



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño del sistema de propulsión eléctrica de una
embarcación de recreo a vela Sun Odyssey 509

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de la Energía

AUTOR/A: Antón Herranz, Alejandro

Tutor/a: Pons Llinares, Joan

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

RESUMEN

En la actualidad se puede observar un fuerte apoyo e investigación hacia la movilidad sostenible. Si bien esta transición es más rápida en el sector automovilístico o en la náutica comercial y militar, es importante conseguir que la movilidad sostenible llegue a todos los ámbitos y obtener soluciones para que la electrificación llegue hasta la movilidad marítima recreativa.

En el presente trabajo final de grado se ha diseñado el sistema de propulsión eléctrica de un velero recreativo de 51 pies de eslora, dicho velero denominado "Nuk". Para el correcto desarrollo del trabajo, se ha procedido a intercambiar con el armador opiniones y necesidades acerca de la embarcación y se ha dispuesto de un análisis para que el sistema de propulsión se acople a la embarcación; de manera que no se pierdan prestaciones pero sí beneficiarse de las grandes ventajas de la propulsión eléctrica.

Como solución, se ha decidido adoptar un sistema de propulsión funcionando a baja tensión (48 voltios) mediante dos motores síncronos de imanes permanentes de 10 kW de potencia situados cada uno en los camarotes de popa. La capacidad total de la que dispone el sistema es de 28,4 kWh, conseguida mediante 4 baterías. Uno de los objetivos del trabajo es que el velero pudiese generar su propia energía de manera sostenible, para ello se ha dispuesto de un sistema fotovoltaico dispuesto por 4 placas de 200W de potencia y además los motores cuentan con la posibilidad de generar energía al navegar a vela mediante el giro de las hélices y el motor síncrono funcionando como generador.

Mediante estas medidas se ha conseguido un velero totalmente eléctrico y sostenible que puede navegar de manera autosuficiente para el trabajo que es requerido.

Palabras Clave: Velero, Electrificación, Propulsión.

RESUM

En l'actualitat es pot observar un fort suport i investigació cap a la mobilitat sostenible. Si bé està transició és més ràpida en el sector automobilístic o en la *naútica comercial i militar, és important aconseguir que la mobilitat sostenible arribi a tots els àmbits i obtindre solucions perquè l'electrificació vaig arribar fins a la mobilitat marítima recreativa.

En el present treball final de grau s'ha dissenyat el sistema de propulsió elèctrica d'un veler recreatiu de 51 peus d'eslora, aquest veler denominat "Nuk". Per al correcte desenvolupament del treball, s'ha procedit a intercanviar amb l'armador opinions i necessitats sobre l'embarcació i s'ha disposat d'una anàlisi perquè el sistema de propulsió s'acoble a l'embarcació; de manera que no es perden prestacions però sí que beneficiar-se dels grans avantatges de la propulsió elèctrica.

Com a solució, s'ha decidit adoptar un sistema de propulsió funcionant a baixa tensió (48 volts) mitjançant dos motors síncrons d'imants permanents de 10 kW de potència situats cadascun en les cabines de popa. La capacitat total de la qual disposa el sistema és de 28,4 kWh, aconseguida mitjançant 4 bateries. Un dels objectius del treball és que el veler poguera generar la seua pròpia energia de manera sostenible, per a això s'ha disposat d'un sistema fotovoltaic disposat per 4 plaques de 200W de potència i a altres els motors compten amb la possibilitat de generar energia en navegar a vela mitjançant el gir de les hèlices i el motor síncron funcionant com a generador.

Mitjançant estàs mesurades s'ha aconseguit un veler totalment elèctric i sostenible que pot navegar de manera autosuficient per al treball que és requerit.

Paraules Clau: Veler, Electrificació, Propulsió.

SUMMARY

There is currently strong support and research towards sustainable mobility. Although this transition is faster in the automotive sector or in the commercial and military nautical sector, it is important to ensure that sustainable mobility reaches all areas and to obtain solutions so that electrification reaches recreational maritime mobility.

In this final degree project, the electric propulsion system of a 51-foot recreational sailboat called "Nuk" has been designed. For the correct development of the work, opinions and needs about the boat were exchanged with the owner and an analysis was carried out so that the propulsion system could be adapted to the boat, so as not to lose performance but to be able to benefit from the great advantages of electric propulsion.

As a solution, it has been decided to adopt a propulsion system operating at low voltage (48 volts) by means of two 10 kW permanent magnet synchronous motors, each located in the aft cabins. The total capacity of the system is 28,4 kWh , achieved by means of 4 batteries. One of the objectives of the work is that the sailboat could generate its own energy in a sustainable way, for it has been arranged a photovoltaic system arranged by 4 plates of 200W of power and to others the motors have the possibility of generating energy when sailing by means of the rotation of the propellers and the synchronous motor working as a generator.

By means of these measures a totally electric and sustainable sailboat has been achieved that can sail in a self-sufficient way for the work that is required.

Key-words: Sailboat, Electrification, Propulsion.

DOCUMENTOS TFG

- I. MEMORIA Y PRESUPUESTO
- II. BIBLIOGRAFÍA
- III. PLANOS
- IV. ANEXOS

MEMORIA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. Contexto y motivación del proyecto.....	16
1.2. Objetivos y alcance del trabajo.....	17
1.3. Metodología empleada.....	17
2. NORMATIVA.....	18
2.1. Normativa aplicable.....	18
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	19
3.1. Propulsión eléctrica.....	20
3.2. Embarcaciones eléctricas.....	23
3.3. Componentes del sistema de propulsión eléctrica.....	26
4. ESTADO DEL ARTE.....	30
4.1. Análisis histórico.....	30
4.2. Análisis comparativo de sistemas de propulsión eléctrica en embarcaciones de recreo a vela.....	32
4.2.1. Veleros actualmente electrificados.....	33
4.3. Análisis de mercado.....	35
5. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA.....	36
5.1. Especificaciones técnicas del sistema.....	36
5.1.1. Sun Odyssey 509.....	36
5.1.2. Motor Actual.....	37
5.1.3. Sistema eléctrico doméstico.....	40
5.2. Diseño del sistema de propulsión.....	41
5.2.1. Elección del sistema de propulsión.....	41
5.2.2. Baterías del sistema.....	45
5.2.2.1. Caso práctico baterías.....	46
5.2.3. Ubicación Componentes.....	47
5.2.4. Longitudes, Secciones y Protecciones.....	48
5.3. Selección de Componentes.....	51
5.3.1. Motores.....	51
5.3.2. Sistema de Baterías.....	52
5.3.3. Cargador y Convertidor CC-CC.....	52
5.4. Integración con sistema de generación renovables.....	53
5.4.1. Hidro generación.....	53
5.4.1.1. Caso práctico hidro-generación.....	55
5.4.2. Estudio Fotovoltaico.....	56
6. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	66
6.1. KPIs.....	66
6.2. Inversión Inicial.....	68
6.3. Ahorro económico.....	69
6.4. Viabilidad del proyecto.....	71

6.5. Presupuesto.....	72
7. ANÁLISIS SOSTENIBILIDAD.....	73
8. CONCLUSIONES.....	74
9. BIBLIOGRAFÍA.....	75
10. Planos.....	83
11. Anexos.....	84
11.1. Fotos Actuales del Velero.....	84
11.2. Fichas Técnicas.....	86

LISTA DE TABLAS

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA.....	35
Tabla 5.1 - Rangos disponibles dependientes de la velocidad.....	46
Tabla 5.2 - Dimensiones Componentes en el compartimento motor.....	47
Tabla 5.3 - Longitudes necesarias entre componentes.....	47
Tabla 5.4 - Dimensionamiento de conductores.....	49
Tabla 5.5 - Potencia generada por los motores en travesía (Caso práctico).....	56
6. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	66
Tabla 6.1 - Tabla ahorros y flujos de caja durante la vida útil del trabajo.....	71
Tabla 6.2 - Presupuesto del trabajo.....	72
7. ANÁLISIS SOSTENIBILIDAD.....	73
Tabla 7.1 - Emisiones anuales de dióxido de carbono equivalentes emitidas por la embarcación.....	73

