

Diseño de una embarcación *landing craft* para dar servicio a buques de tipo *explorer*

Trabajo Final de Máster (Master Thesis)



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya



Trabajo realizado por:
Juan de la Puente Parras

Dirigido por:
Sergio Ivan Velázquez Correa

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

Barcelona, abril de 2023

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica

*La mar rompe sus olas en la playa,
y en ella deja gran parte de su energía.
Así la marina llega en olas a la playa
y en ella deja sus fuerzas de desembarco.*

Versión	Data	Modificaciones
1	04/2023	Creación del documento
2	05/2023	Revisión

Escrito por:	
Autor:	Juan de la Puente Parras
Fecha:	Abril de 2023

Revisado y aprobado por:	
Tutor:	Sergio Iván Velázquez Correa
Data:	Mayo de 2023
Revisado y aprobado por:	
Co-Tutor/a:	n/a
Fecha:	n/a

Prefacio

Con este proyecto culmina una fase de mi vida, arraigada a la Facultad Náutica de Barcelona, agradeciendo a cada uno de los docentes su aportación académica que posibilitan la creación de este proyecto.

Al igual que con el trabajo final de grado, trato de generar un documento resumen con parte del contenido integrado en mis conocimientos, así como de las habilidades adquiridas como ingeniero, que me capacitan para el desarrollo y entrega de este nuevo proyecto.

Gracias a este proyecto se consiguen consolidar dichos conocimientos y, a su vez, beneficiarse de éste para incluir conocimientos nuevos, a través de la investigación y el desarrollo aplicados.

El Masnou, abril de 2023

Resumen

Este proyecto trata el desarrollo de una embarcación *landing craft* impulsada mediante propulsión eléctrica con el objetivo de poder dar servicio a buques de tipo *megayate* o de tipo *explorer*, a modo de embarcación tender.

La función de este innovador modelo de *tender* es servir de elemento para el desembarco de unidades terrestres embarcadas en el buque nodriza para así poder explorar lugares inhóspitos e incluso deshabitados.

Los temas que se desarrollan a lo largo del proyecto son los siguientes:

- Características principales de la embarcación y distribución de cubierta.
- Evolución, uso y funcionamiento de la *landing craft*.
- Materiales de construcción: fibra o aluminio.
- Diseño de la embarcación.
- Propulsión alternativa (con estudio de las diferentes propulsiones del sector).
- Sistemas de abordó: sistema eléctrico, sistema de achique, sistema de lastre, sistema contraincendios, sistema de agua dulce, sistema de amarre y fondeo, sistema de ventilación, sistema gobierno y equipos de navegación.
- Estudio de la rampa de desembarco.
- Desplazamiento y estabilidad.
- Estudio de viabilidad económica.

PALABRAS CLAVE: Embarcación de desembarco, embarcación auxiliar, tender, mega-yate, todoterreno, desembarque, propulsión, combustibles alternativos, aluminio, materiales compuestos, electrificado, embarcación eléctrica, sterndrive, renderizado.

Abstract

This project deals with the development of a landing craft propelled by alternative fuels with the objective of being able to supply explorer type vessels or Megayacht, as a tender vessel.

The function of this innovative tender model is to serve as a device for disembarking land units embarked on the mothership, with the purpose of exploring inhospitable and even uninhabited locations.

The topics developed throughout the project are the following:

- Main characteristics of the ship and deck layout.
- Evolution, use and operation of the landing craft.
- Construction materials: fiberglass or aluminum.
- Design of the boat.
- Alternative propulsion (with study of the different propulsions of the sector).
- Onboard systems: electrical system, bilge system, ballast system, firefighting system, freshwater system, mooring and anchoring system, ventilation system, steering system, and navigation equipment.
- Study of the landing ramp.
- Displacement and stability.
- Economic feasibility study.

Keywords: Landing craft, assistant craft, tender, mega-yacht, off-road, propulsion, alternative fuels, aluminum, composite materials, electrified, electric boat, sterndrive, render.

Tabla de contenidos

PREFACIO	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
TABLA DE CONTENIDOS	6
LISTADO DE FIGURAS	9
LISTADO DE TABLAS	12
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO	13
1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO	14
1.2. REQUISITOS DE PROYECTO	14
1.3. DEFINICIÓN DE LA EMBARCACIÓN	15
1.4. CATEGORÍA DE DISEÑO Y ZONA DE NAVEGACIÓN	16
1.5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	18
CAPÍTULO 2. EVOLUCIÓN, USO Y FUNCIONAMIENTO	19
2.1. EVOLUCIÓN DE LA EMBARCACIÓN	19
2.2. USOS DE LAS <i>LANDING CRAFT</i>	21
2.3. ¿CÓMO FUNCIONA UNA <i>LANDING CRAFT</i> ?	21
CAPÍTULO 3. DIMENSIONAMIENTO	26
3.1. DISTRIBUCIÓN DE CUBIERTA	26
3.2. ESTUDIO PREVIO AL DIMENSIONAMIENTO	27
3.3. CONFIGURACIONES ALTERNATIVAS	31
3.4. JUSTIFICACIÓN DEL DIMENSIONADO PRINCIPAL	34
CAPÍTULO 4. DISEÑO EXTERIOR	35
4.1. ASPECTOS TENIDOS EN CUENTA EN EL DISEÑO	36
4.2. MODELADO 3D	37
4.3. FORMAS (PLANO DE FORMAS)	38
4.4. PLANO ARREGLO GENERAL (GA)	38
4.5. VISTAS MODELO 3D	39
4.6. RENDERIZADOS DEL MODELO 3D	45
CAPÍTULO 5. DISEÑO ESTRUCTURAL	50
5.1. MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	50
5.2. COMPOSICIÓN DE LA ESTRUCTURA	58
CAPÍTULO 6. SISTEMA PROPULSIVO	63
6.1. EMPLEO DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA	63
6.2. ALTERNATIVAS PROPULSIVAS	64

6.3. SELECCIÓN DEL MÉTODO PROPULSIVO	69
6.4. CÁLCULO DE RESISTENCIA AL AVANCE	70
6.5. COMPONENTES DEL SISTEMA PROPULSIVO	72
CAPÍTULO 7. SISTEMAS DE ABORDO	79
7.1. SISTEMA ELÉCTRICO	80
7.2. SISTEMA DE VENTILACIÓN	82
7.3. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	82
7.4. SISTEMA DE NAVEGACIÓN Y COMUNICACIONES	83
7.5. SISTEMA DE AGUA DULCE.....	83
7.6. SISTEMA DE AGUAS GRISES.....	84
7.7. SISTEMA DE SEGURIDAD	84
7.8. SISTEMA DE LASTRE Y ACHIQUE	85
7.9. SISTEMA DE FONDEO Y AMARRE	86
CAPÍTULO 8. ESTUDIO DE LA RAMPA	88
8.1. SISTEMA DE ARRIADO DE LA RAMPA	88
8.2. UNIÓN ENTRE RAMPA Y CASCO	89
8.3. SELECCIÓN MATERIAL RAMPA	89
CAPÍTULO 9. ARQUITECTURA NAVAL	93
9.1. CÁLCULO DE ARQUEO	93
9.2. DESPLAZAMIENTO	94
9.3. ESTABILIDAD	97
CAPÍTULO 10. PRESUPUESTO	102
10.1. COSTE DE LA ESTRUCTURA	102
10.2. COSTE DE SISTEMAS Y EQUIPOS	103
10.3. GASTOS ADMINISTRATIVOS	104
10.4. PRESUPUESTO FINAL.....	104
CAPÍTULO 11. CONCLUSIONES.....	105
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	109
ANEXO A1. ANÁLISIS DE VEHÍCULOS	111
A1.1. MERCEDES-BENZ G63	111
A1.2. MERCEDES GLS 580.....	112
A1.3. RANGE ROVER LWB	114
A1.4. LAND ROVER DEFENDER 130.....	115
A1.5. CADILLAC ESCALADE.....	116
A1.6. TOYOTA LAND CRUISER.....	117
ANEXO A2. PLANOS DE LA EMBARCACIÓN	118
ANEXO A3. ALUMINIO.....	123
A3.1. ALMACENAJE, CORTE, SOLDADURA Y PINTURA	123
A3.2. INFORMACIÓN TÉCNICA ALEACIONES DE ALUMINIO	126

ANEXO A4. CÁLCULOS ESTRUCTURALES.....	131
A4.1. PRESIONES DE DISEÑO	131
A4.2. ESCANTILLONADO DE PANELES	133
A4.3. RIGIDIZADORES	134
ANEXO A5. CÁLCULO DE POTENCIA	135
A5.1. TABLA DE POTENCIAS	135
A5.2. CURVA DE ÁREAS DE FLOTACIÓN	136
ANEXO A6. STERNMASTER 97W	137

Listado de figuras

Figura 1. Landing Craft embarcando en la playa.....	13
Figura 2. LHD Landing Craft. Fuente: Royal Australian Navy.....	15
Figura 3. Vista en perspectiva de la embarcación.....	18
Figura 4. Vista desde proa de la embarcación cargada.....	18
Figura 5. Desembarco y características de embarcación LCVP. Fuente: Historynet.....	20
Figura 6. <i>Tender</i> atracando en el interior del MY Octopus. Fuente: Boat international.	23
Figura 7. Vista interior del dique del MY Octopus. Fuente: Boat international.....	23
Figura 8. Embarcación de rescate estibada en cubierta. Fuente: SUNY Maritime College.	24
Figura 9. Grúa de izado lateral de embarcación <i>tender</i> del MY Nebula. Fuente: Boat international.....	24
Figura 10. Renderizado de la embarcación trincada a bordo, desde buque nodriza.....	25
Figura 11. Renderizado de buque nodriza, con <i>landing craft</i> izadada.....	25
Figura 12. Land Rover Defender 110, con preparación <i>off-road</i> . Fuente: Arkonik.....	26
Figura 13. Ángulos relevantes en vehículos <i>off-road</i> . Fuente: Pruebaderuta.	27
Figura 14. Gráfico tabulado de la dimensiones y características de los todoterrenos.	29
Figura 15. Mercedes-Benz G63 6X6. Fuente: Motorpasion.	31
Figura 16. ATV. Fuente: KNIK Glacier Adventures.....	32
Figura 17. Dimensiones ATV Pathcross 650. Fuente: ODES.	32
Figura 18. Diferentes tipos de puntos de anclaje en cubierta. Fuente: TEC Container.	33
Figura 19. Módulos empleados en automoción. Fuente: Reimo.	33
Figura 20. Vista superior de la embarcación.....	38
Figura 21. Vista longitudinal de la embarcación.	38
Figura 22. Vistas en planta y perfil de la embarcación, con vehículo a bordo.....	39
Figura 23. Vistas en alzado (con la rampa de proa abierta), con vehículo descargado y cargado.....	39
Figura 24. Vista en perspectiva de la embarcación, con vehículo descargado y cargado.	40
Figura 25. Vistas en perspectiva de la zona de popa, desde estribor y desde babor.	41
Figura 26. Vistas en detalle de amura de babor y amura de estribor.....	42

Figura 27. Vista del puesto de gobierno, con vehículo todoterreno embarcado y desembarcado.....	43
Figura 28. Vistas en perspectiva superior desde popa.....	44
Figura 29. Embarcación fondeada, con vehículo descargado y cargado.....	45
Figura 30. Renderizado en navegación a la costa, con deportivo embarcado en cubierta.	46
Figura 31. Embarcación fondeada junto a isla paradisíaca, con vehículo todoterreno embarcado.	46
Figura 32. Renderizado con vista frontal y lateral de embarque diurno desde playa.	47
Figura 33. Embarque nocturno con vista desde el puesto de gobierno y desde la costa.	48
Figura 34. Pasajeros disfrutando de un baño con la embarcación fondeada.	49
Figura 35. Vista desde puesto de gobierno, de regreso al buque nodriza.	49
Figura 36. Ventajas de construcción en aluminio. Fuente: Aister.....	51
Figura 37. Gráfico $E \cdot \rho - \sigma_y$, para el filtrado de las aleaciones.	57
Figura 38. Gráfico Precio-Densidad, para selección final.	57
Figura 39. Vista en perspectiva de los elementos estructurales bajo cubierta.....	58
Figura 40. Vista longitudinal de los principales elementos estructurales de la embarcación.	59
Figura 41. Vista en perspectiva de la bancada de los motores propulsores y detalle de fijación.....	59
Figura 42. Cálculo de presiones y escantillado de mamparos estancos.	62
Figura 43. Vista en contrapicado de la estructura.....	62
Figura 44. Embarcación con propulsión 100% eléctrica. Fuente: Xshore.	63
Figura 45. Sistema convencional, Stern Drive, Waterjet y de superficie. Fuente: Fabrício Biguá.....	64
Figura 46. Hélices de superficie. Fuente: Surface Drive System.....	64
Figura 47. Sistema Volvo IPS. Fuente: Volvo Penta.	65
Figura 48. Sistema propulsivo convencional. Fuente: Fundicionesrice.....	66
Figura 49. Motor fueraborda 150. Fuente: Evoy.....	66
Figura 50. Stern Drive Zt150A. Fuente: YADAO.....	67
Figura 51. Velocidad del fluido en el sistema waterjet. Fuente: Wärtsilä.....	68
Figura 52. Gráfico de Potencias propulsivas (kW) vs Velocidad (kn).....	71
Figura 53. Ola generada por la carena a velocidad máxima.....	72
Figura 54. Ola generada por la carena a velocidad económica.....	72
Figura 55. Motor propulsivo SternMaster 97w. Fuente: Bellmarine.	73
Figura 56. Alpha One. Fuente: Mercury.	75

Figura 57. Resumen conexionado de baterías. Fuente: Bateriasyamperios.	76
Figura 58. Módulo de batería. Fuente: Transfluidperios.	76
Figura 59. Sistema de propulsión eléctrica dual. Fuente: Epropulsion.	78
Figura 60. Pasacables Roxtec. Fuente: Roxtec.	80
Figura 61. Batería 160Ah 12V (LiFePO ₄). Fuente: Victron Energy.	81
Figura 62. Elementos el sistema cerrado de refrigeración.	82
Figura 63. Circuito cerrado de refrigeración. Fuente: Bellmarine.	82
Figura 64. FP-1200. Fuente: FirePro.	84
Figura 65. Sistema de fondeo.	88
Figura 66. Esfuerzo de flexión al que está sometida la rampa.	89
Figura 67. Gráfico E- ρ de aluminios y aceros inoxidable.	90
Figura 68. Gráfico σ_y - ρ , para el filtrado de las aleaciones.	91
Figura 69. Gráfico Precio-Densidad, para selección final.	91
Figura 70. Vista en perspectiva de la estructura seccionada por crujía.	95

Listado de tablas

Tabla 1. Clasificación de las categorías de diseño. Fuente: RD 339/2021.....	16
Tabla 2. Correspondencia entre categorías de diseño y zona de navegación. Fuente: RD 339/2021.	17
Tabla 3. Características vehículo modelo.....	30
Tabla 4. Hoja de aplicación de la norma ISO 12215-5.	60
Tabla 5. Presiones de diseño.	61
Tabla 6. Escantillonado de planchas.....	61
Tabla 7. Datos hidrodinámicos de la carena.....	71
Tabla 8. Distintas configuraciones de baterías para 288 v. Fuente: Transfluid.....	77
Tabla 9. Cálculos de autonomía, en función de velocidad y módulos instalados.	77
Tabla 10. Balance eléctrico de los consumidores de la embarcación.	81
Tabla 11. Diámetros de cadena y de estacha y el peso del ancla. Fuente: RD 339/2021.	87
Tabla 12. Pesos de los diferentes sistemas y equipos.....	96
Tabla 13. Cálculo del peso muerto.	96
Tabla 14. Costes de sistemas y equipos.	103
Tabla 15. Costes de construcción y coste final armador.	104

Capítulo 1. Introducción al proyecto

Entre las salidas laborales hacia las cuales abre las puertas este máster en ingeniería naval y oceánica, se encuentra la realización de proyectos de diseño de embarcaciones, yates y buques. Dentro del sector naval, existe un segmento importante que centra su atención en el mundo del ocio y las diferentes demandas de la marina deportiva y recreativa.

Este proyecto se basa en la solicitud de un armador para dar solución a un problema que se le plantea a bordo: el desembarque seguro de las unidades terrestres embarcadas a bordo de su *megayate* especializado en la exploración de lugares inhóspitos, sin civilización o medio previsible de transporte terrestre.

Para satisfacer dicha demanda se propone el estudio y desarrollo de una embarcación capaz de ser izada y arriada con las unidades terrestres convenientemente trincadas a bordo y con la peculiaridad de permitir el desembarco en tierra firme de dichos medios rodados.

Este proyecto pretende entonces diseñar una embarcación de desembarco (del inglés *landing craft*) con objetivo de poder proyectar o desplegar, sobre tierra firme, una o varias unidades móviles todoterreno, pudiéndose emplear como lugares de desembarco playas, puertos o incluso otras embarcaciones o buques habilitados a tal fin.



Figura 1. Landing Craft embarcando en la playa.

1.1. Objetivos del proyecto

El principal objetivo del proyecto es el desarrollo de la ingeniería conceptual de una embarcación de desembarco para dar servicio a una embarcación de tipo *explorer*. Esta fase del proyecto abarca el dimensionamiento y el estudio de viabilidad del proyecto, así como el estudio de los distintos sistemas que deberá llevar a bordo. A partir de esta fase inicial, podrá desarrollarse la ingeniería de detalle, para la posterior construcción de la embarcación.

Para el desarrollo del proyecto, se pretende sintetizar los conocimientos y técnicas adquiridas durante el estudio del máster en el diseño de embarcaciones, empezando por una fase de estudio de la embarcación que se pretende proyectar, logrando recopilar la máxima información posible a cerca de su funcionamiento.

Seguidamente, se prevé determinar el dimensionado óptimo de la embarcación, generando un modelo 3D que posteriormente ayudará a la conceptualización de la embarcación, el estudio de la resistencia del avance y la estabilidad.

Posteriormente, el modelo informático desarrollado permite obtener una gran cantidad de datos, como posición y peso de los elementos para tratar de ajustarlos al máximo y ubicarlos según convenga, con el objetivo de generar un modelo virtual lo más preciso posible para poder fabricar de forma clara la embarcación real.

Al tratarse de una embarcación de desembarco, como punto crítico a estudiar encontramos el método propulsivo, el material de construcción, así como un elemento clave en la operativa del a embarcación como es la rampa de proa, de la cual estudiaremos el funcionamiento y se determinará también el material específico de fabricación.

1.2. Requisitos de proyecto

El punto de partida del proyecto es una serie de requisitos proporcionados por el armador, que en el caso de esta embarcación son los siguientes.

- Tipo de embarcación. En vista de la clasificación de los distintos tipos de embarcaciones existentes en el mercado y atendiendo a las distintas finalidades de estas, se considera el diseño de una embarcación de desembarco del tipo *landing craft*.
- Cantidad y tipo de carga a transportar. La cantidad de carga a transportar nos define el tamaño del buque y es la característica principal del proyecto. En este caso la carga a transportar serán los vehículos todoterreno embarcados en cubierta, así como los pasajeros y la tripulación necesaria. También se considera la instalación de espacios de almacenaje de distintas bebidas y refrigerios, así como de los elementos de seguridad necesarios.
- La velocidad del transporte. La velocidad de diseño requerida no será elevada, prevaleciendo el confort de los ocupantes y la seguridad de la navegación, ofreciendo una cifra de compromiso entre el tiempo de viaje y la velocidad de la embarcación.

- La autonomía o distancia entre reabastecimientos. En relación con el tiempo de viaje y la velocidad obtenemos la distancia a recorrer ($v=x/t$). Se considera como la autonomía necesaria el doble de la distancia entre el buque nodriza y la costa que se desea alcanzar.
- Los medios de manipulación de la carga. La carga rodada accede a cubierta mediante una rampa en proa. Los pasajeros, así como la tripulación, accederán a la embarcación por medio de una puerta de acceso lateral, practicable cuando la embarcación esté en paralelo al muelle. Los pasajeros también podrán acceder a la embarcación por la rampa de proa en caso de mayor facilidad de acceso.
- El tipo de maquinaria propulsora. La propulsión de la embarcación debe ser eléctrica, generando un mayor confort a bordo sobre los pasajeros, además de ser más respetuosa con el medio ambiente, permitiendo así el acceso en zonas restringidas a embarcaciones de un mayor impacto ambiental. Por la naturaleza de la embarcación deberá ser altamente maniobrable.
- Otro requisito intrínseco del proyecto debe ser la posibilidad de almacenaje a bordo del buque nodriza ocupando el menor espacio posible en el interior, esto limita tanto la eslora como la manga de la embarcación, siendo necesario minimizarlas en la medida de lo posible.
- Por el tipo de embarcación y las aguas someras por las cuales navegará, otro requisito importante será contar con el menor calado posible. Este punto deberá tenerse en cuenta a la hora de establecer el tipo de sistema propulsivo, así como el desplazamiento total.

1.3. Definición de la embarcación

Embarcación de desembarco (*landing craft* - /'læn.dɪŋ ,kræft/): *A small boat with a flat bottom that opens at one end and is used to take soldiers and their equipment from a ship onto land controlled by enemy forces.* (Embarcación de fondo plano que abate la proa para permitir el desembarco de soldados y el equipamiento necesario para tomar una playa controlada por las fuerzas enemigas).

La aplicación de la embarcación se centra en como ya hemos dicho en el desembarco de unidades terrestres en zonas como playas o lugares similares accesibles por la embarcación proyectada y de acuerdo con el vehículo a descargar.

Como embarcación tipo tender también tendrá la finalidad de desembarcar pasajeros del yate nodriza, así como de la tripulación que eventualmente pueda precisarse. Es por esto por lo que, a parte de una amplia y diáfana cubierta de carga, se incluirán los asientos necesarios para el transporte de manera cómoda, ergonómica y segura de dichos pasajeros.



Figura 2. LHD Landing Craft. Fuente: Royal Australian Navy.

Radio de acción: el abanico de acción de la embarcación se limita a la distancia comprendida entre la zona de fondeo del buque nodriza y la zona de desembarco. Se establece de este modo que el rango de autonomía necesaria esté dentro del radio de alcance dentro de la ruta de navegación.

Para calcular la autonomía necesaria se considerará que el buque nodriza no podrá acercarse a más de dos millas náuticas de la costa, por condición de calado, o como se ha comentado anteriormente por condiciones de navegación restringida a embarcaciones contaminantes u otros posibles motivos restrictivos.

Teniendo en cuenta el tiempo de operativa para realizar el desembarque en tierra y embarque de nuevo, más la navegación de vuelta al buque y dejando un margen de autonomía se estima unos tiempos de autonomía necesarios de alrededor de las dos horas.

1.4. Categoría de diseño y zona de navegación

1.4.1. Categoría de diseño

Actualmente, la Directiva en vigor sobre embarcaciones de recreo y motos acuáticas es la 2013/53/UE. Esta normativa establece las características que los barcos deben cumplir para navegar, teniendo en cuenta su estructura y las condiciones meteorológicas, de viento y oleaje, que pueden soportar; según la distancia de la costa y el tipo de aguas que navegan.

Se considera que, a mayor distancia de costa, el barco debe ser capaz de soportar unas condiciones meteorológicas adversas por más tiempo. Y debe tener condiciones de flotabilidad, maniobrabilidad, estabilidad y estanqueidad de acuerdo con la probabilidad de encontrar viento y oleaje en las peores condiciones de navegación.

Existen 4 categorías de diseño, las cuales se clasifican según:

A) Navegación oceánica, capaces de soportar vientos mayores a fuerza 8 y resistir el embate de olas de más de 4 metros de altura.

B) Alta mar, capaces de soportar vientos de hasta 40 nudos y una altura significativa de ola de hasta 4 metros.

C) Aguas costeras, con capacidad para resistir vientos de fuerza 6 y una altura máxima de ola exigida de 2 metros.

D) Aguas interiores y aguas protegidas, capaces de navegar en una altura máxima de ola de 30 centímetros y resistir vientos de fuerza 4.

Categoría de diseño	Fuerza Beaufort	Altura de olas
A	mayor a 8	superior a 4 metros
B	inferior a 8	hasta 4 metros
C	inferior a 6	hasta 2 metros
D	inferior a 4	hasta 0,3 metros

Tabla 1. Clasificación de las categorías de diseño. Fuente: RD 339/2021.

1.4.2. Zona de navegación

Aunque las categorías de diseño son comunes para toda Europa, cada país tiene la autoridad para limitar el área de navegación de los barcos mediante el despacho de buques y la asignación de una zona de navegación que se indica en el Permiso de Navegación. En España, las zonas de navegación dependen de la categoría de diseño que indica el marcado CE y de la dotación de equipos de seguridad y comunicaciones que tenga el barco.

Por otro lado, la categoría de diseño de un barco determina su zona de navegación máxima, pero se puede matricular en cualquier zona que se encuentre dentro de su categoría de diseño, siempre y cuando cumpla con los requisitos de seguridad correspondientes.

De la categoría de diseño depende la zona de navegación a la que se autoriza a navegar a un barco o embarcación de recreo. Si bien, en España, cada Categoría de Diseño está suscrita a una distancia máxima, determinada por la zona de navegación:

Categoría de diseño	Denominación	Zona de navegación	Distancia máxima
A	Oceánica	1 - 7	Ilimitada
B	Alta mar	2 - 7	60 millas
C	Aguas costeras	4 - 7	12 millas
D	Aguas protegidas	7	Aguas interiores

Tabla 2. Correspondencia entre categorías de diseño y zona de navegación. Fuente: RD 339/2021.

Las diferentes zonas de navegación son:

1. Navegación ilimitada
2. Hasta 60 millas de costa
3. Hasta 25 millas de costa
4. Hasta 12 millas de costa
5. Hasta 5 millas de puerto o lugar de abrigo
6. Hasta 2 millas de puerto o lugar de abrigo
7. Aguas interiores protegidas

Las zonas de navegación 2, 3 y 4 determinan el área de navegación entre la costa y una línea paralela a ella que dista la distancia indicada. Sin embargo, en las zonas 5 y 6, el área de navegación está limitada al arco trazada con la distancia desde un puerto, marina o lugar de abrigo.

Si bien, una embarcación puede «costear» estando en la zona 5, hay entre puertos menos de 10 millas. Y en zona 6, si hay entre puertos menos de 4 millas.

La zona de navegación máxima que puede ostentar una embarcación viene marcada por la categoría de diseño. No obstante, se puede matricular una embarcación en cualquier zona que quede comprendida dentro de su categoría de diseño.

En vista de lo aquí resumido, se diseña una embarcación con marcado CE y categoría de diseño C, la cual otorga unas capacidades suficientes para viajar cerca de las costas (hasta 12 millas), navegar en grandes bahías y estuarios, y también sobre ríos y lagos; pudiendo soportar vientos de hasta fuerza 6 de la escala de Beaufort y resistiendo olas que pueden alcanzar los 2 metros de altura.

1.5. Características principales

Optimized for water sports, the Coaster 9e is a landing craft designed to meet our appetite for adventure. With a perfect alignment of range, speed, comfort, and capacity, this superyacht tender presents the ultimate solution for multiple purposes. It offers optimized performance for water sports and serves as an ideal choice for transporting guests or equipment in comfort.

Name: **COASTER 9E**

Technical Specification

Length (L_{OA}): **9.65 m**

Beam Max: **3.85 m**

Static Draft: **0.62 m**

Displacement (Light craft): **4.8 t**

Construction material: **Aluminum**

CE Category: **C (12 miles)**



Figura 3. Vista en perspectiva de la embarcación.

Vessel configuration: **Monohull with twin electric sterndrives**

Fender Material: **Hard rubber**

Engines configuration: **2x SternMaster 97w**

Weight with the engines (dry): **6.5 t**

Weight with the engines (dry): **6.5**

Cruising Speed/Max. Speed: **11/14 kn**

Batteries Capacity: **230 kWh**

Seating Capacity: **7 guests / 2 crew**

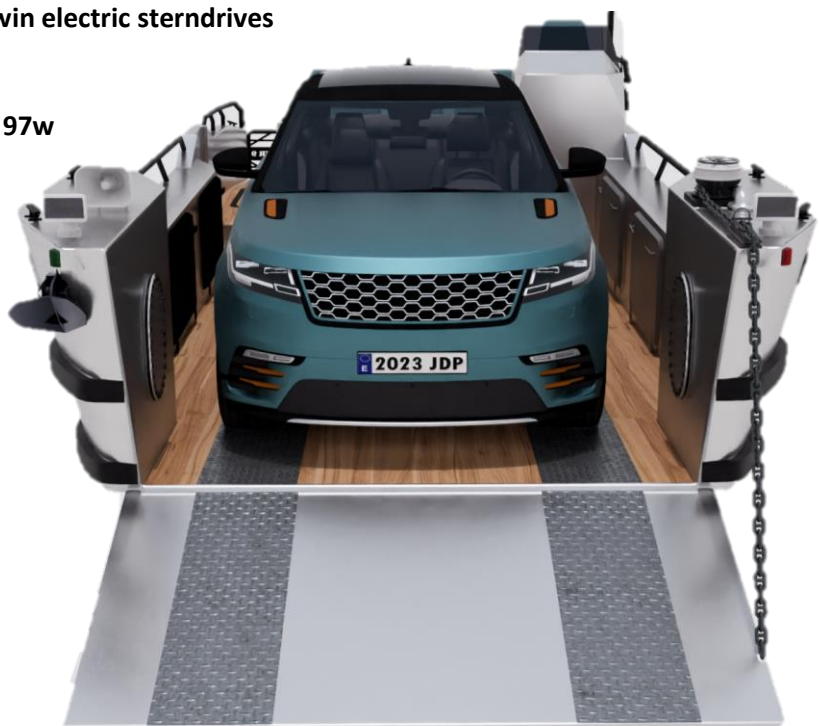


Figura 4. Vista desde proa de la embarcación cargada.

Capítulo 2. Evolución, uso y funcionamiento

2.1. Evolución de la embarcación

También conocidas como lanchas de desembarco, son un tipo de embarcación diseñada específicamente para transportar tropas, vehículos y suministros a las playas durante operaciones militares. La historia de las *landing craft* se remonta a la Primera Guerra Mundial, cuando se desarrollaron pequeñas lanchas motoras, de 36 pies de largo, en Reino Unido.

La primera fue utilizada en la Batalla de Gallipoli en 1915, para transportar tropas y equipos desde los buques de transporte hasta la playa. A pesar de que el desembarco en Gallipoli fue un fracaso, se demostró que su uso era muy efectivo, por lo que se utilizó en otras operaciones anfibias durante la guerra.

Fue durante la Segunda Guerra Mundial cuando se convirtieron en una herramienta vital para las operaciones militares. Las fuerzas armadas de varios países, incluyendo Estados Unidos, Gran Bretaña, Alemania y Japón, desarrollaron y utilizaron este tipo de embarcaciones para transportar tropas y suministros durante los desembarcos en Normandía, Sicilia, Italia, el Pacífico y otros lugares.

Uno de los tipos de *landing craft* más conocidos es el LCVP (*Landing Craft, Vehicle, Personnel*), utilizado por los aliados durante la Segunda Guerra Mundial. El LCVP fue utilizado en la invasión de Normandía y también en la Operación *Overlord*, donde se utilizaron más de 4,000 lanchas para transportar a las tropas a las playas, durante el famoso Día D (ver figura 5).

La utilización de este tipo de lanchas permitió a las fuerzas aliadas desembarcar en playas hostiles y moverse rápidamente hacia el interior del territorio enemigo. Estas embarcaciones fueron utilizadas también en otros conflictos militares, como la Guerra de Corea, la Guerra de Vietnam y la Guerra del Golfo.

Después de la Segunda Guerra Mundial, se desarrollaron nuevos materiales y tecnologías, lo que permitió la creación de embarcaciones más grandes, más rápidas y versátiles. Por ejemplo, las *landing crafts* de hoy en día son construidas con materiales como el aluminio, que es más ligero y resistente que el acero utilizado en las versiones anteriores.

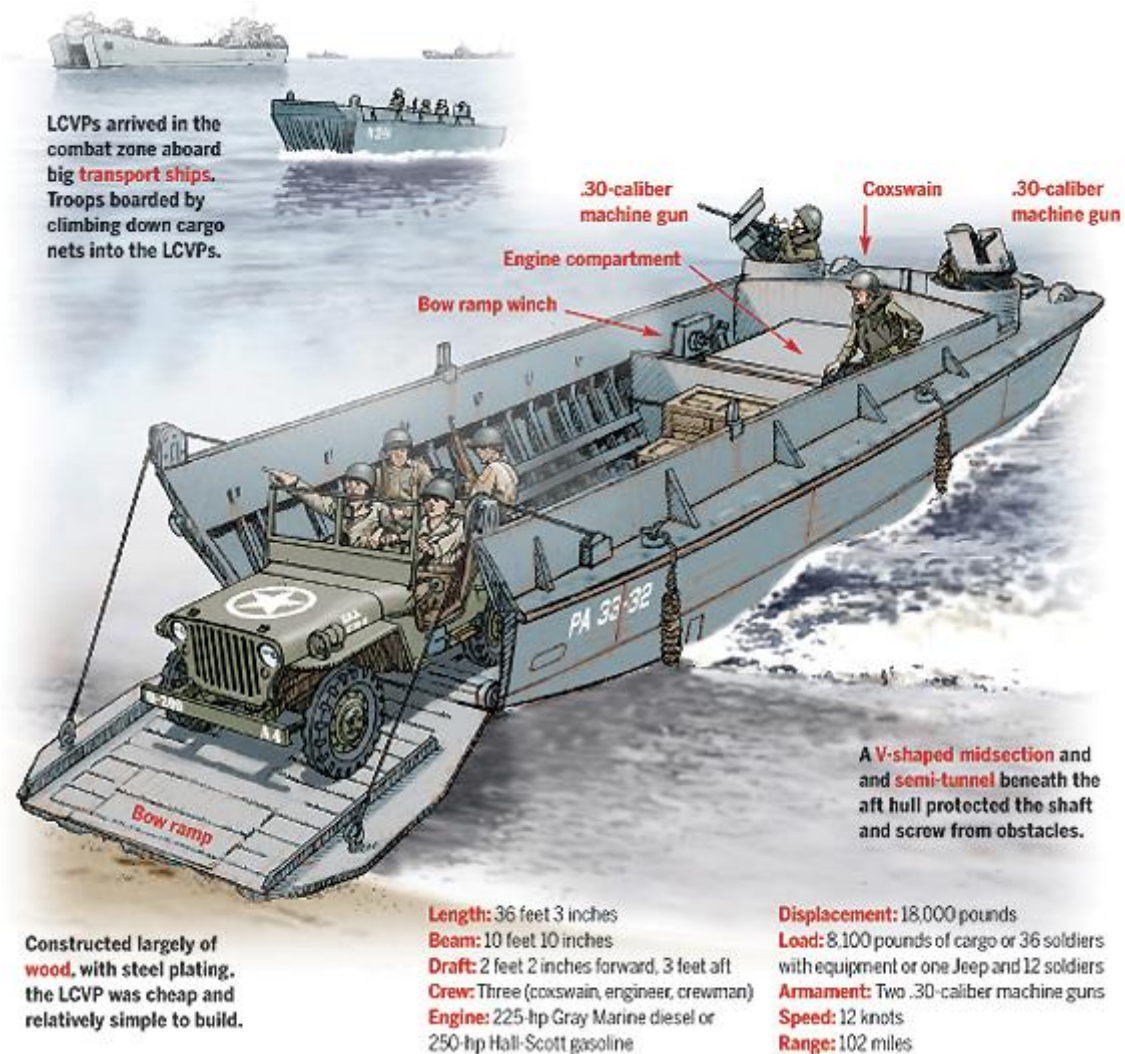


Figura 5. Desembarco y características de embarcación LCVP. Fuente: Historynet.

Las *landing crafts* modernas han experimentado una notable evolución en términos de tecnología y diseño, lo que les permite ser altamente eficientes y seguras en el transporte de tropas, suministros y equipos. Gracias a su capacidad de adaptación a diferentes situaciones y entornos, son una herramienta crucial en operaciones militares, de ayuda humanitaria y exploración científica.

Su evolución tecnológica las hace más seguras y eficientes, lo que les permite ser empleadas en diferentes contextos, desde operaciones de rescate en desastres naturales hasta misiones científicas en zonas costeras remotas, como en la exploración de la Antártida, donde son utilizadas para transportar equipos y suministros a las estaciones de investigación.

En definitiva, las *landing crafts* son una herramienta clave en la realización de misiones complejas en situaciones adversas y su continua evolución y mejora tecnológica les garantiza un papel fundamental en futuras operaciones militares, de ayuda humanitaria y exploración científica.

2.2. Usos de las *landing craft*

Las *landing crafts* tienen una variedad de usos en una gran variedad de situaciones, desde operaciones militares hasta actividades civiles y comerciales. Algunos de los usos más comunes son:

- Operaciones militares: se utilizan comúnmente en operaciones militares para desembarcar tropas, suministros y equipo en las playas y costas. Las *landing crafts* son particularmente útiles en las operaciones anfibas, donde las fuerzas militares deben desembarcar en una playa o costa para establecer una base o llevar a cabo una misión.
- Operaciones de búsqueda y rescate: se utilizan en operaciones de búsqueda y rescate para transportar equipos de rescate y víctimas en zonas costeras o ríos.
- Operaciones de ayuda humanitaria: se utilizan en operaciones de ayuda humanitaria para transportar suministros y equipos a áreas afectadas por desastres naturales o conflictos.
- Investigación científica: se utilizan en expediciones científicas en zonas costeras remotas para transportar equipos y científicos.
- Operaciones comerciales: se utilizan en operaciones comerciales para transportar carga y equipo a puertos y zonas costeras.

En resumen, este tipo de embarcación es una herramienta muy útil y versátil que puede utilizarse en una variedad de situaciones. Desde operaciones militares hasta actividades civiles y comerciales, donde siguen siendo una herramienta esencial en la logística y en las operaciones de desembarco en tierra.

2.3. ¿Cómo funciona una *landing craft*?

El funcionamiento de estas depende del tipo de embarcación y del equipo específico que tenga, pero en general, funcionan de la siguiente manera:

1. Carga: se carga el equipo o tropas a transportar en la embarcación.
2. Navegación: una vez cargada, ésta se dirige hacia la zona de desembarco. Durante la navegación, el operador de la embarcación utiliza los sistemas de navegación y comunicación para comunicarse con otros barcos y lograr evitar obstáculos en el camino.
3. Desembarco: cuando se acerca a la costa, se ajusta la velocidad y la dirección para asegurar que la embarcación tome suavemente en la playa. Después, se despliega la rampa de proa y las tropas y/o los suministros son descargados.
4. Retirada: una vez que se han descargado las tropas o los suministros, la embarcación se retira de la costa. En algunas operaciones militares, la embarcación permanece cerca de la costa para proporcionar apoyo de fuego o para evacuar a los heridos.

En nuestro caso, inicialmente la operación de carga se realiza desde el propio buque nodriza, puerto o playa donde se encuentren los pasajeros y/o el vehículo a embarcar. Abarloándose al buque en la zona del embarcadero, permitirá que se suban a bordo los pasajeros.

Previamente a la etapa de navegación, se debe haber realizado un estudio de aproximación, donde se tiene en cuenta el oleaje, el tipo de costa, calado, mareas, etc. Este tipo de mediciones serán tomadas por la tripulación en caso de no disponer de los datos requeridos, ya sea mediante drones aéreos, vehículos de superficie operados a distancia, o incluso vehículos autónomos, con el objetivo de obtener una batimetría completa o un barrido de la costa para la obtención de datos.

Existen diversos aspectos que deben considerarse en el momento de llegar a una orilla, tales como:

- Condiciones meteorológicas: es importante considerar las condiciones del mar, como la dirección y fuerza del viento, la altura de las olas y la corriente, ya que pueden afectar la navegación y la maniobrabilidad de la lancha
- Tipo de orilla: la naturaleza de la orilla puede ser un factor crítico en la operación de desembarco. Es importante conocer si la orilla es de arena, roca, hierba o tierra, y si tiene una inclinación suave o empinada. También puede estar expuesta a peligros, como corrientes, árboles o rocas.
- Profundidad del agua: es importante conocer la profundidad del agua en la zona de desembarco, ya que una profundidad insuficiente podría impedir que la lancha llegue a la orilla o hacer que la operación de desembarco sea más difícil.
- Planificación: es fundamental planificar cuidadosamente la operación de desembarco, incluyendo la ruta de navegación, el tiempo de llegada, la ubicación de la orilla, la forma en que se realizará el desembarco y la forma en que se retirará la lancha de la orilla.
- Seguridad: la seguridad de los ocupantes (tripulantes y pasajeros) es fundamental en cualquier operación de desembarco. Es importante asegurarse de que todos usen chalecos salvavidas y de que se sigan todas las normas y procedimientos de seguridad.

Una vez descargada la embarcación podrá quedarse fondeada en la playa o retornar a la embarcación nodriza, en función del tiempo que se prevea estar en tierra, el tipo de operativa a realizar, la logística y la condición meteorológica.

En cuanto a la estiba de la embarcación, se debe estudiar el método idóneo en función de la configuración del buque nodriza, habrá varias posibilidades para el almacenaje de la embarcación a bordo del buque.

La opción más interesante por facilidad y seguridad de operación, así como de mayor versatilidad de distribución de cubierta, consiste en que el buque nodriza disponga de un dique donde poder introducir la embarcación a bordo. Mediante el lastrado del buque nodriza se puede sumergir parcialmente la popa facilitando la entrada de la *landing craft*. Una vez en el interior del buque, se puede disponer de un hangar donde poder almacenar todo tipo de vehículos para poder ajustar la embarcación al tipo de uso que se le vaya a dar en tierra, desembarcando el vehículo que no se desee emplear y aprovechando para embarcar el que se requiera a través de la rampa de proa.



Figura 6. Tender atracando en el interior del MY Octopus. Fuente: Boat international.



Figura 7. Vista interior del dique del MY Octopus. Fuente: Boat international.

Las otras dos opciones posibles se rigen por el almacenamiento de la embarcación en cubierta (ver figura 8). En la primera de ellas se considera que la embarcación se estibarà a bordo del buque nodriza con el vehículo a bordo, protegiéndose debidamente con una lona para mitigar el efecto de las inclemencias del tiempo y el ataque de los rayos solares, incidiendo especialmente sobre el vehículo, una vez estibadas a bordo.

En la segunda opción, el vehículo o vehículos todoterreno a transportar podrán ser almacenados en un garaje dispuesto en una cubierta inferior, a la altura del pantalán/embarcadero del buque nodriza, permitiendo el traspaso de la carga a la embarcación de desembarco una vez esta haya sido arriada. Esto permite que la grúa necesaria para elevar la embarcación requiera de una potencia y unas características más contenidas, además de aumentar la estabilidad y permitir facilitar la operativa de embarque.



Figura 8. Embarcación de rescate estibada en cubierta.
Fuente: SUNY Maritime College.



Figura 9. Grúa de izado lateral de embarcación *tender* del MY Nebula. Fuente: Boat international.



Figura 11. Renderizado de buque nodriza, con *landing craft* izada.

