



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
DESARROLLO DE EMBARCACIÓN DE RECREO CON
PROPULSIÓN ELÉCTRICA

Autor: Antón García Ferri

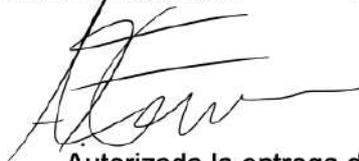
Director: Juan de Norverto Moriñigo

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Desarrollo de Embarcación de Propulsión Eléctrica
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/2023 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Anton Garcia Ferri

Fecha: .09.../ .06.../ 2023



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan de Norverto Moriñigo

Fecha: .09.../ .06.../ 2023

**DE NORVERTO
MORIÑIGO
JUAN -
09746499L**

Firmado digitalmente
por DE NORVERTO
MORIÑIGO JUAN -
09746499L
Fecha: 2023.06.09
20:06:39 +02'00'



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
DESARROLLO DE EMBARCACIÓN DE RECREO CON
PROPULSIÓN ELÉCTRICA

Autor: Antón García Ferri

Director: Juan de Norverto Moriñigo

Madrid

Desarrollo de embarcación con propulsión eléctrica

Autor: García Ferri, Antón

Director: Juan de Norverto Moriñigo

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

Resumen del Proyecto

Palabras clave: embarcación eléctrica, transporte sostenible, transporte náutico, embarcación de recreo

1. Introducción

Realizar el diseño de una embarcación de propulsión eléctrica de 6 metros para su uso como embarcación de recreo, con el fin de hacer este deporte mas sostenible.

2. Definición del proyecto

Comenzar haciendo un estudio de las características necesarias para dicha embarcación tanto de potencia como autonomía. Se asumirá que se utilizara para salidas de día, es decir salir por la mañana del puerto y vuelta por la tarde.

Una vez conocidas las características de la embarcación se hará un estudio de mercado para ver las diferentes posibilidades y tecnología existente en referencia a los componentes que se van a usar, se buscara la viabilidad económica y la eficiencia.

Por ultimo, se tendrá en cuenta la legislación vigente procediendo a legalizar la embarcación en territorio español. Para ello se estudiarán los elementos de seguridad y la documentación necesaria.

3. Hoja de ruta

Para desarrollar el producto se seguirán los siguientes pasos:

1. Determinar el propósito y los requisitos de la embarcación. Se tendrán en diferentes factores: peso, velocidad, autonomía y uso deseado.
2. Se elegirá el casco mas conveniente para el tipo de uso, buscando un casco disponible comercialmente y comparando entre diferentes proveedores.
3. Se elegirá un sistema de propulsión eléctrica adecuado y viable económicamente, estudiando así el tipo y capacidad de las baterías y del motor, también se decidirán los demás componentes necesarios debido al uso del barco.
4. Se hará un esquema de las conexiones y se elegirán cables y conexiones apropiados para proporcionar seguridad y fiabilidad. Se incluirá también un esquema del reparto de pesos y colocación de baterías y motor.
5. Se estudiará la legislación española y hará un estudio económico para obtener todos los elementos de seguridad

4. Conclusiones

Una de las principales limitaciones identificadas en el estudio fue la autonomía limitada de las embarcaciones eléctricas, a pesar de los avances en la eficiencia de las baterías. El peso adicional de los componentes eléctricos, que representa alrededor del 40% más en comparación con las embarcaciones convencionales, afecta el desplazamiento y la eficiencia energética. Para superar esta limitación, es crucial investigar y desarrollar baterías más livianas y potentes que aumenten la capacidad de almacenamiento sin incrementar significativamente el peso de la embarcación. Aunque este desafío persiste, el estudio respalda la viabilidad y eficiencia de los barcos eléctricos, destacando su potencial para una navegación más sostenible.

Development of an electric propulsion boat.

Author: García Ferri, Antón

Director: Juan de Norverto Moriñigo

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

Key words: Electric vessel, sustainable transportation, nautical transportation, recreational vessel.

1. Introduction

Design an electric propulsion boat of 6 meters for use as a recreational boat, in order to make this sport more sustainable.

2. Project Definition

Start by conducting a study of the necessary characteristics for the boat, in terms of power and autonomy. It will be assumed that it will be used for day trips, i.e. leaving the port in the morning and returning in the evening.

Once the characteristics of the boat are known, a market study will be done to see the different possibilities and existing technology in reference to the components that will be used, the economic feasibility and efficiency will be sought.

Finally, the current legislation will be taken into account, proceeding to legalize the boat in Spanish territory. For this, the safety elements and necessary documentation will be studied.

3. Road Map

To develop the product, the following steps will be followed:

1. Determine the purpose and requirements of the boat. Different factors will be taken into consideration: weight, speed, autonomy, and desired use.
2. The most suitable hull will be chosen for the type of use, seeking a commercially available hull and comparing among different providers.
3. An appropriate and economically viable electric propulsion system will be chosen, studying the type and capacity of the batteries and the motor, and the other necessary components will also be decided due to the use of the boat.
4. A scheme of the connections will be made, and appropriate cables and connections will be chosen to provide safety and reliability. A scheme of weight distribution and battery and motor placement will also be included.
5. The Spanish legislation will be studied, and an economic study will be conducted to obtain all safety elements.

4. Conclusion

One of the main limitations identified in the study was the limited range of electric boats, despite advances in battery efficiency. The additional weight of the electric components, which accounts for around 40% more compared to conventional vessels, affects displacement and energy efficiency. To overcome this limitation, it is crucial to research and develop lighter and more powerful batteries that increase storage capacity without significantly increasing the weight of the boat. Although this challenge persists, the study supports the viability and efficiency of electric boats, highlighting their potential for more sustainable navigation.

ÍNDICE DE LA MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA	8
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 INTRODUCCIÓN AL PROYECTO	13
1.2 HISTORIA DE LA NÁUTICA DE RECREO	14
1.3 NECESIDAD DEL PROYECTO	15
1.4 MOVILIDAD ELÉCTRICA.....	17
1.4.1 <i>Crecimiento de las energías renovables</i>	17
1.4.2 <i>Crecimiento del transporte eléctrico</i>	19
CAPÍTULO 2: OBJETIVOS	23
2.1 OBJETIVOS PRINCIPALES.....	23
2.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	24
CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE	26
3.1 INTRODUCCIÓN.....	26
3.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	26
3.3 ANTECEDENTES.....	26
3.4 MARCO TEÓRICO.....	27
3.5 ESTADO ACTUAL.....	27
3.6 PROBLEMAS.....	28
3.7 CONCLUSIÓN	28
CAPÍTULO 4: ESTUDIO PREVIO	29
4.1 PROPÓSITO	29
4.2 REQUISITOS	29
4.2.1 <i>Autonomía</i>	29
4.3 CÁLCULOS PREVIOS.....	31
4.3.1 <i>Potencia motor</i>	31
4.3.2 <i>Capacidad de la batería</i>	33
4.3.3 <i>Peso & Desplazamiento</i>	33
CAPÍTULO 5: COMPONENTES PRINCIPALES.....	36
5.1 CASCO.....	36
5.1.1 <i>Planos del casco</i>	36
5.2 MOTOR.....	36
5.3 HÉLICE	41
5.3.1 <i>Cálculos Hélice</i>	41
5.3.2 <i>Cavitación</i>	45
5.4 BATERÍAS	50
5.4.1 <i>Cálculos batería</i>	50
4.4.2 <i>Tipos de batería</i>	51
4.4.3 <i>¿Por qué baterías de litio?</i>	52
CAPÍTULO 6: COMPONENTES SECUNDARIOS.....	55

6.1 ESQUEMA COMPONENTES	55
6.2 CARGA	57
6.2.1 <i>Tipos de cargadores</i>	57
6.2.2 <i>Nivel de carga</i>	58
6.4 ELEMENTOS DE SEGURIDAD.....	60
CAPÍTULO 7: ESTUDIO ECONÓMICO	63
7.1 COSTE DE PRODUCCIÓN	63
7.2 RENTABILIDAD	63
7.2.1 <i>Uso particular</i>	66
7.2.2 <i>Comercial</i>	67
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS.....	74
ANEXO A: PLANOS CASCO.....	74
ANEXO B: CARACTERISTICAS TECNICAS DEEP BLUE 50.....	75
ANEXO C: PLANOS MOTOR.....	76

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Embarcación de los faraones.....	14
Figura 2. Embarcación de recreo de 12 metros	15
Figura 3. Motor 2.0 TFSI	16
Figura 4. Motor eléctrico 45kW	16
Figura 5. Incrementos promedio. (7).....	19
Figura 6. Objetivos de Desarrollo Sostenible. (12)	25
Figura 7. Vita SeaDog. (18)	27
Figura 8. Q24 Club (19)	28
Figura 9. Pantano de San Juan, Madrid (20)	30
Figura 10. Menorca	30
Figura 11. Área transversal.....	32
Figura 12. Resistencia total	34
Figura 13. Parte frontal y trasera.	36
Figura 14. Parte superior.	36
Figura 15. Deep Blue 50 R.....	37
Figura 16. Tabla velocidad vs LB/HP	39
Figura 17. Profundidad eje.	40
Figura 18. Ejemplo del paso.....	41
Figura 19. Avance real vs. teórico.....	42
Figura 20. Eficiencia vs. deslizamiento.....	47
Figura 21. Módulo de baterías de litio. (20).....	52
Figura 22. Mapa conexiones.....	56
Figura 23. Tipos de cargadores.	58
Figura 24. Velocidad de carga vs. SOC	59
Figura 25. Radio VHF.	60
Figura 26. Extintor.....	61
Figura 27. Botiquín Tipo C	61
Figura 28. Coste acumulado por años para particular.	67
Figura 29. Coste acumulado para empresa.....	68
Figura 30. Coste acumulado por años para empresa.	69

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Cuota de producción de la energía (6).....	18
Tabla 2. Ventas de coches eléctricos en millones. (9).....	20
Tabla 3. Cargadores rápidos disponibles en millones. (10).....	21
Tabla 4. Cargadores lentos disponibles en millones. (11).....	22
Tabla 5. Peso barco eléctrico vs combustión.....	34
Tabla 6. Especificaciones Deep Blue 50 RL.....	37
Tabla 7. Potencia del motor.....	38
Tabla 8. Deslizamiento vs. velocidad.....	43
Tabla 9. Coeficientes de deslizamiento típicos.	43
Tabla 10. Coeficientes de corrección eficiencia de la hélice.....	44
Tabla 11. Velocidad vs. Pitch Ratio	45
Tabla 12. Diametro vs. Area de la Pala	48
Tabla 13. Autonomia.....	51
Tabla 14. Coste de producción.	63
Tabla 15. Evolución MWh en España.....	64
Tabla 16. Precio MWh por mes.....	65
Tabla 17. Coste por día de uso.	65
Tabla 18. Coste acumulado para particular.....	66

ÍNDICE ECUACIONES

Ecuación 1. Energía.....	31
Ecuación 2. Capacidad de la batería.....	33
Ecuación 3. SL ratio.	38
Ecuación 4. SL ratio vs SHP.	38
Ecuación 5. Velocidad de planeo	39
Ecuación 6. DIA-HP-RPM.....	44
Ecuación 7. Carga permisible de las palas.	46
Ecuación 8. Carga actual de las palas.....	46
Ecuación 9. MWR (Mean-Width ratio).....	47
Ecuación 10. Velocidad de no planeo con factor de corrección.....	49
Ecuación 11. Velocidad de planeo con factor de corrección.....	50

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción al proyecto

La realización de un proyecto para diseñar un barco eléctrico de seis metros implica un enfoque multidisciplinario que abarca la ingeniería naval, eléctrica y mecánica. El diseño del barco debe ser cuidadosamente planificado para asegurar que se satisfagan los requerimientos del cliente, se cumplan las regulaciones y normativas de seguridad marítima, y se minimice el impacto ambiental.

El objetivo principal de este proyecto es diseñar un barco eléctrico que pueda navegar sin emisiones contaminantes y reducir la dependencia de los combustibles fósiles en el sector náutico. Para lograr este objetivo, se deben considerar diferentes aspectos del diseño, como el tamaño y forma del casco, la selección de los materiales de construcción, la elección del sistema de propulsión eléctrico, la capacidad de la batería y la optimización de la eficiencia energética.

En este proyecto, es importante también tener en cuenta las características del entorno en el que se utilizará el barco, como la profundidad del agua, la velocidad del viento y las corrientes marinas. Además, se deben tener en cuenta las necesidades y preferencias del usuario, como el número de pasajeros, la capacidad de carga, la velocidad de crucero y la autonomía del barco.

La realización de un proyecto de este tipo requiere una metodología de trabajo rigurosa y organizada, que incluya la definición clara de los objetivos, la planificación detallada del diseño y la construcción, la evaluación del rendimiento del barco y la verificación del cumplimiento de los requisitos normativos y de seguridad.

1.2 Historia de la náutica de recreo

La historia de la náutica de recreo se remonta a miles de años atrás, sin embargo, los primeros barcos se construían para fines de transporte y pesca. Con el tiempo, estos barcos empezaron a ser utilizados por las personas mas ricas y poderosas con el objetivo de demostrar su riqueza y estatus social, en la Edad Media, las embarcaciones de recreo eran principalmente barcos de vela utilizados por la nobleza y los reyes para viajar por los canales y los ríos.

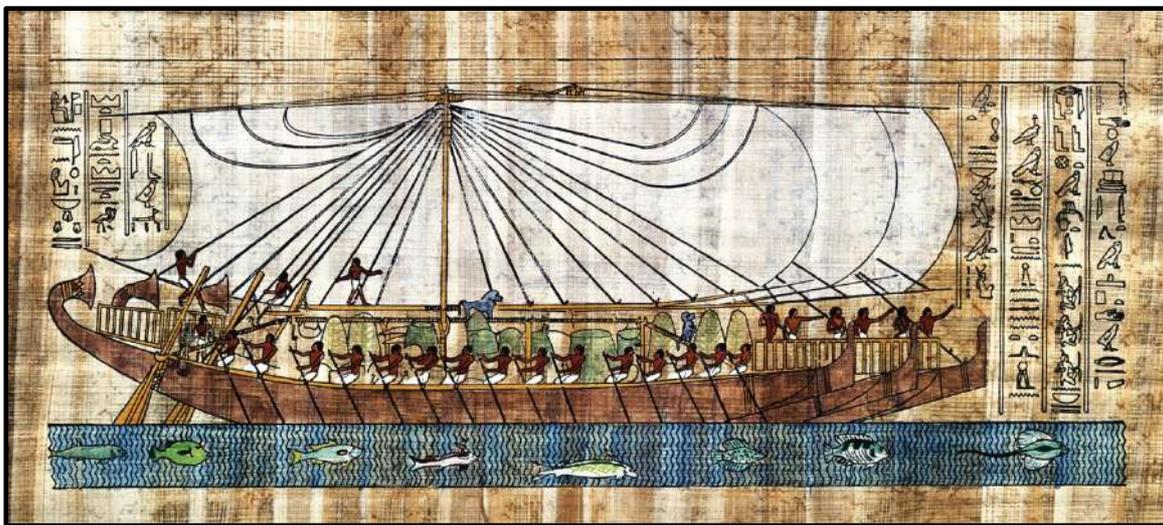


Figura 1. Embarcación de los faraones

S

En los siglos XIX y XX, la náutica de recreo experimento un rápido crecimiento en popularidad, se empezaron a construir barcos mas grandes y sofisticados para uso privado. Los avances tecnológicos como la introducción de motores fuera de borda permitieron que este sea un deporte mas accesible y haya sido adoptado por una amplia gama de personas.

A medida que la tecnología ha seguido avanzando, estas embarcaciones se han vuelto muy seguras, mas cómodas y mas eficientes. Los motores fuera de

borda permiten a los barcos tener una mayor autonomía y alcanzar velocidades mas altas, mientras que la aparición en la náutica de nuevos materiales mas resistentes y ligeros ha mejorado la eficiencia y seguridad. (1)

En la actualidad, la náutica de recreo es una forma muy popular de disfrutar del tiempo libre y de explorar entornos que de otra manera es imposible. Existen embarcaciones de recreo para todo tipo de personas satisfaciendo diferentes presupuestos y necesidades.



Figura 2. Embarcación de recreo de 12 metros.