LISTA DE FIGURAS

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	17
Fig 3.1 - Componentes de fuerza actuando sobre la hélica debido al movimiento del eje. [2].....	18
Fig 3.2 - Hélices de un buque.....	19
Fig 3.3 - Gráficas Par-Rpm y Potencia-Rpm.[6].....	19
Fig 3.4 - Motora de recreo eléctrica.[8].....	21
Fig 3.5 - Barco solar diseñado por Solemar.[9].....	21
Fig 3.6 - Azipods “Queen Mary 2”.[10].....	22
Fig 3.7 - Buque “RMS Queen Mary 2”.....	22
Fig 3.8 - E-ferry denominado “Ellen” mientras transita entre las islas de Als y Aero (Dinamarca).[12].....	22
Fig 3.9 - Submarino diseñado por Isaac Peral.[14].....	23
Fig 3.10 - Componentes del sistema de propulsión eléctrica en un velero de recreo.[15].....	23
Fig 3.11 - Composición batería plomo-ácido.[18].....	25
Fig 3.12 - Composición batería LFP.[20].....	26
Fig 3.13 - Cargadores del puerto.....	27
4. ESTADO DEL ARTE.....	27
Fig 4.1 - Prueba del barco eléctrico de Moritz. Río Neva, San Petersburgo 1838... 28	28
Fig 4.2 - Moritz Hermann von Jacobi.....	28
Fig 4.3 - Cronología Embarcaciones Eléctricas. Elaboración propia.....	29
Fig 4.4 - Velero Dufour 410 “Amor-foll”[25].....	31
Fig 4.5 - Velero J/120.[26].....	31
Fig 4.6 - Contessa 34 “SV Nazcal”.[27].....	32
Fig 4.7 - Oyster Mariner 35 “Muhuhu”.[28].....	32
Fig 4.8 - Ejemplo de Contaminación marina por vertido de buques.....	33
5. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA.....	33
Fig 5.1 - Sun Odyssey 509 en navegación.....	34
Fig 5.2 - Distancias en un velero.[33].....	35
Fig 5.3 - Localización del motor en el interior de la embarcación.....	36
Fig 5.4 - Motor Yanmar 75Hp.....	36
Fig 5.5 - Curva Par-Velocidad.[34].....	37
Fig 5.6 - Curva Potencia-Velocidad.[34].....	37
Fig 5.7 - Curva Consumo-Velocidad.[34].....	38
Fig 5.8 - Panel eléctrico del Sun Odyssey 509 “Nuk”.....	39
Fig 5.9 - Gráficas orientativas acerca de la elección del sistema de propulsión.[35]..	39
Fig 5.11 - Oceanvolt AXC24.....	40
Fig 5.12 - Maniobras disponibles con sistema de dos motores.[37].....	41

Fig 5.13 - Oceanvolt SD10.....	42
Fig 5.14 - Consumo Sistema Twin SD10 (20kW). Datos proporcionados por OceanVolt.....	42
Fig 5.15 - Configuración de Baterías (Elaboración propia).....	44
Fig 5.16 - Rango Millas con respecto a la Velocidad del buque.....	45
Fig 5.17 - Rango Millas con respecto a la Velocidad del buque.....	47
Fig 5.18 - Esquema componentes del sistema.....	49
Fig 5.19 - Estimación de generación de potencia a través de Oceanvolt SD10.....	52
Fig 5.20 - Rumbos de Navegación.....	52
Fig 5.21 - Escala Beaufort[44].....	53
Fig 5.22 - Extracto de Google Earth Valencia-Jávea.....	54
Fig 5.23 - Esquema del área aprovechable para paneles fotovoltaicos.....	56
Fig 5.24 - Vista en perspectiva de localización de los paneles fotovoltaicos.....	57
Fig 5.25 - Vista lateral del Sun Odyssey 509 y Barco vecino con instalación fotovoltaica en popa.....	57
Fig 5.26 - Vista de localización de la embarcación en la Marina de Valencia (Foto extraída de Google Earth).....	58
Fig 5.27 - Curvas Temperatura diaria por mes.....	58
Fig 5.28 - Curvas Irradiancia diaria por mes.....	59
Fig 5.29 - Curvas Pérdidas por Temperatura diaria por mes.....	60
Fig 5.30 - Curvas Pérdidas por Irradiancia diaria por mes.....	60
Fig 5.31 - Curva de potencia generada por el sistema.....	61
Fig 5.32 - Curva de energía generada por el sistema.....	62
Fig 5.33 - Dimensiones Módulo Fotovoltaico.....	63
Fig 5.34 - Distribución de paneles fotovoltaicos. Elaboración propia.....	64
6. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	65
Fig 6.1 - Gráfica circular de gastos porcentuales. Elaboración propia.....	67
Fig 6.2 - Gráfica Amortización.....	70

LISTA DE ECUACIONES PRINCIPALES

6. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA

(1)- Tensión de baterías conectadas en serie.....	43
(2)- Capacidad de baterías conectadas en serie.....	43
(3)- Tensión de baterías conectadas en paralelo.....	43
(4)- Capacidad de baterías conectadas en paralelo.....	43
(5)-Autonomía disponible (Rango en millas náuticas).....	57
(6)- Caída de tensión de los cables.....	46
(7)- Energía generada por los motores.....	52
(8)- Espacio disponible para instalación de módulos FV.....	54
(9)- Temperatura célula en condiciones NOCT.....	57
(10)- Pérdidas por Temperatura.....	57
(11)- Pérdidas por Irradiancia.....	57
(12)- Potencia generada por la instalación fotovoltaica.....	57
(13)- Energía generada por la instalación fotovoltaica.....	57

7. ANÁLISIS ECONÓMICO

(14)- VAN.....	62
(15)- TIR.....	62

8. ANÁLISIS SOSTENIBILIDAD

(16)- Equivalente emisión.....	68
--------------------------------	----

NOMENCLATURA

A continuación se puede ver la lista con la nomenclatura usada para el trabajo:

V: voltios

A: Amperios

RPM: revoluciones por minuto

nudos: milla náutica por hora

milla náutica: 1,852 km

W: vatios

BMS: Battery Management System (Sistema de monitorización de Baterías)

CAGR: crecimiento anual compuesto

VA: VoltiAmperios

CC/DC: Corriente Continua/Direct Current

CA/AC: Corriente alterna/Alternate current

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto y motivación del proyecto

En la última década se ha podido ver un gran impulso hacia la electrificación de los vehículos, en particular el sector de la automoción. Dicha tendencia se ha visto respaldada por medidas gubernamentales, con el objetivo de frenar las emisiones de dióxido de carbono y así poder frenar y contrarrestar el cambio climático. Esta misma tendencia, poco a poco se traslada al sector naval recreativo. Es en este contexto de cambio, de transición a la movilidad eléctrica, que se realiza el presente trabajo fin de grado.

La pasión por la vela del autor del trabajo lleva a buscar una solución sostenible. Es ahí cuando, surge la idea de la posibilidad de diseñar un sistema de propulsión eléctrica de un velero y gracias al tutor del trabajo se contó con un velero magnífico y de magnitud suficiente para la aplicación de este proyecto, el velero llamado Nuk, amarrado en la marina de Valencia. Más concretamente, el velero pertenece a la clase Sun Odyssey de Jeanneau y tiene una eslora de 51 pies.

La gran motivación de este proyecto viene de cómo la implantación de sistemas de generación de energías renovables, unido a un sistema de propulsión eléctrico, es capaz de integrarse perfectamente en una embarcación y darle autonomía suficiente para poder operar sin necesidad de contar con motor y generador de combustión, eliminando con ello los gases de efecto invernadero. Es por ello que se ha aplicado todo lo aprendido en la carrera sobre la generación y uso de energía libre de CO₂ a una embarcación y dar visibilidad a las energías limpias y la electrificación en un sector en el cual este tipo de tecnologías aún están en proceso de explotación.

1.2. Objetivos y alcance del trabajo

El principal objetivo del trabajo es el correcto diseño de un sistema de propulsión eléctrica capaz de aportar el empuje necesario de manera óptima una embarcación de recreo a vela, Sun Odyssey 509.

A su vez, otro de los objetivos del proyecto es dar visibilidad a las energías renovables y su poder de aplicación a todo tipo de sistemas, en este caso un velero. También, otro de los objetivos es mostrar todas las ventajas que los motores eléctricos tienen sobre los motores de combustión y como su implantación puede ser un paso hacia un mundo más sostenible sin dejar de tener prestaciones con los sistemas actuales.

Si bien este trabajo de diseño ha sido realizado para una embarcación específica, su alcance es mayor ya que es posible aplicar el mismo proceso de diseño a cualquier tipo de embarcación de eslora similar o menor que naveguen a vela. Por lo tanto, en un sector que aún desconfía de la electrificación, este tipo de trabajos dan una visibilidad y alcance que pueden romper barreras y demostrar por qué este tipo de soluciones son las más óptimas para el presente y futuro.

1.3. Metodología empleada

La metodología empleada para este proyecto ha sido mediante recopilación de documentos acerca del sector naval tanto aplicaciones recreativas como comerciales.

Para la toma de medidas, se tomaron las medidas in-situ en la propia embarcación para un correcto dimensionamiento del sistema de propulsión, una vez tomadas las medidas pertinentes ya se hizo un dimensionamiento óptimo para acoplar el sistema de propulsión de manera óptima. Para dimensionar dicho sistema se siguieron una serie de normas, destacando especialmente la Norma UNE-EN ISO 13297:2021. Esta norma ha servido de base para el correcto dimensionamiento de los cables necesarios para acoplar el sistema.

