E



Anteproyecto embarcación de recreo		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
Borja Girona Berná		
Escala 1:50	Fecha 22/03/2019	Disposición general. Cubierta ext.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

A

A

B

B

C

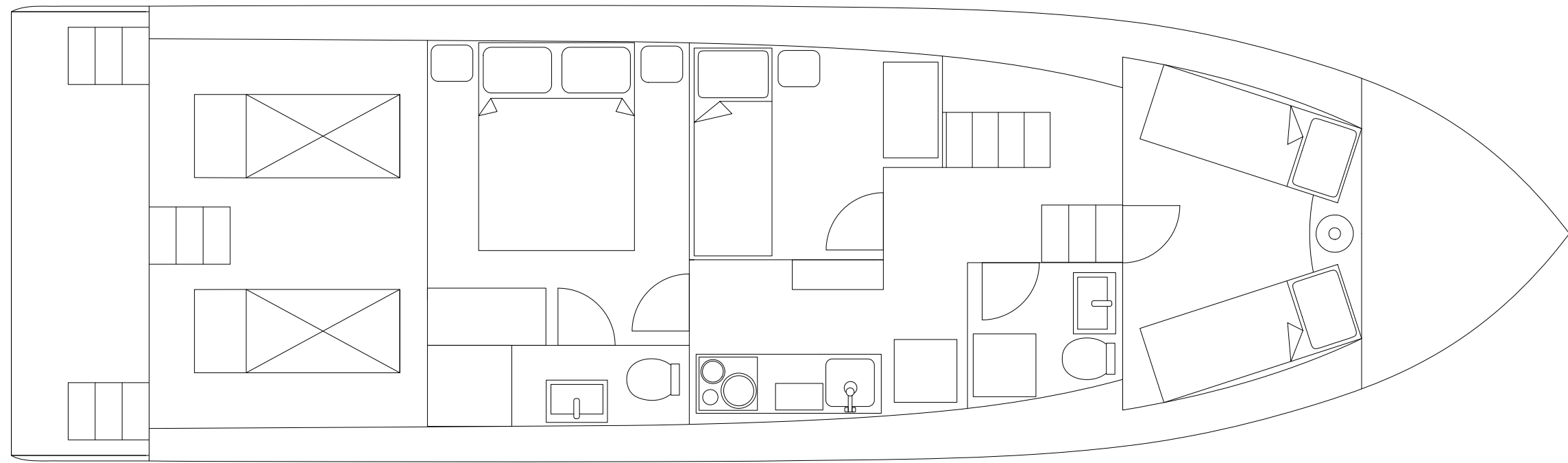
C

D

D

E

E



Anteproyecto embarcación de recreo		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
Borja Girona Berná		
Escala 1:50	Fecha 22/03/2019	Disposición general. Cubierta int.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



Capítulo 7. Cálculos de Arquitectura Naval

El objetivo del presente capítulo es el de realizar el estudio de la estabilidad de la embarcación. Para ello, se seguirá la Norma UNE-EN ISO 12217-1, que facilita los pasos a seguir en el estudio de la estabilidad y la flotabilidad de embarcaciones no propulsadas a vela con esloras iguales o superiores a 6 metros.

7.1.- Arqueo

En este apartado, se seguirán las indicaciones facilitadas por la Circular 7-95, para calcular las exigencias mínimas requeridas en cuanto a francobordo y arqueo.

Según lo marcado en la Circular, para embarcaciones de recreo con eslora de hasta 15 metros se calculará el arqueo teniendo en cuenta todos los espacios situados bajo la cubierta principal, y los situados por encima exceptuando cocinas, aseos y puentes de gobierno.

El arqueo bajo cubierta se calcula mediante la fórmula:

$$A = \frac{K * L_A * \left(\frac{B_A + C_A}{2}\right)^2}{2,83} \quad (63)$$

Donde:

- K = 0,18, para cascos de fibra de vidrio.
- L_A: eslora medida sobre la cubierta exterior desde el extremo de popa del espejo.
- B_A: manga medida, fuera del forro, en la sección mayor.
- C_A: contorno de la embarcación, medido en la sección mayor.

Y por tanto se tiene:

$$A = \frac{0,18 * 15 * \left(\frac{4,375 + 12,576}{2}\right)^2}{2,83} = 68,534 \quad (64)$$

El cálculo del arqueo de los espacios sobre cubierta se realizará de acuerdo con la Regla 1ª.

Ésta dice que, para los espacios cerrados sobre cubierta, en el caso de estar delimitados por superficies curvas, hay que seguir los siguientes pasos:

1. Se toman las mangas en los extremos y en la eslora media.
2. Se obtiene el área media central del compartimento.
3. Se multiplica ésta por el puntal medio para obtener el volumen.
4. Se divide el volumen por 2,83 para obtener las Toneladas de Registro Bruto (TRB)

Así, se tienen los valores y, finalmente, el resultado, todo indicado en la Tabla

65.

Tabla 65. Desglose del cálculo del arqueo según Regla 1ª

Manga en el extremo 1 (m)	3,177
Manga en el extremo 2 (m)	2,780
Manga en la eslora media (m)	3,071
Eslora media (m)	2,751
Área media (m²)	8,121
Puntal medio (m)	2,139
Volumen (m³)	17,371
<i>Toneladas de Registro Bruto</i>	6,138

Por lo que, finalmente, se tiene un arque total de 74,672 TRB.

7.2.- Estimación de pesos y cálculo del centro de gravedad

En este apartado se realizará una estimación tanto del peso en rosca de la embarcación, como de su peso en plena carga. También, una vez hallados estos, se determinarán las coordenadas de los centros de gravedad para ambas condiciones.

Para realizar estos cálculos se indicarán primero los pesos de los distintos elementos que conformarán el buque y, a partir de las posiciones de los mismos obtenidas del plano de formas, se indicarán sus coordenadas. A partir de éstos se podrá pasar a calcular, tanto el peso de cada situación como los centros de gravedad.

Cabe destacar que existe una cierta cantidad de elementos los cuales no es posible conocer su peso exacto hasta la instalación en la propia embarcación, por lo que se realizarán una serie de estimaciones que se irán explicando a medida que se vaya avanzando en el cálculo.

7.2.1.- Peso de la estructura:

Para calcular el peso de la estructura se tendrán en cuenta los pesos de los laminados de los paneles, mamparos y refuerzos, así como el peso de los materiales de núcleo de mamparos y refuerzos, todo obtenido en el Capítulo 6.

Además, se calculará el peso de la superestructura teniendo en cuenta que estará formada por paneles y vidrio, así como de los recubrimientos de los suelos de toda la embarcación.

De esta manera se tiene el desglose reflejado en la Tabla 66.