1.3 Necesidad del proyecto

El aumento en el coste de la gasolina ha afectado notablemente a la popularidad de los barcos de recreo, muchas personas encuentran que no les compensa el elevado coste de operar y mantener un barco. Por ello es necesario el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan una mayor eficiencia permitiendo así reducir el coste de los combustibles en el uso de las embarcaciones.

En general, el coste de uso de motores de combustión es mas elevado que de motores eléctricos si tenemos en cuenta los respectivos precios de la gasolina y la electricidad en enero de 2023. Se debe principalmente a que el motor de gasolina tiene una eficiencia de entre el 20-30% frente a los motores eléctricos que tienen entre 80-90%. (2)



Figura 3. Motor 2.0 TFSI



Figura 4. Motor eléctrico 45kW

Sin embargo, un factor importante a tener en cuenta es que los barcos eléctricos pueden ser tener un mayor coste en la compra inicial, debido a que los componentes eléctricos al ser tecnología desarrollada recientemente son mas caros que los componentes de un motor de gasolina. En resumen, es posible que se requiera una mayor inversión inicial pero que llegaría compensada a lo largo del tiempo debido a el bajo coste de operación.

Además, España es un destino muy popular para los aficionados a la náutica, siendo una industria en crecimiento que esta muy desarrollada a lo largo de la costa mediterránea, especialmente en las islas baleares y la costa Brava.

Contando con mas de 350 puertos deportivos repartidos a en mas 8.000km de costa y una amplia oferta de servicios y equipo para los apasionados a la náutica.

(3)

1.4 Movilidad eléctrica

1.4.1 Crecimiento de las energías renovables

Durante las últimas décadas, se ha observado un notable crecimiento en el uso de energías renovables, impulsado por una mayor conciencia acerca de los impactos negativos del uso de combustibles fósiles en el medio ambiente y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para combatir el cambio climático. En el año 2020, las energías renovables representaron el 72% de la capacidad de generación eléctrica agregada a nivel mundial, siendo la energía solar y eólica las principales fuentes de energía renovable en términos de capacidad instalada. (4)

La energía hidráulica sigue siendo una importante fuente de energía renovable en algunos países con grandes recursos hídricos. También existen otras fuentes emergentes de energía renovable, como la geotérmica, la biomasa y la energía de los océanos. A pesar de la pandemia del COVID-19, la inversión global en energías renovables alcanzó un récord de 303.500 millones de dólares en 2020. (5) Los líderes mundiales en capacidad de energía renovable instalada son China, Estados Unidos y la Unión Europea. En conclusión, el crecimiento de las energías renovables ha sido impresionante en las últimas décadas y se espera que continúe siendo una tendencia importante en el futuro.

En las siguientes gráficas se puede observar de manera visual lo expuesto.

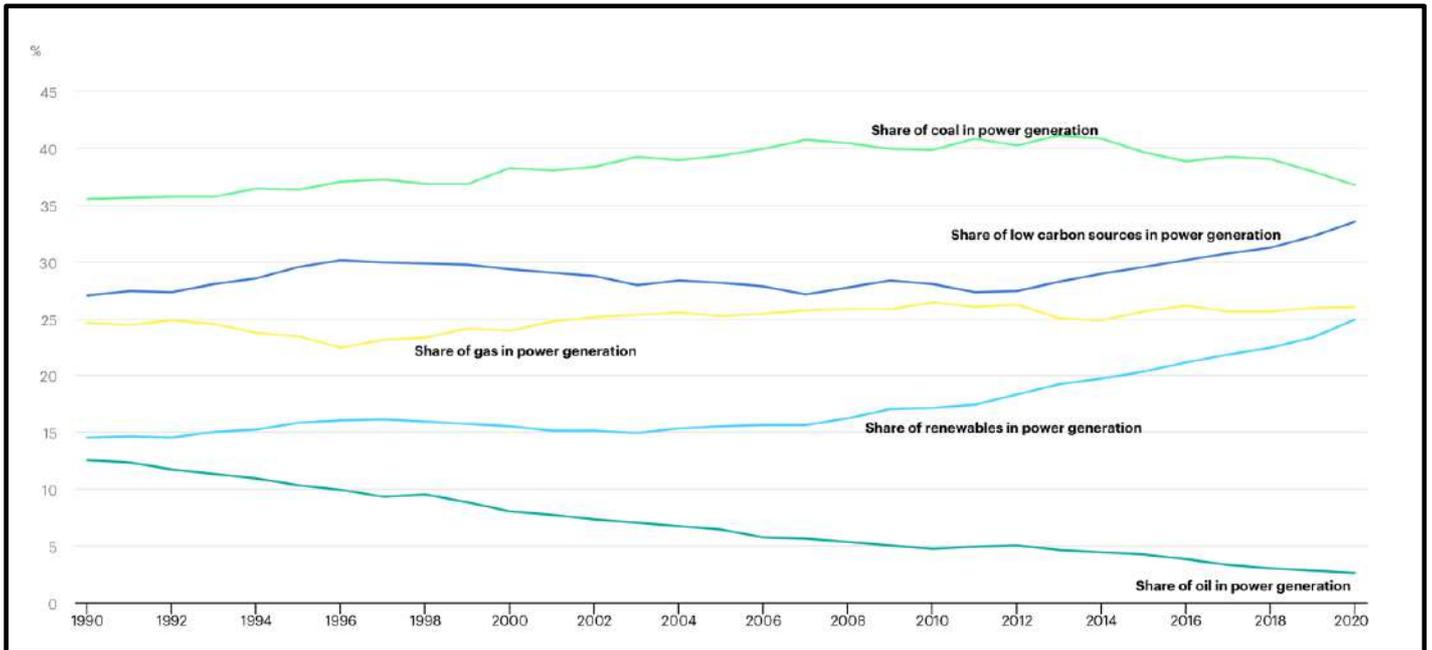


Tabla 1. Cuota de producción de la energía (6)

Se puede observar la representación de las distintas cuotas de mercado de las diversas fuentes de energía. Es evidente que las energías renovables están experimentando un crecimiento sostenido desde aproximadamente 2018, al igual que las fuentes de energía con una huella de carbono reducida. Por otro lado, el resto de las fuentes energéticas se han mantenido estables o incluso están en declive, en gran parte debido a las políticas de apoyo e impulso que están recibiendo por parte de los gobiernos.

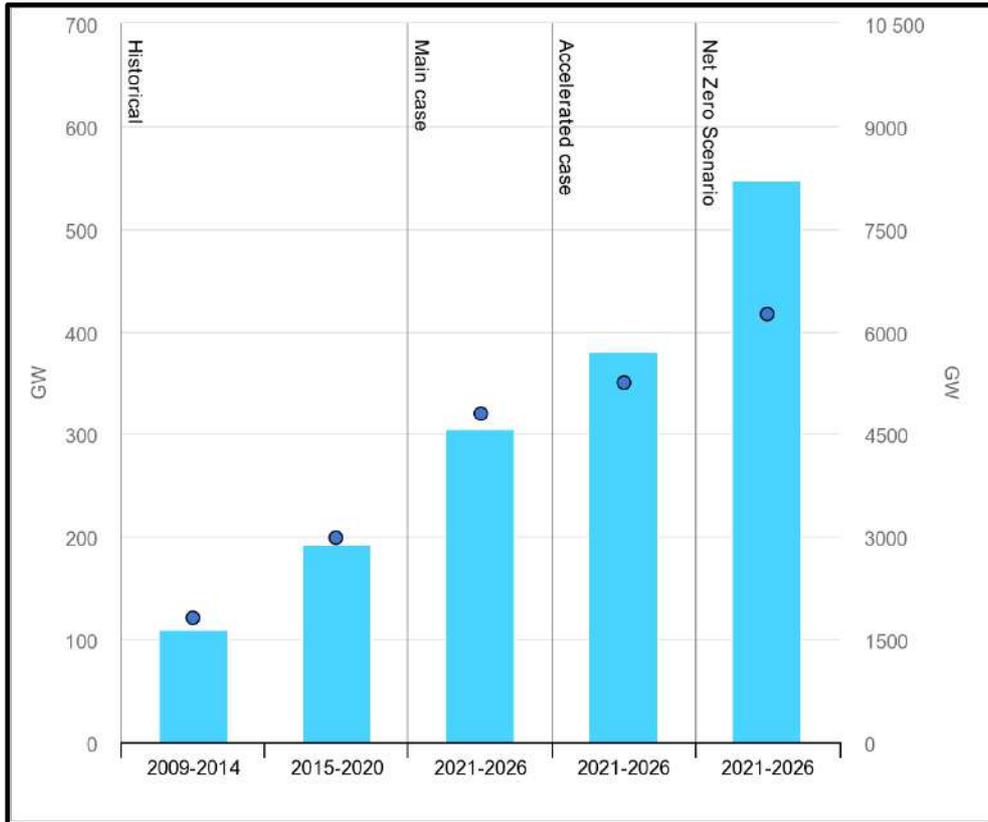


Figura 5. Incrementos promedio. (7)

Se pueden observar la evolución de los gigavatios (GW) instalados desde 2009 hasta 2020, seguido de tres proyecciones diferentes: el escenario base, un escenario más acelerado y el escenario objetivo para lograr un transporte completamente electrificado.

1.4.2 Crecimiento del transporte eléctrico

En los últimos años, el transporte eléctrico ha experimentado un acelerado crecimiento impulsado por varios factores, entre ellos, la preocupación por la contaminación ambiental, la búsqueda de soluciones al cambio climático y la reducción de precios en baterías y otros componentes. (8)

En el mercado de los vehículos eléctricos, se ha registrado un significativo aumento en todo el mundo. Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), en

2020 se vendieron 3,2 millones de unidades, lo que representa un 43% de incremento en comparación con 2019.

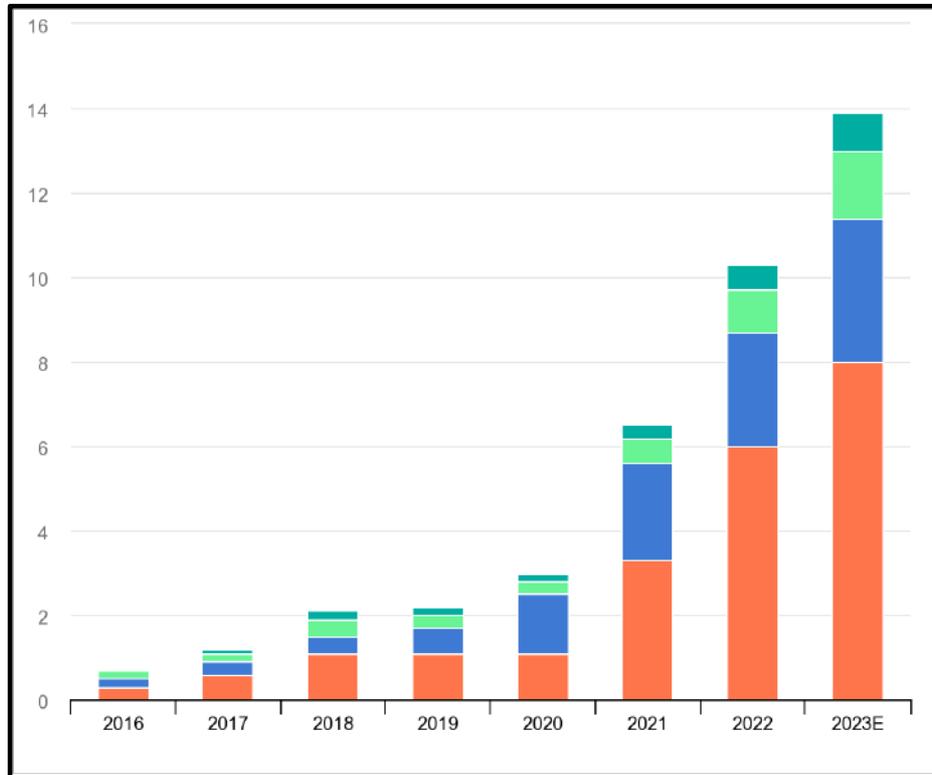


Tabla 2. Ventas de coches eléctricos en millones. (9)

- China
- Europa
- Estados Unidos
- Otros

Este crecimiento del transporte eléctrico también se ha visto reflejado en otros sectores como el transporte público, vehículos comerciales y de dos ruedas. Flotas de autobuses eléctricos y sistemas de bicicletas eléctricas compartidas también están en rápida expansión en todo el mundo.

Asimismo, muchos gobiernos están implementando políticas para fomentar la adopción de vehículos eléctricos, tales como incentivos fiscales y

financieros, la construcción de infraestructuras de carga y la restricción de vehículos con motores de combustión interna en ciertas áreas.

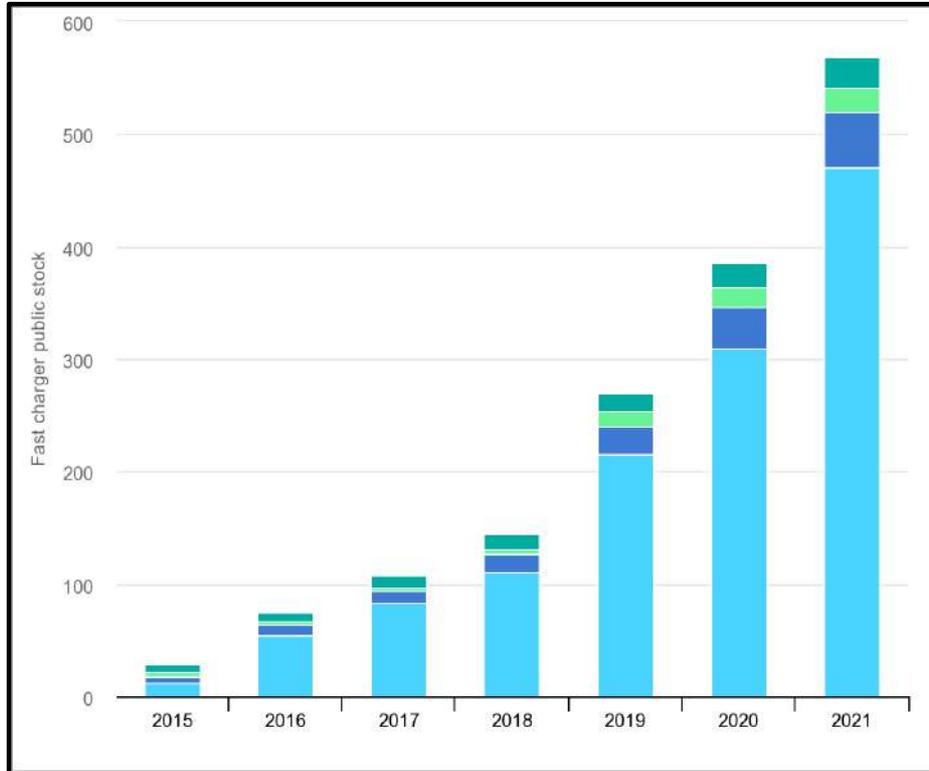


Tabla 3. Cargadores rápidos disponibles en millones. (10)

- China
- Europa
- Estados Unidos
- Otros

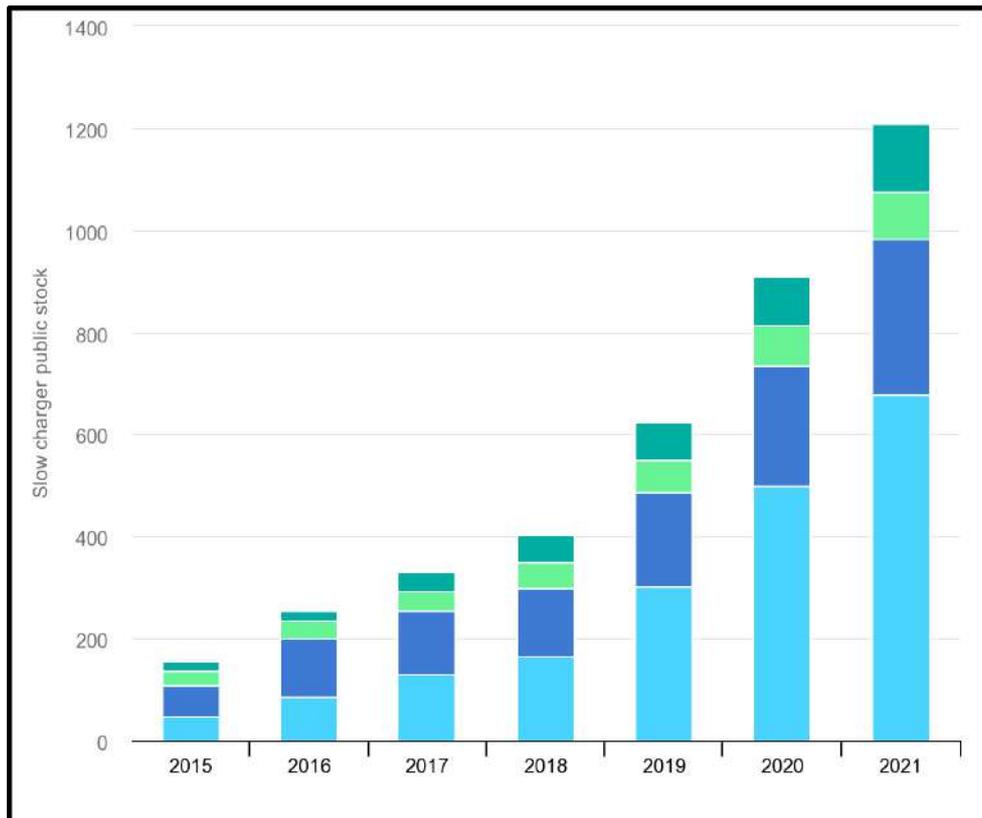


Tabla 4. Cargadores lentos disponibles en millones. (11)

- China
- Europa
- Estados Unidos
- Otros

En resumen, el crecimiento del transporte eléctrico es una tendencia en constante expansión y se espera que siga acelerándose en los próximos años, impulsado por la demanda de una movilidad más sostenible y los avances tecnológicos en la industria de los vehículos eléctricos.