Para el dimensionamiento de la generación de las distintas fuentes de energía renovable se han tomado las medidas oportunas. Para la hidrogenación se contactó con el proveedor de los motores Oceanvolt y con su ayuda se intercambié información pertinente acerca de la posible generación de potencia por parte del sistema elegido. Para el sistema Fotovoltaico se hizo uso del software libre PVGIS para recopilar todos los datos necesarios como: temperatura e irradiancia. Una vez obtenidos los datos se calculó la energía que es capaz de generar el sistema para cada mes del año.

Por último para el análisis económico, se recopiló los ahorros posibles gracias a la implantación de un sistema de propulsión eléctrica y se calcularon los flujos de caja. Una vez obtenidos los flujos de caja se pudo calcular el VAN y TIR y analizar la viabilidad de la implantación del trabajo desarrollado.

2. NORMATIVA

En este capítulo se recopila toda la normativa aplicable al ámbito del trabajo descrito, presente en la legislación que es de aplicación en España.

2.1. Normativa aplicable

Para el diseño del sistema de propulsión eléctrica en una embarcación de recreo, es necesario tener en cuenta las siguientes regulaciones:

-**Real Decreto 1434/1999**, de 10 de Septiembre por el cual se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo a bordo de los buques.

-**Norma UNE-EN ISO 13297:2021** la cual especifica los requisitos para diseño, construcción e instalación de sistemas eléctricos de CC (<50V) y CA (<250V), que pueden ser instalados tanto combinados como individualmente.

-**Real Decreto Legislativo 2/2011**, de 5 de septiembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante.

-**Norma UNE-EN ISO 8666:2020**, la cual establece definiciones sobre las dimensiones, datos, especificaciones de las masas y condiciones de carga aplicadas a pequeñas embarcaciones de eslora igual o inferior a 24m.

-**Norma IEC 60529:1989**, la cual establece la clasificación de los grados de protección de las carcasas que protegen los materiales eléctricos de un equipo.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Este capítulo tiene como objetivo servir de base y sintetizar los aspectos generales de los sistemas de propulsión, desde los buques con grandes esloras, en los cuales la propulsión híbrida está muy madurada, hasta las embarcaciones de recreo, las cuales están empezando a experimentar un auge en la transición desde propulsión diesel a propulsión híbrida/eléctrica.

Para ello el primer punto trata de las distintas opciones de propulsión en el mercado naval.

Seguidamente, el segundo punto del capítulo aborda los diferentes tipos de barcos propulsados eléctricamente, intentando tratar de forma independiente las embarcaciones de recreo con embarcaciones comerciales, como pueden ser cruceros o cargueros, y también hacer un pequeño inciso en embarcaciones militares (tanto submarina como de superficie).

Una vez detallados los puntos anteriores, el siguiente punto trata de distinguir los diferentes componentes necesarios en un sistema de propulsión, tanto híbrida como eléctrica. Pero esta vez, los componentes descritos serán específicos para un velero de recreo.

3.1. Propulsión eléctrica

El principal objetivo de la propulsión eléctrica se basa en conseguir que la embarcación se mueva a través de la superficie del agua gracias a la conversión de la energía eléctrica en trabajo útil.

De manera básica, es importante plantear el funcionamiento de un sistema de propulsión de una embarcación. Resumiendo, el objetivo es generar una fuerza resultante que sea perpendicular al eje de rotación de la hélice, de tal manera que la fuerza resultante es la causante de que la embarcación navegue a través del agua.[1]

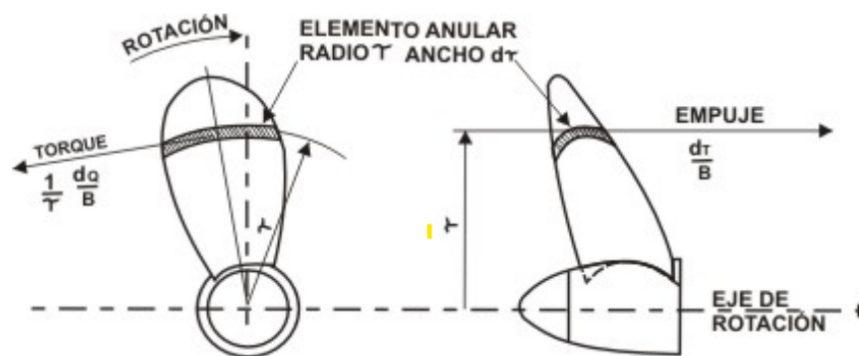


Fig 3.1 - Componentes de fuerza actuando sobre la hélice debido al movimiento del eje. [2]

Una vez explicado el objetivo y fundamentos base de la propulsión eléctrica, vamos a ver los componentes básicos del bloque hélice-motor. Este bloque está compuesto por 3 componentes diferentes, por un lado tenemos los componentes que son el eje de rotación y la hélice que va montada sobre este. Por último tenemos el motor eléctrico que va a ser el encargado de mover el eje.

Respecto a la hélice, nos adentramos en un mundo totalmente aparte con respecto al objetivo de este trabajo. Aun así, la hélice es un componente verdaderamente importante y el más común en las embarcaciones, ya que influye ampliamente en el sistema de propulsión y en características importantes de generación de energía.

En cuanto a características de la hélice, vamos a intentar sintetizar las características empezando por las más generales hasta las más específicas que sean interesantes para el ámbito del trabajo. Empezamos por el número de palas que puede tener una hélice: si bien las hélices se pueden dividir entre monopala, bipala, tripala y multipala, las configuraciones más usadas en la industria serían la bipala y tripala.

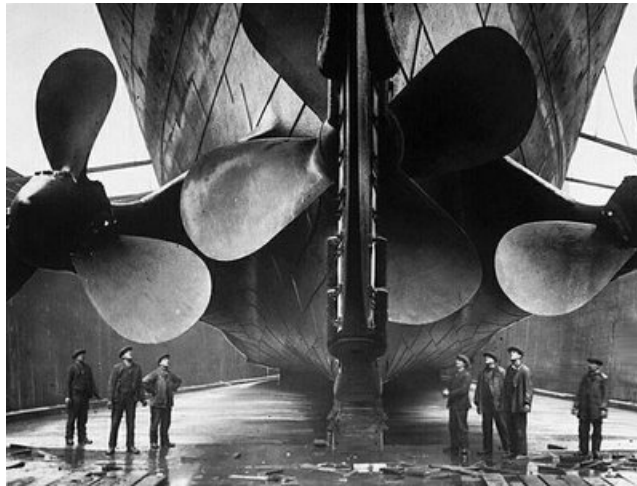


Fig 3.2 - Hélices de un buque.

Posteriormente, otro aspecto característico de las hélices es su sentido de rotación. En este aspecto, pueden ser de dos tipos: Dextrógira (rota en sentido horario) o Levógira (rota en sentido anti-horario). Este aspecto es importante ya que afecta a la maniobrabilidad de la embarcación cuando la hélice empieza a girar y la embarcación no tiene arrancada.[3]

Las hélices marinas son afectadas negativamente por el fenómeno de la cavitación. Este fenómeno resulta de una depresión formada al girar la hélice a velocidades muy altas. Esta velocidad de rotación hace que el agua hierva, provocando burbujas de vapor de agua, las cuales, al enfriarse e implosionar, dañan a la hélice significativamente.[4]

El otro componente general es el motor, en el cual se entrará más en detalle más adelante. En este capítulo se intenta sintetizar la característica de par motor, un aspecto importante a tener en cuenta. El par motor se puede describir como el momento de fuerza ejercida por un motor sobre un eje de potencia. La gran diferencia y notable ventaja del motor eléctrico sobre el motor de combustión interna es que el par máximo es entregado de forma instantánea[5], de esta manera

la maniobrabilidad de la embarcación se ve notablemente mejorada ya que a diferencia del automóvil, los barcos no tienen freno sino que funcionan a base de inercia y arrancada mediante un par máximo instantáneo en un amplio régimen de operación, el gobierno del barco es mucho más preciso y seguro, sobre todo en maniobras dentro del puerto que pueden causar daños.