Tabla 66. Peso estructura

Elemento	Peso (kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Mto. L	Mto. T	Mto. V
Laminado del fondo	740,351	5,921	0	0,243	4.383,619	0	179,905
Laminado del costado	881,592	6,049	0	1,404	5.332,752	0	1.237,756
Laminado de cubierta	633,228	7,435	0	2,392	4.708,050	0	1.514,681
Mamparos	315,274	4,329	0	1,370	682,410	0	215,963
Long. De fondo	153,925	6,038	0	0,341	929,401	0	52,489
Long. De costado	145,036	6,950	0	1,101	1.007,997	0	159,684
Esloras	17,570	7,558	0	2,331	132,794	0	40,956
Varengas	18,029	6,679	0	0,316	120,414	0	5,697
Cuadernas	14,951	5,905	0	1,431	88,283	0	21,394
Baos	6,5196	6,980	0	2,344	45,507	0	15,282
Cubierta Interior	508,128	9,105	0	0,400	4.626,251	0	203,251
Estruct. Caseta	285,293	6,150	0	3,596	877,275	0	512,956
Vidrio Caseta	101,010	6,150	0	3,596	621,211	0	363,232
Suelo	217,430	7,349	0	1,573	1.597,984	0	342,059
TOTAL	4.038,340	6,729	0	1,301	25.153,950	0	4.865,305

7.2.2.- Peso de la maquinaria

Como se ha comentado con anterioridad, en este caso muchos de los elementos que se tienen en cuenta no han sido calculados, por lo que se estima su peso a partir de otros proyectos. Además, se tiene en cuenta el peso de los motores propulsores seleccionados y se calcula el peso de los tanques de combustible a partir del peso de mamparos estructurales. Todo ello queda recogido en la Tabla 67.

Tabla 67. Peso maquinaria

Elemento	Peso (kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Mto. L	Mto. T	Mto. V
Motores	2.820	3,001	0	0,56	8.462,820	0	1.579,2
Baterías motor	45	2,672	0	0,5	120,240	0	22,5
Baterías servicios	45	2,672	0	0,5	120,240	0	22,5
Bomba combustible	4	2,672	0	0,3	10,688	0	1,2
Bomba refrigeración	3	2,672	0	0,3	8,016	0	0,9
Bomba de sentinas	3	2,672	0	0,3	8,016	0	0,9
Extractor	3	2,672	0	2,029	8,016	0	6,087
Válvulas de fondo	15	2,672	0	0,1	40,080	0	1,5
Tuberías y mangueras	40	2,672	0	1,5	106,880	0	60
Tanque comb. 1	269,448	2,672	0	0,2	359,982	0	26,945
Tanque comb. 2	225,952	0,71	0	0,521	80,212	0	58,861

Elemento	Peso (kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Mto. L	Mto. T	Mto. V
Extintores 55B	10	2,672	0	0,5	26,72	0	5
TOTAL	3.483,400	2,890	0	0,551	9.351,911	0	1.785,592

7.2.3.- FONDEO Y AMARRE

Para este apartado se tiene en cuenta, en primer lugar, el peso del ancla marcada en el Capítulo 4 y el de cabos y cadenas seleccionados de un catálogo comercial. Además, se estima el peso del molinete.

Así se obtiene la estimación indicada en la Tabla 68.

Tabla 68. Peso fondeo y amarre

Elemento	Peso (kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Mto. L	Mto. T	Mto. V
Ancla	33	15,185	0	2,443	501,105	0	80,619
Cadena	155,250	14,272	0	1,418	2215,728	0	220,1445
Molinete	16	14,386	0	2,393	230,176	0	38,288
Cabo	28	7,5	0	2,393	210	0	67,004
TOTAL	232,250	13,593	0	1,748	3157,009	0	406,056

7.2.4.- SERVICIOS

En este apartado se calcula el peso de los tanques a partir del volumen considerado y del peso del laminado de mamparos estructurales. El peso del resto de los elementos se estima, todo indicado en la Tabla 69.

Tabla 69. Peso servicios

Elemento	Peso (kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Mto. L	Mto. T	Mto. V
Tanque agua	330,455	7,294	0,000	0,200	1.205,169	0,000	33,045
Tanque aguas sucias	90,381	4,665	0,000	0,191	210,813	0,000	8,631
Tuberías y mangueras	55,000	7,500	0,000	2,041	412,500	0,000	112,255
Instalación eléctrica	45,000	7,500	0,000	2,041	337,500	0,000	91,845
Ventilación	15,000	7,500	0,000	2,041	112,500	0,000	30,615
Misc.	50,000	7,500	0,000	2,041	375,000	0,000	102,050
TOTAL	585,836	7,068	0,000	1,008	2653,482	0,000	378,442

7.2.5.- Habilitación

El peso de todos los muebles y elementos considerados en todos los compartimentos de habilitación se toman a partir de catálogos comerciales de muebles.

Todos éstos quedan recogidos en las tablas 70 a 75.

Tabla 70. Peso camarote de proa

CAMAROTE PROA							
Elemento	Peso (kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Mto. L	Mto. T	Mto. V
Cama 1	40	11,855	0,982	1,121	474,200	39,28	44,840
Cama 2	40	11,855	-0,982	1,121	474,200	-39,28	44,840
Mueble	45	12,742	0	1,161	573,390	0	52,245
Lámpara	1,5	12,742	0	1,549	19,113	0	2,324
Puerta	7,5	10,700	0	1,676	80,250	0	12,570
Misc.	50	11,682	0	1,293	584,100	0	64,650
TOTAL	184	11,985	0	1,204	2.205,253	0	221,469

Tabla 71. Peso camarote individual

CAMAROTE INDIVIDUAL							
Elemento	Peso (kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Mto. L	Mto. T	Mto. V
Cama	40	6,947	0,770	0,668	277,880	30,800	26,720
Mesita	14	7,591	1,600	0,582	106,274	22,400	8,148
Lámpara	1,5	7,591	1,600	0,943	11,387	2,400	1,415
Armario	35	8,667	1,199	1,064	303,345	41,965	37,240
Puerta	10	8,395	0,120	1,147	83,950	1,200	11,470
Misc.	50	7,486	0,852	0,818	374,300	42,600	40,900
TOTAL	150,5	7,689	0,939	0,836	1.157,136	141,365	125,893

Tabla 72. Peso baño

BAÑO							
Elemento	Peso (kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Mto. L	Mto. T	Mto. V
WC	9	10,415	-1,201	0,582	93,735	-10,809	5,238
Ducha	30	9,560	-1,183	0,706	286,800	-35,490	21,180
Lavabo	20	10,402	-0,680	1,582	208,040	-13,600	31,640
Mueble	15	10,402	-0,680	0,582	156,030	-10,200	8,730
Puerta	10	9,580	-0,280	1,147	95,800	-2,800	11,470

BAÑO							
Elemento	Peso (kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Mto. L	Mto. T	Mto. V
Misc.	30	9,989	-0,879	0,818	299,670	-26,370	24,540
TOTAL	114	10,001	-0,871	0,902	1.140,075	-99,269	102,798