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS

2.1 Objetivos principales

1. Investigación y análisis del estado actual de la tecnología de barcos eléctricos de 6 metros, incluyendo su diseño, sistemas de propulsión, eficiencia energética y características técnicas.
2. Diseño de un prototipo de barco eléctrico de 6 metros, considerando aspectos como la arquitectura eléctrica, el sistema de propulsión y la distribución del espacio.
3. Evaluación del rendimiento y la eficiencia del barco eléctrico de 6 metros en comparación con las embarcaciones convencionales de tamaño similar.
4. Análisis de costos y rentabilidad del barco eléctrico de 6 metros, teniendo en cuenta los aspectos relacionados con la adquisición, mantenimiento, consumo de energía y potenciales ahorros a largo plazo.
5. Evaluación del impacto ambiental del barco eléctrico de 6 metros en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación acústica y reducción de la dependencia de los combustibles fósiles.
6. Propuesta de recomendaciones para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de los barcos eléctricos de 6 metros, tanto a nivel tecnológico como en términos de regulaciones y políticas relacionadas con la navegación sostenible.

2.2 Objetivos secundarios

Para lograr estos objetivos, el diseño del barco debe enfocarse en maximizar la eficiencia energética, lo que puede incluir la elección de un casco con baja resistencia al agua, la optimización del tamaño y la potencia del motor eléctrico, el uso de baterías de alta eficiencia y la implementación de sistemas de gestión de energía eficientes. También es importante tener en cuenta la capacidad de carga y la autonomía del barco, para asegurar que sea viable para su uso en diferentes tipos de navegación.

El diseño de esta embarcación con propulsión eléctrica tiene como objetivos la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes en el agua, la mejora de la eficiencia energética y la promoción del uso de energía renovable. Estos objetivos están alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, en particular con el ODS 7: Energía asequible y no contaminante y el ODS 14: Vida submarina.

El ODS 7 tiene como objetivo garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos, al tiempo que se reduce la dependencia de los combustibles fósiles y se mejora la eficiencia energética. La propulsión eléctrica en el sector náutico se alinea con este objetivo al reducir la dependencia de los combustibles fósiles y fomentar el uso de energía renovable.

El ODS 14 tiene como objetivo conservar y utilizar de manera sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible. El diseño de un barco de 6 metros con propulsión eléctrica también se alinea con este objetivo, ya que la eliminación de emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes en el agua contribuyen a la protección y conservación de los ecosistemas marinos.



Figura 6. Objetivos de Desarrollo Sostenible. (12)

CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE

3.1 Introducción

El transporte marítimo contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero. Como respuesta a esto, ha habido un incremento en la investigación y desarrollo de barcos eléctricos para reducir su impacto ambiental. En este proyecto, se aborda el diseño de un barco eléctrico de 6 metros de longitud con el objetivo de promover su eficiencia y sostenibilidad.

El uso de opciones eléctricas para la navegación está experimentando un rápido crecimiento en todo el mundo. Numerosas compañías y fabricantes de embarcaciones han reconocido la importancia de la navegación eléctrica y ahora están construyendo barcos totalmente eléctricos, barcos híbridos gas/eléctricos y motores fuera de borda eléctricos. (13)

3.2 Definición del problema

En este proyecto, se plantea el desafío de diseñar un barco eléctrico de 6 metros de longitud que garantice la seguridad de los ocupantes, sea eficiente y respetuoso con el medio ambiente, sin comprometer su rendimiento. Se trata de un reto que implica lograr un equilibrio adecuado entre las necesidades de diseño y la funcionalidad, con el fin de alcanzar un óptimo desempeño del barco eléctrico.

3.3 Antecedentes

En la actualidad, existe una variedad de barcos eléctricos en el mercado, que van desde pequeñas embarcaciones de recreo hasta grandes barcos de carga y cruceros. Los diseños más comunes son aquellos que utilizan propulsión

eléctrica con baterías, sistemas de células de combustible y sistemas híbridos.
(14)

3.4 Marco Teórico

El marco teórico para el diseño de un barco eléctrico se fundamenta en la optimización del sistema de propulsión, la selección de materiales resistentes y ligeros, la configuración del casco y la estructura general. Asimismo, se pueden mejorar la eficiencia del barco mediante la aplicación de técnicas de diseño aerodinámico y el uso de tecnologías avanzadas para el control de energía. (15)

3.5 Estado Actual

En la actualidad, existen en el mercado diversos barcos eléctricos con dimensiones similares al que se busca diseñar, como el Vita Lion (16), el Q24 Club y el Elco 24 (17). Estos barcos utilizan una combinación de baterías y motores eléctricos para lograr una operación sin emisiones contaminantes.



Figura 7. Vita SeaDog. (18)



Figura 8. Q24 Club (19)

3.6 Problemas

A pesar del creciente interés en los barcos eléctricos, todavía existen limitaciones en la capacidad de las baterías, la velocidad y el alcance del barco. Además, el costo de producción y el mantenimiento de estos barcos son factores importantes para considerar.

3.7 Conclusión

El diseño de un barco eléctrico de 6 metros constituye un reto interesante, pero a su vez complejo. Es necesario contar con experiencia tanto en ingeniería como en diseño, para lograr un barco que garantice la seguridad, eficiencia y rentabilidad. Además, la aplicación de tecnologías emergentes, como los materiales avanzados y los sistemas de control de energía, puede contribuir a mejorar aún más el diseño del barco eléctrico.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO PREVIO

4.1 Propósito

La realización de un estudio de previo se usará como punto de partida para la selección de los componentes de la embarcación.

4.2 Requisitos

Los requisitos que propondremos para el diseño de la embarcación son los siguientes: debe ser capaz de operar durante un día, ya que esto es lo más común en este segmento de barcos y debe poder operar a una velocidad de entre 10-15 nudos consiguiendo el estado de planeo. Para cumplir con este objetivo, se realizará un análisis de la cantidad de millas que recorre un usuario promedio, sin tener que preocuparse de la autonomía.

El objetivo de esta sección es ver la viabilidad del proyecto en diferentes escenarios, y decidir cual será el cliente final.

4.2.1 Autonomia

Vamos a tener en cuenta dos casos diferentes para el calculo de la autonomía. En primer lugar, vamos a estudiar la ruta mas larga posible que se puede hacer en el Pantano de San Juan, Madrid. Suponiendo que una familia realiza esta salida por la mañana para ir a comer y vuelve por la tarde.

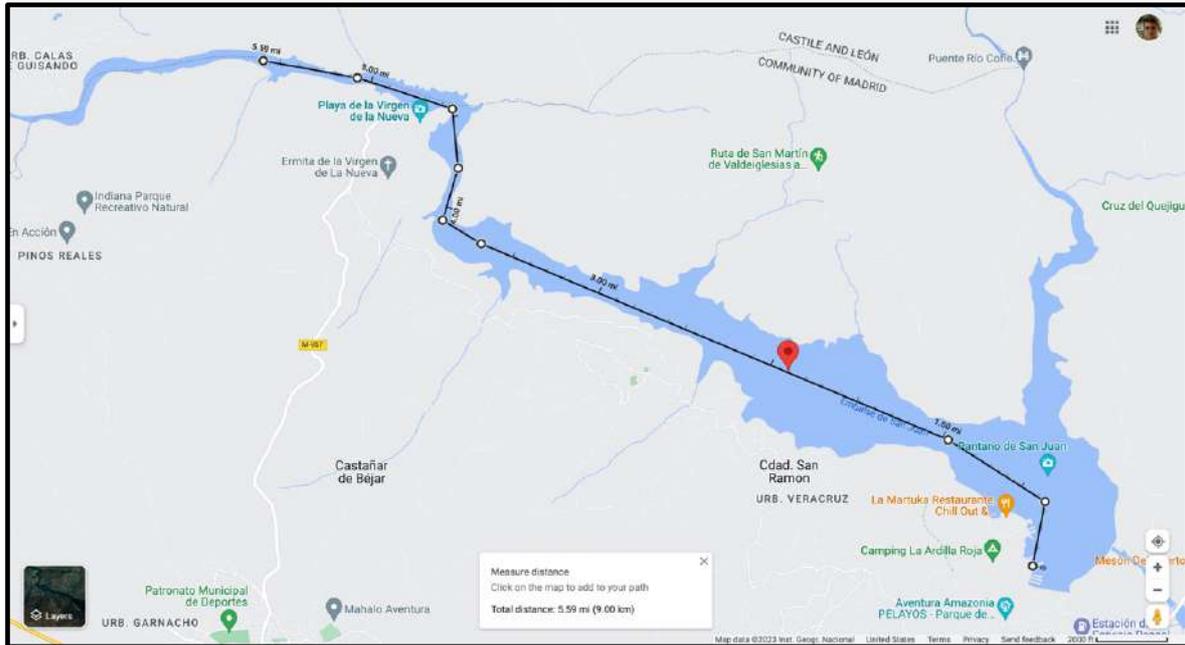


Figura 9. Pantano de San Juan, Madrid (20)

En la figura 9 se puede ver la ruta mas larga posible, siendo esta de unas 6 millas, teniendo en cuenta ida y vuelta y un margen de navegación libre serian unas 20 millas.

En segundo lugar, vamos a una conocida ruta en Menorca desde el puerto de Ses Salines a Cala del Pilar.

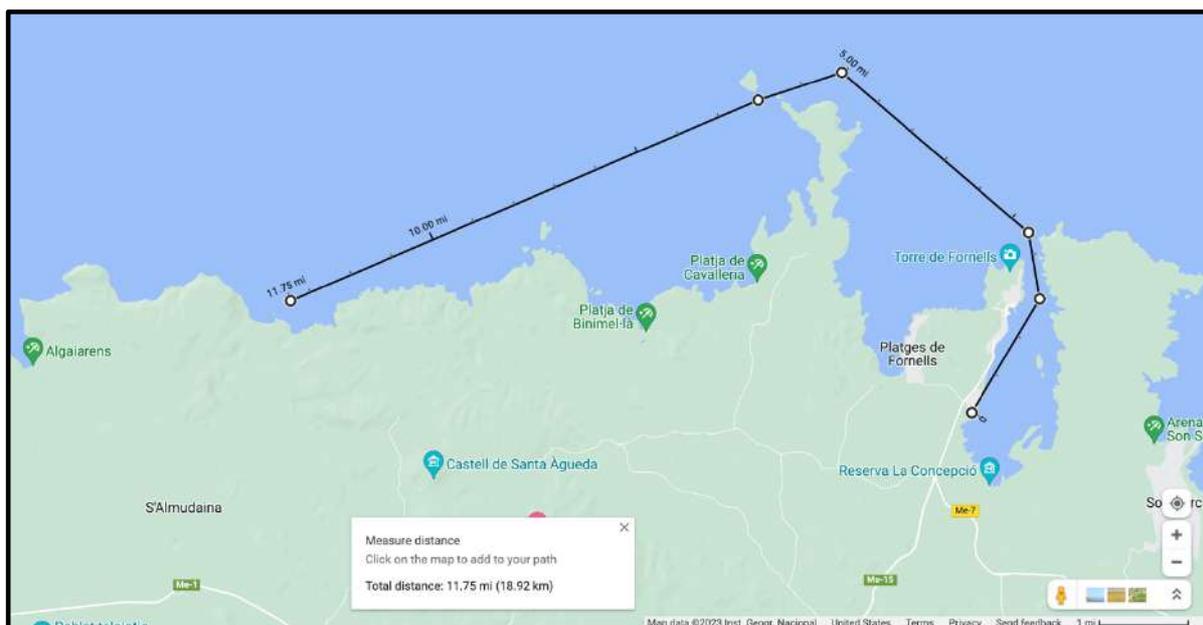


Figura 10. Menorca

En este caso se observa un recorrido significativamente mayor siendo de unas 12 millas solo el trayecto de ida, en total se usara unas 30 millas dejando un margen de seguridad.

4.3 Cálculos previos

En este apartado se van a realizar los cálculos de la embarcación de manera aproximada, usando valores típicos. Mas tarde cuando tengamos una idea de los requisitos del barco en referencia a la potencia, baterías, peso... Se irán eligiendo los componentes y realizando cálculos mas específicos sobre la embarcación.

4.3.1 Potencia motor

Para hacer una estimación de la potencia necesaria se va a usar la formula de Crouch.

$$Potencia = \frac{(0.5 * \rho * A * Cd * V^3)}{\eta}$$

Ecuación 1.Potencia

ρ = Densidad del agua (kg/m³)

A = Área transversal del barco perpendicular al movimiento. (m²)

Cd = Coeficiente de rozamiento

V = Velocidad (m/s)

Eta = Eficiencia de la hélice

Se va a calcular el área transversal utilizando los planos del casco.

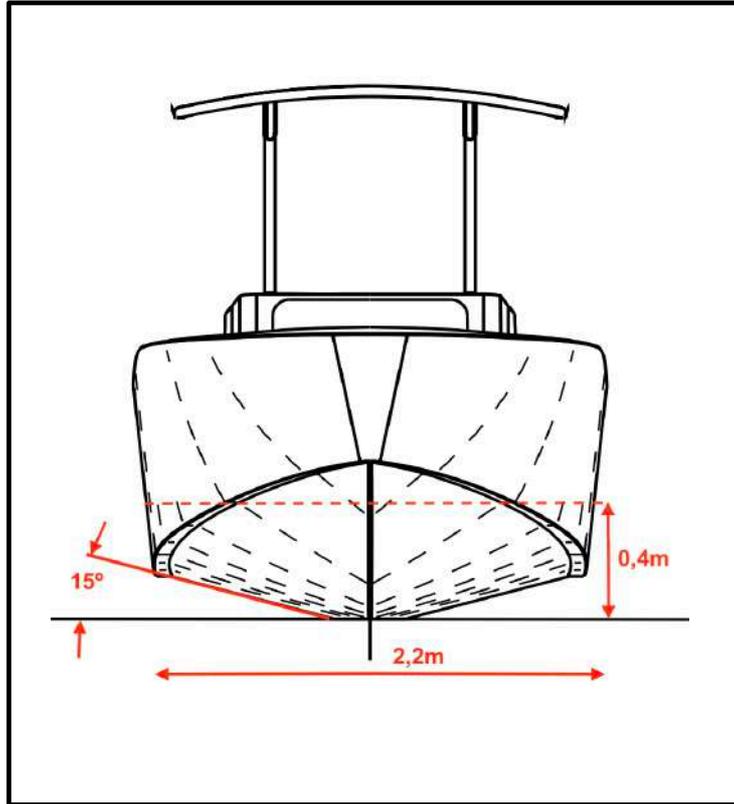


Figura 11. Área transversal.

$$\text{Área} = 0,3 * 1,1 + 0,1 * 2,2 = 0,55 \text{ m}^2$$

$$\text{Potencia} = \frac{(0,5 * 1000 * 0,55 * 0,7 * 5,14^3)}{0,7} = 52 \text{ CV} = 38,24 \text{ kW}$$

Esta es la potencia necesaria aproximada para que la embarcación se mueva 10 nudos de velocidad. Sin embargo, vamos a aplicar un margen ya que no es conveniente que un motor este trabajando al 100% de su potencia continuamente, por que se estimara la potencia para que el motor trabaje al 80% de potencia a esta velocidad.

$$\text{Potencia} = \frac{38,24 \text{ kW}}{0,8} = 47,8 \text{ kW}$$

Ahora calcularemos la capacidad de la batería necesaria para poder tener la autonomía necesitada

4.3.2 Capacidad de la batería

Capacidad de batería necesaria:

$$C = P * t$$

Ecuación 2. Capacidad de la batería.