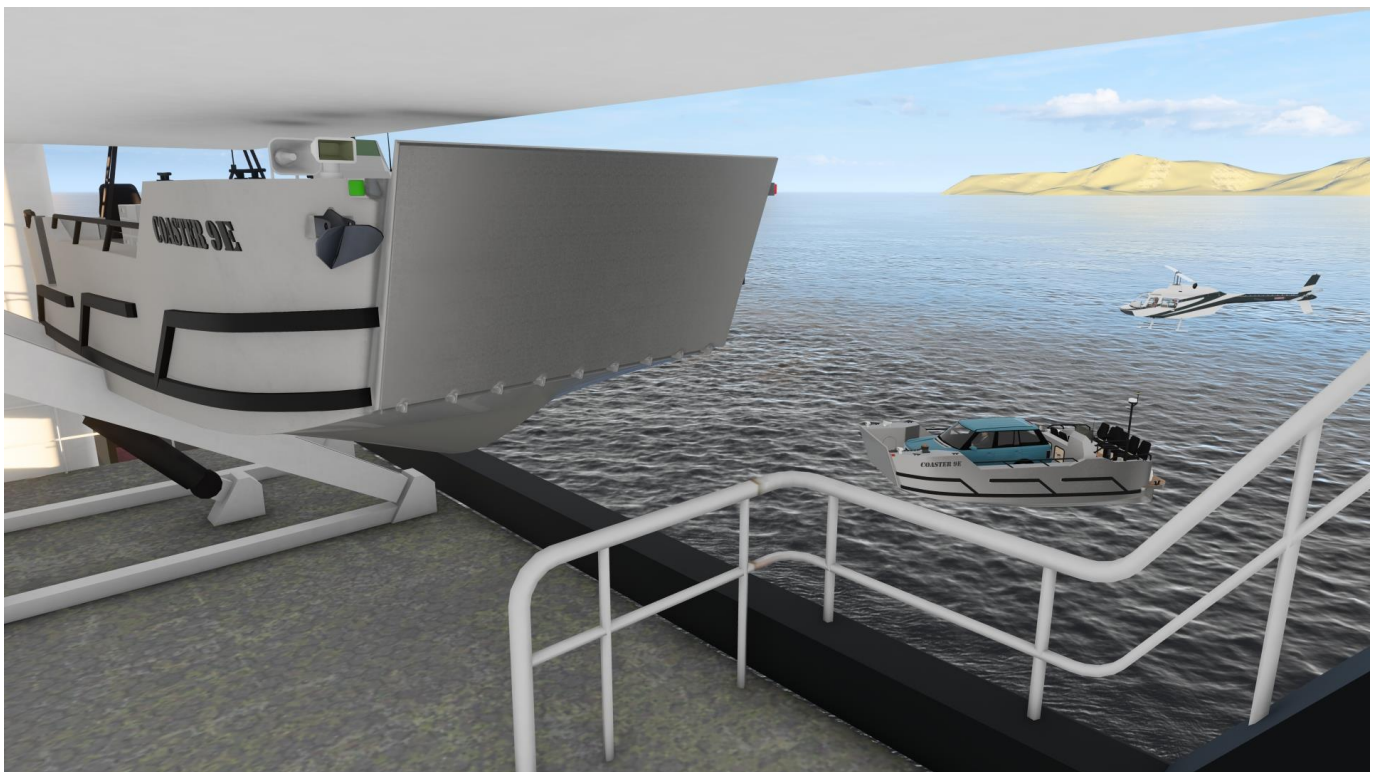


Figura 10. Renderizado de la embarcación trincada a bordo, desde buque nodriza.

Capítulo 3. Dimensionamiento

3.1. Distribución de cubierta

Para el transporte a tierra de los pasajeros y unidades terrestres se han identificado tres escenarios posibles:

- Opción 1: Transporte de un vehículo todoterreno *off-road*, hasta 7 pasajeros y dos tripulantes. Para este primer caso, se genera un estudio que permite analizar el mercado de los vehículos todoterreno de alta gama, logrando determinar las dimensiones de este tipo de vehículos.
- Opción 2: Transporte de hasta tres ATV en configuración 2+1, 6 pasajeros y dos tripulantes. Para este segundo caso, se analizará este tipo de vehículos, tomando como referencia el Pathcross 650 de Odes (ver figura 17).
- Opción 3: Transporte modo limusina (asientos abatidos en los laterales de cubierta / unidades modulares desmontables). Para esta última opción, se estudiará la distribución de cubierta para albergar cómodamente el mayor número de pasajeros.



Figura 12. Land Rover Defender 110, con preparación *off-road*. Fuente: Arkonik.

3.2. Estudio previo al dimensionamiento

El dimensionamiento de una embarcación consiste en determinar las características principales (dimensiones y coeficientes) que definen de forma unívoca, y con el grado de precisión adecuado, la embarcación más apropiada para los requisitos del proyecto.

3.2.1. Estudio *Off-Road*

Para poder determinar las dimensiones de la embarcación, primero, se debe hacer un estudio de los diferentes vehículos que podrá albergar la embarcación, así como de las dimensiones de estos.

Se genera una base de datos del mercado actual con diversos modelos de vehículo capaces de contribuir a cubrir el fin de la embarcación: el desembarco de unidades todoterreno.

No obstante, no debe dejarse de lado el lujo y la sofisticación de la embarcación nodriza y que debe verse semejante en los diferentes medios de transporte empleados por los pasajeros y usuarios finales.

Entre las medidas y características que se deben tener en cuenta sobre los vehículos todoterreno cabe destacar el ángulo de ataque, el ángulo de salida, el ángulo ventral, la altura libre al suelo, la profundidad de vadeo y la distancia entre ejes.

Dichas capacidades *off-road*, que a continuación se describen, además de facilitar la exploración de rutas y caminos menos accesibles de los distintos parajes visitados, permitirán también facilitar el embarque y desembarque en zonas menos apropiadas a tal fin, y, en las cuales, dichas capacidades podrán ayudar a sortear las eventuales dificultades.



Figura 13. Ángulos relevantes en vehículos *off-road*. Fuente: Pruebaderuta.

- **Distancia entre ejes** (o batalla): es la medida entre los ejes de las ruedas. Esta distancia influye en diferentes aspectos como es la estabilidad, el radio de giro, la habitabilidad, así como el ángulo ventral (o ángulo medio) que permite sortear un obstáculo sin quedar encallado en la parte central.
- **Altura libre al suelo:** es la distancia mínima entre la parte más baja del vehículo y la superficie de la carretera. En un todoterreno debería ser superior a los 20 cm.

- **Ángulo de entrada y salida:** es el ángulo que forma el suelo con la línea que va desde el borde inferior de la carrocería hasta el punto de contacto de las ruedas con el suelo. El ángulo de ataque es el ángulo formado en la parte delantera, y el de salida es el ángulo formado en la parte trasera. Ambos son una característica importante para todo todoterreno, puesto que favorece o dificulta el rascar el vehículo o incluso quedarse encallado al entrar o salir de un obstáculo.
- **Ángulo ventral:** cuando el terreno forma una cresta o un pico, se define el ángulo que forma uno de los lados de ese pico con la línea imaginaria que constituye la prolongación del otro lado. A mayor ángulo ventral, mayor capacidad para superar crestas sin que toquen los bajos. Este ángulo depende de la distancia entre ejes y la altura libre al suelo.
- **Capacidad de vadeo:** es la medida del calado de agua que podríamos cruzar sin dañar el vehículo, básicamente sin que el agua entre por la admisión de aire. Mediante la instalación de un esnórquel conseguimos aumentar la altura del aire de la admisión consiguiendo mejorar la profundidad de vadeo.

En función del terreno que se requiera sobrepasar, empleando un vehículo tipo SUV se obtendrían ángulos de ataque y salida alrededor de los 20° siendo necesario recomendable aumentar estos a 25° o idealmente a 30°. Para aumentar estos ángulos sería necesario reducir los faldones del vehículo, tanto delantero como trasero, para evitar ser rascados en los pasos de cresta con mayor diferencia de inclinación.

Cabe tener en cuenta que una distancia entre ejes más corta permitirá un mejor desarrollo a la hora de subir pendientes o cambios de nivel pronunciados, por lo que será un parámetro interesante a la hora de elegir un 4x4. En caso de escoger un SUV, estos tienen alturas libre típicas de 16 cm por lo que se deberá modificar el vehículo con tal de adaptarlo, aplicando un paquete *off-road*, con unas mejores suspensiones y unas ruedas adecuadas.

Tomando en consideración estos parámetros, se genera una base de datos incluyendo los modelos de automóviles todoterreno de más alta gama, acogiendo las líneas de tendencia actuales del mercado del lujo. Estas líneas determinan que la calidad, los espacios amplios y las tecnologías reconfortan al usuario con el objetivo de magnificar el confort a bordo.

3.2.2. Análisis de vehículos

En el gráfico que se muestra en la figura 14 se recogen las principales características y dimensiones que poseen los distintos vehículos estudiados. Estas características son: longitud, anchura, altura, altura de vadeo, batalla, potencia, peso y M.M.A. (masa máxima autorizada).

Para cada magnitud estudiada se selecciona qué valor se considera como crítico a la hora de dimensionar la embarcación, generando el caso de vehículo con características más desfavorables.

Se escogerá la mayor longitud, anchura y altura de los vehículos. En cuanto a aspectos de superación de obstáculos, se cogerá la menor altura de vadeo, junto a la batalla más larga. Respecto a la potencia, seleccionaremos la de menores prestaciones, por ofrecer una peor respuesta motor, aunque en este

caso de estudio será irrelevante. Finalmente, en cuanto al peso, seleccionaremos la mayor de las M.M.A. de todos los vehículos estudiados, para posteriormente poder estudiar la estabilidad de la embarcación en el caso de máxima carga¹.

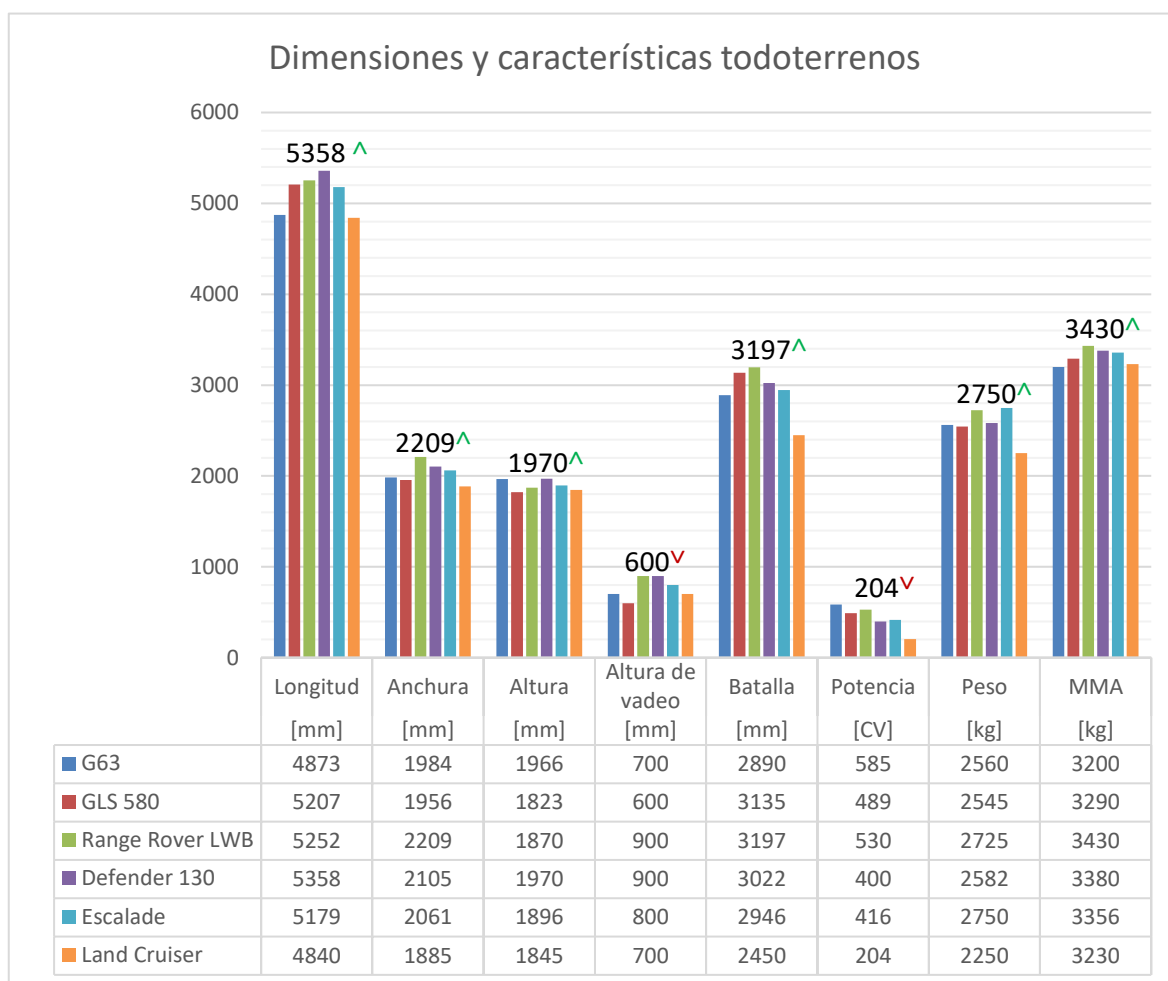


Figura 14. Gráfico tabulado de la dimensiones y características de los todoterrenos.

A continuación, se muestra una tabla resumen con las características principales que podrá llegar a tener el vehículo finalmente embarcado. Estas dimensiones las tomaremos como base para un vehículo modelo.

¹ Las flechas que acompañan los valores escogidos representan el criterio de elección. Leyenda: ^ (valor máximo) y v (valor mínimo).

Características vehículo modelo	
Longitud [mm]	5358
Anchura [mm]	2209
Altura [mm]	1970
Altura de vadeo [mm]	600
Batalla [mm]	3197
Potencia [CV]	204
Peso [kg]	2750
M.M.A. [kg]	3430

Tabla 3. Características vehículo modelo.

En el Anexo A1 del documento se adjunta un breve análisis de cada uno de los modelos de vehículo estudiados, incluyendo las principales características destacadas, así como un breve estudio comparativo respecto al resto de vehículos analizados.

Dicho análisis de vehículos se pretende que pueda servir al armador para comparar los diferentes vehículos del mercado para la elección del que finalmente será el vehículo definitivo.

Para poder asegurar que este vehículo cabrá en la embarcación se han seleccionado las mayores medidas posibles para cada dimensión, dado que, a lo largo de la vida útil de la embarcación, el vehículo a transportar podría cambiar de modelo, y por ello de dimensiones.

Los vehículos anteriormente analizados son de los automóviles más grandes del mercado. Esto permite asegurar que un gran número de vehículos de menores dimensiones podrían ser embarcados a bordo.

Una vez analizados los diferentes vehículos, se propone que, de entre estos, el modelo de vehículo a transportar a bordo de la embarcación sea el Land Rover Defender 130, un vehículo de categoría, con buenas cotas todoterreno, altamente configurable y muy espacioso.

3.2.3. Otros vehículos

Además de otros vehículos como son *buggys*, motos o bicicletas y que sí han sido considerados como aptos para ser embarcadas a bordo de la *landing craft*, dado que por sus dimensiones y capacidades de uso entran dentro de la finalidad de la embarcación; otras han tenido que ser catalogadas como no aptas para ser embarcadas a bordo.

Dentro del estudio de los posibles vehículos a transportar también se ha contemplado la idea de albergar vehículos más extravagantes como son los todoterreno 6x6, como puede ser el G63 6x6 de Mercedes-Benz (ver figura 15).

No obstante, pese a los altos niveles de calidad, lujo y sofisticación, se han considerado vehículos fuera del alcance de este proyecto, por su elevada longitud de prácticamente 6 metros. En caso de ser requerido, se podría estudiar el diseño de una embarcación para albergar vehículos de mayores dimensiones como estos, o capaz de albergar 3 vehículos ATV en línea, o 4 (en paralelo, 2 a 2) o incluso 6 (3 ejes de dos ATVs).

En vista de captar otra posible función de la embarcación y, además, de interés humanitario, se estudia la posibilidad de que la embarcación pudiera albergar una furgoneta medicalizada, dado que podría darse el caso de necesitar embarcar a bordo una ambulancia para el traslado a la otra orilla de un río o pantano, con el objetivo de acortar tiempos cuando la vida de alguien corre peligro.

Con el objetivo de que una unidad de estas características fuera capaz de embarcar a bordo, se incluye en el estudio del dimensionado inicial de la embarcación el modelo Mercedes Sprinter, con las siguientes dimensiones y características: 5267 x 2345 x 2331 (largo x ancho x h) y un peso bruto 3200 kg (2050 en vacío + 1150 kg carga útil).

Por longitud este vehículo entraría dentro de las dimensiones hasta ahora estimadas del vehículo modelo. No obstante, el ancho del vehículo modelo se vería incrementado en 15 cm, por lo que finalmente se descarta la opción a pesar de que, gracias a los márgenes laterales, habría espacio para estibar una unidad a bordo de la embarcación. Teniendo en cuenta la altura de la ambulancia, se desestima la posibilidad de ser embarcada a bordo por la interferencia con el diseño de un espacio óptimo de reducidas dimensiones para aprovechar al máximo el espacio.



3.3. Configuraciones alternativas

3.3.1. Segunda configuración

Por lo que respecta a la opción 2 de distribución de cubierta, a continuación, se analiza el famoso vehículo ATV.

El ATV (*all terrain vehicle*) es un vehículo todoterreno con tracción 2x4 y 4x4, lo cual proporciona una mayor fuerza y agarre a la hora de ir por caminos o senderos con gran pendiente, así como una mejor estabilidad y robustez.

Inicialmente estos vehículos se idearon para usarse como herramientas de trabajo, sin embargo, ahora se emplean para multitud de usos ya que son muy versátiles. Con un mismo vehículo se pueden realizar trabajos agrícolas, de campo, de carga y transporte, así como para darle un uso más recreativo, de paseo, para hacer trial, excursiones, etc.

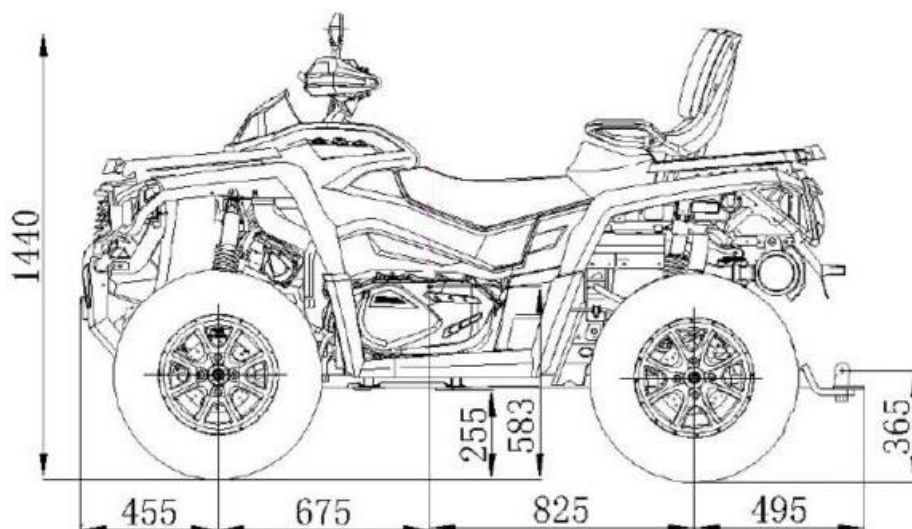
Actualmente se realizan (y están de moda) las rutas en ATV por el desierto, en Marruecos, o por senderos y ríos en las montañas, así como en otras partes del mundo, ya que los ATV se pueden pilotar por todo tipo de terrenos, tanto en tierra, arena, carreteras, etc.



Figura 16. ATV. Fuente: KNIK Glacier Adventures.

Este tipo de vehículo es muy versátil, ya que también se le pueden instalar accesorios como cabestrantes, bolas de enganche para remolques, luces, faros, portaequipajes, defensas y todo tipo de accesorios que adaptan el vehículo al propósito para el cual va a ser utilizado.

Las principales dimensiones para este tipo de vehículo son muy similares entre diferentes modelos del mercado, por lo que tomaremos como referencia los datos de uno de ellos, en este caso el Pathcross 650 de Odes.



Longitud [mm]	Anchura [mm]	Altura [mm]	Altura libre al suelo [mm]	Batalla [mm]	Peso [kg]	Precio [€]
2450	1230	1440	255	1500	410	8.800

Figura 17. Dimensiones ATV Pathcross 650. Fuente: ODES.

Para el transporte de estas unidades, se distribuirán en cubierta en fila, uno detrás de otro, por lo que se necesitarán como mínimo 4,9 m (metros lineales) en cubierta. Esta distancia entra dentro del vehículo modelo estudiado con anterioridad, por lo que aún queda una diferencia de 46 cm.

Este margen permite dejar cierto espacio de separación entre ambos ATV cuando están en cubierta, así como para posibles cambios del modelo de ATV a embarcar.

Al poseer la cubierta de carga una mayor amplitud transversal en la zona de popa, mediante una configuración en cubierta 2+1, se podrían almacenar en cubierta hasta 3 unidades de este tipo, dos en paralelo en popa y una centrada en la zona más a proa.

3.3.2. Tercera configuración

Respecto a la última configuración de cubierta, como anteriormente se ha comentado, se pretende instalar en los laterales de la cubierta de carga un seguido de asientos abatibles para permitir a la embarcación emplearse a modo de *tender* limusina para el transporte de pasajeros o tripulación desde el buque nodriza a tierra.

Estos asientos irán fijados en la borda de la embarcación por lo que su orientación será perpendicular a línea de crujía, siendo posible albergar 4 pasajeros adicionales por lateral. Estos asientos podrán instalarse para mantenerse fijos en caso de requerirse por el cliente.



Figura 18. Diferentes tipos de puntos de anclaje en cubierta. Fuente: TEC Container.

Otro aspecto a tener en cuenta es la posibilidad de instalar en cubierta asientos modulares. Estos irán trincados en cubierta a los puntos de sujeción pensados para la estiba de la carga. Podrán ser instalados tres módulos, centrados en crujía, orientados hacia proa y uno detrás del otro.



Figura 19. Módulos empleados en automoción. Fuente: Reimo.

En la figura 18 se muestra como son este tipo de elementos de fijación, los cuales se encuentran enrasados y fijos sobre la cubierta de la embarcación.

En caso de optar por instalar los asientos abatibles en los laterales, los módulos serán dobles, para facilitar el tránsito por los pasillos de cubierta. En caso de no instalarse, los módulos podrán ser triples, aumentando la capacidad de embarque.

Estos módulos serán similares a los que se encuentran en la automoción en vehículos tipo furgón, los cuales tienen una estructura especialmente diseñada para facilitar la rápida instalación y posterior retirada de la embarcación.

Obviamente, los tejidos y materiales de estos módulos deberán ser aptos para el ambiente en el cual desempeñarán su función.

3.4. Justificación del dimensionado principal

Una vez determinado el tamaño de los vehículos que se cargarán en cubierta, se dejará un espacio de seguridad, tanto a proa como a popa del vehículo para evitar golpear o rallar la estructura. Lo mismo sucederá en el perímetro lateral del vehículo, alrededor del cual se pretende dejar espacio suficiente para permitir el paso y acceso a la zona del ancla o del sistema de la rampa. La cubierta de carga contará con una eslora de 5750 mm.

A proa de la cubierta, el lanzamiento de la rampa hacia proa genera un aumento de eslora total en 590 mm.

A popa de la cubierta de carga se dispondrá el área de pasaje y tripulación. Esta zona deberá ser elevada 340 mm para evitar estar en contacto con la eventual agua embarcada en cubierta, y permitiendo también ampliar el espacio en la cámara de máquinas, situada justo en la zona inferior.

El área de pasaje consta de la zona de navegación, desde donde el patrón podrá gobernar la embarcación; y la zona de acomodación, donde el pasaje podrá descansar en su asiento ergonómico individual. Se dispondrá una fila de 5 asientos encarados hacia proa y una segunda fila con 3 asientos encarados hacia popa.

Centrada entre los asientos se dispone una pequeña mesa desmontable, donde servir refrigerios, y que a su vez permite transitar fácilmente por la cubierta. Como pequeño mueble tocador de acceso a la embarcación, por la puerta lateral, encontramos una nevera contigua a un pequeño lavamanos. El conjunto de la zona de pasaje sumará a la embarcación una eslora de 2450 mm.

A popa de dicha zona encontramos la plataforma de baño, la cual debe tener al menos 90 cm de eslora para que sea cómoda y pueda albergar la escalera de baño y las cornamusas de amarre.

Entonces, el conjunto de la embarcación tendrá una eslora próxima a los 9,6 m.²

Por lo que respecta a la manga, centrando el vehículo modelo seleccionado en crujía, dándole un margen de seguridad suficiente, que también permita el tránsito por las cubiertas, y mediante una distribución de elementos de cubierta que permita el fácil acceso a estos, se establece una manga de 3600 mm.

Por último, por lo que respecta al calado, este viene dado por el desplazamiento de la embarcación, juntamente a la distribución de los pesos de esta y las formas del casco. En el caso de máxima carga será de 0.55 m.

² Ver plano de distribución general (GA) en Anexo A2, o en la figura 20.

Capítulo 4. Diseño exterior

Para cada tipo de embarcación los requisitos válidos serán distintos. Por tanto, el diseño de la embarcación se ha ceñido a la misión y ajustado al concepto determinado. Ya en una fase temprana se deberá basar en las cualidades de maniobra requeridas para la elección de las formas del casco, el sistema de gobierno y los propulsores en este tipo de embarcaciones.

Las embarcaciones de alta velocidad suelen tener unas formas de casco muy específicas, así como un sistema de gobierno y una unidad propulsiva específicas y potentes, dada la necesidad de poder corregir su rumbo fácilmente. Sin embargo, hay que vigilar ciertos aspectos:

- La combinación de proas afiladas y fondos planos en la zona de popa da lugar a embarcaciones de rumbo inestable. Este problema se manifiesta especialmente con oleaje de popa. Para lograr corregirlo es necesario un buen sistema de gobierno y quillas de balance.

- Cuando las embarcaciones de alta velocidad navegan en zonas muy concurridas, su capacidad de giro (capacidad para evitar accidentes) debe ser excelente. Esto significa también que deben ser capaces de evitar grandes trayectorias de barrido (grandes ángulos de deriva) al gobernar. Una vez más, las formas planas en popa son la causa de ello.

- Debe tenerse en cuenta la formación de la tripulación en el manejo de estas embarcaciones de velocidad, así como en el conocimiento y dominio de la operativa de las *landing crafts*.

- El piloto deberá tener siempre visual de como mínimo 2 esloras. Para ello se descentra la consola en sentido transversal, poniendo ésta en babor, y dotando al atril de una mayor altura mediante 3 escalones de 17 cm.

- Casco con *steps*. Los cascos escalonados emplean el aire como colchón, disminuyendo el área mojada y por ende la resistencia por fricción. En este modelo casco de la embarcación no se ha realizado el estudio de reducción de superficie mojada mediante la inserción de *steps* en el fondo, esto es debido a que inicialmente se pretendía una propulsión mediante *waterjets*, para la cual no es conveniente el uso de *steps*, puesto que puede fácilmente producirse aireación en el propulsor, lo que lleva a una disminución de empuje y una aceleración del motor.

4.1. Aspectos tenidos en cuenta en el diseño

En el proceso de generación de las formas de la carena se deben adaptar las terminaciones de las flotaciones y de los contornos de proa y popa a las peculiaridades de la embarcación. Estas terminaciones ejercen una gran influencia en el comportamiento hidrodinámico del buque, generando en este punto del proyecto un bucle iterativo de mejora del trazado de las formas, ayudado de las herramientas de modelado (análisis y ajuste de curvaturas) y análisis de la resistencia de remolque requerida por la carena (mediante *Maxsurf Resistance*).

Empezando por popa, las formas del casco están basadas en unas formas planas, rectas, y con cierto trimado apopante, así como con un espejo de popa recto. Estas formas, a medida que aproan van cogiendo una quilla más pronunciada, que se va afinando hasta cortar las olas en proa, las cuales facilitan la salida al planeo.

4.1.1. Flotaciones

El ángulo de entrada de la flotación de proyecto es muy importante desde el punto de vista de la resistencia. Existen formas de estimarlo en función de C_B o C_P .

El ángulo de salida entre la línea de flotación y el plano simetría no debe exceder de 20° para que no se presenten fenómenos de desprendimiento con la consiguiente formación de torbellinos. Si esto no es posible, debe mantenerse el ángulo, si las circunstancias lo permiten, en la mayor longitud posible y curvar más la flotación al final para mantener la zona de torbellinos lo más reducida posible. Lo indicado para la flotación de proyecto se aplica también a las líneas de flotación contiguas.

4.1.2. Contorno de proa

La intersección del perfil de proa con la flotación de proyecto determina la posición de la perpendicular de proa. Es conveniente procurar que la intersección de la flotación de proyecto con el contorno de proa forme un ángulo de 90° para que, en caso de error del peso en rosca de la embarcación, el calado sea diferente al lado previsto y por tanto también lo sea la eslora. Para paliar este inconveniente se puede recurrir a diseñar un contorno vertical en las proximidades de la flotación de proyecto.

Por encima de la flotación de proyecto el trazado de la roda, normalmente, debe poseer lanzamiento hacia proa. Este lanzamiento puede estar limitado por la imposición de una eslora total máxima para la embarcación, la cual restringe nuestra embarcación por tener que ocupar el mínimo volumen posible dentro del buque nodriza.

El lanzamiento otorgado a la embarcación, no obstante, permite alargar la rampa de acceso de proa, sin obstruir con ello la visibilidad del patrón.

4.1.3. Contorno de popa

Para este proyecto, las consideraciones que deben tenerse en cuenta en la zona de popa es el cierre de la embarcación mediante un espejo plano, aumentando el volumen interior de sala de máquinas. Esto, genera también un mayor volumen de carena y un aumento de la capacidad de carga para un mismo calado.

Desde el punto de vista de la resistencia al avance, es conveniente que la línea de flotación de proyecto termine lo más a popa posible para lograr la mayor eslora de flotación disponible. Esto a su vez, permite aumentar la eslora de la sala de máquinas, lo cual requiere un compromiso para asegurarse de que las colas propulsivas, una vez instaladas, no excedan la eslora máxima en el extremo de popa de la plataforma y no interfieran con los bañistas.

En los buques con popa de estampa ha de procurarse que ésta se sumerja lo menos posible para no aumentar de forma innecesaria la resistencia al avance.

Además, el contorno de popa está influenciado por el calado de proyecto y la altura de la línea de ejes sobre la quilla.

4.1.4. Forma de las secciones

Como anteriormente se ha comentado, las formas de la embarcación son bastante planas y rectas en la zona de popa, el tipo de casco de la embarcación es un híbrido entre una embarcación de planeo con líneas rápidas y una barcaza de remolque, con volúmenes grandes para mayor desplazamiento en un menor calado.

Como característica esta embarcación cuenta con unas secciones en proa con forma de V seccionadas a media altura por unas formas en U, hecho que permite una mayor amplitud de la rampa de carga. Por otro lado, en la zona de popa las secciones serán lo más amplias posible, con formas en U.

4.2. Modelado 3d

Es importante tener en cuenta que el modelado de una embarcación no tiene una solución única. Se parte de formas iniciales que se van modificando repetidamente hasta encontrar una solución que cumpla con los requerimientos y que satisfaga todos los aspectos necesarios. En este proceso, se busca llegar a una situación de compromiso en la que se logre un equilibrio óptimo entre los diferentes aspectos involucrados.

Para el diseño del casco se usará el programa *Maxsurf Modeler*, partiendo de una embarcación de planeo predefinido por la aplicación, a la cual se le irán modificando las formas hasta obtener unos parámetros adecuados.

4.3. Formas (Plano de formas)

Para poder apreciar mejor la información relativa a las formas de las superficies y las características de volumen del casco de una forma más intuitiva, adjunto en el Anexo A2 se representa el diseño del casco en un plano de formas.

4.4. Plano arreglo general (GA)

El plano de arreglo general (GA, por sus siglas en inglés) es un documento gráfico que muestra la distribución general de los elementos de la embarcación. Este plano se encuentra también en el Anexo A2.

A continuación, se muestran las vistas superior y longitudinal representadas en el plano.

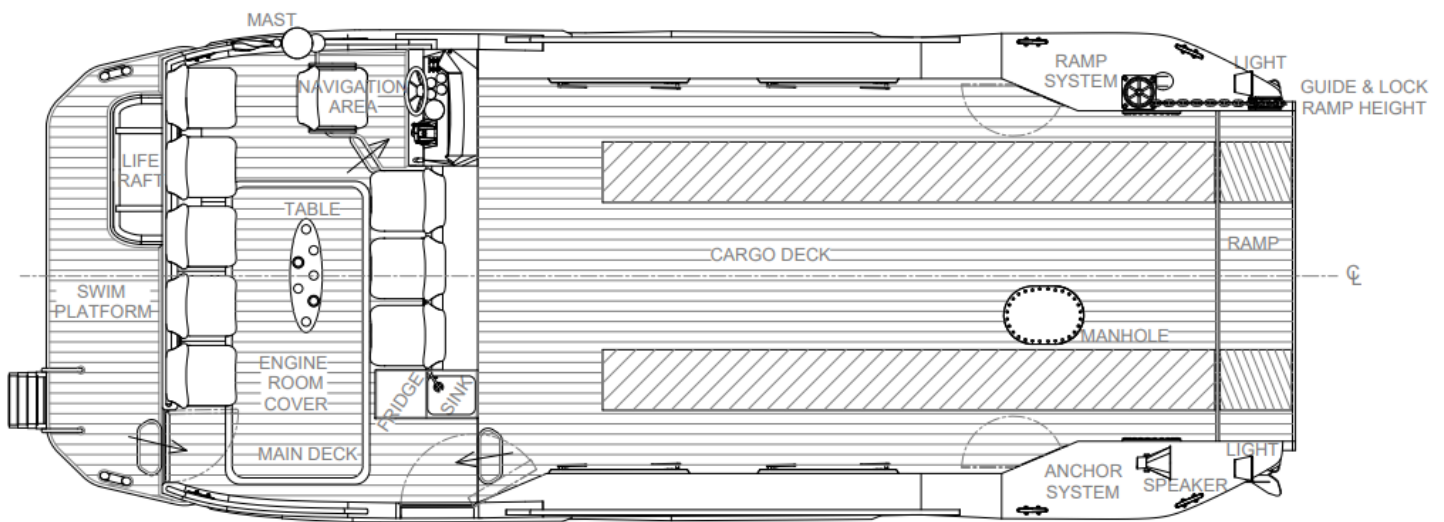


Figura 20. Vista superior de la embarcación.

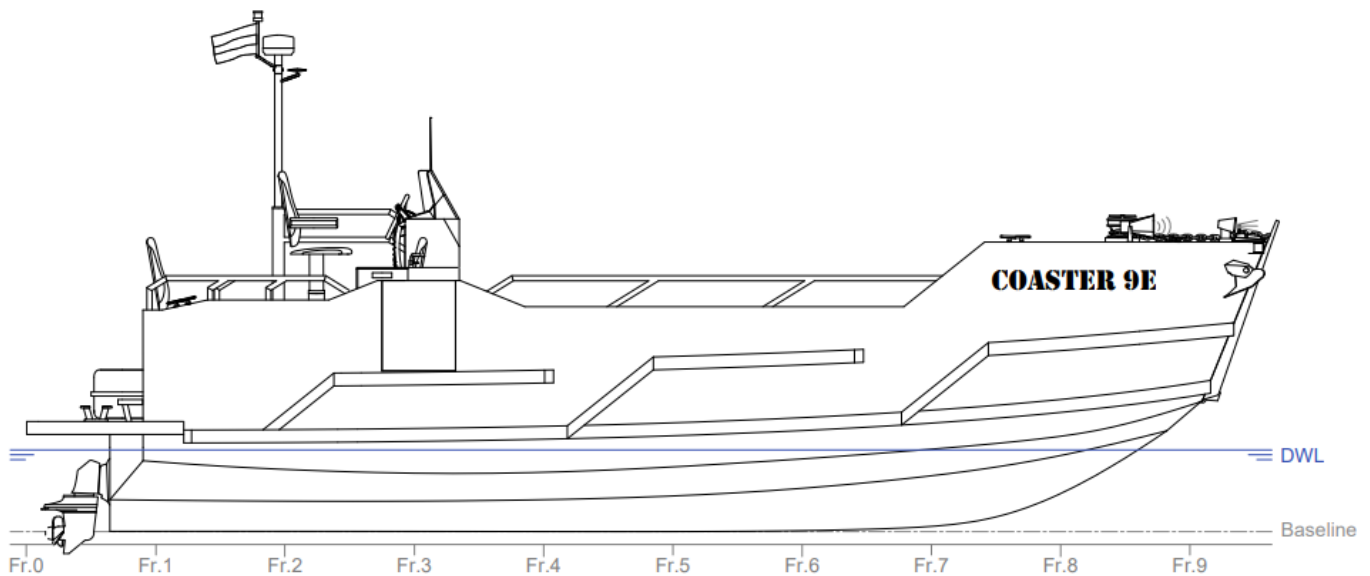


Figura 21. Vista longitudinal de la embarcación.

4.5. Vistas modelo 3D



Figura 22. Vistas en planta y perfil de la embarcación, con vehículo a bordo.

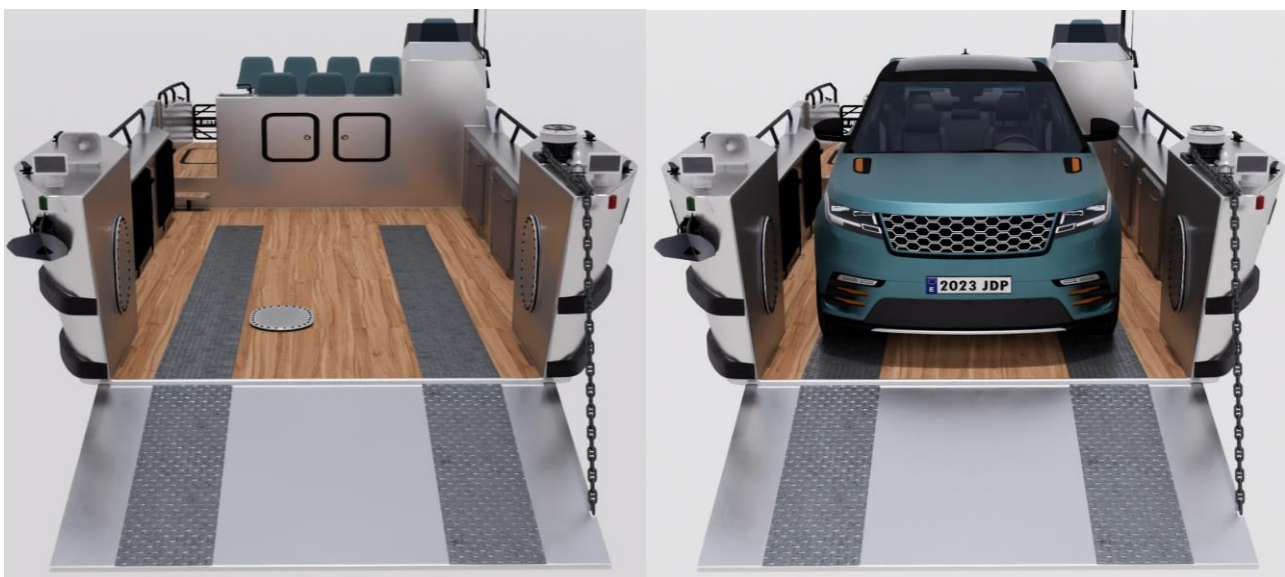


Figura 23. Vistas en alzado (con la rampa de proa abierta), con vehículo descargado y cargado.



Figura 24. Vista en perspectiva de la embarcación, con vehículo descargado y cargado.

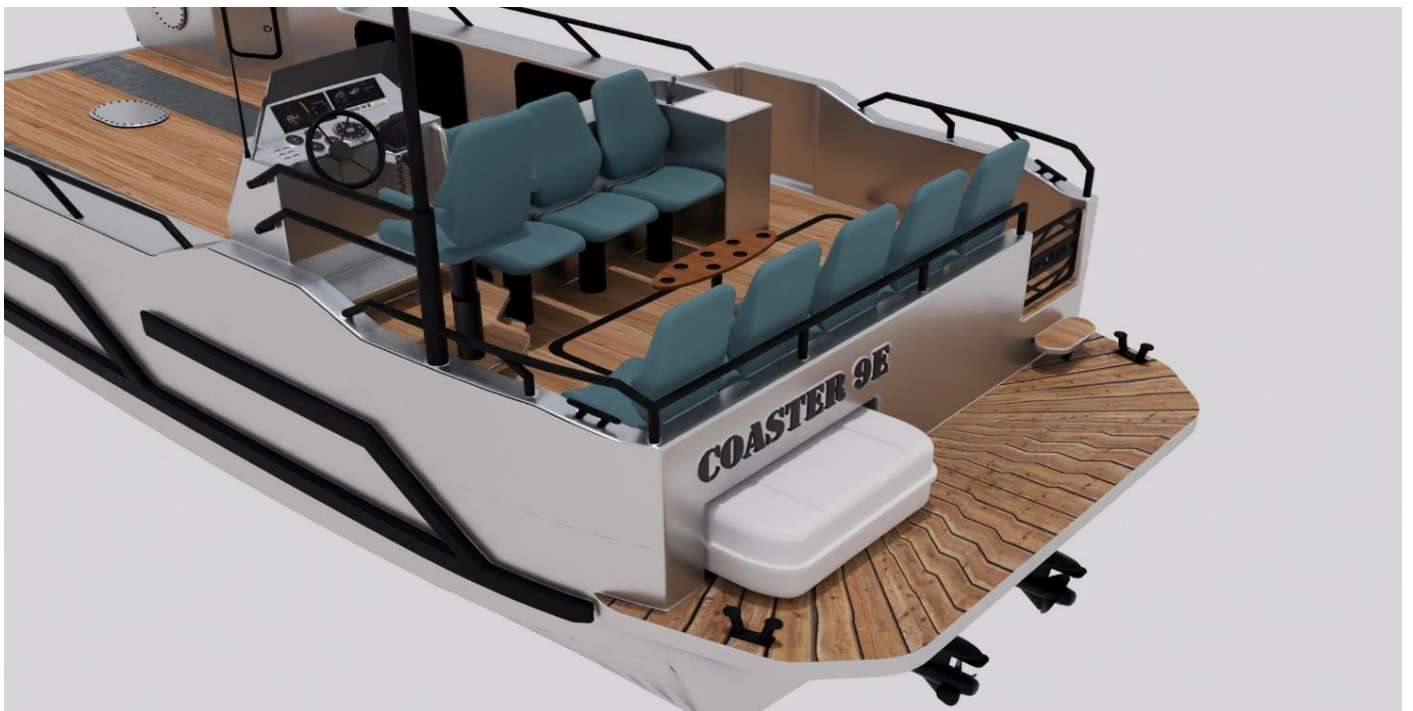


Figura 25. Vistas en perspectiva de la zona de popa, desde estribor y desde babor.



Figura 26. Vistas en detalle de amara de babor y amara de estribor.

En el interior de la amara de estribor va alojado el sistema de arriado y recogida del ancla, sobre este se instala un foco, para alumbrar la maniobra de carga y descarga; y un altavoz, para poder dar indicaciones durante las maniobras. Este también hace las veces de bocina.

En el interior de la amara de babor, se instala el sistema de arriado y recogida de la rampa. El cual mediante una cadena y un molinete se permite dar o recoger cadena.



Figura 27. Vista del puesto de gobierno, con vehículo todoterreno embarcado y desembarcado.

