



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño conceptual de embarcación de rescate: análisis de su estabilidad sobre cálculos basados en formas cuadráticas

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Pablo Álvarez García
DIRECTORES: Pedro Jesús Carrasco Pena
Gerardo González-Cela Echevarría
CURSO ACADÉMICO: 2023-2024

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño conceptual de embarcación de rescate: análisis de su
estabilidad sobre cálculos basados en formas cuadráticas*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universidade de Vigo

RESUMEN

El diseño conceptual de una embarcación es el punto de partida de un proyecto de diseño naval. En el mismo, se utilizan técnicas matemáticas aplicadas al campo de la ingeniería en general y al de la construcción naval en particular para, a partir de datos y modelos matemáticos, construir diseños actuales de embarcaciones sobre conjuntos de barcos similares y desarrollar el modelo deseado. Este proyecto busca completar el diseño conceptual de una embarcación de rescate utilizando distintas herramientas de software como *Excel*, *Matlab*, *AutoCAD* o *Maxsurf* que permiten alcanzar los hitos establecidos para la consecución del trabajo.

A lo largo del proyecto se realizan los estudios y se elaboran planos para lograr generar la documentación base necesaria para la construcción de un buque de estas características. Posteriormente, se realizan los análisis necesarios para determinar la viabilidad del diseño y se identifican sus líneas futuras y áreas de mejora. Con este proyecto conceptual, se posibilita avanzar a un proyecto preliminar.

PALABRAS CLAVE

Diseño conceptual, embarcación de rescate, Armada, operaciones de salvamento, dimensionamiento

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	6
Acrónimos y siglas	7
1 Introducción y objetivos	8
1.1 Contexto y motivación	8
1.2 Objetivos y metodología	9
1.2.1 Objetivos.....	9
1.2.2 Metodología.....	9
1.3 Estructura	10
2 Estado del arte	11
2.1 Principios básicos de diseño naval.....	11
2.1.1 Dimensiones principales	11
2.1.2 Definición de elementos geométricos.....	12
2.1.3 Coeficientes de forma	12
2.1.4 Planos de forma y cartilla de trazado.....	13
2.1.5 Estabilidad	13
2.2 Formas cuadráticas y su aplicación en ingeniería naval	15
2.2.1 Forma cuadrática	15
2.2.2 Integración aproximada	15
2.2.3 Integración por trapecios	16
2.2.4 Integración y reglas de Simpson.....	16
2.2.5 La matemática en la computación en ingeniería: Matlab y AutoCAD.....	17
2.2.6 Maxsurf y superficies NURB	18
2.3 El proyecto de buque.....	19
2.3.1 Estudio de pre-viabilidad y diseño conceptual	19
2.3.2 Estudio de viabilidad y diseño preliminar	19
2.3.3 Definición del proyecto y contrato	20
2.3.4 Ingeniería de detalle y prototipo	21
2.4 Salvamento y rescate.....	21
2.4.1 Convenio SOLAS y SAR	21
2.4.2 Operaciones SAR.....	21
2.5 Embarcaciones de rescate	22
2.5.1 Funciones	23

2.5.2 Tipos	23
3 Desarrollo del TFG	24
3.1 Juego de dimensiones y coeficientes	24
3.1.1 Juego de dimensiones	24
3.1.2 Juego de coeficientes	28
3.1.3 Pesos y centros de gravedad	29
3.2 Generación de formas	30
3.3 Estudio de potencia	33
3.3.1 Método Holtrop	33
3.3.2 Método Savitsky	36
3.3.3 Selección de potencia	37
3.4 Sistemas de la embarcación	37
3.4.1 Planta propulsora	37
3.4.2 Equipos de navegación	38
3.4.3 Equipos de comunicaciones	38
3.4.4 Otros equipos	39
3.5 Dimensionamiento de tanques y capacidades	39
3.6 Disposición general	39
3.7 Curvas hidrostáticas y brazo de adrizamiento	41
3.8 Presupuesto	42
4 Resultados	45
4.1 Características finales de la plataforma	45
4.1.1 Dimensiones principales	45
4.1.2 Hidrostática y estabilidad	46
4.2 Sistemas embarcados	47
5 Conclusiones y líneas futuras	49
5.1 Conclusiones	49
5.2 Líneas futuras	50
6 Bibliografía	51
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	54
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	55
Anexo III: Base de datos	56
Anexo IV: Código Matlab	57
Anexo V: Plano de formas	58

Anexo VI: Modelado en Maxsurf	59
Anexo VII: VOLVO PENTA D6-435 WJ	61
Anexo VIII: Waterjet AJ288	62
Anexo IX: Disposición general	63
Anexo X: Presupuestos construcción embarcación.....	67
Anexo XI: Cartilla de trazado	68
Anexo XII: Cálculo de presupuesto	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Principales dimensiones de un barco (Fuente propia)	11
Figura 2-2: Planos principales para definir la carena [8]	13
Figura 2-3: Plano de formas de un buque [10]	13
Figura 2-4: Estabilidad inicial de un buque [11]	14
Figura 2-5: Estabilidad a pequeños ángulos [11]	14
Figura 2-6: Regla de los trapecios [8]	16
Figura 2-7: Regla de Simpson [8]	17
Figura 2-8: Interpolación mediante splines [12]	18
Figura 2-9: Espiral de Evans [17].....	19
Figura 2-10: Regiones SAR del mar Mediterráneo [26]	22
Figura 2-11: Mapa de unidades de Salvamento Marítimo [28].....	23
Figura 3-1: Gráficas principales dimensiones (fuente propia)	25
Figura 3-2: Eslora frente a desplazamiento (fuente propia)	26
Figura 3-3: Manga frente a desplazamiento (fuente propia)	26
Figura 3-4: Calado frente a desplazamiento (fuente propia)	27
Figura 3-5: Puntal frente a desplazamiento (Fuente propia)	27
Figura 3-6: Velocidad frente a desplazamiento (fuente propia).....	28
Figura 3-7: Formas de cascos con codillos pronunciados [31]	31
Figura 3-8: Fuerzas ejercidas sobre un casco en V [37].....	31
Figura 3-9: Caja de cuadernas de la embarcación de rescate (fuente propia)	32
Figura 3-10: Plano de crujía de la embarcación de rescate (fuente propia)	32
Figura 3-11: Plano de línea base de la embarcación de rescate (fuente propia).....	32
Figura 3-12: Vista 3D en Maxsurf (fuente propia).....	33
Figura 3-13: Método Savitsky en Maxsurf (fuente propia).....	36
Figura 3-14: Potencia frente a desplazamiento (fuente propia).....	37
Figura 3-15: Distribución planta propulsora	38
Figura 3-16 : Vistas de la embarcación con superestructura (fuente propia)	40
Figura 3-17: Vista de planta de la distribución de la cubierta 2 (fuente propia)	40
Figura 3-18: Vista de costado de la distribución (fuente propia)	40
Figura 3-19: Vista de planta de la cubierta principal (fuente propia).....	41
Figura 3-20: Vista en 3D de los tanques de combustible (fuente propia)	41
Figura 3-21: Plano de cabezas de tanques (fuente propia)	41
Figura 3-22: Curvas hidrostáticas (fuente propia).....	42
Figura 3-23: Curva de brazo de adrizamiento (Fuente propia)	42
Figura 4-1: Curvas hidrostáticas (fuente propia).....	47

Figura 4-2: Brazo de adrizamiento (fuente propia)	47
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Intervalo de relaciones dimensionales (fuente propia)	24
Tabla 3-2: Dimensiones principales embarcación (fuente propia).....	28
Tabla 3-3: Dimensiones y coeficientes principales (fuente propia)	30
Tabla 3-4: Dimensiones y coeficientes obtenidas de Maxsurf (fuente propia).....	33
Tabla 3-5: Presupuesto buque acero (fuente propia).....	43
Tabla 3-6: Presupuesto buque aluminio (fuente propia)	43
Tabla 3-7: Presupuesto buque fibra de vidrio (fuente propia).....	44
Tabla 4-1: Dimensiones de la embarcación a partir de regresiones lineales (fuente propia)	45
Tabla 4-2: Dimensiones generadas mediante Maxsurf (Fuente propia).....	46
Tabla 4-3: Equipos embarcados (fuente propia)	48

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

C	<i>Cuaderna</i>
CNSM	<i>Consejo Nacional de Seguridad Marítima</i>
DSC	<i>Digital Selective Call</i>
DWL	<i>Design Water Line</i>
GMDSS	<i>Global Maritime Distress and Safety System</i>
ICAO	<i>Internationa Civil Aviation Organization</i>
L. A.	<i>Línea de agua</i>
LB	<i>Línea base</i>
LC	<i>Línea de crujía</i>
ONU	<i>Organización de Naciones Unidas</i>
OSC	<i>On Scene Commander</i>
P _{pp}	<i>Pique de popa</i>
P _{pr}	<i>Pique de proa</i>
RCS	<i>Radar cross-section</i>
SAR	<i>Search And Rescue</i>
SART	<i>Search and Rescue Transponder</i>
SC	<i>SAR Coordinator</i>
SMC	<i>SAR Mission Coordinator</i>
SOLAS	<i>Security of Life at Sea</i>

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Se abordará el marco en el que se desarrolla el proyecto para que sirva como punto de partida para comprender el contexto y la relevancia del trabajo, así como para establecer claramente los objetivos que se pretenden alcanzar. A través de esta introducción, se proporciona una visión general, contextualizando el trabajo dentro del diseño naval, destacando los retos a enfrentar.

1.1 Contexto y motivación

La seguridad marítima, entendida como una actividad encaminada a prevenir los riesgos y combatir amenazas en el entorno marítimo, se basa en el conocimiento del entorno y en la coordinación eficaz de todos los actores con capacidad de intervención. Su finalidad principal es la preservación de los espacios marítimos nacionales [1].

España, con más de 8000 km de costa, una superficie de aguas territoriales de hasta 115800 km² y un pasado profundamente arraigado a la mar, es un país eminentemente marítimo [2]. Esta realidad resalta la necesidad de la existencia de instituciones dedicadas exclusivamente a la seguridad marítima cuyas misiones principales estén desarrolladas fundamentalmente en este medio. El principal responsable de esta tarea es Salvamento Marítimo, sin embargo, existen otros actores del Estado que desarrollan su actividad en la mar y que, por tanto, se ven involucrados en operaciones de seguridad marítima o en operaciones de salvamento y rescate para las que deben estar capacitados debido a las normas y convenios que rigen el medio en el que trabajan, como es el caso de la Armada.

La crisis migratoria que afecta al continente europeo desde 2015 resalta la necesidad de la participación de todas las instituciones del Estado en tareas de protección de vida en la mar. Los países de la “frontera sur” han asumido una enorme responsabilidad en la gestión de este problema y los riesgos asociadas a esta crisis están intrínsecamente relacionados con el salvamento marítimo [3].

La Armada, debido a los cometidos atribuidos legalmente y la gran experiencia adquirida a lo largo de los años operando en el complejo entorno marítimo, sus capacidades específicas en determinadas áreas, los medios de apoyo logístico de los que dispone y los centros de enseñanza y formación, contribuye a la acción del estado en la mar en conjunto con otras instituciones del Estado y administraciones públicas, enmarcado dentro de las cuatro misiones genéricas de la Fuerza Naval, [4].

Además, la contribución de la Armada en esta misión se incluye en las doce funciones nacionales de seguridad marítima aprobadas por el CNSM. Participa en cinco de ellas con sus propias capacidades: Seguridad y protección marítimas, policía marítima, vigilancia marítima, control e inspección pesquera y protección del patrimonio cultural subacuático, y puede participar en otras cinco en apoyo a otras autoridades: actividades aduaneras marítimas y control del contrabando, prevención y lucha contra la contaminación, búsqueda y salvamento marítimo y asistencia marítima, respuesta frente a desastres y catástrofes marítimos y control de la inmigración irregular [4].

Se podría decir que el salvamento marítimo es inherente a la Armada como resultado de las misiones asignadas, en las que las operaciones de salvamento y rescate están presentes y deben ser tenidas en cuenta en el diseño de la flota y sus capacidades, así como de sus embarcaciones y medios auxiliares que le permitan cumplir sus cometidos.

A pesar de que todos los buques de la Armada pueden realizar este tipo de operaciones, se dispone de una serie de barcos que están más orientados a esta misión, como son: el buque de Salvamento y Rescate Neptuno, los remolcadores de altura Mahón y la Graña, el buque auxiliar Mar Caribe y el buque multipropósito Carnota, de reciente adquisición [5]. Dichos buques no constituyen por si solos el sistema necesario para las operaciones de salvamento, se encuentran dotados de embarcaciones auxiliares que son un excelente complemento para el desempeño de sus funciones.

Estas embarcaciones auxiliares, presentes en la mayoría de los buques mencionados, suelen ser semirrígidas con motores fueraborda, que en nada difieren de las disponibles en buques dedicados a otros cometidos. Por tanto, se hace patente la necesidad de la inclusión de una embarcación que se adecue a los convenios vigentes y sea adecuada para las funciones de seguridad marítima, especialmente, en salvamento y rescate.

1.2 Objetivos y metodología

1.2.1 Objetivos

El objetivo principal de este TFG es definir el diseño conceptual de una embarcación de rescate embarcable en buques de la Armada dedicados a seguridad marítima para cumplir con las misiones específicas en este ámbito, así como detallar una unidad lo más versátil posible para que sea útil en distintas actividades marítimas. Para la consecución del proyecto conceptual se establecen los siguientes objetivos intermedios:

1. Realizar un estudio claro y conciso sobre la actualidad en construcción de embarcaciones de rescate, tanto en el ámbito civil como el militar
2. Elaborar una base de datos de distintas embarcaciones de rescate actuales que permitan un análisis y elaboración de un modelo inicial mediante métodos tradicionales de ingeniería naval.
3. Elaboración de cálculos matemáticos y análisis de geometrías que permitan obtener plano de formas, cartilla de trazado y disposición general de la embarcación, así como otras características, como el equipamiento y características principales del buque.
4. Elección de la solución y presupuesto.

1.2.2 Metodología

Se utilizarán los métodos tradicionalmente aplicada en la industria naval, basados en la espiral de Evans que consiste en un proceso iterativo a través de las distintas fases de desarrollo del producto siguiendo una espiral de diseño. La fase de diseño conceptual se lleva a cabo el primer circuito a través de la espiral, mientras que el diseño preliminar ocurre durante los tres siguientes circuitos alrededor de la espiral, dando lugar estas dos fases al diseño básico [6]. De esta manera la metodología que aplicaremos consistirá en el cumplimiento de hitos que requerirán el empleo de herramientas matemáticas:

1. Creación de bases de datos.
2. Análisis de la base de datos de embarcaciones en servicio en la actualidad para establecer modelo inicial de la embarcación mediante software utilizado en ingeniería naval.
3. Elección de características y sistemas de la embarcación para cumplir con capacidades necesarias en la actualidad.
4. Elaboración de disposición general de la embarcación, incluyendo zonas y tanques.
5. Ubicación de sistemas seleccionados sobre la disposición general.

6. Valoración económica mediante creación de presupuesto del coste de construcción y obtención.
7. Elaboración de presupuesto final.
8. Evaluación y viabilidad del diseño.

1.3 Estructura

Se seguirá una estructura del tipo problema-solución, ampliamente reconocida por su eficacia en la resolución de problemas complejos [7]. En esta metodología, se realiza, en primer lugar, una descripción exhaustiva de “el problema” abordando todos sus detalles. A través de este análisis se pretende comprender a fondo la naturaleza y alcance del problema, identificando sus posibles soluciones.

Posteriormente, se procede a la argumentación detallada del problema, mediante un análisis de sus componentes claves y evaluando los enfoques para su resolución. Se emplearán herramientas de análisis conceptual para profundizar en la comprensión del objeto de este trabajo.

Se establecerán unos objetivos claros y específicos de diseño que servirán como guía durante el proceso de diseño. Para ello se adoptará un enfoque iterativo siguiendo el modelo de la espiral de Evans, que permite una revisión continua del diseño teniendo en cuenta los avances obtenidos.

A medida que avance el proceso se irá alcanzando una solución integral y fundamentada, de manera que se cumplan de manera efectiva los requisitos definidos en el trabajo. La solución será presentada de manera detallada y argumentada, respaldada por la experiencia pasada en el ámbito de la ingeniería naval.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Principios básicos de diseño naval

Un buque se trata de un proyecto de ingeniería complejo en el que intervienen muchos factores, el vocabulario propio del sector naval y los distintos conceptos al encontrarse en un medio distinto del terrestre hacen que se trate de un proceso iterativo y extenso en el tiempo de manera que, los estudios realizados sobre el mismo sean lo suficientemente precisos. En este apartado, se trata de dar una perspectiva básica de los principales conceptos necesarios para el entendimiento de los consecutivos epígrafes.

2.1.1 Dimensiones principales

Las dimensiones principales de un buque nos dan una idea del tamaño de la plataforma y, determinan ciertas condiciones de estabilidad y flotabilidad. La Figura 2-1 muestra las más importantes que definen una embarcación y que servirán como punto de partida para el diseño del buque que son la eslora (L), la manga (B), el calado (T) y el puntal (D).

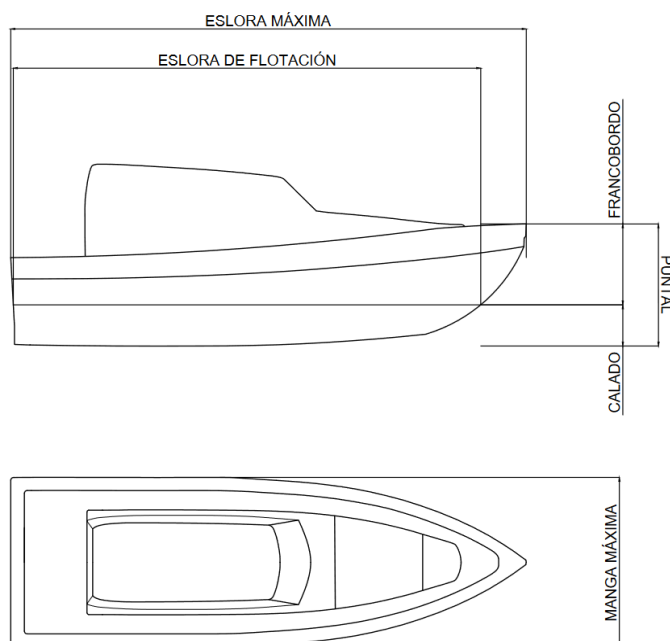


Figura 2-1: Principales dimensiones de un barco (Fuente propia)

2.1.2 Definición de elementos geométricos

Existen algunos elementos que se utilizan a menudo para describir aspectos de la geometría de una embarcación. Se definen, a continuación, alguna de estas cantidades que serán de utilidad en adelante.

- **Flotación de diseño (DWL):** es la línea que define el calado y desplazamiento de diseño. Se sitúa de manera que el volumen del buque por debajo de este nivel es igual que el volumen que da como resultado el desplazamiento de diseño. La línea de flotación de diseño es simplemente un valor de referencia para definir las propiedades geométricas del buque, debido a que los buques operan con diferentes calados en función de sus condiciones de carga y funcionamiento. Lo más común es situar la sección 10 o perpendicular de proa en la intersección de esta línea con el casco del buque, la última sección o perpendicular de popa se coloca de manera análoga en la popa del buque a excepción de los buques con timón donde se sitúa en la mecha de este [8].
- **Sección maestra:** Típicamente, se definía la sección maestra como la sección de mayor área transversal del barco, sin embargo, en la actualidad se posiciona en el punto medio entre las perpendiculares de proa y popa [8].
- **Área de la flotación (A_w):** es el área resultada entre la intersección de un plano que corte a la altura de la línea de la flotación con las formas del barco. Es una magnitud importante para la estabilidad del barco, ya que la distribución del área en el plano de flotación ayuda a controlar la estabilidad inicial. Además, es importante para determinar el cambio en la flotabilidad debido a la variación de pesos, así como, la rigidez del buque en oleaje [8].
- **Centro de flotación (CF):** centro geométrico del área del plano de flotación. Como es el centro de flotación es el centro de un área, tiene dos coordenadas. El LCF (*Longitudinal Center of Flotation*) es la coordenada de flotación medida desde la sección 0. El TCF (*Transversal Center of Flotation*) es la coordenada medida desde la línea central del barco. Como los barcos suelen ser simétricos el TCF suele estar en la línea de crujía central [8].

2.1.3 Coeficientes de forma

Se trata de una aproximación matemática a la forma de un barco, típicamente relacionan el volumen o área que ocupa un área sumergida con el volumen o área de un prisma que circunscribe esa área sumergida. Son importantes dado que nos permiten obtener aproximaciones sobre su velocidad, consumo y formas del casco [9]. Algunos de los principales son:

- **Coeficiente de bloque (C_b):** nos da una relación entre el volumen sumergido del casco y el volumen del prisma generado por L, B y T. Por tanto, el valor de este coeficiente nos indica las formas del casco del buque, un coeficiente bajo indica una forma en V para cortar mejor el agua, mientras que un coeficiente alto significa una forma más en U del casco, típicamente presente en los buques mercantes o petroleros.
- **Coeficiente de la maestra (C_m):** es una relación entre el área de la cuaderna maestra por debajo de la línea de flotación (A_m) y el área del rectángulo formado por B y T. De nuevo, el valor de este coeficiente nos dará una idea de las formas del casco del buque, cuanto menor sea más afiladas serán.
- **Coeficiente prismático longitudinal (C_p):** se relaciona directamente con la velocidad del buque. Es el resultado de la relación entre el volumen del casco sumergido y el producto del área de la cuaderna maestra por debajo de la línea de flotación (A_m) y la eslora. Este coeficiente nos da una idea de cómo se encuentra distribuida la flotación de un buque, cuanto mayor sea más uniformemente distribuida se encontrará. Este coeficiente también puede ser calculado como la relación entre C_b y C_m .

2.1.4 Planos de forma y cartilla de trazado

Las formas del casco de un buque determinan su flotabilidad y estabilidad, para su representación se utilizan vistas ortogonales que definen cada uno de los perfiles de la embarcación. El plano de formas se trata de la representación de estas vistas mediante las líneas que describen la forma de la carena del buque [8]. Las líneas son la intersección entre el casco y los tres grupos de planos paralelos a tres planos principales: el plano transversal (*TP*) paralelo al plano *YZ*, el plano central longitudinal (*LCP*) paralelo al plano (*XZ*) y el plano de línea base (*BLP*) paralelo al plano *XY*, como se puede observar en la Figura 2-2

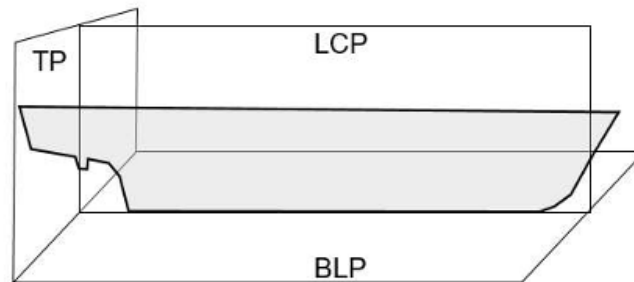


Figura 2-2: Planos principales para definir la carena [8]

A partir de estos planos principales se definen otras dimensiones del buque: los planos paralelos a *BLP* se denominan líneas de agua (*WL*) y suelen etiquetarse según su distancia sobre la quilla; los planos paralelos al *TP* dan lugar a las cuadernas de trazado numeradas desde la popa para notación europea, comúnmente del 0 al 10 o del 0 al 20; y los planos paralelos a *CLP* dan lugar a los longitudinales, numerados normalmente con números romanos [10]. La Figura 2-3 muestra un ejemplo de los planos de formas de un buque tal y como sería para un proyecto detallado.

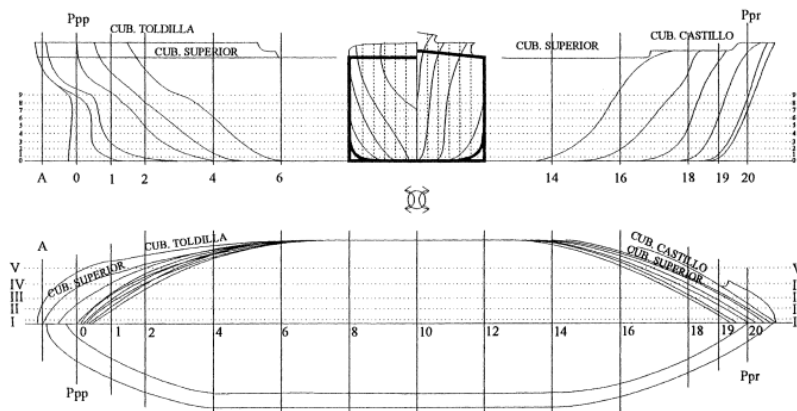


Figura 2-3: Plano de formas de un buque [10]

Como información adicional al plano de formas existe la cartilla de trazado que consiste en un conjunto de puntos que describen puntos conocidos de la superficie del casco del buque obtenidos del plano de formas. Este documento es una representación numérica que sirve en determinadas ocasiones para el cálculo de cantidades o para reproducción del casco del buque a distintas escalas [8].