Tabla 73. Peso cocina

COCINA							
Elemento	Peso (kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Mto. L	Mto. T	Mto. V
Nevera	65	8,801	-1,218	1,064	572,065	-79,170	69,160
Vitrocerámica	8	6,899	-1,368	1,689	55,192	-10,944	13,512
Horno	25	6,899	-1,368	0,826	172,475	-34,200	20,650
Microondas	13	7,584	-1,570	1,828	98,592	-20,410	23,764
Extractor	5	6,899	-1,368	1,916	34,495	-6,840	9,580
Fregadero	6	8,068	-1,423	1,812	48,408	-8,538	10,872
Encimera	28	7,534	-1,267	1,689	210,952	-35,476	47,292
Mueble	12	7,534	-1,450	0,826	90,408	-17,400	9,912
Armario	16	7,966	-0,382	1,064	127,456	-6,112	17,024
Misc.	70	7,913	-0,844	0,818	553,910	-59,080	57,260
TOTAL	248	7,919	-1,122	1,125	1.963,953	-278,170	279,026

Tabla 74. Peso camarote principal

CAMAROTE PRINCIPAL							
Elemento	Peso (kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Mto. L	Mto. T	Mto. V
Cama	50	5,275	0,701	0,668	263,750	35,050	33,400
Mesita 1	14	4,239	1,628	0,582	59,346	22,792	8,148
Mesita 2	14	6,266	1,628	0,582	87,724	22,792	8,148
Lámpara 1	1,5	4,239	1,628	0,943	6,359	2,442	1,415
Lámpara 2	1,5	6,266	1,628	0,943	9,399	2,442	1,415
Armario	45	4,569	-0,678	1,064	205,605	-30,510	47,880
Puerta	10	6,527	-0,663	1,147	65,270	-6,630	11,470
Puerta baño	10	5,523	-1,075	1,147	55,230	-10,750	11,470
WC	9	6,252	-1,407	0,582	56,268	-12,663	5,238
Ducha	40	4,413	-1,383	0,706	176,520	-55,320	28,240
Lavabo	20	5,443	-1,486	1,582	108,860	-29,720	31,640
Mueble	15	5,443	-1,486	0,582	81,645	-22,290	8,730
Misc.	70	5,261	0,000	0,818	368,270	0,000	57,260
TOTAL	300	5,147	-0,275	0,848	1.544,246	-82,365	254,453

Tabla 75. Peso cubierta exterior

CUBIERTA EXTERIOR							
Elemento	Peso (kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Mto. L	Mto. T	Mto. V
Butaca 1	7	7,893	-1,009	2,827	55,251	-7,063	19,789
Butaca 2	7	7,893	-0,406	2,827	55,251	-2,842	19,789
Sistemas de navegación	60	8,992	-0,752	3,138	539,520	45,120	188,280
Barra bar	45	8,907	-1,027	3,340	400,815	46,215	150,300
Taburetes	50	5,880	-0,726	3,103	294,000	36,300	155,150
Sofá	150	4,454	1,118	3,400	668,100	167,700	510,000
Mesa	55	5,456	0,454	2,971	300,080	24,970	163,405
Armario	70	7,099	1,157	3,028	496,930	80,990	211,960
Estantería	20	8,572	0,439	2,865	171,440	8,780	57,300
Silla 1	25	3,070	0,201	2,732	76,750	5,025	68,300
Silla 2	25	2,983	1,177	2,732	74,575	29,425	68,300
Mesita	20	2,202	0,609	2,829	44,040	12,180	56,580
Puerta corredera	15	3,463	-0,835	3,492	51,945	12,525	52,380
Colchoneta	4	11,842	0,000	2,444	47,368	0,000	9,776
Misc.	100	7,500	0,000	2,222	750,000	0,000	222,200
TOTAL	653	6,165	0,274	2,992	4.026,065	179,005	1.953,509

7.2.6.- Carga

En primer lugar, se calcula el peso del fluido contenido en los tanques a partir del volumen estimado y de la densidad de cada líquido.

En segundo lugar, se tiene en cuenta el peso de los tripulantes tomando el máximo número permitido y suponiendo un peso medio de 90 kg. También se calcula el peso de equipaje y pertrechos a razón de 25 kg por persona y día.

Por último, se estiman los pesos de material náutico y armamento diverso a partir de otros proyectos, y el de los equipos de seguridad a partir por la fórmula proporcionada por la ISO 12217-1. Ésta es:

$$Peso_{\text{equipo de seguridad}} = (L_H - 2,5)^2 \tag{65}$$

Con ello se obtienen los valores mostrados en la Tabla 76.

Tabla 76. Peso carga

Elemento	Peso (kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	Mto. L	Mto. T	Mto. V
Agua sucia	307,440	4,665	0	0,191	1.434,208	0	58,721
Agua dulce	1.140,720	7,294	0	0,200	8.320,412	0	228,144
Combustible 1	868,560	2,483	0	0,200	2.156,634	0	173,712
Combustible 2	2.192,400	0,613	0	0,562	1.343,941	0	1.232,129
Tripulantes	1.080,000	7,500	0	1,391	8.100,000	0	1.502,280
Equipo y pertrechos	600,000	7,500	0	1,391	4.500,000	0	834,600
Material nautico	50,000	7,500	0	1,391	375,000	0	69,550
Armamento diverso	50,000	7,500	0	1,391	375,000	0	69,550
Equipo de seguridad	552,427	7,500	0	1,391	4.143,204	0	768,426
TOTAL	6.841,547	4,494	0	0,722	30.748,399	0	4.937,112

Así, a partir de todos los pesos mencionados hasta el momento se obtienen los valores del peso en rosca y a plena carga, así como las coordenadas de los centros de gravedad de cada uno (Véase Tabla 77).

Tabla 77. Estimación pesos

	Peso (kg)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)
Peso en rosca	9.989,320	5,582	-0,010	1,124
Peso en plena carga	16.830,900	5,140	-0,008	0,961

7.3.- Estudio de estabilidad

Esta Norma indica los ensayos a realizar en función de la categoría de diseño de la embarcación y del tipo de cubierta con la que se cuenta. De la siguiente manera:

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 $A_{LV} \geq L_H B_H$.						

Ilustración 49. Aspectos a considerar en estabilidad y flotabilidad en función de la categoría de diseño

En este caso, al pertenecer la embarcación a la categoría C y contar con cubierta completa, se encuentra dentro de la opción 2. Esta opción significa que los aspectos a tener en cuenta son:

- Aberturas de inundación.
- Ensayo de la altura de inundación.
- Ángulo de inundación.
- Ensayo de compensación de cargas.
- Escora debida a la acción del viento.