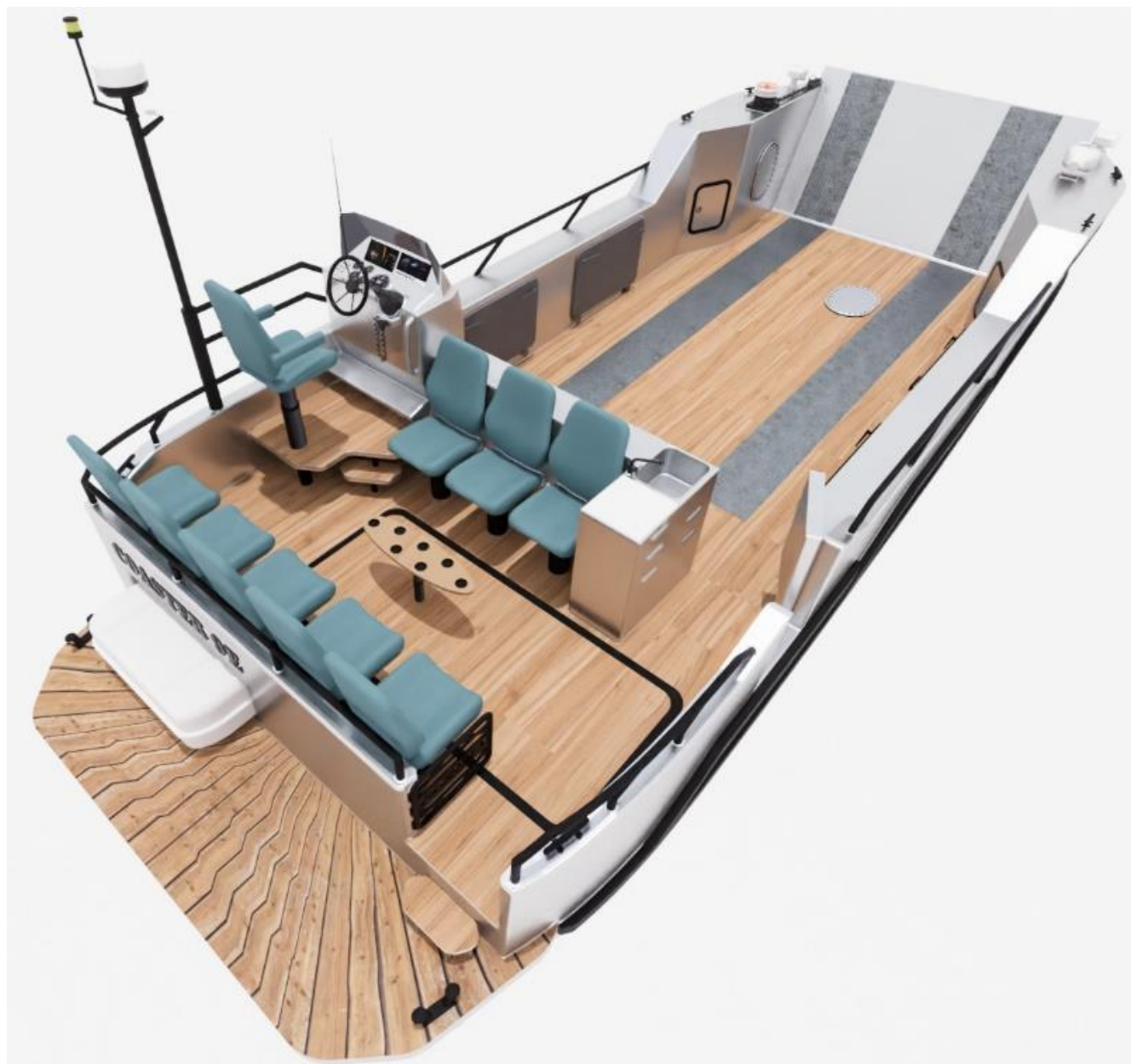


Figura 28. Vistas en perspectiva superior desde popa.

4.6. Renderizados del modelo 3D

A continuación, se muestran unas imágenes foto-realísticas de la embarcación en distintas condiciones como son:

- Embarcación fondeada cerca del buque nodriza.
- En navegación.
- En operativa diurna y nocturna.
- Fondeando en bahía.



Figura 29. Embarcación fondeada, con vehículo descargado y cargado.



Figura 30. Renderizado en navegación a la costa, con deportivo embarcado en cubierta.



Figura 31. Embarcación fondeada junto a isla paradisíaca, con vehículo todoterreno embarcado.

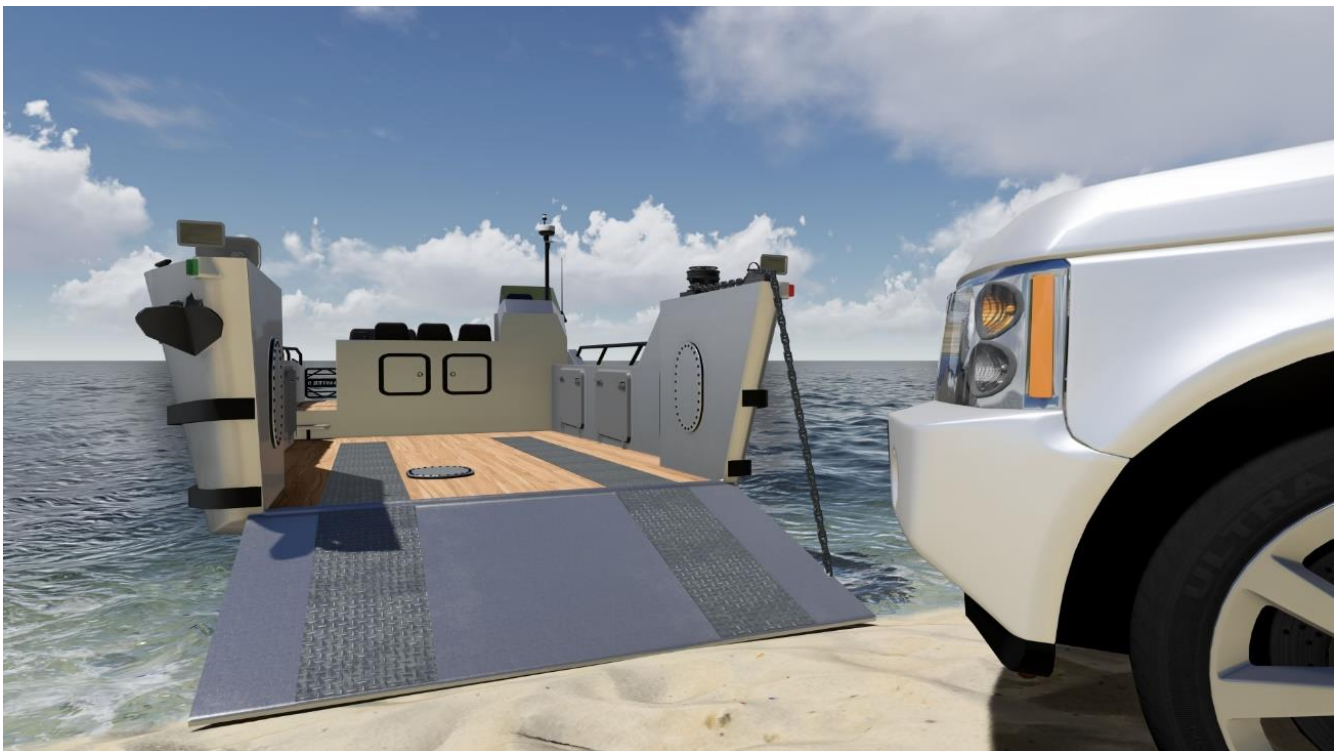


Figura 32. Renderizado con vista frontal y lateral de embarque diurno desde playa.



Figura 33. Embarque nocturno con vista desde el puesto de gobierno y desde la costa.



Figura 34. Pasajeros disfrutando de un baño con la embarcación fondeada.



Figura 35. Vista desde puesto de gobierno, de regreso al buque nodriza.

Capítulo 5. Diseño estructural

5.1. Material de construcción

Una vez conceptualizada la embarcación se debe escoger el material con el cual posteriormente va a ser construida la embarcación. En función del material empleado y el tipo de fabricación la estructura y escantillonado tendrá una forma u otra.

Debe destacarse que la gran mayoría de las embarcaciones de recreo y pequeñas embarcaciones de trabajo suelen ser construidas en fibra de vidrio y algunas veces en aluminio. A continuación, se realiza un pequeño análisis con las ventajas y desventajas de estos dos materiales.

El **aluminio** es un material comúnmente utilizado en la construcción de embarcaciones, y presenta una serie de ventajas y desventajas que es importante tener en cuenta.

Ventajas:

- **Ligereza:** El aluminio es un material muy liviano, lo que significa que las embarcaciones construidas con aluminio tienen un bajo peso y pueden ser más eficientes en cuanto al consumo de combustible.
- **Resistencia a la corrosión:** Las embarcaciones están expuestas al agua salada y otros elementos corrosivos, por lo que la resistencia a la corrosión del aluminio lo hace un material atractivo para la construcción de embarcaciones.
- **Durabilidad:** El aluminio es un material resistente y duradero, lo que lo hace ideal para la construcción de embarcaciones que requieren una alta resistencia a la tensión.
- **Facilidad de mantenimiento:** El aluminio es fácil de limpiar y mantener, lo que es importante en las embarcaciones donde la corrosión y la acumulación de suciedad pueden ser un problema.
- **Flexibilidad en el diseño:** El aluminio es un material versátil que se puede moldear en una amplia variedad de formas y tamaños, lo que permite una gran flexibilidad en el diseño de las embarcaciones.
- **Reciclabilidad:** El aluminio es altamente reciclable, lo que lo convierte en una opción más sostenible que otros materiales para la construcción de embarcaciones.

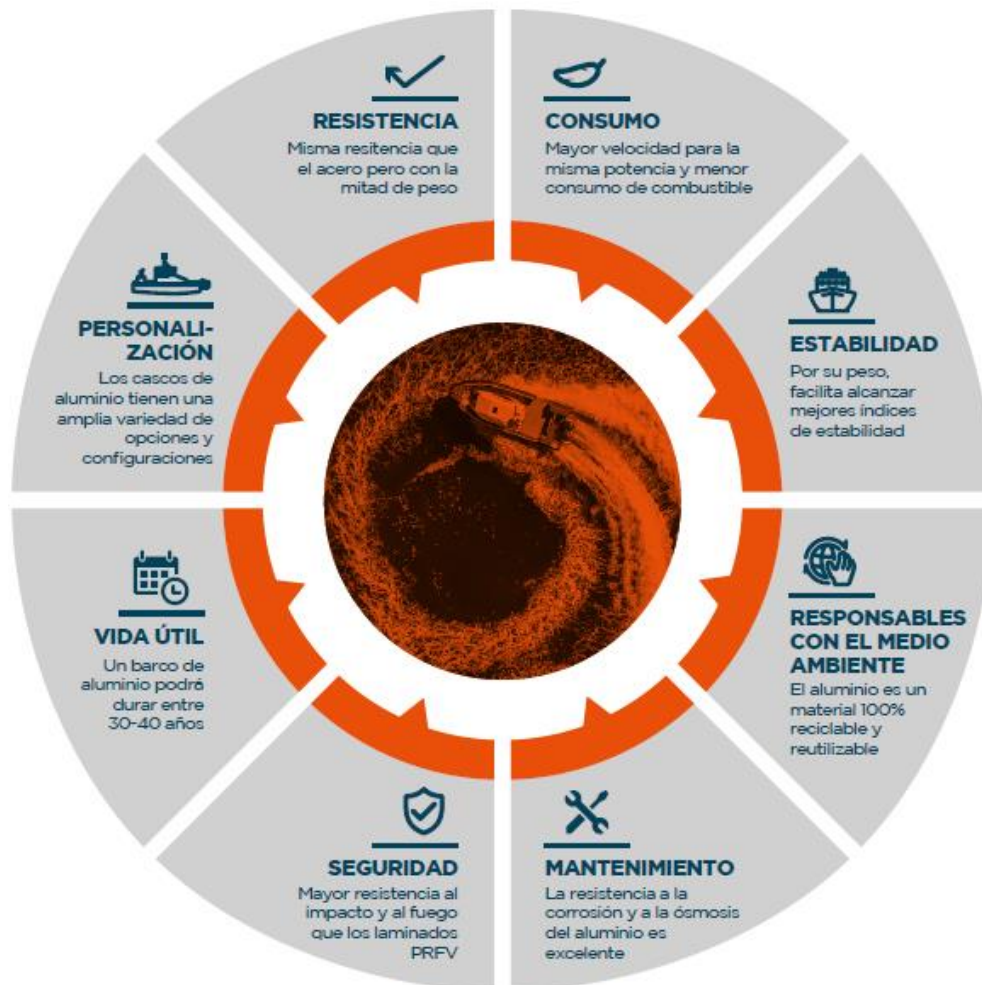


Figura 36. Ventajas de construcción en aluminio. Fuente: Aister.

Desventajas:

- Costo: El aluminio es más costoso que otros materiales comúnmente utilizados en la construcción de embarcaciones, como la madera o la fibra de vidrio.
- Conductividad térmica: El aluminio es un buen conductor térmico, lo que significa que puede ser frío en invierno y caliente en verano, lo que puede ser incómodo para los pasajeros.
- Dificultad en la soldadura: La soldadura de aluminio puede ser más complicada que la de otros materiales, lo que puede aumentar el costo de la construcción y el mantenimiento de las embarcaciones.
- Corrosión galvánica: Cuando se utiliza aluminio junto con otros materiales, como el acero inoxidable, puede producirse un fenómeno llamado corrosión galvánica, que puede dañar la embarcación.

En resumen, el aluminio es un material muy adecuado para la construcción de embarcaciones debido a su combinación única de propiedades que lo hacen ligero, resistente y duradero, fácil de mantener y versátil en el diseño. Sin embargo, también presenta algunas desventajas, como su costo y su conductividad térmica, que deben tenerse en cuenta al decidir utilizarlo en la construcción de una embarcación.

La **fibra de vidrio** es uno de los materiales compuestos más utilizados en la construcción de embarcaciones. A continuación, se presentan algunas de sus ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Mayor resistencia y rigidez: la fibra de vidrio es un material más resistente y rígido que la madera o el acero, lo que le permite soportar cargas estructurales significativas.
- Menor peso: la fibra de vidrio es más ligera que muchos otros materiales, lo que reduce el peso total de la embarcación y mejora su rendimiento en términos de velocidad y eficiencia de combustible.
- Flexibilidad de diseño: la fibra de vidrio puede ser moldeada en formas complejas, lo que permite diseños más flexibles y creativos que con otros materiales.
- Resistencia a la corrosión: la fibra de vidrio es resistente a la corrosión y no se oxida, lo que reduce el mantenimiento y prolonga la vida útil de la embarcación.
- Menor costo: en comparación con otros materiales compuestos, la fibra de vidrio es relativamente económica y fácil de conseguir.

Desventajas:

- Propensión a la delaminación: la fibra de vidrio puede delaminarse con el tiempo, especialmente si se expone a la humedad o se somete a vibraciones severas.
- Dificultad en reparaciones estructurales: la reparación de la fibra de vidrio puede ser difícil y costosa, especialmente si se requiere una reparación estructural importante.
- Experiencia técnica requerida: la construcción de embarcaciones con fibra de vidrio requiere habilidades técnicas especializadas y experiencia, lo que puede limitar la disponibilidad de constructores y aumentar los costos laborales.
- Impacto ambiental: los materiales de fibra de vidrio pueden ser tóxicos y dañinos para el medio ambiente si se manejan incorrectamente.

En general, la fibra de vidrio es una opción popular en la construcción de embarcaciones debido a su resistencia, peso ligero, flexibilidad de diseño y costo relativamente bajo. Sin embargo, también tiene algunas desventajas importantes, como la posibilidad de delaminación y la dificultad en las reparaciones estructurales.

Teniendo en cuenta los puntos vistos anteriormente, el aluminio se perfila como el competidor con mejores ventajas, entre las cuales destacan la baja densidad junto la alta resistencia. Por lo que se decide emplear el aluminio como material base en la construcción de la embarcación.

5.1.1. Aluminio

El aluminio es un metal ligero y resistente a la corrosión que se utiliza ampliamente en la fabricación de una variedad de productos y aplicaciones. A continuación, se expone con mayor detalle las propiedades del aluminio.

El aluminio ofrece una interesante combinación de propiedades. Sus estructuras pueden pesar la mitad que el acero y hasta un diez por ciento menos que la fibra de vidrio. En cuanto a la resistencia a impactos, es un 40% mejor que el acero, y hasta un 50% mejor que la fibra de vidrio. Como punto en contra, respecto a la fibra, es su menor resistencia a pequeños impactos. Sin embargo, es más fácil efectuar reparaciones y modificaciones importantes en aluminio que en fibra de vidrio.

Al igual que en la fibra de vidrio, las uniones en aluminio se deben considerar cuidadosamente en vista de la reducción de la resistencia en las soldaduras.

La ductilidad del aluminio le permite ser más tolerante que la fibra de vidrio en deportes duros, pero las deflexiones deben mantenerse más bajas que en otros materiales para minimizar las tensiones donde la carga repetitiva puede provocar fatiga.

Mediante la soldadura conjunta de los elementos estructurales con el recubrimiento de las chapas del forro, genera un único bloque resistente, permitiendo reducir las fatigas del conjunto y generando una mejor resistencia estructural.

Al lograr tener una estructura de menor densidad, permite obtener un consumo más reducido, así como mejor la maniobrabilidad gracias a la ligereza.

En cuanto a la reparación en aluminio es bastante sencilla. Si el casco de la embarcación sufre una abolladura, se puede solucionar en pocas horas cortando la lámina dañada y soldando una nueva en su lugar. De esta manera, la embarcación queda restaurada a su estado original y garantizando la resistencia del casco.

El aluminio no requiere ser tratado o protegido con pinturas, dado que es altamente resistente a la corrosión y la exposición directa a los rayos del sol.

Las aleaciones sin tratamiento térmico (*Cast aluminum*) suelen ser aplicadas en chapas, con el magnesio (Mg) como principal componente de aleación, conteniendo también silicio (Si) y manganeso (Mn).

Las aleaciones con tratamiento térmico (*Wrought aluminum*) suelen ser aplicadas en extrusiones, con el silicio (Si) como principal componente de aleación, conteniendo también magnesio (Mg) y manganeso (Mn).

Las series de aluminio se refieren a la clasificación numérica que se les da a las aleaciones de aluminio en función de su contenido principal de aleación. A continuación, se describen algunas de las series de aluminio más comunes y sus principales usos:

- Serie 1000: Esta serie se compone principalmente de aluminio puro, con un contenido de aluminio del 99% o superior. Debido a su bajo contenido de aleación, esta serie es fácil de

trabajar y se utiliza comúnmente en aplicaciones que requieren alta conductividad eléctrica, como cables eléctricos, láminas de embalaje y utensilios de cocina.

- Serie 2000: como principal aleante emplea el cobre y se utiliza en aplicaciones que requieren alta resistencia, como en piezas de aviones, estructuras de puentes y bicicletas.
- Serie 3000: Esta serie contiene principalmente manganeso como aleante y se utiliza en aplicaciones que requieren alta resistencia a la corrosión, como en la fabricación de paneles de construcción, tuberías y piezas de automóviles.
- Serie 4000: Esta serie contiene principalmente silicio como aleante y se utiliza en aplicaciones de soldadura.
- Serie 5000: Esta serie contiene magnesio como su principal aleante y se utiliza en aplicaciones que requieren alta resistencia y dureza, como en la fabricación de piezas de barcos, aviones y estructuras arquitectónicas.
- Serie 6000: Esta serie es una de las más comunes y se compone principalmente de magnesio y silicio. Se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, desde marcos de ventanas y puertas hasta estructuras de edificios, y es conocida por su alta resistencia y versatilidad.
- Serie 7000: Esta serie contiene zinc como su principal aleante y se utiliza en aplicaciones que requieren una alta resistencia a la fatiga y una excelente resistencia a la corrosión, como en la fabricación de piezas de aviones y bicicletas de alta gama.
- Serie 8000: Esta serie contiene principalmente otros elementos como hierro, cromo y litio, y se utiliza en aplicaciones de alta resistencia y rigidez, como son piezas aeroespaciales.

En resumen, las series de aluminio se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones debido a las propiedades únicas de cada aleación, desde la alta resistencia y dureza hasta la resistencia a la corrosión y la conductividad eléctrica. Pero, para el caso que nos ocupa, emplearemos las series 5000, 6000, 7000 y 8000.

La normativa aplicable ya nos advierte de los requisitos mínimos que la aleación de aluminio que empleemos debe tener. En la UNE-EN ISO 12215-3 (2019) se indica que las aleaciones de aluminio empleadas deben ser resistentes al agua de mar. El porcentaje de carbono tendrá un alto efecto significativo en las propiedades mecánicas, las cuales podrían verse mermadas tras la soldadura.

Dentro de las diferentes aleaciones de material posibles, unas de las más empleadas en el sector de la construcción naval, por sus buenas propiedades en ambientes marinos, son las siguientes:

- Para planchas: AL-5083 H321
- Para extrusiones: AL-6083 T6

Estas serán entonces las que se empleen para la fabricación de la embarcación en rasgos generales, a excepción de aquellas zonas donde otro material es especificado, como es la rampa de proa y el refuerzo de la quilla.

5.1.2. Selección material de la quilla

La quilla no estará concebida para estar sometida a abrasión, sí que existen algunos tipos de *landing craft* que están destinadas a embarrancar cuando llegan a la playa, pero no será el caso de esta, la cual se mantendrá con flotabilidad sobre el agua en los momentos de carga y descarga. Al tener apoyada la rampa sobre el extremo de proa, ésta realmente trabajará a compresión.

Por la naturaleza del elemento, este será fabricado en un material de mayor dureza que el resto del casco, para poder soportar mayores esfuerzos en caso de topar con alguna roca o elemento en superficie. Como se requiere que la embarcación sea lo más ligera posible, a la vez que rígida, ya se ha preestablecido que se debe emplear alguna aleación de aluminio como material de construcción.

Con el fin de seleccionar adecuadamente el material que utilizaremos en la fabricación de la quilla, emplearemos la base de datos de la herramienta informática *GRANTA EduPack* (versión 2021) de la compañía *Ansys* para realizar un estudio de las diferentes aleaciones que encontramos actualmente en el mercado.

Inicialmente, seleccionaremos de entre todos los materiales aquellas aleaciones que tengan una buena resistencia al ambiente marino, como ya hemos comentado anteriormente, las que pertenecen a las series 5000, 6000, 7000 y 8000 del aluminio. En una segunda etapa de selección filtraremos los materiales por el módulo de Young y su densidad, más tarde, en una tercera etapa organizaremos los elementos filtrados en función del coste, para finalmente encontrar el material adecuado.

A continuación, se busca la función que maximiza la resistencia del material por su densidad. Partiendo de la ecuación del esfuerzo, la cual es la fuerza aplicada partido por unidad de superficie,

$$\sigma_{\text{crítica}} = \frac{F}{A} = \frac{4\pi^2 \cdot E \cdot I}{A \cdot L^2} \quad (1.1)$$

donde,

σ = esfuerzo

F = fuerza

A = área

E = módulo de elasticidad

I = momento de inercia

L = longitud de la pieza

ρ = densidad del material

Y, sabiendo también que la masa es igual a la sección por la longitud y por la densidad,

$$m = A \cdot L \cdot \rho \quad (1.2)$$

Aislando el área de la ecuación (1.1) y determinando que la tensión crítica del material es igual al límite elástico ($\sigma_{\text{crítica}} = \sigma_y$), lo que indica que cualquier tensión aplicada que supere este valor causará deformación plástica, obtenemos:

$$A = \frac{4\pi^2 \cdot E \cdot I}{\sigma_y \cdot L^2} \quad (1.3)$$

Debido a que la función objetivo es minimizar el peso, para obtener una quilla ligera y a su vez resistente a la compresión, sustituimos (1.2) en la ecuación (1.3) y obtenemos:

$$m = \frac{4\pi^2 \cdot E \cdot I}{\sigma_y \cdot L^2} \cdot L \cdot \rho \quad (1.4)$$

Siendo conocida la inercia para una sección de perfil concreta y reorganizando los términos conocidos,

$$m = \frac{4\pi^2 \cdot I}{L} \cdot \frac{E \cdot \rho}{\sigma_y} \quad (1.5)$$

Debemos evaluar la recta que delimita nuestra función, conociendo que el factor $E \cdot \rho / \sigma_y$ será la pendiente de la recta y conociendo que la ecuación de una recta es:

$$y = m' \cdot x \quad (1.6)$$

Se debe minimizar la siguiente ecuación,

$$m' = \frac{E \cdot \rho}{\sigma_y} \quad (1.7)$$

$$E \cdot \rho = m' \cdot \sigma_y \quad (1.8)$$

$$\text{Log}(E) + \text{Log}(\rho) = m' \cdot \text{Log}(\sigma_y) \quad (1.9)$$

$$\text{Log}(E \cdot \rho) = m' \cdot \text{Log}(\sigma_y) \quad (1.10)$$

Generamos entonces la gráfica donde, en el eje Y encontraremos el $\text{Log}(E \cdot \rho)$, y en el eje X el $\text{Log}(\sigma_y)$. Este gráfico quedará limitado por una recta de pendiente 1, la cual iremos ajustando hacia las posiciones más elevadas de σ_y , logrando reducir de 181 elementos hasta un número manejable de 7 aleaciones.

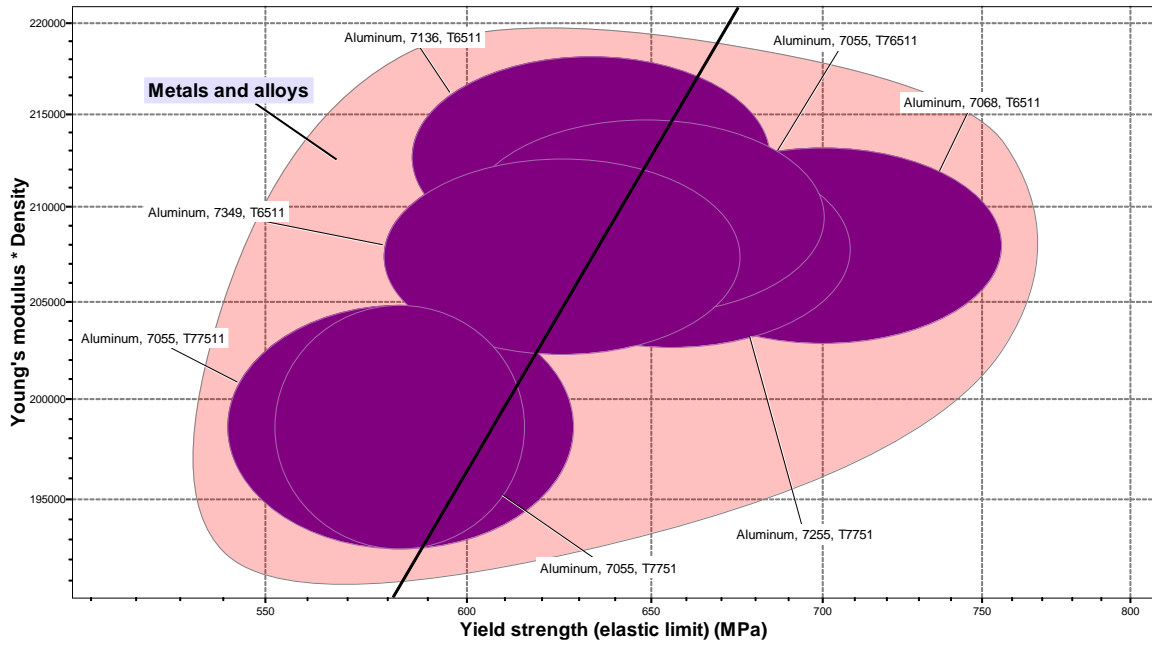


Figura 37. Gráfico E-ρ - σ_y, para el filtrado de las aleaciones.

A continuación, se filtra el resultado obtenido por precio de coste del material, en función de su densidad.

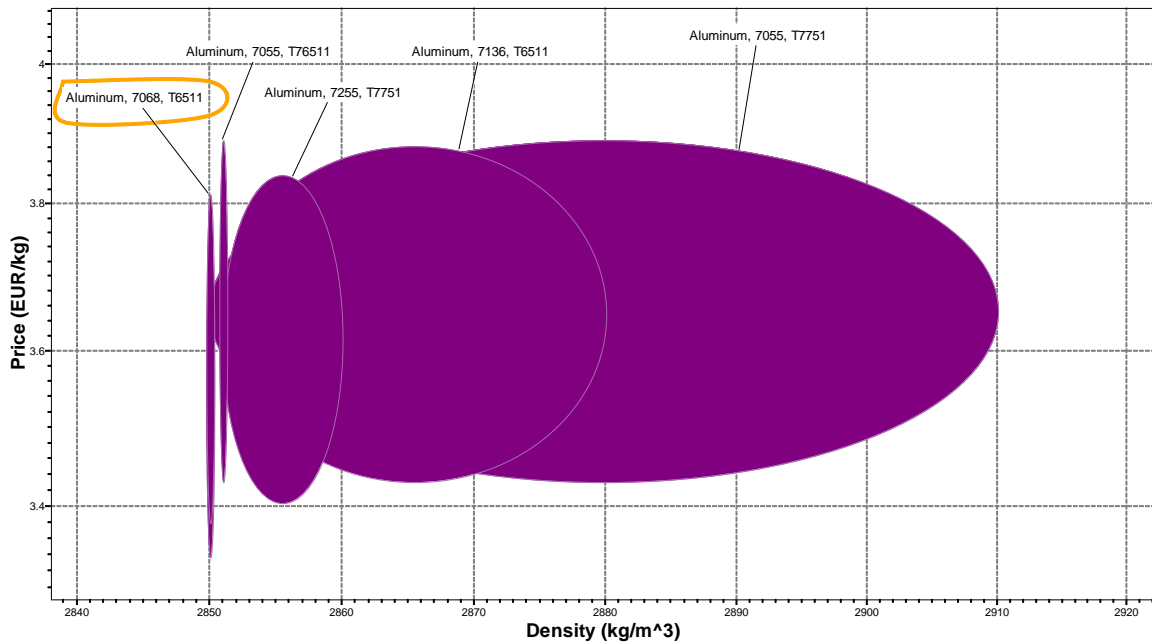


Figura 38. Gráfico Precio-Densidad, para selección final.

De este gráfico podemos observar que todas las aleaciones tienen un rango de precios muy similares, por lo que se opta por escoger aquel que minimice el peso del conjunto, es decir, con una menor densidad. En este caso el AL-7068 T6511 (Ver ficha técnica en el Anexo A3.2).

5.2. Composición de la estructura

5.2.1. Definición de la estructura

La estructura de la embarcación será tipo transversal, siendo reforzada por longitudinales de fondo y costado, donde descansan las cuadernas y mamparos. El suelo estructural, las varengas profundas y las bancadas contribuirán a reforzar el conjunto, ayudadas también por la tapa de regala sobre la cubierta. Todo ello debe apoyarse sobre la quilla central y los codillos.

Una vez seleccionado el material, se debe determinar y comprobar la resistencia del escantillón del panelado y los refuerzos que sostendrán dicho panelado. Para ello se debe identificar las cargas máximas a las que estará sometida la estructura, tales como las cargas dinámicas debidas a la presión del agua, del oleaje, o de los pesos en cubierta.

Posteriormente se realizan los cálculos de tensiones, esfuerzos y deformaciones que actúan en el panelado y en los refuerzos, debido a las cargas aplicadas, verificando que estos no superen los límites admisibles: los esfuerzos y deformaciones calculados deben compararse con los límites admisibles según la normativa.

En caso de que los esfuerzos y deformaciones superen los límites admisibles, se deben modificar las dimensiones de los refuerzos o la disposición de estos hasta cumplir con los límites admisibles.

Es importante destacar que estos cálculos se deben realizar con precisión y teniendo en cuenta todas las variables que puedan influir en la resistencia del panelado y de los refuerzos, como son los espesores, dimensiones, tipo de sección o distribución.

El método de estudio para el análisis estructural y determinación del escantillonado empleado es el método simple, el cual permite generar un reforzado adecuado para este nivel del proyecto, siendo posteriormente necesario optimizarlo. Este método es adecuado para construcciones metálicas, y en su caso aleaciones de aluminio.

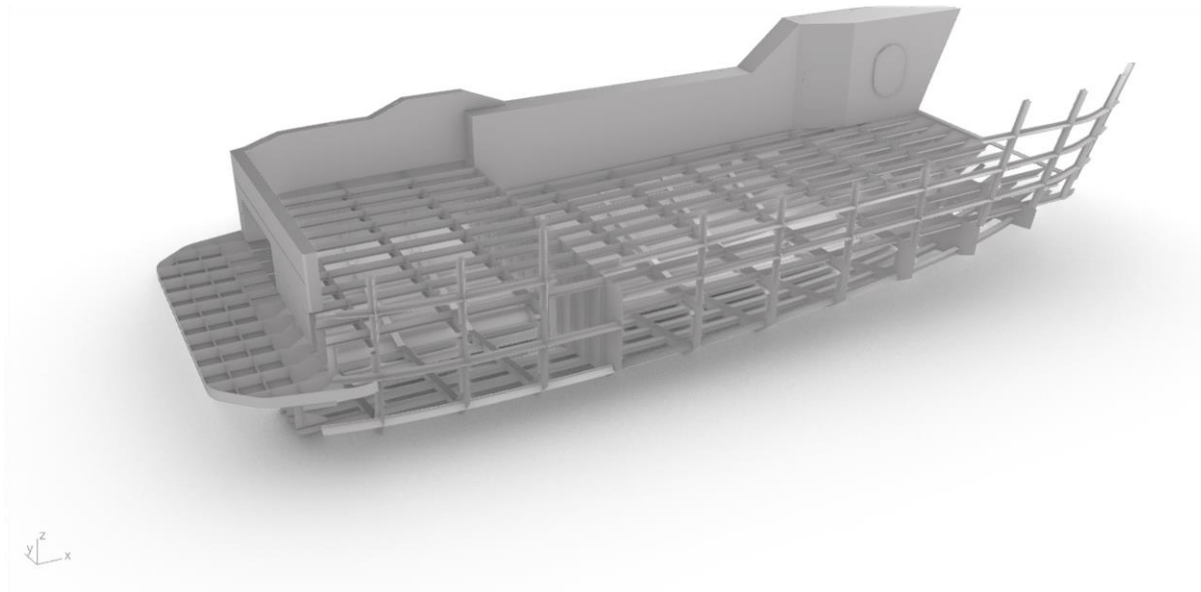


Figura 39. Vista en perspectiva de los elementos estructurales bajo cubierta.

La estructura consta de 10 cuadernas: las 4 primeras, correspondientes a la cámara de máquinas, separados 700 mm entre ellas, y los 6 de proa distanciados 800 mm entre sí. Estas descansan sobre el emparrillado de longitudinales y chapas del forro.

Disposición de mamparos: Se dispondrá de dos mamparos delimitando los espacios estancos de la embarcación, abarcando desde el fondo hasta la cubierta resistente.

Empezando desde popa, el primer mamparo estará situado a proa de la cámara de máquinas; y el segundo, mamparo del pique de proa, en la cuaderna 9ª (a 7350 mm de popa). Este mamparo debe estar situado a una distancia de la perpendicular de proa de al menos $0,05 \cdot L_{WL}$ y de no más de $0,05 \cdot L_{WL} + 3$ m, o 5,5 m.³

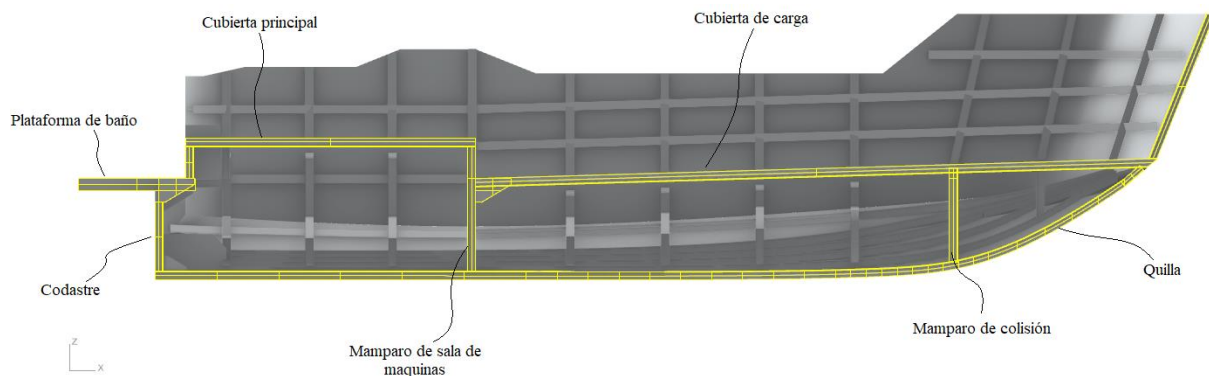


Figura 40. Vista longitudinal de los principales elementos estructurales de la embarcación.

Para el achique del casco siguiendo las directrices la normativa UNE 12215-6 (apartado 8.5), todas las uniones de los refuerzos de la estructura están acabados que tal manera que no haya concentración de tensiones. De igual manera, dichas uniones deben permitir que el agua no se estanque y permitir mediante aligeramientos y/o despuntes el paso del agua desde todas las partes de la sentina hasta las bombas de aspiración.

En el apartado 8.6 de la misma normativa se habla de los espacios de máquinas, en los cuales los motores propulsores deben asegurarse firmemente a la estructura del casco mediante polines de escantillones adecuados para resistir las siguientes cargas: la masa del motor, el momento torsor provocado por el conjunto hélice-motor y las vibraciones causadas.

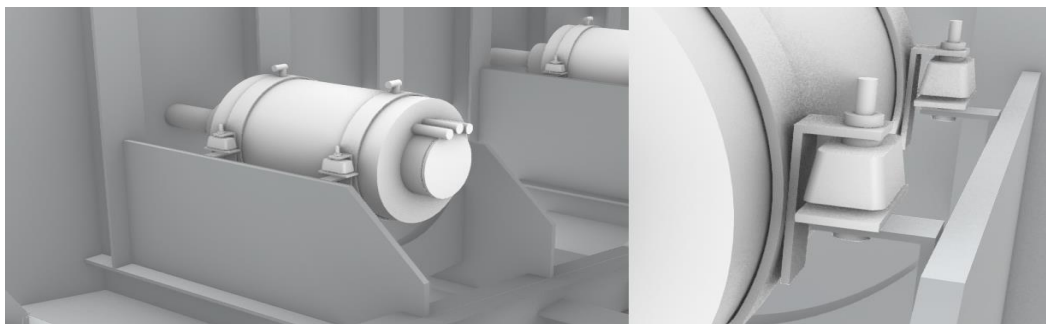


Figura 41. Vista en perspectiva de la bancada de los motores propulsores y detalle de fijación.

³ Según la normativa de Bureau Veritas NR500 – Part B, Sec. 1, Art. 2.

5.2.2. Hoja de aplicación de la norma ISO 12215-5

Tipo de embarcación	Descripción		Marcar la celda valida
Tipo de embarcación	Monocasco		X
	Multicasco		-
Embarcación a motor	Desplazamiento		-
	Planeadora		X
Embarcación a vela	$k_{SL} = 1$		-
	$k_{SL} > 1$		-
Material de construcción	Acero		-
	Aluminio		X
	Madera		-
	FRP		-
Datos principales de la embarcación	Símbolo	Unidad	Valor
- Eslora del casco	L_H	m	9.65
- Eslora en la flotación a plena carta	L_{WL}	m	8.80
- Manga del casco	B_H	m	3.85
- Manga en la flotación a plena carga	B_{WL}	m	3.85
- Manga en el pantoque	B_C	m	3.70
- Masa del desplazamiento en carga de la embarcación	m_{LDC}	kg	10186
- Velocidad máxima a plena carga	V	nudos	14
- Calado máximo del cuerpo de la canoa	T_C	m	0.61
- Astilla muerta a 0,4 L_{WL} (únicamente planeadoras)	$\beta_{0,4}$	grados	14
- Máximo par adrizante (únicamente planeadoras)	$GZ_{max} 60$	m	0.594
Categoría de diseño:	Descripción	k_{DC}	Marcar celda
	A	1,00	-
	B	0,80	-
	C	0,60	X
	D	0,40	-
Tipo de utilización	Descripción		Marcar celda
	Placer / Chárter		-
	Embarcación de servicio de utilización ligera	Utilizar anexo I	X
Embarcación de servicio de utilización intensa	-		

Tabla 4. Hoja de aplicación de la norma ISO 12215-5.

5.2.3. Presiones de diseño

Para poder escantillonar las chapas y refuerzos que formarán la estructura se debe hacer el cálculo de las presiones de diseño que afectan a la embarcación.

Siguiendo la normativa UNE-EN ISO 12215-5:2019, para dimensionar dichas presiones se debe calcular unos parámetros correctivos que permiten ajustar correctamente las presiones obtenidas a partir de las fórmulas de la normativa.

Estos parámetros tienen en cuenta el tipo de navegación según la categoría de diseño; el material de construcción; el tipo de panel, según sea de fondo o costado; la posición longitudinal y altura del panel que se está estudiando; la relación de aspecto de dicho panel (en función de las distancias entre refuerzos sobre los que irá soldados).

A continuación, en la tabla 5, se resumen dichas presiones, las cuales pueden verse definidas en mayor medida en el anexo A4.1.

FONDO	CUBIERTA	COSTADO	SUPERESTRUCTURA
69.70 kN/m ²	22.53 kN/m ²	22.53 kN/m ²	15.09 kN/m ²

Tabla 5. Presiones de diseño.

5.2.4. Escantillonado y refuerzos

Partiendo de las presiones de diseño definidas en el apartado anterior, y teniendo en cuenta las propiedades de la aleación de aluminio empleada para la construcción de la embarcación, en la tabla 6 se define el escantillonado de las distintas planchas según correspondan al fondo, la cubierta, el costado o de superestructura.⁴

Tensión de diseño: 112.5 N/mm²

ESCANTILLONADO	Espesor mínimo	Espesor laminado
FONDO	7.65 mm	8 mm
CUBIERTA	4.35 mm	5 mm
COSTADO	4.35 mm	5 mm
SUPERESTRUCTURA	3.56 mm	4 mm

Tabla 6. Escantillonado de planchas.

Pese al requerimiento de emplear un espesor mínimo para cada tipo de plancha, la normativa también establece un espesor mínimo general para la embarcación que en ningún caso podrá verse mermado. Como se expone a continuación, esto interfiere con el escantillonado de los mamparos.

⁴ Escantillonado definido en mayor medida en el anexo A4.2.

En cuanto al dimensionado del espesor de los mamparos estancos, la normativa define un espesor mínimo en función de la orientación de los refuerzos. En nuestro caso se obtiene un espesor mínimo de 2 mm, el cual se ve incrementado a 4 mm, por el requerimiento de espesor mínimo general y con el objetivo de reducir la cantidad de espesores de plancha en el astillero (ver figura 42).

Presion Mamparos estancos		
	Pwb	14 kN/m2
	hb	2 m
altura panel	H	3 m
$t_p = b \times k_c \times \sqrt{\frac{P \times k_{2b}}{1000 \times \sigma_d}}$		
Espesor mínimo	1.78 mm	
Espesor de plancha	4.00 mm	Cumple

Figura 42. Cálculo de presiones y escantillonado de mamparos estancos.

Por lo que respecta a los rigidizadores de la estructura, se emplearán extrusiones en T de 70x70x6 para delimitar las diferentes chapas que conformarán la estructura. Como en los anteriores apartados, se recomienda consultar anexo A4.3, para más información.

En función de las presiones de diseño, la aleación del material (por sus propiedades de resistencia), la inercia que genera por su sección y por la curvatura de los paneles, la normativa establece si un tipo de rigidizador es apto para soportar los esfuerzos.