2.1.5 Estabilidad

Se define la estabilidad como la capacidad de un buque de volver a su posición de equilibrio al cesar la fuerza externa que lo ha desequilibrado [10]. Dado que un buque típicamente suele ser más largo que ancho, la estabilidad transversal suele ser la condición limitante en cuanto a estabilidad se refiere, a pesar de que la estabilidad longitudinal puede ser importante en determinadas circunstancias [11].

Se considera estabilidad inicial a la estabilidad de un buque bajo pequeñas variaciones en el ángulo de cabeceo o de escora de entre 5 y 10 grados. Para hacer un estudio de la estabilidad inicial se deben definir 4 magnitudes que servirán tanto para estabilidad longitudinal como transversal, estas magnitudes pueden verse representadas en el espacio en la Figura 2-4.

- K: situación de la quilla. Es el punto más bajo del buque y para cálculos de estabilidad se considera el origen del eje z.
- B: situación del centro de carena con respecto a la quilla. Este punto se calcula para cada condición de calado en función de la carga y el lugar de navegación.
- G: situación vertical del centro de gravedad, depende de la distribución del peso y varía en función de la condición de carga, en el proceso de diseño se utiliza una condición de cara de diseño para la evaluación de la estabilidad.
- M: situación vertical del metacentro que se trata de un lugar geométrico situado en la vertical de la línea central que se obtiene como resultado del corte a través de la vertical del centro de flotación tras variar la escora un pequeño ángulo

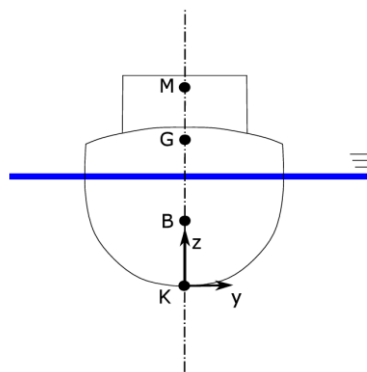


Figura 2-4: Estabilidad inicial de un buque [11]

Si se somete a la embarcación a un pequeño ángulo de escora θ , variara el eje sobre el que se aplican las fuerzas, desalineándose el peso y el empuje de la flotación como se muestra en la Figura 2-5. Si trazamos una línea horizontal desde el centro de gravedad hasta la intersección con $\overline{B'M}$ obtendremos el punto Z, el brazo $\overline{GZ}$ directamente proporcional al brazo de adrizamiento RM .

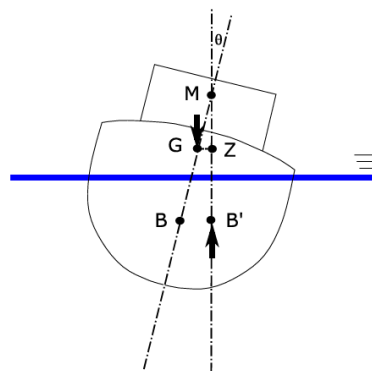


Figura 2-5: Estabilidad a pequeños ángulos [11]

Este brazo de adrizamiento será positivo, es decir, provocará que el buque se adrice siempre que el centro de flotación este desplazado de la vertical del centro de gravedad y el valor de GZ y el ángulo θ sea positivo.

2.2 Formas cuadráticas y su aplicación en ingeniería naval

En muchos problemas de ingeniería, especialmente en el diseño naval, es común utilizar superficies irregulares cuyas dimensiones son difíciles de calcular mediante métodos convencionales. Este tipo de superficies generan dificultades a la hora de realizar el cálculo de sus dimensiones, ya que no se ven representadas por las ecuaciones o fórmulas típicamente utilizadas en el ámbito matemático. Este es el caso de los cascos de los buques, que presentan curvas complejas y apéndices diseñados para mejorar su rendimiento hidrodinámico. Para abordar la complejidad de este problema, se recurre a formas cuadráticas que facilitan el cálculo de sus áreas y volúmenes [12].

2.2.1 Forma cuadrática

En matemáticas, una forma cuadrática se trata de una expresión algebraica de segundo grado en una o más variables. Están definidas por polinomios de segundo grado de la forma $f(x,y) = ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey$, donde a, b, c, d, e y f son coeficientes constantes y, por otra parte, x e y son las variables.

En álgebra lineal se define una forma cuadrática sobre $\mathbb{R}$ como una aplicación $q : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ que a cada vector $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbb{R}$ le hace corresponder un número real dado por:

$$q(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + \dots + a_{nn}x_n^2 + 2a_{12}x_1x_2 + \dots + 2a_{1n}x_1x_n + \dots + 2a_{n-1n}x_{n-1}x_n \quad (2-1)$$

con $a_{ij} \in \mathbb{R}, \forall i, j = 1, 2, \dots, n$ y que corresponde a un polinomio homogéneo de segundo grado en las n variables $x_1, x_2, \dots, x_n$ [13].

Tienen aplicaciones en diversos campos, tales como la física, ingeniería, economía, ciencias naturales, etc. Algunas de ellas se enumeran a continuación:

1. Optimización y análisis de funciones: resolución de problemas de optimización, para encontrar el máximo o mínimo de una función sujeta a ciertas restricciones.
2. Geometría analítica: estudio y análisis de curvas y superficies parabólicas, elípticas o hiperbólicas.
3. Álgebra lineal: se relacionan con conceptos como las matrices simétricas y son utilizadas sobre todo en la diagonalización de matrices.
4. Física y mecánica: utilizados en el modelado de fenómenos como el movimiento de partículas o los sistemas dinámicos. En mecánica, se utilizan también en el análisis de estructuras y sistemas.
5. Finanzas y economía: se utilizan en el modelado y análisis de comportamiento de variables económicas y financieras, que se encuentran intrínsecamente relacionados con la optimización de funciones.

En el contexto del diseño naval, son esenciales para aproximar y analizar la geometría de superficies irregulares. Permiten simplificar cálculos y realizar análisis para mejorar el diseño y la construcción de embarcaciones.

2.2.2 Integración aproximada

La mayoría de los métodos de cálculo de características hidrostáticas de un buque se realiza mediante fórmulas que incluyen la integración lineal. Sin embargo, no tenemos conocimiento de las formas del barco y sus áreas como funciones matemáticas continuas conocidas, por lo que no es posible la integración de las funciones de manera analítica. En cambio, conocemos puntos discretos del casco del buque debido a la cartilla de trazado, por tanto, es posible utilizar aproximaciones numéricas para el cálculo de características del barco [8].

Los métodos numéricos que son usados para la integración numérica parten de la fórmula de integración de Newton Cotes, estas utilizan una estrategia en la que se reemplaza una función compleja de una superficie irregular por un polinomio que se aproxime a esta superficie ($P_0, P_1, P_2, \dots, P_{n-1}$) y que sea fácil de integrar [12].

Las fórmulas que se basan en Newton Cotes pueden ser de dos tipos: el primero, en el que se usan ambas fronteras del conjunto de puntos discretos denominadas cerradas y, el segundo, en el que solo se usan puntos intermedios para determinar la superficie, que se denominan abiertas. Las dos variantes más comunes de fórmulas cerradas son la regla trapezoidal y la regla de Simpson que serán objeto de posterior explicación [12].

2.2.3 Integración por trapezios

Si consideramos una curva que se encuentra descrita por un conjunto discreto de puntos equiespaciados una distancia h , se podrá aproxima la curva trazando líneas rectas entre puntos contiguos como muestra la Figura 2-6. La región delimitada bajo cada una de las rectas entre dos puntos cualesquiera y delimitada por el eje x tendrá forma de trapecio. El área del trapecio se podrá obtener mediante geometría que será igual a la media de los lados paralelos por la distancia entre ellos [8].

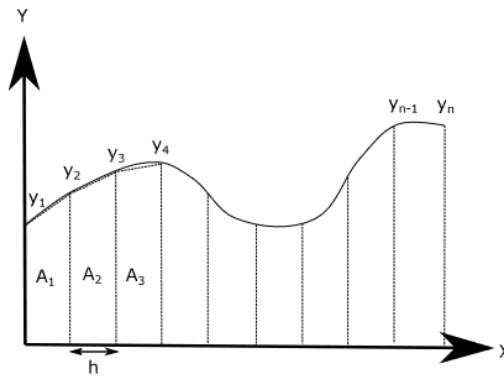


Figura 2-6: Regla de los trapezios [8]

Tenemos entonces que el área de cada sección será:

$$A_{n-1} = \frac{1}{2}h(y_{n-1} + y_n) \quad (2-2)$$

A partir de la expresión (2-2) obtendremos el área total bajo la curva que será:

$$A_{trap} = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n = \frac{1}{2}h(y_1 + 2y_2 + 2y_3 + 2y_4 + \dots + 2y_{n-1} + y_n) \quad (2-3)$$

Se puede observar que, cuanto menor sea el intervalo h y más plana la curva, mejor será la aproximación del área. Si se requiere mayor exactitud en cada intervalo es posible dividir cada uno de ellos en dos partes obteniendo la regla trapezoidal compuesta [12].

2.2.4 Integración y reglas de Simpson

A pesar de que es posible conseguir mayor exactitud mediante la regla trapezoidal compuesta, la regla de los trapezios ofrece una estimación muy aproximada de la integración numérica. Si hiciera falta más precisión haría falta utilizar una integración numérica de orden superior [8].

La primera regla de Simpson proporciona una mejor aproximación del área bajo una curva mediante el uso de curvas de forma cuadrática, típicamente parábolas, que se hacen pasar por tres puntos consecutivos del conjunto discreto de puntos como muestra la Figura 2-7 [12].

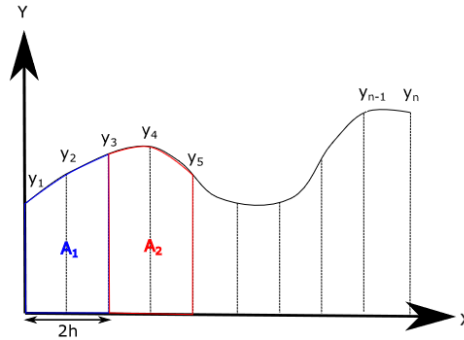


Figura 2-7: Regla de Simpson [8]

De manera análoga a la regla de los trapecios, el proceso de cálculo de las áreas de cada sección bajo la curva generará coeficientes multiplicadores que se operan por las ordenadas para calcular el área total. La derivación que da lugar a la solución del área bajo la curva no es objeto de este TFG. Para la primera regla de Simpson nos regimos mediante la expresión (2-4)

$$A_{simp,1^a} = \frac{1}{3} h(y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + \dots + 2y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n) \quad (2-4)$$

Esta primera regla de Simpson permite el cálculo de áreas únicamente en los casos en que n sea impar y haya un espacio par para h entre las ordenadas definidas. Para otros casos en los que esto no es posible, por ejemplo, puntos donde hay una gran curvatura, es necesario utilizar las reglas segunda y tercera de Simpson. Estas reglas ya no son objeto de este trabajo, al utilizar curvas cúbicas en lugar de cuadráticas, sin embargo, para conocimiento general se muestran a continuación:

$$A_{simp,2^a} = \frac{3}{8} h(y_1 + 3y_2 + 3y_3 + 2y_4 + \dots + 3y_{n-2} + 3y_{n-1} + y_n) \quad (2-5)$$

Esta segunda regla de Simpson es utilizada para los casos en los que tenemos un número par de coordenadas.

$$A_{simp,3^a} = \frac{1}{3} h(5y_1 + 8y_2 + y_3) \quad (2-6)$$

La tercera regla de Simpson, que se muestra en la expresión (2-6), es utilizada para casos específicos en los que únicamente se disponga de tres coordenadas.

2.2.5 La matemática en la computación en ingeniería: Matlab y AutoCAD

La evolución de las tecnologías ha cambiado la manera en la que se entiende el diseño naval y, a pesar de que es de importante conocimiento el uso de los métodos de integración aproximados tradicionales, en los proyectos actuales de construcción de buques se utilizan programas específicos, tanto de cálculo con métodos de integración más precisos, como programas de CAD que permiten generar las formas del casco de manera mucho más precisa y rápida [8].

La combinación de Matlab y AutoCAD ofrece una herramienta muy potente para el análisis y diseño en ingeniería, en concreto en el diseño naval. Ambas plataformas permiten la ejecución de cálculos avanzados, modelado matemático y análisis de datos, así como poder realizar representaciones gráficas y precisas de los distintos diseños

Por una parte, el programa Matlab, se trata de un entorno específico que permite realizar cálculos de todo tipo y que está orientado para el análisis iterativo y los procesos de diseño [14]. Tiene un lenguaje de programación que sirve para la automatización de tareas y la creación de algoritmos y, dispone de múltiples herramientas y funciones que simplifican el cálculo. Es ampliamente utilizado en ingeniería naval debido a su naturaleza y, entre sus principales usos, se encuentran el análisis de datos

hidrodinámicos, la simulación de sistemas complejos marinos o la optimización de formas del casco utilizando reglas de integración aproximada, entre otras.

Por otra parte, es de uso mucho más extendido la aplicación de programas de CAD, en concreto este trabajo se vale del *software* AutoCAD, para la ejecución de dibujos técnicos y planos e incluso modelos tridimensionales de buques en algunos casos. Los usos más comunes son el diseño de cascos y estructuras y la generación de planos de construcción.

Esta generación de formas de los programas CAD se vale de las denominadas *splines* o trazadores cúbicos. Se tratan de curvas generadas a partir de conjuntos discretos de puntos mediante interpolación de polinomios de grado tres que son definidos para cada uno de los subintervalos del conjunto total de puntos como muestra la [12].

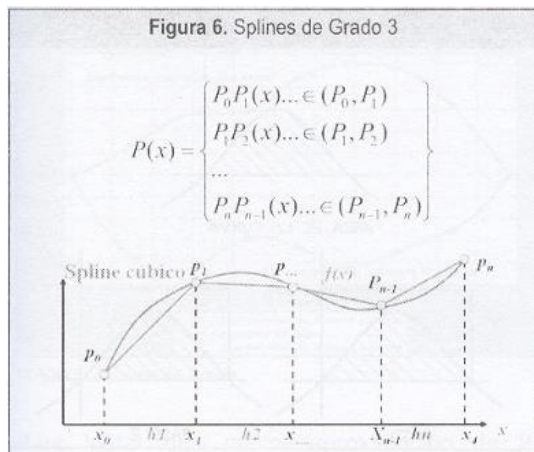


Figura 2-8: Interpolación mediante splines [12]

La idea central es que, en lugar de utilizar un único polinomio que modele la superficie irregular, se utilizan segmentos de polinomios unidos de manera adecuada para formar dicha superficie [15]. Además, el propio software permite el cálculo de áreas y volúmenes de las formas geométricas complejas que generan las *splines*, permitiendo al usuario determinar con precisión volúmenes de desplazamiento, áreas de superficie mojada y otros parámetros útiles en diseño naval.

2.2.6 Maxsurf y superficies NURB

De manera análoga a la evolución del *software* de cálculo, la evolución en matemática computacional permite, también, el desarrollo de aplicaciones para su uso específico en arquitectura naval, como es el caso de este programa. *Maxsurf* se trata de una aplicación de ingeniería naval válido para todo tipo de embarcaciones que tiene la capacidad de realizar el diseño completo de un buque. Dispone de herramientas que van desde el propio modelado, a análisis de comportamiento en la mar o *seakeeping* e incluso capacidad de exportar datos para la generación de planos de detalle [16].

Una de las características clave de *Maxsurf* es el modelado basado en el uso de superficies NURB, por sus siglas *Non-Uniform Rational B-spline*. Se trata de un método matemático muy utilizado para definir superficies y sólidos que nació como respuesta a la necesidad de precisión en el diseño [15]. Son superficies ampliamente utilizadas en aplicaciones CAD y animación digital debido a su capacidad para representar formas complejas de manera eficiente y precisa. Además, se consideran muy adecuadas para su uso en diseño naval debido a la capacidad de representación de formas complejas y de modelado de curvas suaves y precisas.

Las superficies NURB se forman median una red de puntos de control que definen la forma de la superficie. Estos puntos de control se unen mediante *splines* que dan lugar a la curvatura y forma de la superficie entre los puntos. Este tipo de superficies son no uniformes o irregulares lo que significa que los puntos de control pueden estar distribuidos heterogéneamente a lo largo de las curvas, proporcionando mayor flexibilidad para ajustar las formas en diferentes zonas [15].

A partir de estas superficies, Maxsurf proporciona herramientas avanzadas de análisis que permiten obtener el rendimiento de los cascos en una amplia gama de condiciones, incluyendo análisis de estabilidad, resistencia a viento y olas y realización de distribución de pesos del buque, así como el cálculo de volúmenes, áreas y los distintos coeficientes de máxima importancia en el diseño naval [16].

2.3 El proyecto de buque

La concepción de un buque se aborda a partir de las misiones que llevará a cabo, es, por tanto, que es esencial contar con una especificación lo más detallada posible de las mismas [10]. En concreto, el objetivo principal en un buque de guerra será crear un buque modelo para una serie, que este configurado para satisfacer las necesidades objetivo [17].

Típicamente los proyectos de diseño y construcción siguen un proceso iterativo que se divide en varias fases y que se representa mediante la *espiral de Evans*.

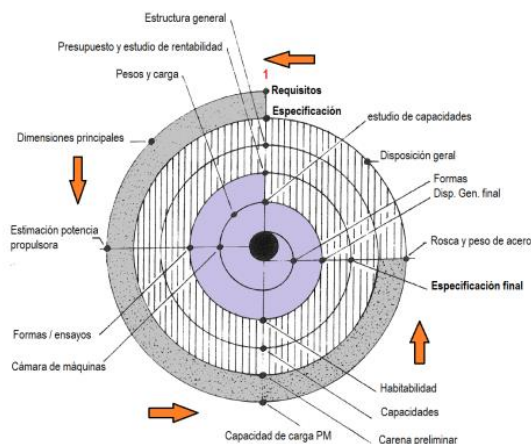


Figura 2-9: Espiral de Evans [17]

En la Figura 2-9 se puede observar dicha espiral para un buque en general, en nuestro caso se seguirá la misma metodología con algunas particularidades al tratarse de un buque militar y de rescate.

2.3.1 Estudio de pre-viabilidad y diseño conceptual

Se trata de una fase de estudio, donde se analiza la situación actual de los buques que cumplen con las características necesarias para el presente proyecto donde se busca obtener una primera visión de la embarcación, así como una estimación de costos del proyecto y la construcción [18].

Esta fase de un proyecto de ingeniería naval coincide con el objetivo del presente trabajo, es por tanto que su proceso y objetivos ya han sido descritos previamente en Metodología.

2.3.2 Estudio de viabilidad y diseño preliminar

El trabajo de diseño para el buque en específico comienza en esta fase en la que el equipo de diseño y el esfuerzo aplicado da un gran paso adelante [19]. Los objetivos de esta fase son los siguientes:

- Validar los principales requisitos de funcionamiento del buque y desarrollar los requisitos de segundo nivel
- Establecer el tamaño del buque y la disposición general
- Seleccionar los equipos del buque
- Cuantificar el desempeño del buque
- Reducir o eliminar los principales riesgos técnicos, económicos y de planificación
- Refinar las estimaciones de coste de construcción y operación
- Desarrollar el borrador de la estrategia de construcción

Al final de esta fase deberá quedar establecido el coste del buque y su desempeño, es por ello que el trabajo realizado durante la misma es muy importante. Los estudios formales sobre el diseño, la disposición general, el rendimiento, los costes y el riesgo son el objeto principal de esta etapa, es por ello por lo que cualquier otro tipo de informe que no suponga un impacto principal en estas áreas deberá ser derivado a la fase siguiente del proceso [20].

La base sobre la que comienza el diseño en esta etapa se define, comúnmente hacia el final de la etapa anterior. Este diseño conceptual variará en múltiples ocasiones durante el diseño preliminar hasta obtener el diseño general en el que solo haya que realizar cambios sobre detalles menores [20].

La producción se trata de un punto importante a tener en cuenta durante esta fase, el espacio del que dispone el astillero, el uso de chapas preformadas y la disposición de cubiertas son características a tener en cuenta que determinarán el proceso de construcción del buque y la estrategia empleada para el mismo [20].

Por otra parte, si se cuenta con formas novedosas o distintos tipos de cascos de los que se acostumbran a fabricar en el área específica para la que se diseña este buque, se podrían realizar las pruebas de prototipo de estas piezas para obtener un estudio hidrodinámico y de viabilidad de las mismas durante esta fase, aunque normalmente se deriva a la siguiente [20].

Por último, la identificación y reducción de riesgos es otra área de énfasis del estudio de viabilidad. Los principales riesgos deben ser identificados y se debe realizar una exploración de alternativas. Normalmente, se incluyen cambios al diseño que reducirían estos riesgos suponiendo una reducción de rendimiento. El objetivo es reducir todos los riesgos posibles durante la etapa de diseño preliminar a bajo o, en los casos en los que no sea posible, elaborar un plan detallado para conseguirlo durante la fase de diseño posterior [20].

2.3.3 Definición del proyecto y contrato

Los principales objetivos de esta fase son:

- Confirmar las capacidades del buque y el coste total para el dueño de este
- Proporcionar unos pliegos de prescripciones útiles y precisas al astillero
- Proporcionar los criterios de entrega al comprador

El esfuerzo principal se centra en el desarrollo y refinamiento de los sistemas del buque. Los estudios que se derivaron a esta fase debido a su menor impacto en el diseño final son ejecutados ahora. Se desarrollan las especificaciones técnicas del pliego en este punto incluyendo los diseños y los documentos descriptivos del buque [20].

Por otra parte, se refinan las formas del casco, apéndices y la disposición general, de manera que los planos técnicos para la instalación de distintos sistemas como las anclas o las amarras queden dispuestos al final de esta fase [20].

A medida que los sistemas del buque son incluidos se debe prestar especial atención a la integración de sistemas y la capacitación de sus operadores y mantenedores. Para cada sistema que se incluye mediante compra, se debe generar un pliego de prescripciones técnicas que incluya la calidad mínima y requisitos necesarios para su instalación [20].

Es en esta fase donde se aprueba la estrategia de construcción, previamente diseñada. Deberá incluir el plan de ingeniería, así como las zonas de bloques y etapas del astillero definidos para la construcción del buque. El plan de producción del buque se desarrolla conjuntamente, estableciendo los hitos y las fechas límite para cada uno de ellos [20].

Todo este apartado se puede resumir en la consecución del pliego de prescripciones técnicas generales y específicas. Será el producto final de esta fase que junto con el presupuesto forma parte del mínimo legal requerido para generar un contrato. Incluirá, además de todas las necesidades que debe satisfacer el buque, los tests y pruebas a los que será sometido el producto final, así como los criterios

de validación de dichas pruebas. El pliego incluye también la documentación con la que se deberá entregar el buque que permita su operatividad y apoye todo su ciclo de vida [20].

La importancia del pliego de prescripciones es tal que es cuidadosamente revisado para completar esta etapa del diseño asegurando que se mencionan todos los requisitos y que el lenguaje utilizado no es ambiguo [20].

2.3.4 Ingeniería de detalle y prototipo

Durante esta fase se finalizan todos los cálculos detallados de arquitectura naval, incluyendo análisis estructurales y de vibraciones. El dimensionamiento de escantillones estructurales se completa en esta fase junto con el diseño detallado del casco y su material de construcción además de todos los cálculos relativos a equipos eléctricos y marítimos [20].

Se efectúa la primera revisión de la lista de control de presupuesto, la cual informa de todo lo relativo a las cantidades actualizadas de material y de los pesos. Así mismo se completan todas las prescripciones técnicas de compra de equipos que no hayan sido finalizadas en la etapa anterior [20].

Durante esta fase se pueden llevar a cabo la construcción de modelos a escala real mediante software informático. El prototipo se inicia con el corte de chapa para la fabricación del primer bloque se será puesto en grada, sin embargo, no se puede iniciar hasta que se haya finalizado toda la documentación necesaria [17].

2.4 Salvamento y rescate

El salvamento y rescate engloba muchos tipos de operaciones, tanto en tierra como en la mar o en condiciones extremas. Para contextualizar el ambiente en el que desarrollará sus operaciones la embarcación objeto de diseño, nos centraremos en los convenios que afectan al medio marítimo y cómo funcionan las actividades SAR en este ambiente.

2.4.1 Convenio SOLAS y SAR

El convenio SOLAS surge en su primera versión como respuesta a la catástrofe del *Titanic* en el año 1914, su objetivo consiste en establecer un marco normativo en el que se estableciesen las características y requisitos mínimos que deberían cumplir los buques en relación con la seguridad. A lo largo de los años se han ido implementando distintas versiones de este convenio hasta alcanzar la actual que se trata de la denominada '*Convenio SOLAS 1974, enmendado*'. En este convenio, uno de los puntos más importantes es la obligatoriedad de auxilio en caso de emergencia a todos los buques, en concreto en su capítulo V obliga a los estados firmantes a prestar servicios de búsqueda y salvamento [21].

Sin embargo, no fue hasta 1985, con la entrada en vigor del convenio SAR que se estableció un sistema internacional que cubre las operaciones de salvamento y rescate, ya que, en algunas zonas había un sistema bien establecido y, en otras, ni si quiera había un sistema. Este convenio asegura que los países ribereños provean un servicio SAR en sus costas y que lleguen a acuerdos con países vecinos para establecer las medidas a adoptar en las zonas de litigio. Al igual que el convenio SOLAS el convenio SAR se revisa periódicamente para su modificación [22].