Como ejemplo, tenemos la comparación entre dos modelos de vehículos de la industria automovilística:

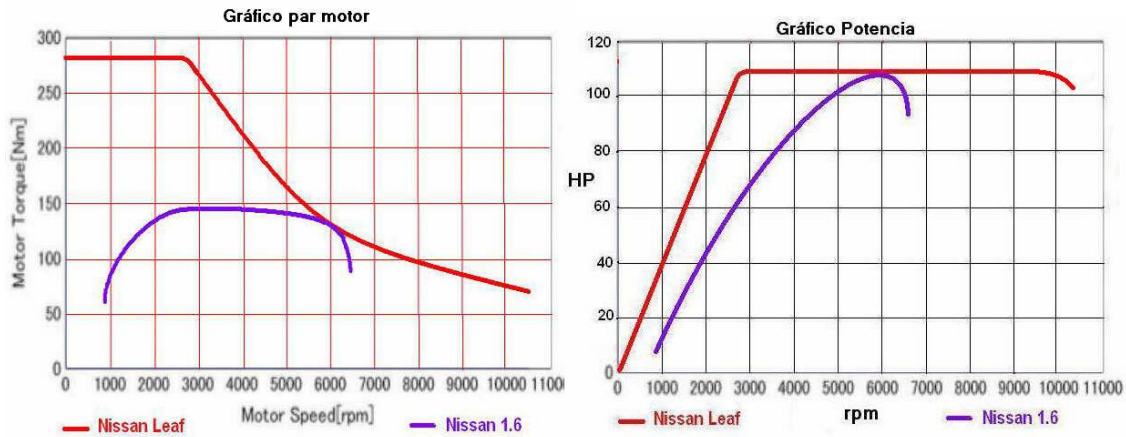


Fig 3. 3 - Gráficas Par-Rpm y Potencia-Rpm.[6]

Es importante matizar que el ejemplo usado figura en el sector de la automoción. Aun así se puede destacar como en el motor eléctrico la entrega de par máximo es instantánea, de manera que incluso a bajos regímenes de giro, y hasta velocidades relativamente altas, el par es máximo. En cambio, en la versión que incluye un motor de combustión interna, se puede observar en la curva de par como a medida que se incrementa el régimen de giro del motor, el par motor va aumentando hasta alcanzar en este caso su máximo de 150 Nm, pero solamente cuando llega a velocidades de giro altas. Aún así, a lo largo de todo el rango de velocidades del motor de combustión interna, el par motor que es capaz de entregar es siempre menor que el entregado por el motor eléctrico, el cual a su vez tiene mayor rango de régimen de giro en el que se entrega par motor.

Seguidamente, el gráfico situado en la parte derecha nos compara la potencia de los dos motores con respecto, de nuevo, al régimen de giro. Un dato interesante es que los dos motores llegan a la misma potencia máxima de aproximadamente 110 HP, pero la manera en la cual se llega a dicha potencia es muy diferente. Por un lado se tiene el motor de combustión interna del Nissan 1.6: sigue una tendencia de incremento de potencia parabólico hasta llegar a su potencia máxima a casi el régimen de giro máximo del motor, unas 6000 revoluciones por minuto.

Por otro lado, se puede observar como el rango de potencia posible es mucho más amplio en el caso del motor eléctrico (Nissan Leaf), incrementando rápidamente linealmente hasta llegar a la potencia máxima posible a tan solo un poco menos de 3000 rpm (más de la mitad que en el caso del motor de combustión). Una vez llega a la potencia máxima entregada, se mantiene a esa potencia en todo el rango de revoluciones por minuto hasta las máximas del motor, alrededor de 10000 rpm.

En resumen, el gráfico muestra como el motor eléctrico es capaz de entregar par máximo durante más rango de revoluciones y de manera instantánea. Seguidamente, vemos como llega a la potencia máxima del motor con muchas menos revoluciones por minuto necesarias, y además es capaz de seguir entregando dicha potencia máxima durante mucho más rango de revoluciones en comparación con el motor de combustión.

3.2. Embarcaciones eléctricas

Se define como embarcación eléctrica a cualquier embarcación propulsada mediante motores eléctricos.

Hoy en día existen gran variedad de tipos de barcos con propulsión eléctrica. En el mundo de las embarcaciones de recreo, generalmente este tipo de propulsión predomina en aguas protegidas como lagos y ríos, pero cada vez más se pueden ver en aguas abiertas gracias a los avances tecnológicos[7]. Así pues, se pueden clasificar los tipos de barcos eléctricos de recreo en dos subgrupos: Barcos de Aguas protegidas y Barcos de Aguas Abiertas.

Normalmente, los barcos diseñados para navegar en aguas abiertas, como por ejemplo veleros y catamaranes, pueden navegar por aguas protegidas, pero no a la inversa. Es decir, hay embarcaciones diseñadas para aguas protegidas que no soportan las características que el mar u océano ofrece. Aun así la propulsión eléctrica se puede diseñar para adaptarse de la mejor forma a la embarcación y sus requerimientos.

En el mundo de la embarcación de recreo, las opciones eléctricas son “infinitas”: existen muchos tipos de embarcaciones con diseños muy distintos. Además, prácticamente cualquier embarcación podría ser ejemplo de embarcación eléctrica.

Ejemplos de embarcaciones eléctricas:



Fig 3.4 - Motora de recreo eléctrica.[8]



Fig 3.5 - Barco solar diseñado por Solemar.[9]

Cabe destacar que los ejemplos citados anteriormente podrían describirse como “escala pequeña” refiriéndose a eslora. Si vamos al mundo más comercial, incluso militar, se puede ver ampliamente el uso de propulsión eléctrica a lo largo del espectro de buques.

Rompehielos y cruceros de pasajeros son ejemplos de buques que poseen propulsión eléctrica con POD. Gracias a la instalación de los POD es posible tener una propulsión de 360° y mucha mayor maniobrabilidad en la navegación, ventajas indispensables en buques de este tamaño. Como ejemplo tenemos el “RMS Queen Mary 2”, buque crucero de pasajeros botado en 2003 con eslora de 345 m, el cual incluye 4 PODs, 2 fijos y 2 variables de 21,5 MW de potencia cada uno alimentados por 4 motores diésel generadores y turbinas de gas. Este buque híbrido tiene propulsión CODLAG (Combined Diesel-electric and Gas).[10]



Fig 3.6 - Azipods “Queen Mary 2”. [10]



Fig 3.7 - Buque “RMS Queen Mary 2”

Otro ejemplo comercial interesante sería la existencia del e-ferry, predominante en la región Escandinava; los e-ferry son embarcaciones destinadas a recorrer una ruta preestablecida entre dos puntos y propulsados eléctricamente. En Dinamarca, en 2019 se botó el e-ferry de mayor autonomía del mundo, capaz de recorrer hasta 22 millas entre dos islas mientras transportaba coches y hasta 200 pasajeros.[11]



Fig 3.8 - E-ferry denominado “Ellen” mientras transita entre las islas de Als y Aero (Dinamarca).[12]

Por último, a lo largo de la historia de propulsión eléctrica, el principal usuario fue el submarino, el cual hacía uso de motores de tensión continua. A medida que la tecnología avanza la tendencia ha sido de ampliar el mercado y no limitarse únicamente a buques submarinos sino también a los que navegan por la superficie como hemos visto en ejemplos anteriores. Si bien hoy en día la mayoría de submarinos hacen uso de propulsión nuclear, antes usaban una propulsión diésel-eléctrica, de manera que por la superficie navegaban propulsados por un motor diésel y al sumergirse lo hacían mediante motores eléctricos (Propulsión AIP: air-independent propulsion)[13]. Otro dato interesante, es que la invención del submarino eléctrico fue desarrollada por un militar español, Isaac Peral, quien consiguió que su submarino en 1889 fuese capaz de estar en inmersión una hora en alta mar.

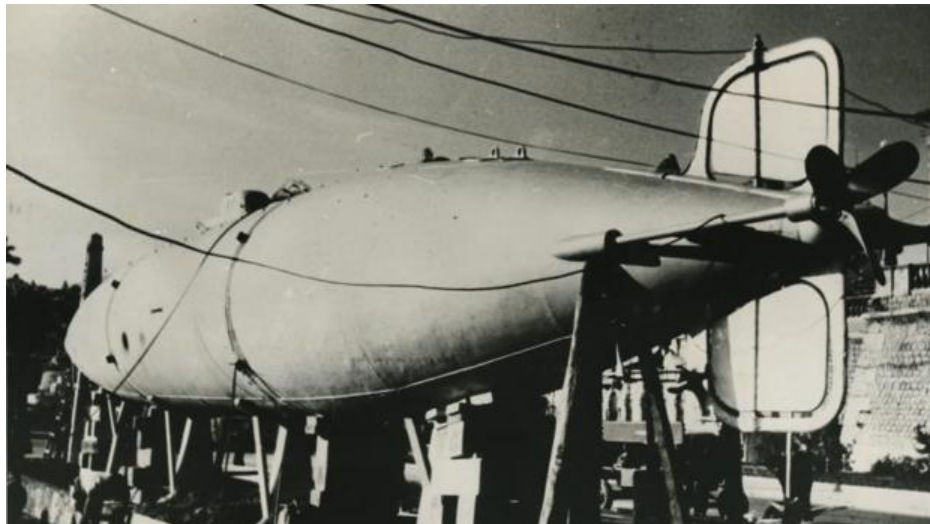


Fig 3.9 - Submarino diseñado por Isaac Peral.[14]

3.3. Componentes del sistema de propulsión eléctrica

Cabe destacar que los componentes que se describen a continuación son los que componen un sistema de propulsión eléctrica en un velero de recreo, como el propuesto en el título del trabajo.