Antes de continuar con el siguiente apartado, cabe mencionar que la escora producida por la acción del viento únicamente se debe evaluar, para las categorías de diseño C y D, cuando $A_{LV} > L_H * B_H$. Siendo A_{LV} el área del casco de perfil expuesta a la acción del viento, en una condición de carga adecuada, tomando como ésta la condición de navegación mínima, por ser la más desfavorable.

Así, se tienen los valores mostrados en la Tabla 78.

Tabla 78. Valores escora debida a acción del viento

L_H (m)	B_H (m)	$L_H * B_H$ (m ²)	A_{LV} (m ²)
15	4,389	65,835	40,096

Por lo que, como puede observarse, en este caso no es necesario evaluar la escora producida por la acción del viento.

7.3.1.- Condiciones de carga

Para comenzar con el estudio de estabilidad es necesario definir y fijar los valores de las distintas condiciones de carga marcadas por la norma. Éstas son:

- Condición en rosca

Entendiendo esta como el peso del casco de la embarcación lista para navegar, con todos los equipos y servicios, pero sin contar con consumibles ni tripulación. Se tendrá por tanto en cuenta el peso de la estructura, todos los equipos y servicios necesarios para propulsión, fondeo, amarre, achique, etc. Así como el peso de todo el mobiliario de abordo.

Así, según lo marcado en la norma, el peso en rosca es $m_{LC} = 9.989,320$ kg.

- Condición mínima operativa

Correspondiente al peso de la condición en rosca más los siguientes pesos, en este caso:

1. 150 kg por cada tripulante, situado dicho peso en crujía a una altura próxima al puesto de control más elevado. Se tomarán dos tripulantes.
2. Equipo de seguridad esencial, no tomando éste menor de $(L_H - 2,5)^2$ kg.
3. Provisiones no consumibles y equipo necesario, con un 10% de los tanques.

Por lo que el peso mínimo operativo será $m_{MOC} = 11.492,700$ kg.

- Condición de desplazamiento en carga

Se trata del peso de la condición en rosca, añadiéndole la máxima carga total.

Por tanto, el peso máximo será: $m_{LDC} = 16.830,900$ kg.

7.3.2.- Inundación

7.3.2.1.- Aberturas inundables

Se entiende como abertura inundable a cualquier abertura que pueda admitir agua en su interior o en la sentina de una embarcación, o un nicho.

En el caso del presente Trabajo Fin de Grado, ya que tanto en las ventanas como en las entradas a la cámara de máquinas y a la cubierta interior se prevé su instalación con

cierres estancos y, por tanto, la Norma las excluye, la única abertura inundable a considerar será la salida de la chimenea de los gases del motor.

La posición de ésta será: 2,376; 2,041; 2,391 m.

7.3.2.2.- Ensayo de altura de inundación

Se conoce como altura de inundación (h_D) a la menor altura, desde la línea de flotación, hasta cualquier abertura inundable. La embarcación debe encontrarse en aguas tranquilas, en adecuada condición de carga, adrizada y con el asiento de proyecto.

Según la Norma, para la categoría de Diseño C con cubierta completa (Opción 2), la mínima altura hasta la abertura inundable puede estimarse de la siguiente figura:

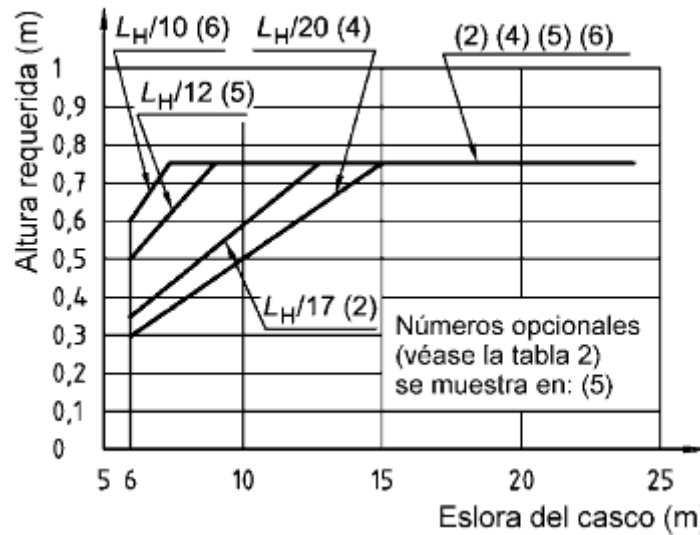


Ilustración 50. Altura mínima de inundación para categoría de diseño C

Por tanto, puede observarse que, para 15 metros de eslora, la altura mínima requerida es igual a 0,75 metros. Como se ha señalado anteriormente, la posición vertical de la salida de la chimenea se encuentra a 2,391 metros, lo que significa 1,491 sobre la flotación más alta considerada.

Además, evaluando este criterio mediante Maxsurf Resistance se tienen los resultados reflejados en las Tablas 79 y 80.

- Condición mínima de navegación:

Tabla 79. Comprobación altura de inundación en condición mínima

Criterio	Valor (m)	Actual (m)	Estado	Margen (%)
Altura de inundación	0,750	1,365	Correcto	+82,000

- Plena carga:

Tabla 80. Comprobación altura de inundación a plena carga

Criterio	Valor (m)	Actual (m)	Estado	Margen (%)
Altura de inundación	0,750	1,205	Correcto	+60,670

7.3.2.3.- Ángulo de inundación

El ángulo de inundación es la escora a partir de la cual las aberturas inundables empiezan a sumergirse, encontrándose la embarcación en las condiciones descritas en el apartado anterior.

En primer lugar, la Norma indica que únicamente se debe evaluar en la condición mínima operativa salvo que $m_{LDC} / m_{MOC} > 1,15$, que se evaluará también en la condición a plena carga. En este caso da un valor de 1,722, por lo que es necesario evaluar en la condición mínima operativa y en la condición en plena carga.

Ahora, el ángulo de escora hasta la altura inundable debe ser mayor que las cifras indicadas en la siguiente tabla:

Categoría de diseño	Ángulo mínimo de inundación (grados)	
	Opciones 1 a 5 ^a , utilícese la que sea mayor	
A	$\phi_0 + 25$	30
B	$\phi_0 + 15$	25
C	$\phi_0 + 5$	20
D	ϕ_0	

^a Véase la tabla 2.