Tras la entrada en vigor del convenio SAR la *IMO* decidió dividir el mundo en 13 zonas SAR. En cada una de ellas, los países involucrados han delimitado regiones SAR de las cuales son responsables y en las que se aplican distintas medidas de colaboración y coordinación.

2.4.2 Operaciones SAR

Este tipo de operaciones nacen como necesidad de respuesta ante accidentes o catástrofes y, se puede denominar así a todo tipo de misión que trate de rescatar o auxiliar un accidentado independientemente de en qué medio nos encontremos, una operación SAR puede tener lugar en una montaña o en la costa [23].

Además, España es el país coordinador de la NAVAREA III que abarca todo el mar Mediterráneo, esto quiere decir que es el encargado de la radiotransmisión de todo tipo de avisos a los navegantes relativos a la seguridad en la navegación u otros avisos y realiza esta función a través del Instituto Hidrográfico de la Marina [25].



El SC es el responsable de más alto nivel, sus funciones son previas a que ocurra la emergencia o incidencia, y sus funciones son lograr los medios y financiación necesarios para lograr establecer los centros y subcentros, así como dotarlos del material necesario para la consecución de sus misiones. Esta figura normalmente se trata de un gobierno o un organismo dependiente directamente del gobierno [23].

El OSC se trata de una figura que se encuentra en el lugar de la incidencia o zona de búsqueda y que se encuentra en contacto permanente con el coordinador de misión (SMC), normalmente se trata de la primera unidad que llega a la zona hasta que el coordinador ceda esa responsabilidad a otra. Los criterios para la selección de una unidad como OSC se basan principalmente en la experiencia y formación SAR, así como la capacidad de la unidad en comunicaciones y medios de rescate, un buque de la Armada es un buen ejemplo de una unidad que puede ser designada como OSC [23].

En el contexto de las operaciones SAR, este tipo de embarcaciones juegan un papel fundamental. Tienen un rol protagonistas a la hora de actuar y los países ribereños cuentan con unidades de este tipo repartidos a lo largo de sus costas para la protección de la vida en la mar.

2.5.1 Funciones

Un buque de salvamento y rescate es una embarcación de medianas a grandes proporciones cuyos cometidos principales son las misiones de salvamento y rescate de personas, equipos y embarcaciones en el medio marítimo. Este tipo de embarcaciones pueden ser civiles o militares y formar parte de un servicio público o privado [23].

Existen multitud de funciones que pueden desempeñar este tipo de embarcaciones desde rescate en alta mar hasta un simple rescate en costa, así como asistencia a incendios o protección del medio marino y medio ambiente. La sociedad de salvamento marítimo de España define las siguientes funciones asignadas:

- Salvamento de la vida humana en la mar
- Prevención y lucha contra la contaminación del medio marino
- Prestación de servicios de seguimiento y ayuda al tráfico marítimo
- Seguridad marítima y de la navegación
- Remolque y asistencia a buques
- Aquellos complementarios de los anteriores

Al final, resume todas estas funciones en una: proteger la vida en la mar [27].

2.5.2 Tipos

Resulta muy complicado ante la variedad de embarcaciones y adaptaciones que se realizan para abordar estos cometidos realizar una clasificación fiable de los tipos de embarcaciones de rescate. Bien se podrían clasificar según su función principal, aunque la mayoría se dedican a actividades multipropósito, o según la zona en la que operen dependiendo de su tamaño y alcance.

Para la clasificación según la zona en la que operan se podrían determinar tres zonas principales: oceánica, alta mar y costera. Para cada una de ellas operan buques de distinto tamaño de mayor a menor, respectivamente, y con distintas capacidades. Las embarcaciones oceánicas suelen tratarse de buques remolcadores o multipropósito que pueden realizar distintas actividades, los que operan en alta mar suelen ser más del tipo patrullero o multipropósito y las más costeras suelen ser pequeñas embarcaciones dedicadas exclusivamente al rescate de personas.

Salvamento marítimo en España divide sus embarcaciones según la clase de buque contando con 4 buques polivalentes de entre 56 y 80 metros de eslora, 10 remolcadores de entre 40 y 63 metros de eslora, 4 embarcaciones Guardamar de entre 32 y 40 metros de eslora, 55 embarcaciones Salvamar en versiones de 15 o 21 metros de eslora y 42 embarcaciones neumáticas operadas por la Cruz Roja que se distribuyen en el territorio nacional como muestra la Figura 2-11 [28].



Figura 2-11: Mapa de unidades de Salvamento Marítimo [28]

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Juego de dimensiones y coeficientes

Para la obtención de las dimensiones básicas de la embarcación a diseñar se ha realizado un estudio de las unidades en servicio de salvamento y rescate en los distintos servicios de salvamento y guardacostas del mundo, así como de algunos modelos comerciales como se puede observar en el Anexo III: Base de datos.

Se ha elaborado una base de datos mediante el programa Excel reuniendo las principales dimensiones de una muestra de embarcaciones de rescate, de diferentes características y tamaños, que será utilizada para emplear técnicas que nos permita obtener las dimensiones principales de nuestro diseño.

El proceso de dimensionamiento es una tarea primordial en el diseño conceptual de un buque para ir dando forma a la nave que se encuentra en proceso de diseño, además de las dimensiones es necesario tener en cuenta las características principales y distintos coeficientes que definen un barco.

En el proceso de recopilación de unidades, la información obtenida procede de órganos oficiales de los distintos estados, así como de las páginas web de los astilleros que se encargan de la fabricación de este tipo de unidades.

Se ha obtenido una muestra lo suficientemente amplia que permita utilizar regresión estadística y, de esta manera, obtener el punto de partida de las dimensiones básicas para nuestro buque de rescate, los intervalos de los principales coeficientes adimensionales básicos de los buques de la base de datos se muestran en la Tabla 3-1.

	L/B	L/D	B/D	L/T	B/T
Máx.	5,13	10,81	2,59	20,87	6,67
Mín.	2,03	2,7	0,93	8,75	2,65

Tabla 3-1: Intervalo de relaciones dimensionales (fuente propia)

Estos intervalos servirán como punto de partida del dimensionamiento requerido, así como base de futuros cálculos que nos permitirán ajustar la geometría del modelo mediante métodos usados tradicionalmente en la construcción naval.

3.1.1 Juego de dimensiones

Para comenzar el dimensionamiento de la embarcación, debemos elegir una de las dimensiones principales y, a partir de la misma, comenzar a construir las regresiones con respecto al resto que nos

permitirán obtener las características básicas sobre las que trabajar en el diseño conceptual. Típicamente el criterio desde el que se parte suele ser el desplazamiento, ya que, suele ser el factor más importante o limitante dado el caso. En nuestra situación, se ha decidido utilizar un desplazamiento (Δ) de 7 toneladas, el motivo de dicho valor viene dado por la carga máxima soportada por el sistema de arriado presente en el buque multipropósito Carnota, que se trata de un pescante hidráulico (*Hydramarine G80*) capaz de soportar hasta 8 toneladas [29].

Para el cálculo de la regresión estadística se ha elaborado un código de Matlab [30] disponible en el Anexo IV: Código Matlab que, junto con el *add-on* disponible para Matlab educativo “*Statistics and Machine learning toolbox*”, nos permite volcar la base de datos en formato Excel sobre el software y obtener los coeficientes de la recta de mínimos cuadrados, así como el coeficiente R^2 de ajuste.

Partiendo de las gráficas mostradas en la Figura 3-1, se puede observar que se forma un *cluster* muy marcado que se ajusta de mejor manera a la zona en la que se dan características similares a las que queremos para nuestra embarcación de rescate y, que nos permitirán un ajuste más fiable de las rectas de regresión.

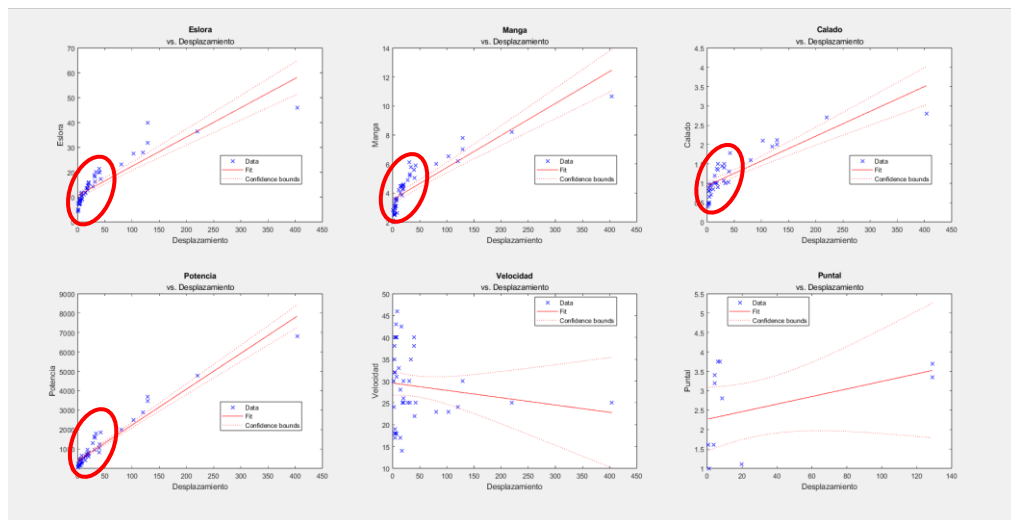


Figura 3-1: Gráficas principales dimensiones (fuente propia)

Partimos entonces, una vez ajustados los datos al *cluster* mencionado, de la primera relación que tomaremos que será la eslora frente a desplazamiento como podemos observar en el gráfico de la Figura 3-2 cuya recta sigue la expresión (3-1):

$$L = 0,3427 \cdot \Delta + 6,9682 \quad (3-1)$$

Δ : desplazamiento del buque en toneladas.

L: eslora del buque en metros.

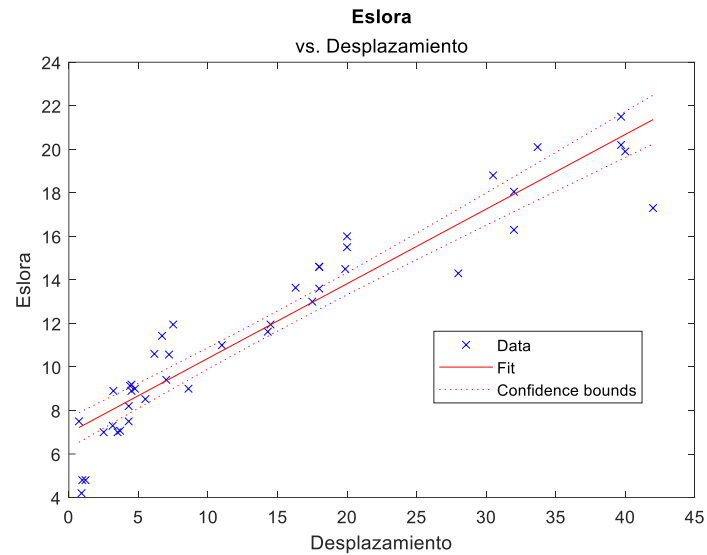


Figura 3-2: Eslora frente a desplazamiento (fuente propia)

Siguiendo el mismo método obtenemos la relación entre la manga y el desplazamiento a partir del gráfico de la Figura 3-3:

$$B = 0,0837 \cdot \Delta + 2,6325 \quad (3-2)$$

B: manga del buque en metros.

Δ : desplazamiento del buque en toneladas.

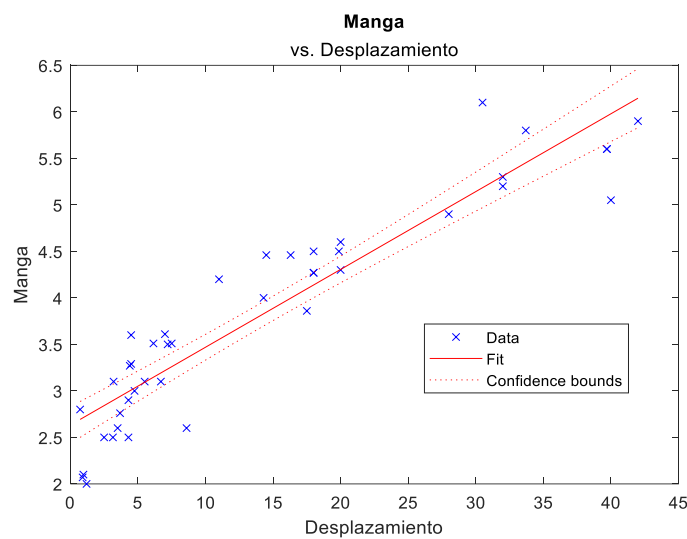


Figura 3-3: Manga frente a desplazamiento (fuente propia)

Utilizando el gráfico de la Figura 3-4, obtenemos el valor del calado:

$$T = 0,0184 \cdot \Delta + 0,7009 \quad (3-3)$$

T: calado del buque en metros.

Δ : desplazamiento del buque en toneladas.

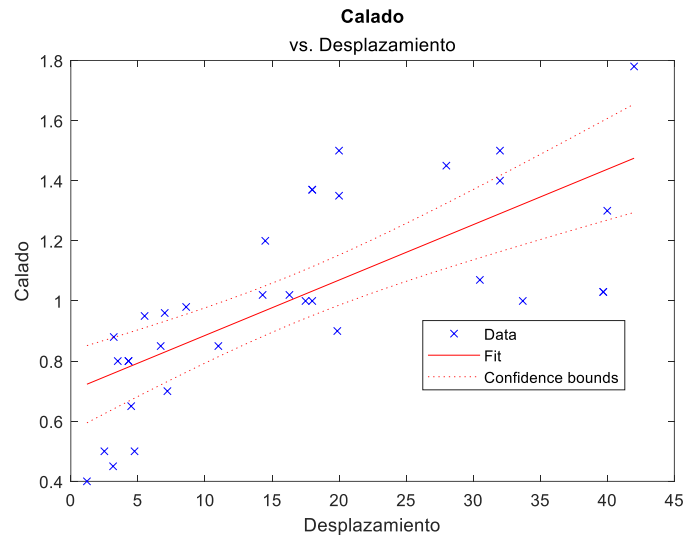


Figura 3-4: Calado frente a desplazamiento (fuente propia)

Mediante la gráfica de la Figura 3-5, obtenemos la recta de regresión del puntal de nuestra embarcación, cabe destacar que en este caso el dato dispone de una muestra inferior por lo que la regresión presentará mayor error que los anteriores:

$$D = 0,0086 \cdot \Delta + 2,2708 \quad (3-4)$$

D: puntal del buque en metros.

Δ : desplazamiento del buque en toneladas.

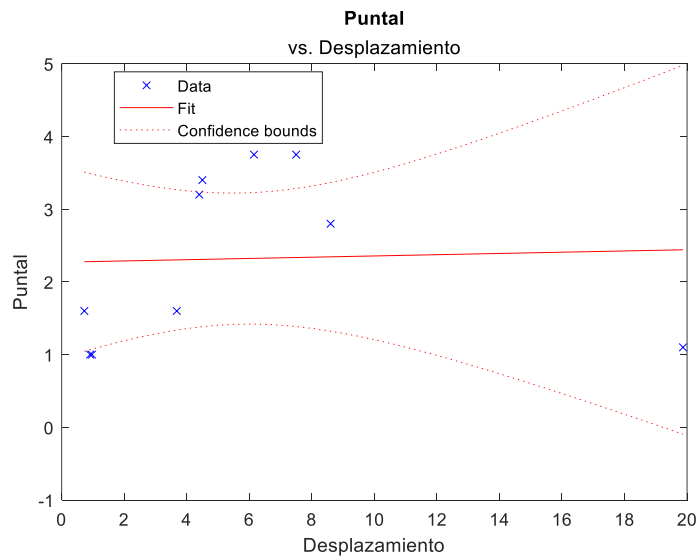


Figura 3-5: Puntal frente a desplazamiento (Fuente propia)

A partir de la Figura 3-6 obtenemos la recta de regresión de velocidad frente a desplazamiento, en este caso, a pesar de contar con una muestra amplia, no se puede apreciar mucha correlación entre ambas, por tanto, la recta obtenida presentará más incertidumbre:

$$V = -0,0449 \cdot \Delta + 30,1360 \quad (3-5)$$

V: velocidad del buque en nudos

Δ : desplazamiento del buque en toneladas

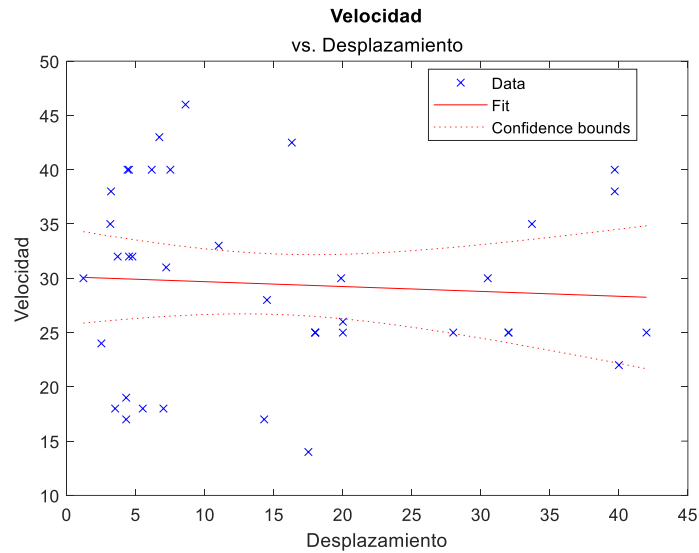


Figura 3-6: Velocidad frente a desplazamiento (fuente propia)

Finalmente, y tras realizar los cálculos de cada una de las dimensiones de las que se compone nuestro buque se muestran a modo de resumen en la Tabla 3-2, con redondeo a la décima.

L (m)	9,40
B (m)	3,20
T (m)	0,80
D (m)	2,30
V (kts)	29,80

Tabla 3-2: Dimensiones principales embarcación (fuente propia)

3.1.2 Juego de coeficientes

Una vez determinadas las dimensiones principales, obtenemos los coeficientes elementales que definen una embarcación y sus formas. Estos coeficientes tendrán influencia sobre partes esenciales del diseño del buque como son la resistencia al avance, la capacidad de planeo o el consumo.

El coeficiente de bloque se define según la expresión (3-7) :

$$\Delta = \nabla \cdot \rho_{sw} \quad (3-6)$$

$$C_B = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot T} = \frac{\Delta}{L \cdot B \cdot T \cdot 1,025} = \frac{7}{9,40 \cdot 3,20 \cdot 0,80 \cdot 1,025} = 0,2838 \quad (3-7)$$

C_B : coeficiente de bloque.

El coeficiente prismático es de vital importancia para la distribución longitudinal del desplazamiento de la embarcación. Los valores típicos para embarcaciones rápidas, como es nuestro caso, suelen oscilar entre 0,58 para las embarcaciones rápidas de velocidades más bajas, hasta valores que se aproximan a 0,70 para las de mayor velocidad [31]. Para obtener su valor utilizaremos la fórmula propuesta por Fung que relaciona el coeficiente prismático con el valor del número de Froude para aguas tranquilas [32]:

$$FNL = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}} = \frac{15,33}{\sqrt{9,81 \cdot 9,4}} = 1,5964 \quad (3-8)$$

FNL: número de Froude

v: velocidad en m/s

g: gravedad en m/s²

L: eslora en m

$$C_p = 0,5687 + 0,1538 \cdot FNL - 0,0701 \cdot FNL^2 \quad (3-9)$$

$$C_p = 0,5687 + 0,1538 \cdot 1,5964 - 0,0701 \cdot 1,5964^2 = 0,6356 \quad (3-10)$$

El coeficiente de la maestra se obtiene como producto del coeficiente de bloque y el coeficiente prismático como resultado de la relación entre ellos:

$$C_m = \frac{C_b}{C_p} = \frac{0,2838}{0,6356} = 0,4465 \quad (3-11)$$

3.1.3 Pesos y centros de gravedad

El siguiente paso en el diseño conceptual del buque sería la determinación de pesos, para ello se relaciona el desplazamiento mediante la fórmula (3-12) [33]:

$$\Delta = W_{LS} + DWT_T \quad (3-12)$$

Δ : desplazamiento del buque en toneladas

W_{LS} : peso en rosca en toneladas

DWT_T : peso muerto en toneladas

Para el cálculo de DWT_T utilizaremos la relación entre el peso muerto y el desplazamiento (3-13), su valor para embarcaciones rápidas suelen encontrarse en el intervalo 0,2-0,3 [34], en este caso se ha seleccionado el valor intermedio del mismo 0,25.

$$C_d = \frac{DWT_T}{\Delta} \quad (3-13)$$

Se obtiene, por tanto, $DWT_T = 1,75$ t, con este resultado podemos obtener, haciendo uso de la relación (3-12), el valor de $W_{LS} = 5,25$ t.

El siguiente paso es el cálculo de la situación longitudinal del centro de carena de la embarcación mediante la relación (3-14) [17]:

$$\frac{X_{cc}}{L} \cdot 100 = 17,5 \cdot C_p - 12,5 \quad (3-14)$$

$$X_{cc} = \frac{(17,5 \cdot 0,3720 - 12,5) \cdot 9,4}{100} = -0,563 \text{ m} \quad (3-15)$$

X_{cc} : ubicación del centro de carena referido a la semieslora.

Una vez obtenido el centro de carena podemos obtener el centro de gravedad longitudinal mediante la relación [17]:

$$LCG = \frac{L}{2} + X_{cc} = \frac{9,40}{2} - 0,563 = 4,137 \text{ m} \quad (3-16)$$

LCG: posición del centro longitudinal

La estimación del centro de gravedad transversal o KG se realiza utilizando una aproximación tomada del cálculo real en un buque de características similares al nuestro [35]:

$$KG = 1,294 \text{ m} \quad (3-17)$$

La determinación de la autonomía necesaria se basará en otras unidades similares, en concreto en la clase Salvamar de Salvamento Marítimo que tienen una autonomía aproximada de 300 NM, dado que estas embarcaciones operan directamente desde puerto y, para nuestro caso, principalmente se operará como embarcación auxiliar, se ha decidido establecer una autonomía de 150 NM.

A modo de resumen se pueden consultar las principales características, calculadas en este apartado, de la embarcación de rescate en la Tabla 3-3:

Desplazamiento (t)	7
Peso en rosca (t)	5,25
Peso muerto (t)	1,75
C_B	0,2838
C_P	0,6356
C_M	0,4465
Autonomía (NM)	150

Tabla 3-3: Dimensiones y coeficientes principales (fuente propia)

3.2 Generación de formas

El diseño de las formas de una embarcación se realiza conforme a la finalidad que se le pretende dar a la misma. En nuestro caso, el uso final son las operaciones SAR, por tanto, se busca un diseño versátil, que permita acudir con velocidad al rescate; pero, que proporcione cierta estabilidad por si hubiera que realizar primeros auxilios durante la evacuación.

Es por ello, que se busca que las formas de nuestro casco permitan el planeo de la embarcación y, así, dar lugar a altas velocidades y maniobrabilidad que permitan el empleo de esta unidad con eficiencia. Para conseguirlo, se deben tener en cuenta distintos factores, siendo uno de los determinantes el número de Froude.

El número de Froude se trata de un valor adimensional que relaciona las fuerzas de inercia y las de gravedad que actúan sobre un fluido y nos permite delimitar los intervalos que definen el tipo de embarcación con la que trabajamos. Se considera que una embarcación será de régimen de planeo cuando el número de Froude sea superior a 1,0 [31], despejando de la relación (3-8), observamos que nuestra embarcación se encontrará en planeo a partir de una velocidad de 9,6 nudos, por tanto, obtendremos una sustentación en prácticamente todo el rango de velocidades de la embarcación, siendo el tipo de buque de semidesplazamiento.

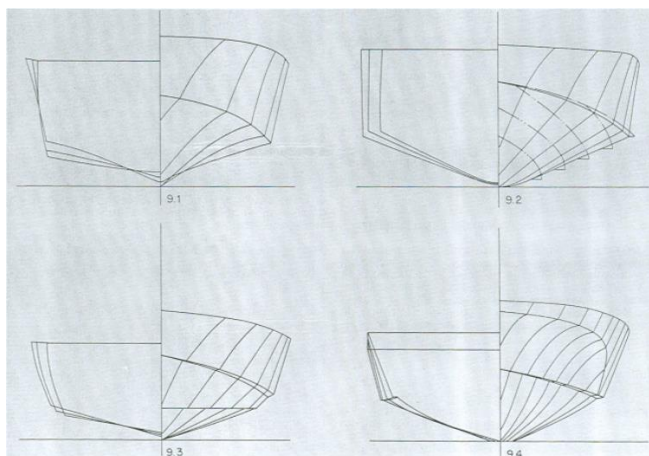


Figura 3-7: Formas de cascos con codillos pronunciados [31]

Según [31], para poder alcanzar las altas velocidades que permitan el régimen de planeo se prefieren embarcaciones con espejos rectos y anchos, así como codillos pronunciados frente a las formas suaves como se puede ver en la Figura 3-7. El modelo ideal de embarcación de planeo tendría una base plana desde la sección media del barco hacia la popa; pero, esto provocaría una gran pérdida de maniobrabilidad en la embarcación. Es, por tanto, que se debe llegar a unas formas que presenten un equilibrio entre la forma lo más plana posible de la mitad posterior de la sección, sin descuidar la maniobrabilidad.