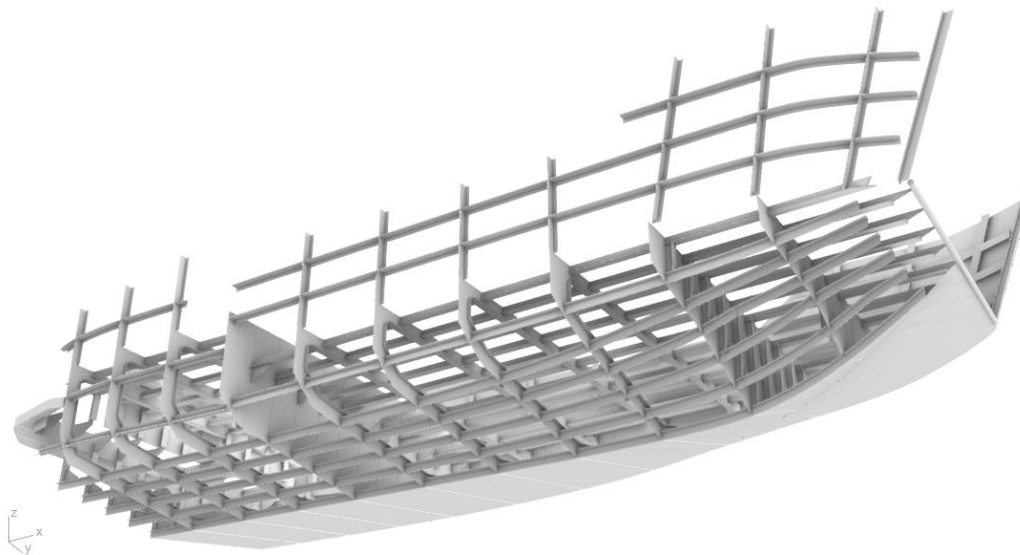


Figura 43. Vista en contrapicado de la estructura.

Capítulo 6. Sistema propulsivo

6.1. Empleo de propulsión eléctrica

Basándonos en las características de la embarcación y el objetivo de construcción de ésta, se establece como método propulsivo un sistema eléctrico, en auge en el sector de la automoción en pleno siglo XXI.

En vista de la reducida autonomía necesaria para operar la embarcación en trayectos cortos desde el buque nodriza a tierra firme y de nuevo de tierra hasta el buque, permiten una perfecta sinergia con la tecnología propulsiva en cuestión, ya que uno de los principales inconvenientes para la propulsión eléctrica es la imposibilidad de almacenar una gran cantidad de energía, dentro de unos límites razonables a nivel económico y de desplazamiento; dado el elevado peso y coste de las baterías.

Otro motivo importante es la descarbonización de los puertos. En los años venideros, la normativa obligará a emplear energías renovables, limpias y sostenibles para la navegación dentro de las distintas zonas portuarias y áreas marítimas determinadas como sensibles y que, con el paso de los años, se prevé que dichas zonas aumenten tanto en número como en tamaño.



Figura 44. Embarcación con propulsión 100% eléctrica. Fuente: Xshore.

En un ejercicio por intentar adelantarnos a dichos episodios, dado el longevo periodo de duración de la embarcación diseñada, se pretende apostar por las energías verdes con la finalidad de anticiparnos al futuro hacia el cual nos dirigimos.

Dentro de las distintas fuentes de energía disponibles se han analizado y tenidas en cuenta diferentes alternativas al combustible convencional, tales como el hidrogeno, gas natural o biocarburantes, pero finalmente deciden descartarse por la falta de desarrollo suficiente en el momento en el que nos encontramos y por la falta de madurez tecnológica en el mercado actual. Aspectos técnicos como la seguridad, la economía del entorno y la regulación mediante una normativa vigente son algunos de los puntos tenidos en cuenta a la hora de tomar esta decisión.

6.2. Alternativas propulsivas

Para afrontar uno de los principales requerimientos del proyecto, como es el empleo de una propulsión respetuosa/eléctrica, lo primero que debe tenerse en cuenta es el cambio de paradigma. Se requiere una reeducación respecto al tipo de navegación consumida previamente.

En este nuevo estilo de navegación priman el bienestar, el placer, la tranquilidad y el respeto, por encima del consumismo y las prestaciones sobredimensionadas, con motores de elevada potencia y tanques de combustible de exagerada capacidad.

Como hemos comentado, el principal problema de la propulsión eléctrica es una autonomía contenida, la cual dependerá del conjunto de baterías instaladas. Adaptando la velocidad de crucero a una velocidad de compromiso, con unos valores preferiblemente más bajos, reduciremos drásticamente el consumo que deberán soportar las baterías aumentando dicha autonomía.

Dentro de las diferentes configuraciones propulsivas disponibles en el mercado encontramos varias opciones que podrían encuadrar dentro de las necesidades del proyecto pero que finalmente descartaremos exponiendo la alternativa seleccionada.

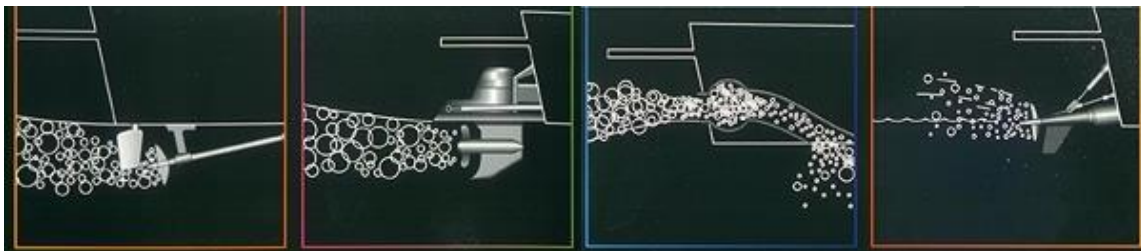


Figura 45. Sistema convencional, Stern Drive, Waterjet y de superficie. Fuente: Fabrício Biguá.

6.2.1. Hélices de superficie

Las *surface drive*, o hélices supercavitantes, se emplean en la propulsión de embarcaciones de alto rendimiento que requieren alcanzar velocidades salvajes.

Podrían ser una opción posible, ya que podría contar con un motor intraborda eléctrico capaz de propulsar a la embarcación mediante unas colas de superficie que no añadirían calado a la embarcación, debido a la naturaleza de este sistema propulsivo, en el cual las hélices trabajan parcialmente emergidas.

No obstante, la necesidad de generar la elevada potencia para transmitir a dichas hélices en su régimen de trabajo adecuado dificulta el uso de este sistema. Además, tienen el inconveniente de que, para poder gobernar y maniobrar dicha potencia, requieren de un sofisticado sistema hidráulico el cual requerirá de un elevado mantenimiento.



Figura 46. Hélices de superficie. Fuente: Surface Drive System.

6.2.2. Propulsión azimutal

En cuanto a la propulsión azimutal, la empresa Volvo Penta no ha desarrollado una solución enteramente eléctrica a su propulsión IPS que, pese a contar con una opción híbrida, no satisface las necesidades del proyecto de cero emisiones. Esto es debido a que el modelo de negocio y el *know-how* de Volvo se basa en la motorización de combustible, por lo que no presenta interés por la propulsión completamente eléctrica, sin embargo, sí que trabaja en la mejora y optimización de sus modelos, logrando reducir así los consumos de combustible en un 30% (en comparación con dos motores intraborda de eje).

Esta opción quedará descartada por considerarse poco viable la instalación de sus PODs de alto rendimiento, generalmente propulsados mediante motorizaciones de combustible de alta potencia, y combinarlos con una motorización eléctrica suficientemente asequible.

Cabe destacar que la parte POD de este tipo de propulsión se ubica en la parte inferior del casco, incrementando el calado de la embarcación, a la vez que permitiendo un posicionado dinámico de la misma, otorgándole la mejor maniobrabilidad posible en el momento de desembarcar las unidades a bordo o a la hora de abarloadarse al buque nodriza.

Esta tecnología emplea dos hélices contrarrotativas orientadas en sentido hacia proa facilitando la entrada de un flujo limpio y laminar en la acción de la hélice. Esto provoca que sea un sistema delicado ya que no hay nada que proteja las hélices contra impactos con objetos flotantes, sobre todo a la hora de trabajar en calados reducidos.

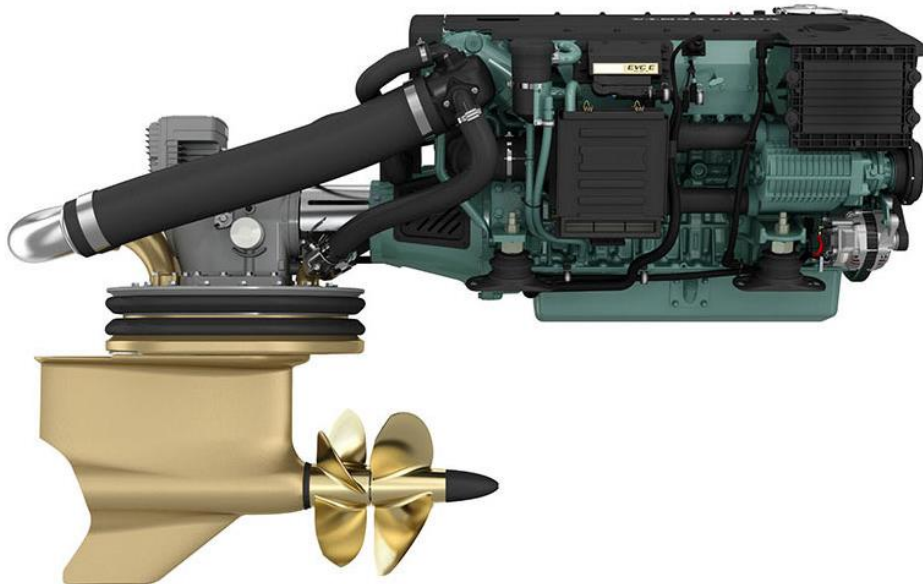


Figura 47. Sistema Volvo IPS. Fuente: Volvo Penta.

6.2.3. Hélice de eje convencional

En cuanto a la propulsión convencional, quedará descartada por la reducida maniobrabilidad que ofrece a la embarcación (en relación con el resto de los sistemas propulsivos) debido a la naturaleza del sistema. Además, dicho sistema lleva asociado la necesidad de instalar un timón para poder gobernar la embarcación, con el correspondiente incremento de calado.

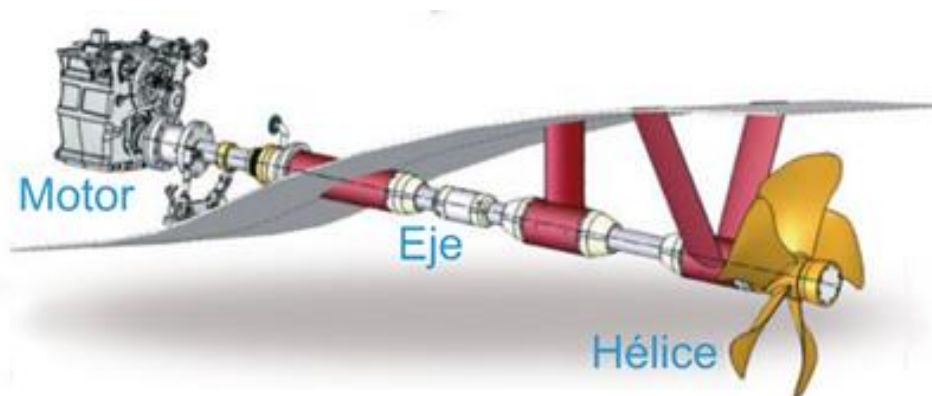


Figura 48. Sistema propulsivo convencional. Fuente: Fundicionesrice.

6.2.4. Fueraborda

En el mercado actual de motorización eléctrica, los fuerabordas están teniendo un auge notorio, en parte debido a su facilidad de instalación y mantenimiento, así como la simplicidad de reemplazo de una unidad fueraborda convencional por una eléctrica.

Hasta el momento las potencias de este tipo de motores son contenidas, en virtud del paradigma de las re-motorizaciones adaptadas a un nuevo estilo de navegación, sin que sea necesario instalar demasiadas baterías para lograr una autonomía adecuada.

Este tipo de motores están pensados para pequeñas embarcaciones de hasta 10 metros de eslora, que vayan a navegar a bajas velocidades y con un desplazamiento bastante contenido.

Finalmente observar que, el hecho de instalar una propulsión *twin* mediante fuerabordas, dejaría a la embarcación sin prácticamente plataforma de baño, además, dicha motorización añadiría calado a la embarcación.



Figura 49. Motor fueraborda 150. Fuente: Evoy.

6.2.5. Stern Drive

Este tipo de propulsión es una combinación entre la propulsión de eje convencional y una propulsión fueraborda. Afectando a la embarcación con un aumento de calado otorgado por la cola de propulsión en la parte exterior del casco.

En el interior del casco, al otro lado del espejo se instalaría la motorización eléctrica, siendo este el sistema intraborda que más a popa logra ubicar el motor propulsivo.

La dirección y maniobrabilidad de este sistema es elevada, ya que rápidamente se consigue dirigir el chorro propulsivo en la dirección deseada mediante la orientación de la cola.

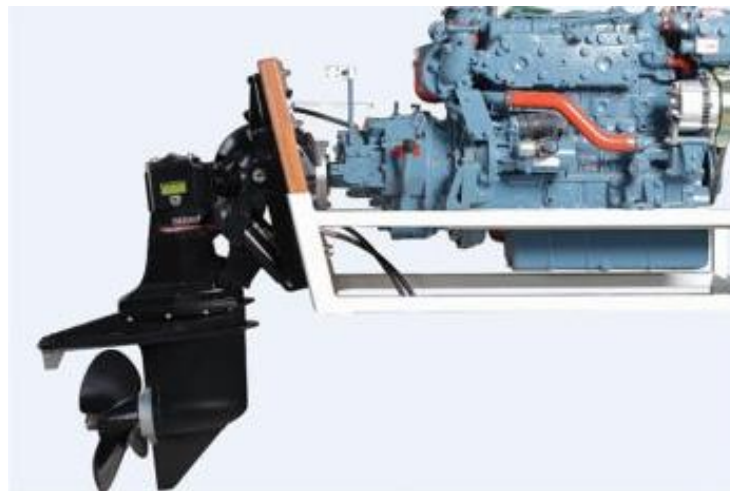


Figura 50. Stern Drive Zt150A. Fuente: YADAO.

6.2.6. Waterjet

En cuanto a la propulsión de tipo waterjet nos confiere unas altas velocidades dada la propulsión de un chorro de reducido diámetro a través de una hélice propulsora que rota a muy altas velocidades. La maniobrabilidad con waterjet es muy elevada gracias a la inversión del sentido de propulsión mediante la cazoleta que redirige el sentido del chorro, así como la eficacia y facilidad de cambio de dirección de la orientación del chorro.

La instalación de una propulsión doble (de tipo *twin*) confiere a la embarcación de una todavía más alta maniobrabilidad, dado que al dirigir un chorro en dirección reversa y el waterjet contrario dirigido en sentido anverso generaría un posicionamiento prácticamente dinámico.

Sin embargo, se debe sopesar la necesidad de trabajar a unas elevadas velocidades de rotación de la hélice, así como el régimen de trabajo a elevada velocidad (del orden de los 30-35 nudos) para un óptimo rendimiento.

Dada la elevada maniobrabilidad de la propulsión mediante *waterjets*, se realiza un estudio profundo de cómo implementar el sistema en nuestra embarcación, obteniendo como resultado la inviabilidad de la solución propulsiva. El elevado desplazamiento de la embarcación unida al requerimiento de propulsión eléctrica reduce considerablemente la autonomía de la embarcación.

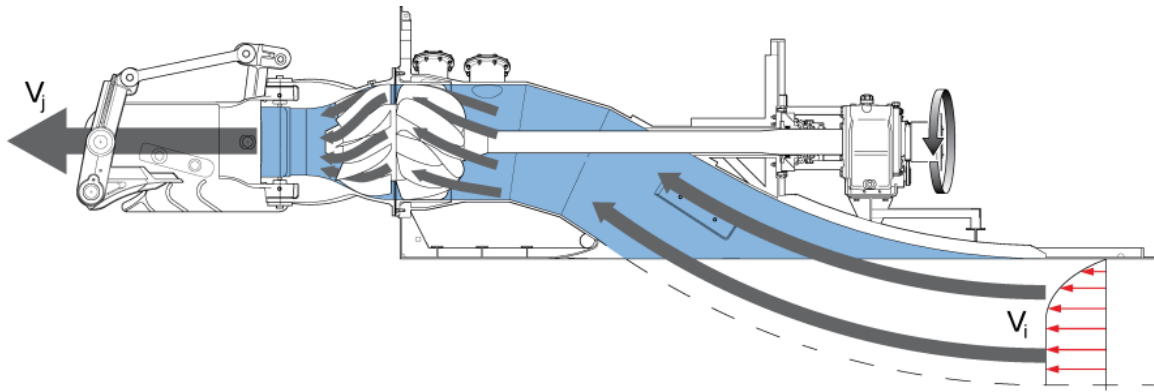


Figura 51. Velocidad del fluido en el sistema waterjet. Fuente: Wärtsilä.

El concepto del *waterjet* se basa en la impulsión de un chorro de agua a elevadas velocidades generando una reacción, por la tercera ley de Newton, por la cual la masa de agua en movimiento ejerce una fuerza sobre la tobera del waterjet de sentido contrario, fuerza con la cual finalmente la embarcación es propulsada.

El flujo de masa viene dado por la expresión:

$$\dot{m} = A_2 \cdot V_2 \quad (2.1)$$

Donde, A_2 es el área de salida y V_2 la velocidad de salida del chorro.

Y la potencia generada viene dada por:

$$P_T = T \cdot V_s = \dot{m} \cdot V_s \cdot (V_2 - V_1) \quad (2.2)$$

Donde, \dot{m} es el flujo de masa, V_s la velocidad de la embarcación, V_1 la velocidad de entrada del agua y V_2 la velocidad de salida del chorro.

El *waterjet* es un sistema diseñado para desempeñar elevadas velocidades de navegación, del orden de los 40-50 kn. Para que la propulsión sea eficiente, el motor debe propulsar la unidad waterjet a elevadas revoluciones (del orden de 3000 rpm), permitiendo un mayor flujo de masa. Además, se requiere una elevada velocidad de rotación para que la unidad hidráulica encargada de la dirección del chorro pueda tener presión suficiente para maniobrar la embarcación.

Los motores eléctricos que trabajan a estas velocidades consumen una gran cantidad de energía, únicamente siendo capaz de alimentar mediante baterías de gran capacidad, como las empleadas en automoción. El problema es que, para lograr tener una autonomía prudente, se requiere instalar una gran cantidad de dichas baterías, aumente el peso de la embarcación en gran medida, hecho que requiere un aumento de la potencia motriz que a su vez desemboca en un mayor consumo.

Se estudia también la posibilidad de emplear una propulsión híbrida, cosa que finalmente se acaba descartando por salirse de los valores del proyecto, así como también por elevar considerablemente el peso de la embarcación, al requerir instalar motores adicionales y tanques para almacenaje del combustible.

En vista de que el objetivo del proyecto no es propulsar la embarcación a tan altas velocidades y, teniendo en cuenta la gran cantidad de energía necesaria para realizarlo, debido a su desplazamiento, finalmente se descarta la idea de emplear *waterjets* para la propulsión.

6.3. Selección del método propulsivo

Tras el estudio de las diferentes posibilidades propulsivas existentes actualmente en el mercado, se acaba por determinar los *Stern drives* como sistema propulsivo. La elección es debida a la elevada maniobrabilidad y la sencillez del conjunto, penalizando a la embarcación con un mínimo aumento de calado. Este sistema permite a la embarcación operar en una amplia gama de condiciones de carga y proporciona la máxima maniobrabilidad en aguas muy poco profundas.

Además, los *Stern drive* son sin duda una muy buena solución para la maniobra de aproximación a la playa, clave para la funcionalidad de cualquier embarcación de desembarco. Al tener un fácil ajuste de reversa, facilitan la vuelta a la flotabilidad en caso de apoyo en la parte de proa por varada.

6.3.1. Propulsión individual o *twin*

A continuación se comentan las principales ventajas e inconvenientes tenidos en cuenta a la hora de seleccionar una propulsión dual. La cual principalmente ha sido escogida por una mejor de las capacidades de la motorización (al trabajar en un régimen más desahogado) y por el incremento de la maniobrabilidad.

En cuanto a las propulsión individual, o de un único eje, encontramos como principal ventaja la reducción del peso y del coste, por tener un menor número de componentes. Esto conlleva en una mejora de los tiempos de producción, por la mayor simplicidad del conjunto.

Como principales desventajas de la motorización individual encontramos la falta de redundancia entre posibles daños mecánicos, una menor capacidad de maniobra, el requerimiento de una mayor potencia instalada y unos altos niveles de ruidos y vibraciones.

En cuanto a la motorización dual o *twin* encontramos como principal ventaja la mejora de la maniobrabilidad, la proporción de redundancia ante eventuales daños y el relativo rendimiento asociado a la reducción de ruidos y vibraciones.

Como principales desventajas encontramos que la redundancia de componentes eleva el peso del conjunto de la embarcación, así como el requerimiento de una mayores secciones en popa.

Para la propulsión de la embarcación se propone una configuración *twin* de *Stern drives* propulsados mediante motores eléctricos, en este caso, se sustituirá el motor diésel de una propulsión de motorización convencional por dicho motor eléctrico.

6.4. Cálculo de resistencia al avance

Una vez modelada la embarcación y escogido el método propulsivo, se debe hacer el cálculo de la potencia requerida por los motores para lograr propulsar la embarcación a una determinada velocidad.

Para ello, se introducen las superficies 3D del casco en el programa de diseño naval *Maxsurf*. Dentro de esta herramienta introducimos el desplazamiento de la embarcación, para un determinado caso de carga, con el objetivo de establecer el calado con el cual esta navegará.

Para esta carena, el programa *Maxsurf Resistance* estima la resistencia al avance y predicción de potencia necesaria para propulsar la embarcación dentro de un determinado rango de velocidades, en este caso hasta los 15 kn, mediante el empleo de diferentes métodos de cálculo.

Cabe destacar que la predicción de potencia no es una ciencia exacta, aunque los algoritmos implementados en este programa son útiles para la estimación de la resistencia al avance inicial.

Previamente al cálculo, se define el fluido con el que interactúa la carena. Este será agua salada a 15°C, con unos valores dados por la ITTC57 los cuales se definen a continuación:

- Salinidad: 3,5%
- Densidad (ρ): 1.025,9 kg/m³
- Viscosidad cinemática (ν): $1,1883 \cdot 10^{-6}$ m²/s
- Viscosidad dinámica (μ): $1,22 \cdot 10^{-3}$ kg/m·s

Además, se tendrán en cuenta los siguientes valores de propiedades medioambientales:

- Gravedad (g): 9,81 m/s²

La acción del aire, para este proyecto, se considera despreciable frente a la importancia de la resistencia al avance generada por el agua. El alcance de este se centra en la interacción entre el casco y el fluido por el que se desplaza. Importadas las formas del casco al programa, se seleccionan los métodos de estudio a través de los cuales se estudiará la resistencia y potencia necesaria para la propulsión de la embarcación. El propio programa nos recomienda que tipo de estudio realizar.

En función de las características de nuestro buque, elegimos los parámetros que más se adecuen. En este caso para embarcaciones de desplazamiento, emplearemos *Holtrop*.

Previamente al cálculo de potencia, tendremos en cuenta el rendimiento del conjunto propulsivo para que, al indicarle al programa, este saque directamente los valores reales de potencia requerida.

El rendimiento del conjunto está compuesto por el rendimiento del motor, el rendimiento de la hélice, el margen del motor y el margen del estado de la mar.

Entre las principales ventajas que ofrece el motor eléctrico, en relación con el motor de combustión, se encuentran los rendimientos. En un motor eléctrico el rendimiento interno ronda el 95-97%. En nuestro caso consideramos el rendimiento del fabricante del 97%. Además, otra ventaja del motor eléctrico es que no requiere trabajar con un margen de potencia MCR, como sí es el caso de los motores de combustión, que suelen trabajar en el 85% de la potencia del motor. En nuestro caso MCR=100%.

En cuanto a la eficiencia de transmisión de una hélice en movimiento es del orden del 55%. Además, tendremos en cuenta un 10% más de margen de mar, para tener cierto margen de potencia para lidiar con eventual oleaje o mar gruesa.

Con todo esto obtenemos un rendimiento tal que:

$$\eta_T = \eta_M \cdot \eta_H \cdot \text{margen} = 0.97 \cdot 0.55 \cdot 0.9 = 0.48 \rightarrow \eta_T = 48\%$$

A continuación, se adjuntan los datos hidrodinámicos de la carena para el calado de estudio, así como la representación gráfica de la curva de potencia necesaria para el remolque de la embarcación a diferentes velocidades. Este gráfico puede verse, en forma tabular, en el anexo A5.1, junto a la curva de áreas de flotación para el calado de proyecto.

ITEM	VALUE
L _{WL}	8.1 m
BEAM	3.694 m
DRAFT	0.63 m
DISPLACED VOLUME	9.858 m ³
WETTED AREA	28.612 m ²
PRISMATIC COEFF. (C _P)	0.807
WATERPL. AREA COEFF. (C _{WP})	0.862
1/2 ANGLE OF ENTRANCE	43.5 deg.
LCG FROM MIDSHIPS (+VE FOR'D)	-0.646 m
MAX SECTIONAL AREA	1.508 m ²
DRAFT AT FP	0.63 m
DEADRISE AT 50% L _{WL}	13.6 deg.

Tabla 7. Datos hidrodinámicos de la carena.

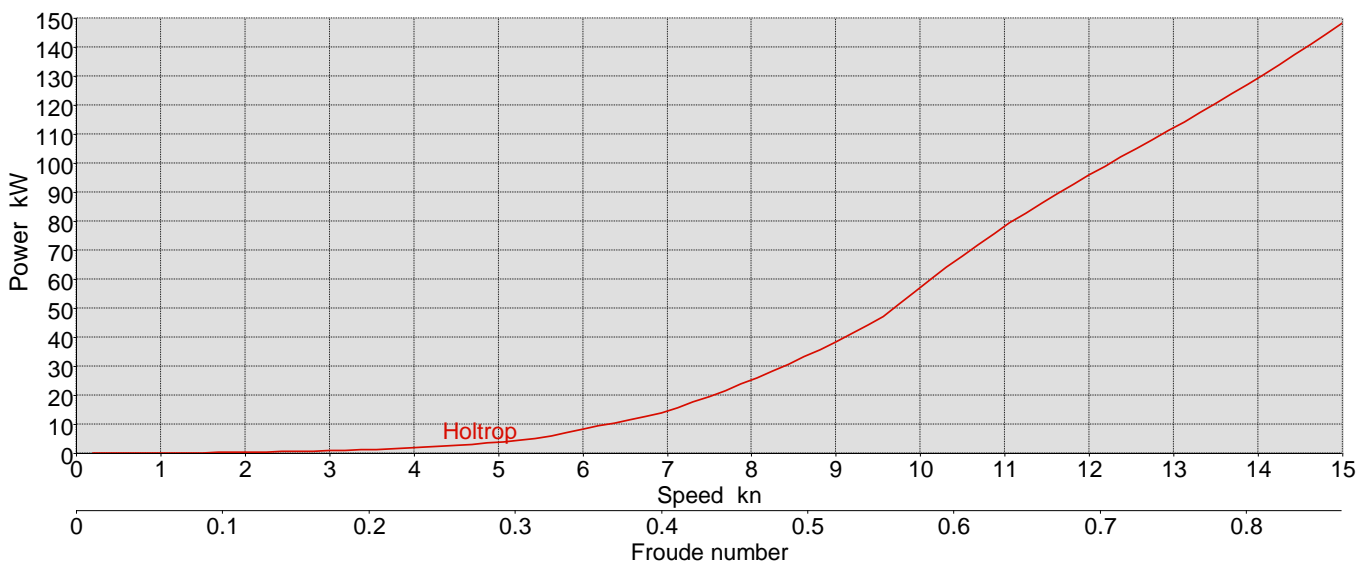


Figura 52. Gráfico de Potencias propulsivas (kW) vs Velocidad (kn).

Además de estimar la resistencia al avance, mediante el *software* se genera el patrón de olas creado por la embarcación para la velocidad máxima y la velocidad económica.

- Cálculo del patrón de ola generada a velocidad máxima:

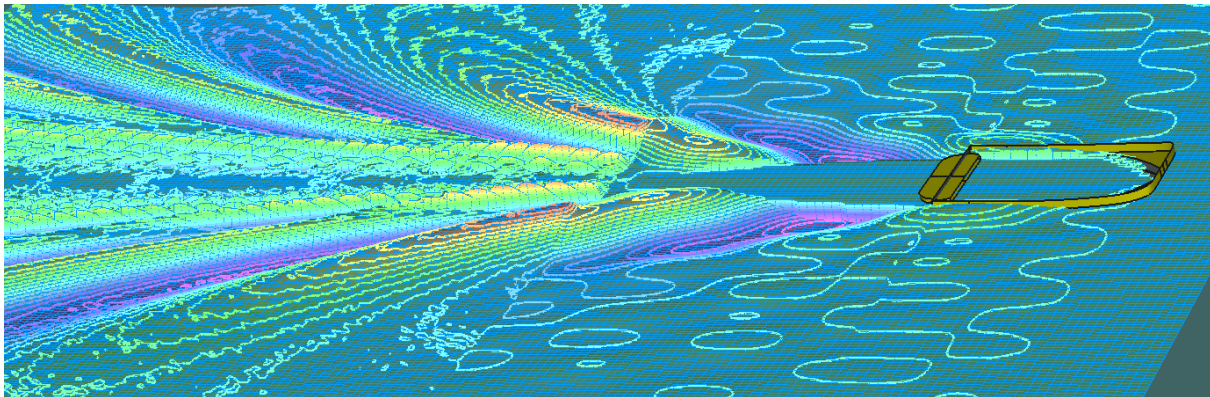


Figura 53. Ola generada por la carena a velocidad máxima.

- Cálculo del patrón de ola generada a velocidad de crucero:

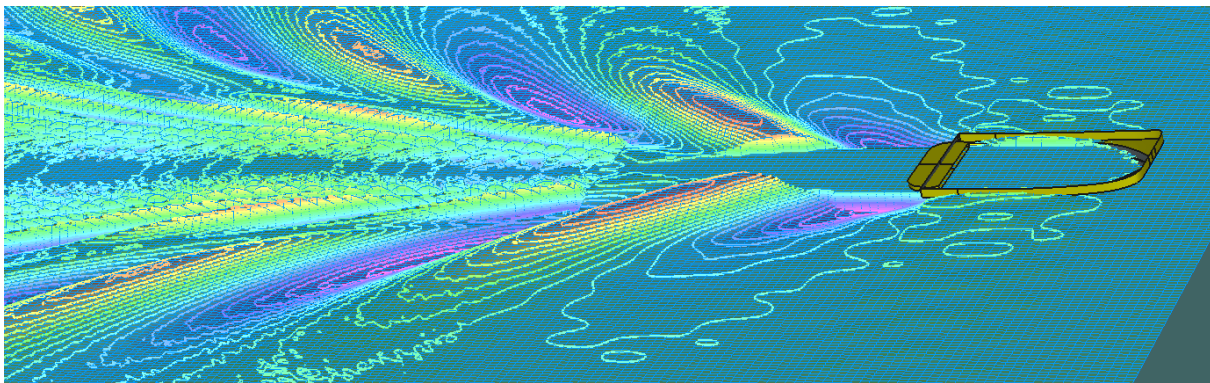


Figura 54. Ola generada por la carena a velocidad económica.

6.5. Componentes del sistema propulsivo

Para la propulsión de la embarcación finalmente se establece un sistema propulsivo *Stern drive* (intra-fueraborda), formado por un motor eléctrico ubicado en la sala de máquinas, el cual será alimentado por baterías; y, en el lado exterior del espejo de popa, una cola propulsiva orientable tanto horizontalmente como verticalmente.

Los motores eléctricos convierten energía eléctrica en mecánica y pueden funcionar como generadores, para recargar acumuladores eléctricos, o bien para alimentar cargas, como es en este caso. Comparados con los motores de combustión interna, los motores eléctricos son más pequeños, más ligeros y menos propensos al desgaste y a generar ruidos y vibraciones. También son más fáciles de invertir en el sentido de giro del eje del motor, lo que se traduce en una mejor maniobrabilidad en la propulsión de la embarcación.

En términos de rendimiento, los motores eléctricos superan ampliamente a los motores térmicos debido a la mayor eficiencia en la conversión directa de energía eléctrica en mecánica. En general, las ventajas de los motores eléctricos hacen que sean una opción preferida para la propulsión en este proyecto.

El sistema propulsivo está formado por el motor eléctrico, la transmisión de colas fueraborda, el pack de baterías, el BMS (sistema de gestión de baterías), el cargador de baterías y el cableado correspondiente. Para gobernar todo ello se dispone de una pantalla de control donde observar el rendimiento del motor, los consumos y autonomía de baterías; las palancas de control del acelerador, para graduar el desempeño de los motores y el timón, con el cual se maniobra la embarcación, ajustando el rumbo.

6.5.1. Motorización

En vista de los requerimientos de la carena para propulsar la embarcación a una velocidad adecuada de navegación y a un determinado desplazamiento específico, se selecciona el motor SternMaster 97W de Bellmarine. Ver ficha técnica en anexo A6.

Se trata de un motor de imanes permanentes. Las máquinas síncronas de imanes permanentes son una variante de los motores eléctricos en los que el rotor está compuesto por un imán permanente en lugar de las bobinas electromagnéticas. Este imán permanente es lo suficientemente fuerte como para generar un campo magnético constante y estable que, cuando se combina con el campo magnético generado por el estator con sus tres devanados desfasados 120° , produce el movimiento rotativo del rotor.



Figura 55. Motor propulsivo SternMaster 97w. Fuente: Bellmarine.

Características principales:

- Potencia nominal: 75 kW
- Potencia intermitente: 97 kW
- Batería: 288 V_{DC}
- Revoluciones motor: 3000 rpm

Incluye:

- Motor con estribos y *silentblocks*.
- Motor con cojinete de empuje integrado.
- Inversor IP65 con control vectorial.
- Circuito de carga.
- DC-DC convertidor a 24 V_{DC}.
- Acoplamiento elástico motor-transmisión.
- Kit de trimado.
- Pantalla de control.
- Conmutador principal con fusible.
- Compatible con NMEA2000.

6.5.2. Transmisión

Para transformar la rotación producida por el motor eléctrico, se emplea una transmisión de cola Alpha One de la marca Mercury. Un modelo de segunda generación con largo recorrido en el sector.

Esta unidad propulsiva se desplaza por el agua con una gran eficiencia gracias a un perfil hidrodinámico que minimiza la resistencia mejorando la respuesta del conjunto. Se caracteriza por tener un reducido coste de mantenimiento.

Características:

- Capacidad de potencia máxima: 300 hp (230 kW)
- Diámetro máximo de hélice: 15" (25,5 mm)
- Gear Ratios: 1.47, 1.62, 1.81, **2.00**, 2.40:1
- Propshaft Material: Heat-Treated Stainless Steel
- Monitoring System: Engine-Mounted Lube Monitor w/Audio Warning or Engine Guardian®
- Housing Construction: Corrosion Resistant XK 360 Aluminum Low-Copper Alloy
- Speedometer Pick-up: Integrated Into Lower Housing
- Steering System: Single Cylinder Power Steering with Anti-Feedback
- Steering Range: 56° Range Stop to Stop
- Power Trim System: Twin-Cylinder Hydraulic Featuring Power Trim XD® Trim Range: 5° to 15°
- Peso de la unidad: 38 kg



Figura 56. Alpha One. Fuente: Mercury.

6.5.3. Banco de baterías

Existen tres tipos de conexionado de baterías: serie, paralelo y mixto.

La conexión en **serie** implica conectar las baterías en línea, es decir, el polo positivo de una batería se conecta al polo negativo de la siguiente batería. Al hacer esto, la tensión total de la batería resultante será la suma de las tensiones individuales de cada batería conectada. Por ejemplo, si se conectan dos baterías de 12 voltios en serie, la tensión total será de 24 voltios. Sin embargo, la capacidad total no cambia, por lo que la capacidad total sigue siendo la misma que la de una sola batería. La corriente máxima disponible será la misma que la de una sola batería, pero la tensión será mayor.

La conexión en **paralelo** implica conectar las baterías juntas de manera que los polos positivos se conecten entre sí y los polos negativos se conecten entre sí. En este caso, la tensión total es la misma que la de una sola batería, pero la capacidad total se suma. Por ejemplo, si se conectan dos baterías de 12 voltios y 200 Ah en paralelo, la tensión total seguirá siendo de 12 voltios, pero la capacidad total será de 400 Ah. La corriente máxima disponible será el doble que la de una sola batería, pero la tensión será la misma.

La conexión **mixta** es una combinación de las conexiones en serie y en paralelo. Esto implica conectar varias baterías en grupos conectados en paralelo y luego conectar estos grupos en serie. Por ejemplo, si se conectan dos conjuntos de dos baterías de 12 voltios y 200 Ah en paralelo, y luego se conectan en serie, se obtendrá una tensión total de 24 voltios y una capacidad total de 400 Ah.

En resumen, la conexión en serie aumenta la tensión, pero no la capacidad, la conexión en paralelo aumenta la capacidad, pero no la tensión, y la conexión mixta aumenta tanto la tensión como la capacidad. La elección de la configuración de conexión dependerá de la aplicación específica en la que se esté utilizando las baterías y de los requisitos de voltaje y capacidad.

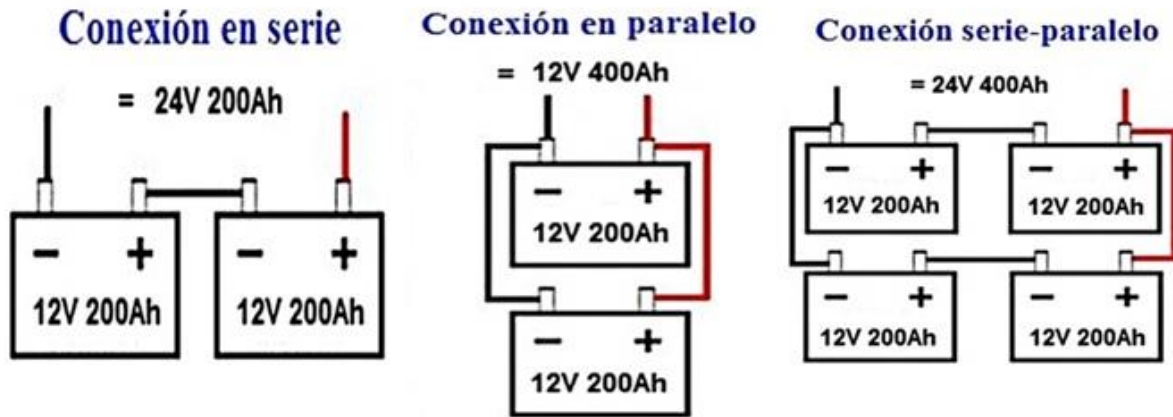


Figura 57. Resumen conexionado de baterías. Fuente: Bateriasyampieros.

6.5.4. Módulos y autonomía

Para la alimentación de los motores propulsivos se empleará un banco de baterías proporcionado por la empresa *Transfluid*. Este banco se dimensiona por módulos en función de la demanda energética requerida.

Para conocer el número de módulos que se requieren en dicho banco, se realiza una estimación de la autonomía necesaria para la navegación. Para la cual, se calcula el consumo de potencia consumida por los motores, multiplicando por el número de motores (dos motores) el consumo de un motor individual.

Energy kWh	Architecture	Dimension Single Box **	Number Of Modules	Total Weight
10.7	Single Module	420x750 h275 mm	1	101 kg



Figura 58. Módulo de batería. Fuente: Transfluidperios.

El consumo individual del motor trabajando a la potencia nominal será la potencia generada por este motor multiplicado por el rendimiento del motor eléctrico.

$$P_T = N^{\circ} \text{ motores} \cdot (P_E \cdot \eta_e) = 2 \cdot (75/0,97) = 154,6 \text{ kW}$$

El motor eléctrico consume potencia a 288 V_{DC}. Por ello deberemos seleccionar una arquitectura que trabaje a dicho voltaje. De entre las opciones disponibles se calcula la autonomía para 6, 9 y 12 módulos, empleando las capacidades que se muestran en la tabla 8.

288V

Energy kWh	Architecture	Dimension Single Box**	Number Of Modules	Total Weight
28.8	3S	506x876 h293 mm	3	326 kg
57.6	3S	619x955 h352 mm	3	566 kg
86.4	3S - 3P	506x876 h293 mm	9 + MCR*	978 kg
115.2	3S - 2P	619x955 h352 mm	6 + MCR*	1132 kg
172.8	3S - 3P	619x955 h352 mm	9 + MCR*	1698 kg
230.4	3S - 4P	619x955 h352 mm	12 + MCR*	2264 kg

* MCR dimensions: 300x350xh160 mm, weight: 11 kg.

Tabla 8. Distintas configuraciones de baterías para 288 v. Fuente: Transfluid.

De dicho estudio se obtiene que como mínimo debería emplearse una batería de 12 módulos para tener una autonomía de una hora y media (90 min) a la velocidad máxima (14 kn).

No obstante, navegando a la velocidad económica (11 kn), logramos un aumento de la autonomía de hasta 2 horas y 35 min (155 min).

	Consumo motor (kW)	Capacidad baterías (kWh)	Tiempo (h)	Tiempo (min)
V _{MAX}	154.6	115.2	0.74	45
		172.8	1.12	67
		230.4	1.49	89
V _{ECO}	89	115.2	1.29	78
		172.8	1.94	116
		230.4	2.59	155

Tabla 9. Cálculos de autonomía, en función de velocidad y módulos instalados.

Esta cantidad de módulos supondrá un importante aumento de desplazamiento a la embarcación, pero se considera necesaria para dotar a la embarcación de la autonomía necesaria para desempeñar sus funciones.

El sistema, a parte del cableado necesario, estará compuesto por los módulos colectores de enlace y módulos de carga, los cuales suman un 17 kg al peso del conjunto, sumando un total de 2280 kg.