C = Capacidad

P = Potencia(kW)

t = Tiempo

$$C = 47,8kW * 3 \text{ horas} = 143,4 \frac{kW}{hora}$$

Esta es la capacidad aproximada que debe tener la batería. Una vez calculada la eficiencia de la hélice, se hará un calculo mas preciso y se elegirá el modulo de batería.

4.3.3 Peso & Desplazamiento

El desplazamiento en un barco se refiere al peso total de agua desplazada por el casco del barco cuando está completamente sumergido en el agua. Es decir, es la masa total del agua que el barco desaloja cuando flota en el agua. El desplazamiento se utiliza para medir la capacidad de carga del barco, ya que está directamente relacionado con su peso y volumen. Un barco con mayor desplazamiento puede transportar más carga que uno con menor desplazamiento.

Se va a calcular la diferencia de peso, este dato no es algo realmente significativo para realizar cálculos pero si debemos tenerlo en cuenta ya que el

barco eléctrico es mas pesado y por ello el numero de personas permitidas disminuirá para estar dentro de la carga permisible de la embarcación.

	Eléctrico	Combustión
Elemento	Peso	Peso
Casco	860kg	860kg
Motor	140kg	170kg
Batería	800kg	-
Combustible	-	250kg
Total	1800kg	1280kg

Tabla 5. Peso barco eléctrico vs combustión

Debido al aumento de peso se debe asegurar la flotabilidad y estabilidad de la embarcación.

Como podemos ver en la figura obtenida en *Resistance and Powering of Ships*(figura 11) la mayor parte de la resistencia se debe a formación de nuevas olas al paso de la embarcación por el agua por lo que será la única que tendremos en cuenta.

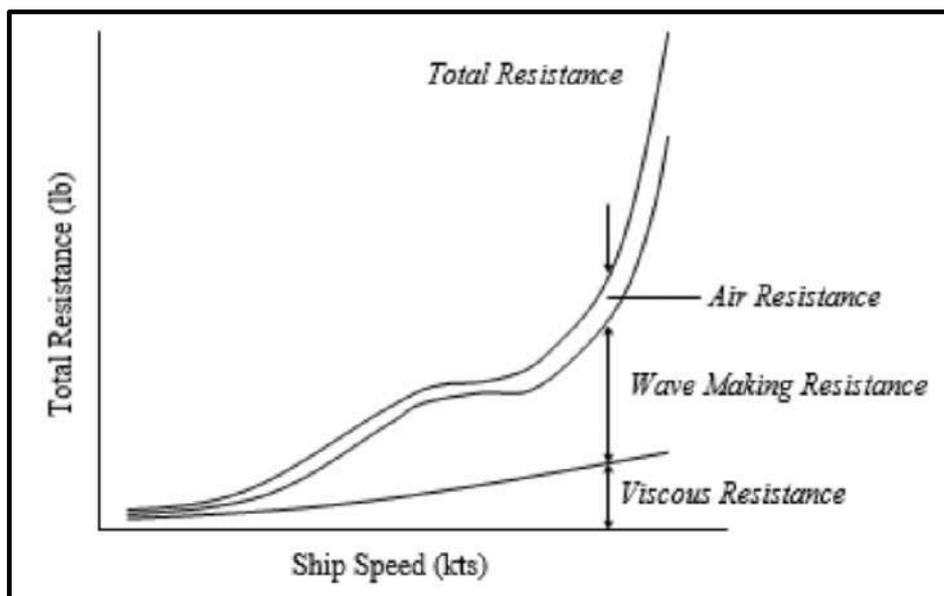


Figura 12. Resistencia total

Para calcular la energía consumida en una embarcación, no se tomara en cuenta la resistencia al aire y la resistencia viscosa, ya que estos factores son insignificantes en embarcaciones pequeñas y solo se aplican a barcos de gran tamaño. En su lugar, se usara la resistencia que se opone al movimiento del casco dentro del agua, la cual está influenciada principalmente por el desplazamiento, que es el peso total del agua desalojada por el casco de la embarcación, y es un parámetro común en la náutica.

CAPÍTULO 5: COMPONENTES PRINCIPALES

5.1 Casco

Para el casco vamos a seleccionar un modelo comercial que podemos comprar al por mayor y tiene un precio razonable. Utilizaremos los planos ofrecidos por el fabricante para calcular el coeficiente de rozamiento y comprobar con exactitud la potencia necesaria

5.1.1 Planos del casco

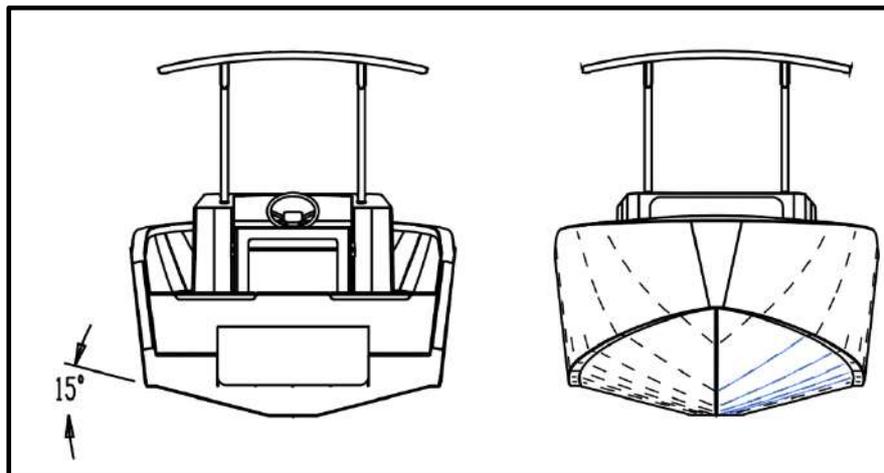


Figura 13. Parte frontal y trasera.

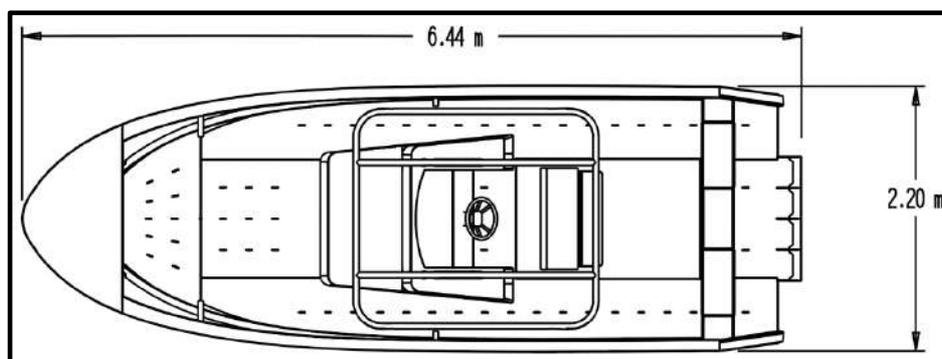


Figura 14. Parte superior.

5.2 Motor

El criterio para la selección de los motores se basa en: Las características obtenidas en el estudio previo.

El motor seleccionado es el *Deep Blue 50 RL* del fabricante Torqeedo, cuyas especificaciones son las siguientes:

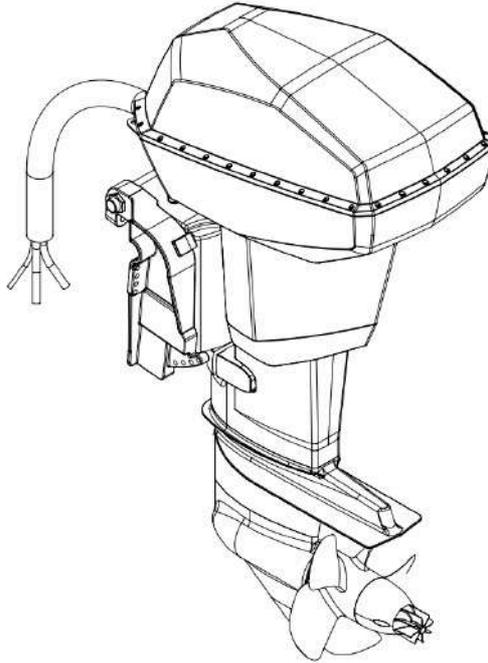


Figura 15. Deep Blue 50 R

Sistema	Deep Blue 50 RL
Potencia máxima continua al eje	48,5 kW
Voltaje nominal	350 V
Torque	190 Nm
RPM eje	2440 rpm
Eficiencia	89%
Peso	139 kg
Refrigeración	Agua

Tabla 6. Especificaciones Deep Blue 50 RL.

Potencia		
100%	65 HP	48,5 kW
90%	58,5 HP	43,62 kW
80%	52,5HP	39,14 kW
70%	45,5 HP	33,93 kW
Peak	73,8 HP	58,38 kW

Tabla 7. Potencia del motor.

Los cálculos siguientes son la justificación de por que se ha elegido este motor.

Vamos a calcular la potencia necesaria en estado de no planeo para mover la embarcación a 10 nudos. Estas formulas asumen una eficiencia de la hélice de 0,55 por lo que una vez calculada la eficiencia real se deberán ajustar.

$$\text{Potencia máxima al eje} = 48,5 \text{ kW} = 65 \text{ HP}$$

$$SL \text{ ratio} = \frac{10}{\sqrt{WL}} = \frac{10}{\sqrt{18,83ft}} = 2,3$$

Ecuación 3. SL ratio.

Este es el SL ratio que se obtiene para una WL (Waterline) = 18,83ft a 10 kts

$$SL \text{ ratio} = \frac{10,665}{\sqrt[3]{\frac{LB}{SHP}}} ; SHP = 40,12 \text{ HP}$$

Ecuación 4. SL ratio vs SHP.

Pero se necesita que en estas condiciones el motor no este funcionando al máximo, si no que funcione a un 75% de la potencia ya que este es el rango de trabajo.

$$SHP = \frac{40,12HP}{0,75} = 53,5HP \text{ como mínimo}$$

Ahora vamos a usar la formula de velocidad de planeo de Crouch para estimar la potencia necesaria de planeo, la velocidad de planeo también se puede obtener observando la gráfica.

$$V = \frac{C}{\sqrt{\frac{LB}{SHP}}}$$

Ecuación 5. Velocidad de planeo

V = Velocidad en nudos

C = Constante de planeo dependiendo del tipo de embarcación

LB = Desplazamiento en libras

SHP = HP en el eje de la hélice

Primero debemos saber cual es la velocidad de planeo, para ello debemos obtener el coeficiente entre LB y SHP.

$$\frac{LB}{HP} = \frac{4000lb}{65HP} = 61,54$$

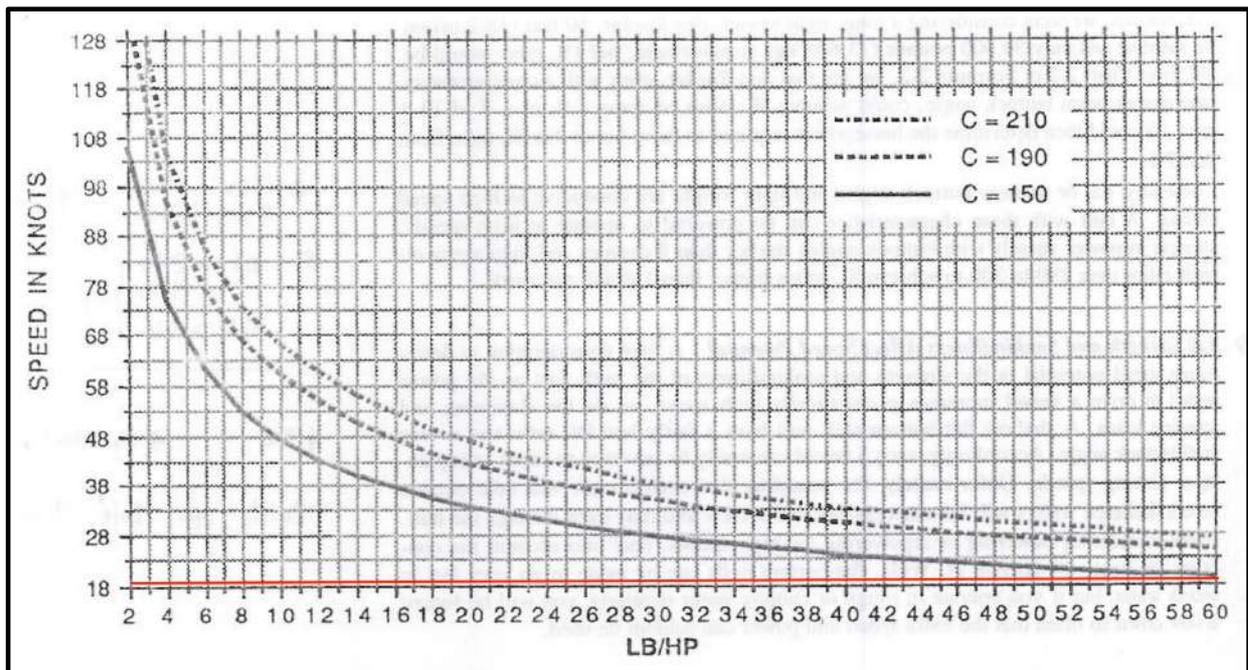


Figura 16. Tabla velocidad vs LB/HP

Velocidad de planeo = 18 nudos

$$18 = \frac{150}{\sqrt{\frac{4000}{SHP}}} ; SHP = 57,6HP$$

Por lo que como nuestro motor tiene una potencia máxima de 65HP podremos navegar a un 75% de potencia a 10 nudos y empezar a planear a partir del 90% de la potencia.

Estos parámetros se deben corregir una vez calculada la hélice y su eficiencia, pero nos sirven como referencia para empezar los cálculos.

En la siguiente imagen se mide la profundidad a la que se encuentra el centro del eje, este dato resultara útil mas tarde para calcular la cavitación de la hélice.

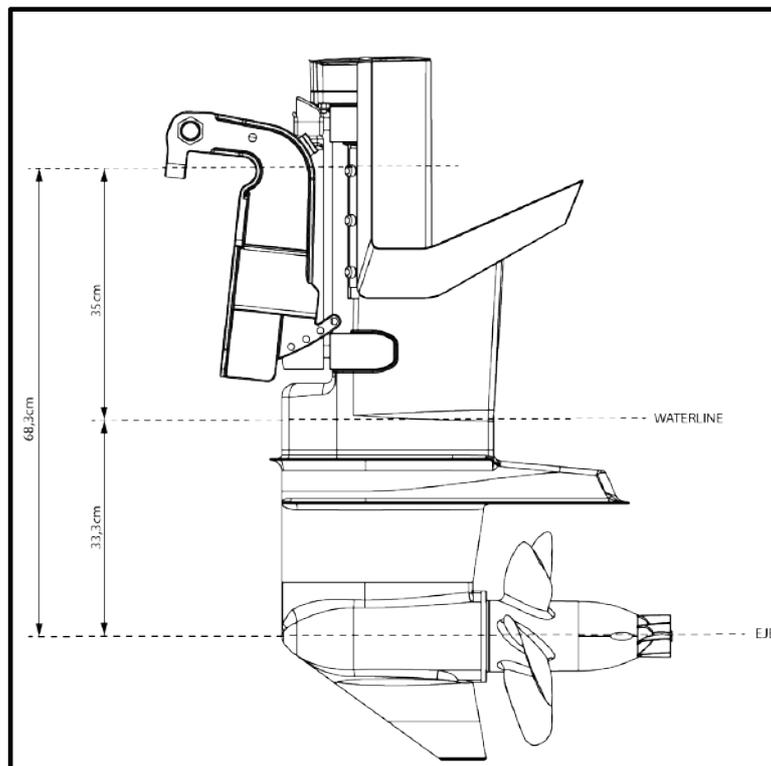


Figura 17. Profundidad eje.