Estas formas mencionadas, consisten en cascos en V, presentes en la mayor parte de embarcaciones rápidas, que son medidos normalmente por su ángulo de astilla muerta y, comúnmente son diseñados con un ángulo de astilla muerta variable y creciente a lo largo de la eslora de popa a proa [36].

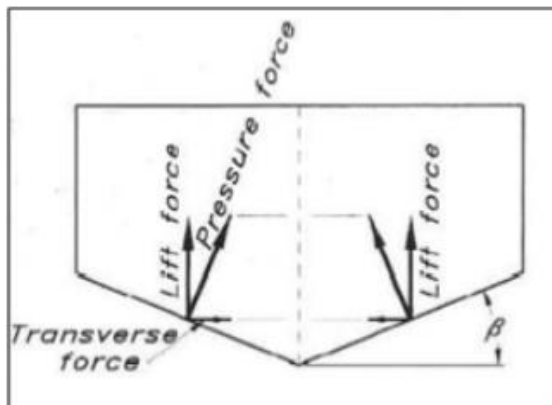


Figura 3-8: Fuerzas ejercidas sobre un casco en V [37]

Se procede, entonces, al diseño de las formas de nuestra embarcación, partiendo de un casco en forma de V, similar al de la Figura 3-8 y, sirviéndonos del software AutoCAD, se modelan los planos de formas buscando que el diseño favorezca el planeo tal y como se ha mencionado anteriormente. El casco en V se trata de la forma más idónea para este tipo de embarcaciones ya que favorece el planeo y la estabilidad. Los planos de formas se encuentran disponibles para su consulta en el Anexo V: Plano de formas

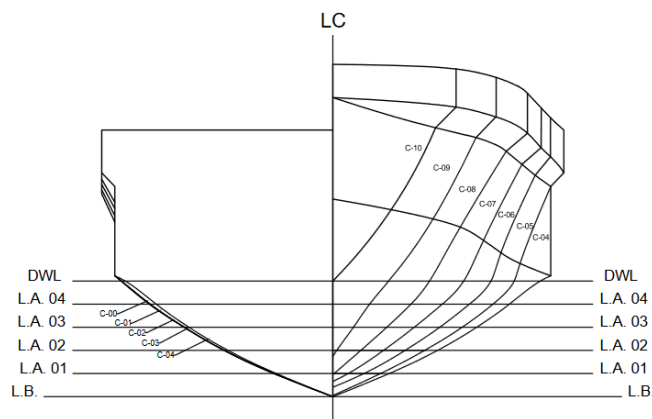


Figura 3-9: Caja de cuadernas de la embarcación de rescate (fuente propia)

En la Figura 3-9, se encuentra representada la vista transversal de las formas de la embarcación, a estribor de la línea de crujía se observan las formas del casco de la zona de popa y a babor las de la zona de proa. Además de la forma en V anteriormente mencionada, se puede apreciar también la existencia de codillos que favorecerán el planeo de nuestra embarcación.

Los piques de proa y popa se pueden observar en el plano de crujía del plano de formas presente en la Figura 3-10 así como la forma del casco desde otra perspectiva, en la que se ve como en la zona de popa existe un fondo prácticamente plano que, de nuevo, nos ayudará a que haya planeo.

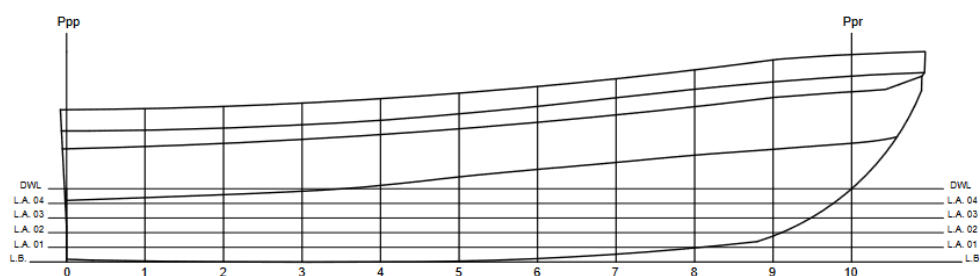


Figura 3-10: Plano de crujía de la embarcación de rescate (fuente propia)

La Figura 3-11, muestra el plano de línea base de la embarcación, en esta se pueden observar las líneas de agua desde otra perspectiva que representa las formas anchas en la zona de popa, con un espejo que ocupa la totalidad de la manga, y como se afilan las formas en la zona de proa, pero permitiendo entradas suaves con líneas de agua con pequeños ángulos de entrada.

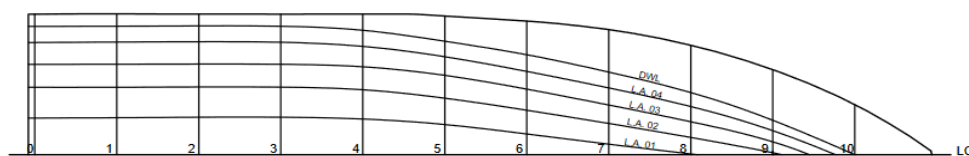


Figura 3-11: Plano de línea base de la embarcación de rescate (fuente propia)

A partir de los planos de formas diseñados y mediante el software específico de diseño naval Maxsurf se realiza el modelado 3D de la embarcación como se puede ver en la Figura 3-12. Este programa permite, además, el cálculo de los coeficientes hidrostáticos y de volúmenes y áreas del buque.

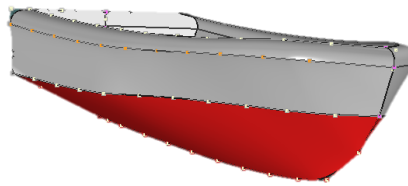


Figura 3-12: Vista 3D en Maxsurf (fuente propia)

En la Tabla 3-4 se muestra a modo de resumen las características y dimensiones más características del buque obtenidas del modelado de *Maxsurf*.

Desplazamiento (t)	7,776
Eslora de flotación (m)	8,614
Manga máxima (m)	3,020
C_B	0,364
C_P	0,652
C_M	0,4465
KB (m)	0,536
LCB (m)	-1,232
GM_L (m)	11,037
GM_T (m)	1,922

Tabla 3-4: Dimensiones y coeficientes obtenidas de Maxsurf (fuente propia)

Además, se ha extraído la cartilla de trazado del casco de la embarcación para cada una de sus cuadernas utilizando el mismo *software*, que se encuentra disponible en el Anexo XI:

3.3 Estudio de potencia

El cálculo de la potencia requerida se realizará mediante dos métodos. En primer lugar, emplearemos el método *Holtrop*, que nos proporcionará una aproximación para la potencia necesaria durante el régimen de desplazamiento. Posteriormente, se aplicará el método *Savitsky*, utilizado específicamente para determinar la potencia necesaria durante el régimen de planeo. A partir de ambas estimaciones, seleccionaremos como potencia mínima la más restrictiva de las dos, lo que nos proporcionará el punto de partida para el dimensionamiento de la propulsión.

3.3.1 Método Holtrop

Comenzando por el método *Holtrop* [38], este método estadístico es ampliamente reconocido y tiene como base una gran cantidad de ensayos de diferentes modelos de embarcaciones. Durante la fase de diseño conceptual, emplearemos este método con ciertas simplificaciones en su aplicación.

Partiendo de la fórmula completa para el cálculo de la resistencia al avance de la embarcación:

$$R_T = R_F \cdot (1 + k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (3-18)$$

R_T : resistencia total

R_F : resistencia friccional de acuerdo a la ITTC-1957

R_{APP} : resistencia de los apéndices

R_W : resistencia de las olas

R_B : resistencia adicional debido a la presión del bulbo

R_{TR} : resistencia adicional debido a la inmersión de la popa

R_A : resistencia de correlación modelo-buque

Las simplificaciones que vamos a realizar se basan, principalmente, en las características que nuestro buque no cumple. Es por tanto que:

- Al no tener ningún apéndice y debido a que se desea utilizar un sistema *waterjet*, la embarcación no cuenta con apéndices, por tanto:

$$R_{APP} = 0 \quad (3-19)$$

- Tampoco contaremos con bulbo de proa como se puede observar en las formas de la embarcación, por lo que se desprecia el valor de la resistencia de bulbo.

$$R_B = 0 \quad (3-20)$$

- Al encontrarnos en una etapa de diseño conceptual, en la que no se ha elaborado un modelo consideraremos la correlación nula.

$$R_A = 0 \quad (3-21)$$

Tras aplicar las simplificaciones obtenemos la relación (3-22) de la que obtendremos la resistencia al avance de la embarcación:

$$R_T = R_F \cdot (1 + k_1) + R_W + R_{TR} \quad (3-22)$$

El cálculo de la resistencia provocada por las olas se realiza mediante la expresión (3-23):

$$R_W = c_{17} c_2 c_5 \nabla \rho g e^{m_3 F_n^d + m_4 \cos(\lambda F_n^{-2})} \quad (3-23)$$

$$c_3 = \frac{0,56 A_{BT}^{1,5}}{BT(0,31\sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B)} \quad (3-24)$$

$$c_{17} = 6919.3 C_M^{-1,3346} (\nabla/L^3)^{2,00977} (L/B - 2)^{1,40692} \quad (3-25)$$

$$m_3 = -7,2035(B/L)^{0,326869} (T/B)^{0,605375} \quad (3-26)$$

$$c_2 = e^{-1,89\sqrt{c_3}} \quad (3-27)$$

$$c_5 = \frac{1 - 0,8 A_T}{BT C_M} \quad (3-28)$$

$$\lambda = 1,466 C_p - 0,03 \frac{L}{B} \quad (3-29)$$

$$d = -0,9 \quad (3-30)$$

$$m_4 = c_{15} 0,4 e^{-0,034 F_n^{-3,29}} \quad (3-31)$$

$$c_{15} = -1,69385 \quad (3-32)$$

Tras realizar las operaciones usando las relaciones de (3-21) a (3-30) obtenemos el valor de la resistencia de las olas:

$$R_W = 5,6 \text{ kN} \quad (3-33)$$

A continuación, se procede al cálculo de la resistencia debido a la inmersión de la popa para ello, se calcula en primer lugar el número de Froude basado en la inmersión del espejo:

$$F_{nT} = V / \sqrt{2gA_T / (B + BC_{WP})} = 15,67 \quad (3-34)$$

Al ser mayor que 5, tenemos que $C_6 = 0$, por tanto, utilizando la relación (3-35) obtenemos el valor final:

$$R_{TR} = 0,5\rho V^2 A_T c_6 = 0 \quad (3-35)$$

El factor de forma de la carena se calculará siguiendo la relación (3-36), que dependerá, principalmente, de las formas de la embarcación:

$$1 + k_1 = \quad (3-36)$$

$$0,93 + 0,487118 c_{14} (B/L)^{1,06806} (T/L)^{0,46106} (L/L_R)^{0,121563} (L^3/\nabla)^{0,36486} (1 - C_p)^{-0,604247}$$

$$L_R = L \left(1 - C_p + \frac{0,06 C_p LCB}{4C_p - 1} \right) = 0,06 \text{ m} \quad (3-37)$$

$$c_{stern} = -10 \quad (3-38)$$

$$c_{14} = 1 + 0,011 c_{stern} = 0,89 \quad (3-39)$$

Tras realizar todos los cálculos el factor de forma para la embarcación de rescate sería:

$$1 + k_1 = 1,7315 \quad (3-40)$$

La resistencia friccional se calculará siguiendo la relación (3-41) propuesta en por el ITTC-1957:

$$R_f = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot WS \cdot V^2 \cdot C_f \quad (3-41)$$

$$Re = \frac{VL}{\nu} = 1,2479 \cdot 10^8 \quad (3-42)$$

$$C_f = \frac{0,075}{(\log(Re) - 2)^2} = 0,002018 \quad (3-43)$$

C_f : coeficiente de resistencia friccional

Re: número de Reynolds

ν : viscosidad cinemática del agua a 20°C

Con los datos anteriores podemos ya obtener el valor de la resistencia friccional:

$$R_f = 5,9114 \text{ kN} \quad (3-44)$$

Con todas las resistencias calculadas, podemos proceder a hacer el cálculo de la resistencia total que ejerce la embarcación, siguiendo la relación (3-45):

$$R_T = (5,9915 \cdot 1,7315) + 5,6 = 15,8358 \text{ kN} \quad (3-45)$$

Una vez determinada la resistencia total al avance que ejerce la embarcación, se realiza el cálculo de la potencia mínima requerida para alcanzar las velocidades necesarias mediante la relación (3-46).

$$P = R_t \cdot V = 242,7628 \text{ kW} \quad (3-46)$$

Se debe tener en cuenta que la potencia obtenida se encuentra sobredimensionada ya que, se ha calculado teniendo en cuenta la velocidad máxima de la embarcación. La embarcación debería pasar de régimen de desplazamiento a planeo al llegar a una velocidad en torno a 10 nudos de velocidad, sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, se intenta crear la situación más restrictiva posible para dimensionar una maquinaria adecuada para el buque.

3.3.2 Método Savitsky

En 1964, *Daniel Savitsky* propuso un método empírico que permitiera calcular el diseño hidrodinámico y la resistencia al avance de cascos de embarcaciones destinadas a planear. Las relaciones que propuso establecen relaciones entre varias variables de planeo, el empuje hidrodinámico, el arrastre, el momento de cabeceo y el área mojada [39].

El estudio de este método se ha realizado empleando las utilidades proporcionadas por módulo *Resistance* del software *Maxsurf*. Para ello se ha importado el modelo 3D anteriormente creado y se han obtenido los resultados disponibles en la Figura 3-13.

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Savitsky Pre-planin g Resist. (kN)	Savitsky Pre-planin g Power (kW)	Savitsky Planing Resist. (kN)	Savitsky Planing Power (kW)
1	0,000	0,000	0,000	--	--	--	--
2	0,750	0,042	0,088	--	--	--	--
3	1,500	0,084	0,176	--	--	--	--
4	2,250	0,126	0,264	--	--	--	--
5	3,000	0,168	0,352	--	--	--	--
6	3,750	0,210	0,439	--	--	--	--
7	4,500	0,252	0,527	--	--	--	--
8	5,250	0,294	0,615	--	--	--	--
9	6,000	0,336	0,703	--	--	--	--
10	6,750	0,378	0,791	--	--	--	--
11	7,500	0,420	0,879	--	--	--	--
12	8,250	0,462	0,967	--	--	--	--
13	9,000	0,504	1,055	4,2	19,654	--	--
14	9,750	0,546	1,143	6,0	30,189	--	--
15	10,500	0,588	1,231	8,0	43,183	--	--
16	11,250	0,630	1,318	9,6	55,289	15,0	86,832
17	12,000	0,672	1,406	9,8	60,231	15,6	96,581
18	12,750	0,714	1,494	9,2	60,368	16,1	105,879
19	13,500	0,756	1,582	9,4	65,493	16,5	114,471
20	14,250	0,798	1,670	9,5	69,929	16,7	122,227
21	15,000	0,840	1,758	9,6	74,247	16,7	129,128
22	15,750	0,882	1,846	9,7	78,326	16,7	135,234
23	16,500	0,924	1,934	9,7	82,553	16,6	140,646
24	17,250	0,966	2,022	--	--	16,4	145,479
25	18,000	1,007	2,110	--	--	16,2	149,850
26	18,750	1,049	2,197	--	--	16,0	153,865
27	19,500	1,091	2,285	--	--	15,7	157,617
28	20,250	1,133	2,373	--	--	15,5	161,189
29	21,000	1,175	2,461	--	--	15,2	164,650
30	21,750	1,217	2,549	--	--	15,0	168,058
31	22,500	1,259	2,637	--	--	14,8	171,462
32	23,250	1,301	2,725	--	--	14,6	174,904
33	24,000	1,343	2,813	--	--	14,5	178,420
34	24,750	1,385	2,901	--	--	14,3	182,040
35	25,500	1,427	2,988	--	--	14,2	185,789
36	26,250	1,469	3,076	--	--	14,0	189,690
37	27,000	1,511	3,164	--	--	13,9	193,762
38	27,750	1,553	3,252	--	--	13,9	198,022
39	28,500	1,595	3,340	--	--	13,8	202,484
40	29,250	1,637	3,428	--	--	13,8	207,163
41	30,000	1,679	3,516	--	--	13,7	212,070

Figura 3-13: Método Savitsky en Maxsurf (fuente propia)

Se observa que el software considera como pre-planeo a partir de 9 nudos, que coincide aproximadamente con nuestra predicción en función del número de Froude. Para el régimen de planeo establece que la velocidad inicial será de 11,25 nudos y, en ambos casos, las potencias requeridas para conseguir entrar en dicho régimen son reducidas. Tomamos como referencia para dimensionar nuestra planta propulsora la potencia más restrictiva de 212,070 kW que, en este caso, será la necesaria para mantener la velocidad máxima deseada en régimen de planeo.

3.3.3 Selección de potencia

Una vez obtenidas las potencias mínimas, en el primer caso de 242,76 kW y, en el segundo, de 212,070 kW, cruzaremos estos datos con la regresión realizada a partir de la base de datos para la potencia. De esta manera obtendremos un intervalo mejor a la hora de seleccionar la propulsión que mejor se adecue a nuestros propósitos.

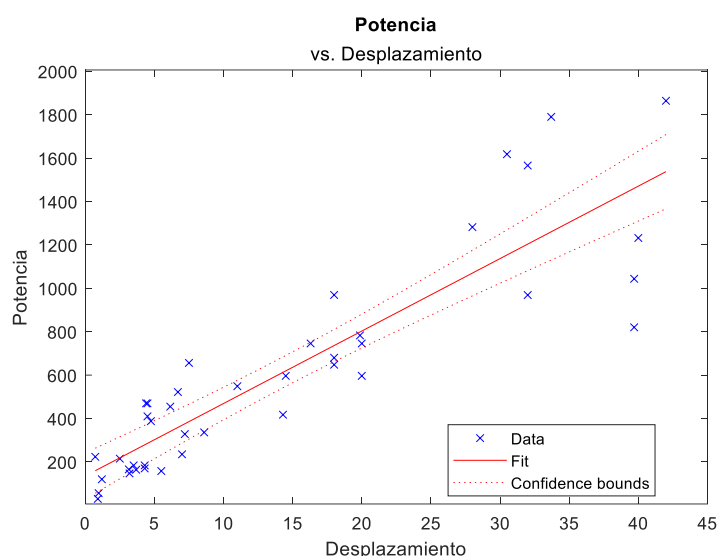


Figura 3-14: Potencia frente a desplazamiento (fuente propia)

La Figura 3-14 muestra la recta de regresión de mínimos cuadrados una vez seleccionado el clúster mencionado en 3.1.2, la ecuación que define la misma es la siguiente:

$$P = 33,39 \cdot \Delta + 135,19 = 388,4865 \text{ kW} \quad (3-47)$$

Esta ecuación permite un ajuste aceptable para los datos y, utilizando en esta ocasión el desplazamiento obtenido del software *Maxsurf*, obtenemos una potencia superior a las calculadas mediante los anteriores métodos.

Para asegurar el planeo de nuestra unidad y no tener carencias en caso de necesitar potencia en determinadas ocasiones, seleccionaremos de nuevo el valor más restrictivo calculado. Por tanto, se establece como valor mínimo para la potencia de la embarcación 388,4865 kW. El abanico de propulsores disponibles en el mercado nos permitirá cumplir con estas características y, normalmente se dispone de una potencia superior a la determinada para el uso de *waterjets*.

3.4 Sistemas de la embarcación

3.4.1 Planta propulsora

En base al dimensionamiento de potencia, calculado previamente, debemos contar con un mínimo de 388,476 kW para que la embarcación sea capaz de cumplir con las especificaciones deseadas. En base a ello, se ha realizado un estudio basado en el estado actual en embarcaciones de rescate. Como se puede comprobar en el Anexo III: Base de datos, la mayor parte de embarcaciones cuentan con un sistema de,

normalmente, dos motores diésel y propulsión *waterjet*. Es por ello por lo que para nuestro caso nos hemos decantado por la utilización de este tipo de sistema.

Entre los motores diésel disponibles se ha optado por la utilización del modelo VOLVO PENTA D6-435 WJ, que otorga 320 kW de potencia. Al instalarse dos motores de este modelo la potencia total con la que contará la embarcación será de 620 kW, cumpliendo con el requisito mínimo establecido.

La selección de este motor de la marca Volvo va ligada a la inclusión de *waterjets*, se ha querido utilizar un modelo ya probado en el mercado que cuente con buena fiabilidad y nos permita obtener las velocidades deseadas. Tras un análisis de la tendencia actual se ha optado por la combinación del Penta D6 con dos *waterjet* AJ 288 de la marca *Alamarin-jet* que trabaja en un rango de potencias de hasta 330 kW. De esta manera, cada uno de los propulsores contará con un motor diésel dedicado de manera exclusiva. La distribución propuesta de la planta propulsora se muestra en la Figura 3-15.

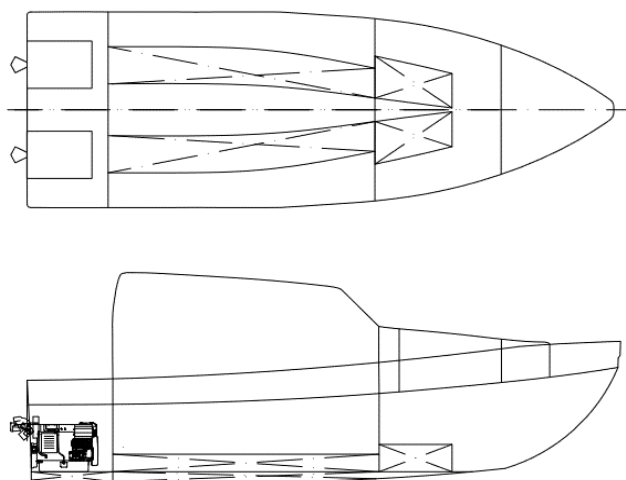


Figura 3-15: Distribución planta propulsora

Para la generación eléctrica se considera suficiente la energía proporcionada por los alternadores conectados a la propulsión, sin embargo, será objeto de una fase posterior del proyecto la comprobación de que estos generen suficiente energía eléctrica para alimentar todos los equipos de a bordo.

3.4.2 Equipos de navegación

Este tipo de sistemas son necesarios para la seguridad en la navegación de la embarcación, que le permite acudir con velocidad sin asumir riesgos. Además, será de utilidad para la búsqueda en superficie en caso de que el accidentado cuente con reflector radar o baliza SART.

Se ha decidido instalar el radar de navegación *Sperry Marine VisionMaster FT*, radar comercial utilizado ampliamente, y en concreto por los buques de la Armada.

Para añadir seguridad a la navegación, la embarcación contará con un sistema de plotter y AIS, que le permita trazar rutas y localizar posibles contactos. Se ha optado por la instalación de un plotter de la marca Garmin, en concreto el modelo *GPSMAP 8410* en combinación con el transceptor de AIS 800 de la misma marca.

3.4.3 Equipos de comunicaciones

Esta embarcación de rescate será utilizada en entornos cercanos al buque madre, por tanto, sus capacidades de comunicaciones no necesitan ser muy avanzadas. Es por ello por lo que se ha decidido instalar únicamente un equipo de VHF, en concreto el equipo *Furuno FM 8900S* que se trata de un modelo de clase GMDSS clase A con función de DSC que encaja con las necesidades de nuestra embarcación.

3.4.4 Otros equipos

Al tratarse de una embarcación desplegable desde un buque, se aplican ciertas simplificaciones al equipamiento necesario debido a que se contará con el apoyo de un barco que cuenta con todas las capacidades para operar en regiones oceánicas. En caso de operar desde costa la Armada proveería como parte de su cargo todo el material náutico relacionado con la seguridad en la navegación como cartas, chalecos y banderas.

Se considera necesario, únicamente, la instalación de un reflector radar que permita aumentar su RCS para su seguimiento y localización, así como de una radiobaliza SART para en caso de ocurrir alguna incidencia sea posible localizar su posición debido al tamaño reducido de la embarcación.

3.5 Dimensionamiento de tanques y capacidades

El dimensionamiento de los tanques se trata de una etapa fundamental del diseño de cualquier embarcación, especialmente en aquellas cuya finalidad son las misiones de salvamento y rescate. Estos tanques no solo contienen el combustible necesario para cumplir con la autonomía de la embarcación, también juegan un papel fundamental en la eficiencia operativa en condiciones marítimas diversas. La correcta determinación del volumen de los tanques y su disposición en la embarcación implica consideraciones técnicas, operativas y de seguridad.

Para calcular el volumen necesario de tanques, se utilizará la relación (3-48) en la que influyen directamente la potencia del motor, el consumo del mismo y la autonomía deseada [17].

$$V_{comb} = \frac{P \cdot C_e \cdot Autonomía}{\rho \cdot V} \quad (3-48)$$

ρ : densidad del combustible

V_{comb} : volumen del tanque de combustible

V : velocidad del buque

P : potencia nominal del motor

C_e : consumo específico de combustible

La autonomía será la especificada anteriormente de 150 NM, la potencia nominal del motor es de 320 kW y su consumo específico es de 220 g/kWh [40]. Para la densidad del combustible usaremos la misma que nos proporciona el programa Maxsurf de 0,85 kg/l.