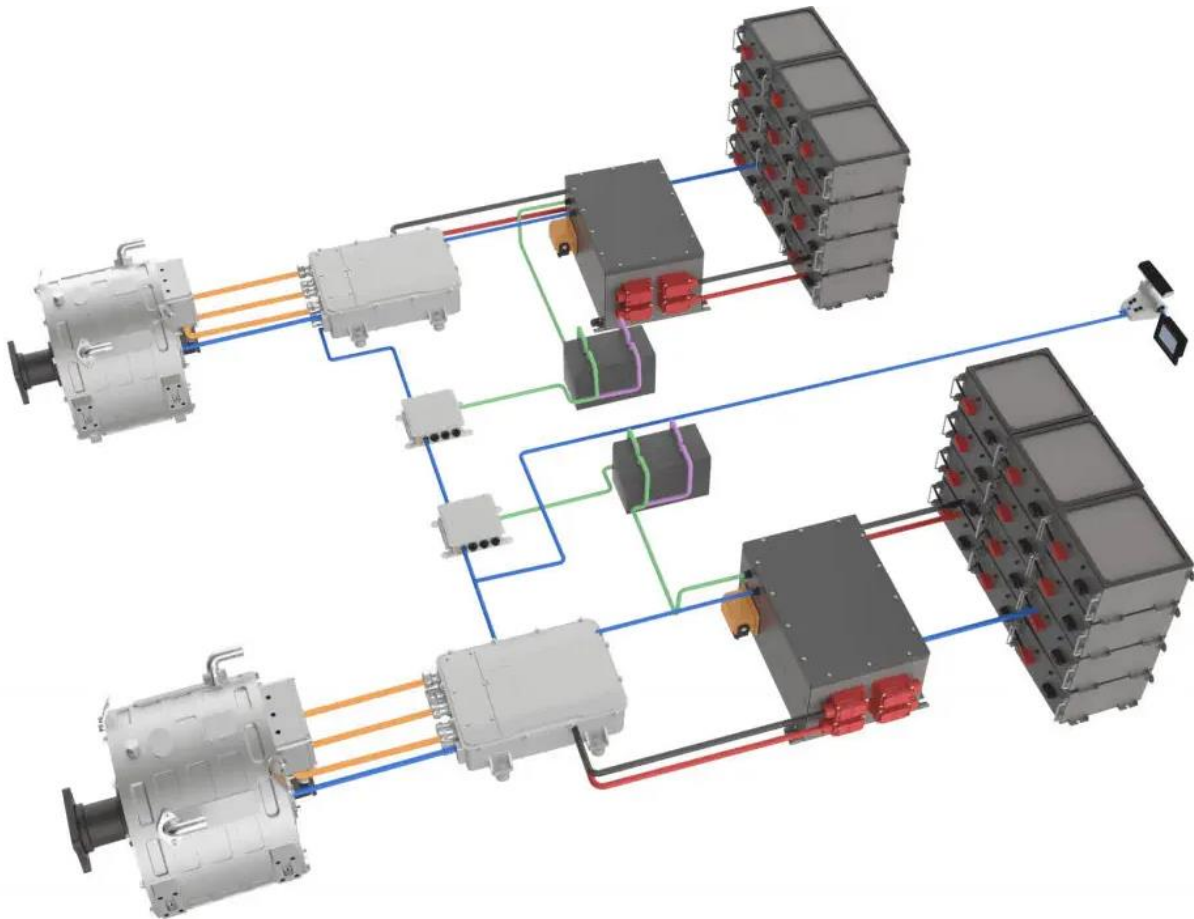


Figura 59. Sistema de propulsión eléctrica dual. Fuente: Epropulsion.

Capítulo 7. Sistemas de abordó

Aparte del sistema propulsivo, anteriormente comentado, una embarcación de estas características debe incluir varios sistemas auxiliares para garantizar un desempeño adecuado y seguro. Algunos de los sistemas auxiliares que debería incluir son:

- Sistema eléctrico. Para suministrar electricidad a los diferentes equipos y sistemas a bordo, como las luces, la electrónica, y otros equipos esenciales.
- Sistema de ventilación. Para permitir la circulación del aire fresco y evitar la acumulación de gases peligrosos en el interior de la embarcación.
- Sistema de refrigeración. Para mantener las temperaturas adecuadas en el interior de la embarcación y en los sistemas que generan calor, como los motores y la electrónica.
- Sistema de. Para permitir
- Sistema de navegación y comunicación. Para permitir una navegación precisa y segura, incluyendo la determinación de la posición, velocidad y rumbo de la embarcación, así como la comunicación entre la tripulación y el barco nodriza; o, con otros barcos, estaciones de control y puertos.
- Sistema de agua dulce. Para suministrar agua potable a la tripulación y otros usuarios a bordo.
- Sistema de recogida de aguas grises. Para tratar las aguas residuales producidas a bordo y evitar la contaminación del medio ambiente.
- Sistema de seguridad. Para garantizar la seguridad de la tripulación y otros usuarios a bordo, incluyendo sistemas de detección y extinción de incendios, botes salvavidas, chalecos salvavidas y otros equipos de seguridad.
- Sistema de lastre y achique. Permite expulsar el eventual agua embarcada a bordo, así como ajustar el trimado de la embarcación, cuando no se encuentra cargado por ningún vehículo, mediante el llenado del pique de proa.
- Sistema de amarre y fondeo. Para poder abarloar la embarcación al buque nodriza, fondear la embarcación en bahías y calas.

7.1. Sistema eléctrico

A bordo de la embarcación debemos llevar un conjunto de baterías que nos permitan alimentar todos los equipos y aparatos electrónicos que llevemos instalados. Por hacer un listado: equipos de comunicación y de ayuda a la navegación, luces de navegación, iluminación de cubierta, iluminación interior, aire acondicionado, nevera, etc. Todo lo que necesitemos conectar a la corriente debe poderse alimentar mediante las baterías que llevamos instaladas.

Las baterías, aparte de alimentar la electrónica de la embarcación, servirán como base para la alimentación del motor eléctrico propulsor. A partir del movimiento mecánico generado por el motor conseguiremos el empuje necesario para mover la embarcación.

La propulsión de nuestra embarcación está prevista que sea eléctrica y puesto que queremos evitar quedarnos sin comunicación en caso de emergencia, deberemos instalar dos plantas eléctricas separadas: una para dar corriente a los diferentes aparatos electrónicos y otra de mayor voltaje capaz de propulsar la embarcación con la potencia necesaria.

Cabe destacar que ambos sistemas están completamente aislados entre sí, y están compuestos con diferentes secciones de cables, dadas las diferentes intensidad de corriente que por estos circularán.

El sistema eléctrico para iluminación y equipos electrónicos es de 24V_{DC}. Para el sistema de iluminación de la nave se contará con fanales estancos.

Asimismo, se instalarán las luces de posición de navegación, de acuerdo con lo establecido por las normas vigentes: luz de tope, luz roja de babor y luz verde de estribor (135°).

El cuadro eléctrico irá ubicado en la parte interior del mueble del puente de gobierno, protegido contra el goteo de líquidos con una tapa estanca doble, cuenta con interruptores termo magnéticos y llaves selectoras de tipo naval.

Para asegurar la estanqueidad de los mamparos y cubierta, los cables pasaran a través de estos elementos mediante pasacables *Roxtec* que aseguren estanqueidad (ver figura 60).

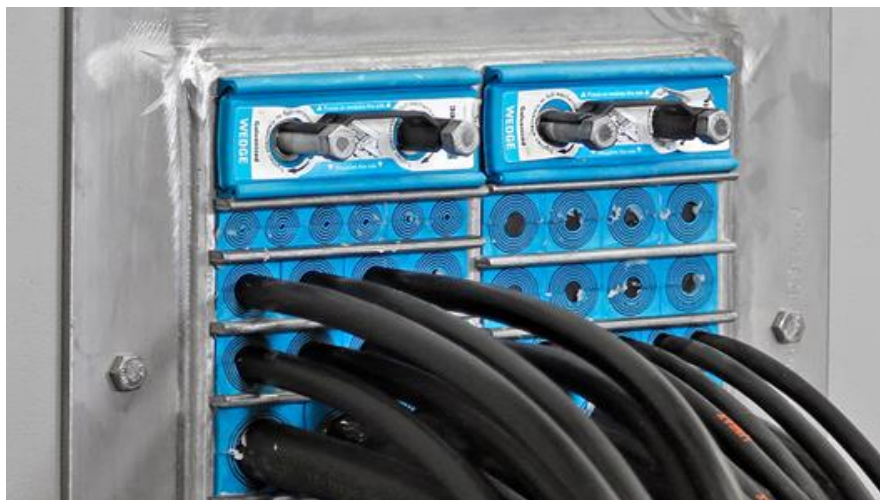


Figura 60. Pasacables Roxtec. Fuente: Roxtec.

Como medida de seguridad redundante se incluirá una radio VHF portátil para poder comunicar con el buque nodriza en caso de pérdida de las dos plantas eléctricas. Esta deberá disponer de pilas de repuesto fácilmente localizables y accesibles.

7.1.1. Balance eléctrico

Grupo consumidor	Valor nominal	nº	Máximo total	Factor de servicio	Navegación de noche	Factor de servicio	Navegación de día	Factor de servicio	Fondeado de noche	Factor de servicio	Fondeado de día
Molinete	1.20	2	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.24	0.10	0.24
Sistema de música	0.16	1	0.16	0.20	0.03	0.20	0.03	0.20	0.03	0.20	0.03
Iluminación exterior y navegación	0.13	1	0.13	0.80	0.10	0.05	0.01	0.70	0.09	0.05	0.01
Nevera	0.04	1	0.04	1.00	0.04	1.00	0.04	1.00	0.04	1.00	0.04
Bomba de agua dulce	0.06	1	0.06	0.05	0.00	0.05	0.00	0.20	0.01	0.20	0.01
Bomba aguas grises	0.12	1	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bombas de refrigeración	0.06	4	0.24	1.00	0.24	1.00	0.24	0.20	0.05	0.20	0.05
Bombas de achique	0.12	3	0.36	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02
Electroválvula	0.03	1	0.03	0.10	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00
Ventiladores de máquinas	0.04	3	0.11	1.00	0.11	1.00	0.11	0.10	0.01	0.10	0.01
Equipos de navegación y radio	0.50	1	0.50	1.00	0.50	1.00	0.50	1.00	0.50	1.00	0.50
TOTAL (kW)	2.46		4.15		1.05		0.96		1.00		0.91
TOTAL (kWh) (3 horas)	7.37		12.46		3.16		2.87		2.99		2.73
			margen	10%	1.16 kW						

Tabla 10. Balance eléctrico de los consumidores de la embarcación.

En vista del balance eléctrico mostrado en la tabla 10, se emplearán un conjunto de dos baterías de ciclo profundo de litio (LiFePO₄) de la empresa *Victron Energy*. Estas baterías tienen una capacidad nominal de 160 Ah a 12V.

Al conectar dos baterías en serie, se obtiene una capacidad nominal total de 320 Ah a 24V, lo que equivale a 7.68 kWh, teniendo en cuenta el factor de descarga.



Figura 61. Batería 160Ah 12V (LiFePO₄). Fuente: Victron Energy.

Esto debería ser suficiente para satisfacer la demanda más elevada de las cuatro situaciones, en la cual se necesita alimentar 1.16 kW durante 3 horas a 24V.

Al igual que en el sistema eléctrico propulsivo, las baterías se cargarán a bordo del buque nodriza, siendo este el encargado de abastecer la carga con su planta eléctrica.

7.2. Sistema de ventilación

En cuanto a la ventilación, se han introducido 2 aberturas por banda. Produciendo una corriente cruzada que permite la entrada y evacuación del aire, renovando constantemente el aire en interior en navegación.

Estas aberturas se han situado a una altura de 1,5 m respecto del fondo del casco, por tal de cumplir con la normativa ISO sobre la estabilidad y flotabilidad respecto de los puntos de inundación (ver apartado de estabilidad en el capítulo 9.3).

7.3. Sistema de refrigeración

Para la refrigeración de las motores eléctricos y las baterías, se dimensiona un sistema cerrado de refrigeración, el cual incluye los siguientes elementos:

- Intercambiador de calor
- Bomba de circulación y autocebante
- Tanque de expansión
- Toma de mar con válvula de cierre manual
- Manguera de circulación



Figura 62. Elementos el sistema cerrado de refrigeración. Fuente: Bellmarine.

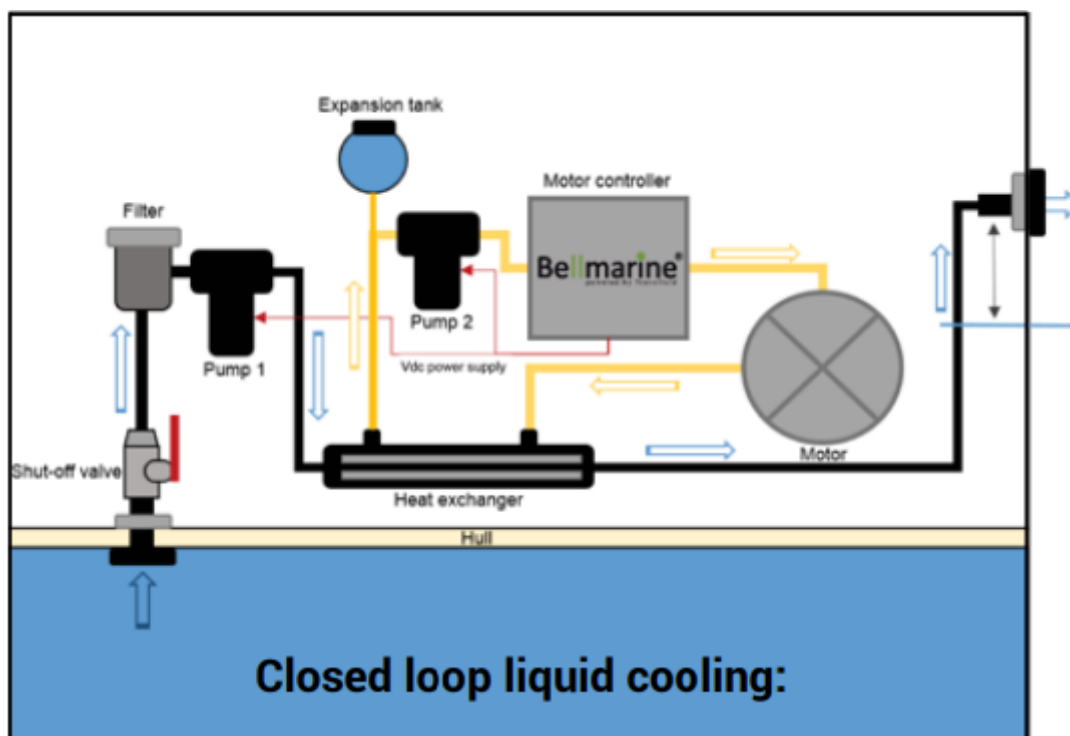


Figura 63. Circuito cerrado de refrigeración. Fuente: Bellmarine.

7.4. Sistema de navegación y comunicaciones

El sistema de comunicaciones de la embarcación está compuesto por:

- Radio VHF (Very High Frequency), con su correspondiente antena para la emisión y recepción.
- Equipo de GPS, para posicionar en todo momento la embarcación. Este estará conectado a la radio VHF por tal de poder realizar emisiones de posición GPS por radio, importante en caso de emergencia.
- Radio FM, como sistema de entretenimiento. Esta estará conectada a los altavoces de cubierta.
- Altavoz externo, situado en proa sobre la amura de estribor permite comunicarse con el vehículo a embarcar, dando las indicaciones oportunas a la hora de embarcar el vehículo. Este altavoz estará conectado al micrófono de la radio VHF, de tal manera que se pueda conmutar el servicio de este.
- Piloto automático: El piloto automático puede mantener la dirección de la embarcación en un rumbo constante y puede ser útil durante travesías largas.
- Radar: El radar ayuda a detectar objetos y otras embarcaciones a distancia, lo que puede ser útil para evitar colisiones.
- Compás: El compás es esencial para determinar la dirección de la embarcación y se utiliza como respaldo en caso de fallo del sistema de GPS.
- Cartas náuticas: Las cartas náuticas son mapas marítimos que muestran la profundidad del agua, las características del fondo del mar, la localización de peligros, faros, boyas, entre otros.
- Sonda: La sonda se utiliza para medir la profundidad del agua y para detectar la presencia de objetos o peligros debajo de la superficie. Un elemento muy importante en el caso de nuestra embarcación por su constante proximidad al lecho marino.

7.5. Sistema de agua dulce

El sistema de agua dulce será un sistema sencillo que consta de dos puntos de suministro: pequeño fregadero/lavamanos en el mueble auxiliar de cubierta y una ducha en la plataforma de baño.

El sistema está formado por los siguientes componentes:

- Tanque de agua dulce: Es el depósito de almacenamiento de agua dulce de la embarcación, desde donde se suministra el agua a los puntos de uso.
- Bomba de agua: Es la encargada de mover el agua desde el tanque a los puntos de uso, la ducha y el fregadero. Puede ser una bomba eléctrica o manual y se activa mediante un interruptor o una palanca.
- Filtro de agua: Es el componente que se encarga de retener partículas y sedimentos que puedan estar presentes en el agua del tanque, mejorando la calidad del agua que se suministra a los puntos de uso.

- Válvulas: Se incluyen en el sistema para permitir el corte del flujo de agua en diferentes puntos del sistema, como en el caso de una avería o para realizar tareas de mantenimiento.
- Grifo con ducha en la plataforma de baño: Es el punto de uso que permite a los pasajeros tomar una ducha en la plataforma de baño en popa. Este grifo podría tener un regulador de caudal para controlar la cantidad de agua que se suministra.
- Pequeño fregadero/lavamanos: Es el segundo punto de uso y se encarga de proporcionar agua para el lavado de manos y vasos.

7.6. Sistema de aguas grises

El sistema de aguas grises consta de los elementos necesarios para recoger y almacenar el agua residual del uso de la pica. A esto se refiere las tuberías de plástico de DN25 hasta el tanque de aguas grises, hasta dónde caerá por gravedad.

El tanque de aguas grises debe tener una capacidad suficiente para almacenar el agua residual producida durante el uso diario, es decir, tiene una capacidad igual a la del tanque de agua dulce. Además, debe estar diseñado para prevenir cualquier fuga o derrame.

Una vez que el tanque se llena, las aguas grises se descargan fuera de la embarcación en el buque nodriza. En este buque, se dispone de los medios de descarga, trasiego, filtrado y tratamientos necesarios para desinfectarla y depurarla antes de ser liberada de nuevo al medio ambiente.

7.7. Sistema de seguridad

7.7.1. Contraincendios

Por lo que al compartimiento bajo cubierta se refiere, se ha instalado un sistema contra incendios mediante módulos de detección automática. Estos se activan automáticamente y descargan una sustancia de extinción de incendios llamada FPC y dura alrededor de 10-15 segundos.

Se han dispuesto 4 bloques del modelo FP-1200, de la marca FirePro, en el techo del compartimentado inferior, dos en máquinas y dos en baterías. Cada uno de ellos se encarga de descargar 1,2 kg de sustancia FPC sobre los dispositivos de este compartimiento y sirven para todo tipo de fuegos.



Figura 64. FP-1200. Fuente: FirePro.

A parte de elementos de detección y extinción de incendios bajo cubierta, la embarcación estará dotada de dos extintores.

- Extintor de polvo químico seco de 2 kg (Clase ABC): Este tipo de extintor es adecuado para apagar fuegos de clase A (materiales sólidos), clase B (líquidos inflamables) y clase C (equipos eléctricos energizados).
- Extintor de CO₂ de 2 kg: Este tipo de extintor es adecuado para apagar fuegos de clase B (líquidos inflamables) y clase C (equipos eléctricos energizados). Este tipo se emplea en para embarcaciones eléctricas, ya que no deja residuos ni causa daños en los sistemas eléctricos.

Es importante que los extintores estén ubicados en un lugar accesible y visible a bordo, y que los pasajeros y la tripulación sepan cómo usarlos en caso de emergencia. Además, es recomendable que los extintores estén certificados y cumplan con los estándares de seguridad marítima locales e internacionales.

La estructura de cámara de máquinas irá íntegramente recubierta, de manera que todos los mamparos y el techo (en contacto directo con cubierta) sean de grado A60, es decir, resisten hasta 60 minutos.

7.7.2. Elementos de seguridad:

- Material náutico: Compás, Prismáticos, Cartas y libros náuticos, Bocina de niebla. Pabellón nacional. Linterna estanca. Espejo de señales. Reflector de radar. Código de señales. Botiquín.
- Balsa salvavidas: pese a que la normativa no contempla para embarcaciones con categoría de navegación C, se considera un requisito para poder mantener el estándar de calidad y seguridad de la embarcación. Esta irá estibada en la plataforma de baño y asegurada con una zafa hidrostática para su liberación.
- Señales de socorro: 3x Cohetes con luz roja y paracaídas. 3x Bengalas de mano.
- Chalecos salvavidas: 9 chalecos salvavidas, ya que debe haber para todas las personas a bordo, tanto tripulación, como pasajeros), con una flotabilidad de 150 N.
- Aros salvavidas. Las embarcaciones que naveguen en las Zonas 2 a 4 llevarán un aro con luz y rabiza.

7.8. Sistema de lastre y achique

Tanto el sistema de lastre como el de achique se equipan con las herramientas necesarias para garantizar la seguridad y estabilidad de la embarcación. Se instalan múltiples bombas y sistemas de ventilación para permitir un llenado y vaciado efectivo de los tanques de lastre, y se incluyen varias bombas de achique para garantizar una rápida evacuación del agua a bordo de la embarcación en caso de emergencia.

7.8.1. Lastre

El sistema de control de lastre de la embarcación está equipado con dos bombas de agua a presión, las cuales se encargarán del llenado y vaciado de los tanques de lastre ubicados en el pique de proa de la embarcación.

Estos tanques están separados longitudinalmente por crujía, uno a babor y otro a estribor. Se ha instalado un refuerzo en sentido transversal el cual permite reducir las superficies libres del líquido almacenado. Para poder inspeccionar los tanques, se ha situado un paso de hombre en cubierta, lo cual permite un acceso directo a dichos tanques.

Cada bomba operará de manera independiente para un tanque en particular. Con una capacidad de llenado/vaciado de 52 L/min. Además, cada tanque contará con un sensor para indicar el porcentaje de capacidad actual de lastre. Las bombas están situadas en doble fondo de la embarcación, una en cada banda, justo detrás del mamparo de colisión.

Para permitir un llenado y vaciado correcto de los tanques de lastre, se incluirá una tubería de ventilación con una válvula anti-retorno, la cual estará ubicada en la parte superior de los costados de la embarcación, por encima de la línea de flotación. Para el rápido lastrado de la embarcación, también se instalará una toma de agua al tanque con válvulas de cierre para facilitar el lastrado rápido sin la necesidad de bombas.

7.8.2. Achique

Por otro lado, el sistema de achique contará con dos bombas eléctricas sumergibles y automáticas, una ubicada en la zona de tomas de agua (compartimento inferior de proa) y otra en la zona del espejo de popa, ya que estos son los puntos más críticos en cuanto a la entrada de agua por el casco.

La capacidad mínima de las bombas de sentina será de 15 L/min para embarcaciones mayores de 6 metros y menores de 12 metros, cumpliendo las restricciones del mercado CE de contrapresión de 10 kPa (0,1 bar o 1 metro de columna de agua).

La salida de sentinas se realizará por los costados de la embarcación, a una altura superior a la línea de flotación.

7.9. Sistema de fondeo y amarre.

Para amarrar la embarcación, esta cuenta con 6 cornamusas, dispuestas 3 por banda, situándose dos en proa y una a popa. Además, se sitúan dos bitas de amarre, una a cada banda de la plataforma de baño (ver figura 20, o anexo A2.2).

Todas las embarcaciones deberán disponer de una línea de fondeo cuya longitud no podrá ser inferior a cinco veces la eslora de la embarcación. Teniendo en cuenta la eslora de la embarcación, se dispondrá de una línea de fondeo de 50 m.

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

Tabla 11. Diámetros de cadena y de estacha y el peso del ancla. Fuente: RD 339/2021.

De la tabla 11 obtenemos que como mínimo el ancla que se instalará será de 20 kg.

Las cadenas deben ser de acero galvanizado o equivalente, con el diámetro indicado en la tabla y medido de acuerdo con la norma EN 24565.⁵

Cuando se pone en contacto un acero galvanizado y un aluminio en un ambiente marino, se crea una célula galvánica. Esto se debe a que el aluminio es más noble que el acero, lo que significa que el aluminio tiene una tendencia a perder electrones más baja que el acero galvanizado. Como resultado, el acero galvanizado actúa como el ánodo y el aluminio actúa como el cátodo.

En presencia de agua salada, la célula galvánica acelera la corrosión del acero, mientras que el aluminio se protege de la corrosión. La corrosión del acero galvanizado puede ser significativa, lo que puede resultar en daños funcionales si no se toman medidas para prevenirla.

Para evitar la corrosión, se utilizarán recubrimientos protectores de goma EPDM en la caja de cadenas, aislando los materiales para evitar el contacto directo.

⁵ UNE-EN 24565:1992 Embarcaciones menores. Cadenas de ancla (ISO 4565: 1986).

Capítulo 8. Estudio de la rampa

La rampa de proa es la parte de la embarcación que se eleva y desciende para permitir el desembarco de las unidades en tierra. La rampa puede ser de accionamiento hidráulico, eléctrico o manual. En este caso será manipulado mediante un cabrestante eléctrico que puede ser accionado manualmente en caso de ser necesario.

8.1. Sistema de arriado de la rampa

El sistema de arriado y recogido de la rampa se aloja en la zona interior de la amura de babor y está compuesto por un molinete, una guía, el bloqueo y la cadena de unión (ver figura 26).

El molinete (*windlass*) será accionado por un sistema eléctrico encargado de proporcionar la energía capaz de excitar el motor que dará o recogerá cadena de manera que suba o baje la rampa, convenientemente. Este sistema eléctrico está compuesto por el motor eléctrico, las baterías, el cableado y los sensores para la correcta domotización del conjunto.

Otro tipo de sistema para el arriado podría haber sido mediante un sistema hidráulico, el cual utiliza un fluido a presión para subir y bajar la rampa, mediante el empleo de émbolos y pistones. O, incluso mediante un sistema manual, el cual utiliza un cabrestante para subir y bajar la rampa.

En este caso, el sistema utilizado es similar al que se emplea para arriar el ancla en el sistema de fondeo (ver figura 66). En este caso la cadena será de acero galvanizado de 12 mm, capaz de soportar como mínimo 5400 kg. Un grosor de cadena de 10 mm podría aguantar 3080 kg, pero teniendo en cuenta el peso del vehículo modelo (2800 kg), el peso de la estructura y el peso de eventuales pasajeros haría colapsar la cadena. El bloqueo con el cual debe de contar el sistema de arriado permite fijar la altura de la rampa en las distintas posiciones deseadas.

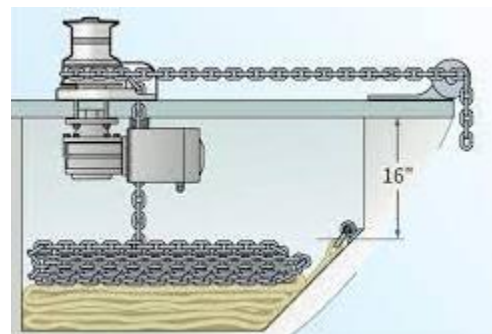


Figura 65. Sistema de fondeo.

El recubrimiento de galvanizado de la cadena es un proceso en el que se utiliza una capa de zinc para la proteger la cadena de acero contra de la corrosión. Al ser la cadena de acero y el casco de aluminio, se debe forrar todo el compartimento de la cadena con goma EPDM para evitar el intercambio de electrones que afectaría produciendo corrosión en el aluminio del casco.

La cantidad de cadena necesaria será de 3,5 m.

8.2. Unión entre rampa y casco

Para la unión entre la cubierta y la rampa de desembarco de proa se emplea, a lo largo de la manga de la embarcación, un seguido de uniones de tipo bisagra que permitirán el abatimiento libre de la plataforma mediante el eje de rotación generado por las distintas uniones. Estas uniones se hacen coincidir con los refuerzos longitudinales internos del fondo del casco para que soporten correctamente el peso del vehículo sobre la rampa.

Otra posible opción podría ser la construcción de la unión mediante un único eje que pasara a través de una única apertura mecanizada en la proa del casco, prolongada toda la manga, o gran parte de ella, permitiendo el libre abatimiento de la rampa.

Entre otras opciones posibles también se ha considerado la unión de tipo perno, en la cual el pasador es solidario a uno de los dos elementos de unión y el otro es el que permite la rotación libre del eje a través de su cavidad interior.

Con la finalidad de simplificar la producción de la embarcación, de entre las opciones anteriores se emplea la unión de tipo bisagra con pasador, dado que facilitará el montaje de la unión generando un mejor resultado y evitando posibles problemas de mantenimiento posteriores.

De este modo, también se logra facilitar el acople y desacople de la rampa para el mantenimiento de la esta, así como evitar posibles problemas de rozadura en la propia unión por desalineación o curvatura del eje, además de permitir otro tipo de formas en la conceptualización del modelo.

8.3. Selección material rampa

De igual manera que anteriormente se ha realizado con la quilla, se realiza el estudio de selección de material, pero en este caso estudiamos la rampa de acceso de los vehículos en cubierta, la cual principalmente va a estar trabajando a flexión.

En este caso estudiaremos las aleaciones de aluminio resistentes a ambientes marinos, así como aceros inoxidables.

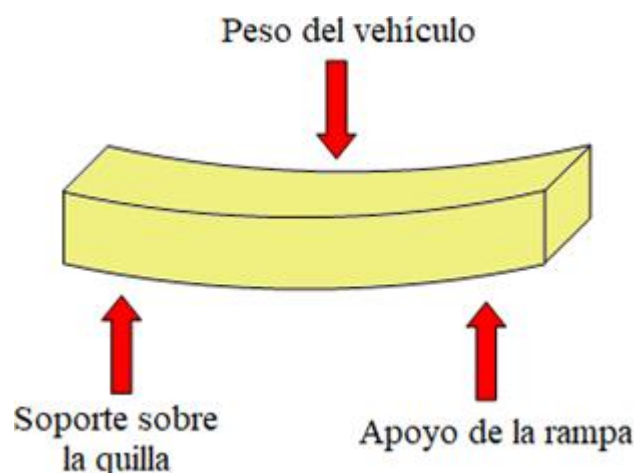


Figura 66. Esfuerzo de flexión al que está sometida la rampa.

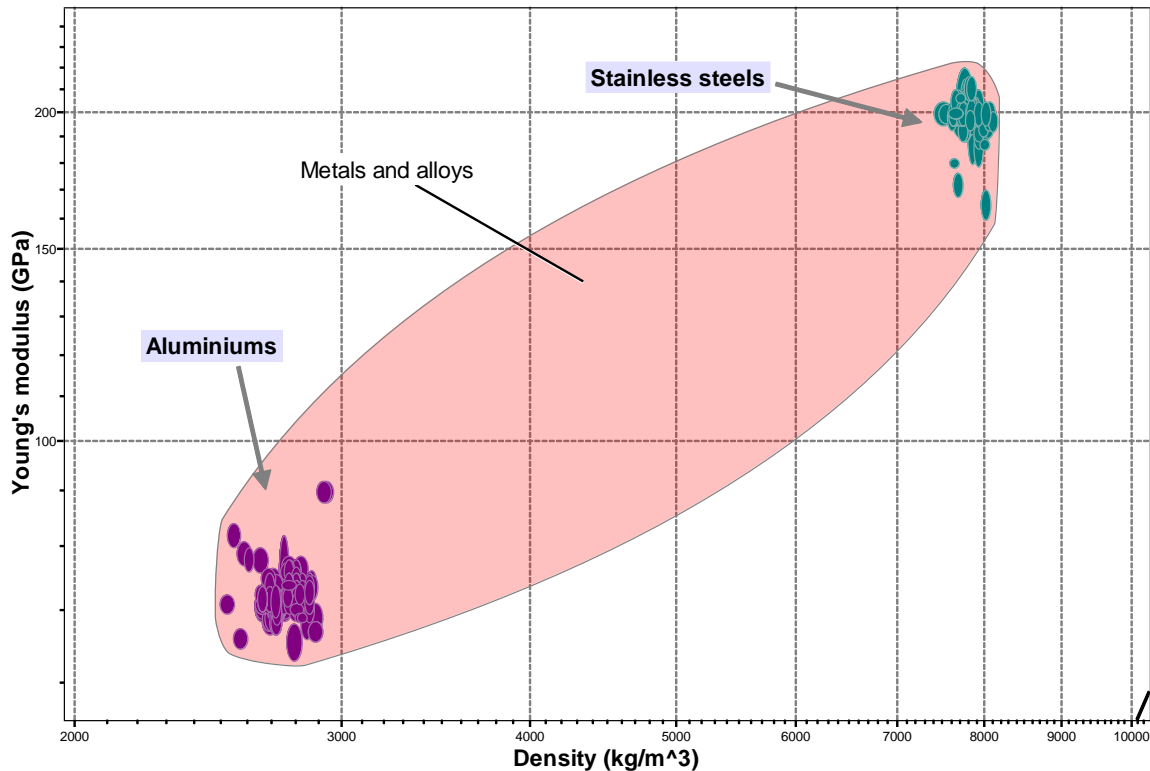


Figura 67. Gráfico E- ρ de aluminios y aceros inoxidables.

Partiendo de la función objetivo de minimización del peso tenemos:

$$m = A \cdot L \cdot \rho = b \cdot h \cdot L \cdot \rho \quad (3.1)$$

Tomando su rigidez a flexión (S) como al menos S*,

$$S = \frac{c \cdot E \cdot I}{L^3} \geq S^* \quad (3.2)$$

Donde 'I', como hemos visto antes, es el módulo de inercia para una sección rectangular y 'c' es la constante de distribución de cargas. Utilizando las dos últimas ecuaciones, se elimina h en la función objetivo obteniendo:

$$m = (12 \cdot S^* / c \cdot b)^{1/3} \cdot (b \cdot L^2) \cdot (\rho / E^{1/3}) \quad (3.3)$$

Donde, el primer término representa la restricción funcional, el segundo las restricciones geométricas y el tercero las propiedades del material. Los valores de S*, L, b y c son conocidos, la única variable libre es la del material. El índice es el conjunto de propiedades del material, el cual invertimos de manera que se busque un máximo. Por lo tanto, los mejores materiales para un panel ligero y rígido son aquellos con los mayores valores de:

$$m' = \frac{E^{1/3}}{\rho} \quad (3.4)$$

En una primera discretización, se emplea una línea de discretización con pendiente 3 en una gráfica E-ρ, a partir de la cual logramos maximizar el módulo de Young, con una densidad mínima. Con este

primer filtrado se descartan los aceros inoxidables por la búsqueda de la mayor ligereza posible y que podían comprometer el peso de la embarcación.

A continuación, se filtran estos materiales para que tengan una buena resistencia al ambiente marino, tanto dulce como salado y se continúa ajustando la recta hasta quedarnos con un número reducido y manejable de materiales: 10 aleaciones de aluminio.

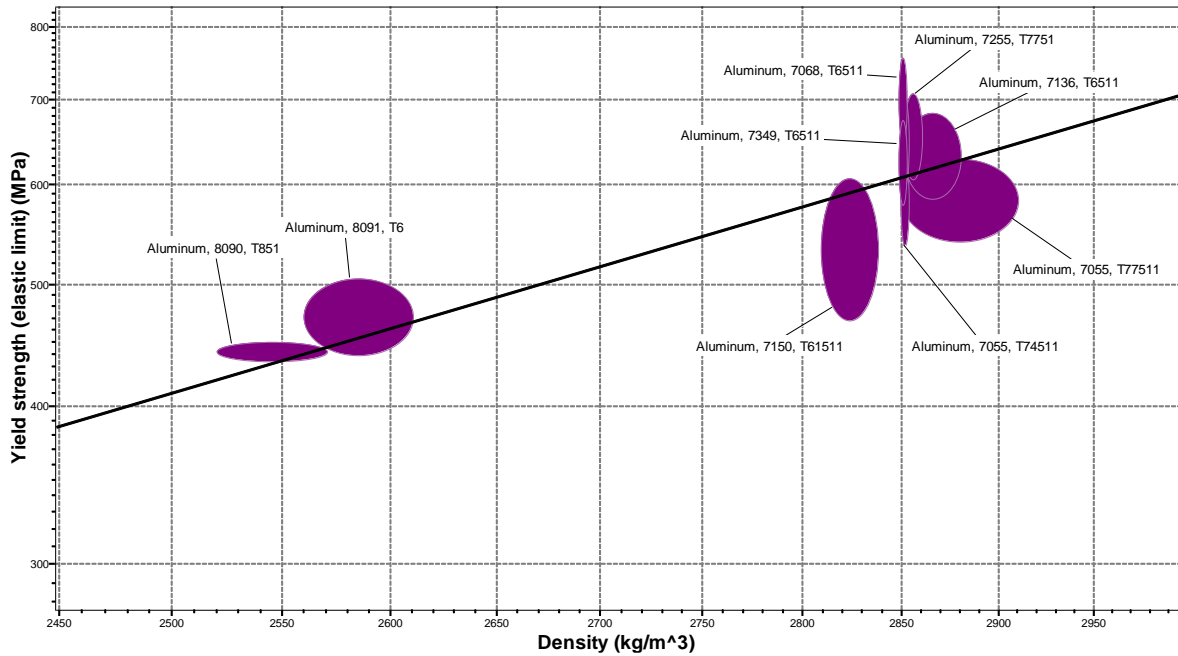


Figura 68. Gráfico σ_y - ρ , para el filtrado de las aleaciones.

A continuación, se filtra el resultado obtenido por precio de coste del material, en función de su densidad.

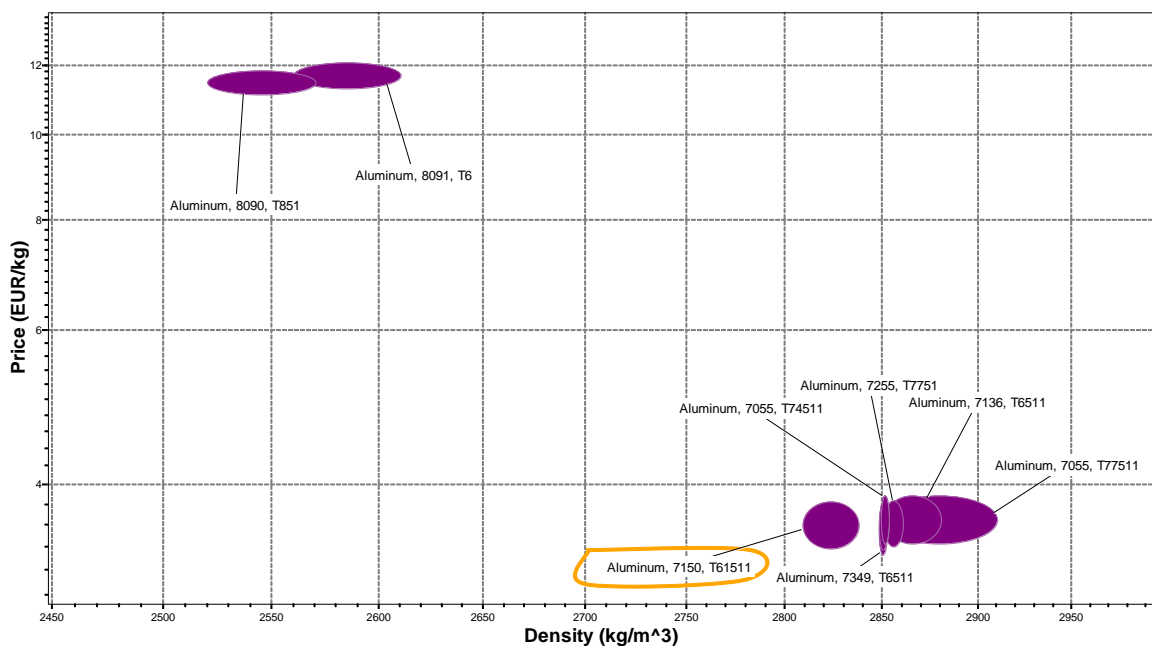


Figura 69. Gráfico Precio-Densidad, para selección final.

De este gráfico podemos observar que todas las aleaciones tienen un rango de precios muy similares, por lo que se opta por escoger aquel que minimice el peso del conjunto, es decir, con una menor densidad. En este caso el AL-7068 T6511 (ver ficha técnica en el anexo A3.2).

Capítulo 9. Arquitectura naval

En este capítulo se exponen ciertos cálculos relacionados con la arquitectura naval como son el arqueo, el desplazamiento, los centros de gravedad y la estabilidad.

9.1. Cálculo de arqueo

En el Reglamento de arqueo de buques (Cap. 2, Art. 6 - Procedimiento de arqueo para buques menores) se recoge el método para determinar el arqueo en embarcaciones menores de 50 TRB.

El arqueo bruto consta del arqueo bajo cubierta sumado al tonelaje de espacios cerrados sobre cubierta:

- Para determinar el tonelaje bajo cubierta de arqueo, se usará la fórmula siguiente:

$$TRB_{\text{UNDER DECK}} = L \cdot B \cdot T / 5 = 9,65 \cdot 3,85 \cdot 2,24 / 5 = 16,64 \text{ TRB}$$

Donde, L= eslora total, B= manga máxima y T= puntal de trazado.

- Para determinar el tonelaje sobre cubierta de los espacios cerrados se emplea la siguiente fórmula para cada espacio:

$$TRB_{\text{ABOVE DECK}} = \sum (L' \cdot B' \cdot T' / 2,83) = 3,9 \text{ TRB}$$

Donde, L' B' y T' son la eslora, manga y puntal para cada espacio.

En total obtenemos un arqueo bruto de 20,55 TRB.

Para determinar el Tonelaje de Registro Neto, en buques de carga y pesqueros, se emplea la siguiente fórmula:

$$TRN = V_c / 2,83 = 33,29 / 2,83 = 11,76 \text{ TRN}$$

Donde, V_c es el volumen de los espacios de carga y TRN son las toneladas de registro neto.

Al no tener limitación de altura en cubierta, se determina como altura máxima del volumen de carga el establecido por la altura del vehículo modelo embarcado. Teniendo en cuenta el área de carga en cubierta (16.9 m²) por la altura del vehículo (1,97 m), obtenemos un volumen de 33.29 m³.

9.2. Desplazamiento

Durante todo el proceso de proyección de la embarcación es importante llevar un control y estudio de la distribución de pesos a bordo. El objetivo de esta tarea es obtener, de la forma más exacta posible, el peso en rosca, el centro de gravedad y el trimado. Estos datos son de vital importancia para el estudio de la estabilidad de la embarcación en las diferentes condiciones de carga y calado.

El centro de gravedad final debe situarse lo más bajo posible y alineado en el eje de crujía del barco. Esto se consigue con una buena distribución de pesos a bordo.

Para obtener una estimación de dicha distribución de pesos se realiza un listado de los elementos existentes a bordo, conociendo el peso de cada uno y la ubicación de su centro de gravedad (según la distribución general de la embarcación).

Como sistema de referencia se ha cogido el punto de corte de la línea base con la perpendicular que toca con la popa de la plataforma de baño, lugar donde situamos el origen de coordenadas. Hacia proa positivo, hacia popa negativo. Del mismo modo, a estribor positivo y a babor negativo.

9.2.1. Peso de la estructura

Para determinar el peso total de la estructura debemos calcular cada uno de los elementos que componen esta, para después poder obtener el peso conjunto. Estos componentes incluyen los paneles de fondo, paneles de costado, la cubierta transitable, las cuadernas y los refuerzos longitudinales (de fondo y de cubierta).

