Diseño de una embarcación de pesca deportiva para aguas someras “Bass boat”

Trabajo Final de Grado

Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
Eric Bonet Bonet

Dirigido por:
Eric Pascual Soldevilla
Inmaculada Ortigosa Barragan

Grau en Enginyeria en Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, 1 de junio de 2021

Departamento de Ciencias e Ingeniería Náutica

Agradecimientos

Quiero agradecer el hacer posible este proyecto a mi familia, por el apoyo incondicional durante todo el tiempo que he estado trabajando en él; a mi pareja por estar siempre apoyándome en las decisiones, dándome opiniones sobre varios puntos del proyecto, estructura, lenguaje, etc.; a los tutores del trabajo Eric Pascual e Inmaculada Ortigosa, por estar siempre pendiente de las entregas, aclararme dudas sobre varios puntos del proyecto y corregirme errores durante el mismo para que éste saliera adelante; y a mis amigos y compañeros de clase, que han intentado ayudarme en lo posible y me han dado su opinión sobre varios puntos para poder mejorar el resultado final.

A todos ellos.

Gracias.

Abstract

In this Project it has been wanted to design a type of boat called Bass boat. These boats are designed specifically for the Largemouth Bass fishing, which is a very popular sport discipline in the United States, or similar species of fresh water fish.

In the Spanish case, this boat must be designed using the Spanish normative. It has to be considered Design category D and sailing zone 7 (fresh water). Both of these requirements must use ISO normative, in particular, the ISO 12215 for the structural analysis and ISO 12217 for the stability analysis.

This boat has been designed based on all the bass boats that exist on the market, taking references of the internal and external allocation, measures, power and forms.

During all the design process has been used different software. Maxsurf Modeler for the boat hull modelling, Maxsurf Resistance for the propulsion analysis, AutoCAD for the space allocation, Microsoft Excel for the structural analysis and Maxsurf Stability for the stability analysis.

Resumen

En este proyecto de final de grado se ha diseñado una embarcación de pesca deportiva para aguas someras, ésta es mejor conocida como Bass boat. Este tipo de lanchas motoras son muy populares en Estados Unidos y son utilizadas en diferentes competiciones de pesca deportiva en agua dulce que se celebran en este país.

En el caso del estado español, ésta, ha de ser diseñada mediante los márgenes normativos de la categoría de diseño D y la zona de navegación 7. En este caso concreto, se ha diseñado según la normativa española y europea, por lo que se siguen las normas ISO; concretamente la 12215 para el cálculo del escantillón y la 12217 para el cálculo de estabilidad.

La embarcación se ha diseñado en base a una lista de modelos disponibles en el mercado y sus características. Se ha intentado mantener la misma distribución de espacios, sistemas y pesos de los cuales disponen los modelos de la lista citada anteriormente.

Este proyecto se inició con un dimensionamiento, seguido del diseño de formas a través del software Maxsurf Modeler, cálculo de propulsión con el software Maxsurf Resistance, disposición de espacios y de sistemas utilizando el software AutoCAD, cálculo del escantillón y cálculo de estabilidad mediante los software Excel y Maxsurf Stability.

Por lo referido a los sistemas que contiene este proyecto, sólo se ha dimensionado en volumen y se han dispuesto los elementos en la estructura de la embarcación, para poder concretar si era posible físicamente confeccionar dichos sistemas en el modelo diseñado.

Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTOS 1
ABSTRACT 3
RESUMEN 5
TABLA DE CONTENIDOS 7
LISTA DE ILUSTRACIONES 9
LISTA DE TABLAS 11
LISTA DE ECUACIONES 13

INTRODUCCIÓN 15

CAPÍTULO 1. DIMENSIONAMIENTO 17

CAPÍTULO 2. GEOMETRÍA DEL CASCO 23

CAPÍTULO 3. SISTEMA PROPULSIVO 27

3.1 RESISTENCIA AL AVANCE 27
3.2 SISTEMA PROPULSIVO 30
3.2.1 ELECCIÓN DEL SISTEMA PROPULSIVO 30
3.2.2 CÁLCULO DE POTENCIA DEL SISTEMA PROPULSIVO 34

CAPÍTULO 4. DISPOSICIÓN DE ESPACIOS 37

CAPÍTULO 5. SISTEMAS 45

5.1 SISTEMA DE COMBUSTIBLE 45
5.2 SISTEMA DE VIVERO 47
5.3 SISTEMA DE ACHIQUE 48
5.4 SISTEMA ELÉCTRICO 49

CAPÍTULO 6. ESCANTILLONADO 51

6.1 COLOCACIÓN DE LOS REFUERZOS 52
6.2 DIVISIÓN EN PANELES 53
6.2.1 PANELES DE FONDO 53
6.2.2 PANELES DE COSTADO 54
6.2.3 PANELES DE CUBIERTA 55
6.3 PRESIONES DE DISEÑO 56
6.3.1 PRESIÓN DE LOS PANELES DE FONDO 56
6.3.2 PRESIÓN DE LOS PANELES DE COSTADO 59
6.3.3 PRESIÓN DE LOS PANELES DE CUBIERTA 62
6.4 ESPESORES MÍNIMOS 64
6.4.1 ESPESOR MÍNIMO DE LOS PANELES DE FONDO 67
6.4.2 ESPESOR MÍNIMO DE LOS PANELES DE COSTADO 67
6.4.3 ESPESOR MÍNIMO DE LOS PANELES DE CUBIERTA 68
6.5 SECUENCIA DE LAMINADO DEL CASCO 69
6.6 SECUENCIA DE LAMINADO DE LA CUBIERTA 70

CAPÍTULO 7. REPARTO DE CARGAS Y ESTABILIDAD 71

7.1 REPARTO DE CARGAS 71
7.2 CÁLCULOS DE ESTABILIDAD 74
7.2.1 ENSAYO DE ALTURA DE INUNDACIÓN MÍNIMA 75
7.2.2 ENSAYO DE COMPENSACIÓN DE CARGAS 78
7.2.3 ENSAYO DE ESCORA DEBIDA A LA ACCIÓN DEL VIENTO 81
7.2.4 ENSAYO DE MULTICASCOS HABITABLES 82
7.2.5 ENSAYO DE REQUISITOS DE FLOTACIÓN 82
7.2.6 ENSAYO DE MATERIAL DE FLOTACIÓN 87
7.2.7 ENSAYO DE DETECCIÓN Y ACHIQUE DE AGUA 87
7.2.8 LARGE ANGLE STABILITY 88

REFERENCIAS 89

ANEXO. INFORMACIÓN ADICIONAL 93

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Gráfico eslora-manga 19
Ilustración 2. Gráfico eslora-calado 20
Ilustración 3. Gráfico eslora-potencia máxima 21
Ilustración 4. Maxsurf Modeler quick start tool 23
Ilustración 5. Modelo Rib 24
Ilustración 6. Modelo Rib sin flotador 24
Ilustración 7. Modelo final de la embarcación 25
Ilustración 8. Plano de formas básico 26
Ilustración 9. Gráfico Área transversal - Eslora 28
Ilustración 10. Gráfico Poténcia – Velocidad 28
Ilustración 11. Motor Intraborda 30
Ilustración 12. Water Jet 31
Ilustración 13. Motor intra-fueraborda o cola Z 32
Ilustración 14. Motor Fueraborda 33
Ilustración 15. Motor fueraborda Mercury Four Stroke Pro XS 225cv – mercurymarine.com 35
Ilustración 16. Plano de disposición de espacios 37
Ilustración 17. Bañera y consola de mando 38
Ilustración 18. Cubierta de popa 39
Ilustración 19. Cubierta de proa 41
Ilustración 20. Compartimentos de carga 42
Ilustración 21. Compartimentos para cañas de pesca 43
Ilustración 22. Esquema de disposición del tanque de combustible 46

Ilustración 23. Esquema de disposición del sistema de vivero 47

Ilustración 24. Esquema de disposición del sistema de achique.....48

Ilustración 25. Esquema de disposición del sistema eléctrico.....49

Ilustración 26. Colocación de los refuerzos estructurales.....52

Ilustración 27. Distribución de los paneles de fondo 53

Ilustración 28. Distribución de los paneles de costado 54

Ilustración 29. Distribución de los paneles de cubierta.....55

Ilustración 30. Cálculo del parámetro *kc*.....65

Ilustración 31. Disposición de las cargas en planta.....73

Ilustración 32. Disposición de las cargas en perfil.....73

Ilustración 33. Gráfico de altura de inundación mínima 76

Ilustración 34. Altura mínima de inundación.....78

Ilustración 35. Situación de carga para el ensayo de compensación de cargas.....80

Ilustración 36. Condiciones de mar para ensayo de compensación de cargas 80

Ilustración 37. Disposición de las cargas par el ensayo de requisito de flotación....83

Ilustración 38.cargas. Ensayo de requisito de flotación. Planta 83

Ilustración 39. Disposición de cargas. Ensayo de requisito de flotación. Perfil.....84

Ilustración 40. Gráfica Large Angle Stability 88

Lista de tablas

Tabla 1. Base de datos para el dimensionamiento 18

Tabla 2. Resultados del análisis de resistencia al avance 29

Tabla 3. Datos del modelo necesarios para el escantillonado 51

Tabla 4. Medidas de los paneles de fondo 54

Tabla 5. Medidas de los paneles de costado 54

Tabla 6. Medidas de los paneles de cubierta 55

Tabla 7. Presiones de diseño de los paneles de fondo 58

Tabla 8.Presiones de diseño de los paneles de costado 61

Tabla 9. Presiones de diseño de los paneles de cubierta 63

Tabla 10. Cálculo del parámetro *k2* 65

Tabla 11. Cálculo de la tensión de diseño del laminado 66

Tabla 12. Escantillonado de los paneles de fondo 67

Tabla 13. Escantillonado de los paneles de costado 67

Tabla 14. Escantillonado de los paneles de cubierta 68

Tabla 15. Secuencia de laminado del casco 69

Tabla 16. Secuencia de laminado de la cubierta 70

Tabla 17. Partida de pesos en condición de navegación a plena carga 72

Tabla 18. Opciones de cálculo de estabilidad 75

Tabla 19. Resultados del ensayo de altura de inundación 77

Tabla 20. Francobordo mínimo en el ensayo de compensación de cargas 79

Tabla 21. Situación de carga para el ensayo de requisito de flotación 84

Tabla 22. Resultados del ensayo de requisitos de flotación posición 3 y 4 85

Tabla 23. Resultados del ensayo de requisitos de flotación posición 1 y 2 86

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Presión de diseño de los paneles de fondo 56

Ecuación 2. Cálculo de *kAR* 56

Ecuación 3. Cálculo de *kL* 57

Ecuación 4. Cálculo de *nCG* 57

Ecuación 5. Presión base de los paneles de fondo *P bmp base* 57

Ecuación 6. Presión de diseño de los paneles de costado 59

Ecuación 7. Presión base de los paneles de cubierta *P dm base* 59

Ecuación 8. Cálculo de *kZ* 59

Ecuación 9. Presión de diseño de los paneles de cubierta 62

Ecuación 10. Determinación del espesor de los paneles 64

Ecuación 11. Cálculo de la tensión de diseño 66

Ecuación 12. Ángulo máximo durante el ensayo de compensación de cargas 79

Introducción

La motivación personal que me ha llevado a realizar este tipo de trabajo, es la pasión que tengo por la pesca deportiva, sobretodo y concretamente, de la pesca del Black Bass. Desde bien pequeño empecé a pescar con mi abuelo en el mar mediterráneo, concretamente en las bahías y desembocadura del delta del Ebro, dónde me he criado. Pero un buen día con unos 10 o 12 años de edad, capturé un ejemplar de bass en las orillas del río. Investigando un poco a través de conocidos en el parque natural y a través de internet, descubrí el fascinante mundo de la pesca deportiva de esta especie. Me di cuenta que en Estados Unidos y en Japón se organizaban competiciones a nivel mundial, había una industria gigantesca detrás de este pez, empezando por diseño de señuelos, montajes y equipos; y llegando hasta el diseño de embarcaciones específicamente diseñadas para la pesca del bass. Hoy en día, dentro de la pesca recreativa, se considera que es la especie que más dinero e intereses mueve de todo el mundo, ya que cuenta con un gran escaparate internacional como las competiciones de alto rendimiento, premios y contratos millonarios, patrocinadores y grandes marcas, etc. Juntando mi pasión personal y los conocimientos adquiridos durante mis estudios de grado, nació este trabajo.

Este trabajo parte de la idea de diseñar un modelo de embarcación del tipo conocido como Bass Boat, ya que originalmente se idearon para la pesca deportiva de la especie de pez Largemouth Bass o Black Bass (Micropterus salmoides). Este tipo de embarcaciones se emplean en competiciones de pesca de agua dulce de alto nivel o simplemente en la pesca deportiva recreativa. Sus mayores bazas son la estabilidad, un bajo calado, una gran capacidad de almacenaje y una superficie útil bastante grande para poder realizar la acción de pesca de la manera más cómoda y eficiente posible.

Capítulo 1. Dimensionamiento

Para empezar con el dimensionamiento fue necesario partir de una base de datos de modelos similares al que se quiere diseñar. Para este trabajo se ha optado por una base de datos limitada ya que existen pocos fabricantes que construyan este tipo de embarcaciones tan específicas.

Se han introducido las marcas más populares de los Estados Unidos, ya que fue allí donde se idearon este tipo de lanchas en primera instancia y existe una gran industria y cultura entorno a ellas.

	Modelos	Eslora (m)	Manga (m)	Calado (m)	Poténcia máxima (HP)
1	Tritton 21X2 SC	6,4008	2,3876	0,4318	300
2	Tritton 20X2 SC	6,096	2,3876	0,4318	250
3	Tritton 20X HP DC	6,1468	2,3876	0,4064	250
4	Triton 19X2 DC	5,9436	2,413	0,381	225
5	Tritton 18X2 DC	5,6388	2,3114	0,381	200
6	Tritton 215X DC	6,5278	2,3876	0,4318	300
7	Tritton 202X	6,1468	2,3622	0,4064	250
8	Bass Cat Lynx	6,2992	2,4384	0,381	300
9	Bass Cat Jaguar	6,7056	2,3876	0,4318	350
10	Bass Cat Puma FTD	6,1976	2,3876	0,4064	275
11	Ranger Comanche	6,7818	2,3241	0,4318	300
12	Ranger Z521L	6,604	2,4892	0,4572	300
13	Ranger Z520L	6,3754	2,4638	0,4064	250
14	Ranger Z518L	5,7404	2,4638	0,3556	200
15	Skeeter FXR21	6,5024	2,4638	0,4318	250

	Modelos	Eslora (m)	Manga (m)	Calado (m)	Poténcia máxima (HP)
16	Skeeter FXR20	6,1976	2,4638	0,4318	250
17	Skeeter ZX225	6,0706	2,413	0,4064	225
18	Skeeter ZX200	5,9436	2,413	0,4064	200
19	Nitro Z21 Pro	6,4513	2,413	0,4064	300
20	Nitro Z19 Pro	5,8925	2,3876	0,381	200
21	Nitro Z20 Pro	6,1465	2,3876	0,4064	250

Tabla 1. Base de datos para el dimensionamiento

A partir de esa base de datos, se realizaron tres gráficos de dispersión. En todos ellos se pidió al Excel la línea de tendencia, la ecuación de la misma y el valor de R^2 y R.

El valor de R sirve para saber la correlación de los datos del gráfico. Si R se acerca a 1 quiere decir que la correlación es positiva y muy buena; negativa y muy buena si se acerca a -1. Si R prende un valor cercano a 0 quiere decir que los datos no tienen una correlación lineal destacable.

La línea de tendencia sirve para visualizar la correlación de los datos del gráfico, *y*, la ecuación de la misma para realizar el cálculo teórico del parámetro que se busca respecto al definido.

Se han realizado tres gráficos para obtener el dimensionamiento teórico ideal.

El primero de Eslora-Manga.

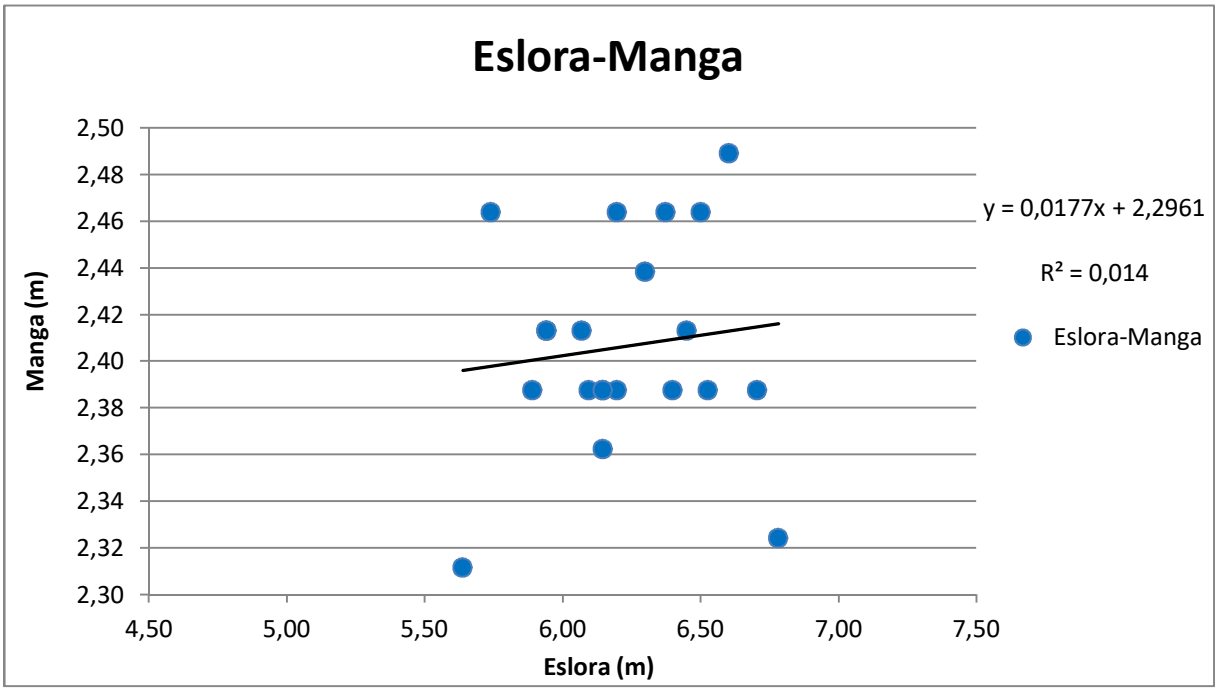


Ilustración 1. Gráfico eslora-manga

Calculando la raíz cuadrada de R^2 se ha obtenido R = 0,118. Este dato indica que la correlación eslora-manga es muy mala debido a la gran variedad de modelos que existen en el mercado.