A la hora de diseñar un sistema de propulsión eléctrica, hay que plantear claramente los componentes necesarios. Si filtramos por importancia, los componentes indispensables en un sistema de propulsión eléctrica serían el motor eléctrico y las baterías.

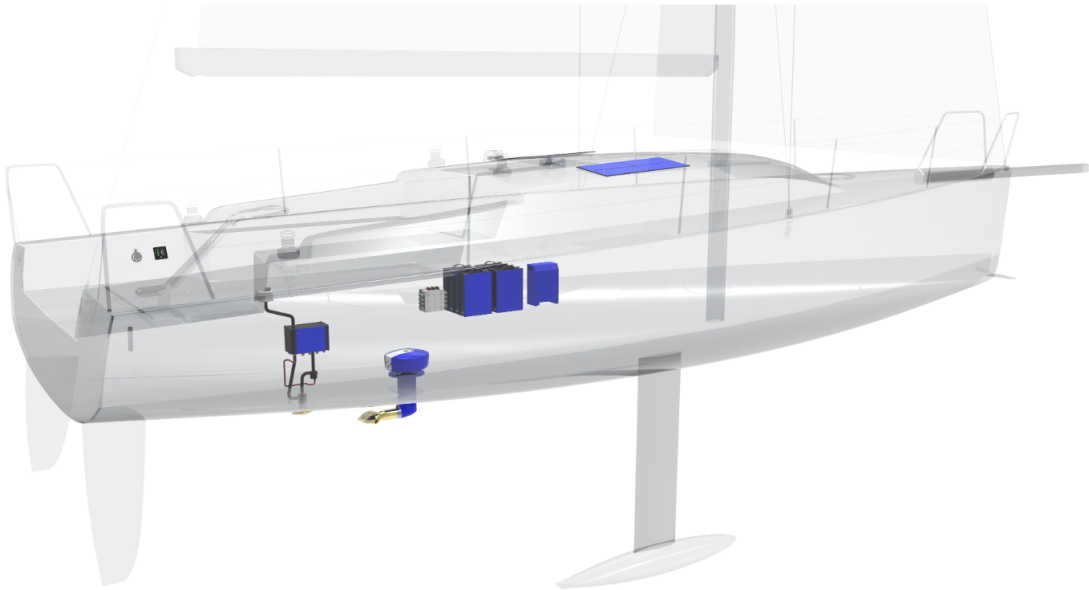


Fig 3.10 - Componentes del sistema de propulsión eléctrica en un velero de recreo.[15]

Motor

El motor eléctrico es el responsable de hacer girar la hélice con el objetivo de impulsar el barco a través del agua, dependiendo de la eslora del barco y la potencia necesaria.

Los motores eléctricos en veleros de eslora media y grande generalmente se implementan intraborda (motor localizado en el interior de la embarcación), pudiéndose ver motores fueraborda en veleros y barcos de eslora menor. Una de las ventajas de los motores eléctricos frente al diésel es el rendimiento. Los motores eléctricos pueden llegar a rendimientos de hasta 95%, en comparación con los motores de combustión que tienen un rendimiento máximo mucho más bajo, el cual se alcanza al acercarse a su potencia máxima de diseño (o potencia nominal); también su rendimiento es condicionado por el régimen de revoluciones, siendo este perjudicado a bajos regímenes de revoluciones.[16]

Asimismo, para que exista una comunicación correcta entre las baterías y el motor será necesario implantar un componente llamado controlador de motor. Este componente es un inversor que también funciona como rectificador cuando la energía fluye del motor a las baterías.[15]

Baterías

Una vez presentados los motores eléctricos e inversores/rectificadores, damos paso al componente que nos va a condicionar la autonomía de navegación a motor del velero: el conjunto de baterías.

En una embarcación eléctrica existirán dos conjuntos de baterías independientes trabajando a distinta tensión, esto se debe a que los sistemas eléctricos de los barcos suelen diferenciarse en 12 y 24 voltios. A la hora de elegir el sistema a emplear se tiene en cuenta la eslora de la embarcación. Los veleros con eslora menor a 15 metros harán uso del sistema de 12 voltios, en cambio los veleros con eslora mayor de 15 metros y lanchas implementan sistemas de 24 voltios. Es importante saber diferenciar el voltaje del circuito implementado ya que la configuración necesaria de las baterías a usar depende del mismo. [17]

En cambio, en barcos con propulsión eléctrica, el sistema eléctrico usado para el motor es de 48 V y 12/24 V para el resto de la embarcación.

En cuanto al tipo de baterías a usar, generalmente la opción más común para un barco de recreo son las baterías de plomo ácido, gracias a su bajo coste y buen rendimiento. Esto permite al usuario reemplazar las baterías sin necesidad de un gasto importante. Este tipo de baterías son usadas comúnmente en el sistema eléctrico cotidiano del barco, sin embargo no son baterías apropiadas para servir como fuente de energía para un sistema de propulsión eléctrica.

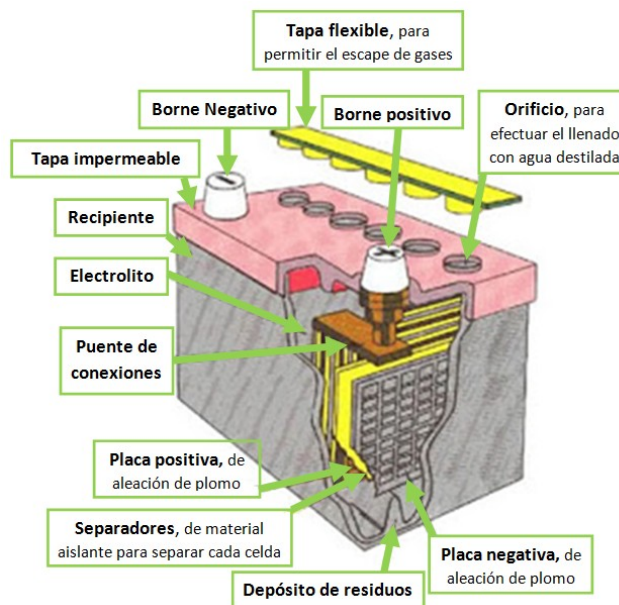


Fig 3.11 - Composición batería plomo-ácido.[18]

Otra opción, y quizás la más adecuada para un sistema basado en propulsión eléctrica sería el uso de baterías de litio-ion y más específicamente baterías LiFePO₄. Estas baterías LiFePO₄ son baterías de litio-ferroso compuestas por un ánodo de grafito y un cátodo de fosfato de hierro.

La principal razón por la cual se eligen este tipo de baterías frente a otras que pueden tener mayor densidad energética como pueden ser baterías litio-ion es la seguridad. Las baterías LiFePO₄ son mucho más estables, de manera que no arderán ni tendrán posibilidad de explotar, pudiendo causar daños irreparables a la propia embarcación, y lo que es más importante, a las personas. Sin

embargo, las baterías de litio-ion, pese a tener mayor densidad energética, son más inestables pudiendo arder si están expuestas a temperaturas altas, por lo que no son usadas en sectores como la automoción o en este caso el sector naval.

Otras ventajas destacables de las baterías LiFePO₄ son la larga vida útil, aguantando con capacidad óptima para un número elevado de ciclos (las elegidas en el trabajo llegan hasta 3500 ciclos) ciclos. Se entiende como ciclo de una batería cuando se completa el proceso de descarga y posterior carga de la batería: en caso de completar un ciclo al día, las baterías serían capaces de mantener la capacidad óptima por 3000 días o 8 años. A su vez, son más resistentes a temperaturas elevadas, sin que afecte a la vida útil de la batería; puesto que la embarcación puede moverse por ambientes cálidos(ej: los trópicos), es indispensable esta característica.

Por otro lado, al evitar usar cobalto, que es usado en baterías litio-ion se podría decir que las baterías de litio ferro-fosfato son más sostenibles.[19]

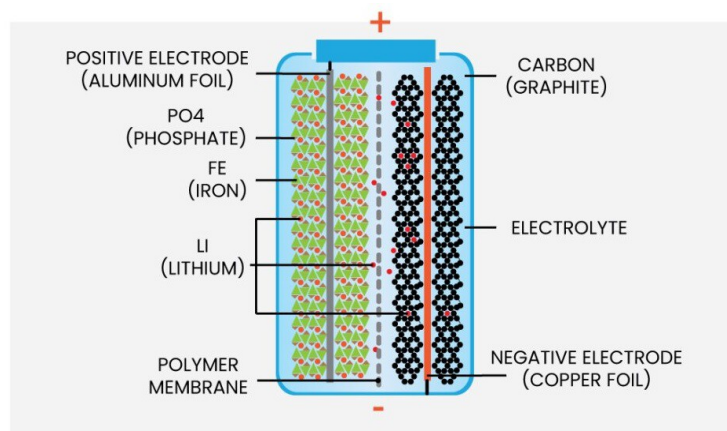


Fig 3.12 - Composición batería LFP.[20]

Gestión de Baterías

Una vez descritos los componentes principales, cabe destacar otros componentes necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

Uno de los componentes más destacados sería el dispositivo de gestión de baterías (BMS: Battery Management System). Este dispositivo es vital ya que su principal objetivo es la protección y correcto funcionamiento de las baterías del sistema de propulsión. Mediante conexiones bus CAN siguiendo la norma NMEA 2000¹, recopila información de los parámetros de las baterías de manera constante, evitando que cualquier parámetro se des controle y pueda causar daño a las baterías. En caso de que algún parámetro de la batería pudiera excederse el contactor integrado en el BMS se abrirá, desconectando todas las cargas de las baterías, asegurando la seguridad del sistema.