5.3 Hélice

5.3.1 Cálculos Hélice

Para determinar que hélice necesitamos, tenemos que calcular el paso, el diámetro y comprobar que no tengamos cavitación

Para el calculo de las hélices vamos a usar el *método tradicional de Crouch* o *Slip Method*.

Vamos a comenzar calculando el pitch(paso de hélice), el pitch se calcula utilizando como referencia el 90% de la potencia para que funciones bien al 100%, si calculásemos el pitch para una velocidad de crucero al 75% tendríamos problemas con la hélice al llegar a máxima potencia.

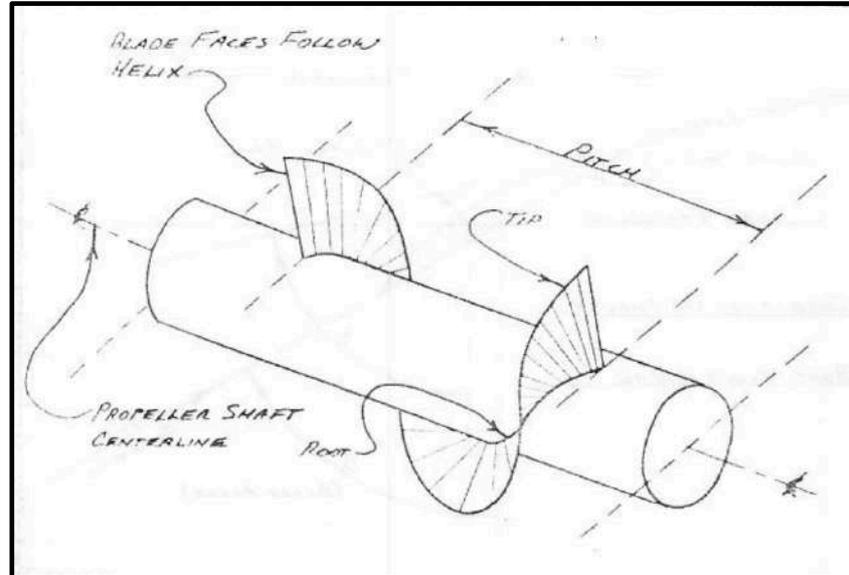


Figura 18. Ejemplo del paso.

RPM (max) = 2440 rpm
 RPM (90%) = 2196 rpm

Vamos a empezar calculando la velocidad al 90%

$$V = \frac{C}{\sqrt{\frac{LB}{SHP}}} = \frac{150}{\sqrt{\frac{4000}{58,5}}} = 18,14 \text{ kts}$$

Para poder calcular el pitch, necesitamos pasar la velocidad a pies por minuto y dividirla por las rpm.

$$V = 18,14 \text{ kts} = 1837,59 \text{ ft/min}$$

$$\text{Pitch} = \frac{1837,59 \text{ ft/min}}{2196 \text{ rpm}} = 0,837 \text{ ft} = 0,837 * 12 \text{ inch} = 10,04 \text{ inch}$$

En la siguiente figura se puede ver la representación del slip que necesitamos. El avance teórico de la hélice sería si la hélice desplazase a través de un medio sólido, este avance es igual a la suma del avance del barco y el slip.

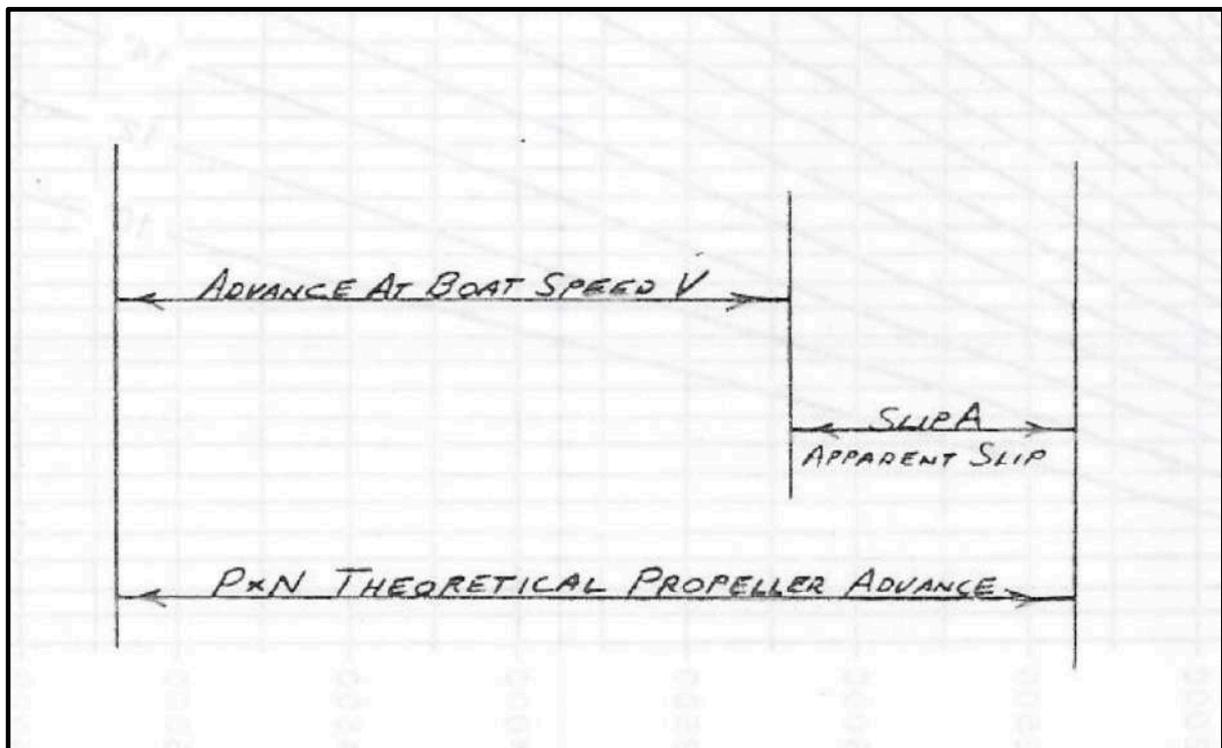


Figura 19. Avance real vs. teórico.

Para obtener el slip se hace uso de la siguiente grafica.

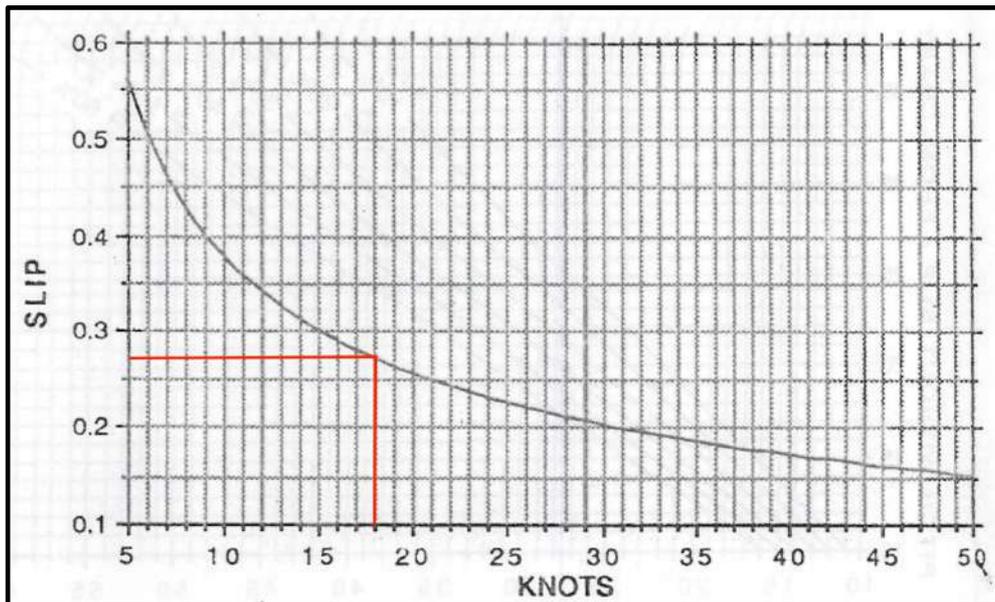


Tabla 8. Deslizamiento vs. velocidad.

Se obtiene un deslizamiento de 0,26, sin embargo, se va a utilizar 0,24 dado que se ajusta mas al valor estándar de nuestro tipo de embarcación.

Type of Boat	Speed in Knots	Percent of Slip
Auxiliary sailboats, barges	under 9	45%
Heavy powerboats, workboats	9–15	26%
Lightweight powerboats, cruisers	15–30	24%
High-speed planing boats	30–45	20%
Planing race boats, vee-bottom	45–90	10%
Stepped hydroplanes, catamarans	over 90	7%

Tabla 9. Coeficientes de deslizamiento típicos.

Conociendo el porcentaje de deslizamiento se lo añadiremos al pitch calculado.

$$SLIP = 0,24 = 24\%$$

$$Pitch = 10 \text{ inch} * 1,24 = 12,4 \text{ inch}$$

Para el calculo del diámetro debemos usar el 100% de la potencia ya que este es el factor que mas importancia tiene para determinar la potencia que la embarcación puede entregar.

Para ello vamos a usar la formula DIA-HP-RPM

$$D = \frac{632,7 * SHP^{0,2}}{RPM^{0,6}}$$

Ecuación 6. DIA-HP-RPM.

D = Diámetro

SHP = HP en el eje de la hélice

RPM = Revoluciones por minuto

SHP (max) = 65 HP

RPM (max) = 2440 rpm

$$D = \frac{632,7 * 65^{0,2}}{2440^{0,6}} = 13,53 \text{ inches}$$

Estos valores obtenidos tienen unos coeficientes de corrección dependiendo del numero de palas de la hélice.

	Diametro	Paso	Eficiencia
2 - Palas	1,05	1,01	1,02
4 - Palas	0,94	0,98	0,96

Tabla 10. Coeficientes de corrección eficiencia de la hélice.

Se debe comprobar que el pitch ratio esta entre un rango de valores.

$$\text{Pitch ratio} = \frac{\text{Pitch}}{\text{Diameter}} = \frac{12,4}{13,53} = 0,92$$

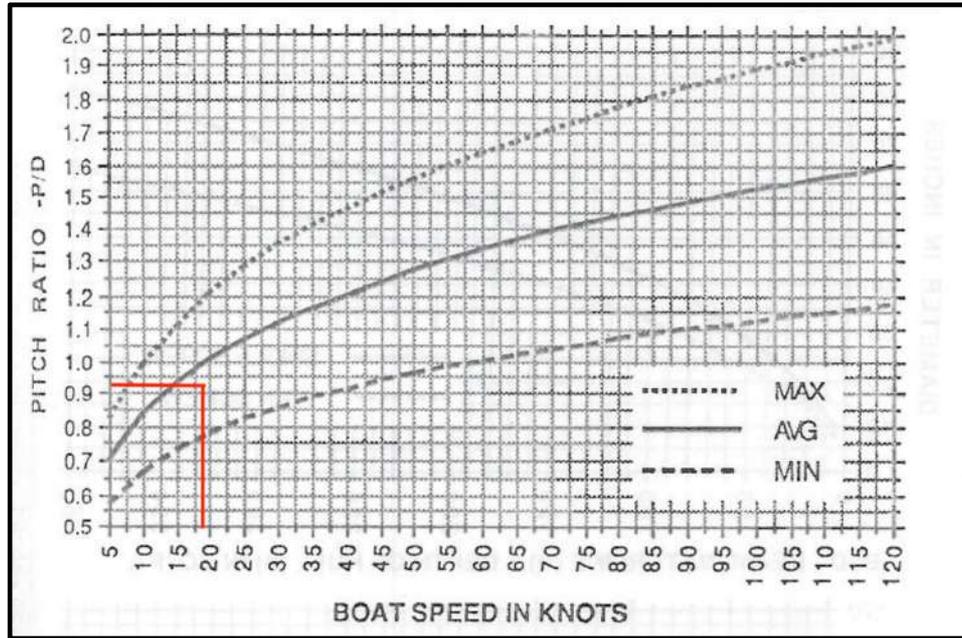


Tabla 11. Velocidad vs. Pitch Ratio

5.3.2 Cavitación

Cuando las aspas de una hélice giran y expulsan el agua hacia atrás, se produce un fenómeno conocido como cavitación. En este proceso, se forma un vacío que es inmediatamente ocupado por nuevas moléculas líquidas. Debido a la depresión creada por las aspas en su cara anterior, el agua hierve a temperatura ambiente, lo que produce burbujas compuestas exclusivamente de vapor de agua, en lugar de aire.

Estas burbujas se desplazan rápidamente hacia atrás y explotan al encontrar una zona de mayor presión, convirtiéndose de nuevo en agua y chocando con las propias aspas de la hélice. En cada choque, se produce una microscópica erosión en la superficie metálica de las aspas

La mayoría de los métodos para comprobar si hay cavitación son extremadamente complejos y difíciles de analizar, sin embargo, no son mas precisos que métodos mas sencillos.

Las formulas que se van a usar para comprobar si hay cavitación están basadas en información obtenida en el tanque de pruebas de la *Universidad de Wageningen en Holanda*.

Vamos a empezar calculando la carga permisible de las palas:

$$PSI = 1,9 * Va^{0,5} + Ft^{0,08}$$

Ecuación 7. Carga permisible de las palas.

PSI = Presión limite de cavitación.

Va = Velocidad del agua en la hélice en nudos.

Ft = Profundidad del eje de la hélice en funcionamiento.

Ft = 33,3 cm = 1,093 feet

$$PSI = 1,9 * 19^{0,5} + 1,093^{0,08} = 8,34 \left(57502,28 \frac{n}{m^2} \right)$$

Continuamos calculando la carga actual de las palas:

$$PSI = \frac{326 * SHP * e}{Va * Ad}$$

Ecuación 8. Carga actual de las palas.

PSI = Presión en las palas.

SHP = HP en el eje de la hélice.

e = Eficiencia de la hélice.

Va = Velocidad del agua en la hélice en nudos.

Ad = Área de la pala extendida o desarrollada.

Para obtener la eficiencia de la eficiencia:

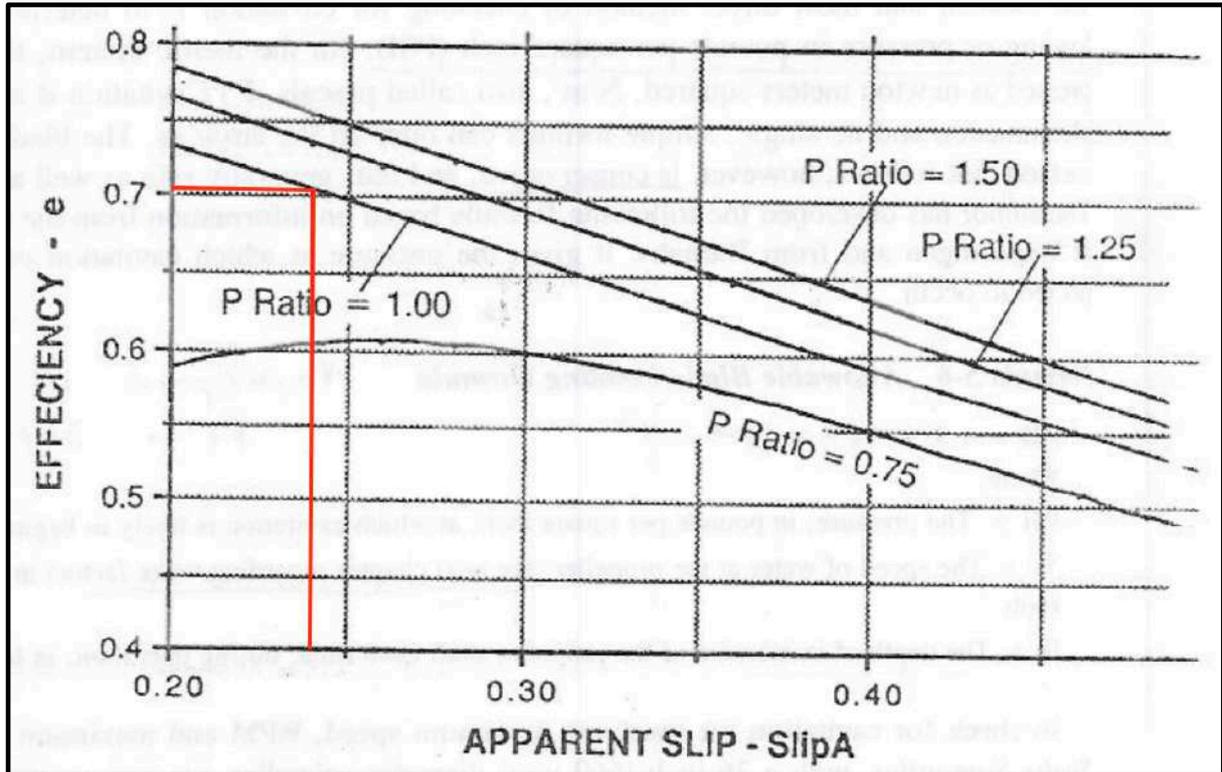


Figura 20. Eficiencia vs. deslizamiento.