Utilizando la ecuación de la línea de tendencia e introduciendo la eslora escogida, se puede obtener la manga teórica de la embarcación.

$$y = 0{,}0177 \cdot 6{,}8 + 2{,}2961$$

$$\boldsymbol{y = 2{,}41646\ m}$$

El segundo de Eslora-Calado.

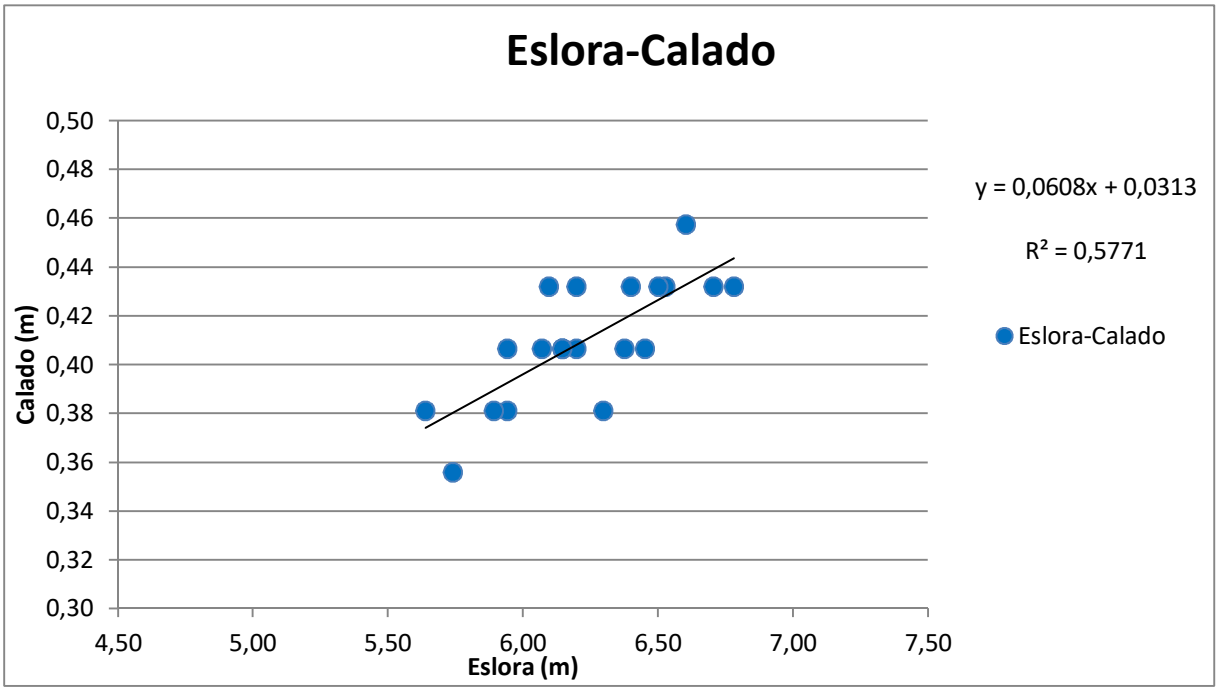


Ilustración 2. Gráfico eslora-calado

De nuevo se ha calculado *R* de la misma forma y se ha obtenido el resultado *R* = 0,75967. Este resultado indica una muy buena correlación positiva entre la eslora y el calado de los modelos estudiados.

Utilizando la ecuación de la línea de tendencia e introduciendo la eslora escogida, se puede obtener el calado teórico de la embarcación.

$$y = 0{,}0608 \cdot 6{,}8 + 0{,}0313$$

$$\boldsymbol{y = 0{,}4447\ m}$$

El tercero de Eslora-Potencia.

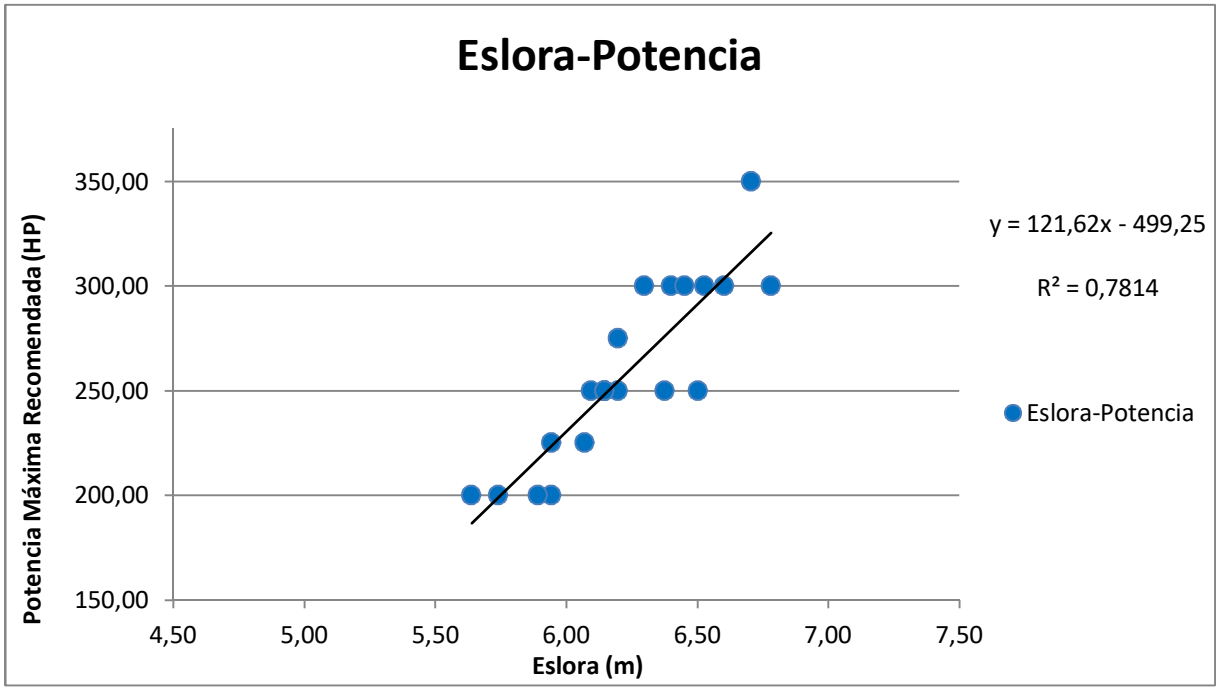


Ilustración 3. Gráfico eslora-potencia máxima

En el tercer gráfico se ha obtenido un resultado de R = 0,88396. La correlación también es muy buena a razón de que las embarcaciones de mayor eslora tienden a necesitar mayor potencia para vencer la resistencia al avance.

Utilizando la ecuación de la línea de tendencia e introduciendo la eslora escogida, se puede obtener la potencia máxima teórica de la embarcación.

$$y = 121{,}62 \cdot 6{,}8 - 499{,}25$$

$$\boldsymbol{y = 330{,}81\ hp}$$

En base a estos tres gráficos y a las tres ecuaciones de tendencia de los mismos, se pudo proceder a realizar un dimensionamiento básico y teórico, para luego poder modelar el casco en base a unas dimensiones orientativas pero claras.

Eslora=	6,8	m
Manga=	2,41646	m
Calado=	0,4447	m
Potencia máxima=	330,81	hp

Capítulo 2. Geometría del casco

Partiendo de la base de la quick start tool del programa Maxsurf Modeler, se optó por la opción de un diseño tipo Rib, ya que es parecido en formas al tipo de lancha que se quería diseñar.

Ilustración 4. Maxsurf Modeler quick start tool

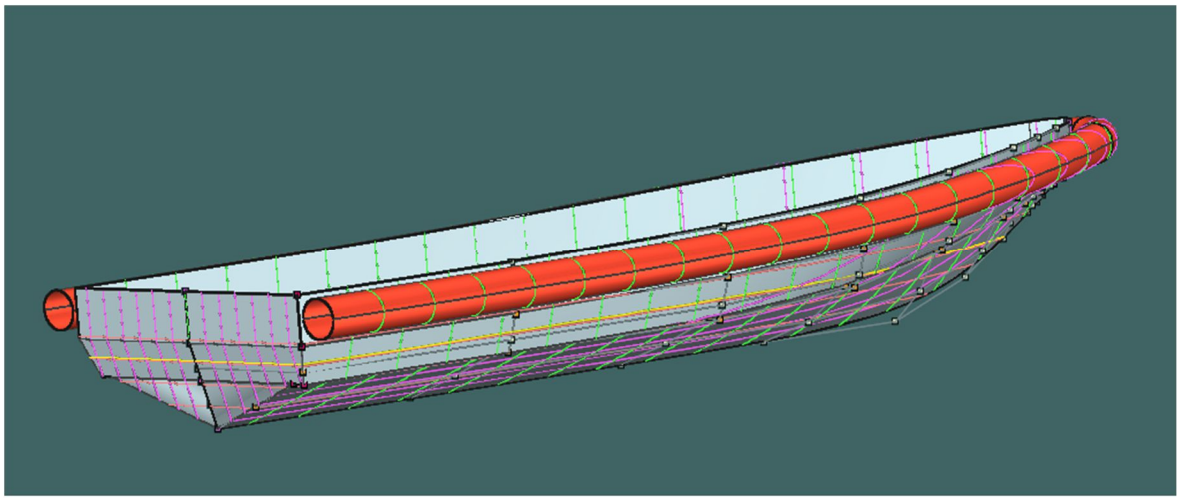


Ilustración 5. Modelo Rib

Una vez introducidas las dimensiones teóricas del dimensionamiento previamente realizado, se ha procedido a eliminar los flotadores del modelo del Rib, para poder trabajar en las formas deseadas del casco objetivo.

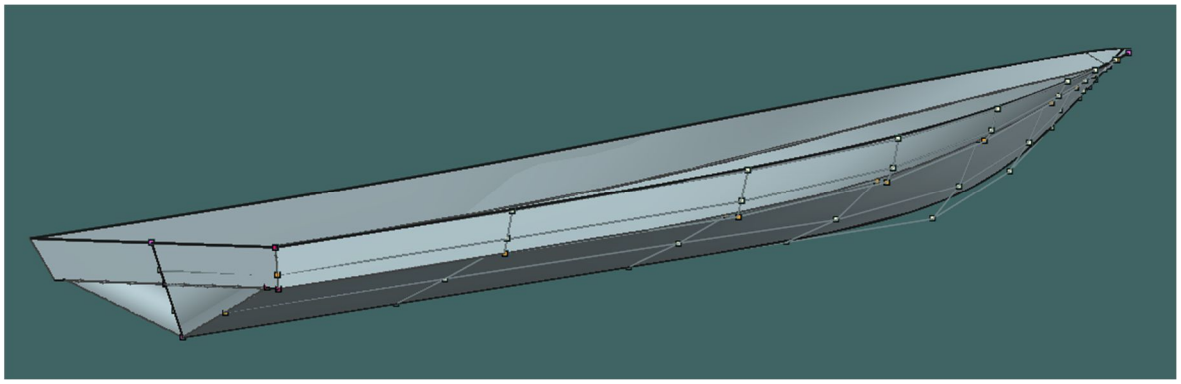


Ilustración 6. Modelo Rib sin flotador

Intentando mantener las dimensiones y con una base de imágenes, vistas y planos recopilados, se ha procedido a la confección y modificación de las formas del casco para lograr un casco con la morfología deseada. Se buscaba una embarcación de poco calado y puntal, con una relación eslora/manga bastante reducida, gran capacidad de carga y mucha estabilidad.

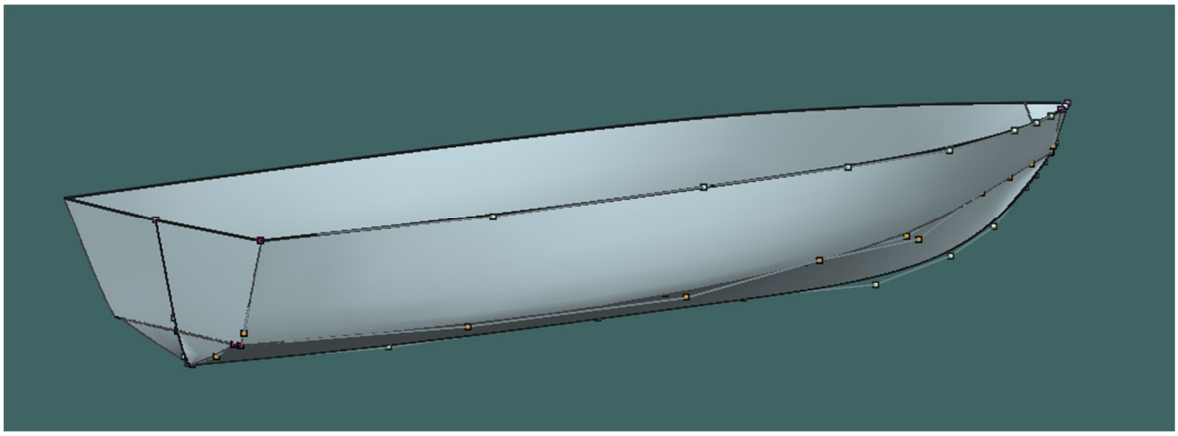


Ilustración 7. Modelo final de la embarcación

Una vez terminadas las formas, se volvieron a revisar las dimensiones del casco para comprobar que no se había variado demasiado el dimensionamiento teórico inicial y se procedió a la elaboración de un plano de formas básico.

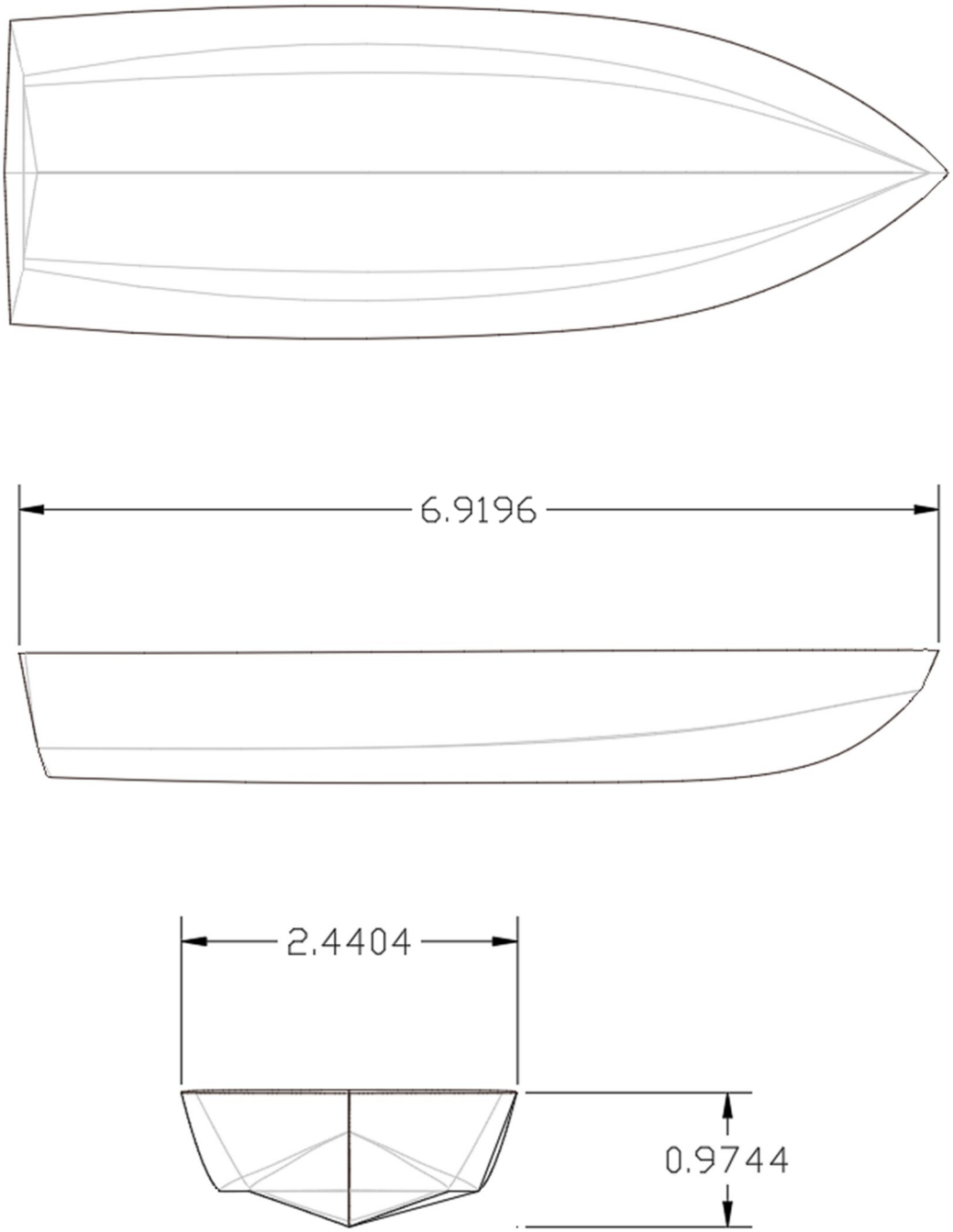


Ilustración 8. Plano de formas básico

Capítulo 3. Sistema propulsivo

3.1 Resistencia al avance

Para calcular la resistencia al avance, se ha utilizado el modelo previamente creado en Maxsurf Modeler. A través de Maxsurf Resistance, se ha utilizado el método de análisis de Savitski Planning Resistance y Blount and Fox Planning, para poder tener dos puntos de referencia y escoger el mayor de los resultados. Y ya que se trata de una embarcación planeadora y no de desplazamiento.