Otra característica fundamental del BMS sería la capacidad de regular las baterías de manera eficiente y maximizar su vida útil.

¹ NMEA 2000: Norma de comunicación para conexión de dispositivos electrónicos y sensores en embarcaciones

Cargador

El cargador es el componente que permite recargar las baterías del velero mientras este se encuentra amarrado en puerto. La entrada del cargador es a tensión 230V y frecuencia 50Hz siendo está la misma que la del puerto. A su vez, es importante saber que el cargador es el encargado de convertir la corriente alterna proveniente de la red eléctrica del puerto a corriente continua de baja tensión.



Fig 3.13 - Cargadores del puerto.

Generador

Al existir la posibilidad de implementar un sistema híbrido, el generador es un componente útil en este tipo de sistemas ya que permite recargar las baterías cuando la embarcación se encuentra fuera del puerto o sin posibilidad de la utilización de energías renovables.

Convertidor CC-CC

Una de las ventajas de disponer de dos paquetes de baterías independientes dentro del propio velero es la posibilidad de suministrar la energía que necesita el sistema eléctrico del velero con las baterías destinadas a alimentar el sistema de propulsión. Un caso en el cual podría ser útil este suministro de energía sería mientras el velero se encuentra en una travesía. Por ejemplo, en este caso el velero se encuentra sin opción de entrar a puerto y está navegando a vela por lo que no hay necesidad de suministrar energía al sistema de propulsión, pero se requiere de energía para poder hacer uso de la electrónica diaria del velero como el AIS (Sistema de identificación automática) o simplemente poder encender la luz de ambiente.

Los dos sistemas de baterías operan a tensiones distintas, por un lado se tiene las baterías de propulsión que operan a 48V y por otro lado se tiene el sistema de baterías para la electrónica del barco que opera a 12/24V dependiendo de la eslora (12V en el caso del Sun Odyssey 509). Para poder transferir energía de un sistema a otro será necesario tener instalado un convertidor CC/CC el cual convierte los 48V CC del sistema de baterías de propulsión a 12/24V CC del sistema eléctrico normal del velero.[21]

4. ESTADO DEL ARTE

En el capítulo de Estado del Arte se realiza un análisis histórico desde las primeras embarcaciones eléctricas del siglo XIX hasta la actualidad, analizando distintos tipos de embarcaciones.

Además, el segundo punto del capítulo compara los sistemas de propulsión eléctrica en embarcaciones de recreo a vela. Este análisis es importante ya que no hay una solución única, sino que depende del velero y su uso.

Por último se muestran ejemplos de embarcaciones de recreo a vela que han sido convertidas en eléctricas o híbridas recientemente, mostrando el estado actual de la técnica.

4.1. Análisis histórico

A lo largo de la historia, las embarcaciones propulsadas eléctricamente han gozado de popularidad, y aunque puede parecer que su aplicación es reciente, no puede estar más lejos de la realidad; de hecho los motores eléctricos aplicados en la industria naval fueron probados e implementados por primera vez a lo largo del siglo XIX, después de los motores de vapor y antes que los motores de combustión interna alternativos.[22]

En 1834, el físico e ingeniero Moritz Hermann von Jacobi creó el primer motor eléctrico giratorio de corriente continua (funcional y práctico), y años más tarde, en 1838 desarrolló la primera embarcación funcional eléctrica de la historia, la cual consiguió transportar hasta 14 pasajeros a una velocidad de 3 millas por hora a lo largo del Río Nevá.



Fig 4.1 - Prueba del barco eléctrico de Moritz. Río Neva, San Petersburgo 1838.



Fig 4.2 - Moritz Hermann von Jacobi.

A su vez, a lo largo del siglo XIX, las primeras pilas y baterías empezaron a desarrollarse, empezando en el año 1800 cuando Alessandro Volta comunica la invención de la primera pila eléctrica. Este concepto siguió en desarrollo gracias a grandes nombres como John Frederic Daniell (invención de la pila Daniell en 1836) o William Robert Grove (inventa su propia pila de mayor potencia, usada de manera amplia en redes telegráficas en EE. UU hasta 1860). Sin embargo, no sería hasta 1860 cuando Gastón Planté desarrolló el primer modelo de batería plomo-ácido, alcanzando en 1879 el éxito merecido (cabe resaltar, las baterías plomo-ácido son muy comunes en vehículos eléctricos).[23]

Con esto, se da la “bienvenida” a una época dorada para las embarcaciones eléctricas que duraría aproximadamente 40 años, hasta que los motores de combustión interna fueron implantados.

Durante las primeras dos décadas del siglo XX se pudo ver un cambio en los motores usados en la industria naval, siendo ahora el gran predominante el motor de combustión interna debido a la facilidad para encontrar combustible, el coste de instalación y la oportunidad de hacer grandes trayectos sin necesidad de repostar. Así pues, los motores eléctricos quedaron apartados siendo usados como motor de propulsión de submarinos, usando baterías para alimentar el motor mientras se encontraba sumergido y un generador Diésel para navegar por la superficie.

No fue hasta 1970 cuando empresas como Duffy Electric Boat Co. volvieron a enfocarse en la propulsión eléctrica y comenzaron a diseñar barcos completamente eléctricos, aunque el uso de estos fue limitado a aguas protegidas, mayoritariamente lagos.[24]

La propulsión eléctrica siguió desarrollándose: su aplicación en el siglo XXI ha sido principalmente para buques militares o grandes buques comerciales de gran tonelaje. Las mejoras constantes en el diseño de embarcaciones ha permitido que esta tecnología se vaya implantando cada vez más en embarcaciones de recreo de eslora reducida. Es posible decir que lo que una vez fue pasado, ahora es presente y futuro hacia un mundo náutico más sostenible.

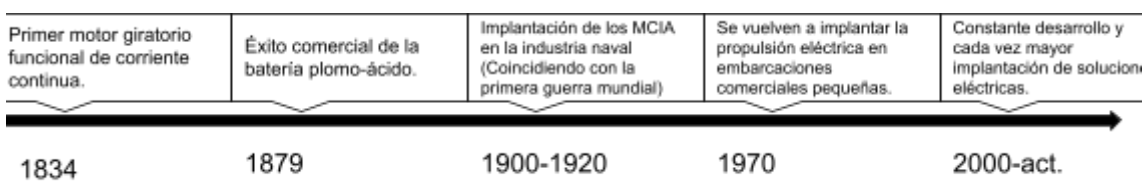


Fig 4.3 - Cronología Embarcaciones Eléctricas. Elaboración propia.

4.2. Análisis comparativo de sistemas de propulsión eléctrica en embarcaciones de recreo a vela

La electrificación de un barco conlleva una serie de ventajas e inconvenientes a tener en cuenta. Es importante partir de una base y saber el uso que se le va a dar a la embarcación a la hora de elegir implantar una solución de propulsión híbrida o eléctrica.

El sistema híbrido puede plantearse de varias maneras, es decir, se puede optar por mantener el motor de combustión como apoyo a los motores eléctricos en caso de agotar las baterías o también se puede optar por quitar el motor de combustión pero añadir un generador.

Tanto los sistemas híbridos como eléctricos tienen como ventaja la reducción de vibraciones, así como de humos y posibles ruidos molestos, teniendo así una travesía bastante más confortable. Al implantar un motor eléctrico, el arranque de este será de manera automática sin necesidad de calentar el motor y estará libre de emisiones de gases.

En la actualidad existen muchas opciones en cuanto a los sistemas de generación posibles. Una de las ventajas de estos sistemas es la independencia entre ellos, es decir se pueden implantar simultáneamente en el barco para así tener mayor generación de energía con el objetivo de maximizar la autonomía. Esto está ligado a uno de los inconvenientes que existen actualmente al implantar un sistema de propulsión eléctrica: la limitación de la autonomía. Esta limitación no ocurre en soluciones híbridas, pero en las puramente eléctricas la tecnología de las baterías actuales es la gran condicionante. A lo largo del tiempo, mientras se sigan desarrollando nuevas tecnologías en baterías esta limitación de autonomía será cada vez más reducida.