Introduciendo los datos obtenemos el valor del volumen de combustible con la relación (3-49).

$$V_{comb} = \frac{320 \cdot 0,220 \cdot 150}{850 \cdot 30} = 0,415 \text{ m}^3 \quad (3-49)$$

Al disponer de dos motores idénticos el volumen total de combustible necesario será de 0,830 m³. Teniendo en cuenta que los tanques de combustible solamente pueden ser llenados hasta un 95% su totalidad debido a los gases que generan, deberemos contar con capacidad de almacenamiento para un total de 0,874 m³.

3.6 Disposición general

Una vez determinadas todas las características principales de la embarcación, se realiza propuesta de la disposición general mediante el *software AutoCAD*. Para la situación de los tanques se ha utilizado como herramienta de apoyo el programa *Maxsurf* que nos permite calcular los volúmenes de los tanques.

La Figura 3-16 muestra las vistas de planta alzado y perfil de la embarcación completa con la superestructura del puente, incluyendo la vista de perfil desde la proa como desde la popa, permitiendo

así obtener una visión más precisa de las formas que tiene la embarcación. Se representa en la misma la línea de flotación de diseño para visualizado de la misma.

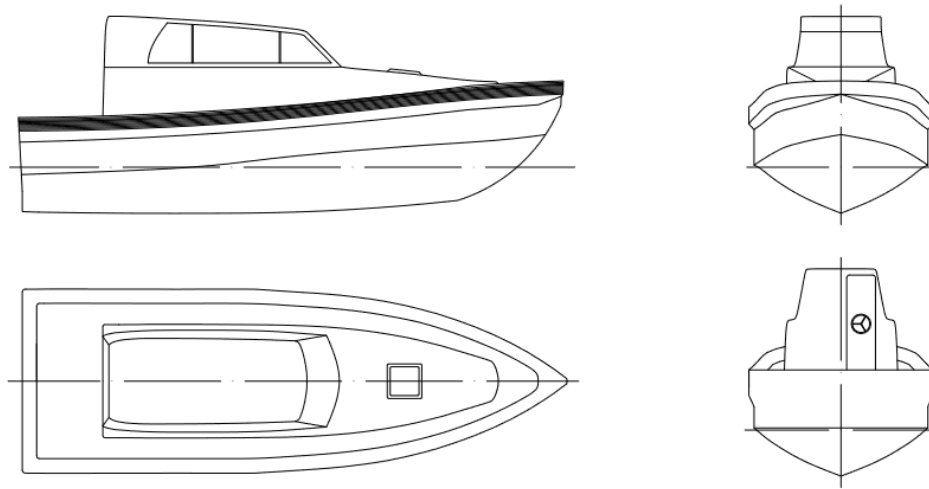


Figura 3-16 : Vistas de la embarcación con superestructura (fuente propia)

A partir de esta disposición se crea la disposición de compartimentos que sean de utilidad para los cometidos finales de este buque disponible en la Figura 3-17, Figura 3-18 y Figura 3-19. Los principales espacios propuestos son la bahía del motor situada a popa; un espacio polivalente debajo del puente, que bien podría albergar una pequeña zona de habitabilidad o una zona dedicada a primeros auxilios; un pañol en la zona de proa debajo de la cubierta principal para estiba de material; el puente situado dentro de la superestructura y, por último, un pequeño espacio de almacenamiento a proa del puente, dentro de la superestructura, similar al disponible en las lanchas de instrucción de la Escuela Naval Militar.

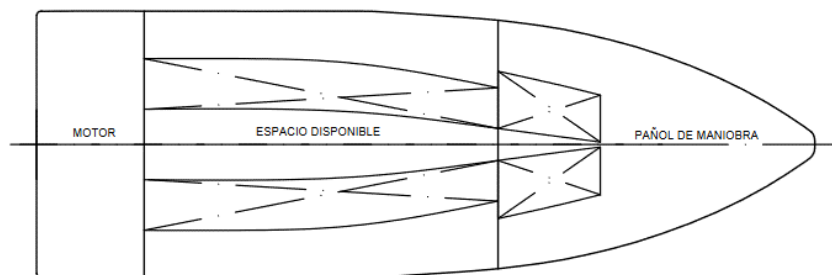


Figura 3-17: Vista de planta de la distribución de la cubierta 2 (fuente propia)

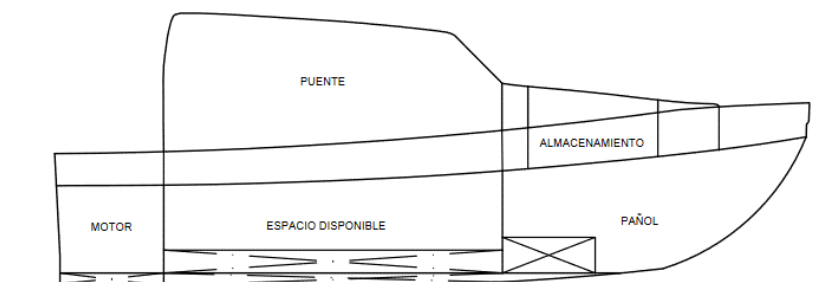


Figura 3-18: Vista de costado de la distribución (fuente propia)

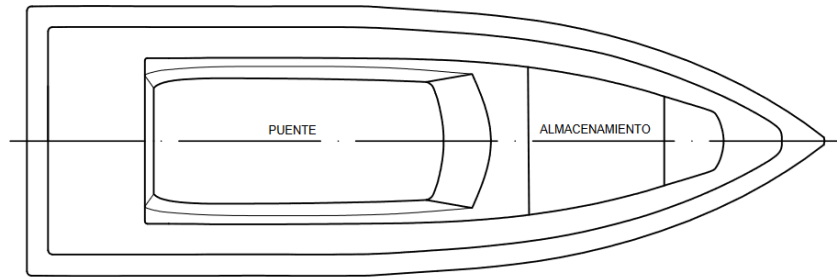


Figura 3-19: Vista de planta de la cubierta principal (fuente propia)

Así mismo, como se puede observar en las vistas, se propone una distribución de tanques que cumpla con el volumen mínimo calculado y, que a su vez no comprometa la estabilidad. Tras comprobar con el software *Maxsurf* se sitúan los tanques de combustible según la Figura 3-19, dos de ellos en el pañol de maniobra, dos en el espacio disponible polivalente y, por último, un tanque entre la quilla y la primera línea de agua

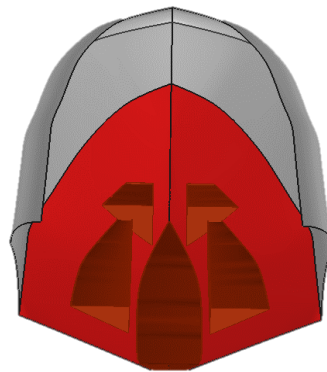


Figura 3-20: Vista en 3D de los tanques de combustible (fuente propia)

Así mismo se extrapola con el software *Autocad* un plano de cabezas de tanques disponible en la Figura 3-21, el volumen total de los tanques es de $0,946 \text{ m}^3$.

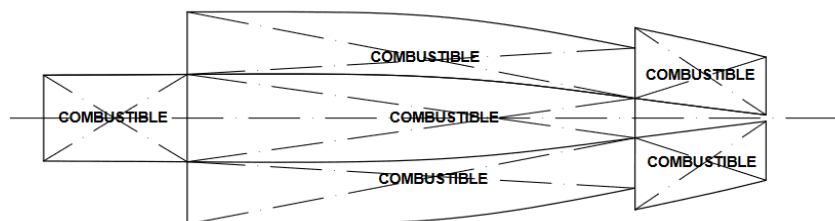


Figura 3-21: Plano de cabezas de tanques (fuente propia)

3.7 Curvas hidrostáticas y brazo de adrizamiento

Se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo mediante el módulo *Stability* del software *Maxsurf*. Este análisis se basa en un estudio de estabilidad intacta para obtener las curvas hidrostáticas de la embarcación, así como un análisis de estabilidad a grandes ángulos que nos proporciona la gráfica de brazo de adrizamiento *GZ* para cada ángulo.

La Figura 3-22 muestra las curvas hidrostáticas para la embarcación en diferentes condiciones de desplazamiento que nos permitirán comprender el comportamiento de la embarcación en distintas condiciones de carga y flotación.

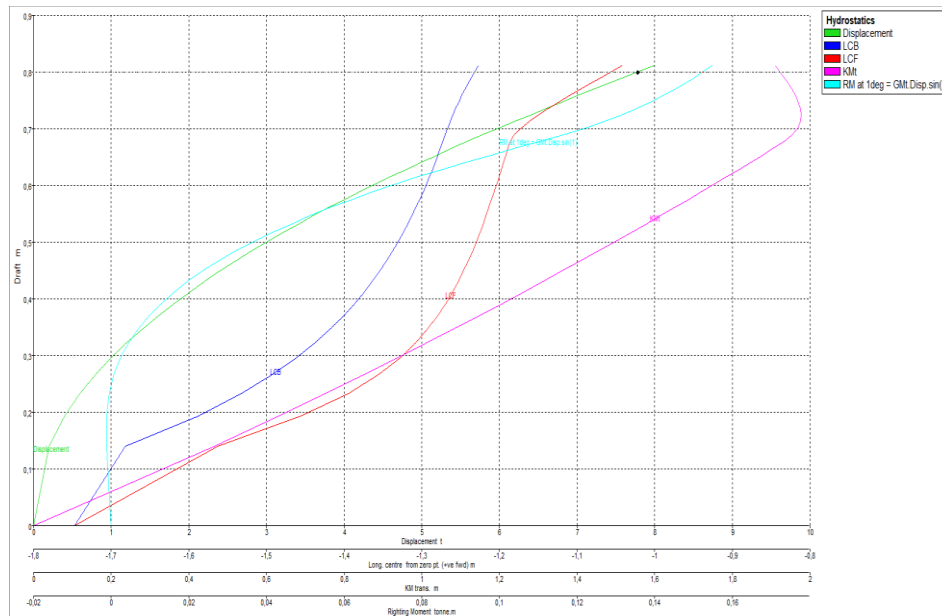


Figura 3-22: Curvas hidrostáticas (fuente propia)

La curva de brazo de adrizamiento GZ de la Figura 3-23 muestra la tendencia de nuestra embarcación a distintos ángulos de escora, en este caso se trata de una escora a babor de entre 0° y 180° , la escora a estribor es simétrica a la mostrada. Se observa que la embarcación posee muy buena a estabilidad a grandes ángulos llegando a adrizarse para escoras de hasta aproximadamente 155° .

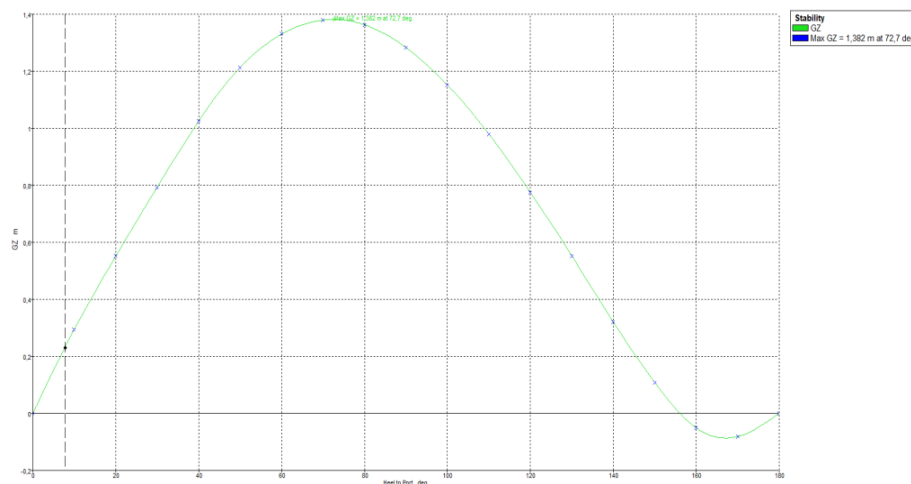


Figura 3-23: Curva de brazo de adrizamiento (Fuente propia)

Al tratarse nuestra embarcación de un buque por cuyas características puede realizar operaciones oceánicas, se trata de una embarcación clase A [41], esto quiere decir que debe ser capaz de resistir olas de hasta 4m de altura y un viento de fuerza 8. Para comprobar la estabilidad del buque bajo estas condiciones se debe realizar una corrección por seno que será objeto de estudio de futuras fases del proyecto.

3.8 Presupuesto

Se trata de un apartado fundamental para el proyecto y, que puede llegar a determinar su viabilidad. Para la construcción de buques es utilizado el método de cifra de mérito. Al tratarse de un buque dedicado

a operaciones de salvamento y rescate no tenemos manera de determinar la carga o el volumen de esta así que se ha realizado un estudio de exploración de cifra de mérito basado en el coste de los materiales, mano de obra, equipos, estimación de gastos variables, beneficio industrial y gastos del armador, el proceso completo detallado de cálculo puede consultarse en el Anexo XII: Cálculo de presupuesto.

Al tratarse de un diseño conceptual se han realizado ciertas aproximaciones. Además, se proponen tres presupuestos teniendo en cuenta distintos materiales de fabricación posibles que son el acero naval, aluminio y fibra de vidrio.

Las tablas muestran el desglose de presupuesto para cada uno de los materiales, a excepción de los *waterjets* todos los costes de equipos y sistemas se han tomado teniendo en cuenta su precio actual de mercado. El desglose completo de cálculo puede consultarse en el Anexo X: Presupuestos construcción embarcación.

Para el primer caso se ha tomado como material el acero, además de como material de construcción, también como material de soldadura, para nuestro caso se ha realizado una estimación de que el material usado para unir el casco será un 3% del total. Este presupuesto solo tiene en cuenta el material en función del peso de este, considerando que el desplazamiento total del buque es el peso del acero.

Presupuesto acero	
PARTIDA PRESUPUESTARIA	VALORACIÓN ECONÓMICA (€)
Estructura	
Acero del casco	6732,176
Soldadura	145,14
Equipos	
Propulsión	138206,76
Navegación	5927,99
Seguridad	916,99
Variables	
Estudios especiales y ensayos	8568,33
Representación y otros	8568,33
Coste de construcción	
Coste de construcción	188503,21
Beneficio industrial	
30% del coste de la construcción	56550,96
Coste buque	
Coste buque	245054,18
Inversión total	
Gastos del armador	62834,40
Inversión total	251337,62

Tabla 3-5: Presupuesto buque acero (fuente propia)

El presupuesto para el diseño conceptual en acero sería de 416.000 € (cuatrocientos dieciséis mil euros).

Presupuesto aluminio	
PARTIDA PRESUPUESTARIA	VALORACIÓN ECONÓMICA (€)
Estructura	
Aluminio del casco	24396,107
Soldadura	525,97
Coste de construcción	
Coste de construcción	208352,45
Beneficio industrial	
30% del coste de la construcción	62505,73
Coste buque	270858,18
Inversión total	
Gastos del armador	69450,82
Inversión total	277803,26

Tabla 3-6: Presupuesto buque aluminio (fuente propia)

El presupuesto para el diseño conceptual en aluminio sería de 465.000€ (cuatrocientos sesenta y cinco mil euros).

La fibra de vidrio varía ligeramente con respecto a los dos anteriores, ya que en este caso no se utiliza soldadura, por tanto, ese coste no se tiene en cuenta en este presupuesto, sin embargo, debido al precio de la fibra de vidrio resulta en el presupuesto más caro de los tres. De nuevo, los equipos y costes variables son los mismos y pese a no aparecer en la tabla si se tienen en cuenta en el cálculo del coste total.

Presupuesto fibra de vidrio	
PARTIDA PRESUPUESTARIA	VALORACIÓN ECONÓMICA (€)
Estructura	
Acero del casco	51225,171
Soldadura	0,00
Coste de construcción	
Coste de construcción	234720,10
Beneficio industrial	
30% del coste de la construcción	70416,03
Coste buque	
Coste buque	305136,13
Inversión total	
Gastos del armador	79095,28
Inversión total	316381,14

Tabla 3-7: Presupuesto buque fibra de vidrio (fuente propia)

El presupuesto para el diseño conceptual en fibra de vidrio sería de 522000€ (quinientos veintidós mil euros).

El precio más económico corresponde al buque de acero, en una fase posterior deberá realizarse un estudio de resistencia de los distintos materiales, así como de viabilidad presupuestaria concretándose el precio exacto en la fase final del proyecto anterior a la contratación.

4 RESULTADOS

4.1 Características finales de la plataforma

El desarrollo del proyecto nos ha permitido obtener un diseño conceptual que cumple con las características requeridas para una embarcación de rescate, en este apartado se discutirán las características definitivas para esta fase del diseño.

4.1.1 Dimensiones principales

Tras finalizar todos los ajustes necesarios y, las simulaciones pertinentes; se han obtenido dos resultados de diseño de buque. En primer lugar, una embarcación con las dimensiones que muestra la

L (m)	9,40
B (m)	3,20
T (m)	0,80
D (m)	2,30
V (kts)	29,80
Desplazamiento (t)	7
Peso en rosca (t)	5,25
Peso muerto (t)	1,75
C_B	0,2838
C_P	0,6356
C_M	0,4465
Autonomía (NM)	150
Potencia (kW)	388,49

Tabla 4-1, resultado de las regresiones lineales calculadas a partir de la base de datos que dio como resultado el estudio del estado actual de los buques de rescate.

L (m)	9,40
B (m)	3,20
T (m)	0,80
D (m)	2,30

V (kts)	29,80
Desplazamiento (t)	7
Peso en rosca (t)	5,25
Peso muerto (t)	1,75
C_B	0,2838
C_P	0,6356
C_M	0,4465
Autonomía (NM)	150
Potencia (kW)	388,49

Tabla 4-1: Dimensiones de la embarcación a partir de regresiones lineales (fuente propia)

Por otra parte, se ha procedido, una vez generados los planos de formas de la embarcación, al diseño en 3D de las superficies que forman el casco del buque con el *software Maxsurf* específico de diseño naval y que nos permite obtener dimensiones y coeficientes más ajustadas para nuestra embarcación que son las que se muestran en la Tabla 4-2.

Desplazamiento (t)	7,776
Eslora de flotación (m)	8,614
Manga máxima (m)	3,020
C_B	0,364
C_P	0,652
C_M	0,4465
KB (m)	0,536
LCB (m)	-1,232
GM_L (m)	11,037
GM_T (m)	1,922

Tabla 4-2: Dimensiones generadas mediante Maxsurf (Fuente propia)

Tras comparar ambas dimensiones obtenidas se consideran mejores las obtenidas haciendo uso de *Maxsurf*, al haberse realizado el modelado 3D y los pertinentes estudios de estabilidad a pequeños y grandes ángulos, así mismo, es en este *software* donde se ha realizado la disposición de tanques y donde se ha perfilado el modelo con más precisión para que sea posible su planeo.

Se ha obtenido un diseño de buque con unas características muy similares a las de su entorno, cuyo estudio está pensado específicamente para que su operación pueda realizarse desde los buques de la Armada. Tanto su peso, como su potencia y dimensiones pretenden ajustarse a los espacios de estiba y arriado de embarcaciones que podemos encontrar hoy en día en los distintos buques.

Se ha trabajado en unas formas que permitan que la embarcación sea de semidesplazamiento, otorgando así una maniobrabilidad y velocidad muy elevadas que permiten acudir a los distintos lugares de siniestro. Estas formas, se basan fundamentalmente en contar con espejos anchos y formas prácticamente planas en la mitad posterior de la embarcación.

Así mismo se ha dotado al buque de una potencia superior a la mínima necesaria según el análisis realizado, acompañado de dos *waterjets* que nos otorgan la posibilidad de llegar al régimen de planeo

con un propulsor más reducido en tamaño que si usáramos una hélice. En cuanto a la autonomía, se ha sobredimensionado la misma, teniendo en cuenta que se trata de una embarcación que podría operar desde un puerto en entornos costeros o desde un buque de mayores dimensiones, las 150 NM deberían ser suficientes para cubrir las necesidades a las que se enfrente la embarcación.

4.1.2 Hidrostática y estabilidad

Mediante las simulaciones realizadas con el programa *Maxsurf* se han obtenido las distintas curvas hidrostáticas y de estabilidad que nos permiten realizar una aproximación del comportamiento en la mar de la embarcación de rescate. En futuras fases del proyecto se deberán refinar estos cálculos.

Las curvas hidrostáticas mostradas en la Figura 4-1 se han realizado en función del desplazamiento entre 0 y 10 toneladas para permitir una observación de los distintos estados de carga a los que puede verse sometida la embarcación SAR, así como la situación de sus distintos centros de gravedad y flotación.

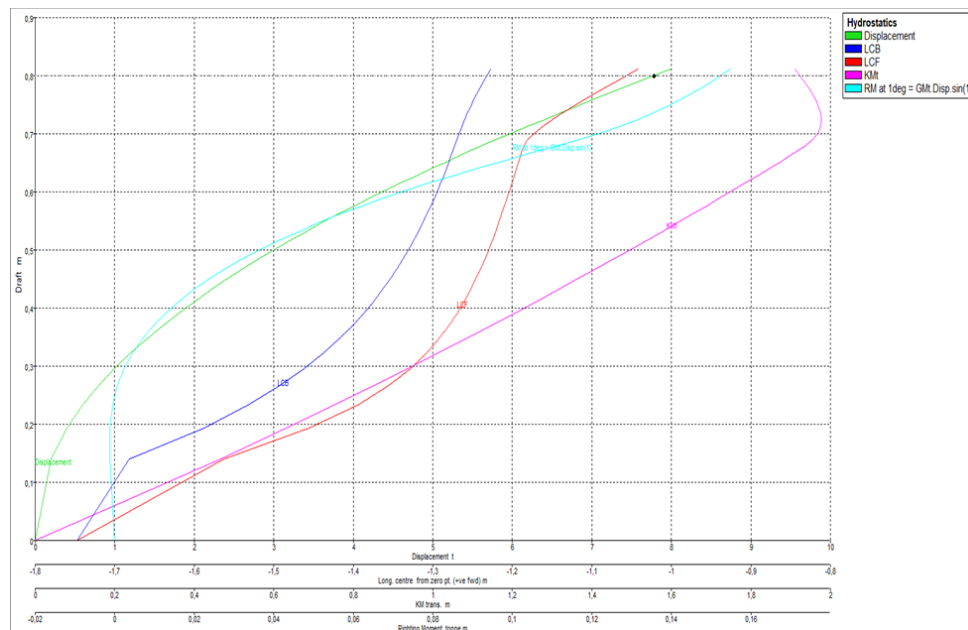


Figura 4-1: Curvas hidrostáticas (fuente propia)

Por otra parte, se ha realizado un estudio de estabilidad a grandes ángulos que nos permite determinar si la embarcación regresará a su posición de equilibrio en función del ángulo de escora. Esta gráfica puede observarse en la Figura 4-2.

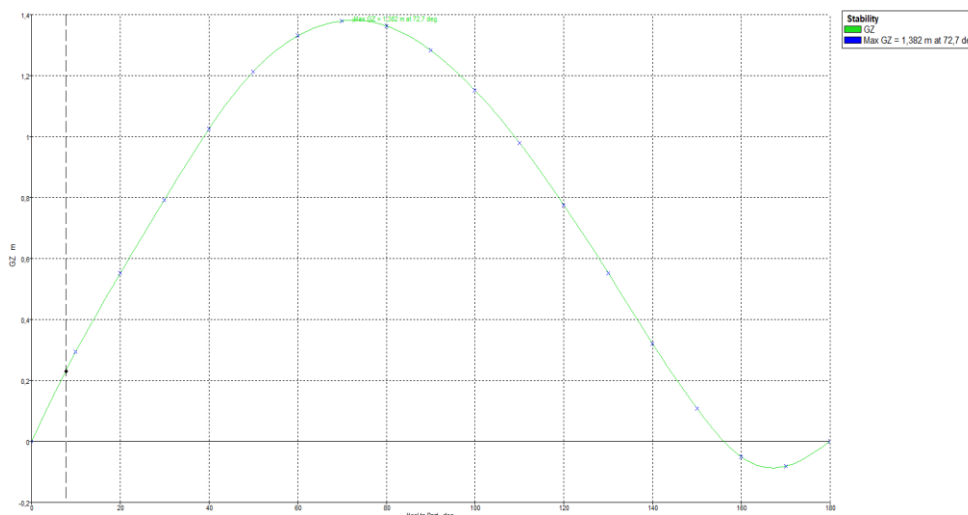


Figura 4-2: Brazo de adrizamiento (fuente propia)

De esta gráfica se puede desprender que nuestra embarcación será muy estable, proporcionando brazos de adrizamiento positivos para ángulos de escora de entre 0° y 150°. Para que la embarcación fuese autoadrizante, debería mostrar una gráfica positiva en todo el rango de ángulos, sin embargo, la estabilidad que muestra es más que suficiente para realizar los rescates para los que se diseña la embarcación

4.2 Sistemas embarcados

Para poder desarrollar sus funciones con seguridad se han elegido sistemas que vayan acorde con la embarcación y sus capacidades que se resumen a continuación.