La siguiente gráfica demuestra que se trata de una embarcación que trabaja en régimen de planeo. El eje vertical muestra el área de la sección transversal de la carena y el eje horizontal, la posición de dicha área a lo largo de la eslora. Se puede observar que gran parte del volumen de carena se encuentra en la mitad posterior del casco y la reducción tan brusca de área que se indica en la parte posterior es debido al espejo de popa

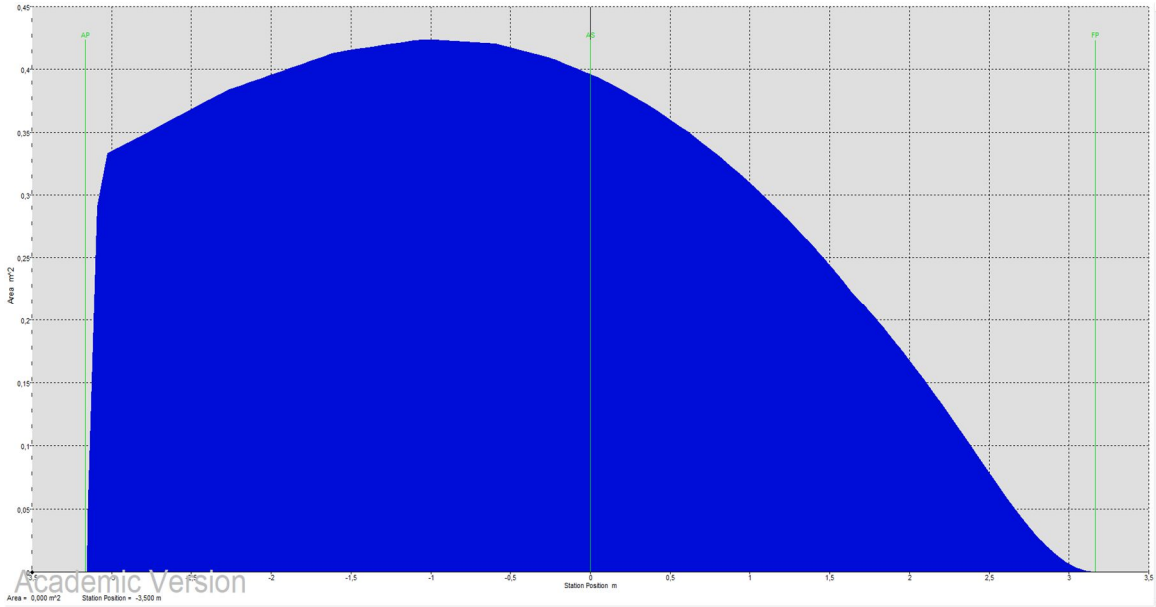


Ilustración 9. Gráfico Área transversal - Eslora

Con un rango de velocidades desde 0 hasta 40 nudos, ya que al ser una embarcación diseñada para agua dulce no es necesario exceder esos 40 nudos de velocidad, se ha obtenido la siguiente curva y la siguiente tabla de resultados.

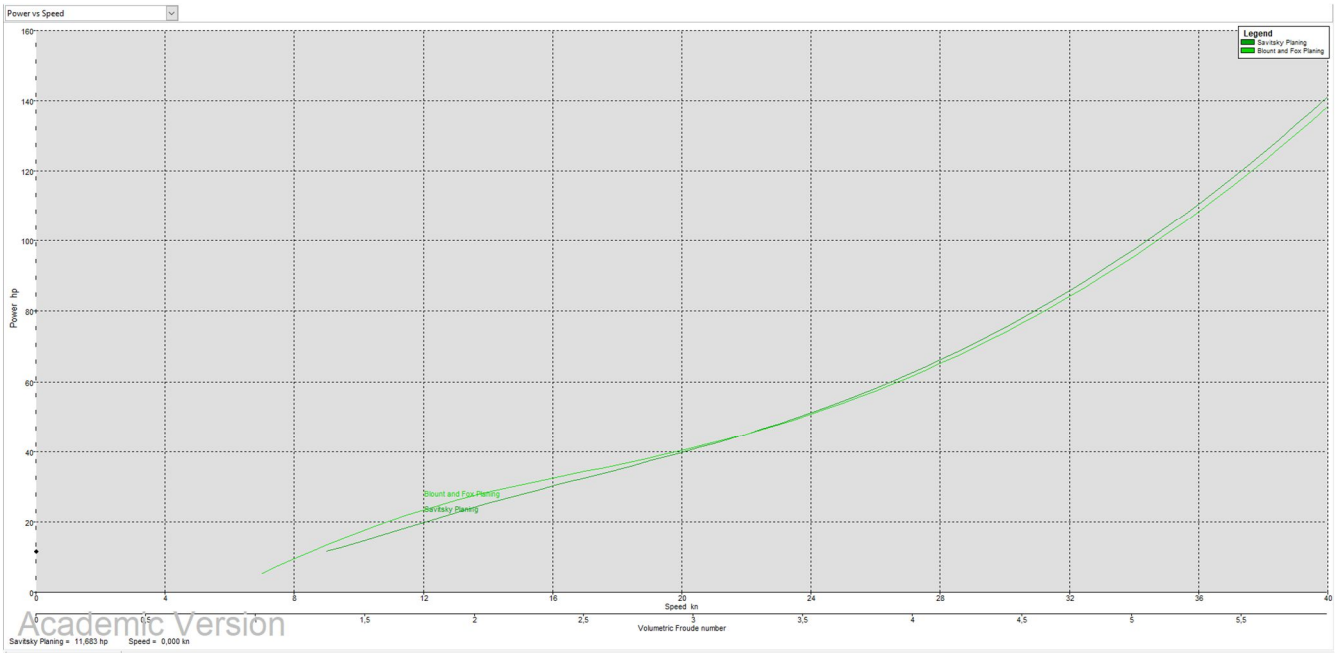


Ilustración 10. Gráfico Poténcia – Velocidad

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Savitsky Planing Resist. (kN)	Savitsky Planing Power (hp)	Blount and Fox Planing Resist. (kN)	Blount and Fox Planing Power (hp)
1	0,000	0,000	0,000	--	--	--	--
2	1,000	0,065	0,147	--	--	--	--
3	2,000	0,131	0,295	--	--	--	--
4	3,000	0,196	0,442	--	--	--	--
5	4,000	0,261	0,590	--	--	--	--
6	5,000	0,326	0,737	--	--	--	--
7	6,000	0,392	0,885	--	--	--	--
8	7,000	0,457	1,032	--	--	1,1	5,434
9	8,000	0,522	1,179	--	--	1,7	9,564
10	9,000	0,588	1,327	1,9	11,683	2,2	13,428
11	10,000	0,653	1,474	2,1	14,223	2,5	17,037
12	11,000	0,718	1,622	2,2	16,961	2,7	20,373
13	12,000	0,784	1,769	2,4	19,780	2,8	23,391
14	13,000	0,849	1,916	2,5	22,559	2,9	26,060
15	14,000	0,914	2,064	2,6	25,222	2,9	28,402
16	15,000	0,979	2,211	2,7	27,751	2,9	30,493
17	16,000	1,045	2,359	2,7	30,171	2,9	32,432
18	17,000	1,110	2,506	2,8	32,531	2,9	34,316
19	18,000	1,175	2,654	2,8	34,885	2,9	36,225
20	19,000	1,241	2,801	2,8	37,282	2,9	38,221
21	20,000	1,306	2,948	2,9	39,765	2,9	40,352
22	21,000	1,371	3,096	2,9	42,373	2,9	42,653
23	22,000	1,437	3,243	3,0	45,137	3,0	45,149
24	23,000	1,502	3,391	3,0	48,084	3,0	47,861
25	24,000	1,567	3,538	3,1	51,235	3,1	50,806
26	25,000	1,632	3,686	3,2	54,611	3,1	53,998
27	26,000	1,698	3,833	3,2	58,228	3,2	57,449
28	27,000	1,763	3,980	3,3	62,103	3,3	61,170
29	28,000	1,828	4,128	3,4	66,249	3,4	65,172
30	29,000	1,894	4,275	3,5	70,679	3,5	69,464
31	30,000	1,959	4,423	3,6	75,406	3,6	74,056
32	31,000	2,024	4,570	3,8	80,440	3,7	78,958
33	32,000	2,090	4,718	3,9	85,793	3,8	84,178
34	33,000	2,155	4,865	4,0	91,474	3,9	89,725
35	34,000	2,220	5,012	4,2	97,494	4,1	95,609
36	35,000	2,285	5,160	4,3	103,863	4,2	101,837
37	36,000	2,351	5,307	4,5	110,591	4,4	108,419
38	37,000	2,416	5,455	4,6	117,686	4,5	115,364
39	38,000	2,481	5,602	4,8	125,158	4,7	122,680
40	39,000	2,547	5,749	4,9	133,016	4,8	130,376
41	40,000	2,612	5,897	5,1	141,269	5,0	138,460

Tabla 2. Resultados del análisis de resistencia al avance

Los datos muestran la potencia necesaria que se le debe suministrar al casco para que alcance la velocidad establecida. De las dos se escoge la mayor de ellas que en este caso es **141,269 hp**.

3.2 Sistema propulsivo

3.2.1 Elección del sistema propulsivo

Motor intraborda

Este tipo de motor de combustión interna se aloja en el interior del casco de la embarcación y necesita de una bocina para pasar el eje desde el motor hacia la hélice. Este tipo de motores se suelen instalar en embarcaciones de desplazamiento y de mayores dimensiones, ya que la hélice se dispone en una posición más adelantada que el espejo de popa y cuesta mucho más adquirir el régimen de planeo. A parte de eso, estos motores requieren de un circuito de refrigeración externo, intercambiadores de calor, grifos de fondo, avispero y varias instalaciones externas para su correcto funcionamiento. Estas características desembocan en la conclusión de que los motores intraborda necesitan un habitáculo bastante grande y además los sistemas auxiliares que también ocupan gran espacio en la embarcación, por lo tanto, no se trata de la mejor opción para el proyecto.

Ilustración 11. Motor Intraborda

Water Jet

El water jet es un sistema de propulsión que se basa en el impulso del agua utilizando una turbina y creando un chorro que propulsa la embarcación. Este tipo de turbinas o jets, necesitan una fuente de energía para poder funcionar por lo que a parte de la turbina también se necesita un motor intraborda con sus respectivos sistemas auxiliares. Este tipo de propulsores son una muy buena opción para embarcaciones planeadoras, ya que pueden cambiar el ángulo de incidencia y ajustar el grado de inclinación de la embarcación para establecer un régimen de planeo óptimo. La pega al igual que los motores intraborda, es que en el caso de este proyecto, no se dispone de un gran espacio para albergar motores intraborda, por lo tanto, aunque sea una gran opción para propulsar la embarcación, no es posible su instalación debido a la falta de espacio.

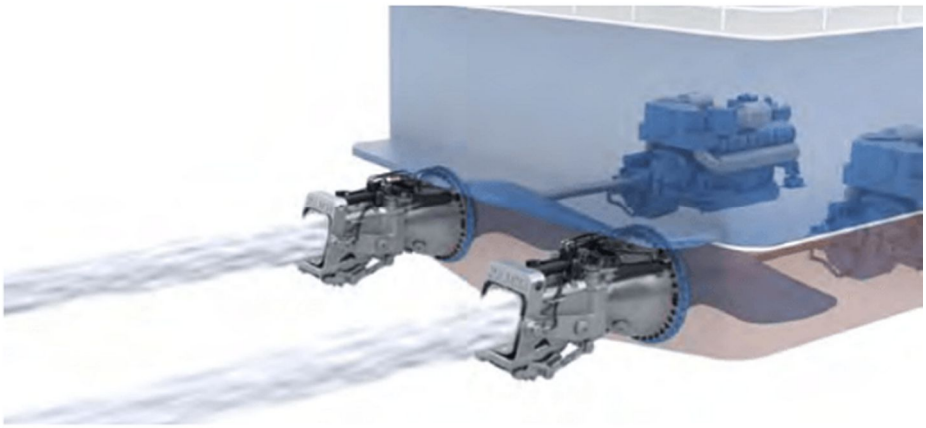


Ilustración 12. Water Jet

Motor intra-fueraborda o cola Z.

Este tipo de sistema propulsivo tiene una peculiaridad respecto a los otros ya que se trata de un motor intraborda pero fusionado con una cola de fueraborda en el exterior del casco. Este sistema es uno de los más modernos del mercado y se ha puesto muy de moda los últimos años. En hecho de contar con el motor intraborda, al igual que los apartados anteriores, tiene las mismas limitaciones en cuanto a espacio, sistemas auxiliares y mantenimiento. La ventaja de este sistema es que también se puede ajustar el ángulo de incidencia de la hélice con el agua por lo que se puede trimar el ángulo de planeo de la embarcación logrando un régimen óptimo. La principal desventaja de estos sistemas, además del espacio y el mantenimiento del motor, es que la unión del motor y de la cola a través del casco suele ser muy delicada. Estos sistemas suelen tener filtraciones de agua por dicha unión y son muy susceptibles de tener serias vías de agua si se embarranca la embarcación. Una vez más, la falta de espacio, y en este caso la falta de fiabilidad hacen que no sea la opción correcta para instalar en la embarcación proyectada.

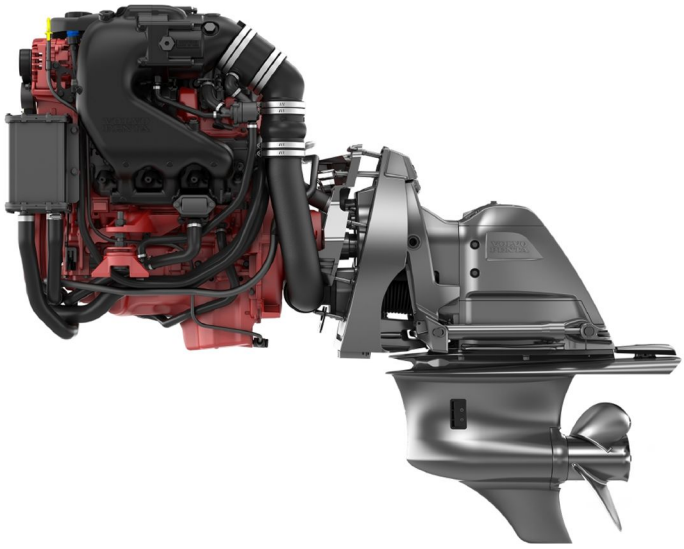


Ilustración 13. Motor intra-fueraborda o cola Z

Motor fueraborda

Este tipo de motores son los más vistos, vendidos y populares dentro de las embarcaciones recreativas. Estos sistemas sólo necesitan de un espejo de popa estructuralmente resistente para poder soportar el peso del motor, el impulso de la propulsión y sus momentos flectores y cortantes. Al albergarse todo el sistema propulsivo en el exterior del casco, hace que sea muy sencillo de instalar, necesitándose solo un pasa-cascos por encima de la línea de flotación para pasar los manguitos de alimentación de combustible y de dirección hidráulica si el sistema cuenta con ella. El mantenimiento de los motores fueraborda es muy sencillo, pudiéndose hacer incluso desmontado de la embarcación. También cuentan con la posibilidad de cambiar el ángulo de incidencia, como los jet o las colas Z, por lo que lo convierte en una muy buena opción para instalar en la embarcación proyectada.

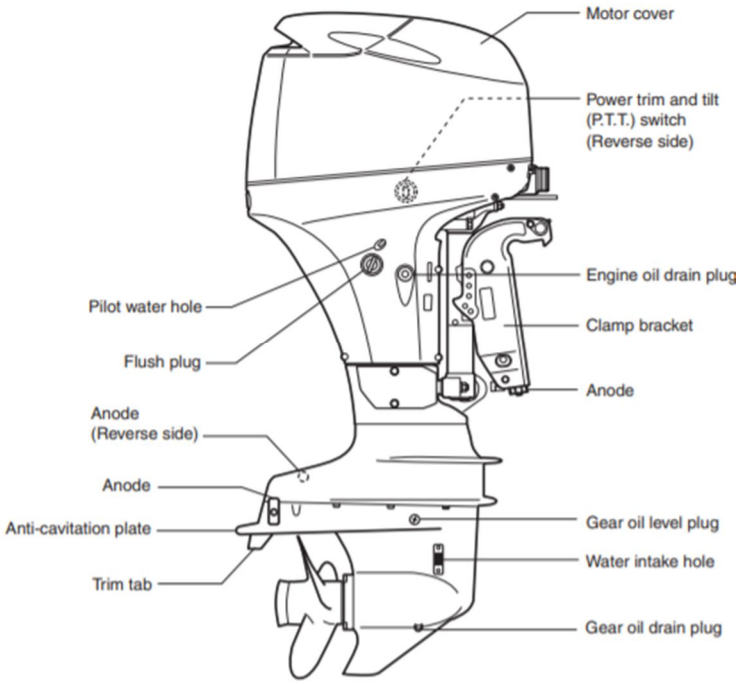


Ilustración 14. Motor Fueraborda

Recapitulando y comparando las diferentes opciones analizadas, se ha optado por el motor fueraborda. Este sistema permite que la instalación y mantenimiento sean muy sencillos y rápidos de realizar, no ocupa espacio en el interior del casco y además sirve perfectamente para una embarcación de estas características en régimen de planeo, pudiendo ajustar incluso el ángulo del mismo.