Ilustración 51. Indicaciones para el cálculo del ángulo mínimo de inundación

Donde Φ_o es el ángulo de escora obtenido del ensayo de compensación de pesos, en este caso 6,9 para la condición de navegación mínima y 4,5 para la navegación en plena carga, como se podrá comprobar en el apartado siguiente. Por tanto, los ángulos de inundación no podrán ser menores de:

- Condición mínima $\rightarrow 20^\circ$
- Plena Carga $\rightarrow 20^\circ$

Así, como se podrá observar también de los resultados obtenidos en el ensayo de compensación de pesos, los ángulos de inundación reales son 47,40 y 36,10° para la condición mínima y a plena carga, respectivamente. Por tanto, se tienen los resultados mostrados en las Tablas 81 y 82:

- Condición mínima de navegación:

Tabla 81. Comprobación ángulo de inundación en condición mínima

Criterio	Valor (°)	Actual (°)	Estado	Margen (%)
Ángulo de inundación	20	47,40	Correcto	+137

- Plena carga:

Tabla 82. Comprobación ángulo de inundación a plena carga

Criterio	Valor (°)	Actual (°)	Estado	Margen (%)
Ángulo de inundación	20	36,10	Correcto	+80,50

7.3.3.- Ensayo de compensación de pesos

Este ensayo se utiliza para calcular la estabilidad de la embarcación en plena carga ante un movimiento de pesos a bordo. En primer lugar, la Norma indica los valores máximos que debe tener el ángulo de escora en este ensayo. Estos son:

$$\Phi_{O(R)} = 10 + \frac{(24 - L_H)^3}{600} = 11,215^\circ \quad (66)$$

L_H	(m)	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0
$\Phi_{O(R)}$	(°)	19,7	18,2	16,8	15,6	14,6	12,9	11,2	10,4	10,0	10,0

Ilustración 52. Ángulo mínimo en el ensayo de compensación de pesos según la eslora

Como se observa, ambos valores coinciden.

Ahora bien, el procedimiento de cálculo para embarcaciones con más de una cubierta (en este caso se cuenta con dos cubiertas) es el siguiente:

1. Para el nivel más alto

$$CD = \frac{CL}{4 * A_C} \tag{67}$$

Donde:

- CL es la tripulación límite, 12 personas en este caso.
- AC es el área de tripulación, que es el área total que pueden ocupar los tripulantes en dicha cubierta.

Si $CD \geq 0,5 \rightarrow M_C = 314 * A_C * B_C$

Si $CD \leq 0,5 \rightarrow M_C = 314 * CL * B_C * (1 - CD)$

Siendo BC la distancia transversal existente entre los extremos del área de cubierta.

2. Para el siguiente nivel más alto

Se recalculan los parámetros anteriormente indicados. Repitiendo estos pasos para todos los niveles.

3. El momento de escora será la suma del de todos los niveles calculados anteriormente.

Así se obtienen los valores reflejados en la Tabla 83.

Tabla 83. Cálculo momentos de escora

	AC	CL	CD	BC	MC
Cubierta exterior	46,654	16	0,086	4,389	20.159,810
Cubierta interior	33,875	16	0,118	3,712	16.446,995

Con $M_C = 36.606,8049 \text{ Nm}$.

Ahora, aplicando el momento de escora se puede obtener la curva de momentos de escora como se indica a continuación:

$$M_{C\phi} = M_C * \cos \phi \tag{68}$$

Para éste cálculo se obtienen las curvas de pares escorantes y adrizantes mediante Maxsurf Stability, aplicando el momento escorante calculado anteriormente (Véanse Tabla 84 y Tabla 85). Así, se obtiene:

- Condición mínima de navegación:

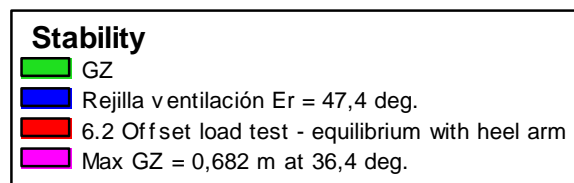
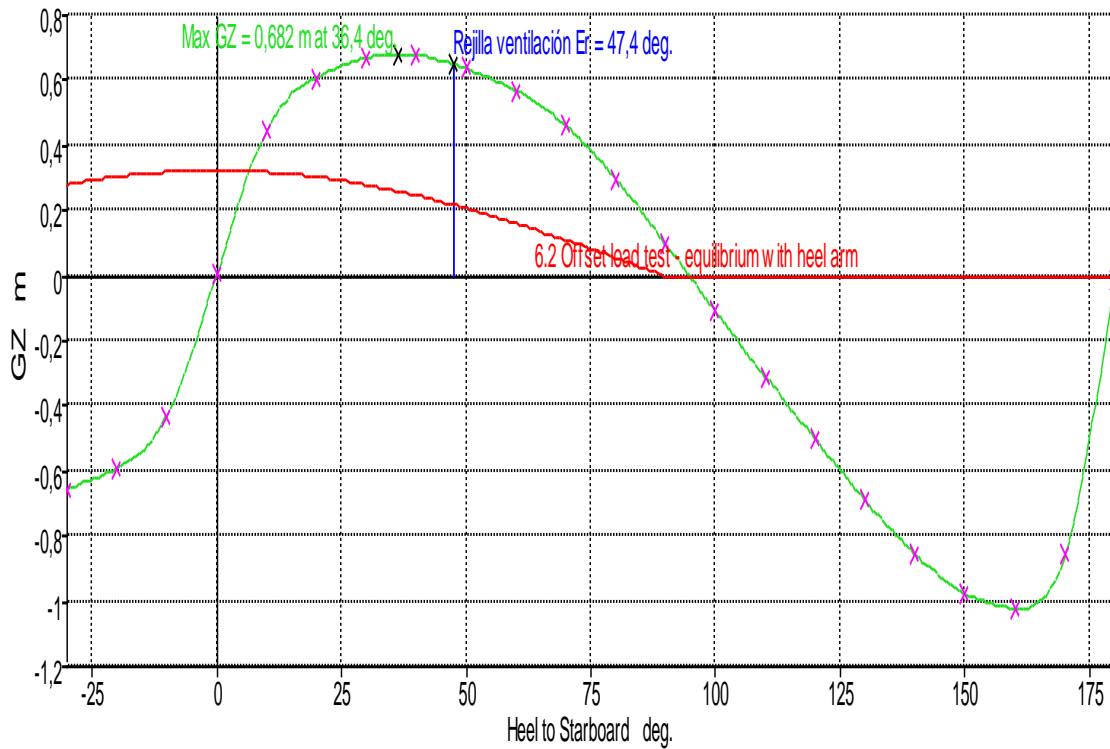


Ilustración 53. Curva GZ y pares escorantes para condición mínima

Tabla 84. Comprobación ensayo de compensación de pesos en condición mínima

Criterio	Valor (°)	Actual (°)	Estado	Margen (%)
Compensación de pesos	11,2	6,6	Correcto	+41,460

- Condición en plena carga:

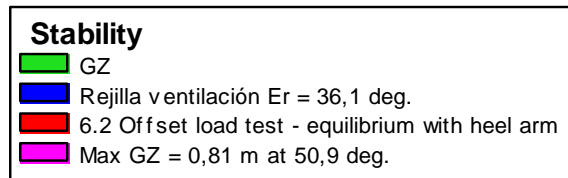
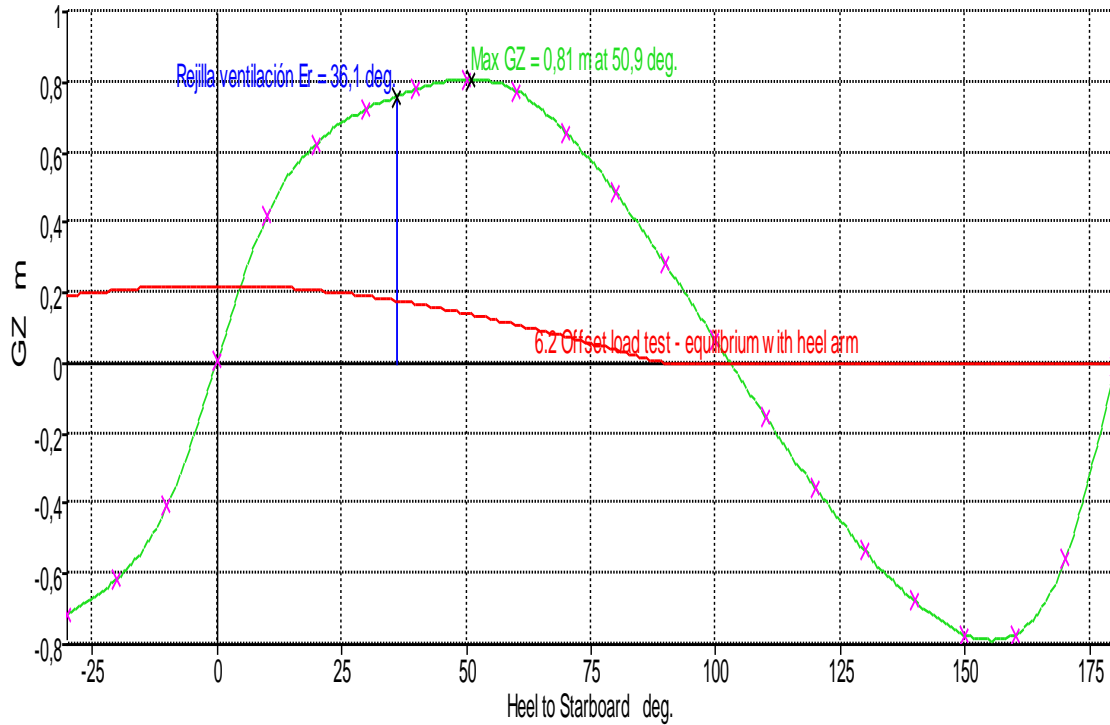


Ilustración 54. Curva GZ y pares escorantes para plena carga

Tabla 85. Comprobación ensayo de compensación de pesos a plena carga

Criterio	Valor (°)	Actual (°)	Estado	Margen (%)
Compensación de pesos	11,2	4,8	Correcto	+57,500

Así, finalmente, el ángulo deducido del ensayo es el más cercano a la flotación adrizada, donde cortan las curvas de momentos de los pares adrizante y escorante.

BIBLIOGRAFIA

Apreamare España | Más tecnología, más pasión: la fórmula ganadora. (2018, 31 octubre). Recuperado 10 abril, 2019, de <https://www.apreamarespain.es/>

Barcos de motor de Lujo - Yate Beneteau. (s.f.). Recuperado 10 abril, 2019, de <https://www.beneteau.com/es/motor>

Belliure | Tras la estrella. (s.f.). Recuperado 10 abril, 2019, de <http://www.belliure.com/>

Embarcación a motor y velero JEANNEAU, compra y venta de embarcaciones a motor y de veleros- Astillero Naval JEANNEAU. (s.f.). Recuperado 10 abril, 2019, de <https://www.jeanneau.es/>

Home – Cantiere Nautico Cranchi. (s.f.). Recuperado 10 abril, 2019, de <http://www.cranchi.com/home/>

Oficial de Azimut Yachts | Venta de yates de lujo. (s.f.). Recuperado 10 abril, 2019, de <https://es.azimutyachts.com/>

Princess Yachts - Luxury Yachts. (s.f.). Recuperado 10 abril, 2019, de <https://es.princessyachts.com/>

Rodman – Embarcaciones exclusivas de recreo y de pesca - Rodman - Rodman Polyships S.L. (s.f.). Recuperado 10 abril, 2019, de <https://rodman.es/es/>

Sea Ray: Shop Sport Boats, Deck Boats, Bowriders, & Yachts. (s.f.). Recuperado 10 abril, 2019, de <https://www.searay.com/>

Yates y embarcaciones Astondoa. (s.f.). Recuperado 10 abril, 2019, de <https://www.astondoa.es/>

Parres, J. (2007). *Proyecto fin de carrera. YATE DE RECREO.* Universidad Politécnica de Cartagena.

Ferrer, J. (2013). *Proyecto fin de grado. CÁLCULO DEL SISTEMA PROPULSIVO, ESTABILIDAD Y ESTRUCTURA DE UN YATE A MOTOR DE 65 PIES.* Universitat Politècnica de Catalunya.

Berenguer, P. (2010). *Proyecto fin de carrera. DISEÑO DE EMBARCACIÓN A MOTOR E 24 METROS DE ESLORA.* Universidad de Cádiz.

Arbuniés, G., y Caja, G. (2015). *Proyecto fin de grado. Proyecto de diseño preliminar de un yate de 40 metros de eslora.* Universitat Politècnica de Catalunya.

Saura, J.M. (2016). *Proyecto fin de grado. VELERO CRUCERO DE 30 PIES, CATEGORÍA “B” MARCADO CE.* Universidad Politécnica de Cartagena.

Rodríguez, L. (2017). *Proyecto fin de grado. Cálculo y diseño del casco de una embarcación de recreo de 9 metros de eslora.* Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

Álvarez, J. M. (2010). *Hidrodinámica de embarcaciones rápidas. Tomo 2.* Madrid: Servicio de publicaciones de la E.T.S.I.N.

Yide, Shen, & JLJ, MARCHAL (1993). *EXPRESSIONS OF THE $Bp-\delta$ DIAGRAMS IN POLYNOMIAL MARINE PROPELLER SERIES*. UK: The Royal Institution of Naval Architects.

Donald L. Blount, & David L. Fox (1976). *Small-Craft Power Prediction*.

Recreo marino | Volvo Penta. (s.f.). Recuperado 10 abril, 2019, de <https://www.volvopenta.es/marineleisure/es-es/home.html>

UNE-EN ISO 15083. Pequeñas embarcaciones. Sistemas de bombeo de sentinas.

UNE-EN ISO 15084 Pequeñas embarcaciones. Fondeo, amarre y remolque. Puntos de amarre.

UNE-EN ISO 15085. Pequeñas embarcaciones. Prevención de la caída de personas al mar y reembarque a bordo.