Estos sistemas son los básicos que permitirán mantener comunicaciones con el buque madre y navegar con seguridad. En caso de necesitar el uso de equipos más complejos se realizará a través de la embarcación nodriza que permitirá cumplir con todos los requisitos necesarios para la navegación oceánica.

	Sperry VisionMaster FT
Navegación	Garmin GPSMAP 8410
	Garmin AIS800
Comunicaciones	Furuno FM 8900S
Seguridad en la navegación	Radiobaliza SART

Tabla 4-3: Equipos embarcados (fuente propia)

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Se ha alcanzado el objetivo fundamental de este TFG que era conseguir un proyecto conceptual de una embarcación de rescate. Así mismo, el resultado final es compatible con la Armada y, en concreto, es posible embarcar dicho buque a bordo de las distintas unidades para su despliegue en alta mar.

La falta de información disponible acerca de buques de este tipo ha sido un elemento que ha complicado el trabajo, la bibliografía disponible es más limitada, teniendo que recurrir a búsquedas muy concienzudas en abanico que han permitido adaptaciones para el desarrollo del diseño.

Se han alcanzado los distintos hitos intermedios. Partiendo de un estudio claro y conciso sobre el estado actual de la construcción naval y de las embarcaciones de rescate existentes, se ha procedido a elaborar una base de datos, utilizando *Microsoft Excel*, que es lo suficientemente extensa como para ser objeto de estudio y punto de partida y que sirve como base para futuras prospecciones en este campo.

Mediante la utilización de dicha base de datos, las técnicas comúnmente utilizadas en ingeniería naval, como es la regresión lineal, haciendo uso del software *Matlab*, que han permitido obtener las principales dimensiones de la embarcación como parte del diseño conceptual inicial de forma rápida y fiable.

Con las dimensiones obtenidas, se obtuvieron los planos de formas de la embarcación utilizando *AutoCAD* y, posteriormente, se consiguió una disposición general inicial que permite la creación de espacios polivalentes adaptables distintas funciones según la misión.

El resultado final es una embarcación polivalente, que puede realizar tareas de salvamento y rescate en varios entornos y, que se ha adaptado lo máximo posible a las características necesarias para permitir su embarque en unidades de la Armada.

La embarcación cumple con el convenio SOLAS, instalando los equipos necesarios para navegación en espacios clase A, teniendo en cuenta que solamente operará en estos espacios desplegado desde un buque de mayor porte, se ha decidido prescindir de algunos de ellos. Así mismo, la navegación oceánica requiere de capacidad de enfrentarse a 4m de ola y vientos de fuerza 8, las formas de nuestra embarcación deberían soportar este tipo de condiciones adversas. Como se ha mostrado la curva de adrizamiento permite una escora de hasta 150° sin suponer un riesgo para la embarcación, sin embargo, deberá ser objeto de fases posteriores un estudio de resistencia.

Por último, se ha creado un modelo tridimensional de la embarcación utilizando el software *Maxsurf*, permitiendo el desarrollo de las formas y el estudio de la estabilidad tanto a pequeños como a grandes ángulos dando lugar a las curvas hidrostáticas y la curva de adrizamiento GZ, así como un estudio de potencia de planeo haciendo uso de los distintos módulos del *software*. También mediante el uso de este

mismo *software* se ha elaborado la cartilla de trazado de las formas de la embarcación. Todo esto permite tener una base fiable para los estadios futuros del proyecto.

5.2 Líneas futuras

La fase de diseño conceptual de la embarcación de rescate se considera completa, proporcionando una base sólida para siguientes etapas del proyecto, que permitirá continuar detallando las características de nuestro buque. Se considera también que se han realizado avances en tareas de fases posteriores del diseño como son la elaboración de las curvas hidrostáticas, estabilidad frente a grandes ángulos y la creación cartilla de trazado.

Este trabajo puede servir como punto de partida para próximas fases del proyecto de diseño de una embarcación de rescate. Por lo tanto, la principal línea futura es el desarrollo del diseño preliminar de una embarcación de rescate, a modo de propuesta se establecen los siguientes hitos para esta fase:

1. Refinado de formas y diseño manteniendo el rendimiento de planeo
2. Refinado de las curvas hidrostáticas y la gráfica de brazo de adrizamiento en base a las nuevas formas.
3. Cálculos de resistencia estructural para garantizar la robustez del diseño
4. Definición de usos de los espacios polivalentes y pañoles que permitan maximizar la eficacia operativa
5. Desarrollo de equipos necesarios, no incluidos en el presente proyecto.
6. Estudio de resistencia para obtener la clasificación como buque clase A y corrección de la curva de adrizamiento.
7. Diseño de la estructura para permitir el izado/arriado de la embarcación mediante un gancho de soltado rápido.

Se propone continuar utilizando *software* específico en diseño naval como *Maxsurf*. Son herramientas que facilitan mucho los cálculos relativos al diseño de la embarcación y que con un adecuado manejo pueden ser de gran utilidad para futuras fases del proyecto e incluso en otros proyectos similares.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Armada, «Concepto de Operaciones Navales,» Armada, 2015.
- [2] J. Corral, «Los Mares de España,» de *Mares de España*, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008, p. 504.
- [3] R. Rivero Velarde, «El salvamento marítimo: hacia una acción conjunta de la Unión Europea,» Universidad Pontificia de Comillas, Madrid, 2021.
- [4] JEMAD, «PDC-3.1 Operaciones en el ámbito marítimo,» Ministerio de Defensa, Madrid, 2022.
- [5] Armada, Lista Oficial de Buques de la Armada, Ministerio de Defensa, 2023.
- [6] T. Cepowski y P. Chorab, «Determination of design formulas for container ships at the preliminary design stage using artificial neural network and multiple nonlinear regression,» *Ocean Engineering*. 238, p. 18, 2021.
- [7] X. Nuñez Nieto, *Tema 4: Documentos del proyecto*, Marín: Centro Universitario de la Defensa, 2023.
- [8] P. J. Carrasco Pena, «Capítulo 2. Geometría de la carena,» Centro Universitario de la Defensa, Marín, 2023.
- [9] R. A. Castro, J. J. A. Azpíroz y M. M. Fernández, «El proyecto básico del buque mercante,» Fondo Editorial de Ingeniería Naval, 1997.
- [10] J. Olivella Puig, *Teoría del buque: flotabilidad y estabilidad*, Barcelona: Edicioes de la Universidad Politécnica de Cataluña, 1994.
- [11] P. J. Carrasco Pena, «Capítulo 3. Estabilidad transversal,» Centro Universitario de la Defensa, Marín, 2023.
- [12] E. Raffo Lecca, O. Rojas Lazo y J. Rojas Rojas, «Cálculo de áreas de superficies irregulares aplicando los software Matlab y Autocad,» UNMSM, 2007.
- [13] Universidad de Sevilla, «Tema 3. Formas cuadráticas,» Asignatura matemáticas.

- [14] Mathworks, «Matlab,» [En línea]. Available: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>.
- [15] J. J. Paredes López, «Herramientas de diseño en el ámbito naval, implementación y uso del software informático adecuado,» Universidad Politécnica de Cartagena, 2018.
- [16] Bentley Systems, «Maxsurf,» <https://www.maxsurf.net>.
- [17] M. Ugarte Zarco, «Diseño conceptual de un patrullero de altura,» Centro Universitario de la Defensa, Marín, 2022.
- [18] J. Ollivera Puig, «El proyecto conceptual,» de *Teoría del buque: flotabilidad y estabilidad*, Barcelona, Ediciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, 1994.
- [19] J. Ollivera Puig, «El proyecto preliminar,» de *Teoría del buque: flotabilidad y estabilidad*, Barcelona, Ediciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, 1994.
- [20] P. A. Gale, «The ship design process,» de *NArch 502. Ship Design and Construction*, 1996.
- [21] International Maritime Organization (IMO), «Convenio SOLAS,» 1974.
- [22] International Maritime Organization (IMO), «International Convention on Maritime Search and Rescue (SAR),» 27 Abril 1979. [En línea]. Available: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-on-Maritime-Search-and-Rescue-\(SAR\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-on-Maritime-Search-and-Rescue-(SAR).aspx).
- [23] International Maritime Organization, International Civil Aviation Organization, «Manual IAMSAR,» 1999.
- [24] E. W. Edo Glosz, «Las operaciones SAR en el mediterráneo central: El salvamento marítimo humanitario,» Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2020.
- [25] Salvamento Marítimo, «Radioavisos,» [En línea]. Available: <http://www.salvamentomaritimo.es/mejora-tu-seguridad/control-y-servicios-en-la-mar/radioavisos>.
- [26] International Maritime Organization (OMI), «SAR Regions,» 2011.
- [27] Salvamento marítimo, «Misión y área de responsabilidad,» [En línea]. Available: <http://www.salvamentomaritimo.es/conocenos/nuestra-actividad/mision-y-area-de-responsabilidad>.
- [28] Salvamento Marítimo, «Unidades salvamento marítimo,» [En línea]. Available: <http://www.salvamentomaritimo.es/conocenos/nuestros-medios/87-unidades-maritimas-y-aereas>.
- [29] MacGregor, «G-type: fast rescue craft davit,» MacGregor, [En línea]. Available: <https://www.macgregor.com/globalassets/picturepark/imported-assets/83831.pdf>.
- [30] MathWorks, «Fit linear regression model - MATLAB fitlm,» 2023. [En línea]. Available: <https://es.mathworks.com/help/stats/fitlm.html>. [Último acceso: 3 Enero 2024].
- [31] J. M. Gonzalez Alvarez-Campana, «Formas de casco de embarcaciones rápidas,» Ministerio de Defensa. Canal de experiencias hidrodinámicas de El Pardo, Madrid, 1991.

- [32] S. C. Fung, «Resistance predictions and parametric studies for high-speed displacement hulls,» *Naval Engineers Journal*, 1987.
- [33] M. G. Parsons, «Chapter 11: Parametric Design,» de *Ship Design and Construction vol. I*, Jersey City, NY, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2004.
- [34] C. McKesson, «Advanced Marine Vehicles,» University of New Orleans, 2008.
- [35] M. Taylan, «Reliability analysis of GM and KG of ships from the inclining experiment,» *Journal of Engineering for the Maritime Environment*, p. 7, 2020.
- [36] R. Crespí, «Estudio y diseño de una embarcación de recreo,» Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2016.
- [37] L. Larsson y E. E. Rolf, *Principles of Yacht Design*, London: Adlard Coles Nautical, 2000.
- [38] J. Holtrop, «A statistical re-analysis of resistance and propulsion data».
- [39] D. Savitsky, «Hydrodynamic Design of Planing Hulls,» Office of Naval Research, US Navy, 1964.
- [40] Volvo, «Volvo Penta D6-435 Technical specifications,» [En línea]. Available: <http://www.darthaven.co.uk/userfiles/products/files/Technical%20data%20D6-435I.pdf>.
- [41] Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, «Real Decreto 186/2023, de 21 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Ordenación de la Navegación Marítima,» 2023.
- [42] P. J. Carrasco Pena, «Cálculo de presupuesto mediante exploración de cifra de mérito,» Universidad Politécnica de La Coruña, Ferrol.

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, Y/O ECONÓMICAS, Y/O AMBIENTALES

La industria naval tiene un impacto notable en diversas áreas, tanto en la económica como en la social y ambiental. La creación de puestos de trabajo es una de las principales aportaciones de esta industria. La consecución de proyectos de ingeniería naval requiere de una gran cantidad de profesionales y actividades complementarias, lo que impulsa la creación empleo y beneficia a la región al inyectar dinero en la economía local. Además, las empresas de diseño naval valoran a sus empleados y suelen priorizar la contratación en la zona, lo que fortalece el tejido laboral y enriquece la formación de los trabajadores.

En términos económicos, la industria naval tiene un impacto significativo a nivel nacional e internacional. La construcción de barcos y las actividades relacionadas con ella contribuyen al crecimiento económico y al comercio proporcionando medios de transporte eficientes y seguros para bienes y mercancías. Además, la inversión en instalaciones navales como astilleros y puertos crea oportunidades de inversión extranjera y desarrollo de industrias auxiliares a la naval, lo que estimula el crecimiento económico a largo plazo.

En términos ambientales, la ubicación de los astilleros en el entorno marítimo y natural plantea desafíos con respecto a la protección del medio ambiente. La actividad de los mismos puede tener un impacto negativo en los ecosistemas marinos debido a las emisiones, las aguas residuales y los distintos desperdicios generados. Por tanto, es muy importante que las empresas del sector naviero adopten medidas de prevención y seguridad para minimizar su impacto ambiental. Esto implica la gestión adecuada de residuos y adoptar un buen enfoque en la eficiencia energética para reducir la huella de las operaciones navieras.

En conclusión, las empresas de construcción naval son responsables de creación de empleo en las comunidades donde se encuentran localizadas, así mismo, deben implementan prácticas sostenibles que protejan el medio ambiente marino. Al equilibrar adecuadamente los aspectos discutidos, la industria naval puede contribuir de manera positiva al desarrollo regional y al bienestar de las generaciones venideras.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

El presente anexo profundiza en las consideraciones éticas y sociales que guían el diseño conceptual de una embarcación de rescate, destacando la importancia de priorizar la seguridad, el bienestar humano y el respeto al medio ambiente marino. No se debe descartar tampoco en el plano ético la sensibilidad de la información que se utiliza y su manejo.

El diseño de una embarcación de rescate implica una responsabilidad ética destacable, ya que su función principal es salvaguardar vidas y proporcionar asistencia ante situaciones de emergencia en la mar. Por tanto, es fundamental que los distintos aspectos del diseño se realicen desde un enfoque centrado en el ser humano, asegurando que la embarcación tenga la capacidad de operar en entornos y condiciones adversos con seguridad y efectividad.

Desde una perspectiva puramente ética, el diseño de la embarcación debe priorizar la seguridad de las personas que se embarcan en ella, así como la de los equipos SAR que operen la embarcación. Esto implica considerar cuidadosamente aspectos como la estabilidad, resistencia estructural, maniobrabilidad y facilidad de operación, garantizando el cumplimiento de la misión de manera eficaz y segura.

Además, en el diseño de una embarcación de rescate se deben tener en cuenta consideraciones sociales relacionadas con la equidad y la accesibilidad. Es importante asegurar que la embarcación está diseñada de manera inclusiva, para que pueda ser utilizada por una amplia gama de personas, incluidas aquellas con discapacidades o necesidades especiales. Igualmente se debe tener en cuenta el impacto social de las operaciones de rescate en las comunidades locales y en las personas víctimas de una emergencia en la mar, asegurando que se brinde asistencia justa y equitativa a todos los accidentados.

Con respecto al medio marino, el diseño de la embarcación debe minimizar su impacto ambiental y promover prácticas sostenibles. Esto implica la adopción de tecnologías y materiales ecológicos, así como la implementación de medidas para prevenir la contaminación y proteger la biodiversidad marina. Además, es importante considerar el impacto a largo plazo de las operaciones SAR en el ecosistema marino, buscando minimizar cualquier efecto negativo y promover la conservación de los recursos naturales para que éticamente este acorde con los principios requeridos en un proyecto de estas características.

Por otra parte, el desarrollo de una base de datos sobre distintas unidades puede llegar a ser una herramienta muy valiosa en el diseño naval. Sin embargo, es crucial tener en cuenta la sensibilidad de los datos que tratados y su potencial alcance. Aunque no se trate de buques de guerra, algunos de los buques incluidos pueden contener información sensible. Por tanto, es imperativo garantizar que la información se maneje con responsabilidad y se proteja adecuadamente.

La propiedad intelectual desempeña un papel fundamental en la innovación y el progreso tecnológico en la industria naval. Es esencial equilibrar la protección de la propiedad intelectual con el beneficio público y la colaboración en el sector. Una gestión responsable de los diseños y desarrollos es crucial para promover la competencia y mejorar la seguridad en la mar.

En resumen, el diseño de una embarcación de rescate implica consideraciones en el plano ético y social que van más allá de la simple funcionalidad técnica. Es un proceso que requiere sensibilidad, empatía y un compromiso con la seguridad, la equidad y la sostenibilidad, asegurando que la embarcación pueda desempeñar su papel vital en la protección y salvamento de vidas en la mar de manera ética y responsable.

ANEXO III: BASE DE DATOS

PAIS	CLASE	ASTILLERO	ESLORA (m)	MANGA (m)	CALADO (m)	DESPLAZAMIENTO (Tn)	VELOCIDAD (kn)	PUNTAL (m)	POTENCIA DE PROPULSIÓN (kW)	TIPO DE PROPULSIÓN	OBSERVACIONES
ESPAÑA	SV-420 SOLAS	NARWHAL	4,20	2,07		0,91		1,00	29,83		
ESPAÑA	SV-480 SOLAS	NARWHAL	4,80	2,10		0,97		1,00	55,93		
ALEMANIA (DGZRS)	ARBEITSBOOT		4,80	2,00	0,40	1,20	30,00		120,00	1x STEYR MO 164	Embarcación auxiliar de 20-METER-SEENOTRETTUNGSKREUZER
ESPAÑA	BARCO DE SALVAMENTO UME	AISTER	5,95	2,20	0,35			0,85	84,60	1x Yamaha fueraborda	Hecho en aluminio
ALEMANIA (DGZRS)	TOTCHERBOOT (4)		7,00	2,60	0,80	3,50	18,00		184,00	1x STEYR MO 256 K43	Embarcación auxiliar de 23,1-METER-SEENOTRETTUNGSKREUZER
ALEMANIA (DGZRS)	7-METER-SEENOTRETTUNGSBOOT		7,00	2,50	0,50	2,50	24,00		215,00	1x STEYR MO 306 H43	
ESPAÑA	FRB 700 INTRA	NARWHAL	7,07	2,76		3,68	32,00	1,60	164,05	Intrabordo Volvo + Waterjet	
NORUEGA	WEEDO 700 FRC MKII	MARITIME PARTNER	7,30	2,50	0,45	3,15	35,00		165,55	VOLVO PENTA + Waterjet	Embarcacion del Carnota
ESPAÑA	SV-750 SOLAS	NARWHAL	7,50	2,80		0,73		1,60	223,71	2x Yamaha fueraborda	
ALEMANIA (DGZRS)	TOTCHERBOOT (3)		7,50	2,50	0,80	4,30	17,00		184,00	1x STEYR MO 256 K43	Embarcacion auxiliar de 27,5-METER-SEENOTRETTUNGSKREUZER
ESPAÑA	MZ-RHIB 7.7	AISTER	7,70	2,80			40,00		298,28	2x Yamaha fueraborda	Hecha en aluminio
ALEMANIA (DGZRS)	TOTCHERBOOT (2)		8,20	2,90	0,80	4,30	19,00		170,00	1X STEYR SE 236 E40	Embarcacion auxiliar de 28-METER-SEENOTRETTUNGSKREUZER
ALEMANIA (DGZRS)	8,5-METER-SEENOTRETTUNGSBOOT		8,52	3,10	0,95	5,50	18,00		158,00	1x PERKINS M215 C	
ALEMANIA (DGZRS)	TOTCHERBOOT (1)		8,90	3,60	0,65	4,50	32,00		410,00	2x STEYR MO 286 + Waterjets	Embarcacion auxiliar de 46-METER y 36,5-METER-SEENOTRETTUNGSKREUZER
ALEMANIA (DGZRS)	8,9-METER-SEENOTRETTUNGSBOOT		8,90	3,10	0,88	3,20	38,00		147,10	1x YAMAHA FL200G fueraborda	
EEUU (USCG)	DEFENDER CLASS RB-S	SAFE BOATS INT	9,00	2,60	0,98	8,60	46,00	2,80	336,00	2X Honda 4T fueraborda	Francobordo hecho en espuma de polietileno rígida
FRANCIA (SNSM)	VEDETTE LÉGERE		9,00	3,00	0,50	4,75	32,00		387,76		
DINAMARCA	MAGNUM-850 MKI	VIKING	9,13	3,27		4,40	40,00	3,20	469,80	2x intraborda diesel + waterjets	
DINAMARCA	MAYA-850 MKI	VIKING	9,19	3,29		4,50	40,00	3,40	469,80	2x intraborda diesel + waterjets	
ALEMANIA (DGZRS)	9,5-METER-SEENOTRETTUNGSBOOT		9,41	3,61	0,96	7,00	18,00		235,00	1x CUMMINS 6 BTA 5.9 M	
NORUEGA	MP 1000 FRDC MKII	MARITIME PARTNER	10,57	3,50	0,70	7,20	31,00		328,18	2X VOLVO PENTA D3 + Waterjets	Embarcacion del Carnota
DINAMARCA	MUNIN-1000	VIKING	10,60	3,51		6,15	40,00	3,75	454,88	2x intraborda diesel + waterjets	
ITALIA (GUARDIA COSTIERA)	CP 894 CLASE COSTIERO	CODECASADUE	11,00	4,20	0,85	11,00	33,00		548,84	2X VOLVO PENTA D9	
ITALIA (GUARDIA COSTIERA)	CP 610 CLASE SOCCORSO AEREO	FB DESIGN	11,43	3,10	0,85	6,70	43,00		522,00	2X IVECO AIFO FTP N67	
UK (RNLI)	MERSEY CLASS		11,62	4,00	1,02	14,30	17,00		417,59	2X CATERPILLAR 3208T 10,4L	
ESPAÑA	SAR BOAT M212	AISTER	11,80	4,00	0,60		32,00		372,85	2x Yamaha fueraborda	Proyecto
FRANCIA (SNSM)	VEDETTE DE 2ÈME CLASEE		11,95	4,46	1,20	14,50	28,00		596,56		
DINAMARCA	MUNIN-1200	VIKING	11,95	3,51		7,50	40,00	3,75	656,22	2x intraborda diesel + waterjets	
EEUU (USCG)	44' MLB	USCG YARD	13,00	3,86	1,00	17,50	14,00				
UK (RNLI)	SHANNON CLASS		13,60	4,50	1,00	18,00	25,00		969,42	2x 13L SCANIA D13 + Waterjets	
EEUU (USCG)	RB-M	MARINETTE MARINE CORPORATION	13,64	4,46	1,02	16,30	42,50		746,00	2x MTU DDEC Series 60 + RR Waterjets	
UK (RNLI)	TRENT-CLASS LIFEBOAT	GREEN MARINE	14,30	4,90	1,45	28,00	25,00		1282,00	2X MAN D2840LE DIESEL	
ESPAÑA (SASEMAR)	SALVAMAR 15m (ALUSAFE 1500)	ARMON	14,50	4,50	0,90	19,87	30,00	1,10	782,98		
EEUU (USCG)	47' MLB	TEXTRON MARINE	14,60	4,27	1,37	18,00	25,00		648,00	2x Detroit Diesel 6V92TA DDEC-IV	Hecho en aluminio
CANADÁ (CCG)	CAPE-CLASS MLB	TEXTRON MARINE	14,60	4,27	1,37	18,00	25,00		680,00	2X Caterpillar 3196 Diesel	Hecho en aluminio
FRANCIA (SNSM)	CANNOT TOUS TEMPS (SAUVETAGE)		15,50	4,30	1,50	20,00	25,00		596,56		
FRANCIA (SNSM)	VEDETTE DE 1ÈRE CLASSE		16,00	4,60	1,35	20,00	26,00		745,70		
UK (RNLI)	TAMAR CLASS		16,30	5,30	1,40	32,00	25,00		1565,97	2x 18L CATERPILLAR C18	
UK (RNLI)	SEVERN CLASS		17,30	5,90	1,78	42,00	25,00		1864,25	2X CATERPILLAR 3412 TA 27L	
FRANCIA (SNSM)	CANNOT TOUS TEMPS		18,05	5,20	1,50	32,00	25,00		969,00		
ITALIA (GUARDIA COSTIERA)	CP 301 ALTURA VELOCE	CODECASADUE	18,80	6,10	1,07	30,50	30,00		1618,00	2X MAN D2842 LE 410	
ALEMANIA (DGZRS)	20-METER-SEENOTRETTUNGSKREUZER		19,90	5,05	1,30	40,00	22,00		1232,00	1x CATERPILLAR C32 V12	
ITALIA (GUARDIA COSTIERA)	CP 329 CLASE AMMIRAGLIO POLLASTRINI	CANTIERE NAVALE	20,10	5,80	1,00	33,70	35,00		1790,00	2X MTU 8V2000M84L + Waterjet	
ESPAÑA (SASEMAR)	SALVAMAR 20m (ALUSAFE 2000)	ARMON	20,20	5,60	1,03	39,70	38,00		820,27		
ESPAÑA (SASEMAR)	SALVAMAR 21m (ALUSAFE 2000)	ARMON	21,50	5,60	1,03	39,70	40,00		1043,98		
ALEMANIA (DGZRS)	23,1-METER-SEENOTRETTUNGSKREUZER		23,10	6,00	1,60	80,00	23,00		1980,00	2X MTU 8V 396 TE	
ALEMANIA (DGZRS)	27,5-METER-SEENOTRETTUNGSKREUZER		27,50	6,53	2,10	103,00	23,00		2502,00	1x MTU 12V + 2X CATERPILLAR C18	
ALEMANIA (DGZRS)	28-METER-SEENOTRETTUNGSKREUZER		27,90	6,20	1,95	120,00	24,00		2880,00	2X MTU 16V	
ESPAÑA (SASEMAR)	GUARDAMAR	ARMON	31,90	7,00	2,00	129,00	30,00	3,35	3480,00		
ALEMANIA (DGZRS)	36,5-METER-SEENOTRETTUNGSKREUZER		36,45	8,20	2,70	220,00	25,00		4785,00	1X MTU 16V + 2X MTU 8V	
ESPAÑA (SASEMAR)	GUARDAMAR URANIA	ARMON	40,00	7,80	2,12	129,00	30,00	3,70	3680,00		
ALEMANIA (DGZRS)	46-METER-SEENOTRETTUNGSKREUZER		46,00	10,66	2,80	404,00	25,00		6800,00	1x MTU DIESEL 16V + 2X MTU DIESEL 12V	