3.2.2 Cálculo de potencia del sistema propulsivo

Partiendo de la potencia mínima teórica requerida para mover el casco a la velocidad de 40 nudos, se ha procedido a añadir márgenes de reserva de potencia para poder cumplir con las especificaciones sin problemas. Por norma general se añade a la potencia teórica un margen mínimo del 15% debido a que la curva de potencia se calcula en aguas totalmente calmadas pero se debe tener en cuenta este margen para poder vencer la resistencia de las olas formadas por las corrientes o por el viento. Y un 30% para asegurar un correcto funcionamiento del sistema, ya que también existen pérdidas en la hélice, para no forzar el motor a su límite de revoluciones y para tener una reserva de potencia.

$$141{,}269 \cdot 0{,}15 = 21{,}19 \text{ hp}$$

$$141{,}269 \cdot 0{,}3 = 42{,}38 \text{ hp}$$

$$141{,}269 + 21{,}19 + 42{,}38 = \mathbf{204{,}84 \text{ hp}}$$

Una vez se han añadido los márgenes pertinentes, el resultado de la potencia requerida aumenta a un total de 204,84 hp.

Al no existir en el mercado un motor con la potencia exacta, se pasa a un modelo superior. En este caso se ha escogido el modelo **Mercury Four Stroke Pro XS 225cv 229 Kg**. Se trata de un modelo potente, robusto, ligero y eficiente a la par que asequible. Ideal para este tipo de embarcaciones.

Ilustración 15. Motor fueraborda Mercury Four Stroke Pro XS 225cv – mercurymarine.com

Capítulo 4. Disposición de espacios

Una vez diseñado el casco y dimensionado el sistema propulsivo, el siguiente paso que se ha realizado en el proyecto consta de la disposición de espacios o la distribución espacial de la embarcación.

En este caso se han tomado como referencia todos los modelos analizados en el capítulo 1. Estas embarcaciones cuentan con bastantes espacios de carga, todos ellos empotrados bajo la cubierta. La cubierta, por otra parte se dispone gran parte de ella al mismo nivel y sin ningún obstáculo sobre ella, ya que sirve para poder andar y pescar de forma cómoda y sin molestias.

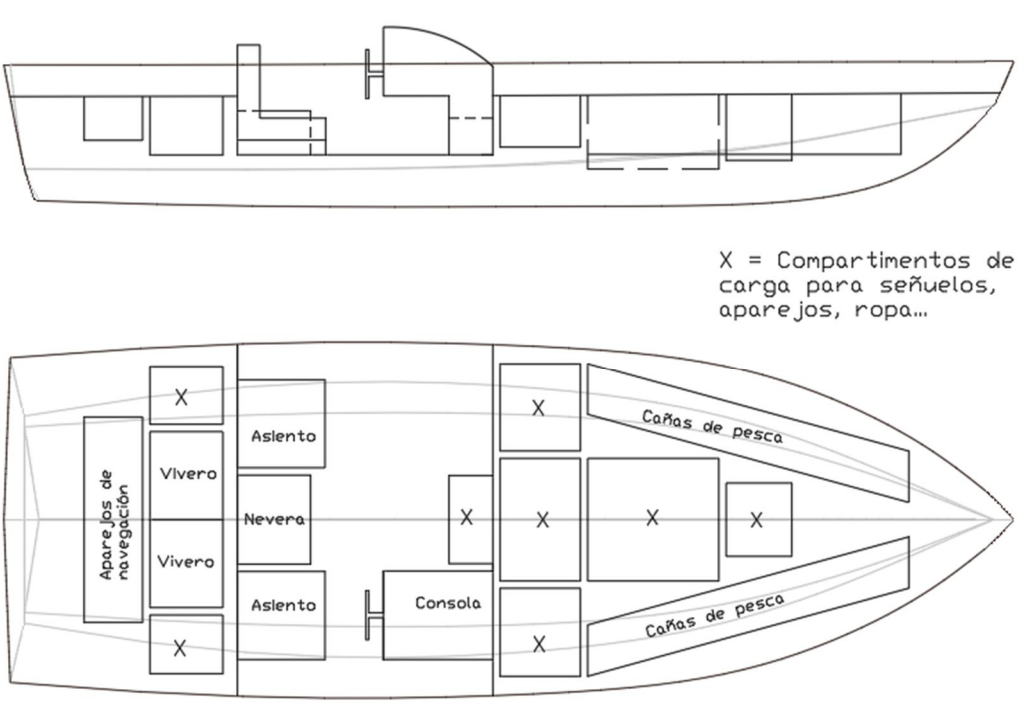


Ilustración 16. Plano de disposición de espacios

Bañera y consola de mando

Para el diseño de la bañera, en este tipo de embarcaciones, se busca que sea del tamaño justo para aprovechar al máximo la cubierta pero que sea capaz de poder albergar a los dos tripulantes. Ésta zona de la embarcación no es muy frecuentada durante la acción de pesca, se suele usar únicamente para los largos desplazamientos en navegación ya que cuenta con la posición más segura del casco y con los asientos. También se utiliza para los descansos por la misma razón pero no es una zona muy concurrida.

Ilustración 17. Bañera y consola de mando

Cubierta de popa

Ésta cubierta, al igual que la bañera, también es bastante poco concurrida, puesto que alberga el vivero, aparejos para la navegación, baterías y un par de compartimentos de carga. Al tratarse de una cubierta pequeña y encontrarse cerca del motor, no se suele usar como norma para la acción de pesca pero puede usarse, lanzando por ambos costados, si se trata de una situación especial en que la embarcación no puede moverse mucho o si se complica la captura de algún ejemplar.

Ilustración 18. Cubierta de popa

Cubierta de proa

La cubierta de proa es la zona más concurrida de la embarcación con mucha diferencia. El primer motivo es que es la cubierta más grande de la embarcación. En dicha zona se puede desarrollar la acción de pesca con mucha comodidad y seguridad.

El segundo motivo es que es donde se encuentra el motor eléctrico y un monitor conectado a la sonda. El estar constantemente comprobando la sonda y tripulando la embarcación con el motor eléctrico es crucial para la pesca.

Por ejemplo para la pesca en vertical es de suma importancia estar constantemente chequeando la sonda en busca de peces suspendidos o aletargados en el fondo. El gobierno de la lancha con el motor eléctrico es inevitable para no asustar a los peces con el motor de combustión y para poder realizar maniobras como bornear respecto a un punto fijo, mantener la posición mediante una señal GPS conectada al propulsor eléctrico o avanzar a una velocidad y rumbo constante para acercarse a lugares complicados.

El tercer motivo es que la gran mayoría de aparejos que se usan durante la acción de pesca se encuentran en los compartimentos empotrados en dicha cubierta. Es muy importante tener a mano los señuelos, cañas o montajes que se vayan a utilizar, ya que de este modo se gana en velocidad, y si se gana en velocidad se ganan oportunidades de captura, punto indispensable en las competiciones de alto nivel, donde una pequeña diferencia de talla o peso puede marcar muchos puestos en la clasificación.

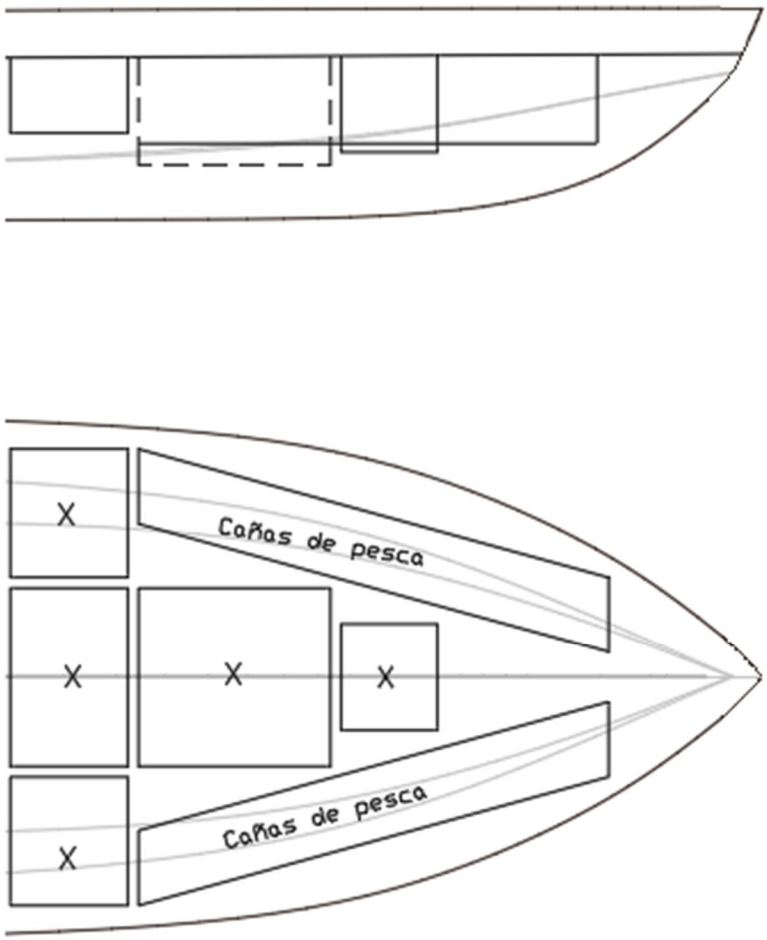


Ilustración 19. Cubierta de proa

Compartimentos de carga

Las lanchas de este tipo cuentan con un gran número de espacios de carga. Con la grandísima variedad de señuelos, montajes, cañas y aparejos que se encuentran en el mercado, es indispensable para los pescadores deportivos profesionales contar con una gran capacidad de carga en la embarcación. De este modo se pueden permitir cargar muchísima variedad de aparejos para poder adaptarse a las condiciones de la competición lo mejor posible. Para cumplir con este propósito se han diseñado numerosos espacios de carga y de gran capacidad, situados sobre todo en la cubierta de proa que es donde más se necesitan.

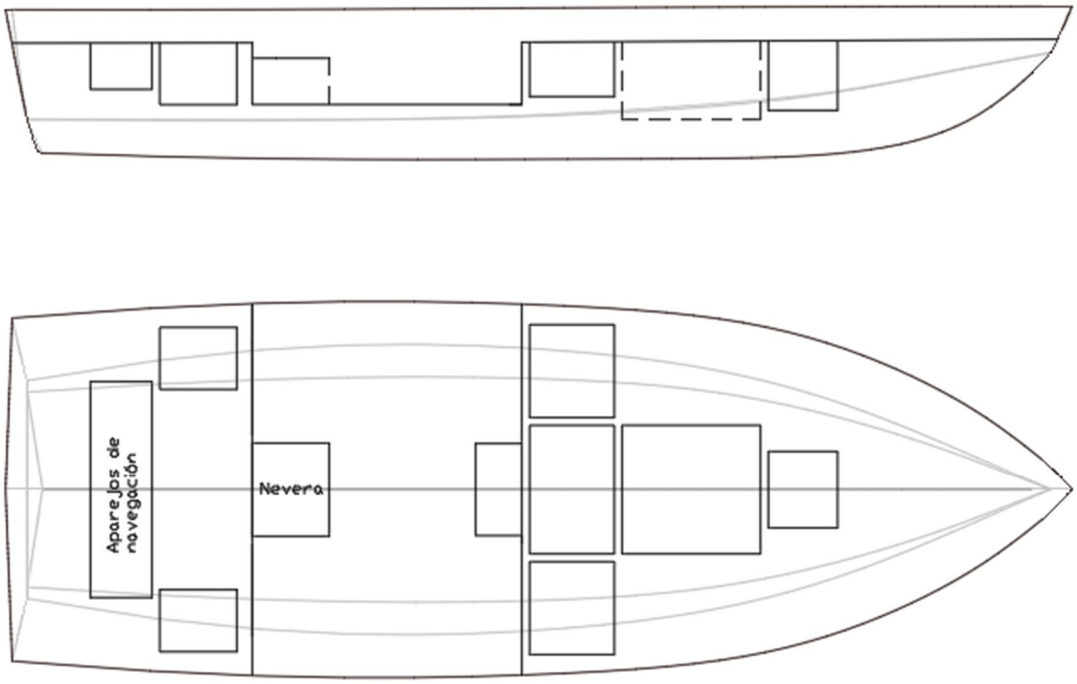


Ilustración 20. Compartimentos de carga

Compartimentos para cañas de pesca

Los compartimentos para las cañas de pesca deben ser de gran longitud, puesto que la medida normal de las mismas oscila entre 6 y 7 pies de longitud las cañas mono-tramo y 8 o 9 pies las de dos tramos. Para cumplir con estas dimensiones se han dispuesto los compartimentos para albergar estos elementos en paralelo a las formas del casco, optimizando así el espacio, y obteniendo una longitud de carga máxima de 2,2m; suficiente para poder disponer los equipos que cuenten con las medidas estándares. Estos compartimentos tienen capacidad para albergar bastantes equipos de pesca y poder satisfacer las necesidades de todos los competidores o pescadores deportivos.

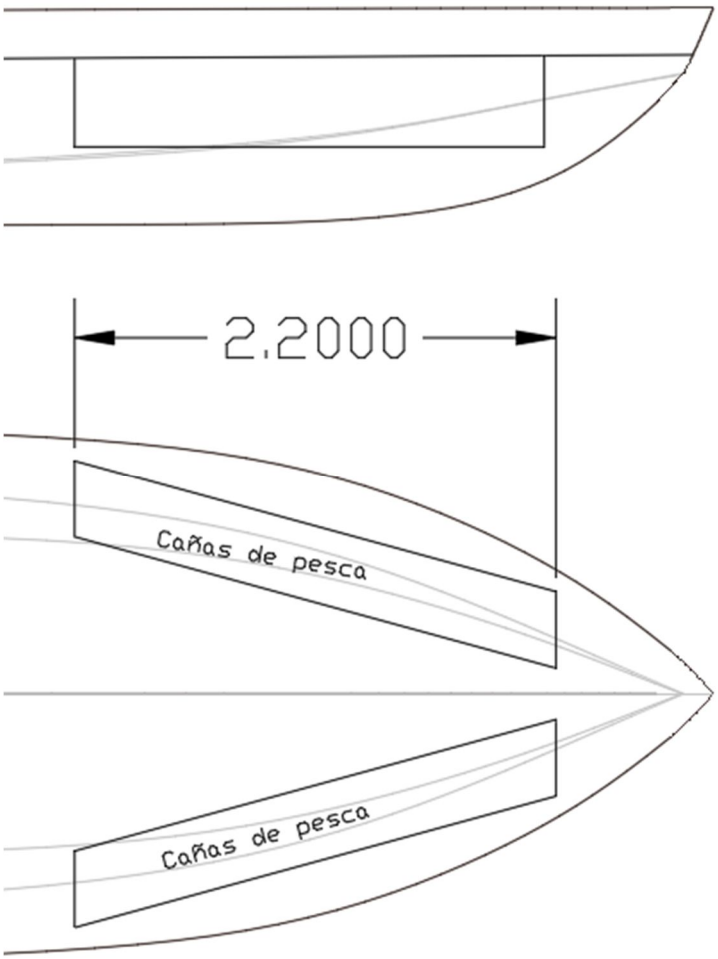


Ilustración 21. Compartimentos para cañas de pesca

Capítulo 5. Sistemas

En este capítulo se han realizado una serie de esquemas de los sistemas de la embarcación. Simplemente se trata de los esquemas orientativos para poder designar y distribuir los espacios de la lancha y también para orientar los volúmenes de los mismos.

5.1 Sistema de combustible

Para el sistema de combustible se ha partido del motor escogido en el capítulo 4. Según la información proporcionada por el fabricante, este motor tiene un consumo medio de 23 l/h.

Las competiciones de pesca deportiva suelen durar como máximo unas 8 horas, y gran parte de ellas las embarcaciones se encuentran fondeadas. Para asegurar que la embarcación cuenta con autonomía suficiente se ha partido de un orientativo de 6h de navegación.

23 l/h X 6h = 138 l como mínimo.

Con este dato y teniendo en cuenta dónde se encuentran los refuerzos estructurales, se ha dispuesto en el programa Maxsurf Stability el tanque de combustible.

Una vez dispuesto, se ha comprobado si cumplía con los 138 l mínimos de volumen de combustible. Efectivamente el resultado del tanque que se ha aplicado es de 177,1 l. Cumple para cubrir la autonomía de 6 h para el motor escogido.

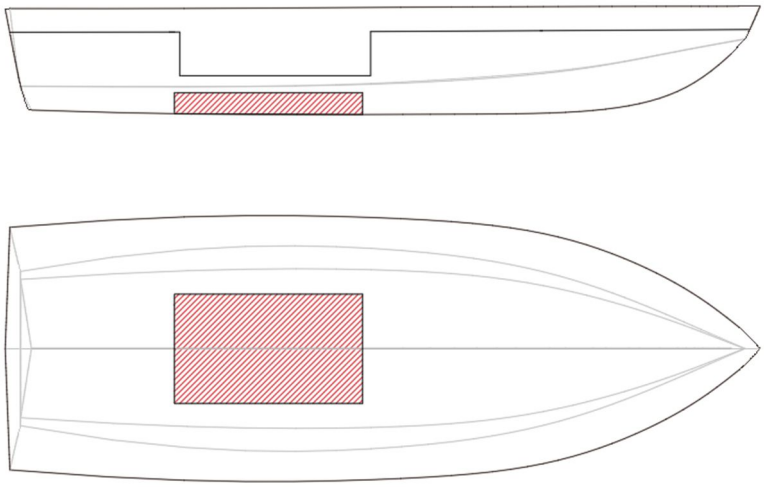


Ilustración 22. Esquema de disposición del tanque de combustible

5.2 Sistema de vivero

El sistema de vivero ha sido ideado para albergar peces de gran tamaño y asegurar la integridad física de los mismos. El tanque cuenta con grandes dimensiones para cumplir con este propósito. En estos casos es importante contar con gran cantidad de agua de la zona dónde se desarrolla la actividad de pesca. Para ello se han dispuesto dos bombas pequeñas para el llenado, vaciado y circulación del agua.