UNE-EN ISO 12215-5. Pequeñas embarcaciones. Construcción de cascos y escantillones. Parte 1: Materiales: resinas termoestables, refuerzos de fibra de vidrio, laminado de referencia.

UNE-EN ISO 12215-5. Pequeñas embarcaciones. Construcción de cascos y escantillones. Parte 2: Materiales: Materiales del núcleo para construcciones tipo sándwich, materiales embutidos.

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

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

UNE-EN ISO 12217-1. Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 1: Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6 m.

BOE num. 158 Jueves 3 julio 1997 20579.

BOE Núm. 247 Sábado 11 de octubre de 2014 Sec. I. Pág. 82978.

BOE núm. 289 Lunes 3 diciembre 2007 49811.

CIRCULAR Nº 7/95 ASUNTO: CONSTRUCCION, EQUIPO Y RECONOCIMIENTO DE EMBARCACIONES DE RECREO.

REAL DECRETO 258/1999, de 12 de febrero.

REAL DECRETO 2127/2004, de 29 de octubre.

ORDEN FOM/1144/2003, de 28 de abril.

REGLAMENTO INTERNACIONAL PARA PREVENIR LOS ABORDAJES (1972).

Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft. Lloyd's Register

Gutierrez, J.E. *Apuntes de clase. Proyectos.* Universidad Politécnica de Cartagena.

García, D. *Apuntes de clase. Hidrodinámica: Resistencia y Propulsión.* Universidad Politécnica de Cartagena.

Esteve, J.A. *Apuntes de clase. Fundamentos de tráfico marítimo.* Universidad Politécnica de Cartagena.

ANEXO 1

Dimensionamiento preliminar. Base de datos.

	LOA (m)	LH (m)	Lg (m)	B (m)	T (m)	PR (T)	Pmax (T)	Cc (L)	Cad (L)	Au (mn)	Vmax (kn)	Vc (kn)	Pot (Hp)	Pot (CV)	Pot (Kw)
Astondoa 44 Flybridge	12,95	11,98		4,16	0,77	11,7	14,2	1000	400	240	33	25	740		552,04
Astondoa 52 Flybridge	16	15,2		4,66	0,81	17,2		4400	1300	300	28	24,5	1200		895,2
Astondoa 66 Flybridge	19,83	18,45		6	1,46	37,2	44,4	3600	1000	300	30	24		2400	1766,4
Astondoa 65 TopDeck	19,81	18,5		5,09	1,46	20	23,37	2460	662	330	25	20	1900		1417,4
Astondoa 655 Coupe	18,89	17,37		5,04	1	30	35,5	3200	700	300	33	25	1800		1342,8
Azimut Flybridge 42	12,84	11,58		4,09	1,25		14	1100	400		31	27	850		634,1
Azimut Flybridge 50	15,88	15,54		4,66	1,52		24,85	2200	590		32	26	1340		999,64
Azimut 50 Galley Up	16,08	15,54		4,66	1,52		24,85	2200	590		32	26	1340		999,64
Azimut 55S	17,29	16,6		4,75	1,14		23,22	1600	590		34	30	1305		973,53
Azimut Magellano 43	13,63	12,96		4,4	1,2		18,15	1680	600		22	17	710		529,66
Azimut Magellano 53	16,89	15,14		4,7	1,44		28,6	3200	700		21	16	1000		746
Azimut Atlantis 34	10,25	9,95		3,5	0,94		8	650	185		31	24	440		328,24
Azimut Atlantis 43	13,86	13,12		4,25	1,1		13,3	900	410		35	30	800		596,8
Azimut Atlantis 50	16,3	14,34		4,42	1,3		20,92	1700	420		32	28	1200		895,2
Azimut Atlantis 51	16,18	15,75		4,55	1,3		22	1440	450		35	30			880
Rodman MUSE 44	13,6	11,99		4,28	1,08		14,65	1330	400	400	30	26		740	544,64
Rodman MUSE 50	15,3			4,69	0,87		22	2100	650	300	32	26		1340	986,24
Rodman MUSE 54	16,72	16,21		4,75	1,02		27,5	2540	650	420	32	26		1800	1324,8
Ferretti 450	14,2	13,29		4,3	1,25	17	20,3	1400	600		29	25	480		358,08
Ferretti 550	17,42	16,7		4,82	1,3	25	30,1	2500	680		30	25	730		544,58
Ferretti 700	21,58	20,67		5,53	1,7	42,3	49,3	3700	9900		29	25	730		544,58
Apreamare Gozzo	11	9,99		3,36	0,85	6	7,3	450	170		25	20	330		246,18
Apreamare 32	9,9	8,5	7,15	3,2	0,71	5,5	7,1	500	200	240	28	24	450		335,7

	LOA (m)	LH (m)	Lg (m)	B (m)	T (m)	PR (T)	Pmax (T)	Cc (L)	Cad (L)	Au (mn)	Vmax (kn)	Vc (kn)	Pot (Hp)	Pot (CV)	Pot (Kw)
Apreamare 38	11,29	9,98	8,5	3,45	0,74	7	9	750	230	230	28	24	600		447,6
Apreamare 44	13,5	13,44	11,02	4,53	1,27	16	19,5	1650	416	310	28	24	870		649,02
Apreamare Smeraldo 45	13,9	13,78		4,46	1,02	13,7	17,7	1700	330	290	33	27	1200		895,2
Apreamare 48	14,64	13,21	12,2	4,7	1,43	17	22	1800	430	310	31	26	1200		895,2
Apreamare 64	19,4	19,36	14,69	5,6	1,43	29,2	34,4	3000	1000	300	33	28	2200		1641,2
Apreamare Maestro 56	17,22	17,2	14,07	5,25	1,46	27,8	33,8	3300	520	400	30	25	1450		1081,7
Apreamare Maestro 66	21,3	20,9	17,1	5,7	1,8	36	42	4000	820	410	29	25	1800		1342,8
Riva Iseo	8,24	8,21	7,08	2,5	0,96	2,86	3,75	330	84	250	36	30	260		193,96
Riva Aquariva	10,07	9,92	8,4	2,8	0,96	5,25	6,6	480	130	155	41,5	36	370		276,02
Riva Rivamare	11,88	11,72	10,1	3,5	1,16	9	11,5	1000	330	280	40	31	400		298,4
Riva 56	17,27	17,16	13,99	4,74	1,45	27	31	2300	530	210	34	28	1000		746
Riva 63	19,57	19,03	15,62	4,8	1,6	27,7	32,3	3200	660	255	40,5	35	1400		1044,4
Belliure 40 MY	13,23	11,98		4,2	1,3	13		1500	800		24	21	740		552,04
Belliure 44 MY	14,43	13,23		4,2	1,3	14		1500	800		23	20	740		552,04
Belliure 48 MY	16,25	14,75		4,6	1,75	22		3500	1000		21	17	870		649,02
Belliure 52 MY	18,28		14,8	4,8	1,63		34,5	4500	750		30	22	1600		1193,6
Bellimar 890	8,85	7,49		3,11	0,8	3,5		440	160		30	25	380		283,48
Contest 52MC Fastlane	15,93		14,6	4,6	0,85	16,6		1800	700		28		1100		820,6

ANEXO 2

Predicción de potencia. Método de Savitsky.