Otra gran ventaja es el ahorro económico que esta transición conlleva: con los precios del diésel incrementando debido a la inflación y conflictos externos, el ahorro económico en un sistema puramente eléctrico cada vez es mayor, sumando además la oportunidad de generar cada velero su propia energía mediante sistemas renovables hacen que hoy en día, navegar a vela sea prácticamente gratuito una vez amortizado la inversión inicial (excluyendo costes como mantenimiento del propio velero o costes de amarre). El ahorro económico no solo engloba al ahorro en combustible sino también al ahorro en mantenimiento de los motores. Los motores eléctricos tienen un mantenimiento mucho más reducido, tienen una vida útil considerablemente más larga. Sin embargo, en los motores diésel es necesario hacer un mantenimiento prolongado y constante a lo largo de la vida útil del mismo, por lo que suma un coste significativo a tener en cuenta.

Sin duda, la decisión de convertir a un sistema híbrido o puramente eléctrico recae en el armador de la embarcación, y el uso que se le quiera hacer a la misma, pero se puede comprobar las grandes ventajas de los sistemas de propulsión eléctrica frente a los sistemas convencionales implantados en embarcaciones de recreo actuales.

4.2.1. Veleros actualmente electrificados

Actualmente, se pueden encontrar varias opciones de veleros electrificados, ya sea localmente en Valencia como internacionalmente. La naturaleza del velero eléctrico depende del fin de este, es decir, a la hora de diseñar un sistema de propulsión eléctrica hay varias opciones existentes: eléctrico completo e híbrido.

Como ejemplo híbrido se tiene un Dufour 410 con nombre Amor Foll, localizado en Valencia. En este caso se consideró oportuno la opción híbrida ya que el barco se usa para travesías largas (Valencia-Sicilia, Valencia-Menorca, etc.). Para el diseño de propulsión se llegó a la conclusión que la mejor opción sería añadir dos motores eléctricos en las partes laterales a la línea de crujía y mantener el motor Volvo Penta de 55,76CV como opción back-up en caso de necesidad.



Fig 4.4 - Velero Dufour 410 "Amor-foll"[25]

También localizados en Valencia, se han electrificado otras 2 embarcaciones; esta vez se decidió implantar la solución de completamente propulsión eléctrica. Las embarcaciones en cuestión son un velero monocasco J/120 en el cual se sustituyó el motor de combustión por un homónimo eléctrico, y un catamarán en el cual se implantaron 2 motores eléctricos en cada casco del barco.



Fig 4.5 - Velero J/120.[26]

Cambiando el foco a un rango más internacional, se tienen como ejemplo 2 veleros con esloras entre 30 y 45 pies, los propulsados únicamente por motores eléctricos, dejando a un lado la combustión. Como puede observarse en las dos figuras siguientes dichos veleros son de parecida eslora, un Contessa 34 y un modelo Oyster Mariner 35 y ambos habiendo realizado gran millaje.



Fig 4.6 - Contessa 34 "SV Nazcal".[27]



Fig 4.7 - Oyster Mariner 35 "Muhuhu".[28]

4.3. Análisis de mercado

La tendencia actual en cuanto al mundo eléctrico está en auge, como se puede ver claramente en el sector de la automoción.

La náutica en cambio, va a un ritmo distinto; no obstante el transporte sostenible cada vez está más presente en el mercado. De hecho, el 25% de todas las emisiones de gases efecto invernadero se debe al sector del transporte, si bien el 95% de estas se deben al transporte por carretera, el 5% restante engloba al transporte aéreo, marítimo doméstico y tren[29]. Aunque “solo” representan un pequeño porcentaje, no debemos olvidar que los océanos y mares se han convertido en un “vertedero” no solo de plásticos sino de residuos procedentes de embarcaciones, ciudades, etc. Es por ello que se resalta la importancia de conservar la biodiversidad y proteger los océanos, siendo la electrificación de embarcaciones una de las maneras en las que este objetivo se puede conseguir.



Fig 4.8 - Ejemplo de Contaminación marina por vertido de buques.

Este sector va a verse muy afectado positivamente a medida que los avances tecnológicos van desarrollándose, sobre todo con la mejora constante de las baterías y su densidad energética. De hecho, para 2050 la IMO (International Marine Organization) ha fijado el objetivo de llegar a 0 emisiones por parte de embarcaciones[30]. Este objetivo revoluciona el sector de tal manera que se prevé que el mercado llegue a un valor de 14 mil millones USD experimentando un incremento en el sector de 20% CAGR (crecimiento anual compuesto) desde 2022 hasta 2030. Es bueno saber que Europa, al tener a grandes proveedores de barcos eléctricos como pueden ser ABB o Wärstilä se posiciona como región líder en crecimiento durante los años 2022-2030.[31]

Sin duda son datos prometedores, si bien es verdad que estos datos son más aplicables a embarcaciones comerciales como pueden ser cargueros o ferry's, el mundo de las embarcaciones de recreo también va a verse beneficiado de esta transición energética, abriendo un abanico de posibilidades en cuanto a oportunidades, desarrollo e innovación.

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA

En este capítulo el trabajo se centra en el barco descrito en el título del mismo: Sun Odyssey 509.

Se empieza el capítulo por las especificaciones técnicas del sistema, de manera que se tiene una clara imagen de la embarcación a analizar y tanto oportunidades como restricciones condicionadas por el velero a la hora de diseñar el sistema de propulsión.

A lo largo del capítulo se especifica qué componentes y proveedores se han elegido para instalar en el velero y el diseño eléctrico del mismo.

A su vez, se identifican y cuantifican las diferentes opciones de sistemas de generación renovables y se ve cómo se integrarían en el sistema eléctrico del barco.

5.1. Especificaciones técnicas del sistema

5.1.1. Sun Odyssey 509

En los capítulos anteriores se ha visto una visión más general del mundo naval, ahora ya podemos entrar en detalle en la embarcación que detallamos en el título del trabajo: Sun Odyssey 509.

El velero Sun Odyssey 509 es un modelo de la línea Sun Odyssey que forma parte de la empresa de construcción de yates francesa Jeanneau. Fue diseñada por el arquitecto naval Phillippe Briand, engloba un estilo elegante y confortable que le dan unas aptitudes excepcionales para cualquier tipo de navegación sin restricciones geográficas.



Fig 5.1 - Sun Odyssey 509 en navegación.

En cuanto a especificaciones técnicas de la embarcación, se tiene instalado de serie un motor Yanmar 75Hp / 55kW a tener en cuenta a la hora de elegir qué potencia instalada queremos tener cuando instalemos los motores eléctricos. No se debe olvidar datos importantes como el calado del velero (2,28 metros), la eslora del mismo (15,38 metros) y el desplazamiento total (13900 Kg). [32]

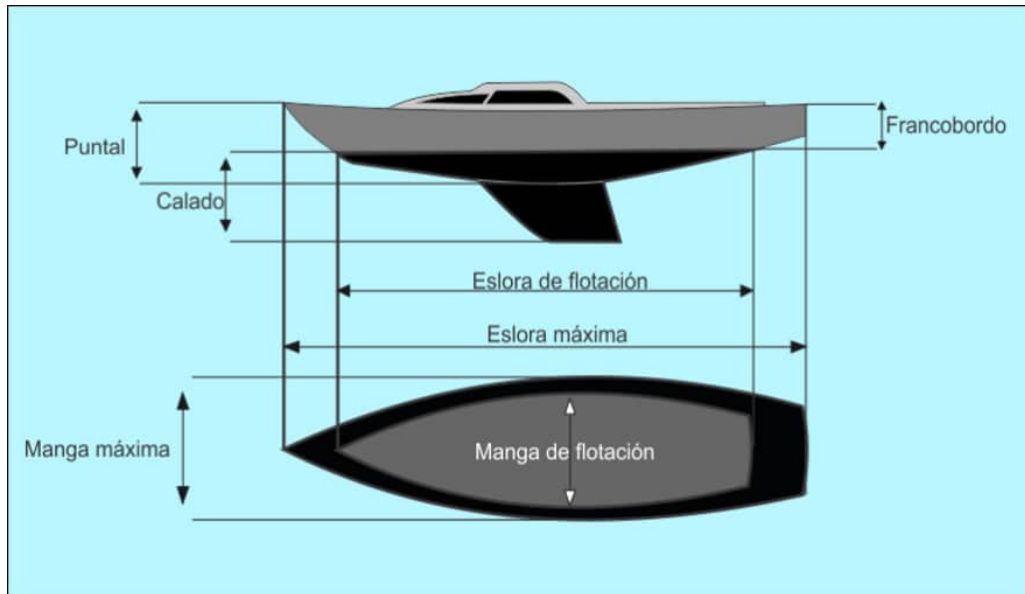


Fig 5.2 - Distancias en un velero.[33]

5.1.2. Motor Actual

El sistema de propulsión actual instalado, se basa en un sistema de propulsión mediante un motor térmico de combustión interna, Yanmar 75hp/55kW.