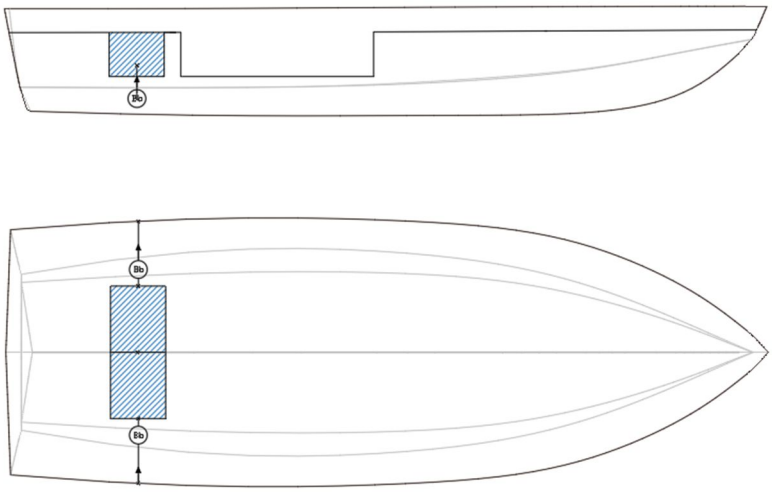


Ilustración 23. Esquema de disposición del sistema de vivero

5.3 Sistema de achique

El sistema de achique se ha diseñado de una manera muy simple. Consta de una aspiración central para cada compartimento estanco y una bomba para aspirar y expulsar el agua. Puesto que esta embarcación ha sido diseñada para zona de navegación 7 y sobretodo agua dulce, no es necesario instalar un sistema de tratado. También porque todos los sistemas de combustible y aceite son circuitos cerrados y estancos.

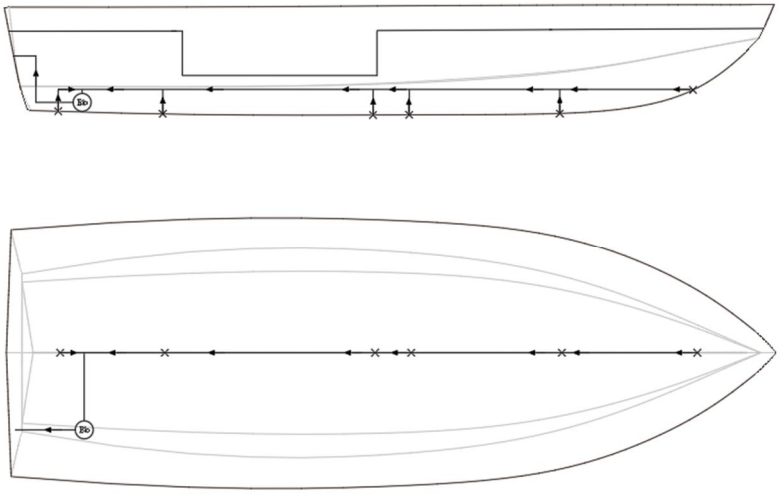


Ilustración 24. Esquema de disposición del sistema de achique

5.4 Sistema eléctrico

El sistema eléctrico se ha diseñado en base a baterías. Estas proporcionan la energía a todos los consumidores y son recargadas mediante el alternador del motor y también a través de un puerto externo. En el cuadro de distribución se encuentran los fusibles de cada elemento al igual que los interruptores para conectar y desconectar cada elemento por separado, ya sean consumidores como baterías.

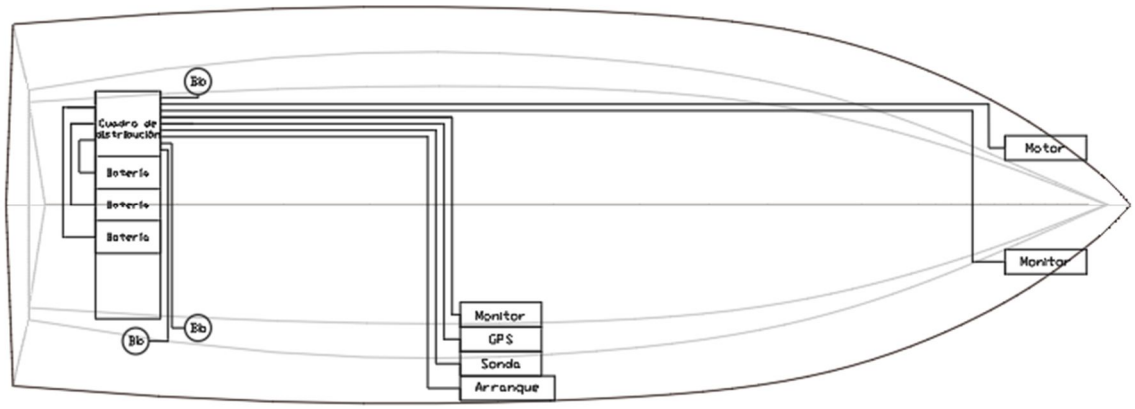


Ilustración 25. Esquema de disposición del sistema eléctrico

Capítulo 6. Escantillonado

El escantillonado de esta embarcación se ha realizado utilizando la normativa ISO, concretamente la ISO 12215:2019 parte 5

El primer paso que se hizo para calcular el escantillón fue extraer los datos necesarios para realizar los cálculos. Algunos de estos datos se extrajeron del modelo y otros se escogieron como por ejemplo la categoría de diseño, la velocidad o el material de construcción.

En este caso como material se ha pensado construir la embarcación en PRFV (Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio) compuesto de MAT y Roving y con un método de producción de laminado manual asistido por vacío.

DATOS		
LWL	6,329	m
B_c	1,92	m
β	15	°
V	40	nudos
m_{LDC}	1914	Kg
KDC	0,4	
Cont. Masa FV	0,4	
Categoría diseño	D	

Tabla 3. Datos del modelo necesarios para el escantillonado

6.1 Colocación de los refuerzos

Previamente al cálculo estructural, se deben disponer los refuerzos estructurales que se crean necesarios. En este caso se han dispuesto los refuerzos aprovechando los huecos entre los diferentes espacios de carga. De esta manera la estructura queda muy bien ligada y los refuerzos no estorban a la distribución pensada previamente. Se debe tener en cuenta que los refuerzos del pique de popa y el pique de proa deben ser estancos, por lo que no pueden ser atravesados por ningún elemento a no ser que se selle la unión.

A partir de los espacios, los refuerzos han sido colocados en las posiciones indicadas en la siguiente imagen.

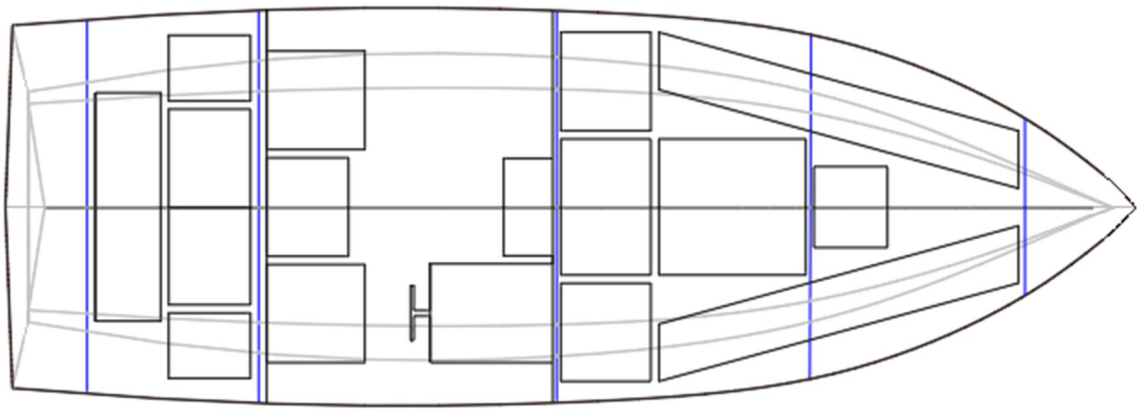


Ilustración 26. Colocación de los refuerzos estructurales

6.2 División en paneles

Lo siguiente que se hizo para calcular el escantillón, fue dividir la estructura de la embarcación en paneles y separar los paneles de fondo, los paneles de costado y los paneles de cubierta; y medir su dimensión mayor (*l*), su dimensión menor (*b*) y su área (A_d).

6.2.1 Paneles de fondo

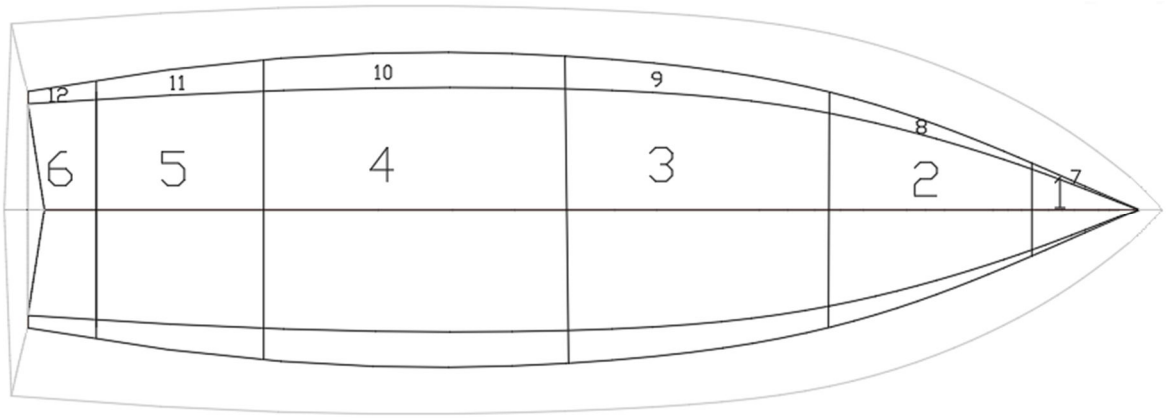


Ilustración 27. Distribución de los paneles de fondo

Paneles de fondo	*l* (mm)	*b* (mm)	A_d (m^2)
1	630	240	0,1512
2	1220	580	0,7076
3	1560	720	1,1232
4	1820	720	1,3104
5	1000	710	0,71
6	660	410	0,2706
7	700	38	0,0266
8	1350	130	0,1755

Paneles de fondo	*l* (mm)	*b* (mm)	A_d (m^2)
9	1650	200	0,33
10	1800	500	0,36
11	1000	190	0,19
12	410	115	0,04715

Tabla 4. Medidas de los paneles de fondo

6.2.2 Paneles de costado

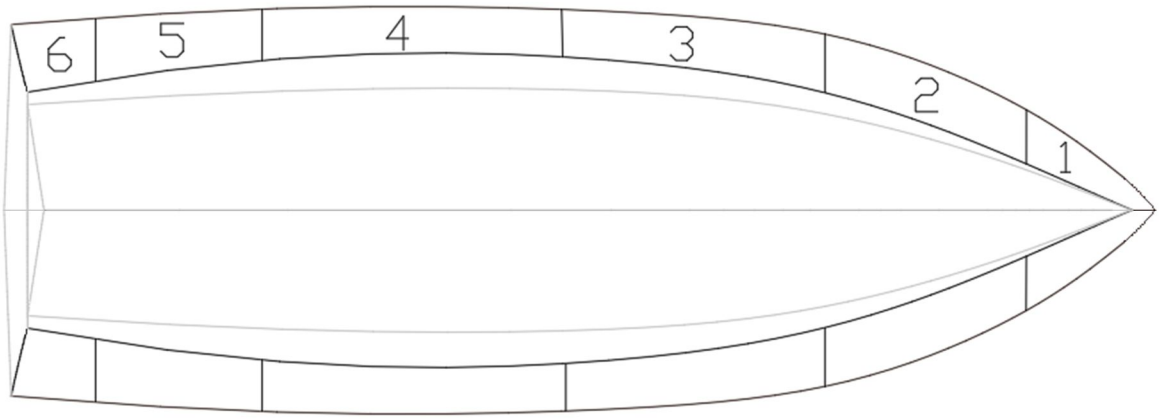


Ilustración 28. Distribución de los paneles de costado

Paneles de costado	*l* (mm)	*b* (mm)	A_d (m^2)
1	800	420	0,336
2	1210	600	0,726
3	1560	580	1,0608
4	1825	718	1,31035
5	1000	718	0,718
6	715	550	0,39325

Tabla 5. Medidas de los paneles de costado

6.2.3 Paneles de cubierta

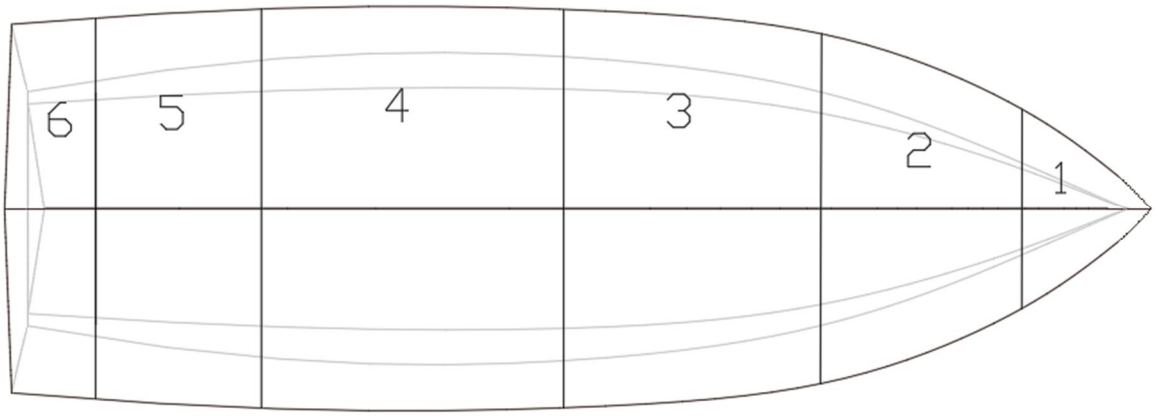


Ilustración 29. Distribución de los paneles de cubierta

Paneles de cubierta	*l* (mm)	*b* (mm)	A_d (m^2)
1	773	598	0,462254
2	1221	1054	1,286934
3	1551	1200	1,8612
4	1825	1201	2,191825
5	1201	1000	1,201
6	1147	550	0,63086

Tabla 6. Medidas de los paneles de cubierta

6.3 Presiones de diseño

El parámetro *P* se refiere a la presión de diseño de cada panel y se calcula distinto para cada tipo de panel diferenciando los de fondo, los de costado y los de cubierta.

6.3.1 Presión de los paneles de fondo

Empezando con los de fondo, la presión de diseño se calcula en el apartado 8.1.3 de la normativa utilizando la fórmula siguiente:

$$P\ bmp = P\ bmp\ base\ \times kAR\ \times kL$$

Ecuación 1. Presión de diseño de los paneles de fondo

Donde

kAR se calcula como

$$kAR = \frac{kR\ \times 0{,}1\ \times\ mLDC^{0{,}15}}{Ad^{0{,}3}}$$

Ecuación 2. Cálculo de *kAR*

(*KR* = 1 para paneles de fondo, costado y cubierta para embarcaciones a motor planeadoras.)

kL se calcula como

$$kL = \frac{1-0{,}167 \times nCG}{0{,}6} \times \frac{x}{LWL} + 0{,}167 \times nCG \qquad \text{Pero sin ser > 1 para } \frac{x}{LWL} \leq 0{,}6$$

Ecuación 3. Cálculo de *kL*

$\frac{x}{LWL}$ Es la posición del centro del panel respecto a la línea de flotación, tomándose como valores 0 en proa y 1 en popa

nCG se calcula como

$$nCG = \frac{0{,}5 \times V}{mLDC^{0{,}17}} =$$

$$= \frac{0{,}5 \times 40}{1914^{0{,}17}} = 5{,}53477$$

Ecuación 4. Cálculo de *nCG*

P base se calcula como

$$P\ bmp\ base = \frac{0{,}1\ mLDC}{LWL \times Bc} \times (1 + kDC^{0{,}5} \times nCG) =$$

$$= \frac{0{,}1 \times 1914}{6{,}329 \times 1{,}92} = 261{,}3176\ KN/m^2$$

Ecuación 5. Presión base de los paneles de fondo *P bmp base*

Recapitulando y utilizando la fórmula del principio

$$P\ bmp = P\ bmp\ base \times kAR \times kL$$

Se ha obtenido la tabla de presiones para los paneles de fondo.