DATOS	
V (kn)	21
V (m/s)	10,80345
g	9,81
Fn	0,93749
Fn(Vol)	1,948771
Fno	1,834016

VARIABLES	
X	0,231426
Z	0,409716
U	7,912016
W	0,999398
(Rt/P)0	0,097798

TABLA COEFICIENTES												
Fn (Vol)	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	1,948771
A1	0,06473	0,10776	0,09483	0,03475	0,03013	0,03163	0,03194	0,04343	0,05036	0,05612	0,05967	0,057878
A2	-0,4868	-0,88787	-0,6372	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A4	-0,0103	-0,01634	-0,0154	-0,00978	-0,00664	0	0	0	0	0	0	0
A5	-0,0649	-0,13444	-0,1358	-0,05097	-0,0554	-0,10543	-0,08599	-0,13289	-0,15597	-0,18661	-0,19758	-0,1921
A6	0	0	-0,16046	-0,2188	-0,19359	-0,2054	-0,19442	-0,18062	-1,7813	-0,18288	-0,20152	-0,1922
A7	0,10628	0,18186	0,16803	0,10434	0,09612	0,06007	0,06191	0,05487	0,05099	0,04744	0,04645	0,046945
A8	0,9731	1,8308	1,55972	0,4351	0,5182	0,5823	0,52049	0,78195	0,92859	1,18569	1,30026	1,242975
A9	-0,00272	-0,00389	-0,00309	-0,00198	-0,00215	-0,00372	-0,00360	-0,0032	-0,00308	-0,00244	-0,00212	-0,00228
A10	0,01089	0,01467	0,03481	0,04113	0,03901	0,04794	0,04436	0,04187	0,04111	0,04124	0,04343	0,042335
A15	0	0	0	0	0	0,08317	0,07366	0,12147	0,14928	0,1809	0,19769	0,189295
A18	-1,40962	-2,46696	-2,15556	-0,92663	-0,95276	-0,70895	-0,72057	-0,95929	-1,12178	-1,38644	-1,55127	-1,46886
A19	0,29136	0,47305	1,02992	1,06392	0,97757	1,19737	1,01562	1,01562	0,93144	0,78414	0,78282	0,78348
A24	0,02971	0,05877	0,05198	0,02209	0,02413	0	0	0	0	0	0	0
A27	-0,0015	-0,00356	-0,00303	-0,00105	-0,0014	0	0	0	0	0	0	0

ANEXO 3

Predicción de potencia. Serie B de Wageningen.

EHP (CV)	264,803983
H	0,942
THP	281,108262
T (kg)	1951,51731
(Ae/Ao)min	0,48810187

i	j	k	c	
0	0	0	18,8058	18,8058
1	0	0	-48,2119	-24,10595
2	0	0	35,4772	8,8693
1	1	0	421,5841	23,1663102
0	2	0	170,2146	2,05590048
2	1	0	-399,9848	-10,9897076
1	2	0	-463,7622	-2,80072605
0	3	0	-117,1999	-0,15557333
3	1	0	82,0509	1,12718708
2	2	0	270,2721	0,81610587
1	3	0	166,4671	0,11048577
0	4	0	30,578	0,00446087
3	3	0	-30,7221	-0,00509764
2	4	0	-35,9455	-0,00131098
1	5	0	-4,0722	-3,2645E-05
0	6	0	-1,1861	-2,09E-06
3	6	0	3,1183	6,8682E-07
				16,8971506

P/D				
i	j	k	d	
0	0	0	0,87674	0,87674
1	0	0	1,85812	0,92906
0	1	0	6,2313	0,68482767
0	0	1	-3,21054	-0,54248978
2	0	0	-0,19715	-0,0492875
1	1	0	-2,61934	-0,14393437
1	0	1	-5,72075	-0,48332187
0	2	0	0,59604	0,00719914
0	1	1	-5,45364	-0,10127508
2	1	0	1,54855	0,0425469
1	0	2	7,121	0,10165715
0	3	0	-0,12629	-0,00016764
0	0	3	1,60832	0,00775913
3	0	1	-0,34746	-0,00733885
0	2	2	0,48039	0,00016566

P/D				
i	j	k	d	
3	2	0	0,0933	0,00014086
2	1	2	-0,73719	-0,00057829
1	0	4	-1,2439	-0,000507
2	4	0	-0,02892	-1,0547E-06
0	1	5	-0,09945	-1,5055E-06
2	4	2	0,06313	6,5738E-08
2	0	7	0,03905	3,8393E-08
0	7	2	-0,00157	-8,6805E-12
3	7	0	-0,00332	-8,0365E-11
1	3	7	0,00525	1,3704E-11
0	6	6	0,00019	7,792E-15
2	7	7	-0,00024	-4,5695E-17
				1,32119367

i	j	k	e	
0	0	0	1,12239	1,12239
1	0	0	-0,65719	-0,328595
0	1	0	-2,49002	-0,27365632
0	0	1	0,77829	0,13150883
2	0	0	0,15548	0,03887
1	1	0	1,29182	0,07098632
1	0	1	0,30777	0,02600218
0	2	0	0,80541	0,00972797
0	1	1	0,7185	0,01334267
2	1	0	-0,14982	-0,00411635
1	2	0	-0,41024	-0,0024775
1	0	2	-0,85697	-0,01223383
0	3	0	-0,13208	-0,00017533
0	0	3	-0,29917	-0,00144331
0	2	2	-0,07979	-2,7516E-05
3	2	0	-0,04026	-6,0784E-05
1	0	4	0,23048	9,3941E-05
2	4	0	0,04474	1,6317E-06
0	1	5	0,01804	2,7309E-07
3	0	4	0,03606	3,6744E-06
2	4	2	-0,00768	-7,9972E-09
2	0	7	-0,01226	-1,2054E-08
0	7	2	0,00033	1,8246E-12
3	7	0	-0,00084	-2,0333E-11
1	3	7	-0,00075	-1,9576E-12
0	6	6	-0,00004	-1,6404E-15

i	j	k	e
2	7	7	0,00004
			7,6158E-18
			0,79014155

V (kn)	21
V (m/s)	10,80345
w	0
Va (kn)	21
Va (m/s)	10,80345
N (rpm)	150
n(rps)	15,7079633
Bp	1,20782852
D	0,7
J	0,93583107
	12,1042738
Ae/Ao	0,5
P/D	2,26737817