Para calcular el área de la pala extendida o desarrollada, se utilizará un MWR (Mean-Width ratio) estándar de 0.33, el cual es un ratio que se utiliza para comparar hélices de diferentes tamaños que cumplen ciertas condiciones.

El MWR se puede calcular de la siguiente manera:

$$MWR = \frac{DAR}{No. de palas * 0,51}$$

Ecuación 9. MWR (Mean-Width ratio)

Donde el DAR sería el Disc-area ratio, un ratio usado con el mismo propósito que el MWR pero que se mide de forma diferente.

Con un un MWR = 0,33 obtenemos un Ad=70

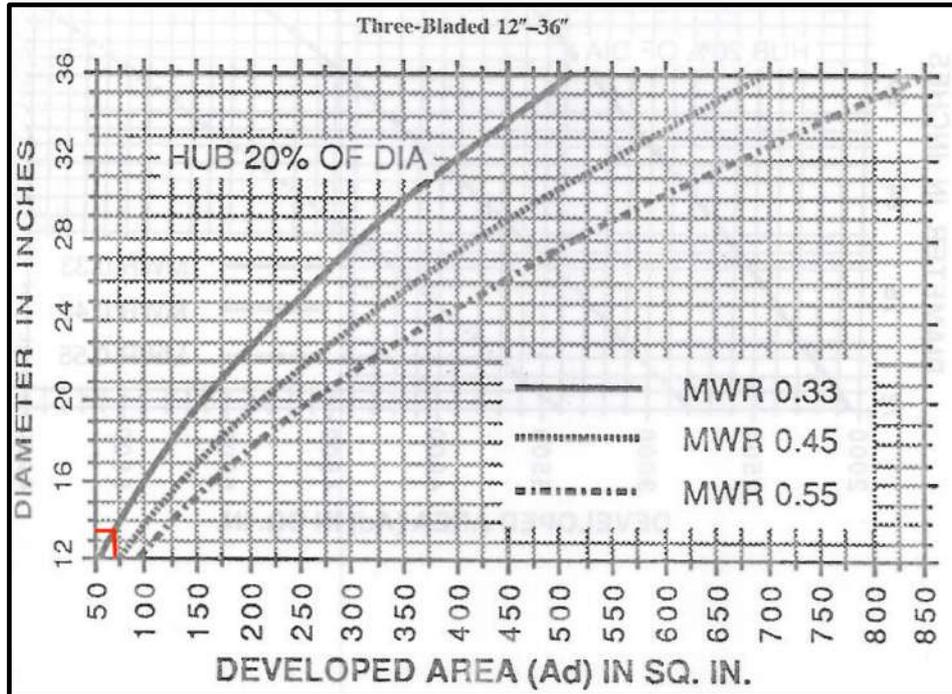


Tabla 12. Diametro vs. Area de la Pala

Ahora procedemos a calcular la carga de las palas:

$$PSI = \frac{326 * 65 * 0,7}{19 * 70} = 11,15 \text{ NO VALIDO}$$

Para que no se produzca cavitación:

$$Cavitación\ permisible > Cavitación\ actual$$

$$8,34 > 11,15 \text{ No valido}$$

Existen varios parámetros que se pueden modificar para modificar la carga que sufren las palas como: cambiar el MWR, cambiar el número de palas, cambiar el DAR, etc.

Para reducir la carga de las palas vamos a aumentar el MWR a 0,4, obteniendo así un Ad = 100 y calculamos de nuevo la carga.

$$PSI = \frac{326 * 65 * 0,7}{19 * 100} = 7,8 \text{ VALIDO}$$

$$8,34 > 7,8 \text{ VÁLIDO}$$

Ahora que ya se conocen los datos de la hélice vamos a pasar a corregir la velocidad de no planeo y de planeo, para ello debemos añadir un termino en las ecuaciones que incluya la eficiencia.

Recordemos que el objetivo es poder navegar a al menos 10 nudos al 75% de potencia y poder llegar a la velocidad de planeo.

Velocidad de desplazamiento (no planeo) al 75% de potencia:

$$SL \text{ ratio} = \frac{10,665}{\sqrt[3]{\frac{LB}{SHP}}} * \sqrt[3]{\frac{\eta}{0,55}}$$

Ecuación 10. Velocidad de no planeo con factor de corrección.

η = Eficiencia de la hélice.

$$SL \text{ ratio} = \frac{10,665}{\sqrt[3]{\frac{4000}{48,75}}} * \sqrt[3]{\frac{0,7}{0,55}} = 2,66$$

$$SL \text{ ratio} = \frac{V}{\sqrt{WL}} ; V = 11,54 \text{ kts}$$

Velocidad al 90% de potencia:

$$V = \frac{C}{\sqrt{\frac{LB}{SHP}}} * \sqrt[3]{\frac{\eta}{0,55}} = \frac{150}{\sqrt{\frac{4000}{58,5}}} * \sqrt[3]{\frac{0,7}{0,55}} = 20,46 \text{ kts}$$

Ecuación 11. Velocidad de planeo con factor de corrección.

5.4 Baterías

5.4.1 Cálculos batería

Con la información sobre la potencia del motor a diferentes regímenes de trabajo, el tipo de hélice y su eficiencia para evitar la cavitación, es posible realizar el cálculo del tamaño de la batería requerida para cumplir con los requisitos previamente establecidos para un uso diario normal.

El gasto de 36,38kW por hora para hacer 10 millas por lo que se necesita navegar durante 3 horas para llegar a las 30 millas de requisito.

$$\text{Energía} = 36,38kW * 3horas = 109,14kWh$$

Esta sería la capacidad mínima de la batería.

El peso de las baterías de litio = 6,4 kg/ kWh, por lo que el peso total sería:

$$\text{Peso batería} = 6,4 \frac{kg}{kWh} * 109,14 kWh = 698,5 kg$$

Teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante podríamos llegar hasta 800kg de peso en la batería.

Por lo que se podría poner una batería máxima de:

$$\text{Capacidad} = \frac{800 kg}{6,4 \frac{kg}{kWh}} = 125 kW$$

De esta manera se dejaría un margen de seguridad respecto del 13%.

En la siguiente tabla se pueden observar los diferentes rangos y tiempos de funcionamiento a diferentes velocidades

Velocidad (nudos)	Potencia (kW)	Rango en millas	Rango en horas
5	18,2	34,5	6,9
10	36,4	34	3,4
15	54,6	34,5	2,3
20	43,6	58	2,9

Tabla 13. Autonomia.

Se puede observar que la velocidad más eficiente se alcanza a 20 nudos, debido a que a esa velocidad el barco experimenta un menor desplazamiento en el agua, ya que supera la velocidad de planeo.

4.4.2 Tipos de batería

Existen en el mercado varios tipos de baterías de alta capacidad, cada una con características y ventajas propias. Aquí se presentan algunos ejemplos:

- Baterías de iones de litio (Li-ion): son las más comunes en dispositivos electrónicos portátiles, vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía. Son ligeras, compactas, duraderas y pueden cargarse y descargarse rápidamente.



Figura 21. Módulo de baterías de litio. (20)

- Baterías de polímero de litio (Li-Po): similares a las de iones de litio, pero con un electrolito sólido que les otorga mayor densidad de energía, haciéndolas más ligeras y delgadas.
- Baterías de fosfato de hierro y litio (LiFePO₄): destacan por su estabilidad y seguridad. Tienen una larga vida útil, soportan altas corrientes de carga y descarga y son menos propensas a inflamarse o explotar que las baterías de iones de litio convencionales.
- Baterías de níquel-hidruro metálico (NiMH): son recargables y de alta capacidad, empleadas en dispositivos electrónicos portátiles como cámaras y linternas. No sufren el llamado "efecto memoria" y pueden cargarse cientos de veces.
- Baterías de flujo redox: de alta capacidad, se usan en sistemas de almacenamiento de energía a gran escala, como para suministrar energía a ciudades o almacenar energía solar o eólica. Emplean dos líquidos separados por una membrana para almacenar y liberar energía.

4.4.3 ¿Por qué baterías de litio?

Las baterías de litio son ampliamente utilizadas en los coches eléctricos debido a varias ventajas significativas que ofrecen en comparación con otras tecnologías de baterías.

- **Alta densidad de energía:** Las baterías de litio tienen una alta densidad de energía, lo que significa que pueden almacenar una gran cantidad de energía en relación con su tamaño y peso. Esto es especialmente importante en los vehículos eléctricos, donde se busca maximizar la autonomía y minimizar el peso.
- **Mayor vida útil:** Las baterías de litio tienen una vida útil más larga en comparación con otras tecnologías de baterías. Pueden soportar un mayor número de ciclos de carga y descarga antes de que su capacidad disminuya significativamente. Esto es importante para los propietarios de vehículos eléctricos, ya que desean que sus baterías duren el mayor tiempo posible antes de requerir reemplazo.
- **Recarga rápida:** Las baterías de litio permiten tiempos de recarga más rápidos en comparación con otras tecnologías de baterías. Esto significa que los conductores de vehículos eléctricos pueden recargar sus baterías en un tiempo relativamente corto, lo que mejora la conveniencia y la funcionalidad de los coches eléctricos.
- **Menor autodescarga:** Las baterías de litio tienen una tasa de autodescarga más baja en comparación con otras tecnologías de baterías. Esto significa que las baterías pueden retener su carga durante períodos más largos cuando no se utilizan, lo que es beneficioso para los propietarios de vehículos eléctricos que no los utilizan de forma regular.
- **Ligereza y tamaño compacto:** Las baterías de litio son relativamente ligeras y ocupan menos espacio en comparación con otras tecnologías de baterías.

Esto permite una mayor flexibilidad en el diseño de los vehículos eléctricos y les permite tener un mejor equilibrio entre rendimiento y eficiencia.

Es importante mencionar que la tecnología de las baterías sigue evolucionando y es posible que en el futuro aparezcan nuevas alternativas que puedan competir con las baterías de litio en términos de rendimiento y costos.

CAPÍTULO 6: COMPONENTES SECUNDARIOS

6.1 Esquema componentes

- **Batería principal:** la batería principal es la fuente de energía del barco eléctrico y proporciona la energía necesaria para alimentar el motor eléctrico. Puede ser de diferentes tipos, como baterías de plomo-ácido, de litio o de otros materiales.
- **Unidad de control:** la unidad de control es el cerebro del sistema eléctrico del barco y se encarga de controlar la velocidad y la dirección del motor eléctrico.
- **Circuito de 12V:** el circuito de 12V es un circuito eléctrico independiente que se utiliza para alimentar los componentes eléctricos auxiliares del barco, como las luces de navegación, el sistema de sonido, el GPS, etc.
- **Control de abordó:** el control de abordó es el panel de control que permite al patrón controlar la velocidad y la dirección del barco eléctrico.
- **Batería de 12V:** la batería de 12V es una batería auxiliar que se utiliza para alimentar los componentes eléctricos del circuito de 12V.

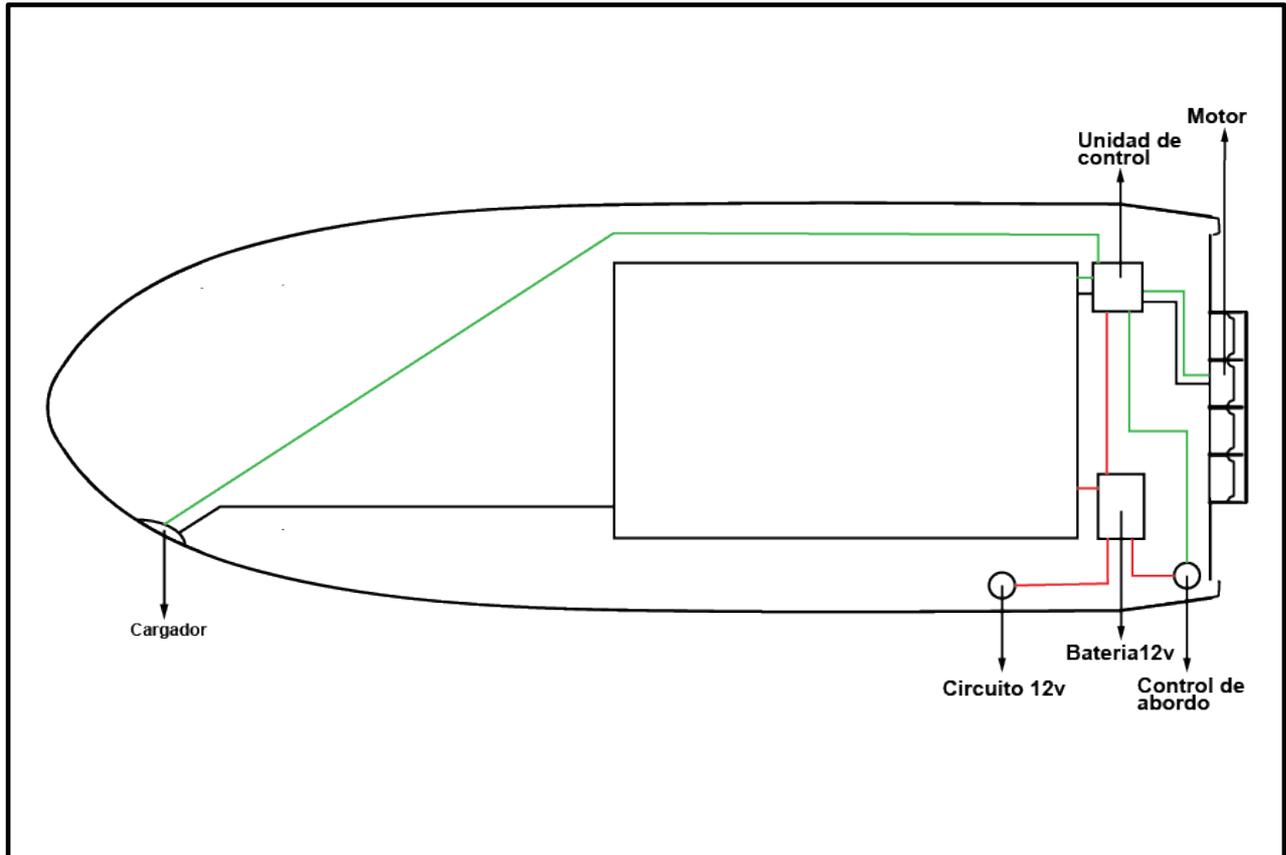


Figura 22. Mapa conexiones.

- **Conexión de alto voltaje:** esta conexión se utiliza para proporcionar energía eléctrica a dispositivos que requieren un voltaje elevado para funcionar, como el motor eléctrico.
- **Conexión de 12V:** esta conexión se utiliza para alimentar dispositivos electrónicos de baja potencia, como luces de navegación, GPS, sistema de sonido, entre otros. La conexión se realiza mediante un cable que se conecta a una batería de 12V o a un circuito de alimentación de 12V.
- **Conexión de datos:** esta conexión se utiliza para transmitir información entre dispositivos electrónicos, como en sistemas de comunicación, redes de computadoras, sensores, entre otros.