Paneles fondo	*l*	*b*	*AD*	*x*	*LWL*	*x/LWL*	*kL*	*KR*	*KAR*	*P bmp* (KN/m2)
1	630	240	0,151	0,315	6,329	0,0497	0,930	1	0,5475	133,15299
2	1220	580	0,707	1,24	6,329	0,1959	0,949	1	0,3446	85,467448
3	1560	720	1,123	2,63	6,329	0,4155	0,976	1	0,3000	76,576859
4	1820	720	1,310	4,32	6,329	0,6825	1,010	1	0,2864	75,637885
5	1000	710	0,71	5,73	6,329	0,9053	1,038	1	0,3442	93,432549
6	660	410	0,270	6,235	6,329	0,9851	1,048	1	0,4598	125,99884
7	700	38	0,026	0,315	6,329	0,0497	0,930	1	0,9222	224,26008
8	1350	130	0,175	1,24	6,329	0,1959	0,949	1	0,5236	129,85358
9	1650	200	0,33	2,63	6,329	0,4155	0,976	1	0,4332	110,58099
10	1800	200	0,36	4,32	6,329	0,6825	1,010	1	0,4220	111,44736
11	1000	190	0,19	5,73	6,329	0,9053	1,038	1	0,5112	138,75531
12	410	115	0,047	6,235	6,329	0,9851	1,048	1	0,7766	212,82390

Tabla 7. Presiones de diseño de los paneles de fondo

6.3.2 Presión de los paneles de costado

La presión de diseño de los paneles de costado se calcula en el apartado 8.1.5 de la normativa utilizando la fórmula siguiente:

$$P\ smp = [\ P\ dm\ base + kZ\ \times (\ 0{,}25\ \times\ P\ bmp\ base - P\ dm\ base)] \times kAR\ \times kDC \times kL$$

Ecuación 6. Presión de diseño de los paneles de costado

P dm base es la presión base de cubierta y se calcula como

$$P\ dm\ base = 0{,}35\ \times LWL + 14{,}6 = 16{,}81515$$

Ecuación 7. Presión base de los paneles de cubierta *P dm base*

kZ es el factor de reducción de presión en el costado y de calcula como

$$kZ = \frac{z - h}{z}$$

Ecuación 8. Cálculo de *kZ*

donde *z* es la altura de la cubierta y *h* la altura del centro del panel

P bmp base es la presión base del fondo, calculada de igual forma que para los paneles de fondo

$$P\ bmp\ base = \frac{0{,}1\ mLDC}{LWL\ \times\ Bc} \times (1 + kDC^{0{,}5}\ \times nCG) =$$

$$= \frac{0{,}1\ \times 1914}{6{,}329\ \times\ 1{,}92} = 261{,}3176\ KN/m^2$$

kAR se calcula como

$$kAR = \frac{kR \times 0{,}1 \times mLDC^{0{,}15}}{Ad^{0{,}3}}$$

(*KR* = 1 para paneles de fondo, costado y cubierta para embarcaciones a motor planeadoras.)

kDC es el factor de categoría de diseño, en este caso categoría D. *kDC* = 0,4

kL se calcula como

$$kL = \frac{1-0{,}167 \times nCG}{0{,}6} \times \frac{x}{LWL} + 0{,}167 \times nCG$$ Pero sin ser > 1 para $\frac{x}{LWL} \leq 0{,}6$

$\frac{x}{LWL}$ Es la posición del centro del panel respecto a la línea de flotación, tomándose como valores 0 en proa y 1 en popa

nCG se calcula como

$$nCG = \frac{0{,}5 \times V}{mLDC^{0{,}17}} =$$

$$= \frac{0{,}5 \times 40}{1914^{0{,}17}} = 5{,}53477$$

Recapitulando y utilizando la fórmula del principio

$$P\ smp = [\,P\ dm\ base + kZ \times (\,0{,}25 \times P\ bmp\ base - P\ dm\ base)] \times kAR \times kDC \times kL$$

Se ha obtenido la tabla de presiones para los paneles de costado

Paneles costado	*l*	*b*	*AD*	*x*	*LWL*	*x/LWL*	*kL*
1	800	420	0,336	0,315	6,329	0,049770	0,930586
2	1210	600	0,726	1,24	6,329	0,195923	0,949023
3	1560	680	1,060	2,63	6,329	0,415547	0,976730
4	1825	718	1,310	4,32	6,329	0,682572	1,010416
5	1000	718	0,718	5,73	6,329	0,905356	1,038522
6	715	550	0,393	6,235	6,329	0,985147	1,048588

z	*h*	*KZ*	*KR*	*KAR*	*P smp* (KN/m^2)
0,416	0,2	0,519230769	1	0,43091291	6,737666556
0,6	0,3	0,5	1	0,34198756	5,332074284
0,6015	0,376	0,374896093	1	0,30521174	4,173886551
0,5919	0,37	0,374894408	1	0,28646733	4,052652333
0,5919	0,3625	0,387565467	1	0,34312626	5,076849945
0,5908	0,36	0,390656737	1	0,41104623	6,166589507

Tabla 8.Presiones de diseño de los paneles de costado

6.3.3 Presión de los paneles de cubierta

La presión de diseño de los paneles de cubierta se calcula en el apartado 8.1.6 de la normativa utilizando la fórmula siguiente:

$$P\ dm = P\ dm\ base\ \times kAR\ \times kDC\ \times kL$$

Ecuación 9. Presión de diseño de los paneles de cubierta

Esta presión nunca puede ser inferior a P dm mín., que en este caso, la normativa indica que es

5 KN/m^2

P dm base es la presión base de la cubierta y se calcula como

$$P\ dm\ base = 0{,}35\ \times LWL + 14{,}6 = 16{,}81515$$

Kar se calcula como

$$kAR = \frac{kR\ \times 0{,}1\ \times\ mLDC^{0{,}15}}{Ad^{0{,}3}}$$

(*KR* = 1 para paneles de fondo, costado y cubierta para embarcaciones a motor planeadoras.)

Kdc es el factor de categoría de diseño, en este caso categoría D. *Kdc* = 0,4

Kl se calcula como

$$kL = \frac{1-0{,}167 \times nCG}{0{,}6} \times \frac{x}{LWL} + 0{,}167 \times nCG \qquad \text{Pero sin ser > 1 para } \frac{x}{LWL} \leq 0{,}6$$

$\frac{x}{LWL}$ Es la posición del centro del panel respecto a la línea de flotación, tomándose como valores 0 en proa y 1 en popa

Ncg se calcula como

$$nCG = \frac{0{,}5 \times V}{mLDC^{0{,}17}} =$$

$$= \frac{0{,}5 \times 40}{1914^{0{,}17}} = 5{,}53477$$

Recapitulando y utilizando la fórmula del principio

$$P\ dm = P\ dm\ base \times kAR \times kDC \times kL$$

Se ha obtenido la tabla de presiones para los paneles de cubierta

Paneles cubierta	*l*	*b*	*AD*	*x*	*x/LWL*	*KL*	*KR*	*KAR*	*P dm (KN/m²)*
1	773	598	0,462	0,315	0,0497	0,930	1	0,391	2,451005
2	1221	1054	1,286	1,24	0,1959	0,949	1	0,288	1,838494
3	1551	1200	1,861	2,63	0,4155	0,976	1	0,257	1,693904
4	1825	1201	2,191	4,32	0,6825	1,010	1	0,25	1,699031
5	1201	1000	1,201	5,73	0,9053	1,038	1	0,294	2,054020
6	1147	550	0,630	6,235	0,9851	1,048	1	0,356	2,515817

Tabla 9. Presiones de diseño de los paneles de cubierta

Puesto que ningún panel supera la presión mínima P dm mín., se emplea como presión de todos los paneles de cubierta:

P dm mín. = 5 KN/m²

6.4 Espesores mínimos

Para calcular el espesor mínimo de cada panel se debe utilizar la fórmula siguiente:

$$t = b \times kc \times \sqrt{\frac{P \times k2}{1000 \times \sigma d}}$$

Ecuación 10. Determinación del espesor de los paneles

Donde

b es la dimensión menor del panel

kc es el factor de curvatura de los paneles (de 0,5 los más curvos a 1 los totalmente planos)

P es la presión de diseño de acuerdo al capítulo 8 de la normativa en KN / m^2

k2 es el factor de alargamiento del panel por resistencia a la flexión

σd es la tensión de diseño del panel de PRFV

El objetivo es calcular cada uno de esos parámetros para introducirlos en la fórmula y así averiguar el espesor mínimo requerido para cada panel de cada zona.

Empezando por el parámetro *b*, este está situado en las tablas anteriores, siendo la dimensión menor de cada panel.

El parámetro *kc* oscila entre 0,5 para los paneles muy curvados y 1 para los paneles prácticamente planos. Utilizando la siguiente tabla e imágenes se puede calcular para cada panel.

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

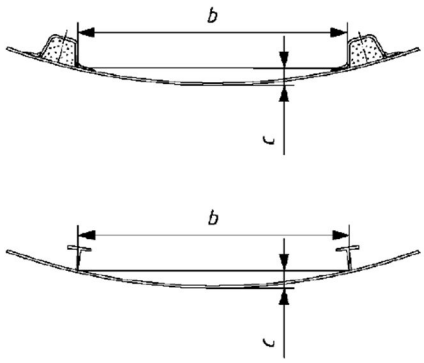


Ilustración 30. Cálculo del parámetro *kc*

k2 es el factor de alargamiento del panel por resistencia a la flexión. Los valores oscilan entre 0,308 y 0,5 y dicho valor depende de la relación *l/b* de cada panel. Los valores se encuentran en la tabla siguiente.

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 $0{,}308 < k_2 < 0{,}5$
	$k_2 = \frac{0{,}271(l/b)^2 + 0{,}910(l/b) - 0{,}554}{(l/b)^2 - 0{,}313(l/b) + 1{,}351}$

Tabla 10. Cálculo del parámetro *k2*

El parámetro σd es la tensión de diseño del panel de PRFV. En este caso se ha calculado mediante las tablas siguientes ubicadas en el anexo C de la normativa.

Material	Elemento estructural	Tensión de diseño σ_d N/mm²
FRP de una sola capa	Todos los elementos	0,5 σ_{uf}

Resistencia de rotura por flexión, σ_{uf}	$502\ \psi^2 + 107$

Tabla C.2 – Contenido nominal de fibra en masa

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

Tabla 11. Cálculo de la tensión de diseño del laminado

Teniendo en cuenta las tablas anteriores, se observa que en el caso de construir el casco con combinación de roving-mat y con bolsa de vacío, se puede tomar como contenido nominal de fibra en masa: ψ = 0,4. En base a ese dato se obtiene el resultado de σd como:

$$\sigma d = 0{,}5\ \times (\ 502\ \times 0{,}4^2 + 107\ ) = 93{,}66\ N/mm^2$$

Ecuación 11. Cálculo de la tensión de diseño

6.4.1 Espesor mínimo de los paneles de fondo

Paneles de fondo	*P bmp* (KN/m2)	*Kc*	*l/b*	*K2*	*σ*	*Espesor* (mm)
1	133,1529968	0,5	2,625	0,5	93,66	**3,199371297**
2	85,46744885	0,8	2,10344828	0,5	93,66	**9,911200831**
3	76,57685977	0,8	2,16666667	0,5	93,66	**11,64606435**
4	75,63788542	0,8	2,52777778	0,5	93,66	**11,57444294**
5	93,43254922	0,8	1,4084507	0,454	93,66	**12,08782836**
6	125,9988475	0,8	1,6097561	0,479	93,66	**8,326218622**
7	224,2600898	1	18,4210526	0,5	93,66	**1,314823682**
8	129,8535873	1	10,3846154	0,5	93,66	**3,422774231**
9	110,5809966	1	8,25	0,5	93,66	**4,85934989**
10	111,4473623	1	9	0,5	93,66	**4,878348453**
11	138,7553134	1	5,26315789	0,5	93,66	**5,1711405**
12	212,8239018	1	3,56521739	0,5	93,66	**3,876287372**

Tabla 12. Escantillonado de los paneles de fondo

6.4.2 Espesor mínimo de los paneles de costado

Paneles de costado	*P smp* (KM/m^2)	*Kc*	*l/b*	*K2*	*σ*	*Espesor* (mm)
1	6,737666556	0,6	1,904761905	0,479	93,66	**1,479264987**
2	5,332074284	0,7	2,016666667	0,5	93,66	**2,240811432**
3	4,173886551	0,8	2,294117647	0,5	93,66	**2,567894312**
4	4,052652333	0,8	2,54178273	0,5	93,66	**2,671726701**
5	5,076849945	0,8	1,39275766	0,436	93,66	**2,792400858**
6	6,166589507	0,7	1,3	0,412	93,66	**2,005186539**

Tabla 13. Escantillonado de los paneles de costado

6.4.3 Espesor mínimo de los paneles de cubierta

Paneles de cubierta	*P dm mín.* (KN/m^2)	*Kc*	*l/b*	*K2*	*σ*	*Espesor* (mm)
1	5	1	1,29264214	0,412	93,66	**2,804514679**
2	5	1	1,158444023	0,383	93,66	**4,765932897**
3	5	1	1,2925	0,412	93,66	**5,627788653**
4	5	1	1,519567027	0,468	93,66	**6,003076245**
5	5	1	1,201	0,412	93,66	**4,689823878**
6	5	1	2,085454545	0,5	93,66	**2,84155206**

Tabla 14. Escantillonado de los paneles de cubierta

Puesto que el casco sufre mucho estrés estructural como en las embarrancadas (algunas a propósito), golpes con vegetación sumergida, piedras, estructuras sumergida, etc.; y en base a los modelos que existen en el mercado, para aumentar la robustez del casco se ha sobredimensionado el casco de 12mm a 23mm aproximadamente. También se ha utilizado el mismo espesor para los paneles tanto de fondo como de costado.

El resultado del espesor de la cubierta es de 6mm aproximadamente pero sin tener en cuenta el peso y la presión de las personas que van a andar por encima. Para asegurar que no se rompe la estructura o ni siquiera se comba se ha sobredimensionado la cubierta a 10mm aproximadamente. También porque se debe instalar sobre ella una moqueta y las aperturas para los diferentes compartimentos.

A continuación se ha diseñado la secuencia de laminado, para poder medir el espesor propuesto en los cálculos del escantillón y también para poder calcular el peso de la estructura para futuros apartados.

6.5 Secuencia de laminado del casco

Capa	Material	Kg/ m^2	m^2	Masa (Kg)	Espesor (mm)
1	Mat 50	0,05	19,8933	0,994665	0,4
2	Mat 150	0,15	19,8933	2,983995	0,55
3	Mat 300	0,3	19,8933	5,96799	0,7
4	Tejido 500	0,5	19,8933	9,94665	0,7
5	Mat 600	0,6	19,8933	11,93598	1,2
6	Tejido 800	0,8	19,8933	15,91464	1,2
7	Mat 600	0,6	19,8933	11,93598	1,2
8	Tejido 800	0,8	19,8933	15,91464	1,2
9	Mat 800	0,8	19,8933	15,91464	1,4
10	Tejido 1200	1,2	19,8933	23,87196	1,3
11	Mat 800	0,8	19,8933	15,91464	1,4
12	Tejido 1200	1,2	19,8933	23,87196	1,3
13	Mat 800	0,8	19,8933	15,91464	1,4
14	Tejido 1200	1,2	19,8933	23,87196	1,3
15	Mat 800	0,8	19,8933	15,91464	1,4
16	Tejido 800	0,8	19,8933	15,91464	1,2
17	Mat 600	0,6	19,8933	11,93598	1,2
18	Tejido 800	0,8	19,8933	15,91464	1,2
19	Mat 600	0,6	19,8933	11,93598	1,2
20	Tejido 500	0,5	19,8933	9,94665	1,2
21	Mat 300	0,3	19,8933	5,96799	0,7
Espesor total					**23,35 mm**
Masa de la fibra				**282,48486**	
Masa del laminado				**706,21215**	

Tabla 15. Secuencia de laminado del casco

Ya que el contenido de fibra en masa en este caso es de 0,4; la masa del laminado será la masa de la fibra dividida entre 0,4.

6.6 Secuencia de laminado de la cubierta

Capa	Material	Kg / m2	m2	Kg	Espesor
1	Mat 50	0,05	15,268126	0,7634063	0,4
2	Mat 150	0,15	15,268126	2,2902189	0,55
3	Mat 300	0,3	15,268126	4,5804378	0,7
4	Tejido 500	0,5	15,268126	7,634063	0,7
5	Mat 600	0,6	15,268126	9,1608756	1,2
6	Tejido 800	0,8	15,268126	12,2145008	1,2
7	Mat 600	0,6	15,268126	9,1608756	1,2
8	Tejido 500	0,5	15,268126	7,634063	0,7
9	Mat 600	0,6	15,268126	9,1608756	1,2
10	Tejido 500	0,5	15,268126	7,634063	0,7
11	Mat 300	0,3	15,268126	4,5804378	0,7
12	Mat 300	0,3	15,268126	4,5804378	0,7
Espesor total					**9,95 mm**
Masa de la fibra				**79,3942552**	
Masa del laminado				**198,485638**	

Tabla 16. Secuencia de laminado de la cubierta

Al igual que en el casco, la masa de la cubierta se calcula como la masa del laminado dividida entre 0,4.

Al sumar las masas del casco y la cubierta se ha obtenido la masa de los dos laminados como:

$$706{,}21215 + 198{,}485638 = 904{,}697788 \text{ Kg}$$

A este resultado se debe añadir un 15% por la masa de los refuerzos y mamparos con lo que se ha obtenido una masa total de la estructura de:

$$904{,}697788 \text{ X } 1{,}15 = \mathbf{1040{,}40 \text{ Kg}}$$

Capítulo 7. Reparto de cargas y Estabilidad

El objetivo de este capítulo es mostrar cómo se ha confeccionado la partida de pesos de la embarcación y cómo se han confeccionado los análisis de estabilidad.

7.1 Reparto de cargas

Para la elaboración de los cálculos de estabilidad se debe usar la situación de navegación a plena carga, puesto que es la más crítica y la que mayores fuerzas puede generar. El peso de la estructura se ha dispuesto en el centro de gravedad de la embarcación y todas las demás cargas se han situado en el lugar donde deben ser ubicadas en esta situación.

Se han dispuesto los pesos de todos los elementos relevantes para la navegación como pueden ser la estructura, los tanques, el motor o la tripulación al igual que los espacios de carga y la masa estimada que deben cargar cada uno de ellos.