Cálculo de los paneles de fondo:

El peso de los paneles de fondo se puede calcular multiplicando la superficie total (36.20 m²) por el espesor de los paneles de fondo (8 mm) y por la densidad del aluminio. Si la densidad del aluminio es de 2.65 g/cm³, el peso de los paneles de fondo será de:

$$\text{Peso} = \text{Superficie} \times \text{Espesor} \times \text{Densidad} = 36.20 \text{ m}^2 \times 0.008 \text{ m} \times 2650 \text{ kg/m}^3 = 768 \text{ kg}$$

Cálculo de los paneles de costado:

El peso de los paneles de costado se puede calcular multiplicando la superficie total (28.20 m²) por el espesor de los paneles de costado (5 mm) y por la densidad del aluminio. El peso de los paneles de fondo será de:

$$\text{Peso} = \text{Superficie} \times \text{Espesor} \times \text{Densidad} = 28.20 \text{ m}^2 \times 0.005 \text{ m} \times 2650 \text{ kg/m}^3 = 374 \text{ kg}$$

Cálculo de los paneles de la cubierta transitable:

El peso de los paneles de cubierta se puede calcular de la misma manera, utilizando la superficie total de los paneles de cubierta (32.06 m²) y su espesor (5 mm):

$$\text{Peso} = \text{Superficie} \times \text{Espesor} \times \text{Densidad} = 32.06 \text{ m}^2 \times 0.005 \text{ m} \times 2650 \text{ kg/m}^3 = 425 \text{ kg}$$

Cálculo del peso de las cuadernas y mamparos:

El peso de los refuerzos transversales, es decir, las cuadernas, se puede calcular multiplicando el área de estos por su espesor y por su densidad. Si los refuerzos transversales tienen un área conjunta de 17.64 m^2 y, teniendo en cuenta que tienen un espesor de 5 mm, el peso será:

$$\text{Peso} = \text{Superficie} \times \text{Espesor} \times \text{Densidad} = 17.64 \text{ m}^2 \times 0.005 \text{ m} \times 2650 \text{ kg/m}^3 = 234 \text{ kg}$$

Cálculo de los paneles de superestructura:

El peso de los paneles de superestructura se puede calcular de la misma manera, utilizando la superficie total de los paneles de superestructura (38.45 m^2) y su espesor (4 mm):

$$\text{Peso} = \text{Superficie} \times \text{Espesor} \times \text{Densidad} = 38.45 \text{ m}^2 \times 0.004 \text{ m} \times 2650 \text{ kg/m}^3 = 408 \text{ kg}$$

Cálculo del peso de la rampa:

El peso de la rampa se puede calcular multiplicando el área del conjunto de chapas que la forman, por su espesor y por su densidad (en este caso de 2850 kg/m^3). Si el área conjunta de 8.91 m^2 y, teniendo en cuenta que tienen un espesor de 5 mm, el peso será:

$$\text{Peso} = \text{Superficie} \times \text{Espesor} \times \text{Densidad} = 8.91 \text{ m}^2 \times 0.005 \text{ m} \times 2850 \text{ kg/m}^3 = 127 \text{ kg}$$

Cálculo de los refuerzos longitudinales:

El peso de los refuerzos transversales, es decir, las cuadernas, se puede calcular multiplicando su longitud por su sección transversal y por su densidad. Si los refuerzos son de tipo T de $70 \times 70 \times 6$, su sección transversal será de 804 mm^2 y su longitud dependerá de las dimensiones de la estructura. Sabiendo que los refuerzos tienen una longitud total de 277.4 metros, el peso de dichos refuerzos será:

$$\text{Peso} = \text{Longitud} \times \text{Sección Transversal} \times \text{Densidad} = 277.4 \text{ m} \times 804 \text{ mm}^2 \times 2650 \text{ kg/m}^3 / 10^6 = 591 \text{ kg}$$

Cálculo del peso total de la estructura:

Finalmente, para obtener el peso total de la estructura, se deben sumar los pesos de los paneles de fondo, de costado, de cubierta, las cuadernas y los refuerzos longitudinales; así como otros refuerzos intermedios que suman 44 kg. Obtenemos entonces:

$$\text{Peso Total Estructura} = 768 \text{ kg} + 374 \text{ kg} + 425 \text{ kg} + 234 \text{ kg} + 408 \text{ kg} + 127 \text{ kg} + 591 \text{ kg} + 44 \text{ kg} = 2970 \text{ kg}$$

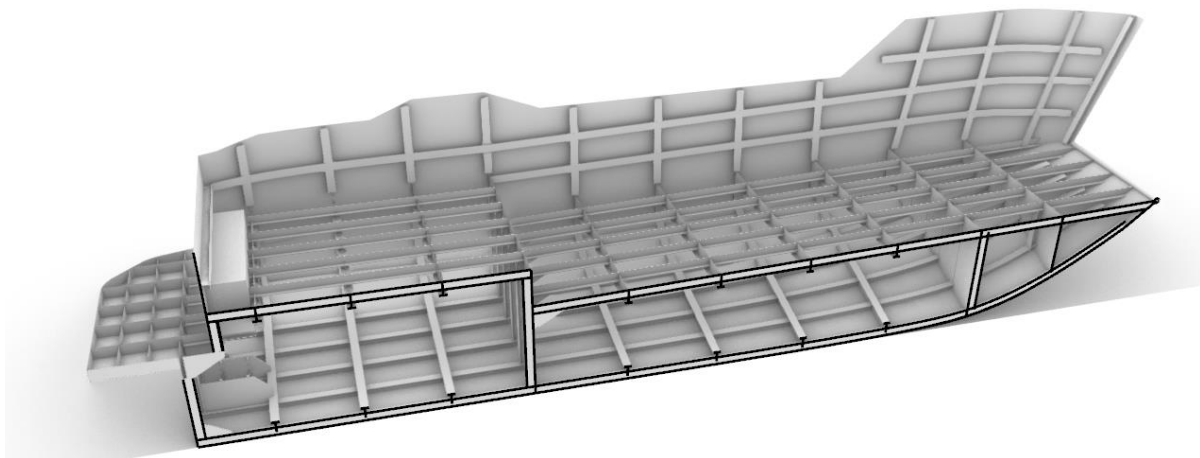


Figura 70. Vista en perspectiva de la estructura seccionada por cruzía.

9.2.2. Peso de sistemas y equipos

A continuación, se exponen los diferentes pesos de las diversas partidas que componen los sistemas y equipos:

Elemento	Peso (t)
Equipo de amarre y fondeo	0.095
Equipos náuticos	0.100
Sistema eléctrico	0.085
Nevera	0.030
Asientos	0.200
Sistema ventilación	0.020
Sistema refrigeración	0.020
Elementos de seguridad	0.120
Tanques	0.030
Bombas	0.020
Tuberías	0.036
Teca	0.230
Equipos propulsores	0.380
Sistema eléctrico propulsivo	2.280
Peso de sistemas y equipos	3.646

Tabla 12. Pesos de los diferentes sistemas y equipos.

9.2.3. Peso rosca total

Una vez obtenido el peso de la estructura y de los sistemas, se procede a calcular el peso en rosca total y su posición, sumando el peso de estas dos partidas y obteniendo un peso de 6.616 Kg.

9.2.4. Peso muerto

Peso muerto, recuperando la definición anterior de peso muerto, debemos sumar los pesos del vehículo embarcado en cubierta, los pasajeros a bordo y otros líquidos embarcados a bordo, en este caso serán las bebidas y el agua dulce dentro almacenado en el tanque. Estos pesos son los representados en la tabla 13.

Descripción	Unidades	Peso unitario (t)	Peso total (t)
Tanque de agua dulce	1	0.05	0.05
Vehículo	1	2.80	2.800
Pasajeros	9	0.08	0.720
		TOTAL	3 570 kg

Tabla 13. Cálculo del peso muerto.

9.2.5. Desplazamiento a plena carga (DWT)

Una vez sumado el peso en rosca y el peso muerto, se puede determinar desplazamiento a plena carga de 10.186 kg.

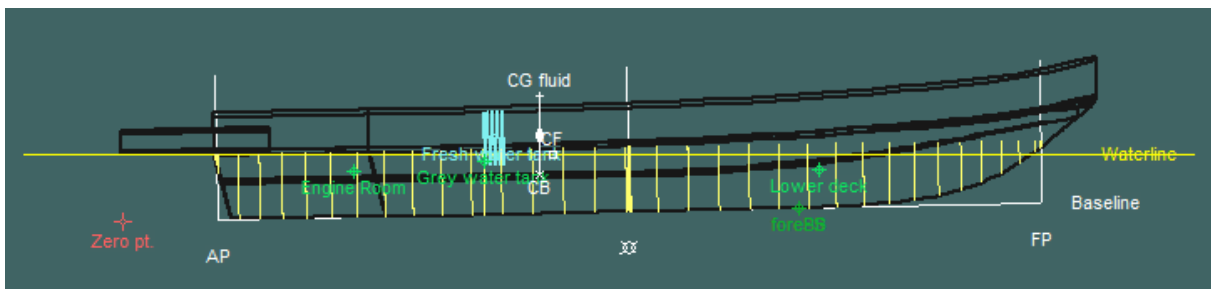
9.3. Estabilidad

Una vez desglosados los pesos de la embarcación se pueden justificar las diferentes condiciones de carga y realizar la evaluación de la estabilidad de cada una.

Para el cálculo de la estabilidad de la embarcación se identifican 3 escenarios:

- Embarcación en plena carga, con pasajeros, tripulación y vehículo cargado.
- Sin vehículo, ni pasajeros.
- Light-craft. La embarcación en rosca.

9.3.1. Caso de plena carga



Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1.025; (Density = 1.025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

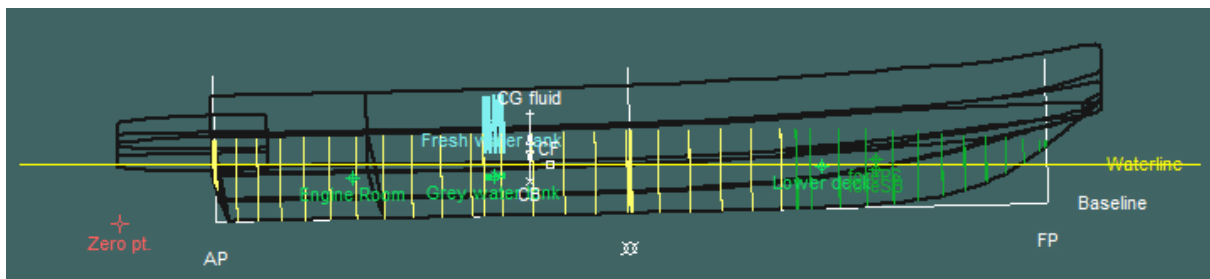
Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Fresh water tank	100%	0.050	0.050	0.050	3.600	-1.250	0.750
Grey water tank	0%	0.051	0.000	0.050	3.600	1.250	0.500
forePS	0%	0.760	0.000	0.742	6.545	0.000	0.004
foreSB	0%	0.760	0.000	0.742	6.545	0.000	0.004
Lightship	1	1.236	1.236		4.836	0.000	0.857
CAR	1	2.800	2.800		5.800	0.000	1.700
Pax	9	0.080	0.720		2.100	0.350	1.950
Engine	2	0.190	0.380		0.800	0.000	0.340
Battery	12	0.189	2.263		3.070	0.000	0.488
Systems	1	0.600	0.600		3.400	-0.500	0.700
Wheelhouse	1	0.150	0.150		3.010	-1.287	1.972
Front seats	3	0.020	0.060		2.890	0.000	1.780
Aft seats	5	0.020	0.100		1.142	0.485	1.780
Fridge	1	0.022	0.022		2.910	0.988	1.623
Total Loadcase			8.381	1.584	4.057	-0.028	1.137
FS correction							0.000
VCG fluid							1.137

Draft Amidships m	0.555
Displacement t	8.381
Heel deg	-0.7
Draft at FP m	0.480
Draft at AP m	0.629
Draft at LCF m	0.568
Trim (+ve by stern) m	0.149
WL Length m	8.800
Beam max extents on WL m	3.848
Wetted Area m ²	27.633
Waterpl. Area m ²	25.429
Prismatic coeff. (Cp)	0.624
Block coeff. (Cb)	0.386
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.620
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.751
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	4.043
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	4.175
KB m	0.373
KG fluid m	1.137
BMT m	3.142
BML m	13.744
GMt corrected m	2.378
GML m	12.980
KMt m	3.514
KML m	14.114
Immersion (TPc) tonne/cm	0.261
MTc tonne.m	0.136
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0.348
Max deck inclination deg	1.2777
Trim angle (+ve by stern) deg	1.0702

Key point	Type	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = 0.039 m)		0.116
Deck Edge (freeboard pos = 0.039 m)		0.192

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
ISO 12217-1:2002(E)	6.1.2 Downflooding height at equilibrium	1.420	m	Freeboard point not found	Pass	+704118.31
ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - heel at equilibrium	10.0	deg	-0.7	Pass	+106.98
ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - required freeboard at equilibrium	0.045	m	Freeboard point not found	Pass	+22221900.00

9.3.2. Caso sin carga



Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1.025; (Density = 1.025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

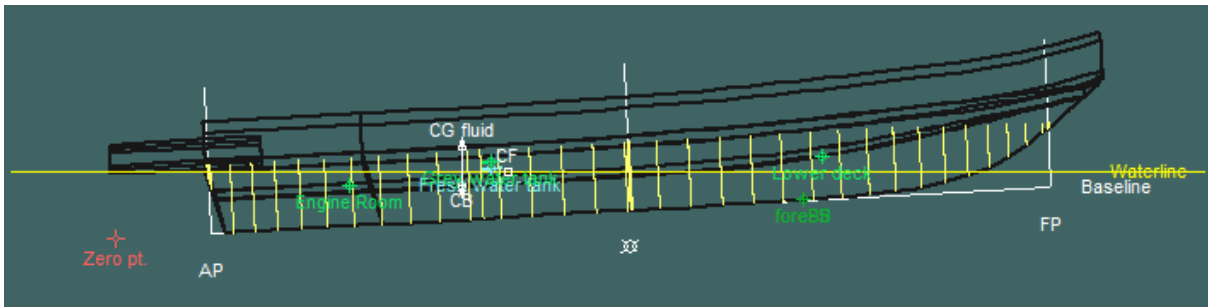
Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Fresh water tank	100%	0.050	0.050	0.050	3.600	-1.250	0.750
Grey water tank	0%	0.051	0.000	0.050	3.600	1.250	0.500
forePS	100%	0.760	0.760	0.742	7.267	-0.486	0.409
foreSB	100%	0.760	0.760	0.742	7.267	0.486	0.409
Lightship	1	1.236	1.236		3.000	0.000	0.500
CAR	0	2.800	0.000		3.010	-1.287	1.972
Pax	2	0.080	0.160		2.890	0.000	1.780
Engine	2	0.190	0.380		1.142	0.485	1.780
Battery	12	0.189	2.264		2.910	0.988	1.623
Systems	1	0.600	0.600		3.600	-1.250	0.750
Wheelhouse	1	0.150	0.150		3.600	1.250	0.500
Front seats	3	0.020	0.060		3.600	-1.250	0.750
Aft seats	5	0.020	0.100		3.699	0.833	0.500
Fridge	1	0.022	0.022		6.904	0.000	0.004
Total Loadcase			6.543	1.584	3.953	0.276	0.999
FS correction							0.000
VCG fluid							0.999

Draft Amidships m	0.467
Displacement t	6.543
Heel deg	5.7
Draft at FP m	0.381
Draft at AP m	0.554
Draft at LCF m	0.484
Trim (+ve by stern) m	0.173
WL Length m	8.654
Beam max extents on WL m	3.733
Wetted Area m ²	25.626
Waterpl. Area m ²	22.971
Prismatic coeff. (Cp)	0.603
Block coeff. (Cb)	0.362
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.600
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.711
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	3.939
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	4.133
KB m	0.347
KG fluid m	0.999
BMt m	3.253
BML m	14.834
GMt corrected m	2.597
GML m	14.179
KMt m	3.583
KML m	15.105
Immersion (TPc) tonne/cm	0.235
MTc tonne.m	0.116
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0.297
Max deck inclination deg	5.8124
Trim angle (+ve by stern) deg	1.2393

Key point	Type	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = 0.765 m)		0.058
Deck Edge (freeboard pos = 0.765 m)		0.133

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
ISO 12217-1:2002(E)	6.1.2 Downflooding height at equilibrium	1.420	m	Freeboard point not found	Pass	+704118.31
ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - heel at equilibrium	10.0	deg	5.7	Pass	+43.20
ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - required freeboard at equilibrium	0.045	m	Freeboard point not found	Pass	+22221900.00

9.3.3. Caso de light-craft



Damage Case - Intact

Free to Trim,

Specific gravity = 1.025; (Density = 1.025 tonne/m³)

Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m
Fresh water tank	0%	0.050	0.000	0.050	3.600	-1.250	0.500
Grey water tank	0%	0.051	0.000	0.050	3.600	1.250	0.500
forePS	0%	0.760	0.000	0.742	6.545	0.000	0.004
foreSB	0%	0.760	0.000	0.742	6.545	0.000	0.004
Lightship	1	1.236	1.236		4.836	0.000	0.857
CAR	0	2.800	0.000		5.800	0.000	1.700
Pax	0	0.080	0.000		2.100	0.350	1.950
Engine	2	0.190	0.380		0.800	0.000	0.340
Battery	12	0.189	2.264		3.070	0.000	0.488
Systems	1	0.600	0.600		3.400	-0.500	0.700
Wheelhouse	1	0.150	0.150		3.010	-1.287	1.972
Front seats	3	0.020	0.060		2.890	0.000	1.780
Aft seats	5	0.020	0.100		1.142	0.485	1.780
Fridge	1	0.022	0.022		2.910	0.988	1.623
Total Loadcase			4.812	1.584	3.341	-0.088	0.692
FS correction							0.000
VCG fluid							0.692

Draft Amidships m	0.369
Displacement t	4.812
Heel deg	-1.5
Draft at FP m	0.144
Draft at AP m	0.594
Draft at LCF m	0.434
Trim (+ve by stern) m	0.450
WL Length m	8.233
Beam max extents on WL m	3.813
Wetted Area m ²	21.555
Waterpl. Area m ²	20.428
Prismatic coeff. (Cp)	0.428
Block coeff. (Cb)	0.257
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.629
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.651
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	3.319
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	3.760
KB m	0.306
KG fluid m	0.692
BMt m	3.787
BML m	15.243
GMt corrected m	3.401
GML m	14.857
KMt m	4.086
KML m	15.520
Immersion (TPc) tonne/cm	0.209
MTc tonne.m	0.090
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0.286
Max deck inclination deg	3.5550
Trim angle (+ve by stern) deg	3.2256

Key point	Type	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = 0.039 m)		0.101
Deck Edge (freeboard pos = 0.039 m)		0.177

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
ISO 12217-1:2002(E)	6.1.2 Downflooding height at equilibrium	1.420	m	Freeboard point not found	Pass	+704118.31
ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - heel at equilibrium	10.0	deg	-1.5	Pass	+114.98
ISO 12217-1:2002(E)	6.2 Offset load test - required freeboard at equilibrium	0.045	m	Freeboard point not found	Pass	+22221900.00

Capítulo 10. Presupuesto

En este capítulo se realiza el presupuesto del proyecto, considerando los costes de construcción de la estructura, el coste de los equipos y sistemas, y de los gastos administrativos asociados. Posteriormente, al presupuesto anterior se le incluyen los márgenes necesarios para producir beneficios en el astillero y para eventuales desajustes del proyecto; también se deben sumar los costes de registro, para finalmente poder ofrecer un precio de venta final al armador.

10.1. Coste de la estructura

Una vez identificados las distintas aleaciones que se emplearán en la construcción, emplearemos la base de datos *GRANTA* de la empresa *Ansys*, para obtener un rango de precios de mercado (actualizados de 2021).⁶ Cabe tener en cuenta que estos precios son estimados y pueden variar en función de varios factores como la región geográfica, el proveedor, la cantidad comprada, la calidad del material y las características específicas de la chapa.

En términos generales, el precio del aluminio AL-5083 puede oscilar entre 1,67 y 1,86 €/kg. Tomaremos la media entre ambos valores obteniendo un precio de 1,765 €/kg. Multiplicando este valor por el peso (2.252 kg), obtenemos un valor de 3.974,16€.

De igual manera, las extrusiones de AL-6083 T6 tienen un precio que ronda entre 1,63 y 1,83 €/kg. Multiplicando la media por el peso de los refuerzos (591 kg), obtenemos 1022,4 €.

Lo mismo sucede en el caso de la rampa, para el cual el material empleado será AL-7150 T6, el cual tiene un precio que ronda entre los 3,4 y los 3,8 €/kg, obteniendo un valor de 457,90 €.

Dando un valor final de 5.454 € para el conjunto de la estructura. Este coste a simple vista se considera reducido, por lo que se realiza nuevamente el cálculo estimando unos ratios, en función de las dimensiones de la embarcación. De este nuevo cálculo obtenemos un coste de 13.932 €.

A este coste se le debe añadir un valor de pérdidas y merma de material, así como otras estructuras auxiliares necesarias para la construcción. Este valor se estima en un 20% del precio calculado, obteniendo un coste de estructura de 16.719 €.

⁶ Ver anexo A3.2. Información técnica aleaciones de aluminio.

Al coste anteriormente calculado se le deberá sumar el coste de fabricación de la estructura, es decir, el coste de la mano de obra. Partiendo de unos ratios dimensionales, en función de las proporciones de la embarcación, calculamos el coste que tendrá esta partida. Para ello se estima un coste medio de 45 €/h.

Obtenemos un total de 557 h de trabajo, lo cual supone un coste de 25.078 €, que sumado al coste del material de la estructura supone un total de 41.797€ de estructura.

10.2. Coste de sistemas y equipos

A continuación, en la tabla 14, se representan los diferentes costes, y las horas de mano de obra estimadas como necesarias para la instalación de cada uno de los elementos de las diferentes partidas referentes a los equipos y sistemas. Suponiendo un coste final de conjunto de 149.445 €.

SISTEMA PROPULSIVO	Precio (€)	Nº horas	Jornales	TOTAL
Motores propulsores	12 000	20	900	12 900
Stern drive	5 400	18	810	6 210
Sistema electrico propulsivo	80 000	40	1 800	81 800
Ventilación de máquinas	300	15	675	975
Tuberías de refrigeración	400	25	1 125	1 525
Tuberías de achique	450	25	1 125	1 575
TOTAL	98 550	143	6 435	104 985 €

SISTEMAS AUXILIARES	Precio (€)	Nº horas	Jornales	TOTAL
Instalación eléctrica	5 000	40	1 800	6 800
Luces y material náutico	1 400	20	900	2 300
Tanques (agua dulce y grises)	500	20	900	1 400
Tuberías	300	20	900	1 200
Valvulería y conexiones	500	20	900	1 400
Amarre y fondeo	1 900	25	1 125	3 025
TOTAL	9 600	145	6 525	16 125 €

EQUIPOS ELECTRONICOS	Precio (€)	Nº horas	Jornales	TOTAL
Piloto automático	1 500	15	675	2 175
Radio VHF	1 300	8	360	1 660
Radar	2 400	10	450	2 850
Sonda	2 600	15	675	3 275
TOTAL	7 800	48	2 160	9 960 €

SALVAMENTO Y CONTRAINCENDIOS	Precio (€)	Nº horas	Jornales	TOTAL
EQUIPO DE SALVAMENTO	2 600	15	675	3 275
MEDIOS CONTRA INCENDIOS	2 200	25	1 125	3 325
TOTAL	4 800	40	1 800	6 600 €

OTROS	Precio (€)	Nº horas	Jornales	TOTAL
Asientos	1 600	15	675	2 275
Barandillado	1 200	20	900	2 100
Acabado de teka	3 000	30	1 350	4 350
Defensas	2 150	20	900	3 050
TOTAL	7 950	85	3 825	11 775 €

Tabla 14. Costes de sistemas y equipos.

10.3. Gastos administrativos

Los gastos administrativos, están compuestos por las siguientes partidas:

- Gastos de proyecto de ingeniería y de administración: 25.000 €
- Gastos de clasificación de la embarcación y de pruebas de mar: 12.000 €
- Gastos de botadura y amarres temporales: 5.000 €
- Gastos del seguro de construcción: 10.000 €
- Repercusión del alquiler de la nave.

La fabricación de la embarcación requiere de la explotación de un espacio, lo suficientemente grande, y adaptado para permitir que varios trabajadores operen al mismo tiempo en espacios cercanos. Para obtener una estimación del costo que esto supone, nos basamos en fabricaciones semejantes. El costo del alquiler del local a repercutir es de 1.200 € por mes, lo que da un costo final de alquiler de 9.600 € en 8 meses.

A este coste añadiremos un margen del 25% teniendo en cuenta las diferentes infraestructuras y servicios requeridos en los distintos trabajos. Finalmente obtenemos un valor de 12.000 €.

Esto supone un gasto administrativo total de 64.000 €.

10.4. Presupuesto final

Para obtener el presupuesto final, sumaremos todos los gastos calculados en los párrafos anteriores. Esta suma nos da un valor de 255.242 €.

A este valor se le debe añadir los beneficios industriales del astillero, por lo que añadiremos un margen de beneficio del 15%.

Además, añadiremos un margen del 5% del coste de producción al precio final, para poder sufragar eventuales imprevistos durante la ejecución del proyecto.

Por último, debemos tener en cuenta el coste de registro, lo que incrementará el precio de la embarcación en un 3%.

Finalmente, el armador deberá desembolsar una cantidad total de 313.947 €.

Coste construcción	
Estructura	41 797 €
Sistemas	149 445 €
Administrativos	64 000 €
TOTAL	255 242 €
15%	Beneficio astillero
5%	Margen
3%	Coste de registro
COSTE ARMADOR	313 947 €

Tabla 15. Costes de construcción y coste final armador.

Capítulo 11. Conclusiones

El estudio aquí presente concluye con la presentación del proyecto de la embarcación requerida por el armador para el transporte de vehículos todoterreno embarcados en el buque nodriza hasta tierra firme, cumpliendo con los requisitos demandados y entregando un proyecto de gran calidad, en sintonía con el cliente con el cual se está tratando.

Entre estos requisitos, destaca la reducción al máximo del dimensionamiento volumétrico (para facilitar el arriado y la estiba a bordo del buque) y del desplazamiento, permitiendo así incrementar la capacidad de almacenamiento de baterías y la autonomía de la embarcación.

Para la obtención de este original proyecto, se ha estudiado todo lo relacionado con el sector de la náutica de recreo, incidiendo en el análisis de las exigencias del lujo y de la movilidad que los vehículos todoterreno terrestres requieren; logrando además unir el sector recreacional con el sector militar, para conseguir obtener un producto único.

Este producto se trata de una embarcación de tipo lanchas de desembarco (*landing craft*) de 9,6 m de eslora, impulsado eléctricamente mediante una propulsión *twin* de motores de inducción acoplados a una cola Stern drive de la marca Mercury.

Las lanchas de desembarco son embarcaciones muy versátiles que tienen un gran potencial en cuanto a maniobrabilidad, logística y capacidad de carga, como se muestra en el capítulo introductorio del proyecto. Sin embargo, es importante tener en cuenta que para varar en la playa se requiere un amplio conocimiento, tanto de la embarcación como de la playa misma, por lo que es necesario contar con una formación específica y tener conocimientos mínimos para su uso (formación que, actualmente, solo se imparte en las diferentes armadas, y eso limita significativamente el número de patrones capacitados para pilotarlas).

El principal motivo por el cual la explotación de estas embarcaciones es escasa reside, no solo en la falta de conocimiento acerca de la varada voluntaria, sino también en la falta de tradición en determinadas zonas que, por motivos geográficos, tienen limitadas las aguas de navegación en interior.

Para el diseño de la embarcación se tiene en cuenta un sinfín de factores que, a medida que se va avanzando en la realización de un proyecto, se van sumando, resolviendo, descartando y ajustando con el objetivo de acercarnos más al producto final.

Para realizar los cálculos de desplazamiento, de posicionamiento de pesos y estudios hidrodinámicos necesarios se emplean herramientas de arquitectura naval, como *Rhinoceros* y *Maxsurf* (la sinergia entre los cuales generan un binomio muy interesante), para generar las formas de la embarcación. Sin embargo, debido a que estos programas no son paramétricos, cada modificación requiere volver a generar parte de la geometría modelada. En cambio, mediante el empleo de programas de modelado

paramétrico, como son *Solidworks* o *Catia*, se permite cierto ahorro de tiempo mediante la automatización de algunas tareas, como la generación de sólidos o planos constructivos.

La generación de estas formas permite elaborar un modelo 3D donde poder visualizar las interacciones entre los diferentes elementos que componen la embarcación, siendo capaz de visibilizar el volumen que ocupa cada elemento y logrando tener un modelo virtual a escala real, lo cual va a permitir obtener mucha más información para posteriormente gestionar el proceso de fabricación de la embarcación.

Este modelo también ofrece al cliente unas imágenes foto realistas del producto final que se va a construir, logrando captar su interés mediante la entrega visual del producto. Esto permite, también, poder ajustar el resultado final, previamente a la construcción, optimizando tiempos y recursos.

Por lo que respecta a la estructura, se certifica la resistencia mecánica de la embarcación mediante la verificación del cumplimiento de la normativa aplicable. El empleo del aluminio permite otorgar a la embarcación cierta ligereza en relación con la fibra de vidrio, así como facilitar las posibles reparaciones, modificaciones y adaptaciones de forma, de una manera más sencilla que con fibra (la cual, además, esta última es susceptible de delaminar y echarse a perder en caso de entrar en contacto con el lecho marino durante las operativas de aproximación a la costa).

Durante el proyecto se emplea la herramienta *GRANTA* de *Ansys* para realizar una optimización de las aleaciones de aluminio que se utilizará para la construcción de varios elementos de la embarcación (como la quilla y la rampa de proa).

Si bien es cierto, la estructura de la embarcación aún tiene potencial de optimización, pudiéndose aligerar mediante un estudio más completo empleando herramientas de CFD.

En cuanto al sistema propulsivo, inicialmente se plantea la posibilidad de propulsar la embarcación mediante un sistema de *waterjets*, debido a su elevada maniobrabilidad, cosa que finalmente se acaba por descartar en vista del elevado desempeño requerido por estas unidades para una propulsión eficiente. Dichos requisitos no son alcanzables por una propulsión eléctrica alimentada por baterías, debido al desplazamiento necesario para cubrir una reducida autonomía a esas velocidades.

Tras el estudio de los diferentes sistemas propulsivos existentes en el mercado, se acaba por establecer una propulsión mediante Stern drives. Dicha elección permite una sencillez práctica del sistema que otorga también una elevada maniobrabilidad, compatible con la navegación en aguas muy poco profundas.

Concluido el proyecto, destacar que aún queda mucho camino por recorrer en lo que respecta a las energías propulsivas alternativas. Si bien se está trabajando mucho en ello, las condiciones de seguridad de algunas alternativas aún están entre dicho y el acceso a ellas no acaba de permitir una buena expansión.

Para el nicho de mercado estudiado, la propulsión mediante baterías es una opción viable, por la proximidad del buque de alimentación. Para otros requisitos de autonomía no acabaría de ser viable por el elevado coste, peso y empacho necesario. En este caso estamos hablando de unos 80.000€, 2.280 kg y 12 módulos de 620 x 950 x 350 mm, obteniendo una capacidad de 230,4 kWh a 288 V.

En vista del principal inconveniente de la propulsión eléctrica (el almacenaje de energía) se debe sopesar el dimensionado de las baterías comprometiendo la autonomía de la embarcación, reduciendo

así, las posibilidades de uso de la embarcación al principal objetivo del proyecto: la proyección a tierra de unidades todoterreno. En este sentido, se descarta, entonces, la opción de poder resistir una jornada de entretenimiento, como puede ser a través del remolque de artefactos flotantes o del esquí acuático.

Una vez estudiada la distribución de pesos, se determina el desplazamiento total de la embarcación, sumando el peso muerto al peso en rosca. Este valor a plena carga es de 10.186 kg, un valor muy elevado para las contenidas dimensiones de la embarcación, principalmente afectada por el peso del vehículo estibado a bordo y, como ya hemos comentado, del conjunto de baterías.

Es importante determinar una buena distribución de los pesos en una *landing craft*, ya que se deben de tener en cuenta la variación dinámica de sus cargas. El peso del vehículo a bordo, y situado muy a la proa de la embarcación, genera unos momentos elevados que producen el trimado de la embarcación hacia proa. Al descargar el vehículo, todo ese peso desaparece de la proa, de tal forma que la distribución de pesos a plena carga, pero sin el vehículo, se convierte en un trimado completamente contrario, siendo en este otro caso apopante. Para evitar esta situación, tras el estudio de estabilidad realizado, confirma que, tras emplear el pique de proa como tanque de lastre, el trimado se corrige satisfactoriamente.

Tras un laborioso trabajo en espiral de actualización del desplazamiento, corrección de la posición de pesos y trimados de la embarcación, el proceso del cálculo de estabilidad ha llegado a su fin con unos resultados satisfactorios. Este ha sido un punto crítico del proyecto, sin embargo, el esfuerzo ha dado como resultado una embarcación estable que cumple con todos los requisitos de la normativa ISO para la categoría de diseño C.

Como futura línea de mejora, se considera optimizar la estructura, como ya se ha comentado, y focalizarse más en los sistemas, es decir, acabar de definir los diversos circuitos esquemáticos, tratando de ajustarlos al máximo, para, posteriormente, poderlos modelar en 3D y obtener a partir del modelo todos los planos constructivos finales.

Finalmente, destacar el coste de la embarcación para el armador, el cual asciende a 313.950€. Como astillero dedicado a la construcción de embarcaciones, se puede observar que lo que más influye en el aumento de precio de una embarcación es la mano de obra. Esto se debe a que el servicio que se presta en el astillero es el modelado de los materiales y correcto posicionamiento de estos con tal de, finalmente, conformar la embarcación.

También es importante destacar la necesidad de tener unos proveedores confiables y puntuales, que permitan no retrasar el proyecto en la entrega de estos materiales. En función del volumen de trabajo y las necesidades de aprovisionamiento del astillero, los márgenes de los proveedores podrían ajustarse, reduciendo de esta forma el presupuesto final.

Bibliografía y referencias

Libros

- [1] Ashby, M. F. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design* (4a ed.). Cambridge: Butterworth-Heinemann. (Obra original publicada en 1992). ISBN: 978-9380931722.
- [2] Carlton, J. S. (2018). *Marine Propellers and Propulsion* (4ª ed.). Oxford: Butterworth Heinemann. (Obra original publicada en 1994). ISBN: 978-0080977980.
- [3] Maritime Research Institute Netherlands (MARIN). (2017). *Propulsors*. Países Bajos.

Informes en línea

- [4] *Aluminum Structure Design and Fabrication Guide*. (2007). Ship structure committee. [Consulta: 6 de enero de 2023]. Disponible en: <http://www.shipstructure.org/pdf/452-II.pdf>.
- [5] *Beneficios del aluminio en la construcción naval*. Alu-Stock S.A. (s.f.). Alustock. [Consulta: 7 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/aluminio-construccion-naval/beneficios-aluminio-construccion-naval/>
- [6] *LHD Landing Craft (LLC)*. Royal Australian Navy. (s.f.). Royal Australian Navy | Serving Australia with Pride. [Consulta: 24 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.navy.gov.au/lhd-landing-craft-llc>
- [7] Martínez Núñez, E. (2019). *Evolución de las embarcaciones anfibas (Landing Craft Mechanized) y su proyección en el sector marítimo civil* [Trabajo fin de grado, Universitat Politècnica de Catalunya]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/131003>
- [8] Pugloboats.com Everything Electric Boats and Boating. [Consulta: 27 de abril de 2023]. Disponible en: <https://plugboats.com/plugboats-guide-to-electric-boat-batteries/>
- [9] Silvia, P.A., Scott, R.J., Michalopolous, C. (1971). *Small Craft Engineering* (Publicación nº 121) [Technical Report, Universidad de Michigan]. Disponible en: <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/91748?show=full>

Normativa

- [10] UNE-EN ISO 10240:2011. Barcos y tecnología marítima - Diseño y construcción de las válvulas de casco para las embarcaciones de recreo y deportivas. Madrid: AENOR, 2011. [Consulta: 12 de octubre de 2022].
- [11] UNE-EN ISO 11591:2013. Barcos y tecnología marítima - Accesorios de fondeo para embarcaciones de recreo y deportivas. Madrid: AENOR, 2013. [Consulta: 12 de octubre de 2022].
- [12] UNE-EN ISO 11812:2011. Barcos y tecnología marítima - Dispositivos de seguridad y equipamiento para la supervivencia en el mar de las embarcaciones de recreo y deportivas. Madrid: AENOR, 2011. [Consulta: 12 de octubre de 2022].
- [13] UNE-EN ISO 12215: 2019. Diseño y construcción de embarcaciones de recreo y deportivas. Madrid: AENOR, 2019. [Consulta: 12 de octubre de 2022].

- [14] UNE-EN ISO 12216:2019. Barcos y tecnología marítima - Escotillas, portillos y puertas para las embarcaciones de recreo y deportivas. Madrid: AENOR, 2019. [Consulta: 20 de noviembre de 2022].
- [15] UNE EN ISO 12217:2015. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Madrid: AENOR, 2015. [Consulta: 20 de noviembre de 2023].
- [16] UNE-EN ISO 15085:2003. Barcos y tecnología marítima - Equipamiento para la seguridad de las embarcaciones de recreo y deportivas. Madrid: AENOR, 2003. [Consulta: 25 de noviembre de 2023].
- [17] UNE-EN ISO 15370:2011. Barcos y tecnología marítima - Sistemas de fontanería y alcantarillado para las embarcaciones de recreo y deportivas. Madrid: AENOR, 2011. [Consulta: 25 de noviembre de 2023].
- [18] Bureau Veritas Marine and Offshore. NR483. Rules For The Classification Of Naval Ships. Parte D *Service Notations*, Capítulo 7 *Landing Crafts*. Paris: Bureau Veritas, 22. [Consulta: 5 de febrero de 2023]. Disponible en: https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/483-NR_PartD_2022-10.pdf
- [19] Bureau Veritas Marine and Offshore. NR566. Hull Arrangement, Stability And Systems For Ships Less Than 500GT. Paris: Bureau Veritas, 2022. [Consulta: 20 de marzo de 2023]. Disponible en: https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/566-NR_2022-07.pdf
- [20] Bureau Veritas Marine and Offshore. NR600. Hull structure and arrangement for the classification of cargo ships less than 65M and non cargo ships less than 90M. Bureau Veritas, 2022. [Consulta: 8 de febrero de 2023]. Disponible en: https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/600-NR_2022-11.pdf
- [21] Lloyd's Register. Rules and Regulations for the Classification of Naval Ships. Parte 7, Capítulo 5, Sección 3. 2.13 Estructura de soporte de la rampa. [Consulta: 15 de marzo de 2022].
- [22] Real Decreto 339/2021, de 18 de mayo, por el que se regula el equipo de seguridad y de prevención de la contaminación de las embarcaciones de recreo. (BOE núm. 119, de 19 de mayo de 2021). [Consulta: 1 de abril de 2023].

Base de datos

- [23] Base de datos CES Edupack 2021 de la compañía Ansys. [Consulta: 1 de abril de 2023].

Anexo A1. Análisis de vehículos

En este anexo se pretende realizar un breve análisis de cada uno de los modelos de vehículo estudiados, incluyendo las principales características destacadas, así como un breve estudio comparativo respecto al resto de vehículos analizados.

Con dicho análisis se pretende que pueda servir al armador para comparar los diferentes vehículos del mercado para la elección del que finalmente será el vehículo embarcado a bordo.

A1.1. Mercedes-Benz G63

- Dimensiones: 4873 x 1984 x 1966 mm (largo x ancho x h [mm]).
- Peso: 2560 kg.
- Ángulo de ataque: 31°. Ángulo de salida: 30°. Ángulo ventral: 26°.
- Altura libre al suelo: 241 mm.
- La reductora ofrece unas mejoradas capacidades 4x4.

En cuanto al modelo G63, nos encontramos con el vehículo de mayor potencia, así como con el más liviano. Es de los vehículos más cortos de los estudiados y, por ende, con un menor espacio entre ejes (menor batalla). Sin embargo, nos encontramos con que estamos frente a uno de los más altos del grupo. Tiene un valor de mercado de 135 mil euros.



Figura A1. Mercedes-Benz AMG G63. Fuente: Soymotor.

A1.2. Mercedes GLS 580

- Dimensiones: 5207 x 1956 x 1823 (largo x ancho x h [mm]).
- Peso: 2545 kg.
- Ángulo de ataque: 23°. Ángulo de salida: 21°.
- La versión de este SUV de gama alta con espacio para 7 personas es compatible también con los terrenos más abruptos gracias a su tecnología de transmisión y suspensión electrónica.

En cuanto al modelo GLS de Mercedes, se trata del vehículo de menor altura de vadeo del grupo, debido a su estética más deportiva, con una altura y anchura similar al resto. Destaca por su configuración de motor de alta potencia y una batalla considerable, debido a su también considerada longitud total. Es de los más caros, con un precio de 172 mil euros.

La preparación Maybach del modelo GLS ostenta una de las más exquisitas capacidades de lujo para 4 personas, con una suite trasera de primera clase y todo tipo de electrónica, confort y seguridad a bordo. A un precio de 200 mil euros. (Ver figura A2 y figura A3).



Figura A2. Mercedes-Benz GLS 580. Fuente: Mercedes-Benz.



Figura A3. Interior Maybach GLS. Fuente: Mercedes-Benz.



Figura A4. Suite trasera Maybach GLS. Fuente: Mercedes-Benz.

A1.3. Range Rover LWB

- Peso: 2725 kg.
- Con ángulo de entrada de 34,7° y 29° de salida. Altura libre al suelo 29,4 cm.
- Con una autonomía eléctrica de 113 km.
- Gran lujo y confort con amplia posibilidad de configuración para 7 pasajeros.
- Disponible la configuración de super lujo para 4 personas, con una suite trasera de primera clase y todo tipo de electrónica, confort y seguridad a bordo.

En cuanto al modelo Range Rover LWB, encontramos el vehículo más ancho de los estudiados, con una altura y longitud también de las más elevadas. destaca por tener la mayor batalla, así como por ser el segundo en potencia. Sus elevados datos están en consonancia en ser el más pesado y el que mayor MMA puede transportar. Es entonces el más grande, el hermano mayor, y por tanto el que tiene el precio más elevado: 175.000€.



Figura A5. Dimensiones Range Rover LWB. Fuente: Medidas de coches.

A1.4. Land Rover Defender 130

- Dimensiones: 5358 x 2105 x 1970 (largo x ancho x h [mm]).
- Ángulo de entrada de 37,5°, ángulo de salida de 28,5° y ángulo ventral de 27,8°.
- Altura libre al suelo 290 mm.
- Opción con motorización híbrida enchufable.
- Símbolo de la elegancia unida a la potencia, con gran posibilidad de configuración, con espacio para hasta 8 pasajeros.

En cuanto al Defender 130, destaca por ser el vehículo con mayor capacidad, pudiendo albergar 8 personas. Es también el más largo de la saga, así como el más alto y también el más elevado para el vadeo. Destaca por Con un peso medio, así como una potencia rondando la media, de nada menos que 400 CV. En cuanto al precio, podemos configurarlo por 140 mil euros.



Figura A7. Land Rover Defender 130. Fuente: Land Rover.



Figura A6. Land Rover Defender 130. Fuente: Land Rover.

A1.5. Cadillac Escalade

- Dimensiones: 5179 x 2061 x 1896 (largo x ancho x h [mm]).
- Con un ángulo de ataque de 26°, ángulo de salida de 22°, ángulo ventral de 155°.
- Cuenta con una profundidad de vadeo de hasta 80 cm y una altura libre al suelo de 21 cm.
- Vehículo premium, con niveles de acabado y equipamiento elevados. Se trata del todoterreno de lujo con mayor habitabilidad.

En cuanto al Escalade, se trata de un SUV de lujo con unas dimensiones similares a la media del grupo, que destaca por su mayor peso en vacío, debido a su robustez y a su chasis configurado en forma de viga doble. Este americano tiene un precio también de lo más pesado: 165.000€.



Figura A8. Cadillac Escalade brindado. Fuente: AddArmor.

A1.6. Toyota Land Cruiser

- Dimensiones: 4840 x 1885 x 1845 (largo x ancho x h [mm]).
- Peso: 2.200 kg.
- Batalla de 2450 mm.
- Altura libre al suelo de 210 mm.
- Se comercializa con tracción 4x4 y un único motor diésel de 204 CV.

En cuanto al Land Cruiser, es el más liviano, así como el de menor potencia. Posee una buena altura de vadeo, así como la menor batalla. Es el más bajo del grupo y con un conjunto de dimensiones menores, por tanto, es el hermano pequeño. Tanto es así que el precio de este es prácticamente la mitad del siguiente en escala de precios (86.200€).