ANEXO IV: CÓDIGO MATLAB

```
clear;
M = readmatrix('Base_Datos_Embarcaciones_Rescate_MATLAB.xlsx','Sheet','Base de
datos','Range','D3:J54'); %Carga de datos desde la base de datos de
embarcaciones

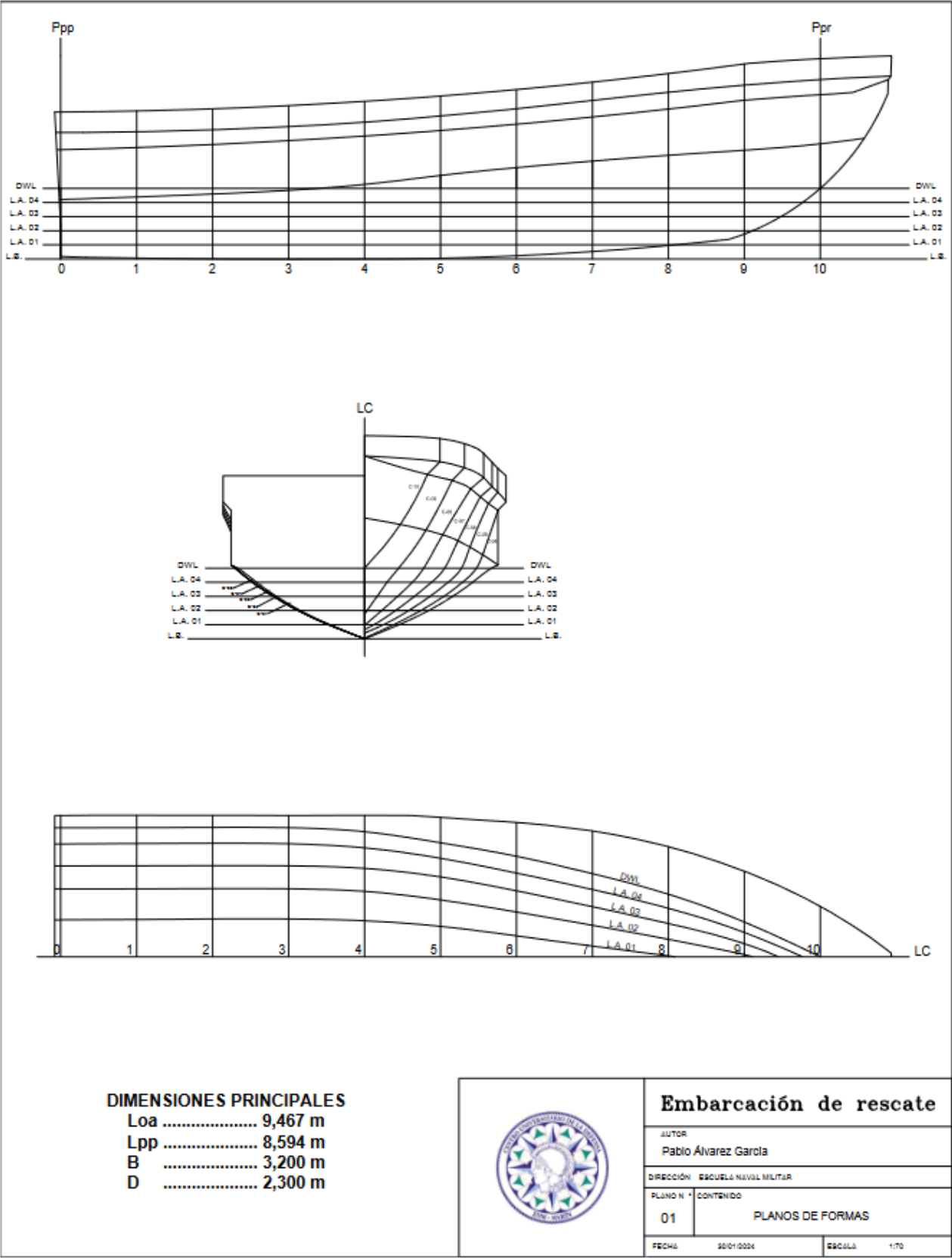
%Utilizamos este array para poner el título de cada gráfico
variable = ["Eslora", "Manga", "Calado", "Potencia", "Velocidad", "Puntal"];
tiledlayout(6,1) %Nos permite mostrar todos los gráficos en una ventana

%Este bucle va haciendo las regresiones una a una para cada variable
%Eslora, Manga, Calado, Potencia, Velocidad y Puntal en ese orden
for i = 1:6
    Initial = M(:,i); %Esta variable será una matriz formada, para cada
iteración, por el dato que estemos representando respecto al desplazamiento
    Desp = M(:,7);
    Data = rmmissing(horzcat(Initial,Desp));
    x = Data(:,2);
    y = Data(:,1);

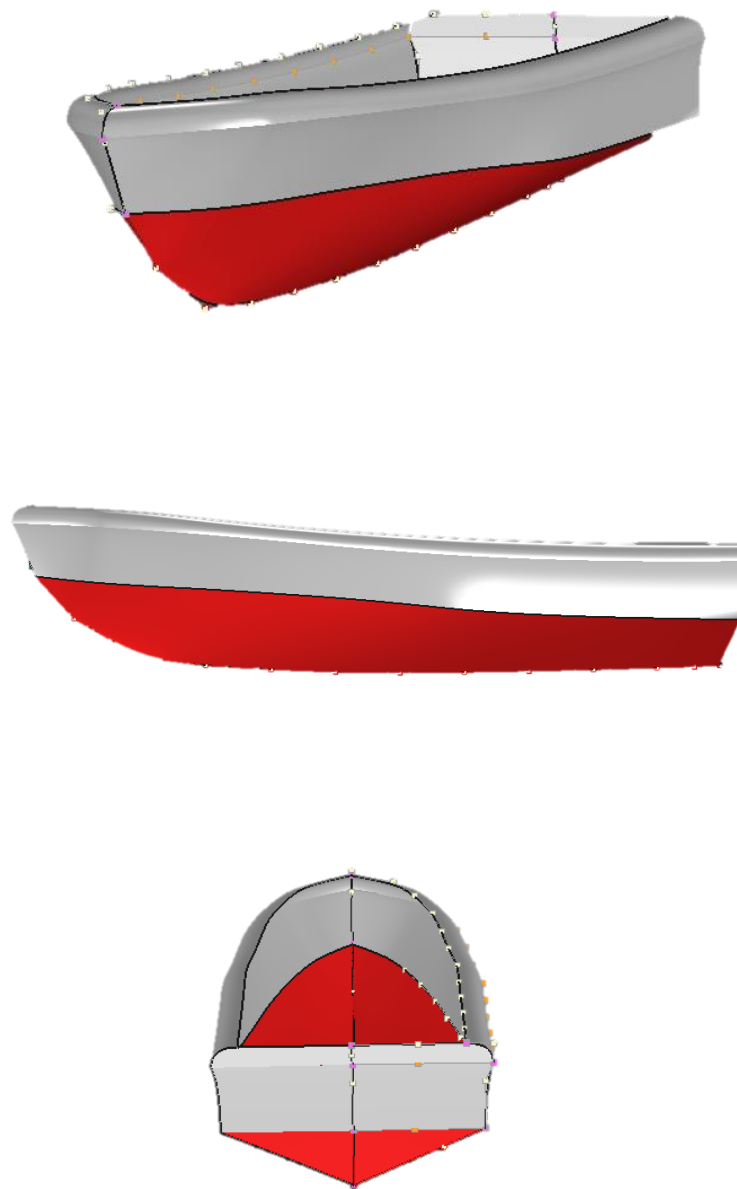
    %El código comentado hace una función similar al comando fitlm, que
    %solo está disponible con el add-on de Estadística y Machine Learning
    % format long;
    % b1 = x\y;
    % yCalc1 = b1*x;
    % scatter(x,y)
    % hold on
    % plot(x,yCalc1)
    % xlabel('Desplazamiento')
    % ylabel(variable(1,i))
    % title(variable(1,i), 'vs. Desplazamiento')
    % grid on
    % X1 = [ones(length(x),1) x];
    % B1 = X1\y;
    % yCalc2 = X1*B1;
    % plot(x,yCalc2,'--')
    % legend('Data','Slope','Slope & Intercept','Location','best');
    % Rsq1 = 1 - sum((y - yCalc1).^2)/sum((y - mean(y)).^2);
    % Rsq2 = 1 - sum((y - yCalc2).^2)/sum((y - mean(y)).^2);
    % Text1 = ['y=', num2str(b1), 'x; R^2=', num2str(Rsq1)];
    % Text2 = ['y=', num2str(B1(2,1)), 'x +', num2str(B1(1,1)), '; R^2=',
num2str(Rsq2)];
    % disp(Text1)
    % disp(Text2)

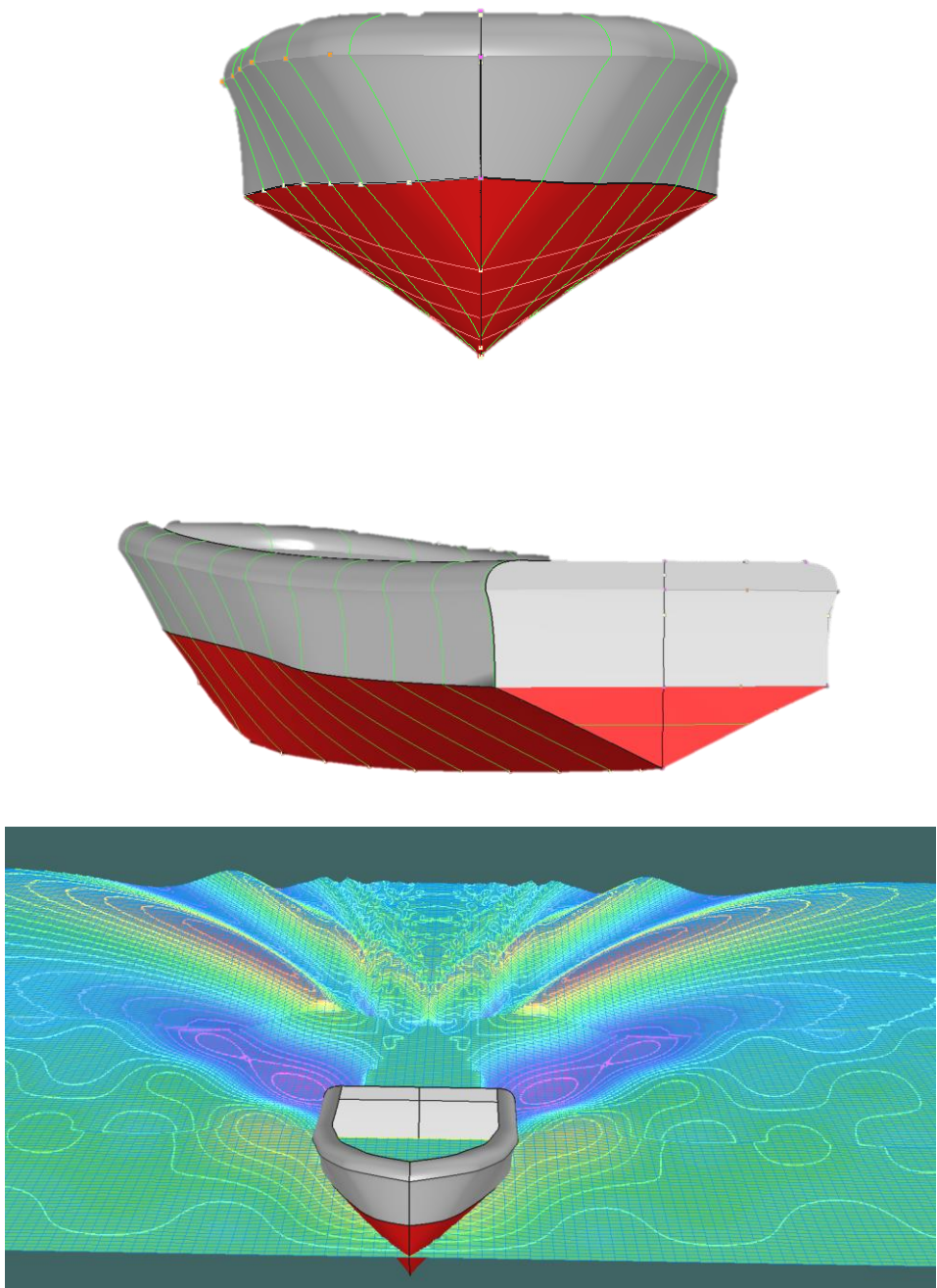
    Text3 = [num2str(variable(1,i)), ' vs. Desplazamiento'];
    disp(Text3)
    f1=fitlm(x,y)
    hold on
    nexttile;
    plot(f1)
    xlabel('Desplazamiento')
    ylabel(variable(1,i))
    title(variable(1,i), 'vs. Desplazamiento')
end;
disp("FIN")
```

ANEXO V: PLANO DE FORMAS



ANEXO VI: MODELADO EN MAXSURF





ANEXO VII: VOLVO PENTA D6-435 WJ

VOLVO PENTA **INBOARD DIESEL**

D6-435 WJ

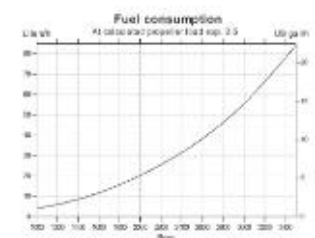
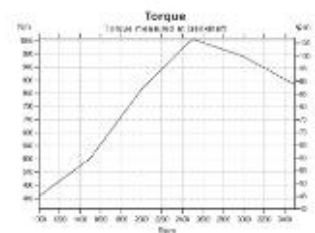
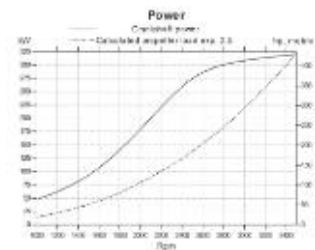


Technical Data

Engine designation	D6-435 I WJ
Crankshaft power, kW (hp)	320 (435)
Propeller shaft power, kW (hp)	N/A
Engine speed, rpm	3500
Displacement, l (in ³)	5.5 (336)
Number of cylinders	6
Bore/stroke, mm (in.)	103/110 (4.06/4.33)
Compression ratio	17.5:1
Dry weight Bobtail, kg (lb)	584 (1287)
Emission compliance	IMO NOx, EU RCD Stage II, US EPA Tier 3
Rating	R5*

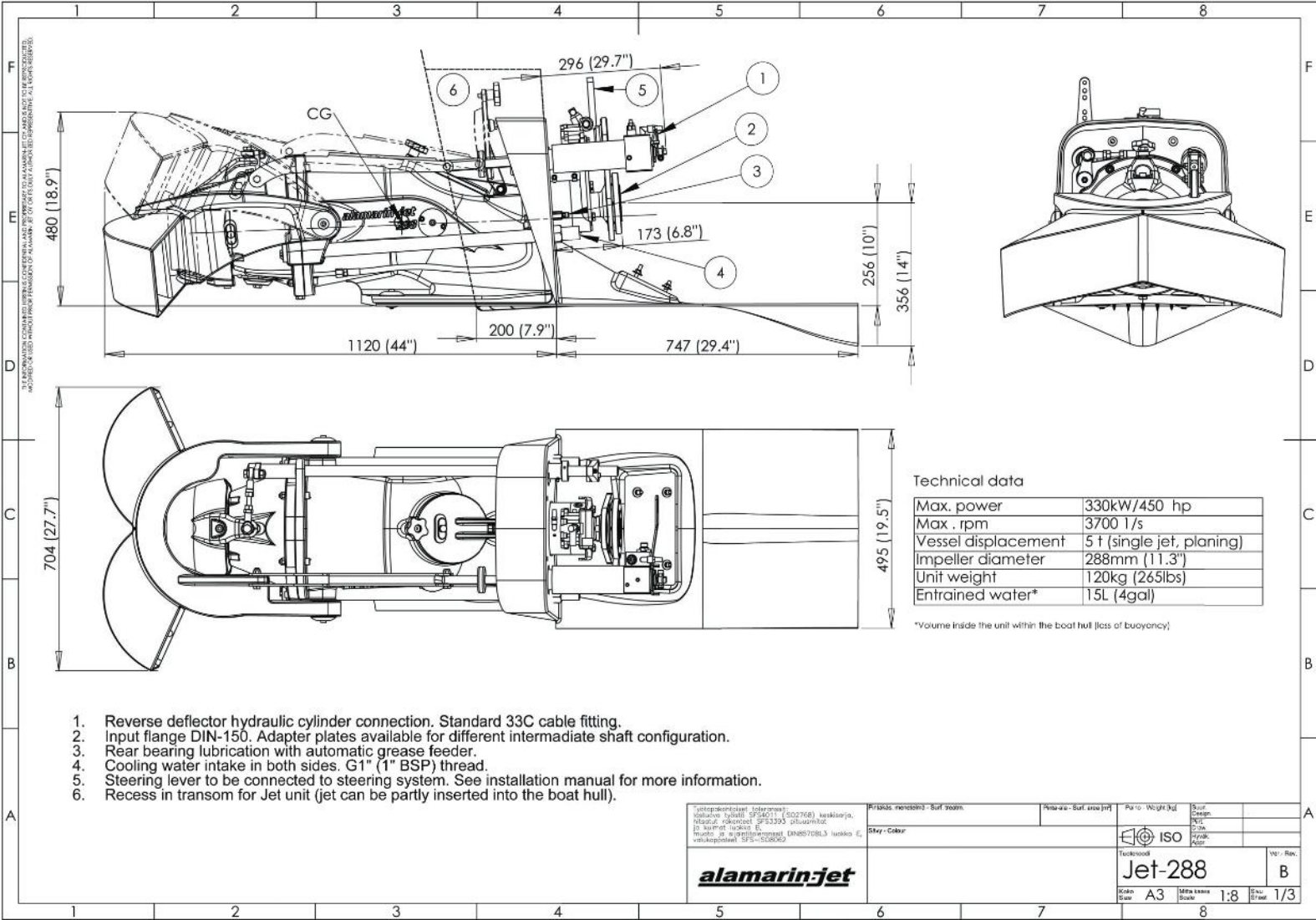
Technical data according to ISO 8665. With fuel having an LHV of 42700 kJ/kg and density of 840 g/liter at 15°C (60°F). Merchant fuel may differ from this specification which will influence engine power output and fuel consumption.

* RATING 5. For pleasure craft applications, and can be used for high speed planing crafts in commercial applications