	Item	Quantity	Mass (Kg)	Total Mass (Kg)	Volume (l)	Total Volume (l)	Long. Arm	Trans. Arm	Vert. Arm
1	Combustible	100%	132,8	132,8	177,1	177,1	-0,827	0	0,134
2	Vivero	50%	258,3	129,2	258,3	129,2	-2,013	0	0,452
3	Estructura	1	1040,4	1040,4			0	0	0,45
4	Motor	1	229	229			-3,2	0	0,7
5	Motor Eléctrico	1	41	41			3,3	-0,2	0,9
6	Consola	1	25	25			-0,2	0,7	0,9
7	Baterias	1	30	30			-2,5	0	0,6
8	Cañas 1	1	6	6			2	0,6	0,5
9	Cañas 2	1	6	6			2	-0,6	0,5
10	Carga 1	1	5	5			2	0	0,6
11	Carga 2	1	10	10			1,2	0	0,55
12	Carga 3	1	7	7			0,4	0	0,55
13	Carga 4	1	7	7			0,4	0,75	0,55
14	Carga 5	1	7	7			0,4	-0,75	0,55
15	Carga 6	1	4	4			-0,1	0	0,37
16	Nevera	1	5	5			-1,4	0	0,4
17	Persona 1	1	80	80			-1,3	0,65	0,6
18	Persona 2	1	80	80			-1,3	-0,65	0,6
19	**Total Loadcase**			**1844,4**	**435,4**	**306,3**	**-0,655**	**0,005**	**0,492**
20	**FS correction**								**0,041**
21	**VCG fluid**								**0,533**

Tabla 17. Partida de pesos en condición de navegación a plena carga

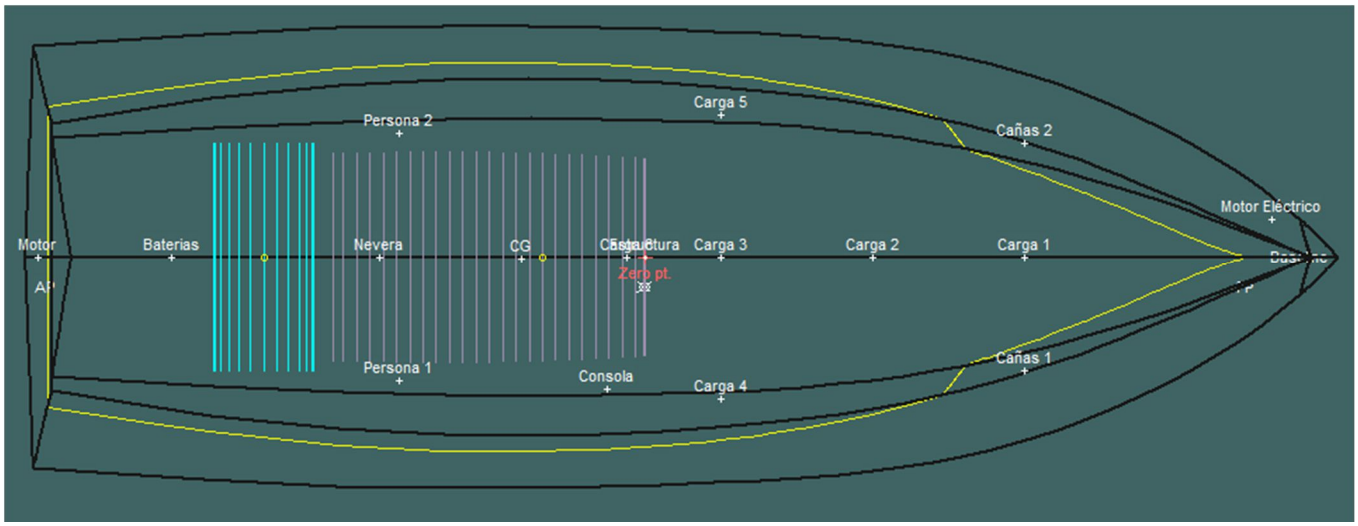


Ilustración 31. Disposición de las cargas en planta

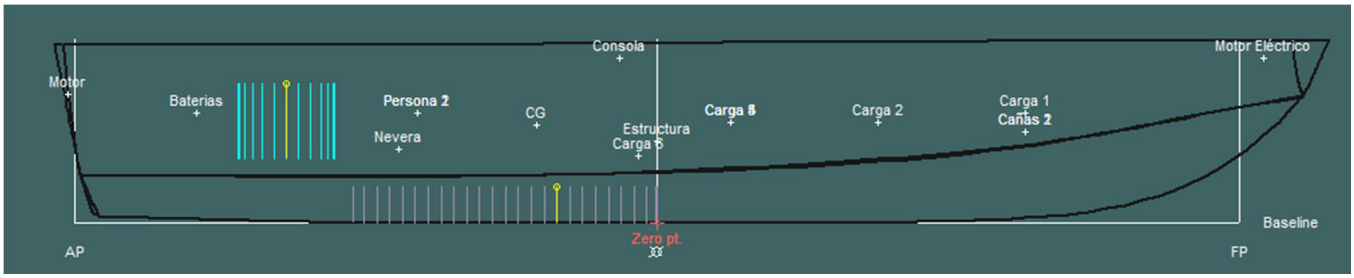


Ilustración 32. Disposición de las cargas en perfil

7.2 Cálculos de estabilidad

Para el cálculo de estabilidad se ha utilizado la normativa ISO 12217: Evaluación y clasificación de la estabilidad y flotabilidad Parte 1: Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6m.

Para empezar con el análisis, se ha debido escoger una opción de la siguiente tabla que, en función de la categoría de diseño y del tipo de embarcación, marca los ensayos y cálculos obligatorios que se deben realizar para cumplir con dicha normativa.

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 excepto barco completamente cerrado[c]**
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[d]	6.1.2	6.1.2
Ángulo de inundación	6.1.3	–	6.1.3	–	–	–
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[e]	–	6.4[e]	6.4[e]	6.4[e]
Tamaño de los nichos	6.5	6.5[f]	–	–	–	6.5.4[f]
Multicascos habitables	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6

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 excepto barco completamente cerrado[c]**
Embarcaciones mixtas vela-motor	6.7	–	–	–	–	–
Requisitos de flotación	–	–	6.8	6.8	–	–
Material de flotación	–	–	anexo G	anexo G	–	–
Detección y achique del agua	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9

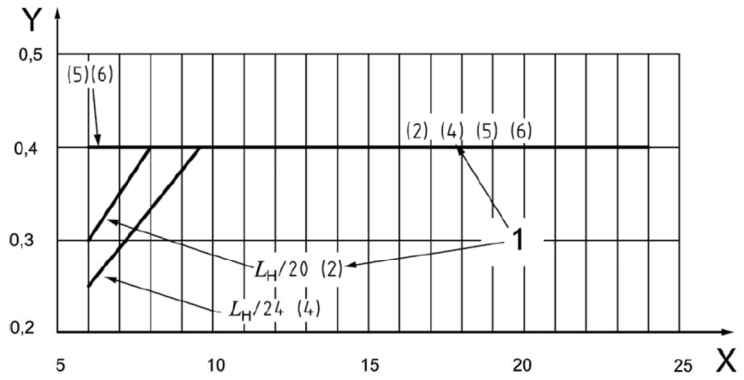
a Este término se define en el apartado 3.1.6.
b Este término se define en el apartado 3.1.7.
c Es decir toda embarcación que no sea "completamente cerrada", incluyendo así las embarcaciones sin cubierta alguna.
d No es necesario realizar el ensayo de altura de inundación en algunas embarcaciones, véase el apartado 6.1.2.1.
e La aplicación del apartado 6.4 sólo se requiere para embarcaciones en las que la condición mínima de operación sea, $A_{LV} \geq 0{,}5\ L_H B_H$.
f Estos requisitos sólo se aplican a la categoría de diseño C.

Tabla 18. Opciones de cálculo de estabilidad

En este caso se ha optado por la opción 4, que abarca la categoría de diseño D y sirve para cualquier tipo de cubierta y/o protección.

7.2.1 Ensayo de altura de inundación mínima

Este ensayo se realiza con la embarcación a plena carga y con aguas calmadas. El objetivo es medir la altura entre la línea de flotación y las aperturas inundables. Para ello, se ha utilizado el gráfico siguiente:



Leyenda
X Eslora del casco (m)
Y Altura requerida de inundación (m)
1 Números opcionales (véase la tabla 2)

Ilustración 33. Gráfico de altura de inundación mínima

Según el gráfico, se ha de obtener una altura de inundación, para una eslora de 6,8m, de entre 0,28 y 0,35m o 0,4 como caso máximo. Se puede reducir esta altura un 20% si se opta por un motor fueraborda. En ese caso se tomaría entre 0,22 y 0,4m.

Utilizando el programa Maxsurf Stability, se ha introducido el modelo y la situación de carga máxima designada en el capítulo 8 de este proyecto. A continuación se ha escogido el tipo de análisis Equilibrium y se han extraído los siguientes resultados.

Results	
Draft Amidships m	0,366
Displacement kg	1844
Heel deg	0,2
Draft at FP m	0,353
Draft at AP m	0,379
Draft at LCF m	0,368
Trim (+ve by stern) m	0,026
WL Length m	6,292
Beam max extents on WL m	2,038
Wetted Area m^2	10,882
Waterpl. Area m^2	9,673
Prismatic coeff. (Cp)	0,708
Block coeff. (Cb)	0,380
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,538
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,754
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0,656
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-0,539
KB m	0,251
KG fluid m	0,533
BMt m	1,460
BML m	12,258
GMt corrected m	1,178
GML m	11,976
KMt m	1,711
KML m	12,509
Immersion (TPc) tonne/cm	0,099
MTc tonne.m	0,035
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) kg.m	37,917
Max deck inclination deg	0,3396
Trim angle (+ve by stern) deg	0,2364

Key point	Type	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = -3,199 m)		0,511
Deck Edge (freeboard pos = -3,199 m)		0,587

Tabla 19. Resultados del ensayo de altura de inundación

En la siguiente imagen se puede apreciar cómo quedaría equilibrada la embarcación después del ensayo.

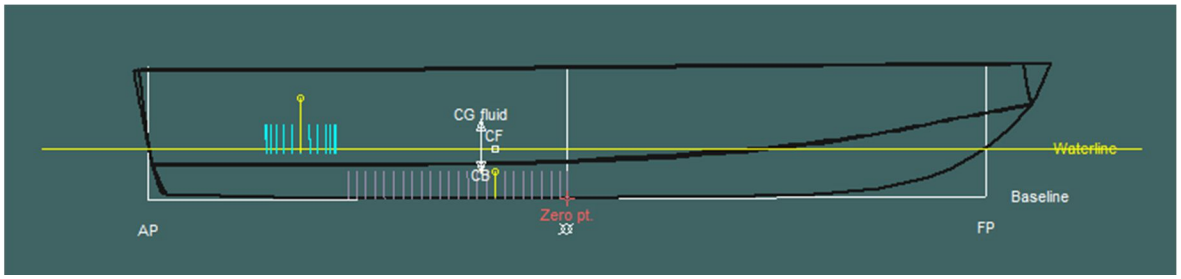


Ilustración 34. Altura mínima de inundación

Una vez analizados los resultados se ha comprobado que la altura de inundación de la embarcación diseñada es de 0,511 m, superior a los 0,4 m que pide la normativa. Por lo tanto se puede decir que la embarcación cumple con el requisito de la altura de inundación mínima.

7.2.2 Ensayo de compensación de cargas

El ensayo de compensación de cargas, se realiza según el apartado 6.2 y el anexo B de la normativa. Este ensayo sirve para comprobar la estabilidad de la embarcación ante un movimiento de pesos realizado por la tripulación.

Para este ensayo se deben colocar a todos los integrantes de la tripulación en la manga máxima de la embarcación para así escorarla al máximo y medir su ángulo de escora.

Para calcular el ángulo de escora máximo permitido durante el ensayo de compensación de cargas, se ha utilizado la fórmula siguiente:

$$\emptyset o = 11{,}5 + \frac{(24 - LH)^3}{520} =$$

$$= 11{,}5 + \frac{(24 - 6{,}8)^3}{520} = 21{,}28\,°$$

Ecuación 12. Ángulo máximo durante el ensayo de compensación de cargas

La normativa también pide un mínimo de francobordo según la siguiente tabla:

Categoría de diseño	A	B	C	D
Opciones 1 o 3 en la tabla 2	no aplicable	no aplicable	no aplicable	no aplicable
Opciones 2 o 4 en la tabla 2	no aplicable	no aplicable	0,014 L_H pero no inferior que 0,1 m	0,010
Opciones 5 o 6 en la tabla 2	no aplicable	no aplicable	$0{,}110\sqrt{L_H}$	$0{,}070\sqrt{L_H}$

Tabla 20. Francobordo mínimo en el ensayo de compensación de cargas

En este caso al tratarse de categoría de diseño D y opción 4, el francobordo mínimo que se pide en la normativa es de 0,01m.

Para empezar el ensayo se han dispuesto a los dos tripulantes en la manga máxima de la embarcación. En este caso se han dispuesto a la banda de babor ya que el motor eléctrico es una masa considerable que se encuentra en esa banda y según la normativa, se debe disponer la tripulación a la banda más susceptible a zozobrar.

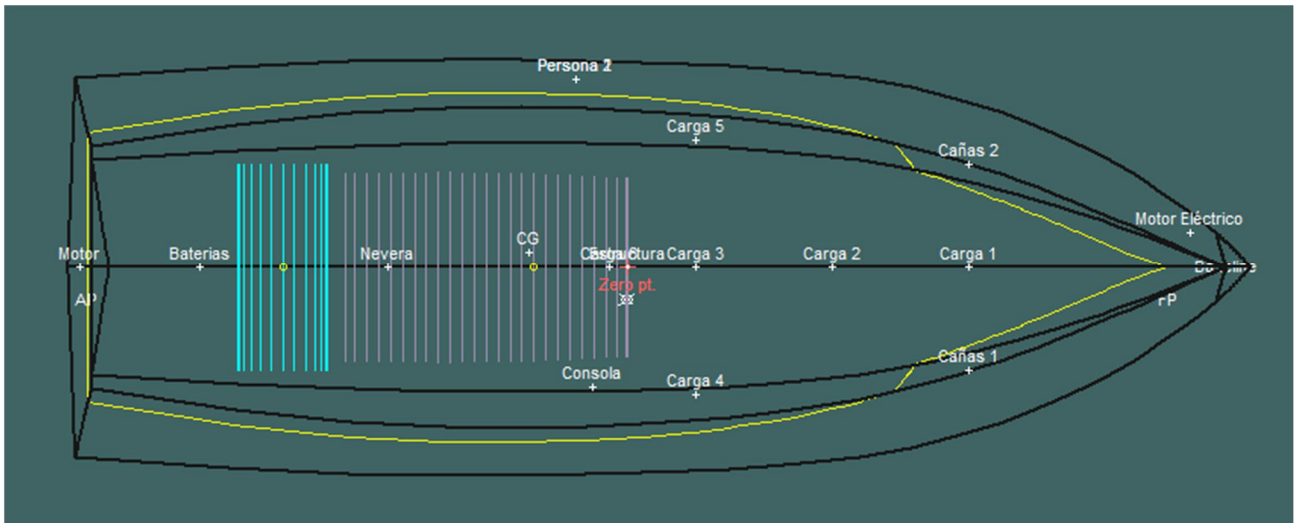


Ilustración 35. Situación de carga para el ensayo de compensación de cargas

Se han introducido las condiciones de mar para realizar el ensayo, en este caso al tratarse de categoría de diseño D, las condiciones de mar son de olas de 0,3m.

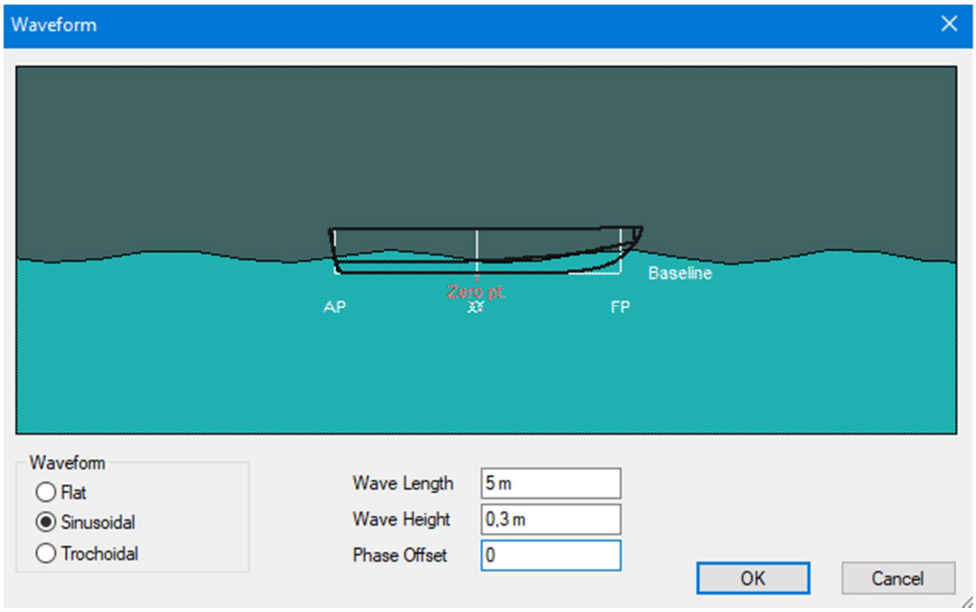


Ilustración 36. Condiciones de mar para ensayo de compensación de cargas

A continuación se ha realizado el ensayo de compensación de cargas y se han obtenido los siguientes resultados.

Ángulo de escora durante el ensayo: **7,53 °**

Francobordo: **0,241 m**

Se puede decir que se ha cumplido el ensayo con un muy buen margen de seguridad.

7.2.3 Ensayo de escora debida a la acción del viento

El tercer ensayo requerido por la normativa es el de escora debida a la acción del viento, mencionado en el apartado 6.4 de la normativa. Éste es sólo requerido si el área en contacto con el viento es superior o igual a la mitad de la eslora multiplicada por la manga, es decir:

$$Alv \geq 0{,}5 \times LH \times BH$$

En este caso la superficie en contacto con el viento de la embarcación es de 3,85 m^2

y $0{,}5 \times LH \times BH = 0{,}5 \times 6{,}8 \times 2{,}4 = 8{,}16\ m^2$

Por lo tanto, este ensayo no es requerido para comprobar la estabilidad de la embarcación diseñada.

7.2.4 Ensayo de multicascos habitables

Éste solo debe realizarse si la embarcación es susceptible al vuelco. En este caso no se considera embarcación susceptible al vuelco si cumple las condiciones de los ensayos 6.2 y 6.4, es decir, si cumple los ensayos de compensación de cargas y de escora debida a la acción del viento. En este caso, los cumple con creces y por lo tanto no fue necesario realizarlo.

7.2.5 Ensayo de requisitos de flotación

Este ensayo sirve para corroborar que la embarcación cuenta con una reserva de flotabilidad y no zozobra. Se ha realizado según el apartado 6.8 y el anexo F de la normativa. Las instrucciones para el ensayo piden disponer todas las cargas según el anexo F, añadir cargas adicionales y medir el ángulo de escora y el francobordo.

El anexo indica que las condiciones de carga sean las siguientes:

- Peso en rosca de la embarcación situada en el centro de gravedad de la misma
- Una masa situada en crujía y a LH/2 equivalente al 25% de aprovisionamientos
- La masa del motor situada en el centro de gravedad del mismo
- Se deben quitar todos los depósitos de agua o combustible
- Todas las aperturas susceptibles a inundación deben estar abiertas

Después de pide colocar dos cargas sucesivas a cada costado de la embarcación, cada una de ellas a LH / 3 de cada extremo del casco como se muestra en la figura siguiente.