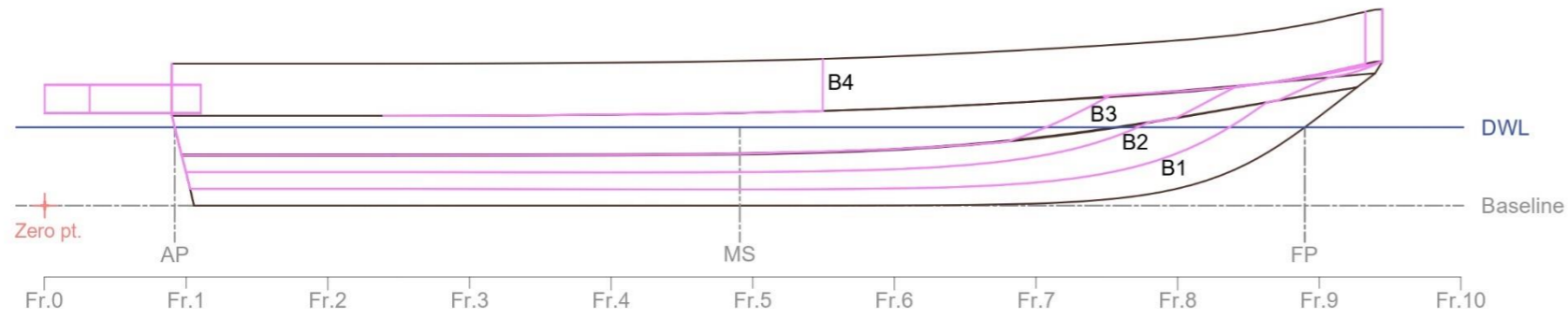
Figura A9. Toyota Land Cruiser con preparación *off-road*. Fuente: Vogue.

Anexo A2. Planos de la embarcación

En este apartado se presentan los planos de formas de la carena y el GA (plano de arreglo general) de la embarcación, con diversas descripciones, vistas y detalles.

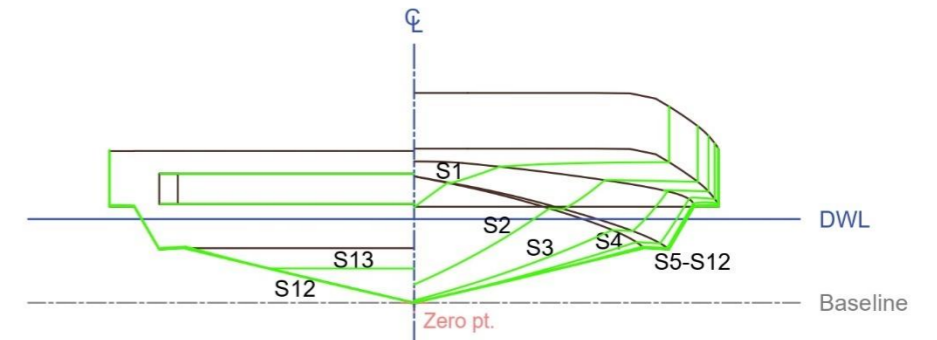
Longitudinal view

- Scale 1:50 -



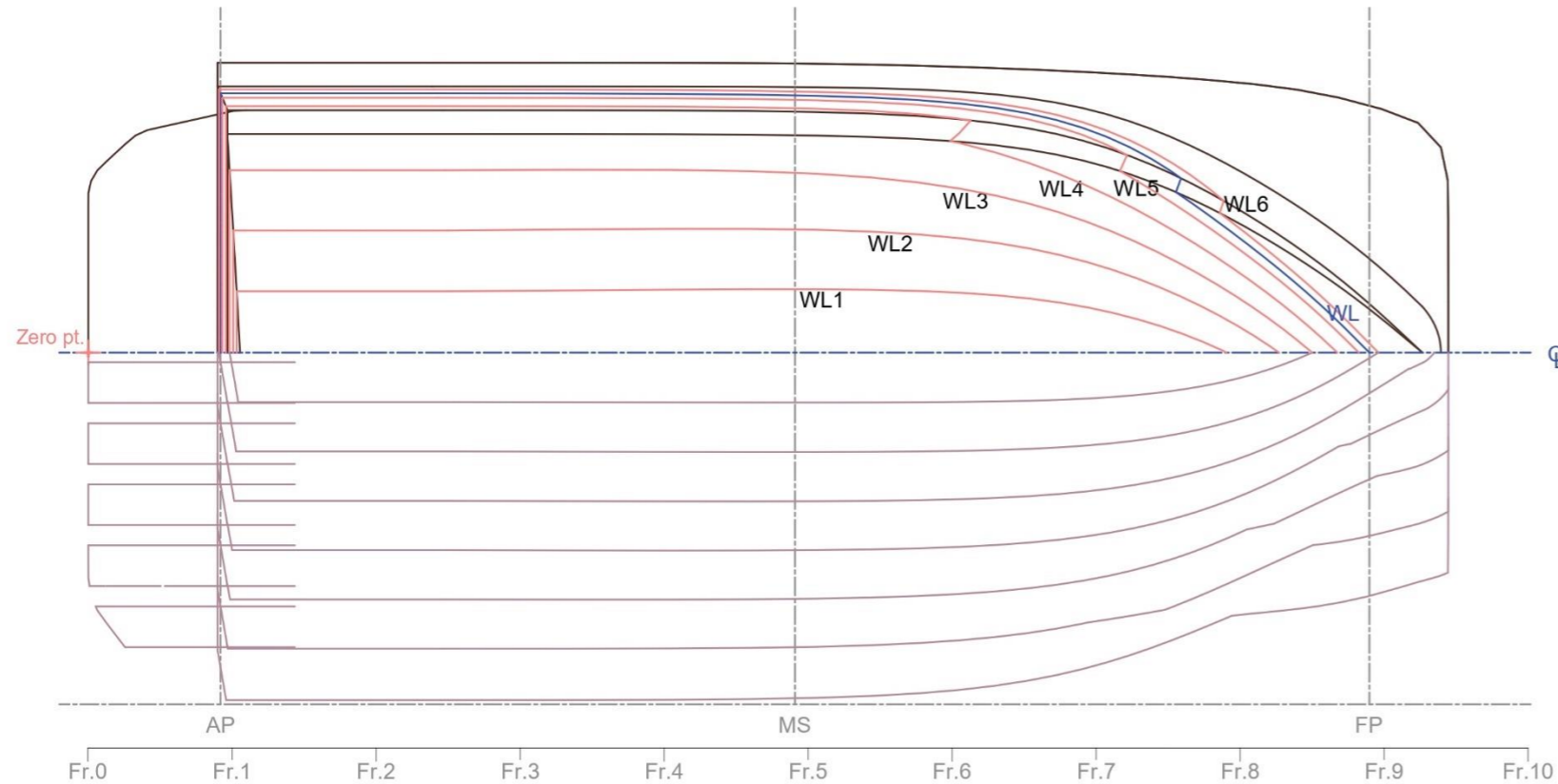
Transversal view

- Scale 1:50 -



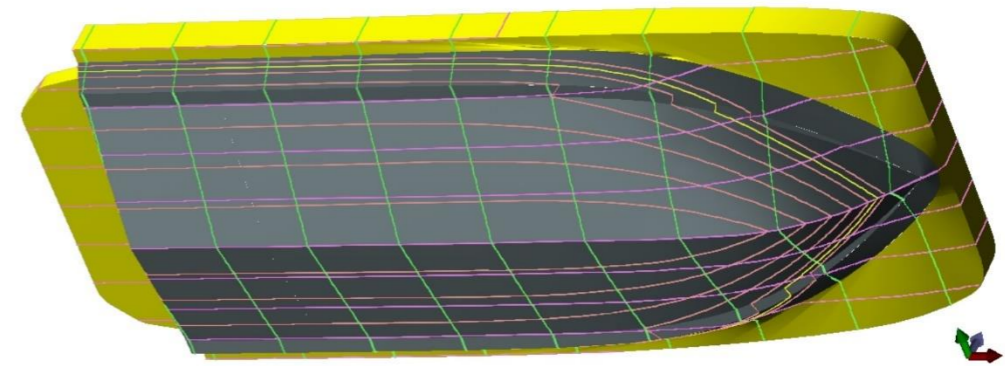
Bottom view

- Scale 1:50 -



Perspective view



- Without scale -



Notes:
 - Sections spaced 1000 mm.
 - Buttocks spaced 500 mm.
 - Waterlines spaced 100 mm.
 - Diagonals spaced 300 mm & 45° angled.

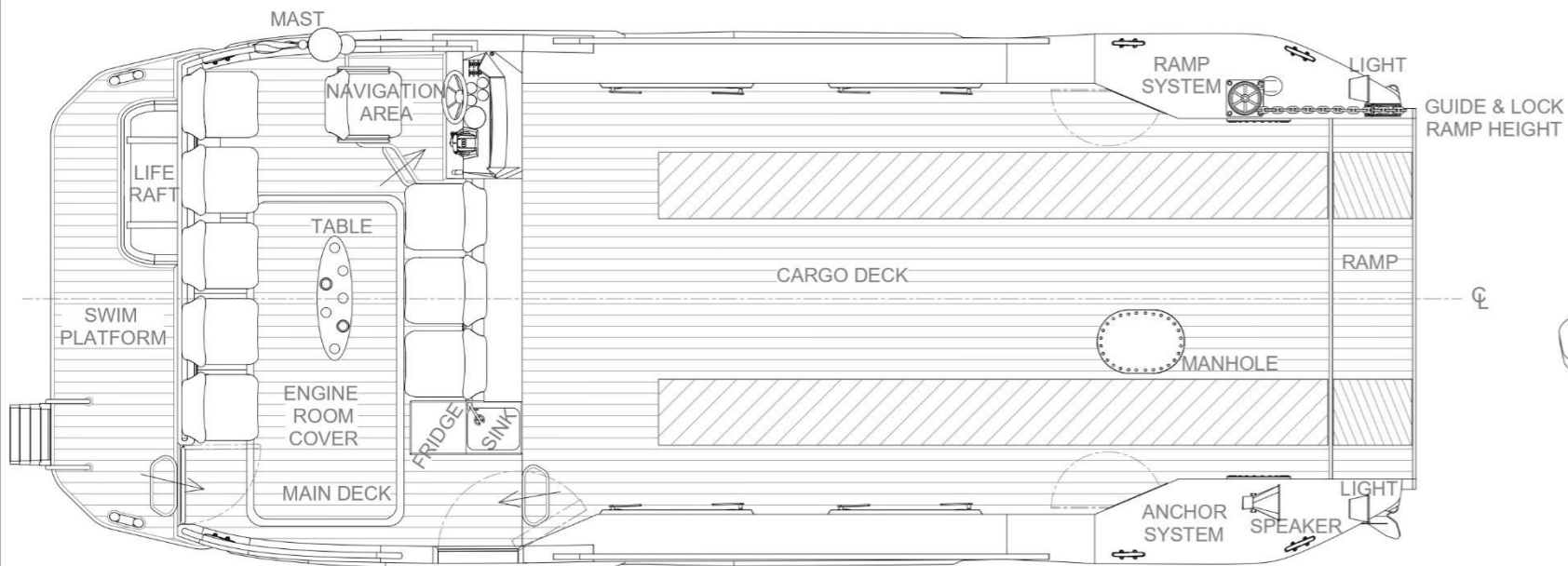
MAIN CHARACTERISTICS

LENGTH (LoA)	9.65 m
LENGTH (Lwl)	8.17 m
BEAM	3.85 m
DRAFT	0.63 m
DISPLACEMENT	10 t
CARGO DECK	16.90 m²
PASSENGERS	7+2 Crew
HULL MATERIAL	Aluminium
PROPULSION SYSTEM	2x SternMaster 97W

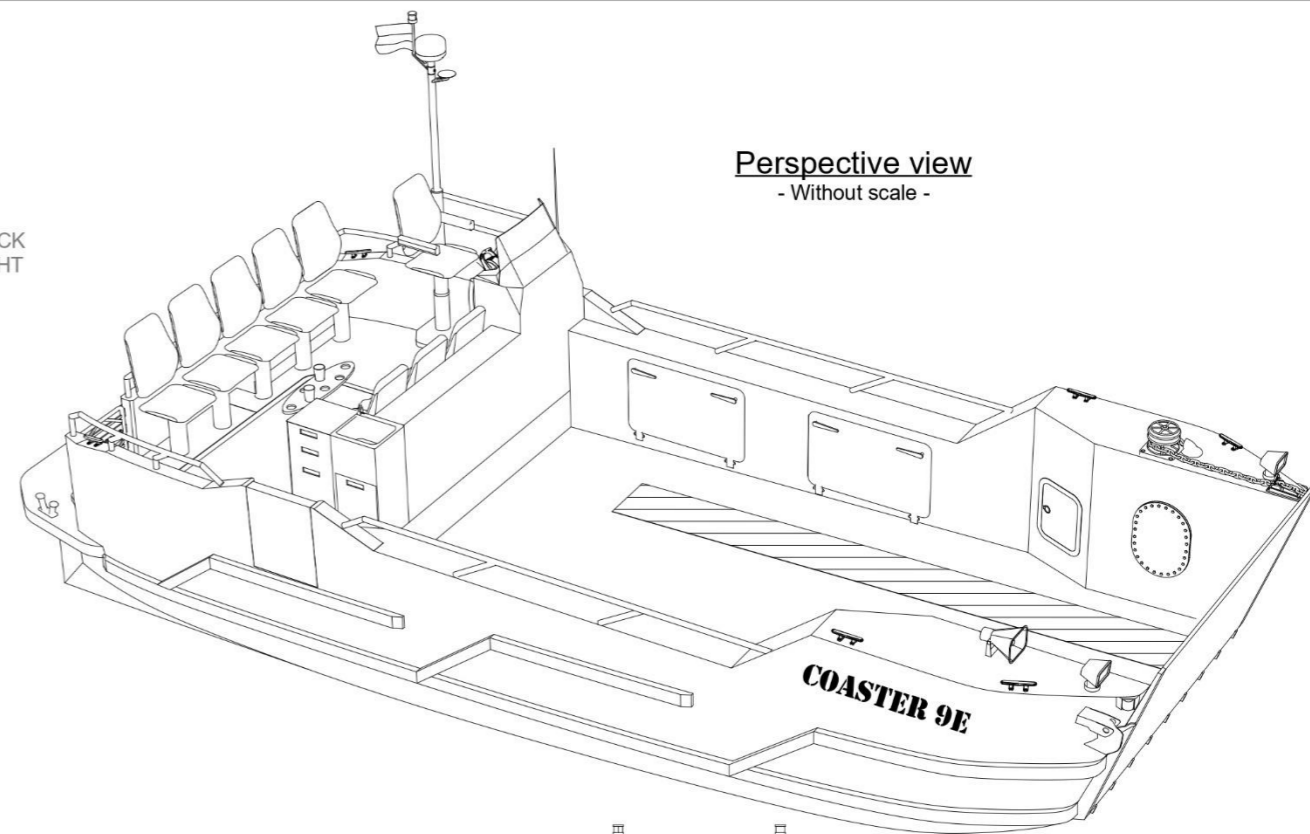
Location:	Barcelona, Spain	Name ship:	COASTER 9E												
Date:	20/04/2023	Builder:	Julian, S.L.												
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Facultat de Nàutica de Barcelona		 Description: COASTER 9e - LINES DRAWING													
Drawn by:	Juan de la Puente	Rev.	JDP	Apr.	SVC	Drawing N°:	J003 - PLANO DE FORMAS.dwg	Sheet	1 of 1	Scale	1:50	Size	A3	Rev.	0

CASCO No.:003

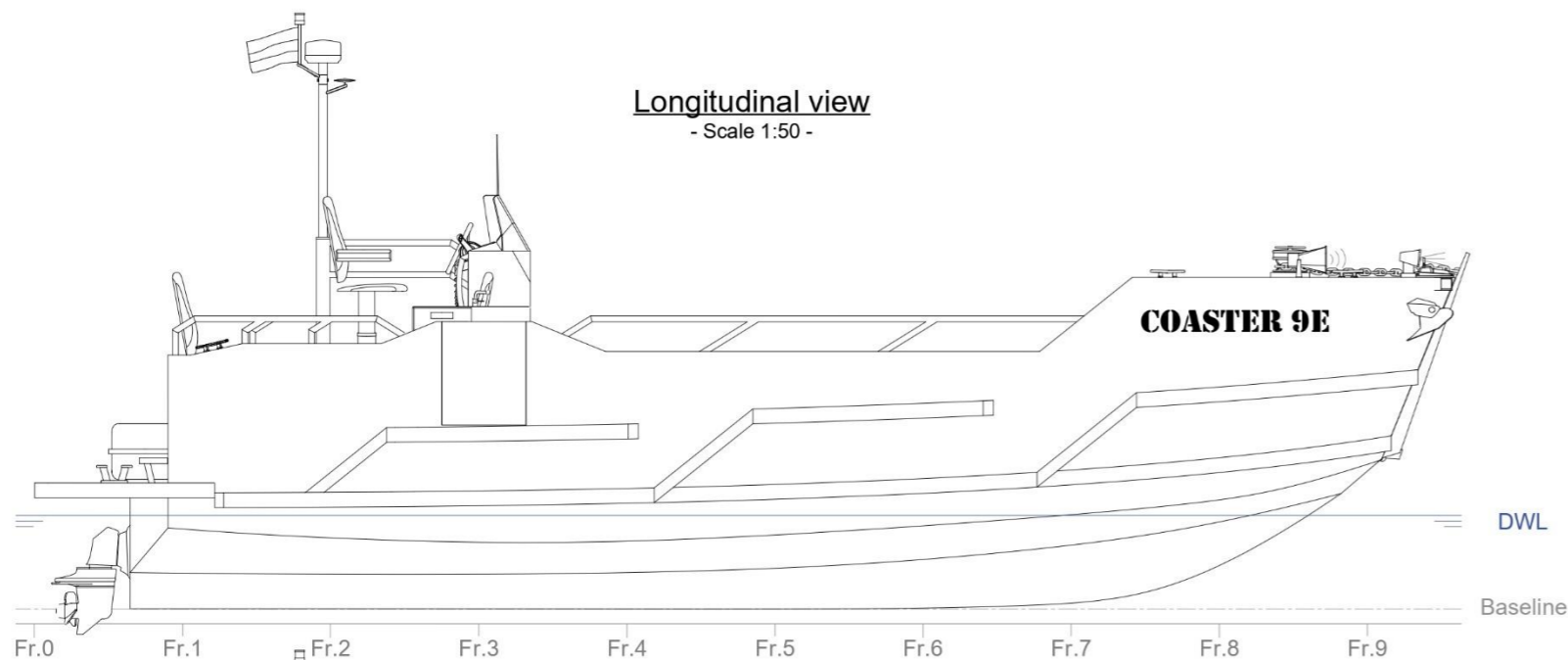
Top view
- Scale 1:50 -



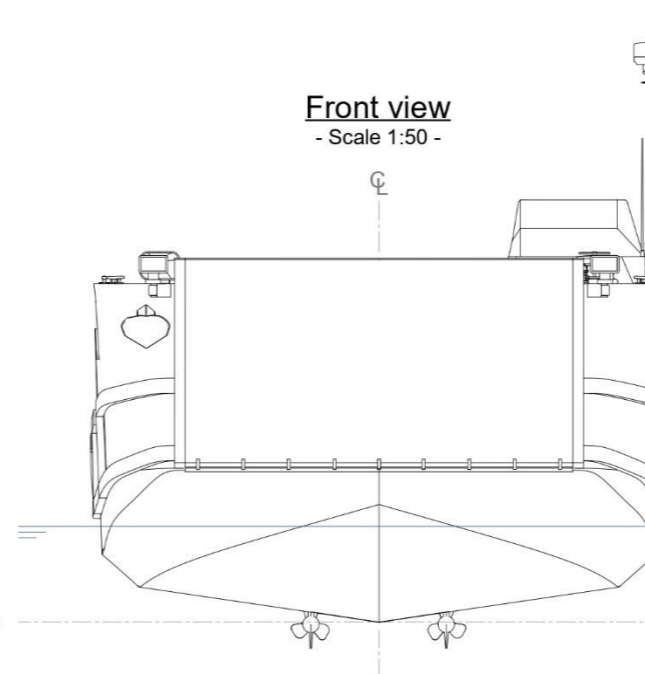
Perspective view
- Without scale -



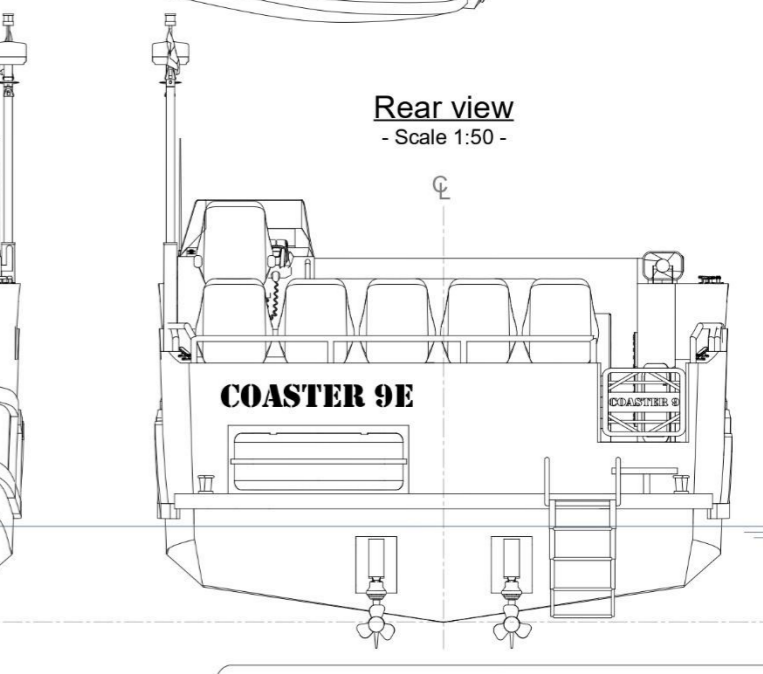
Longitudinal view
- Scale 1:50 -



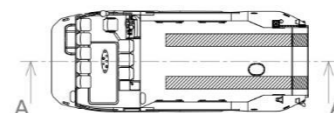
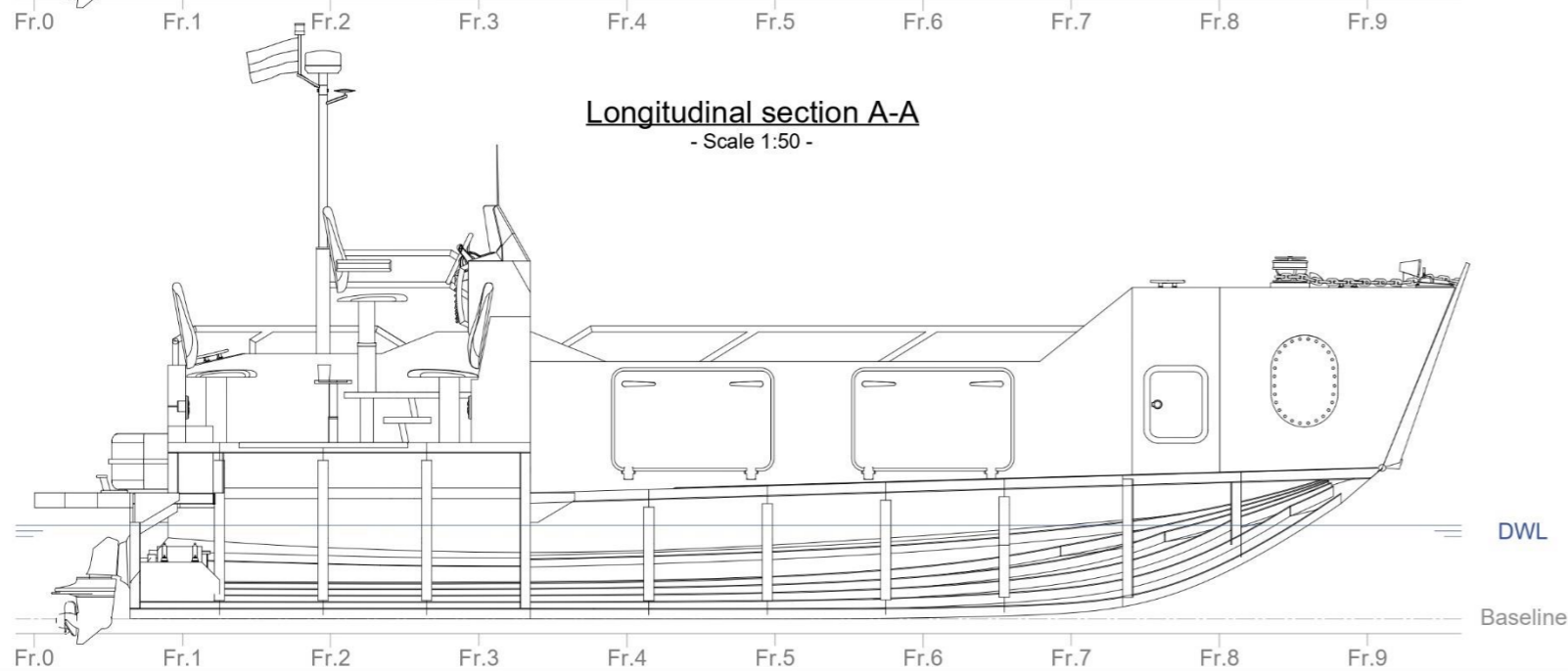
Front view
- Scale 1:50 -



Rear view
- Scale 1:50 -



Longitudinal section A-A
- Scale 1:50 -



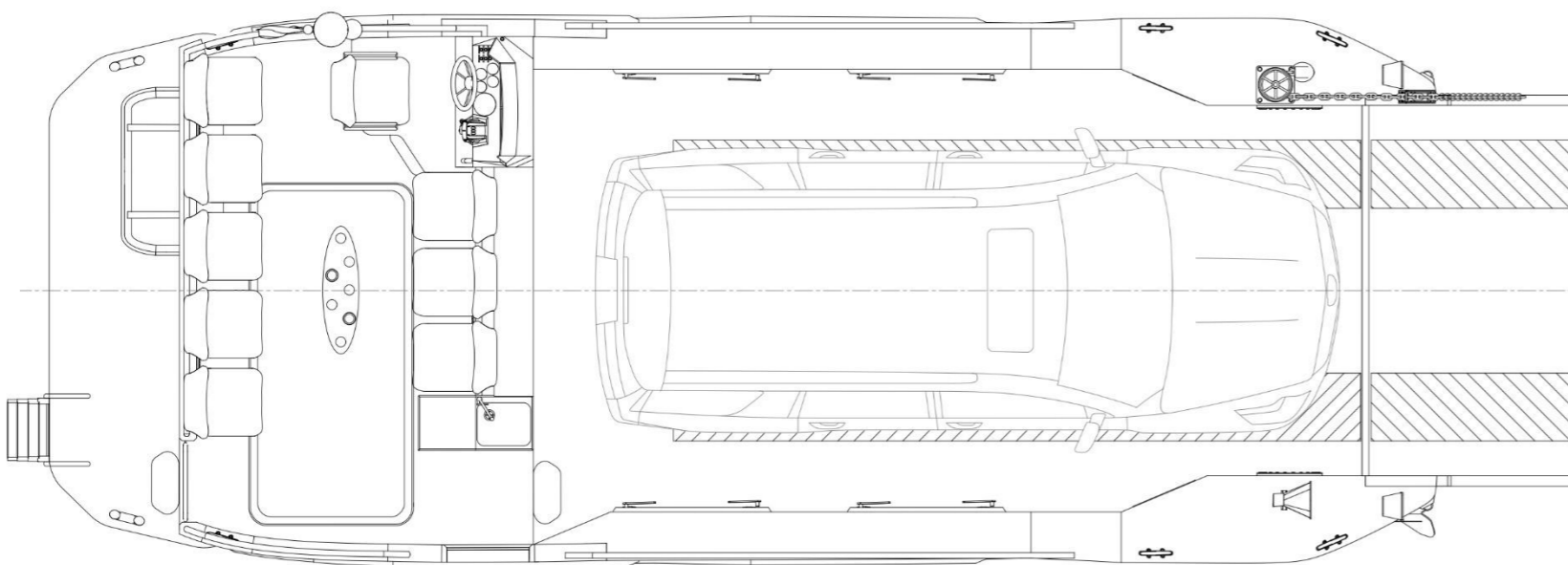
MAIN CHARACTERISTICS

LENGTH (LoA)	9.65 m
LENGTH (Lwl)	8.17 m
BEAM	3.85 m
DRAFT	0.63 m
DISPLACEMENT	10 t
CARGO DECK	16.90 m²
PASSENGERS	7+2 Crew
HULL MATERIAL	Aluminium
PROPULSION SYSTEM	2x SternMaster 97W

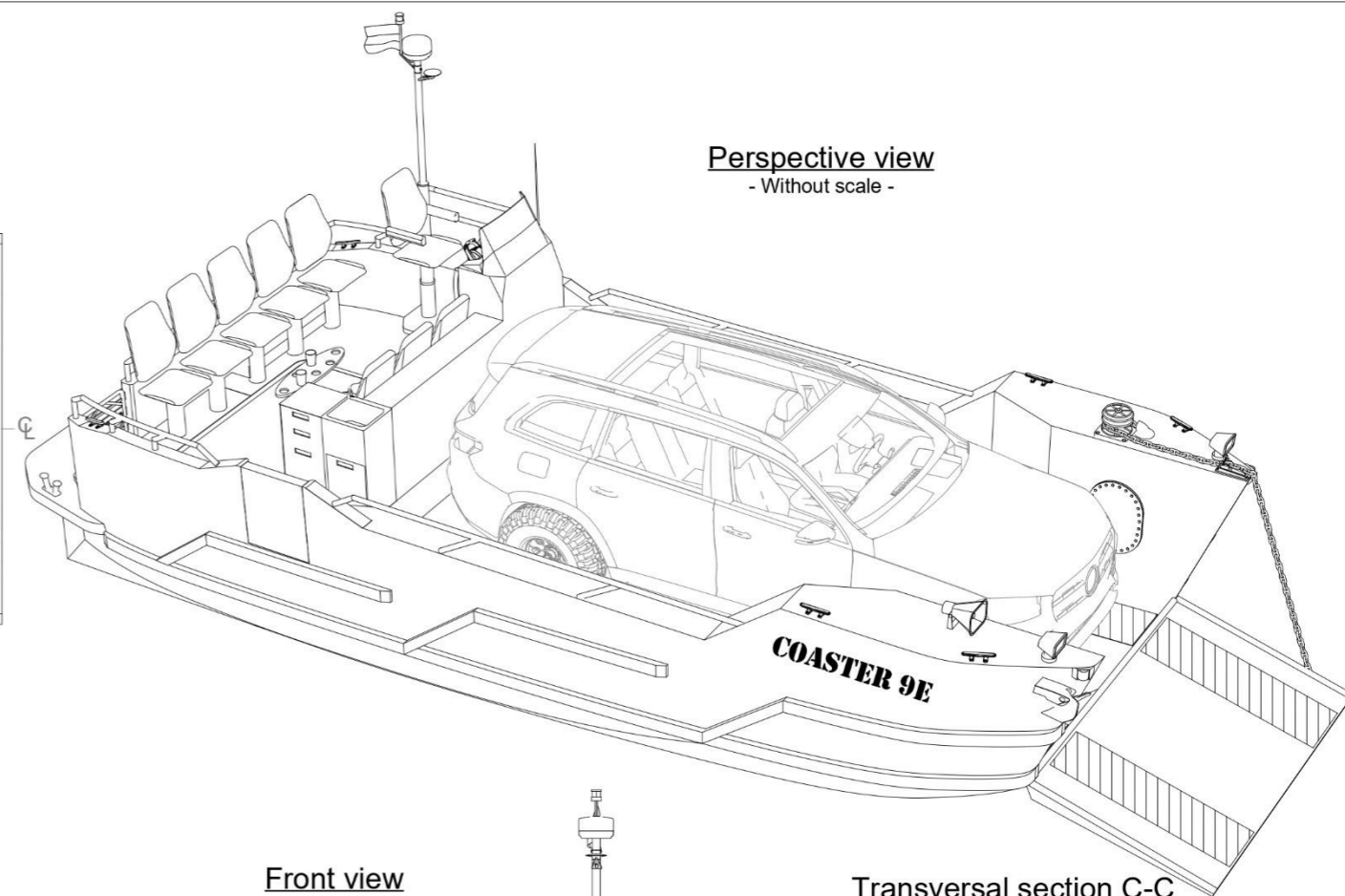
Location:	Barcelona, Spain	Name ship:	COASTER 9E				
Date:	20/04/2023	Builder:	Julian, S.L.				
		Description:	<h2>COASTER 9e</h2> <h3>GENERAL ARRANGEMENT</h3>				
		Drawn by: Juan de la Puente					Rev. JDP

CASCO No.:003

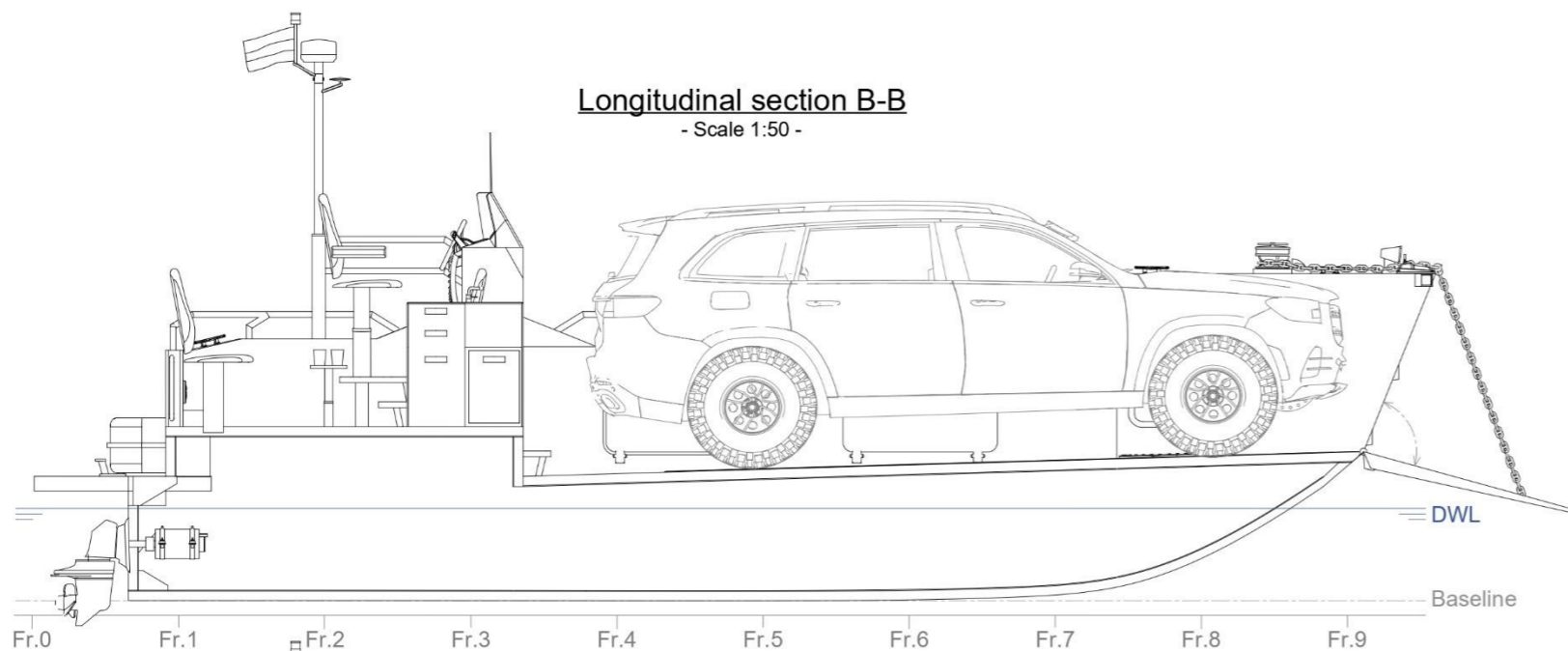
Top view
- Scale 1:50 -



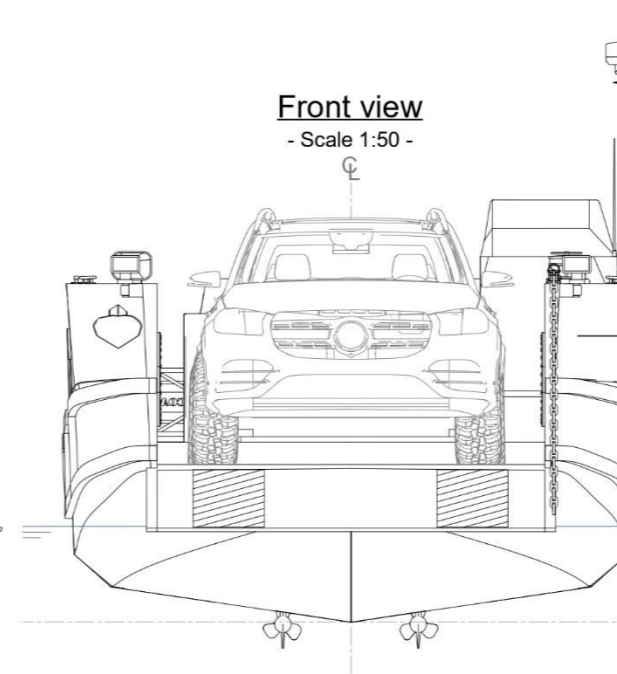
Perspective view
- Without scale -



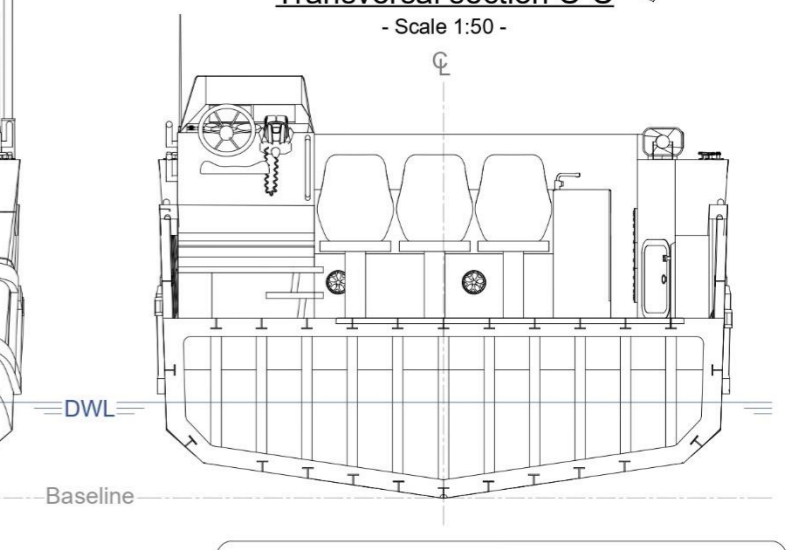
Longitudinal section B-B
- Scale 1:50 -



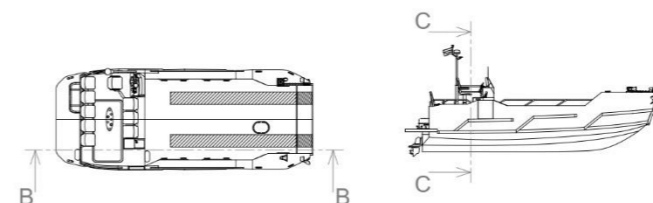
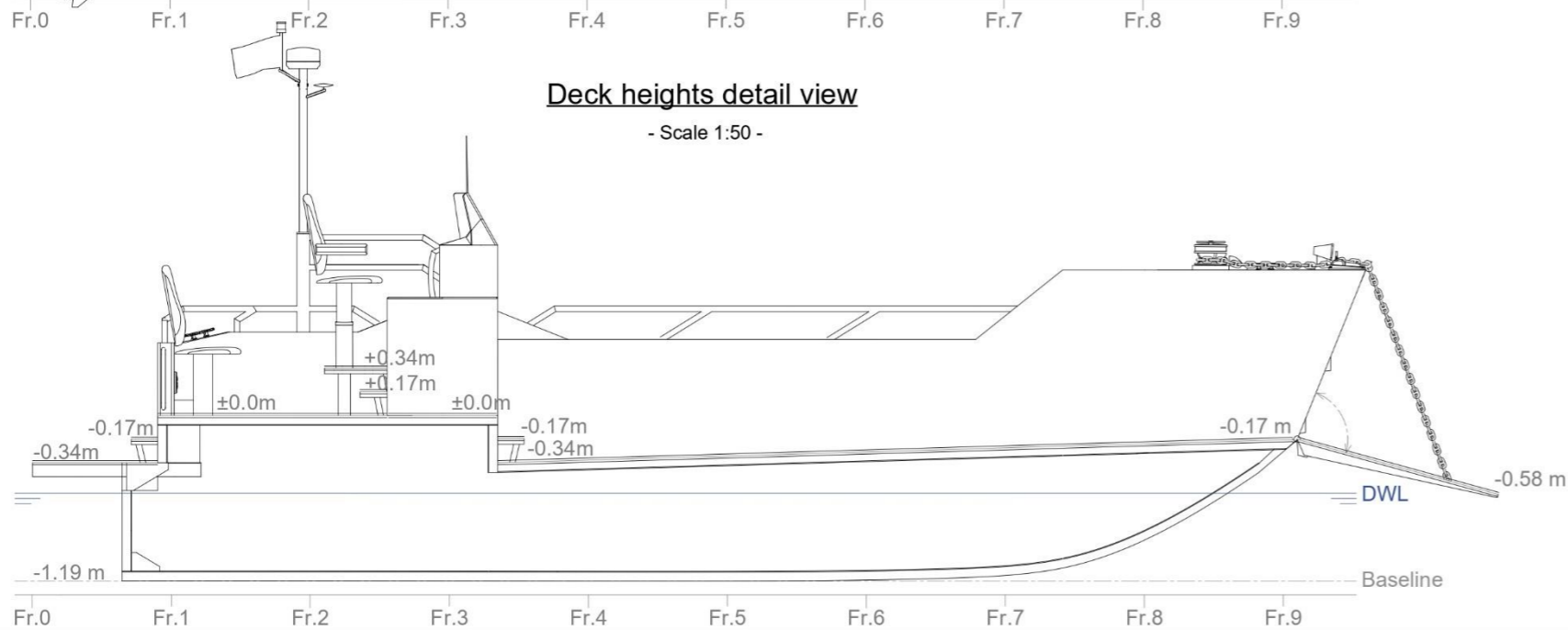
Front view
- Scale 1:50 -