6.2 Carga

6.2.1 Tipos de cargadores

Los cargadores de baterías eléctricas se clasifican en tres niveles de carga según su velocidad de carga. El nivel 1 es el más básico y se utiliza en cargadores domésticos. Conectado a una toma eléctrica estándar de 120 voltios, este tipo de cargador es de baja potencia y tarda varias horas para cargar una batería completamente.

El nivel 2 es utilizado tanto en el hogar como en lugares públicos, como estacionamientos de centros comerciales. El cargador nivel 2 utiliza una toma eléctrica de 240 voltios, lo que significa que puede cargar una batería más rápido que el nivel 1. La velocidad de carga puede variar, pero en general puede tardar entre 2 y 6 horas en cargar una batería completamente.

El nivel 3, también conocido como carga rápida, se utiliza en lugares públicos como estaciones de carga en carretera y estaciones de servicio. Los cargadores nivel 3 utilizan corriente continua (CC) en lugar de corriente alterna (CA) y pueden proporcionar una carga mucho más rápida que los niveles 1 y 2. Los cargadores de nivel 3 pueden cargar una batería hasta el 80% de su capacidad en tan solo 30 minutos.

TIPOS DE CARGADORES DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS					
CARACTERÍSTICAS					
CARGADOR/ CARACTERÍSTICAS	CCS1/CCS2	CHADEMO	GB/T	TIPO 1/ TIPO 2	TESLA
TIPO DE CORRIENTE	CC	CC	CA	CA	CC
TIPO DE CARGA*	RÁPIDA	RÁPIDA	SEMI-RÁPIDA	SEMI-RÁPIDA	ULTRA-RÁPIDA
TIEMPO DE CARGA (80%)	40 - 60 MINUTOS	40 - 60 MINUTOS	1-6 HORAS**	1-6 HORAS**	30 MINUTOS
IMAGEN					

*Clasificación según la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC):
 Carga Semi-rápida: 3kW <P ≤ 22kW; Carga Rápida: 22kW <P ≤ 50kW; Carga Ultra-rápida: 50kW <P
 ** Tiempo de carga dependerá de la potencia del cargador



Figura 23. Tipos de cargadores.

6.2.2 Nivel de carga

El estado de carga (SoC) de una batería afecta directamente a la velocidad de carga. A medida que la batería se carga, su SoC aumenta, lo que significa que hay menos capacidad disponible para almacenar energía adicional. A medida que el SoC se acerca al 100%, la velocidad de carga se reduce para evitar la sobrecarga y el daño a la batería. (21)

Cuando una batería tiene un nivel de carga muy bajo, puede ser más fácil y rápido cargarla ya que la batería tiene menos energía para llenar. Sin embargo, cargar una batería muy descargada puede causar estrés en la batería y reducir su vida útil. Por esta razón, es importante evitar que una batería se descargue completamente antes de cargarla.

Por otro lado, si una batería tiene un nivel de carga alto, puede tardar más tiempo en cargarse ya que la batería tiene más energía para llenar. Además, la tasa de carga también puede disminuir a medida que la batería se acerca a su

capacidad total, lo que significa que la batería se cargará más lentamente a medida que se acerque a su capacidad máxima.

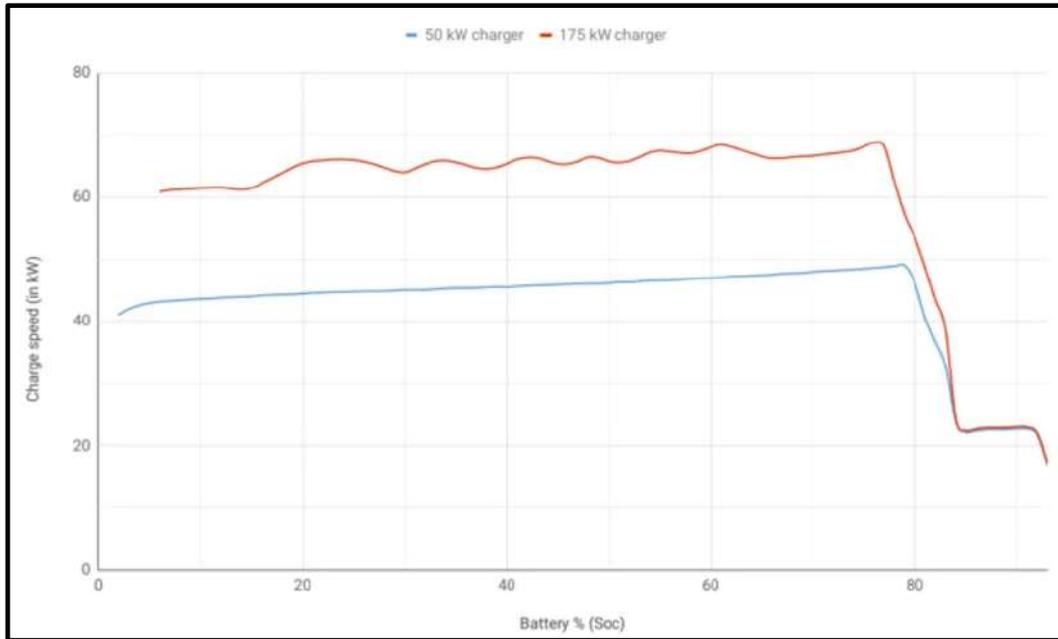


Figura 24. Velocidad de carga vs. SOC

La velocidad de carga también puede verse afectada por otros factores, como la temperatura, la corriente de carga y la capacidad de la batería. En general, la velocidad de carga es más rápida cuando la batería está a una temperatura adecuada y cuando se utiliza un cargador que puede suministrar suficiente corriente a la batería. (22)

Es importante tener en cuenta que una carga demasiado rápida puede ser perjudicial para la batería a largo plazo, ya que puede causar daños internos y reducir su vida útil. Por lo tanto, es importante seguir las recomendaciones del fabricante de la batería y del cargador para asegurarse de cargar la batería de manera segura y efectiva. (23)

6.4 Elementos de seguridad

Los elementos de seguridad que debemos llevar a bordo se determinan según dos parámetros: la categoría de diseño de nuestro barco y la zona de navegación autorizada. La categoría de diseño es establecida por el fabricante y, en términos generales, representa la capacidad de resistir condiciones climáticas adversas sin comprometer la seguridad de los ocupantes a bordo. Por otro lado, la zona de navegación se refiere a las áreas que son consideradas seguras por las autoridades, teniendo en cuenta la categoría de diseño del barco y otros factores como permisos y licencias de navegación. (22) Los elementos son los siguientes:

- Equipo de comunicación. es recomendable llevar un equipo de radio VHF para poder comunicarse en caso de emergencia. (A partir de 200\$)



Figura 25. Radio VHF.

- Extintor: si la embarcación dispone de un motor de combustión, es necesario que lleve a bordo un extintor homologado y en buen estado. La homologación vigente es: M.E.D. 2014/90/EU. (23)



Figura 26. Extintor.

- Botiquín de primeros auxilios: es importante que la embarcación lleve a bordo un kit de primeros auxilios que contenga los elementos básicos para atender pequeñas lesiones. El botiquín tiene que ser de tipo C según la normativa, esto depende de las zonas de navegación. (24)



Figura 27. Botiquín Tipo C

- **Luces de navegación:** es necesario que la embarcación lleve a bordo luces de navegación adecuadas para su tamaño y tipo, que permitan ser vistas desde otros barcos.
- **Chalecos salvavidas:** es obligatorio llevar a bordo un chaleco salvavidas homologado para cada persona que se encuentre en la embarcación. Además, es recomendable que se lleve un chaleco extra en caso de emergencia. Los chalecos deben estar homologados y tener una capacidad de flotación de al menos 50 Newton.
- **Bocina de niebla:** es obligatorio llevar una bocina de niebla que permita emitir señales acústicas audibles a larga distancia.

CAPÍTULO 7: ESTUDIO ECONÓMICO

7.1 Coste de producción

Se ha realizado un presupuesto del coste de producción de la embarcación

Elementos Principales				
Elemento	Modelo	Unidades	Precio	Total
Casco	20 ft Orca	#1	9.800,00 €	9.800,00 €
Motor	Deep Blue 50 RXL System	#1	23.999,00 €	23.999,00 €
Bateria	125 kWh	#1	28.000,00 €	28.000,00 €
Hélice	13 1/4 x 17	#1	320,00 €	320,00 €
Elementos Secundarios				
Elemento	Modelo	Unidades	Precio	Total
Radio VHF	SportNav SPO-507M	#1	199,00 €	199,00 €
Extintor	Homologado CEE P.E.D. 97/23EC	#1	22,10 €	22,10 €
Botiquín	Tipo C	#1	45,33 €	45,33 €
Bocina de Niebla	Unitec 76329	#1	13,99 €	13,99 €
Chalecos	100 Newton	#5	10,99 €	54,95 €
TOTAL				62.454,37 €

Tabla 14. Coste de producción.

Se puede apreciar que el coste de los componentes eléctricos representa la mayor parte del presupuesto. Esta estimación se utilizará para calcular la rentabilidad en comparación con una embarcación convencional.

7.2 Rentabilidad

Se va a realizar un estudio económico viendo el precio de producción de la embarcación y también viendo cuantos años tardaría en ser mas barata que una embarcación de combustible.

Para realizar el estudio económico se han tenido en cuenta los siguientes factores:

- Uso del precio medio de los meses junio, julio y agosto durante los últimos 5 años como precio de la electricidad. Además, se va a usar el precio medio nocturno ya que es cuando los barcos están cargando y por el día se usan.
- El precio de la gasolina ha variado significativamente durante los últimos años, por ello se ha establecido un valor medio de 1,7 euros/litro

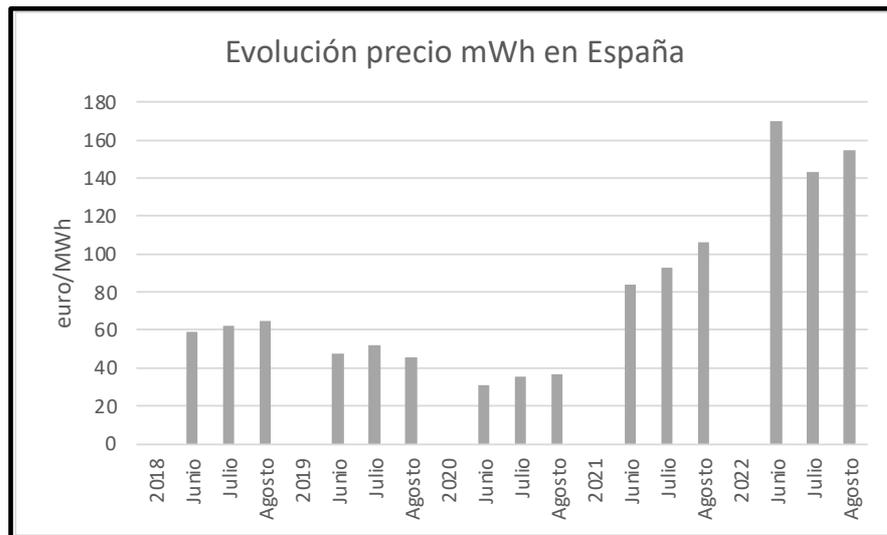


Tabla 15. Evolución MWh en España.

2018	euros/MWh
Junio	58,9
Julio	62,3
Agosto	65
2019	
Junio	47,4
Julio	52
Agosto	45,4
2020	
Junio	31
Julio	35,2
Agosto	36,8
2021	
Junio	83,9
Julio	92,8
Agosto	106,5
2022	
Junio	169,7
Julio	143,2
Agosto	154,8

Tabla 16. Precio MWh por mes.

Se continúa calculando el precio por salida de cada embarcación, el calculo se estima para 3 horas de motor al 90% de potencia.

Embarcación	Horas de motor	Consumo	Total	Precio	Total
Eléctrico	3	45 kW/hora	115 kW	0,2 euros/kWh	23,00 €
Combustión	3	40 L/hora	120 L	1,7 euros/litro	204,00 €

Tabla 17. Coste por día de uso.

Ahora veremos el coste del primero años en comparación con el coste de los años siguientes.

Los siguientes valores han sido estimados basándose en diversos estudios. Se ha considerado que el coste de mantenimiento de un barco convencional es aproximadamente el 10% del precio de compra, lo cual es un valor estandarizado. Además, se ha asumido que el mantenimiento de un barco eléctrico es un 30%

menor que el de un barco convencional. En cuanto al combustible, se han utilizado precios promedio de los últimos años.

7.2.1 Uso particular

En primer lugar, se van a realizar los cálculos para uso particular, para ello se simulará el uso que le daría una familia, esto sería unas 20 veces al año.

Año 1	Inversión	Mantenimiento	Nº Salidas	Combustible	Total	Acumulado	Ahorro
Electrico	62.454,37 €		20	460,00 €	62.914,37 €	62.914,37 €	- 30.934,37 €
Combustión	27.900,00 €		20	4.080,00 €	31.980,00 €	31.980,00 €	
Año 2							
Electrico		2.450,00 €	20	460,00 €	2.910,00 €	65.824,37 €	- 26.264,37 €
Combustión		3.500,00 €	20	4.080,00 €	7.580,00 €	39.560,00 €	
Año 3							
Electrico		2.450,00 €	20	460,00 €	2.910,00 €	68.734,37 €	- 21.594,37 €
Combustión		3.500,00 €	20	4.080,00 €	7.580,00 €	47.140,00 €	
Año 4							
Electrico		2.450,00 €	20	460,00 €	2.910,00 €	71.644,37 €	- 16.924,37 €
Combustión		3.500,00 €	20	4.080,00 €	7.580,00 €	54.720,00 €	
Año 5							
Electrico		2.450,00 €	20	460,00 €	2.910,00 €	74.554,37 €	- 12.254,37 €
Combustión		3.500,00 €	20	4.080,00 €	7.580,00 €	62.300,00 €	
Año 6							
Electrico		2.450,00 €	20	460,00 €	2.910,00 €	77.464,37 €	- 7.584,37 €
Combustión		3.500,00 €	20	4.080,00 €	7.580,00 €	69.880,00 €	
Año 7							
Electrico		2.450,00 €	20	460,00 €	2.910,00 €	80.374,37 €	- 2.914,37 €
Combustión		3.500,00 €	20	4.080,00 €	7.580,00 €	77.460,00 €	
Año 8							
Electrico		2.450,00 €	20	460,00 €	2.910,00 €	83.284,37 €	1.755,63 €
Combustión		3.500,00 €	20	4.080,00 €	7.580,00 €	85.040,00 €	

Tabla 18. Coste acumulado para particular.

Podemos observar que, durante el primer año, la adquisición de un barco eléctrico requiere de una inversión mayor, aproximadamente un 52% superior. Sin embargo, a partir del segundo año, se puede apreciar un ahorro anual del 65% en los costos de uso.

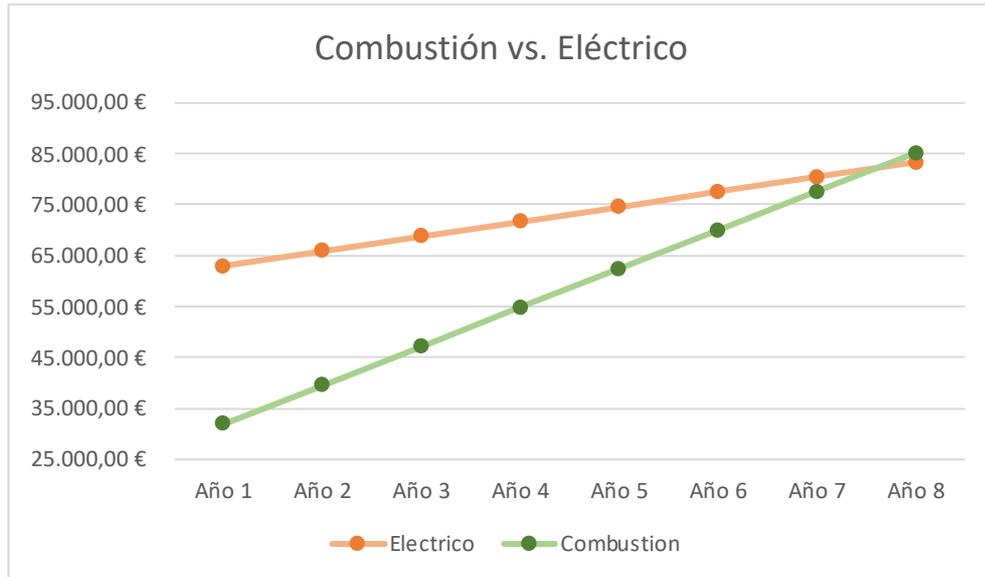


Figura 28. Coste acumulado por años para particular.