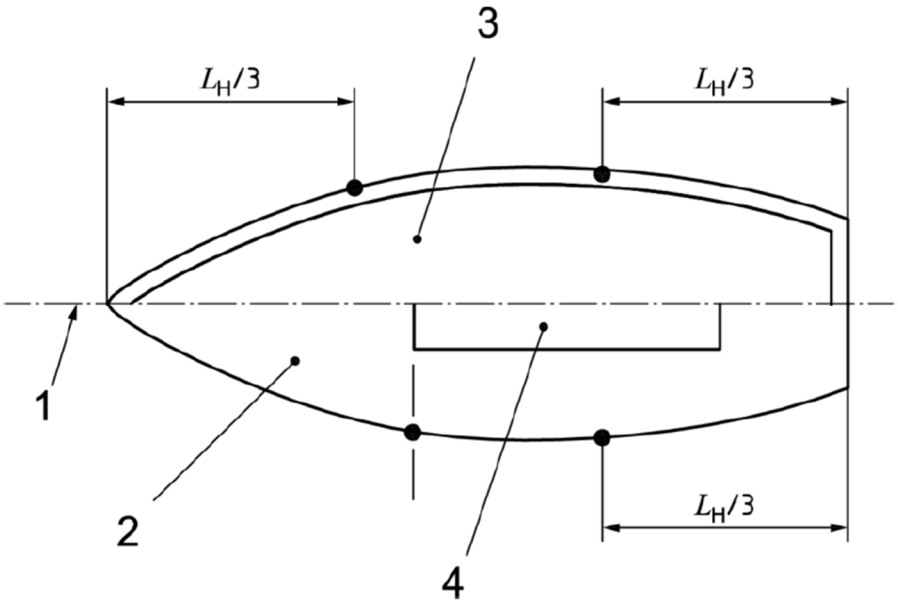


Ilustración 37. Disposición de las cargas par el ensayo de requisito de flotación

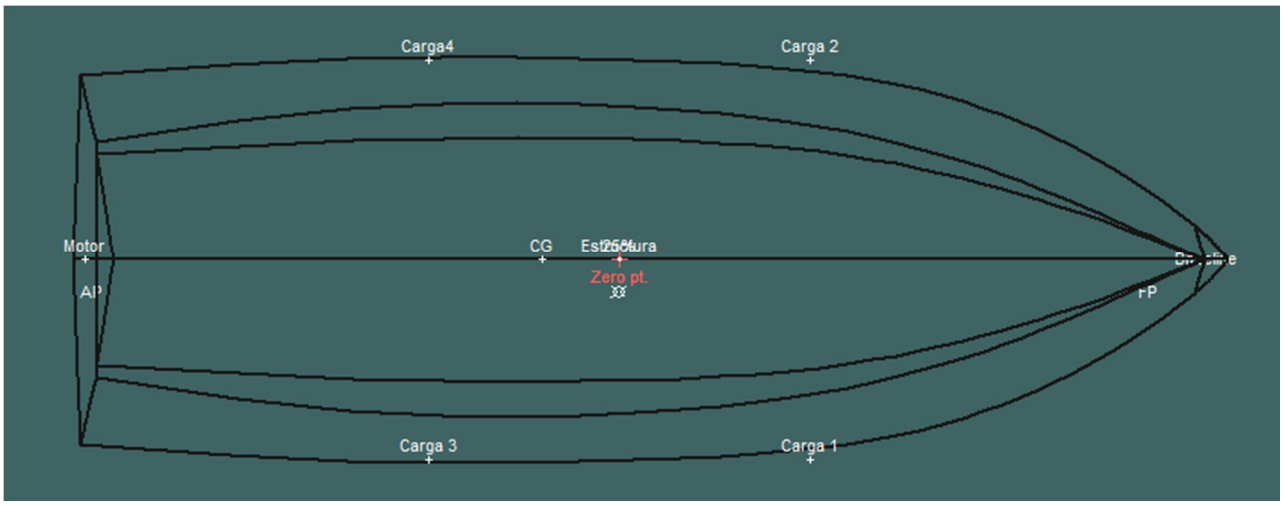


Ilustración 38.cargas. Ensayo de requisito de flotación. Planta

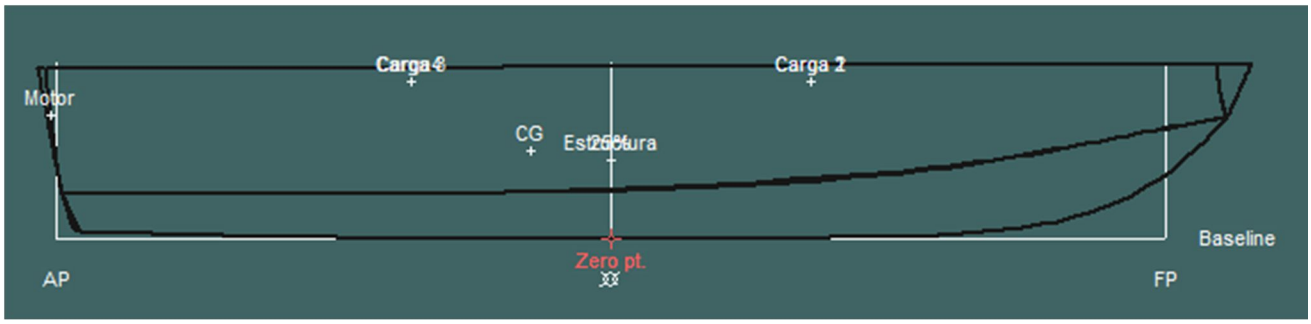


Ilustración 39. Disposición de cargas. Ensayo de requisito de flotación. Perfil

Estas cargas deben ser iguales o superiores a 15d, siendo d el coeficiente de flotabilidad del plomo 1,099. En este caso se han utilizado cargas de 16,5 Kg. Una vez está preparado el ensayo, se procede a inundar la embarcación aplicando una fuerza hacia abajo en el centro de gravedad de la misma. Una vez inundada se debe comprobar que el ángulo máximo de escora no supera los 45°

	Item	Quantity	Mass (Kg)	Total Mass (Kg)	Long. Arm	Trans. Arm	Vert. Arm
1	Estructura	1	1040,4	1040,4	0	0	0,45
2	Motor	1	229	229	-3,2	0	0,7
3	25%	1	260,1	260,1	0	0	0,45
4	Carga 1	1	0	0	1,14	1,2	0,9
5	Carga 2	1	16,5	16,5	1,14	-1,2	0,9
6	Carga 3	1	0	0	-1,14	1,2	0,9
7	Carga 4	1	0	0	-1,14	-1,2	0,9
8	Hundimiento	1	7000	7000	0	0	0
9	**Total Loadcase**			**8546**	**-0,084**	**-0,002**	**0,089**
10	**FS correction**						**0**
11	**VCG fluid**						**0,089**

Tabla 21. Situación de carga para el ensayo de requisito de flotación

Una vez realizado el ensayo según las instrucciones de la normativa, se han obtenido los siguientes resultados.

Disponiendo la carga en las posiciones 3 y 4.

Results	
Draft Amidships m	1,055
Displacement kg	8546
Heel deg	0,1
Draft at FP m	1,441
Draft at AP m	0,669
Draft at LCF m	0,829
Trim (+ve by stern) m	-0,772
WL Length m	2,613
Beam max extents on WL m	2,431
Wetted Area m^2	27,579
Waterpl. Area m^2	5,836
Prismatic coeff. (Cp)	1,801
Block coeff. (Cb)	1,035
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,575
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,919
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0,148
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-1,856
KB m	0,578
KG fluid m	0,089
BMt m	0,298
BML m	0,387
GMt corrected m	0,790
GML m	0,879
KMt m	0,873
KML m	0,962
Immersion (TPc) tonne/cm	0,060
MTc tonne.m	0,012
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) kg.m	117,820
Max deck inclination deg	6,9560
Trim angle (+ve by stern) deg	-6,9548

Key point	Type	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = 3,651 m)		-0,579
Deck Edge (freeboard pos = 3,651 m)		-0,504

Tabla 22. Resultados del ensayo de requisitos de flotación posición 3 y 4

Disponiendo la carga en las posiciones 1 y 2

Results	
Draft Amidships m	1,064
Displacement kg	8546
Heel deg	-0,1
Draft at FP m	1,465
Draft at AP m	0,663
Draft at LCF m	0,823
Trim (+ve by stern) m	-0,803
WL Length m	2,562
Beam max extents on WL m	2,430
Wetted Area m^2	27,689
Waterpl. Area m^2	5,623
Prismatic coeff. (Cp)	1,837
Block coeff. (Cb)	1,041
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,567
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,903
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0,146
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-1,899
KB m	0,578
KG fluid m	0,089
BMt m	0,286
BML m	0,349
GMt corrected m	0,779
GML m	0,842
KMt m	0,862
KML m	0,924
Immersion (TPc) tonne/cm	0,058
MTc tonne.m	0,011
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) kg.m	116,203
Max deck inclination deg	7,2281
Trim angle (+ve by stern) deg	-7,2269

Key point	Type	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = 3,651 m)		-0,605
Deck Edge (freeboard pos = 3,651 m)		-0,53

Tabla 23. Resultados del ensayo de requisitos de flotación posición 1 y 2

Como se puede apreciar se ha obtenido un ángulo de escora mayor de 7,2281° utilizando las posiciones de carga 1 y 2 pero tampoco supera los 45° de escora así que se puede decir que se ha cumplido con los requisitos de la normativa.

7.2.6 Ensayo de material de flotación

Este ensayo sirve para analizar la flotación aportada por los materiales de flotación adicionales a la estructura como espumas, cámaras de aire, madera o corcho. En este caso no se ha utilizado ningún tipo de material de flotación por lo tanto, no se ha realizado el ensayo.

7.2.7 Ensayo de detección y achique de agua

Este requisito obliga a todas las embarcaciones a contar con un sistema de achique y de detección de agua en el interior del casco. El sistema de detección no requiere que sea automático, simplemente requiere que la sentina y/o la parte inferior de la quilla sean visibles por la tripulación para observar si existe presencia de agua en algún caso. En este caso, se ha instalado un sistema de achique con aspiraciones en cada compartimento, por lo que también se ha cumplido este requisito.

Una vez se han realizado todos los ensayos pertinentes y requeridos por la normativa seguida, se ha podido comprobar que la embarcación diseñada cumple con creces las condiciones de estabilidad para considerarse una embarcación estable.

7.2.8 Large Angle Stability

Adicionalmente a la normativa, se ha realizado un análisis de estabilidad a grandes ángulos para evaluar el ángulo máximo de escora que puede soportar la embarcación siendo capaz de recuperar la posición de equilibrio. Para ello, se ha empleado el análisis Larg Angle Stability del programa Maxsurf Stability, utilizando la misma distribución de carga que se ha dispuesto en el capítulo 8. Se ha obtenido la gráfica siguiente:

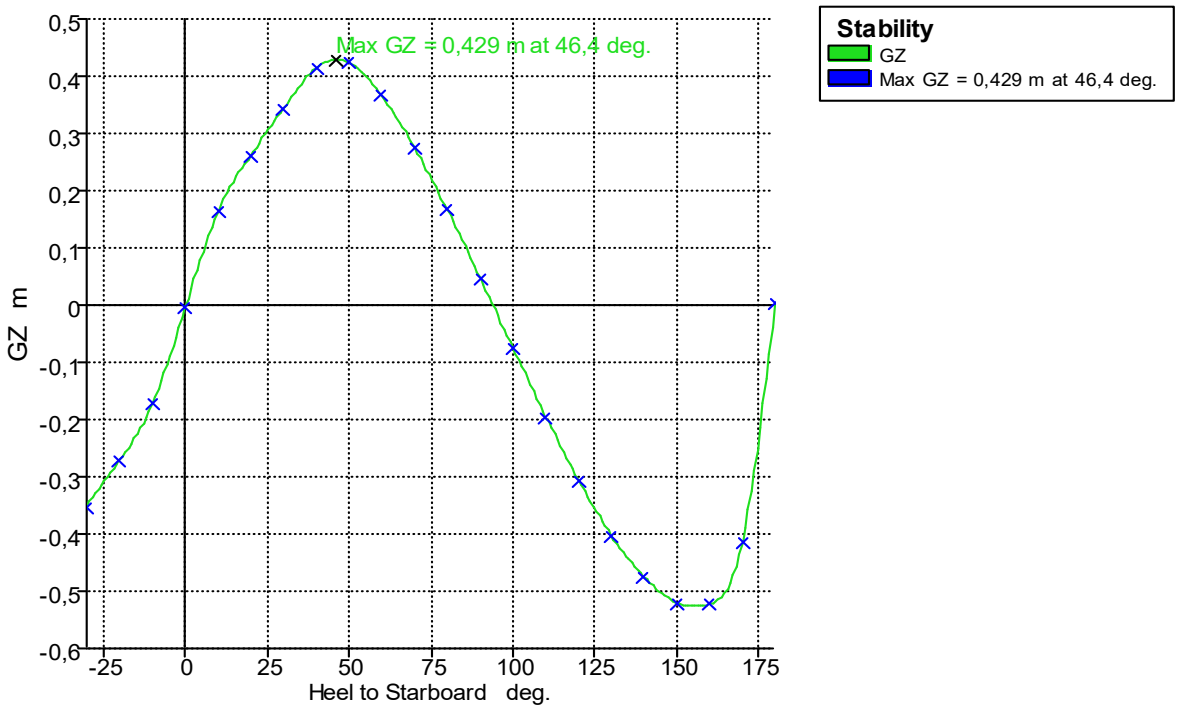


Ilustración 40. Gráfica Large Angle Stability

Observando la gráfica generada por el software, se ha podido observar que la embarcación diseñada puede ser escorada hasta aproximadamente unos 85° y recuperar la posición de equilibrio. Éste parámetro indica que es una embarcación que cuenta con una gran estabilidad estática y dinámica, por lo que es ideal para el propósito de las competiciones de pesca deportiva en agua dulce.

Referencias

TFG

[1] Sánchez Rodríguez, P. Diseño de una embarcación de 7 metros de LOA. Trabajo final de grado, UPC, Facultad de náutica de Barcelona, Departamento de Ciencia e Ingeniería náutica, 2013 [Consulta: 11 mayo 2021]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/20357. (Todos los capítulos)

[2] Ros Bautista, E. Diseño de una embarcación de recreo de 14 metros de eslora. Trabajo final de grado, UPC, Facultad de náutica de Barcelona, Departamento de Ciencia e Ingeniería náutica, 2019 [Consulta: 23 abril 2021]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/handle/2117/169698. (Todos los capítulos)

[3] Sellés Vidal, A. Diseño de una embarcación planeadora. Trabajo final de grado, UPC, Facultad de náutica de Barcelona, Departamento de Ciencia e Ingeniería náutica, 2014 [Consulta: 22 abril 2021]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/25556. (Todos los capítulos)

Apuntes

[4] Ortigosa, I. Teoría del buque. UPC, Facultad de náutica de Barcelona, cuatrimestre de primavera de 2019. (Capítulo 7)

[5] Pascual, E. Proyecto del Buque y Artefactos Navales. UPC, Facultad de náutica de Barcelona, cuatrimestre de otoño de 2020. (Capítulos 1, 2 y 4)

[6] García, J. Proyectos de Sistemas Navales. UPC, Facultad de náutica de Barcelona, cuatrimestre de primavera de 2020. (Capítulo 5)

Libros

[7] Besednjak Dietrich, A. Materiales compuestos: Procesos de fabricación de embarcaciones. Barcelona: Edicions UPC, 2005. ISBN 8483018209. (Capítulo 6)

Páginas web

[8] Mercury Marine. Mercury Four Stroke 225 Pro XS. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: https://embed.widencdn.net/pdf/plus/mercurymarine/ehksrppnca/5344_V-6_V-8_Compare-Chart-225hp.pdf?u=orhjei. (Capítulo 3)

[9] Ranger Boats. Ranger Boats Z Comanche Series. [Consulta: 15 marzo 2021]. Disponible en: https://www.rangerboats.com/fiberglass/bass/z-comanche.html. (Capítulo 1)

[10] Tritton Boats. Tritton Boats Fiberglass Fishing Boats. [Consulta: 15 marzo 2021]. Disponible en: https://www.tritonboats.com/fiberglass.html#bass. (Capítulo 1)

[11] Notro Boats. Nitrro Boats Z Series. [Consulta: 15 marzo 2021]. Disponible en: https://www.nitro.com/2021-z-series.html. (Capítulo 1)

[12] Bass Cat Boats. Bass Caat Boats Models. [Consulta: 15 marzo 2021]. Disponible en: https://basscat.com/bass-cat-models/. (Capítulo 1)

[13] Skeeter Boats. Skeeter Boats Bass Boats. [Consulta: 15 marzo 2021]. Disponible en: https://www.skeeterboats.com/Skeeter-Boat-Search.php?model_line[]=1&model_line[]=2&model_line[]=7&model_line[]=3&model_line[]=10&model_year=2021. (Capítulo 1)

Normas

[14] Asociación Española de Normalización y Certificación. UNE-ISO 12215:2019 Parte 5: Pequeñas embarcaciones. Construcción de cascos y escantillones. Madrid: AENOR, febrero 2019. (Capítulo 6)

[15] Asociación Española de Normalización y Certificación. UNE-ISO 12217:2017 Parte 1: Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Madrid: AENOR, diciembre 2017. (Capítulo 7)

Videos

[16] Vexus Boats. VX20 Walk-Through – Revolutionary Hull Design. [Consulta: 18 marzo 2021]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=xwo9Qu03cqw&ab_channel=VexusBoats. (Capítulo 2)

[17] Finval Boats. Finval Boats Internal Strength Structure. [Consulta: 3 abril 2021]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=cjINV2uZQC4&ab_channel=Finvalboats. (Capítulos 4 y 6)

[18] Bass Cat Boats. Bass Cat Boat Factory Walk Thru. [Consulta: 8 abril 2021]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=apDZFpdKNz0&t=518s&ab_channel=JayCouch. (Capítulo 4, 5 y 6)

Anexo. Información adicional

Videos Bass boat Tour

Información sobre el motor

Video Diseño, mejoras y navegación de un Bass boat