Transversal section C-C
- Scale 1:50 -




Deck heights detail view
- Scale 1:50 -



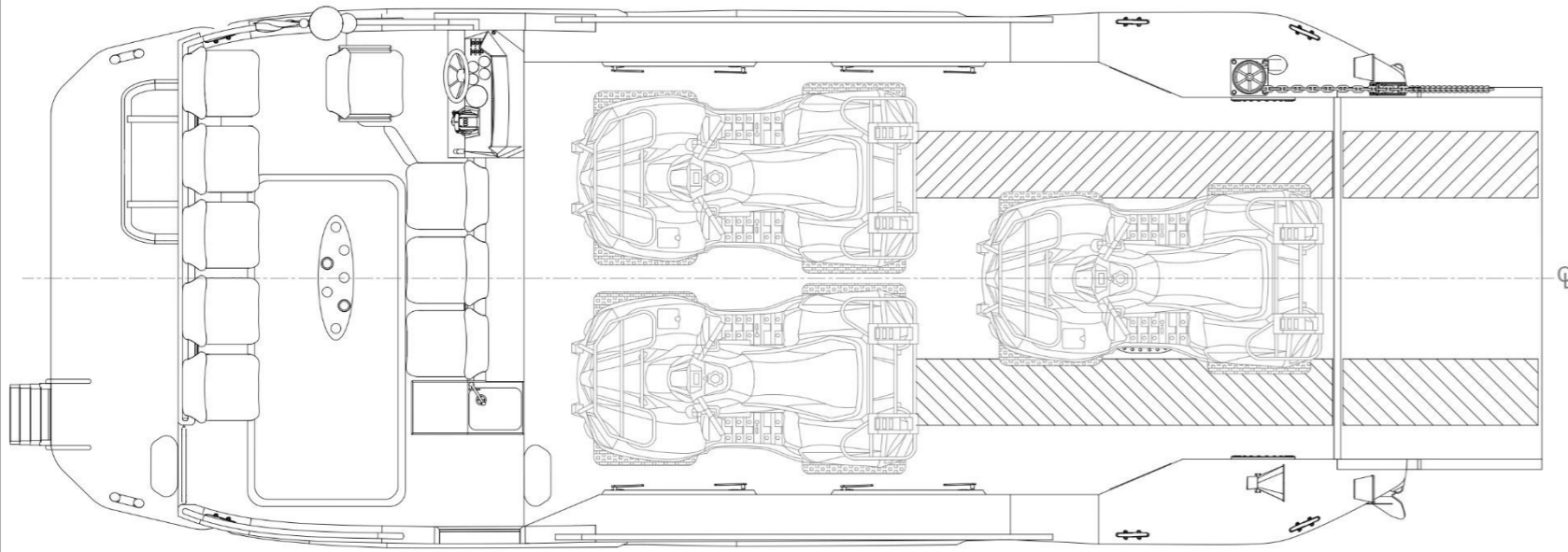
MAIN CHARACTERISTICS

LENGTH (LoA)	9.65 m
LENGTH (Lwl)	8.17 m
BEAM	3.85 m
DRAFT	0.63 m
DISPLACEMENT	10 t
CARGO DECK	16.90 m ²
PASSENGERS	7+2 Crew
HULL MATERIAL	Aluminium
PROPULSION SYSTEM	2x SternMaster 97W

Location:	Barcelona, Spain	Name ship:	COASTER 9E						
Date:	20/04/2023	Builder:	Julian, S.L.						
 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Facultat de Nàutica de Barcelona</p>		Description:	<h2>COASTER 9e</h2> <h3>GENERAL ARRANGEMENT</h3>						
		<p>Drawn by: Juan de la Puente</p> <p>Rev. JDP</p> <p>Apr. SVC</p>							
Drawing N°:	J003 - GA (car & open ramp).dwg	Sheet	2 of 3	Scale	1:50	Size	A3	Rev.	0

CASCO No.:003

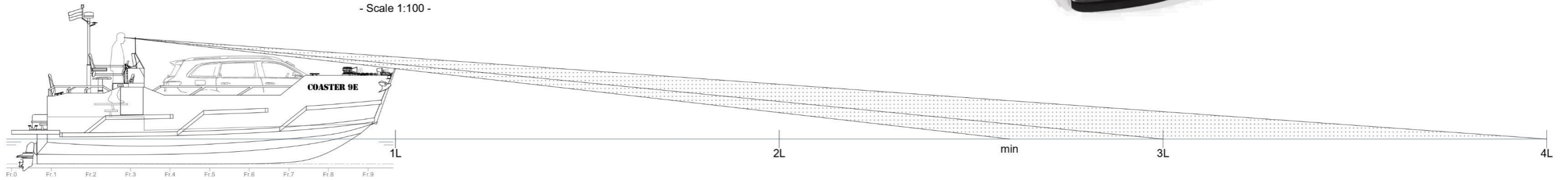
Top view - With ATVs
- Scale 1:50 -



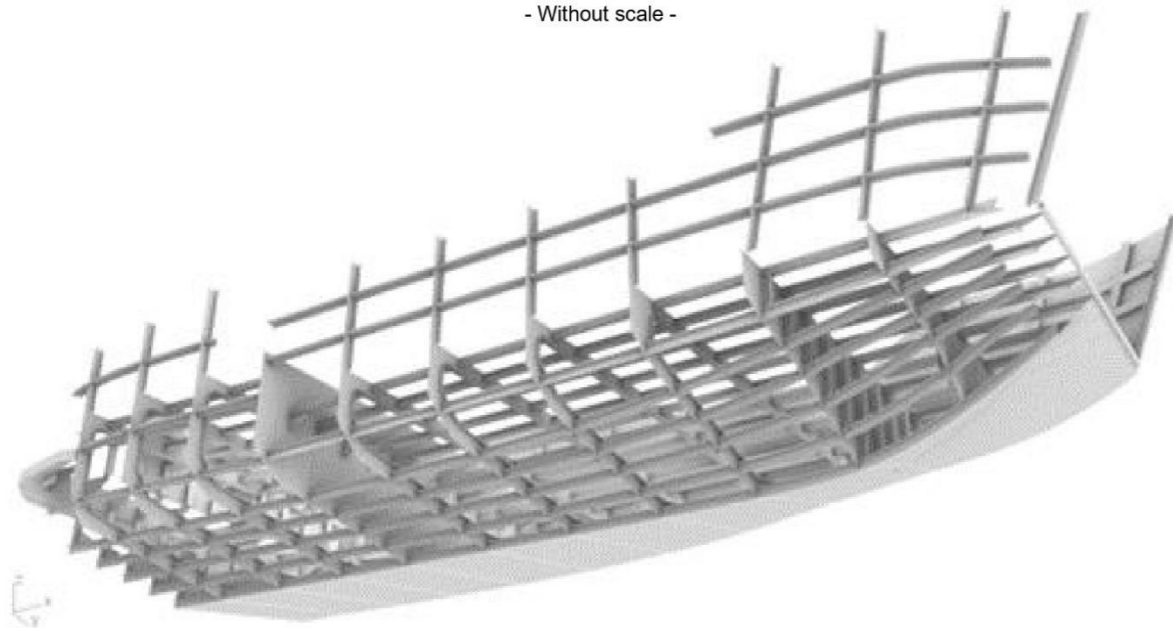
Rendered view
- Without scale -




Longitudinal detail - Scope of vision
- Scale 1:100 -



Structure perspective view
- Without scale -



MAIN CHARACTERISTICS	
LENGTH (LoA)	9.65 m
LENGTH (Lwl)	8.17 m
BEAM	3.85 m
DRAFT	0.63 m
DISPLACEMENT	10 t
CARGO DECK	16.90 m²
PASSENGERS	7+2 Crew
HULL MATERIAL	Aluminium
PROPULSION SYSTEM	2x SternMaster 97W

Location: Barcelona, Spain		Name ship: COASTER 9E	
Date: 20/04/2023		Builder: Julian, S.L.	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Facultat de Nàutica de Barcelona		Description: <h2 style="text-align: center;">COASTER 9e</h2> <h3 style="text-align: center;">GENERAL ARRANGEMENT</h3>	

CASCO No.:003

Anexo A3. Aluminio

En este anexo se incluyen distintas informaciones sobre el aluminio, como son su forma de almacenaje, corte y soldadura.

También se incluye un apartado con las fichas técnicas de las aleaciones empleadas en la construcción de la embarcación.

A3.1. Almacenaje, corte, soldadura y pintura

A continuación, se exponen distintos aspectos relacionados con el aluminio y las buenas prácticas a la hora de almacenarlo, cortarlo y soldarlo y pintarlo.

Manejo y almacenaje

Los daños superficiales pueden causar dificultades de soldar y ser origen de corrosión durante la vida de servicios de la estructura, a consecuencia de las partículas que puedan quedar incrustadas.

El aluminio deberá almacenarse bajo techo, de preferencia en un ambiente controlado, manteniéndolo alejado del acero y de otros metales. Las láminas no deberán quedar nunca dentro de sus cajas de empaque, se deben desempacar y separar de cualquier otro material situado entre ellas; para ello, se colocan verticalmente en armaduras de madera o de aluminio, pero nunca de acero o de concreto.

Corte

El aluminio puede cortarse utilizando la mayoría de los instrumentos de corte de metales normales. Probablemente el aserrado es el método más habitual entre los utilizados para cortar el aluminio destinado a la construcción de buques. Las sierras de banda con garganta amplia y velocidades de corte de 1.500-1.800 m/min, pueden aplicarse en la mayoría de los casos. Las sierras circulares de alta potencia manuales, tal como las que se utilizan para la madera, pero equipadas con dientes de carburo, pueden dar un corte de buena calidad en líneas rectas o en curvas de mucho radio. Las sierras de mano de vaivén son muy útiles para cortes interiores y curvas cerradas.

Los trazadores, tanto de mano como de brazo radial, producen un buen corte a velocidad razonable, pero requieren de buenas plantillas para obtener los mejores resultados. Esto limita su empleo en las líneas de producción. Los cortes para aluminio más utilizados son:

- **Corte por arco de plasma**

El mejor método para cortar el aluminio es el que utiliza el corte por arco de plasma, con él se cortan las aleaciones de aluminio fácilmente, sin embargo, el equipo es costoso.

Los sopletes para corte con plasma pueden utilizarse en todos los tipos de máquinas de perfilar que operen con una velocidad elevada.

- **Corte por rayo láser**

El corte por rayo láser se logra al utilizar un láser para generar un rayo de luz con una longitud de onda constante.

Este rayo se enfoca en una superficie y se concentra suficiente energía en un punto para fundir o vaporizar el material. El láser con CO₂ tiene una longitud de onda de 10,6 micrómetros y se puede usar en una variedad de materiales, pero no se puede transferir por cristal o fibra óptica. En cambio, se requieren espejos reflectantes de metal y materiales como seleniuro de zinc o arseniuro de galio para enfocar el lente. El láser con Nd-YAG tiene una longitud de onda de 1,06 micrómetros, lo que permite el uso de lentes de cristal y cables de fibra óptica.

El láser de ondas continuas produce más derretimiento que vaporización y utiliza un gas asistente para soplar el vapor y el metal derretido, creando un corte limpio y angosto. El láser con pulsos proporciona suficiente energía para que el vapor remueva cualquier metal derretido. El gas asistente no solo se utiliza para soplar y eliminar cualquier metal derretido, sino también para proteger el lente de salpicaduras o restos del corte.

Los gases asistentes para cortar aluminio pueden ser oxígeno o nitrógeno. El oxígeno es más reactivo frente al aluminio y da una mayor velocidad de corte que el nitrógeno, pero el nitrógeno produce mejores resultados en calidad de corte en acabado y rugosidad. La presión del gas es una variable importante para controlar y dar la mejor calidad de corte. Las altas presiones de gas proporcionan la remoción más efectiva del metal, pero también pueden dañar el lente de enfoque. La presión del gas asistente debe ser incrementada a medida que la distancia entre la boquilla y la pieza de trabajo aumenta.

En la mayoría de los cortes con láser, se utilizan velocidades supersónicas del gas. Por lo tanto, es esencial controlar la distancia al punto muerto y las condiciones de la boquilla para proporcionar un corte consistente y de alta calidad.

- **Corte con chorro de agua**

El corte con chorro de agua introduce un poder abrasivo de alta presión y la velocidad del chorro de agua es capaz de cortar materiales metálicos y no metálicos, esencialmente por un proceso de erosión. La velocidad del agua es de 2500 Km/h y la presión del agua entre 30000 a 60000 psi. Uno de los más importantes usos del corte con agua es eliminar la rugosidad de las piezas, con la ventaja de que no hay temperatura en el proceso, por lo que el calor no afecta a la zona de trabajo y no hay distorsiones térmicas; las partes pueden cortarse en forma precisa y correcta. La tolerancia de las piezas cortadas es muy pequeña, simplificando el acondicionamiento de la faena para la soldadura.

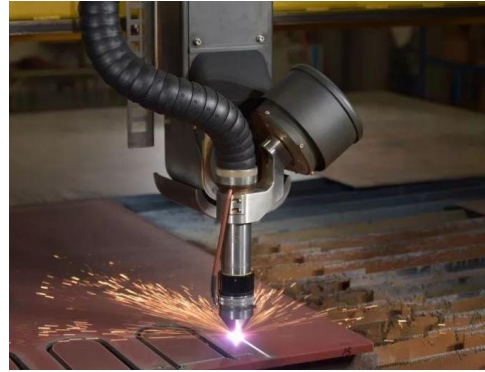


Figura A10. Corte por plasma.
Fuente: The Fabricator.

Soldadura

Los únicos métodos disponibles para soldadura en la construcción de embarcaciones de aluminio son los de gas inerte de tungsteno (TIG) y de gas inerte de metal (MIG). En ambos procesos se utiliza gas inerte, por lo general argón, con el fin de proteger de contaminación la zona fundida de soldadura durante el proceso de soldado.

La película de óxido que da al aluminio su resistencia a la corrosión dificulta soldar por lo que deberá eliminarse impidiendo su formación, si se han de hacer soldaduras. La soldadura con arco de gas inerte elimina el óxido mediante el arco, impidiendo que se vuelva a formar por la presencia del gas inerte.

La soldadura del aluminio tiende a sufrir porosidad, por lo que el hidrógeno disuelto en el metal fundido y el material que contiene hidrógeno, por ejemplo, agua, aceite, pintura y otros, deben eliminarse antes de soldar. La limpieza del aluminio antes de soldar es extremadamente importante y no debe omitirse si se pretende realizar soldaduras de calidad. En la Tabla 24, se puede observar las propiedades mínimas para soldadura de aleaciones de aluminio.

La zona adyacente a la unión debe estar libre de grasa, utilizando al limpiarla un solvente volátil, tal como acetona. La suciedad muy densa y las manchas se eliminan con un limpiador con base de ácido, después se recomienda lavar con agua y dejar secar.

Después de la limpieza deben unirse las juntas para soldarlas, trabajo que se lleva a cabo en un taller limpio y seco.

Pintado del aluminio

Es fundamental realizar una correcta preparación previa a la aplicación de pintura en superficies de aluminio. Si no se hace de manera adecuada, la pintura no se adherirá correctamente.

La capa de óxido presente en las aleaciones de aluminio no permite una buena adherencia de la pintura, incluso si se utiliza una capa base. Por lo tanto, no es suficiente solo con desengrasar la superficie. Se debe lijar superficialmente y desengrasar adecuadamente, o bien tratarla con un limpiador de aluminio que permita una superficie ligeramente grabada al aguafuerte, seguido de un lavado con agua dulce.

Es importante aplicar una primera capa de pintura base tan pronto como la superficie esté seca y, dentro de las 24 horas siguientes, aplicar la siguiente capa de pintura.

Preparación de la superficie

En el caso de las aleaciones de aluminio, la delgada capa de óxido es muy resistente y difícil de eliminar, a pesar de tener solo unas micras de espesor. Es crucial retirarla antes de aplicar la pintura siguiendo estos pasos:

1. Realizar una limpieza y desengrasado minuciosos.
2. Enjuagar con agua dulce y dejar secar.

3. Lijar superficialmente con papel de grano o chorrear con un abrasivo no metálico a baja presión.
4. Eliminar el polvo y la herrumbre con un cepillo, aspiradora o aire a presión.
5. Aplicar una capa de imprimación epoxi.
6. Pintar.

Es importante no utilizar antiincrustantes que contengan cobre.

En las embarcaciones de aluminio, es fundamental contar con suficientes ánodos de zinc en los fondos y evitar aplicar pintura sobre ellos. Si la embarcación ha estado en tierra durante algún tiempo, los ánodos de zinc pueden oxidarse en la superficie, cubriéndose con una capa blanquecina de óxido de zinc que reduce su efectividad. Por lo tanto, se debe lijar la superficie antes de botar la embarcación.

Para lograr una mejor adherencia de la pintura al aluminio, se debe diluir la primera capa de imprimación epoxi en un 25%.

A3.2. Información técnica aleaciones de aluminio

En este anexo se incluyen las principales características de las aleaciones de aluminio empleadas en la construcción de la embarcación.

- AL-5083 H321
- AL-6083 T6
- AL-7068 T6511
- AL-7150 T61511



GRANTA EDUPACK

Aluminum, 5083, H321

General information

Designation

Aluminum, 5083, H321, wrought	
Condition	H321 (Strain-hardened and stabilized)
UNS number	A95083
EN name	EN AW-5083 (ENAW-Al Mg4,5Mn0,7)
EN number	3.3547

Typical uses

Marine, auto, and aircraft applications, unfired welded pressure vessels, cryogenics, TV towers, drilling rigs, transportation equipment, missile components, armor plate. Applications requiring a weldable moderate-strength alloy having good corrosion resistance

Composition overview

Compositional summary

Al92-96 / Mg4-4.9 / Mn0.4-1 / Cr0.05-0.25 (impurities: Fe<0.4, Si<0.4, Zn<0.25, Ti<0.15, Cu<0.1, Other<0.15)	
Material family	Metal (non-ferrous)
Base material	Al (Aluminum)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

Al (aluminum)	* 92.4	-	95.6	%
Cr (chromium)	0.05	-	0.25	%
Cu (copper)	0	-	0.1	%
Fe (iron)	0	-	0.4	%
Mg (magnesium)	4	-	4.9	%
Mn (manganese)	0.4	-	1	%
Si (silicon)	0	-	0.4	%
Ti (titanium)	0	-	0.15	%
Zn (zinc)	0	-	0.25	%
Other	0	-	0.15	%

Price

Price	* 1.67	-	1.86	EUR/kg
Price per unit volume	* 4.41e3	-	4.98e3	EUR/m ³

Physical properties

Density	2.64e3	-	2.67e3	kg/m ³
---------	--------	---	--------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	70	-	73.6	GPa
Specific stiffness	26.3	-	27.7	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	193	-	221	MPa
Tensile strength	283	-	317	MPa
Specific strength	72.6	-	83.2	kN.m/kg
Elongation				

Los valores marcados con * son aproximaciones
Ansys Granta provides no warranty for this data.



Aluminum, 6082, T6

GRANTA EDUPACK

General information

Ansys Name	Aluminum alloy, wrought, 6082, T6
------------	-----------------------------------

Designation

Aluminum, 6082, T6, wrought

Condition	T6 (Solution heat-treated and artificially aged)
-----------	--

UNS number	A96082
------------	--------

EN name	ENAW-6082 (ENAW-Al Si1MgMn)
---------	-----------------------------

EN number	3.2315
-----------	--------

Typical uses

General purpose high duty applications, structural frames, pylons, towers, bridges.

Included in Materials Data for Simulation	✓
---	---

Composition overview

Compositional summary

Al95-98 / Si0.7-1.3 / Mg0.6-1.2 / Mn0.4-1 (impurities: Fe<0.5, Cr<0.25, Zn<0.2, Cu<0.1, Ti<0.1, Other<0.15)

Material family	Metal (non-ferrous)
-----------------	---------------------

Base material	Al (Aluminum)
---------------	---------------

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

Al (aluminum)	95.2	-	98.3	%
Cr (chromium)	0	-	0.25	%
Cu (copper)	0	-	0.1	%
Fe (iron)	0	-	0.5	%
Mg (magnesium)	0.6	-	1.2	%
Mn (manganese)	0.4	-	1	%
Si (silicon)	0.7	-	1.3	%
Ti (titanium)	0	-	0.1	%
Zn (zinc)	0	-	0.2	%
Other	0	-	0.15	%

Price

Price	* 1.63	-	1.83	EUR/kg
-------	--------	---	------	--------

Price per unit volume	* 4.34e3	-	5e3	EUR/m ³
-----------------------	----------	---	-----	--------------------

Physical properties

Density	2.67e3	-	2.73e3	kg/m ³
---------	--------	---	--------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	70	-	74	GPa
-----------------	----	---	----	-----

Specific stiffness	25.9	-	27.5	MN.m/kg
--------------------	------	---	------	---------

Yield strength (elastic limit)	240	-	280	MPa
--------------------------------	-----	---	-----	-----

Tensile strength	295	-	344	MPa
------------------	-----	---	-----	-----

Specific strength	88.8	-	104	kN.m/kg
-------------------	------	---	-----	---------

Los valores marcados con * son aproximaciones
Ansys Granta provides no warranty for this data.



GRANTA EDUPACK

Aluminum, 7068, T6511

General information

Designation

Aluminum, 7068, T6511, wrought	
Condition	T6511 (Solution heat-treated and artificially aged)
UNS number	A97068
EN name	EN AW-7068

Typical uses

Ordnance equipment, aerospace, automotive, shock absorbers, fuel pumps, motorcycle gears, chain tensioners, bearing caps, prosthetic limbs, load cells, hydraulic valve components, high pressure solenoid, mountain climbing equipment

Composition overview

Compositional summary

Al85-89 / Zn7.3-8.3 / Mg2.2-3 / Cu1.6-2.4 / Zr0.05-0.15 (impurities: Fe<0.15, Other<0.15, Si<0.12, Mn<0.1, Ti<0.1, Cr<0.05)

Material family	Metal (non-ferrous)
Base material	Al (Aluminum)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

Al (aluminum)	85.2	-	89	%
Cr (chromium)	0	-	0.05	%
Cu (copper)	1.6	-	2.4	%
Fe (iron)	0	-	0.15	%
Mg (magnesium)	2.2	-	3	%
Mn (manganese)	0	-	0.1	%
Si (silicon)	0	-	0.12	%
Ti (titanium)	0	-	0.1	%
Zn (zinc)	7.3	-	8.3	%
Zr (zirconium)	0.05	-	0.15	%
Other	0	-	0.15	%

Price

Price	* 3.38	-	3.81	EUR/kg
Price per unit volume	* 9.62e3	-	1.09e4	EUR/m ³

Physical properties

Density	2.85e3		kg/m ³
---------	--------	--	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	71.2	-	74.8	GPa
Specific stiffness	25	-	26.2	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	648	-	756	MPa
Tensile strength	683	-	797	MPa
Specific strength	227	-	265	kN.m/kg

Los valores marcados con * son aproximaciones
Ansys Granta provides no warranty for this data.



GRANTA EDUPACK

Aluminum, 7150, T61511

General information

Designation

Aluminum, 7150, T61511, wrought

Condition	T61511 (Solution heat-treated and artificially aged)
UNS number	A97075
EN name	ENAW-7150 (ENAW-Al Zn6CuMgZr)

Typical uses

General engineering, aerospace engineering - airframes etc, containers and packaging.

Composition overview

Compositional summary

Al87-90 / Zn5.9-6.9 / Mg2-2.7 / Cu1.9-2.5 / Zr0.08-0.15 (impurities: Fe<0.15, Si<0.12, Mn<0.1, Ti<0.06, Cr<0.04, Other<0.15)

Material family	Metal (non-ferrous)
Base material	Al (Aluminum)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

Al (aluminum)	* 87.1	- 90.1	%
Cr (chromium)	0	- 0.04	%
Cu (copper)	1.9	- 2.5	%
Fe (iron)	0	- 0.15	%
Mg (magnesium)	2	- 2.7	%
Mn (manganese)	0	- 0.1	%
Si (silicon)	0	- 0.12	%
Ti (titanium)	0	- 0.06	%
Zn (zinc)	5.9	- 6.9	%
Zr (zirconium)	0.08	- 0.15	%
Other	0	- 0.15	%

Price

Price	* 3.39	- 3.82	EUR/kg
Price per unit volume	* 9.53e3	- 1.08e4	EUR/m ³

Physical properties

Density	2.81e3	- 2.84e3	kg/m ³
---------	--------	----------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	72	- 75.7	GPa
Specific stiffness	25.5	- 26.8	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	469	- 607	MPa
Tensile strength	510	- 648	MPa
Specific strength	166	- 215	kN.m/kg
Elongation			

Los valores marcados con * son aproximaciones
Ansys Granta provides no warranty for this data.

Anexo A4. Cálculos estructurales

A4.1. Presiones de diseño

DATOS PANEL

Panel de estudio: **PANEL DE FONDO**

Dimensiones

Dimensión mayor panel (l)	800 mm
Dimensión menor panel (b)	450 mm
Area de diseño paneles	0.36 m ²

Posición panel (x)	8.8 m
x/L_{WL}	1.00
Altura centro panel (h)	0.0 m

Fact. longitud. distr. presión (k_L)	1.400
Fact. Carca dinamica (k_{DYN})	3
Fact. Carca dinamica PLANE0 (k_{DYN1})	2.423
Fact. Carca dinamica DESPLAZ (k_{DYN2})	2.153

Fact. reducción de presión PANEL (k_{AR p})	0.719
Valor secun formula (4)	0.719
Valor mínimo k_{AR}	0.25
Fact. estructural elemento PANEL (k_R)	1.37

Fact. reducción de presi REFUERZO (k_{AR r})	0.527
Valor secun formula (4)	0.527
Valor mínimo k_{AR}	0.25
Fact. estructural elem. REFUERZO (k_R)	1.00

Fact. reducción presión costado (k_Z)	1.000
--	-------

PRESIONES DE DISEÑO EMBARCACIONES A MOTOR**PRESIONES FONDO** 69.702 kN/m²**Presión de fondo - Modalidad desplazamiento**

P_{BMD}	38.017 kN/m ²
Formula (7)	38.017 kN/m ²
P _{BMD} BASE	67.302 kN/m ²
P _{BMD} MIN PLT	13.621 kN/m ²
P _{BMD} MIN STF	11.578 kN/m ²

Presión de fondo - Modalidad planeadora

P_{BMP}	69.702 kN/m ²
Formula (10)	69.702 kN/m ²
P _{BMP} BASE	74.037 kN/m ²
P _{BMP} MIN PLT	13.621 kN/m ²
P _{BMP} MIN STF	11.578 kN/m ²

Presión en cubierta y superestructura - Modo Desp. y Planeo**PRESIONES CUBIERTA (P_{DM})** 22.529 kN/m²

Formula (7)	22.529 kN/m ²
P _{DM} BASE	18.110 kN/m ²

PRESIONES COSTADO 22.529 kN/m²**Presión de costado - Modalidad desplazamiento**

P_{SMD}	22.529 kN/m ²
Formula (10)	22.529 kN/m ²
P _{SMD} MIN PLT	8.593 kN/m ²
P _{SMD} MIN PLT 1	8.593
P _{SMD} MIN PLT 2	4.752
P _{SMD} MIN STF	7.304 kN/m ²

Presión de costado - Modalidad planeadora

P_{SMP}	10.367 kN/m ²
Formula (10)	10.367 kN/m ²
P _{SMP} MIN PLT	5.000 kN/m ²
P _{SMP} MIN PLT 1	4.028
P _{SMP} MIN PLT 2	4.752
P _{SMP} MIN STF	5.000 kN/m ²

Presión SUPERESTRUCTURA (P_{SUP}) 15.094 kN/m²

Formula (10)	15.094 kN/m ²
KSUP	0.670

A4.2. Escantillonado de paneles

Datos Panel

Dimensión mayor panel (l)	800 mm
Dimensión menor panel (b)	450 mm
Area de diseño	0.360 m ²
l/b	1.778

Factores de Ajuste

Factor deformación por flexión (k₁)	0.017
Factor alargamiento resistencia flexión (k₂)	0.486
Factor alargamiento rigidez flexión (k₃)	0.006
Factor corrección por curvatura (k_c)	0.98

Máximo cortante y flector

Esfuerzo cortante (F_d)	14.00 N/mm
k _{SHC}	0.451
Momento de flexión (M_d)	1096.90 N·mm/mm

Escantillonado del panel

$$t_p = b \times k_c \times \sqrt{\frac{P \times k_2 b}{1000 \times \sigma_d}}$$

Espesor mínimo PANEL	Tmin	3.0
(panel fondo: 1; costado: 0.75; bañera 0.55)	k5	0.762
	k6	1
	k7	0.02
	k8	0.1
	k9	1
	A	1
	V	20
	mLDC	8380
	σ _y	215

PANEL ALUMINIO

Resistencia diseño (σ _d)	113	N/mm ²
Resistencia rotura (σ _u)	305	N/mm ²
Resistencia (σ _{uw})	270	N/mm ²
Resistencia (σ _y)	215	N/mm ²
Resistencia (σ _{yw})	125	N/mm ²
Resistencia diseño (τ _d)	65	N/mm ²

Tensión de diseño: 112.5 N/mm²

ESCANTILLONADO	Espesor mínimo	Espesor laminado
FONDO	7.65 mm	8 mm
CUBIERTA	4.35 mm	5 mm
COSTADO	4.35 mm	5 mm
SUPERESTRUCTURA	3.56 mm	4 mm

A4.3. Rigidizadores

AL-6082	
Resistencia rotura (σ_u)	310 N/mm ²
Resistencia (σ_{uw})	170 N/mm ²
Resistencia (σ_y)	260 N/mm ²
Resistencia (σ_{yw})	115 N/mm ²
Resistencia diseño (σ_d)	81 N/mm²
Resistencia diseño (τ_d)	47 N/mm²
Factores de Ajuste	
Fact. ajuste por curvatura (k_{CS})	1
Fact. Ajuste por superficie de cizalla (k_{SA})	5
Factor de deflexión (flecha admisible) (K_{1S})	0.05
Dimensiones refuerzo largo	
Longitud refuerzo (l_w)	800 mm
Separación refuerzo (s)	450 mm
Espesor del panel (t_p)	8.00 mm

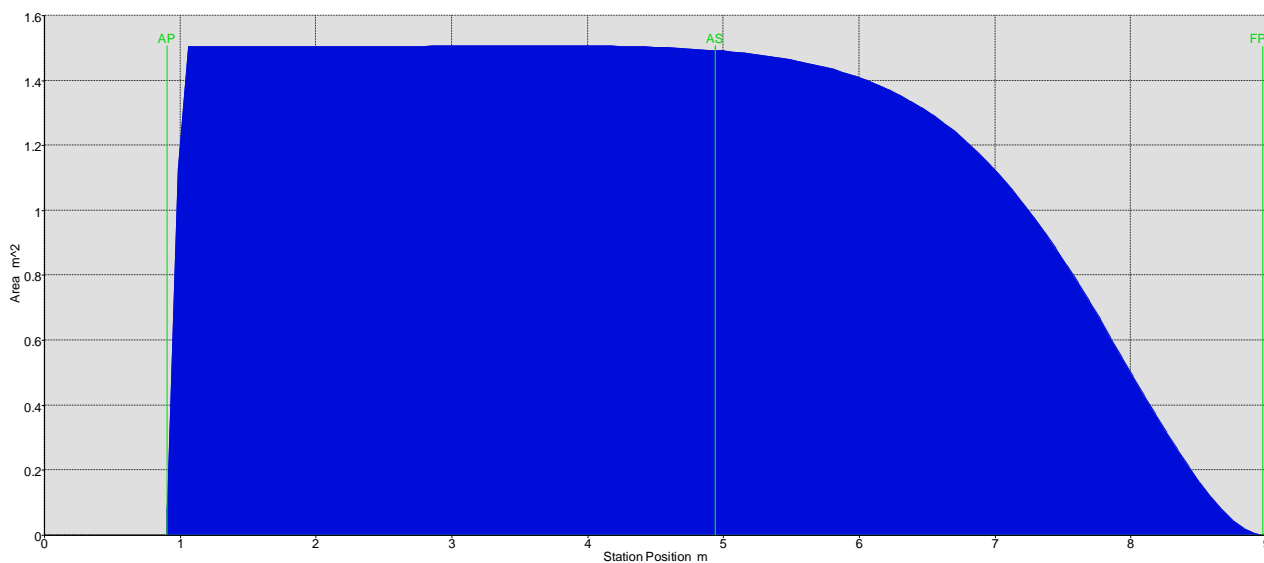
Refuerzo T 70x70x6			
Superficie del alma mínima (A_w)	2.86 cm ²	8.04 cm ²	
Módulo de inercia mínimo (SM_{min})	22.00 cm ³	35.9 SM PERFIL	Cumple
Segundo momento de área (I_{min})	776.63 cm ⁴		
Tension cortante	$\tau_{cortante}$	5.476893 N/mm²	Debe ser menor que τ_d Cumple
Fuerza de cizalla de diseño	Fd	26836.77	
	Hs	70 mm	
	t	70 mm	
	k_{SF}	1	
	σ_c	0.532914 N/mm²	Debe ser menor que σ_d Cumple
Momento flector de diseño	Md	21469.42	
	k_{BM}	1	
	I	1410040 mm ⁴	
	Zcrit	35	
Modulo de seccion (SM)		40286.86 mm³	

Anexo A5. Cálculo de potencia

A5.1. Tabla de potencias

Speed (kn)	Froude Nº L _{WL}	Froude Nº Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
5.000	0.289	0.561	0.7	3.719
5.275	0.304	0.592	0.8	4.486
5.550	0.320	0.623	0.9	5.549
5.825	0.336	0.653	1.1	7.021
6.100	0.352	0.684	1.3	8.740
6.375	0.368	0.715	1.5	10.409
6.650	0.384	0.746	1.7	12.013
6.925	0.400	0.777	1.9	13.823
7.200	0.416	0.808	2.1	16.452
7.475	0.431	0.839	2.4	19.273
7.750	0.447	0.869	2.7	22.281
8.025	0.463	0.900	3.0	25.478
8.300	0.479	0.931	3.2	28.865
8.575	0.495	0.962	3.5	32.446
8.850	0.511	0.993	3.8	36.223
9.125	0.527	1.024	4.1	40.199
9.400	0.543	1.055	4.4	44.375
9.675	0.558	1.085	4.8	49.707
9.950	0.574	1.116	5.2	55.944
10.225	0.590	1.147	5.7	62.081
10.500	0.606	1.178	6.0	68.007
10.775	0.622	1.209	6.4	73.662
11.050	0.638	1.240	6.7	79.031
11.325	0.654	1.271	6.9	84.131
11.600	0.670	1.301	7.2	89.003
11.875	0.685	1.332	7.4	93.696
12.150	0.701	1.363	7.5	98.265
12.425	0.717	1.394	7.7	102.762
12.700	0.733	1.425	7.9	107.237
12.975	0.749	1.456	8.0	111.732
13.250	0.765	1.486	8.2	116.283
13.525	0.781	1.517	8.3	120.924
13.800	0.797	1.548	8.5	125.678
14.075	0.812	1.579	8.7	130.567
14.350	0.828	1.610	8.8	135.609
14.625	0.844	1.641	9.0	140.818
14.900	0.860	1.672	9.2	146.204
15.175	0.876	1.702	9.3	151.778
15.450	0.892	1.733	9.5	157.546
15.725	0.908	1.764	9.7	163.515
16.000	0.924	1.795	9.9	169.690

A5.2. Curva de áreas de flotación



Anexo A6. SternMaster 97W

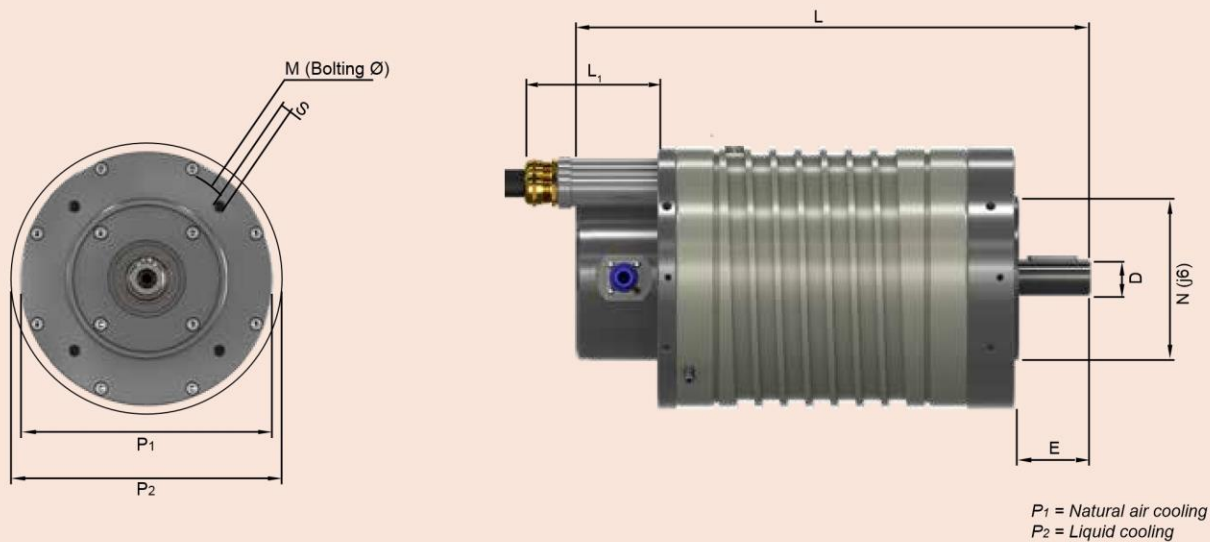
Ficha técnica del motor SternMAster 97w adjunta en la página siguiente.

PERMANENT MAGNETS ELECTRIC MACHINES

1. DESCRIPTION

TRANSFLUID manufactures three-phase, Permanent Magnet Synchronous Machines (PMSM) with natural convection air cooling. This solution ensures high efficiency with a limited weight and size. The electric machine are controlled by a Motor Controller (Frequency Drive) that allows to work both as a motor and as a

generator. The perfect integration of the range of electric machines with controllers allows for a compact system installation, as well as makes management easy and effective during any operation stage.



Tab. PERFORMANCES

TF - EM	MOTOR kW (hp)	MOTOR PEAK kW (hp)	GENERATOR kW (hp)	NOMINAL VOLTAGE Vrms	NOMINAL TORQUE Nm (lb-ft)	NOMINAL CURRENT A ~	BATTERY Vdc	MOTOR Adc	GENERATOR Adc
180 - 4 *	4 (5)	5 (7)	4 (5)	62	13 (10)	41	96	45	40
180 - 8 *	8 (11)	10.5 (14)	7 (10)	60	25 (18)	85	96	89	84
180 - 12 *	12 (16)	16 (21)	10 (14)	60	38 (28)	142	96	133	124
220 - 20 *	20 (27)	25 (34)	17 (23)	68	64 (47)	175	96	221	185
220 - 35 *	35 (48)	45 (60)	33 (45)	159	111 (82)	137	288	128	119
300 - 50 *	50 (68)	65 (88)	49 (67)	178	159 (117)	167	288	184	177
300 - 75 *	75 (100)	100 (134)	72 (98)	242	239 (176)	242	288	278	266
300 - 100 *	100 (136)	130 (177)	97 (132)	252	318 (235)	322	384	273	251
375 - 200 **	200 (268)	260 (349)	190 (255)	257	830 (612)	2x250	384	525	493

* 3000 rpm

** 2300 rpm (power supply with double inverter)

Tab. DIMENSIONS

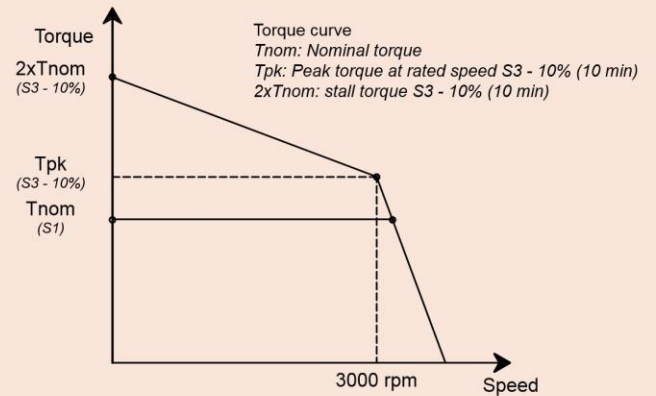
TF - EM	WEIGHT kg (lb)	D mm (inch)	E mm (inch)	L mm (inch)	M mm (inch)	N mm (inch)	P ₁ mm (inch)	P ₂ mm (inch)	S
180 - 4	19 (42)	28 (1.1) j6	60 (2.4)	328 (12.9)	≈165 (6.5)	130 (5.1)	205 (8.1)	240 (9.4)	4xM10
180 - 8	25 (55)	28 (1.1) j6	60 (2.4)	368 (14.5)	≈165 (6.5)	130 (5.1)	205 (8.1)	240 (9.4)	4xM10
180 - 12	35 (76)	28 (1.1) j6	60 (2.4)	408 (16.1)	≈165 (6.5)	180 (7.1)	205 (8.1)	240 (9.4)	4xM10
220 - 20	58 (128)	38 (1.5) k6	80 3.1)	460 (18.1)	≈215 (8.5)	180 (7.1)	243 (9.6)	277 (10.9)	8xM12
220 - 35	80 (175)	38 (1.5) k6	80 3.1)	543 (21.4)	≈215 (8.5)	180 (7.1)	243 (9.6)	277 (10.9)	8xM12
300 - 50	135 (295)	55 (2.2) m6	110 (4.3)	602 (23.7)	≈265 (10.4)	230 (9.1)	332 (13.1)	360 (14.2)	8xM12
300 - 75	185 (404)	55 (2.2) m6	110 (4.3)	702 (27.6)	≈265 (10.4)	230 (9.1)	332 (13.1)	360 (14.2)	8xM12
300 - 100●	195 (425)	55 (2.2) m6	110 (4.3)	702 (27.6)	≈265 (10.4)	230 (9.1)	332 (13.1)	360 (14.2)	8xM12
375 - 200●	410 (1080)	75 (2.9) m6	140 (5.5)	911 (36)	≈500 (19.6)	450 (17.7)	-	450 (17.7)	8xØ17

● Only water cooled

Special E.Machines on request

2. CHARACTERISTIC

The structural characteristics of electric machines are optimized for any use up to 3000 rpm. The systems are convection cooled, making an easy on-board installation. This allows you to use the power in a progressive manner throughout its whole range of speed. The torque curve, which characterizes these types of motor at low speed, can be two times the nominal rating which is extremely useful for vehicle acceleration. In the range of medium speed, up to about 1500 rpm, the torque delivered can be twice as much as the nominal rating for a limited time. In marine applications, this is particularly useful for low vessel speed maneuvering. All electric machines are equipped with thermal sensor KTY 84-130 and can be equipped with sin/cos magnetic encoder, resolver 2 poles 7V 10kHz and incremental encoders from 500 to 4096 ppr.



(Indicative diagram, for reference only)

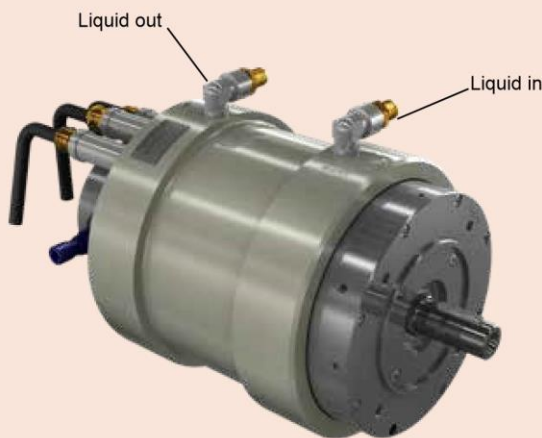
3. DEFINITION OF POWER RATINGS FOR NATURAL CONVECTION AIR-COOLED MACHINES

Rating power and torque listed in the performance table, are referred to continuous duty **S1** at rated speed and ambient temperature of 40°C at 1000m a.s.l.

If motors work at ambient temperature more than 40°C or at altitude above 1000 m a.s.l., then derating coefficients **K₁** and **K₂** should be applied (see table below).

Ambient temperature	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
Correction factor K₁	1	1.06	1.13	1.22	1.34
Altitude a.m.s.l. up to	1000m	2000m	3000m	4000m	5000m
Correction factor K₂	1	1.07	1.16	1.27	1.55

In case of high ambient temperature and in order to avoid electric machine derating, forced air-cooling kit is also available.



Blowing fan
12 Vdc or 24 Vdc



Depending on the installation condition, liquid cooling kit is also available to avoid electric machine derating.

Technical features, dimensions and any other data are not binding. Transfluid S.p.A. reserves the right to change them without notice

para dar servicio a buques de tipo explorer
Juan de la Puente