Como resultado, si se llevan a cabo 20 salidas al año, tomaría aproximadamente 8 años recuperar la inversión realizada en la compra de un barco eléctrico en comparación con uno convencional. Sin embargo, este cálculo está sujeto a posibles cambios en las normativas, impuestos, así como en los precios de la electricidad y la gasolina.

7.2.2 Comercial

En este segundo ejemplo se ha llevado a cabo un estudio similar, pero esta vez simulando el uso comercial de las embarcaciones, como en el caso de una empresa dedicada al alquiler de este tipo de barcos. Se ha considerado un promedio de 100 salidas al año, ya que en muchos casos estas embarcaciones

realizan dos salidas diarias durante los meses de verano.

Año	Inversión	Mantenimiento	Nº Salidas	Combustible	Total	Acumulado	Ahorro
Año 1							
Electrico	62.454,37 €		100	2.300,00 €	64.754,37 €	64.754,37 €	- 16.454,37 €
Combustión	27.900,00 €		100	20.400,00 €	48.300,00 €	48.300,00 €	
Año 2							
Electrico		2.450,00 €	100	2.300,00 €	4.750,00 €	69.504,37 €	2.695,63 €
Combustión		3.500,00 €	100	20.400,00 €	23.900,00 €	72.200,00 €	
Año 3							
Electrico		2.450,00 €	100	2.300,00 €	4.750,00 €	74.254,37 €	21.845,63 €
Combustión		3.500,00 €	100	20.400,00 €	23.900,00 €	96.100,00 €	
Año 4							
Electrico		2.450,00 €	100	2.300,00 €	4.750,00 €	79.004,37 €	40.995,63 €
Combustión		3.500,00 €	100	20.400,00 €	23.900,00 €	120.000,00 €	
Año 5							
Electrico		2.450,00 €	100	2.300,00 €	4.750,00 €	83.754,37 €	60.145,63 €
Combustión		3.500,00 €	100	20.400,00 €	23.900,00 €	143.900,00 €	
Año 6							
Electrico		2.450,00 €	100	2.300,00 €	4.750,00 €	88.504,37 €	79.295,63 €
Combustión		3.500,00 €	100	20.400,00 €	23.900,00 €	167.800,00 €	
Año 7							
Electrico		2.450,00 €	100	2.300,00 €	4.750,00 €	93.254,37 €	98.445,63 €
Combustión		3.500,00 €	100	20.400,00 €	23.900,00 €	191.700,00 €	
Año 8							
Electrico		2.450,00 €	100	2.300,00 €	4.750,00 €	98.004,37 €	117.595,63 €
Combustión		3.500,00 €	100	20.400,00 €	23.900,00 €	215.600,00 €	

Figura 29. Coste acumulado para empresa.

En este caso se ve como a mayor numero de salidas antes se rentabiliza una compra de estas características, llegando al punto de amortización en el año 2 en comparación con el ejemplo anterior que se llegaba en el año 8.

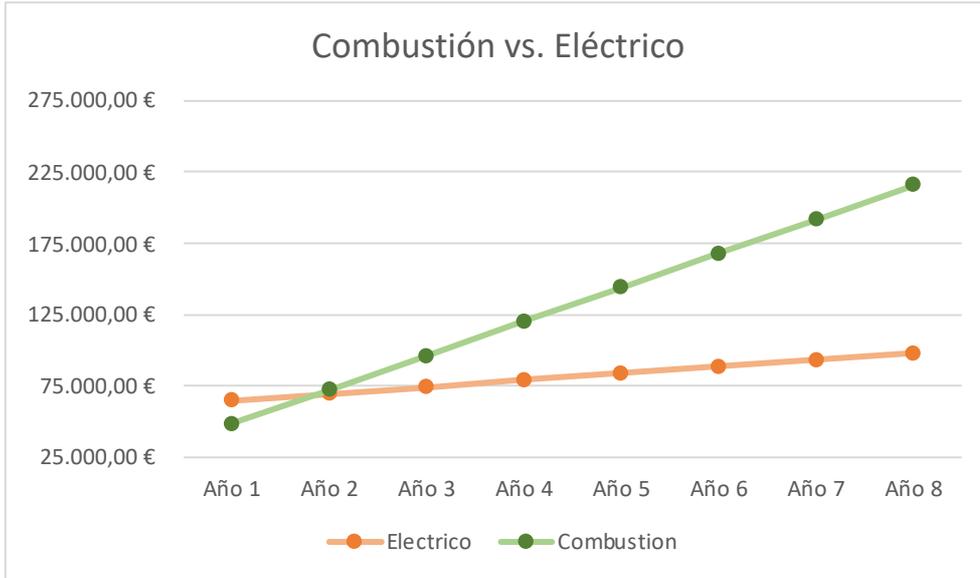


Figura 30. Coste acumulado por años para empresa.

Se observa como a partir del año 2 ya sería mas económico el uso de la embarcación eléctrica, y como el ahorro sube de manera lineal a lo largo que pasan los años.

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

El proyecto se enfocó en el estudio y desarrollo de un barco eléctrico de 6 metros, con el objetivo de analizar su viabilidad y compararlo con las embarcaciones convencionales. Los resultados obtenidos respaldan la idea de que la tecnología eléctrica aplicada al sector náutico brinda una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Aunque los componentes eléctricos representan una parte significativa del presupuesto inicial del barco eléctrico, se determinó que a largo plazo este tipo de embarcación puede generar ahorros considerables en combustible y mantenimiento. Esto implica una mejora en la rentabilidad económica, lo cual es un aspecto clave para su viabilidad en el mercado.

Es alentador observar un creciente interés por soluciones más sostenibles en la industria de la navegación. La aceptación por parte de los usuarios y la comunidad náutica ha sido positiva, lo que indica una demanda creciente de embarcaciones más respetuosas con el medio ambiente. Sin embargo, se identificaron algunas limitaciones que deben abordarse para impulsar la adopción masiva de barcos eléctricos.

Una de las principales limitaciones identificadas en el estudio fue la autonomía limitada de las embarcaciones eléctricas. Aunque se han realizado avances en la eficiencia de las baterías, todavía existen desafíos para ampliar el rango de navegación sin necesidad de recargar. Es necesario mejorar significativamente la tecnología de las baterías para reducir el peso de las embarcaciones, ya que esto es crucial para disminuir el consumo de energía.

Durante el estudio, se observó que el peso de las embarcaciones eléctricas era aproximadamente un 40% mayor en comparación con las embarcaciones convencionales. Este incremento en el peso tiene un impacto negativo en el desplazamiento y, en consecuencia, en la eficiencia energética de la embarcación. Reducir el peso de manera efectiva se convierte en un factor clave para mejorar la autonomía y el rendimiento general de los barcos eléctricos. Además, la infraestructura de carga para barcos eléctricos está en desarrollo y requiere una expansión para satisfacer las necesidades de la creciente flota eléctrica.

En conclusión, el estudio realizado demuestra la viabilidad y eficiencia de los barcos eléctricos de 6 metros, destacando su potencial para contribuir a una navegación más ecológica y rentable en el futuro. A pesar de las limitaciones identificadas, el interés y la demanda por soluciones sostenibles indican que la industria náutica se dirige hacia un enfoque más respetuoso con el medio ambiente, y los barcos eléctricos desempeñarán un papel fundamental en esa transición.

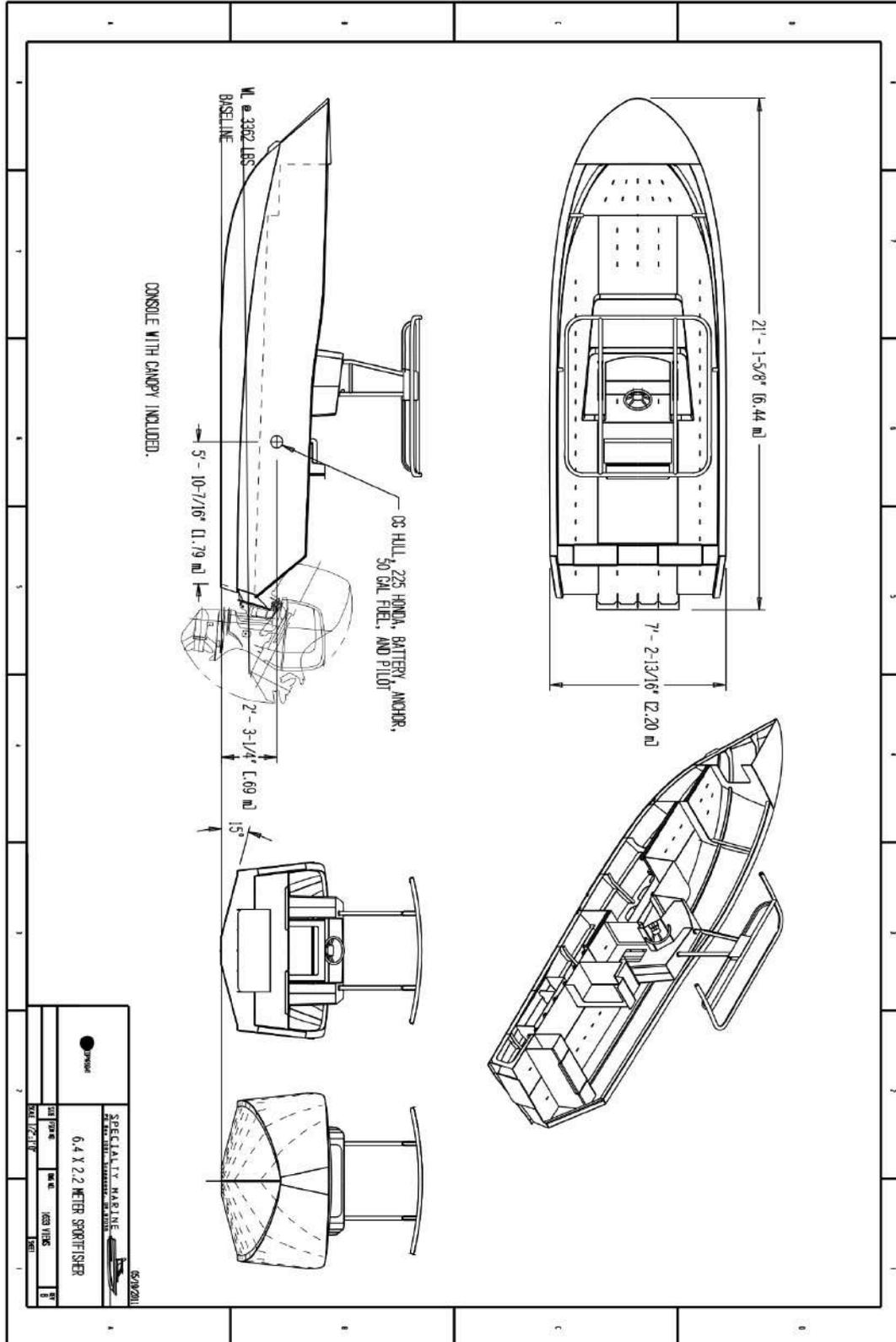
Bibliografía

1. *Neptuno*. [Online] <https://www.neptuno.es/historia-de-la-nautica-deportiva-en-espana/>.
2. *Portamovilidad*. [Online] 2020. <https://portalmovilidad.com/motores-electricos-vs-a-combustion-quien-gana-nuevo-informe-de-amech-compara-los-puntos-mas-importantes/>.
3. *Marinas de España*. [Online] 2021. <https://marinasdeespana.es/>.
4. *REN21*. [Online] 2022. <https://www.ren21.net/reports/global-futures-report/>.
5. *IRENA*. [Online] 2022. <https://www.irena.org/>.
6. *IEA*. [Online] 2023. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electric-vehicles>.
7. *IEA*. [Online] 2023. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electric-vehicles>.
8. Commission, . [Online] 2018. https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans_en.
9. *IEA*. [Online] 2023. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electric-vehicles>.
10. —. [Online] 2023. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electric-vehicles>.
11. —. [Online] 2023. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electric-vehicles>.
12. Programme, United Nations Development. Sustainable Development Goals. [Online] 2019. <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>.
13. Gatto, A., & Zizzo, G. [Online] 2017. <https://doi.org/10.3390/jmse5030033>.
14. Heine, B., & Binns, J. *Electric Boats and Ships: A History*. McFarland. 2016.
15. Garmendia, N., de la Peña, J. L., & Castejón, L. *Design of an electric boat propulsion system*. *Energies*. 2019.
16. Vita-Power. [Online] 2023. <https://vita-power.com/boats/vita-lion/>.
17. Elco. Elco Electric Propulsion. [Online] 2021. <https://elco-ep.com/>.
18. Vita-Power. [Online] <https://vita-power.com/boats/vita-seadog/>.
19. Q-Yachts. [Online] 2022. <https://q-yachts.com/q24-club/>.
20. Forrero, . *Infobae*. [Online] 2021. <https://www.infobae.com/autos/2021/08/01/un-experto-en-baterias-explica-que-pasara-en-el-futuro-con-los-autos-electricos/>.

21. Mies, . [Online] 2018. https://www.researchgate.net/figure/Effect-of-State-of-Charge-on-charging-speed-and-is-elaborated-upon-in-the-Discussion_fig8_325942518.
22. *NauticaProfesional*. [Online] 2020. <https://nauticaprofesional.com/equipos-de-seguridad-a-bordo-de-una-embarcacion/>.
23. *BOE*. [Online] 2014. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2003/BOE-A-2003-9581-consolidado.pdf>.
24. *Neptuno*. [Online] 2020. <https://www.neptuno.es/contenido-del-botiquin-a-bordo-de-una-embarcacion-de-recreo/>.
25. Fantail. Fantail 217E Electric Boat. [Online] 2021. <https://www.fantailboats.com/>.
26. Belle, . New Electric Boat. [Online] 2021. <https://www.newelectricboat.com/echappee-belle/>.
27. *Google Maps*. [Online]
28. [Online] 2011. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es702178s>.

ANEXOS

ANEXO A: PLANOS CASCO



ANEXO B: CARACTERISTICAS TECNICAS DEEP BLUE 50

Sistema Deep Blue	Deep Blue 50 RL / RXL
Potencia de entrada continua (pico)	54,5 kW (61,8 kW)
Potencia de salida mecánica continua en el eje (pico)	48,5 kW (55 kW)
Tensión nominal	350 V
Tensión mínima para el máximo rendimiento	330 V
Par continuo / par máximo	190 Nm / 215 Nm
Velocidad máxima del eje	2440 1/min
Máxima eficacia de la entrada eléctrica a la salida mecánica	89%
Fuerabordas de gasolina comparables (potencia del eje)	80 CV
Máxima eficiencia global	54 %
Peso del motor, incluyendo la electrónica y el cableado	L: 139 kg XL: 146 kg
Dimensión La/An/Pr	868 x 394 x 1,535 mm
Longitud del eje	L: 20" / 51 cm XL: 25" / 63,5 cm
Hélice estándar	Hélice estándar de alta velocidad: Diámetro 12,5" / Paso 15,8" / 5 Palas
Montaje de la hélice	Caja de cambios: 4 ¼ " Eje: 13 dientes
Temperatura ambiente máxima permitida	45°C
Temperatura máxima de accionamiento regulador/motor	90°C / 130°C
Refrigeración	Refrigeración directa por agua
Temperatura máxima de entrada	35°C
Categoría de protección	IP 67
Conformidad	IEC 60034-1 IEC 60349-2 IEC 60146-1-1
Dispositivo de inclinación y trimado	Inclinación y trimado eléctrico
Alcance del suministro	Motor fueraborda Cableado

ANEXO C: PLANOS MOTOR