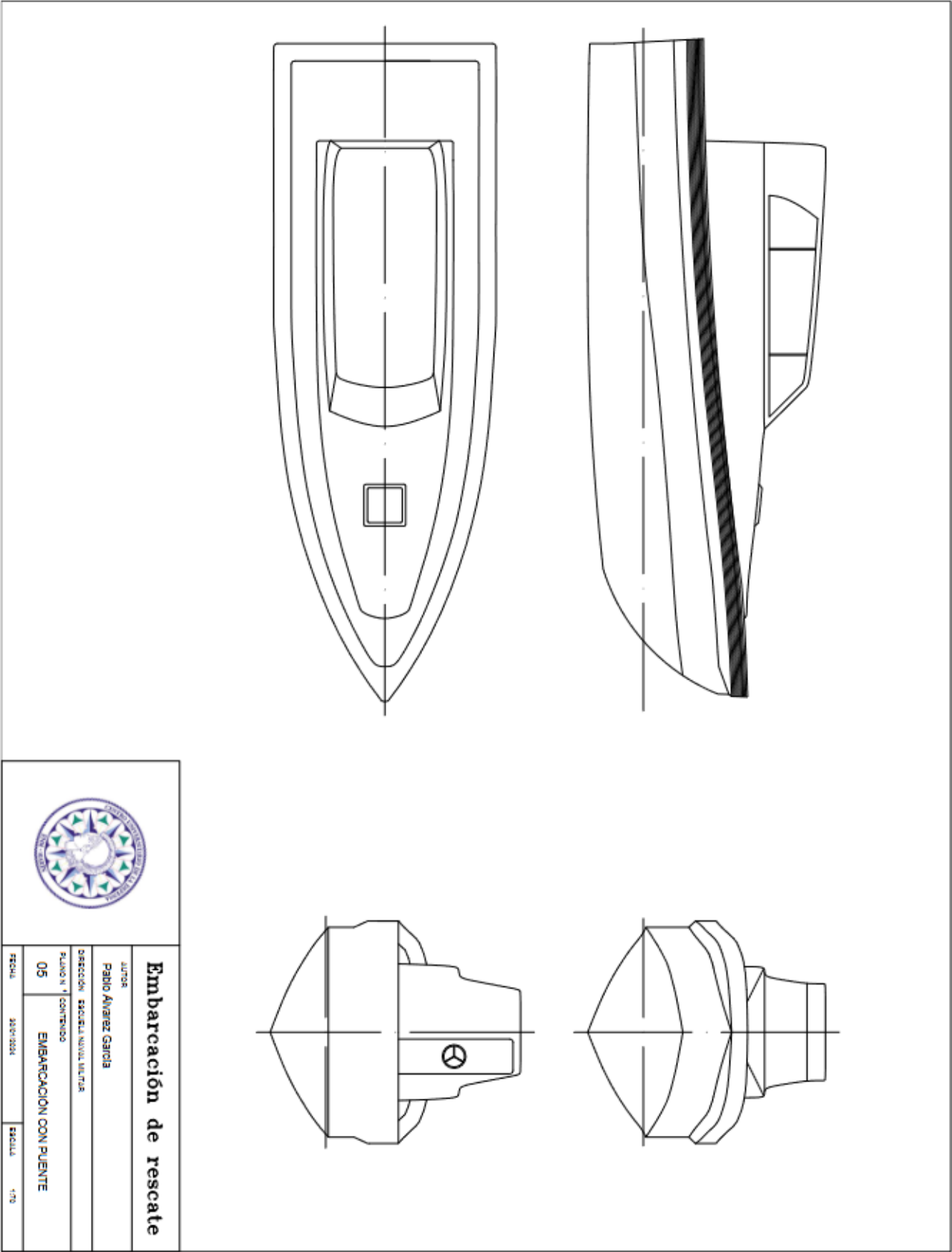


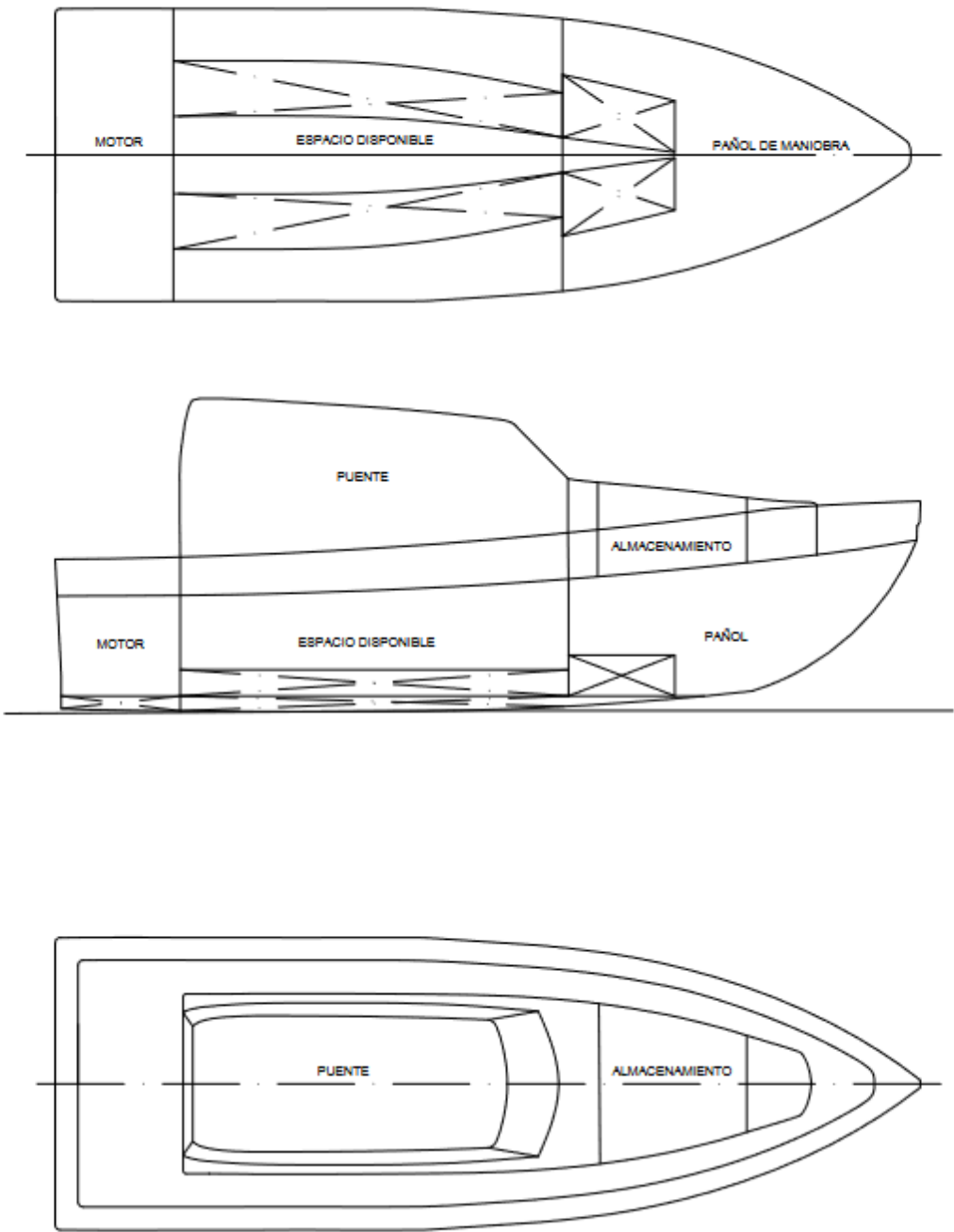
**VOLVO
PENTA**

ANEXO VIII: WATERJET AJ288

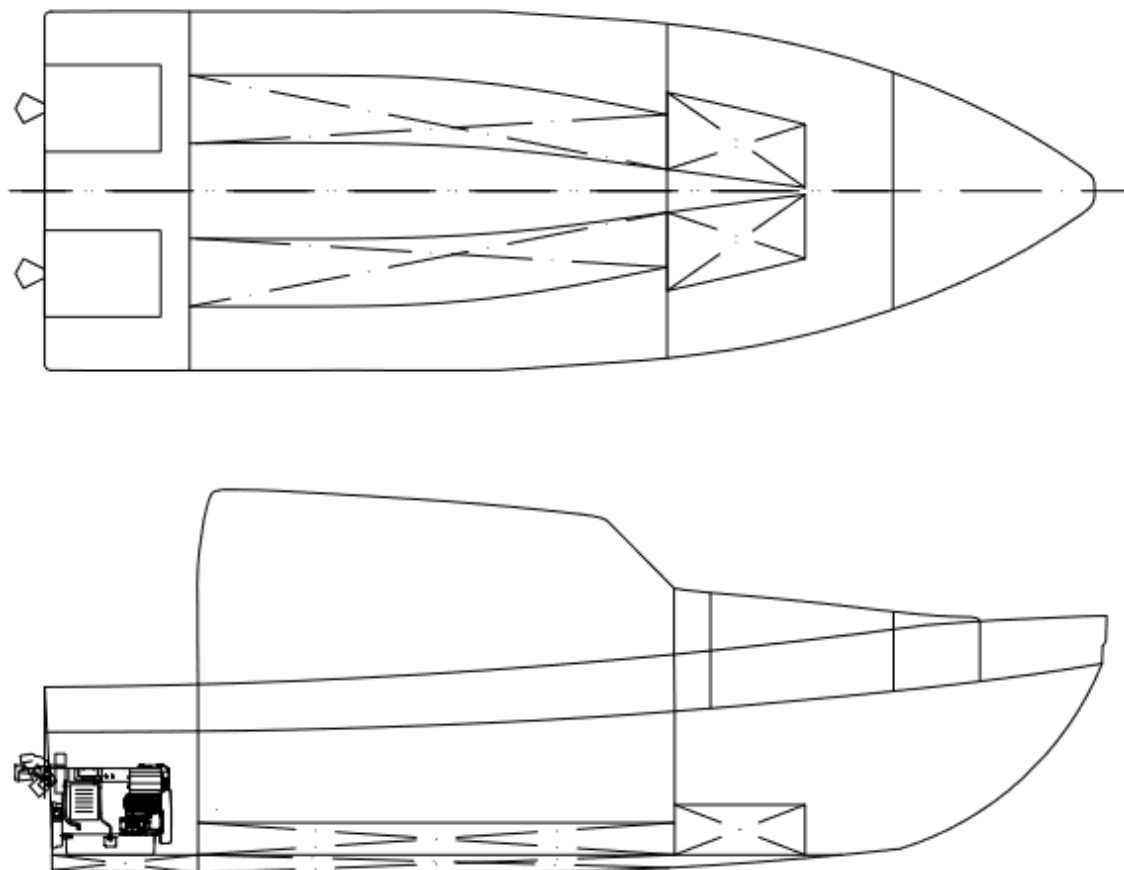


ANEXO IX: DISPOSICIÓN GENERAL





	Embarcación de rescate	
	AUTOR	
	Pablo Álvarez García	
	DIRECCIÓN	
	ESCUELA NAVAL MILITAR	
PLANO N.º	CONTENIDO	
07	CABEZA DE TANQUES	
FECHA	20/02/2024	ESCALA 1/70



Embarcación de rescate

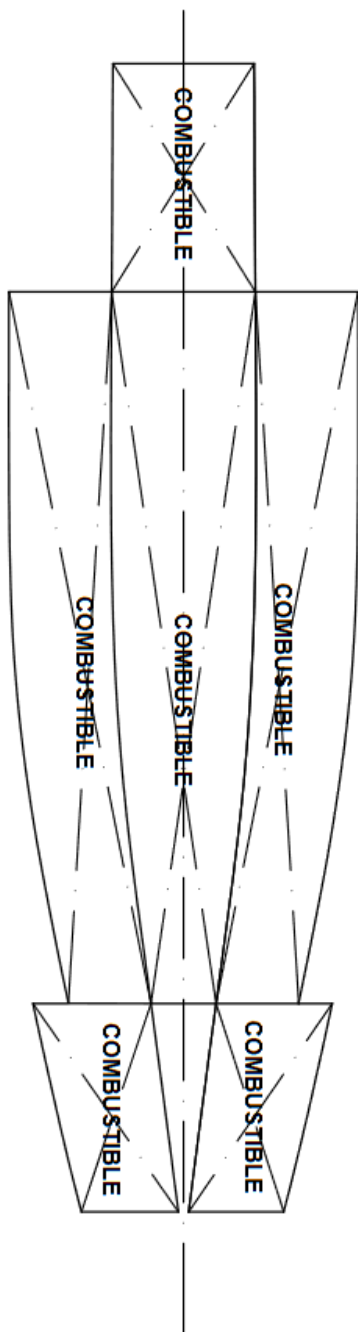
AUTOR
Pablo Álvarez García

DIRECCIÓN ESCUELA NAVAL MILITAR

PLANO N°	CONTENIDO
08	SALA DE MAQUINAS

FECHA 20/02/2024

ESCALA 1:70



		Embarcación de rescate	
		AUTOR Pablo Álvarez García DIRECCIÓN ESQUELA NAVA, MILITAR	
PLANO N.º CONTENIDO 07		CABEZA DE TANQUES	
FECHA 20/02/2024	ESCALA 1:40		

ANEXO X: PRESUPUESTOS CONSTRUCCIÓN EMBARCACIÓN

Acero casco	622,26	l/Tn
Coefficiente de chapas y perfiles	1,1	
Coefficiente de aprovechamiento	1,15	
Coefficiente de equipo metálico	1,1	
Peso	7,775	Tn
Soldadura 3%	0,23	Tn
Coste de materiales	6877,32	l

Valor de hora media	50	l/h
Horas por unidad de peso	50	h/Tn
Peso	7,78	Tn
Coste total mano de obra	19437,5	l

Coste propulsion sin iva	105956	l
IVA	22250,76	l
Waterjet	10000	l
Coste resto de equipos	6844,98	l

Coste total de equipos	145051,74	l
------------------------	-----------	---

Coste variable	17136,66	l
Coste de construcción	168503,21	l
Beneficio industrial	56550,96	l

Coste de adquisición	245054,18	l
----------------------	-----------	---

Presupuesto acero	
PARTIDA PRESUPUESTARIA	VALORACIÓN ECONÓMICA (l)
Estructura	
Acero del casco	6732,176
Soldadura	145,14
Equipos	
Propulsión	138206,76
Navegación	5927,99
Seguridad	916,99
Variables	
Estudios especiales y ensayos	8568,33
Representación y otros	8568,33
Coste de construcción	
Coste de construcción	168503,21
Beneficio industrial	
30% del coste de la construcción	56550,96
Coste buque	
Coste buque	245054,18
Inversion total	
Gastos del armador	62834,40
Inversion total	251337,62

Aluminio casco	2.254,95	l/Tn
Coefficiente de chapas y perfiles	1,1	
Coefficiente de aprovechamiento	1,15	
Coefficiente de equipo metálico	1,1	
Peso	7,78	Tn
Soldadura 3%	0,23	Tn
Coste de materiales	24922,07	l

Valor de hora media	50	l/h
Horas por unidad de peso	50	h/Tn
Peso	7,78	Tn
Coste total mano de obra	19437,5	l

Coste propulsion sin iva	105956	l
IVA	22250,76	l
Waterjet	10000	l
Coste resto de equipos	6844,98	l

Coste total de equipos	145051,74	l
------------------------	-----------	---

Coste variable	18941,13	l
Coste de construcción	208352,45	l
Beneficio industrial	62505,73	l

Coste de adquisición	270858,18	l
----------------------	-----------	---

Presupuesto aluminio	
PARTIDA PRESUPUESTARIA	VALORACIÓN ECONÓMICA (l)
Estructura	
Aluminio del casco	24396,107
Soldadura	525,97
Equipos	
Propulsión	138206,76
Navegación	5927,99
Seguridad	916,99
Variables	
Estudios especiales y ensayos	9470,57
Representación y otros	9470,57
Coste de construcción	
Coste de construcción	208352,45
Beneficio industrial	
30% del coste de la construcción	62505,73
Coste buque	
Coste buque	270858,18
Inversion total	
Gastos del armador	69450,82
Inversion total	277803,26

Fibra de vidrio casco	4734,78	l/Tn
Coefficiente de chapas y perfiles	1,1	
Coefficiente de aprovechamiento	1,15	
Coefficiente de equipo metálico	1,1	
Peso	7,78	Tn
Coste de materiales	51225,17	l

Valor de hora media	50	l/h
Horas por unidad de peso	50	h/Tn
Peso	7,78	Tn
Coste total mano de obra	19437,5	l

Coste propulsion sin iva	105956	l
IVA	22250,76	l
Waterjet	10000	l
Coste resto de equipos	6844,98	l

Coste total de equipos	145051,74	l
------------------------	-----------	---

Coste variable	21571,44	l
Coste de construcción	237285,85	l
Beneficio industrial	71185,76	l

Coste de adquisición	308471,61	l
----------------------	-----------	---

Presupuesto fibra de vidrio	
PARTIDA PRESUPUESTARIA	VALORACIÓN ECONÓMICA (l)
Estructura	
Fibra de vidrio del casco	51225,171
Soldadura	0,00
Equipos	
Propulsión	138206,76
Navegación	5927,99
Seguridad	916,99
Variables	
Estudios especiales y ensayos	10785,72
Representación y otros	10785,72
Coste de construcción	
Coste de construcción	237285,85
Beneficio industrial	
30% del coste de la construcción	71185,76
Coste buque	
Coste buque	308471,61
Inversion total	
Gastos del armador	79095,28
Inversion total	316381,14

ANEXO XI: CARTILLA DE TRAZADO

SECCIÓN	SEMIMANGAS						
	REGALA	CODILLO	DWL	WL 04	WL 03	WL 02	WL 01
0	1600	1510	1510	1427	1043	-	-
1	1600	1510	1510	1373	1027	679	330
2	1600	1509	1509	1324	1006	676	340
3	1600	1509	1509	1269	976	664	337
4	1600	1509	1419	1180	915	628	321
5	1600	1336	1190	1000	784	542	274
6	1507	1191	984	820	635	428	196
7	1442	1080	795	646	484	304	102
8	1348	884	588	455	315	165	-
9	1131	694	319	195	81	-	-
10	854	405	-	-	-	-	-

DISEÑO CONCEPTUAL DE EMBARCACIÓN DE RESCATE: ANÁLISIS DE SU
ESTABILIDAD SOBRE CÁLCULOS BASADOS EN FORMAS CUADRÁTICAS

1	-4,297	1,51	0,8	Surface 2	Internal	DWL	--	0
1	-4,297	1,043	0,48	Surface 1	Internal	wl 3	--	0
1	-4,297	1,427	0,64	Surface 1	Internal	wl 4	--	0
1	-4,297	1,51	0,8	Surface 2	Internal	wl 5	--	0
1	-4,297	1,509	0,674	Surface 1	Top	Edge: Surface 1	--	0
1	-4,297	0,797	0,375	Surface 1	Right	Edge: Surface 1	--	0
1	-4,297	1,509	0,674	Surface 2	Bottom	Edge: Surface 2	--	0
1	-4,297	1,3	1,664	Surface 3	Top	Edge: Surface 3	--	0
1	-4,297	0,797	0,375	Surface 4	Bottom	Edge: Surface 4	--	0
1	-4,297	0	0,371	Surface 4	Left	Edge: Surface 4	--	0
2	-3,438	1,51	0,8	Surface 2	Internal	DWL	--	0
2	-3,438	0,33	0,16	Surface 1	Internal	wl 1	--	0
2	-3,438	0,679	0,32	Surface 1	Internal	wl 2	--	0
2	-3,438	1,027	0,48	Surface 1	Internal	wl 3	--	0
2	-3,438	1,373	0,64	Surface 1	Internal	wl 4	--	0
2	-3,438	1,51	0,8	Surface 2	Internal	wl 5	--	0
2	-3,438	1,509	0,703	Surface 1	Top	Edge: Surface 1	--	0
2	-3,438	0	0,009	Surface 1	Bottom	Edge: Surface 1	--	0
2	-3,438	1,509	0,703	Surface 2	Bottom	Edge: Surface 2	--	0
2	-3,438	1,3	1,678	Surface 3	Top	Edge: Surface 3	--	0
3	-2,578	1,509	0,8	Surface 2	Internal	DWL	--	0
3	-2,578	0,34	0,16	Surface 1	Internal	wl 1	--	0
3	-2,578	0,676	0,32	Surface 1	Internal	wl 2	--	0
3	-2,578	1,006	0,48	Surface 1	Internal	wl 3	--	0
3	-2,578	1,324	0,64	Surface 1	Internal	wl 4	--	0
3	-2,578	1,509	0,8	Surface 2	Internal	wl 5	--	0
3	-2,578	1,509	0,737	Surface 1	Top	Edge: Surface 1	--	0
3	-2,578	0	0,001	Surface 1	Bottom	Edge: Surface 1	--	0
3	-2,578	1,509	0,737	Surface 2	Bottom	Edge: Surface 2	--	0
3	-2,578	1,3	1,703	Surface 3	Top	Edge: Surface 3	--	0
4	-1,719	1,509	0,8	Surface 2	Internal	DWL	--	0
4	-1,719	0,337	0,16	Surface 1	Internal	wl 1	--	0
4	-1,719	0,664	0,32	Surface 1	Internal	wl 2	--	0
4	-1,719	0,976	0,48	Surface 1	Internal	wl 3	--	0
4	-1,719	1,269	0,64	Surface 1	Internal	wl 4	--	0
4	-1,719	1,509	0,8	Surface 2	Internal	wl 5	--	0
4	-1,719	1,509	0,783	Surface 1	Top	Edge: Surface 1	--	0
4	-1,719	0	0	Surface 1	Bottom	Edge: Surface 1	--	0
4	-1,719	1,509	0,783	Surface 2	Bottom	Edge: Surface 2	--	0
4	-1,719	1,3	1,74	Surface 3	Top	Edge: Surface 3	--	0
5	-0,859	1,419	0,8	Surface 1	Internal	DWL	--	0
5	-0,859	0,321	0,16	Surface 1	Internal	wl 1	--	0
5	-0,859	0,628	0,32	Surface 1	Internal	wl 2	--	0
5	-0,859	0,915	0,48	Surface 1	Internal	wl 3	--	0
5	-0,859	1,18	0,64	Surface 1	Internal	wl 4	--	0

5	-0,859	1,419	0,8	Surface 1	Internal	wl 5	--	0
5	-0,859	1,487	0,85	Surface 1	Top	Edge: Surface 1	--	0
5	-0,859	0	0,001	Surface 1	Bottom	Edge: Surface 1	--	0
5	-0,859	1,487	0,85	Surface 2	Bottom	Edge: Surface 2	--	0
5	-0,859	1,3	1,787	Surface 3	Top	Edge: Surface 3	--	0
6	0	1,19	0,8	Surface 1	Internal	DWL	--	0
6	0	0,274	0,16	Surface 1	Internal	wl 1	--	0
6	0	0,542	0,32	Surface 1	Internal	wl 2	--	0
6	0	0,784	0,48	Surface 1	Internal	wl 3	--	0
6	0	1	0,64	Surface 1	Internal	wl 4	--	0
6	0	1,19	0,8	Surface 1	Internal	wl 5	--	0
6	0	1,339	0,945	Surface 1	Top	Edge: Surface 1	--	0
6	0	0	0,011	Surface 1	Bottom	Edge: Surface 1	--	0
6	0	1,339	0,945	Surface 2	Bottom	Edge: Surface 2	--	0
6	0	1,288	1,847	Surface 3	Top	Edge: Surface 3	--	0
7	0,859	0,984	0,8	Surface 1	Internal	DWL	--	0
7	0,859	0,196	0,16	Surface 1	Internal	wl 1	--	0
7	0,859	0,428	0,32	Surface 1	Internal	wl 2	--	0
7	0,859	0,635	0,48	Surface 1	Internal	wl 3	--	0
7	0,859	0,82	0,64	Surface 1	Internal	wl 4	--	0
7	0,859	0,984	0,8	Surface 1	Internal	wl 5	--	0
7	0,859	1,192	1,035	Surface 1	Top	Edge: Surface 1	--	0
7	0,859	0	0,038	Surface 1	Bottom	Edge: Surface 1	--	0
7	0,859	1,192	1,035	Surface 2	Bottom	Edge: Surface 2	--	0
7	0,859	1,211	1,919	Surface 3	Top	Edge: Surface 3	--	0
8	1,719	0,795	0,8	Surface 1	Internal	DWL	--	0
8	1,719	0,102	0,16	Surface 1	Internal	wl 1	--	0
8	1,719	0,304	0,32	Surface 1	Internal	wl 2	--	0
8	1,719	0,484	0,48	Surface 1	Internal	wl 3	--	0
8	1,719	0,646	0,64	Surface 1	Internal	wl 4	--	0
8	1,719	0,795	0,8	Surface 1	Internal	wl 5	--	0
8	1,719	1,052	1,109	Surface 1	Top	Edge: Surface 1	--	0
8	1,719	0	0,087	Surface 1	Bottom	Edge: Surface 1	--	0
8	1,719	1,052	1,109	Surface 2	Bottom	Edge: Surface 2	--	0
8	1,719	1,138	2,004	Surface 3	Top	Edge: Surface 3	--	0
9	2,578	0,588	0,8	Surface 1	Internal	DWL	--	0
9	2,578	0,165	0,32	Surface 1	Internal	wl 2	--	0
9	2,578	0,315	0,48	Surface 1	Internal	wl 3	--	0
9	2,578	0,455	0,64	Surface 1	Internal	wl 4	--	0
9	2,578	0,588	0,8	Surface 1	Internal	wl 5	--	0
9	2,578	0,882	1,175	Surface 1	Top	Edge: Surface 1	--	0
9	2,578	0	0,161	Surface 1	Bottom	Edge: Surface 1	--	0
9	2,578	0,882	1,175	Surface 2	Bottom	Edge: Surface 2	--	0
9	2,578	1,033	2,101	Surface 3	Top	Edge: Surface 3	--	0
10	3,438	0,319	0,8	Surface 1	Internal	DWL	--	0

DISEÑO CONCEPTUAL DE EMBARCACIÓN DE RESCATE: ANÁLISIS DE SU
ESTABILIDAD SOBRE CÁLCULOS BASADOS EN FORMAS CUADRÁTICAS

10	3,438	0,081	0,48	Surface 1	Internal	wl 3	--	0
10	3,438	0,195	0,64	Surface 1	Internal	wl 4	--	0
10	3,438	0,319	0,8	Surface 1	Internal	wl 5	--	0
10	3,438	0,682	1,234	Surface 1	Top	Edge: Surface 1	--	0
10	3,438	0	0,331	Surface 1	Bottom	Edge: Surface 1	--	0
10	3,438	0,682	1,234	Surface 2	Bottom	Edge: Surface 2	--	0
10	3,438	0,824	2,203	Surface 3	Top	Edge: Surface 3	--	0
11	4,297	0,35	1,309	Surface 1	Top	Edge: Surface 1	--	0
11	4,297	0	0,8	Surface 1	Left	Edge: Surface 1	--	0
11	4,297	0,35	1,309	Surface 2	Bottom	Edge: Surface 2	--	0
11	4,297	0,464	2,267	Surface 3	Top	Edge: Surface 3	--	0

ANEXO XII: CÁLCULO DE PRESUPUESTO

La obtención del presupuesto mediante cifra de mérito se ha realizado según [42].

Para lograr un presupuesto aproximado mediante exploración de cifra de mérito se siguen tres pasos fundamentales:

1. Buscamos una cifra de coste de construcción (CC). Esta cifra reflejará los costes de materiales, equipos y servicios (CEMS) por una parte y, por otra, le coste de la mano de obra (CMO).

$$CC = CEMS + CMO$$

2. El siguiente paso será obtener el valor de la construcción. En este se encuadra la suma del coste de construcción (CC), el beneficio industrial (BI) y deducidas las posibles subvenciones estatales en caso de existir PB.

$$VA = CC + BI - PB$$

3. En este paso procedemos a calcular la inversión total. En esta va incluida el valor de construcción (VA) del buque y los gastos del armador derivados de las fundiciones de inspección, adiestramiento, pertrechado, notaría, etc.

$$IT = VA \cdot GA$$

Obtención del coste de la construcción

En este primer paso se aplica la fórmula desglosada de CC, es decir:

$$CC = C_{Mg} + C_{Eq} + C_{MO} + C_{Va}$$

Donde:

C_{Mg} : coste de materiales a granel

C_{MO} : coste de mano de obra

C_{Eq} : coste de los equipos del buque

C_{Va} : coste variable (sociedad de clasificación, representación)

COSTE DE MATERIALES A GRANEL

$$C_{Mg} = ccs \cdot cas \cdot cem \cdot ps \cdot PS$$

ccs: coeficiente de chapas y perfiles

cas: coeficiente de aprovechamiento de acero, esto se mueve en el intervalo [1,08; 1,15]

cem: coeficiente de equipo metálico (tecles, puertas, candeleros, escalas, etc.) entre 1,03 y 1,10

ps: precio unitario de mercado.

Para todos los coeficientes se ha tomado el límite superior, suponiendo el peor caso posible, de esta manera se obtiene el coste máximo.

Normalmente, se puede aproximar el peso total del acero necesario del barco mediante fórmulas empíricas, sin embargo, en nuestro caso ya disponemos del dato necesario.

COSTE DE LA MANO DE OBRA

Viene dado por la suma de la mano de obra para la construcción (C_{Mm}) y la mano de obra derivada de la instalación y montaje de equipos (C_{Me}).

$$CMO = C_{Mm} + C_{Me}$$

Donde la mano de obra de la construcción se obtiene de la fórmula:

$$C_{Mm} = chm \cdot csh \cdot PS$$

chm: valor de hora media del astillero (50€/h)

csh: horas por unidad de peso (capacidad del astillero) (50h/Tn)

COSTE DE LOS EQUIPOS

En esta partida se incluye el valor propio de todos los equipos que se vayan a instalar, incluyendo propulsión, navegación, electrónica, etc. Para nuestro caso se han incluido el precio de mercado de los equipos que se piensan incluir y que han sido descritos en la memoria.

COSTES VARIABLES

Se calculan como un porcentaje del coste de construcción, generalmente, varía entre (0,05;0,10), de nuevo, para nuestro caso, seleccionaremos el límite superior. Estos costes son los derivados de ensayos de canal, estudios de ingeniería suplementarios, representación, etc.

Para su cálculo obtenemos el 90% del coste de construcción, es decir, sin tener en cuenta los costes variables y, posteriormente calculamos su valor final de la siguiente manera.

$$C_{Va} = 0,1 \cdot (CC(90\%)/0,9)$$

Obtención del coste de adquisición

Esta cifra se determina para conocer el precio del buque, en ella se refleja el coste de construcción sumado al beneficio industrial inherente a toda actividad mercantil. También aparecen reflejadas las primas y subvenciones que puedan afectar que, para nuestro caso, no consideraremos. La expresión quedaría de la siguiente forma:

$$VA = CC + BI - PB$$

El beneficio industrial se toma en base al coste de construcción y, por lo general, es el 30% del mismo.

Inversión total

Esta es la cifra definitiva del presupuesto y es un valor muy interesante para el armador. Se compone del valor de adquisición y los gastos del armador.

Normalmente, se toma como valor de los gastos del armador entre un 15% y un 25% de la inversión total, elegimos, de nuevo, el límite superior, quedando la siguiente la fórmula para su cálculo:

$$IT = VA/0,75$$