Este motor diésel es un motor en línea, 4 tiempos y refrigerado por agua. El sistema de combustión es mediante inyección directa y el sistema de encendido resulta mediante un sistema eléctrico de 12V-1,4 kW.

El motor tiene un peso en seco (sin engranajes) de 207kg y unas dimensiones de 90,3 cm de largo, 66,1 cm de ancho y 65,9 cm de alto ubicado debajo de las escaleras de entrada al interior de la embarcación, debajo de la popa.



Fig 5.3 - Localización del motor en el interior de la embarcación.



Fig 5.4 - Motor Yanmar 75Hp.

Yendo a la página oficial del proveedor Yanmar, se hizo uso de las fichas técnicas del motor y se extrajeron las gráficas más relevantes como: Par-Velocidad, Potencia-Velocidad y Consumo-Velocidad:

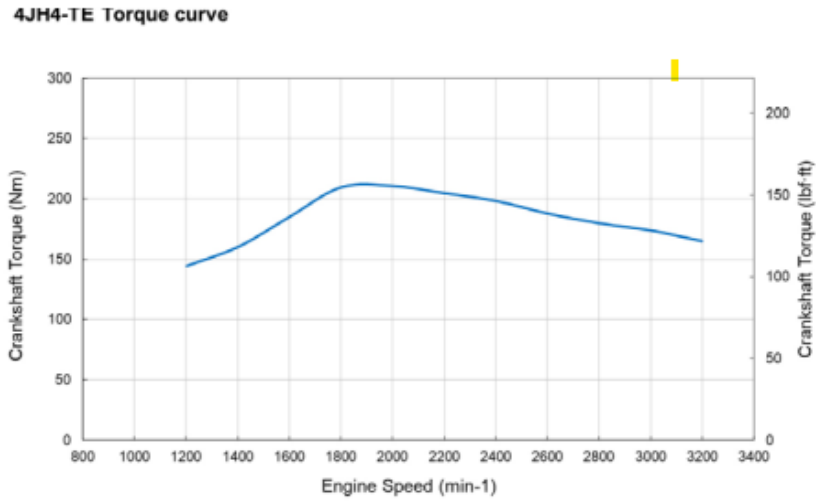


Fig 5.5 - Curva Par-Velocidad.[34]

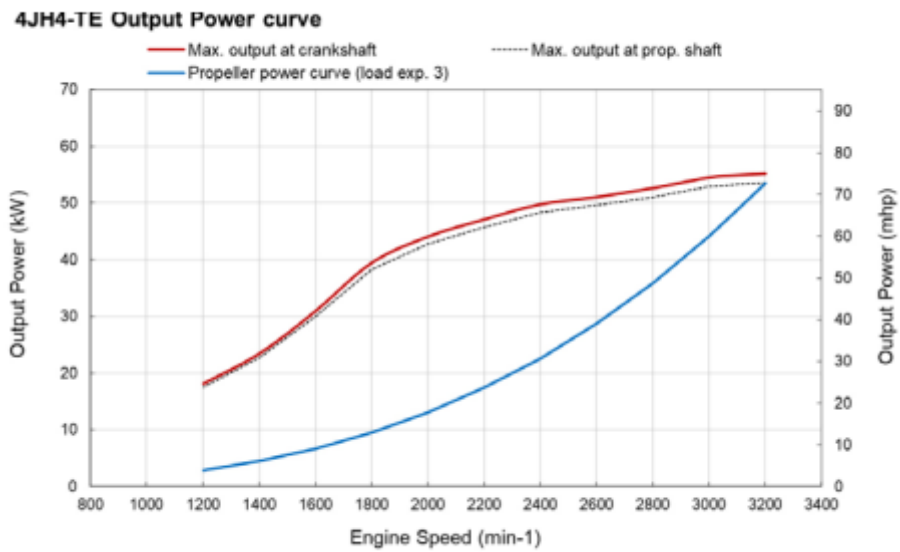


Fig 5.6 - Curva Potencia-Velocidad.[34]

4JH4-TE Fuel consumption (propload exp 3.0)

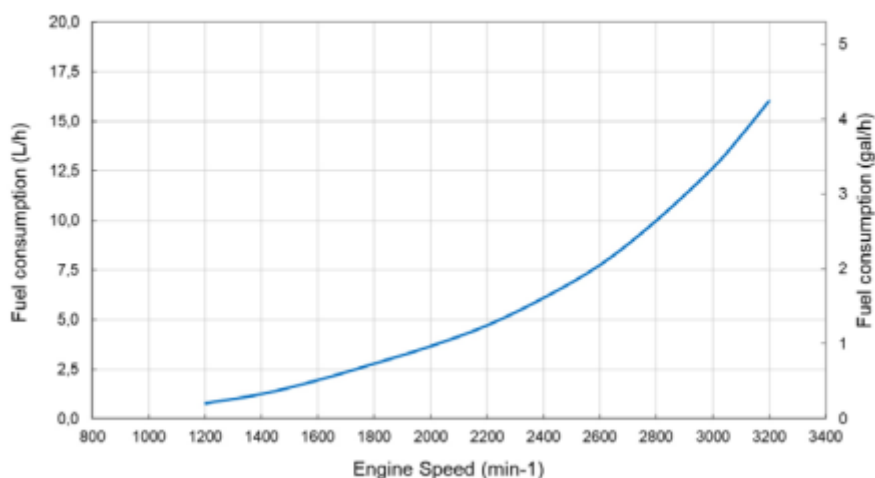


Fig 5.7 - Curva Consumo-Velocidad.[34]

De las gráficas se pueden sacar varios datos importantes e interesantes. Empezando por la curva par-velocidad el par mínimo se consigue al girar el motor a 1200 revoluciones por minuto (rpm), a estas rpm el par entregado sería de aproximadamente 150Nm. A su vez, destaca el rango en el cual se entrega par, siendo este entre 1200 y 3200 rpm y el máximo par entregado aproximadamente de 210Nm, el cual se consigue a unas 1850 rpm.

La curva potencia-velocidad nos muestra la relación entre la potencia entregada por el motor y su velocidad de giro, siendo la potencia máxima de 55kW a 3200rpm.

La curva de consumo es muy importante ya que es un indicativo del consumo que se puede tener en relación con las revoluciones del motor, un dato vital para calcular la cantidad de ahorro que supone en diésel al cambiar a un sistema de propulsión eléctrica. Tomando como ejemplo una velocidad crucero como puede ser 2200 rpm, se tendría un consumo aproximado de 5 litros cada hora. Teniendo en cuenta la capacidad del tanque de combustible del velero de 240 L, el tiempo de funcionamiento a motor de la embarcación sería de 48 horas.

5.1.3. Sistema eléctrico doméstico

El sistema eléctrico doméstico del velero funciona a 12V de tensión. La tensión a la que opera el sistema eléctrico del velero depende de la eslora, y a partir de los 15 metros de eslora es recomendable incrementar la tensión del sistema doméstico a 24 voltios; la razón es sencilla, al ser los conductores necesarios de mayor longitud, se recomienda incrementar la tensión ya que la corriente que circula por los conductores disminuiría y por ende la sección necesaria de cable también disminuiría.

Esta embarcación al tener eslora de 15,38 metros está en el límite recomendable; al tomar medidas en el propio velero se examinó el sistema eléctrico doméstico y se confirmó que en el Sun Odyssey 509 funciona a 12V.[21]

En nuestro caso, nos centraremos en la parte baja de la gráfica, donde engloba a los veleros monocasco (Sun Odyssey 509). Existen dos opciones, “Day-sailing & Cruising”. “Day-sailing” sería la opción perfecta para implementar un sistema completamente eléctrico, esto se debe a lo poco que se depende del motor durante la navegación de recreo es diaria. Es decir, en la actividad “Day-sailing” el motor es usado únicamente para maniobras de puerto, y retornos a puerto con poco viento o viento en contra, por lo que las horas de motor necesarias y rango deseado son significativamente más bajas que en la opción “Cruising”.

La otra opción posible sería “Cruising” o travesía/pasaje de larga distancia. En este caso, por cualquier motivo meteorológico o en situación de emergencia podría ser necesario utilizar el motor durante períodos prolongados de tiempo y tener la posibilidad/necesidad de recorrer largas distancias sin necesidad de usar las velas. Para ello, la opción híbrida sería la opción más adecuada ya que gracias a la opción de tener un generador a bordo, el rango (en millas náuticas) incrementa significativamente.[35]

El velero estudiado es un velero listado en lista 6ª: es decir un velero está matriculado en lista 6ª cuando es destinado a fines comerciales[36]. Esos fines pueden incluir “Day-Sailing”, como también alguna travesía a las islas Baleares ocasionalmente.

A la hora de elegir el sistema a implantar, debemos tener en cuenta las distintas opciones que ofrece el mercado. Entre ellas se encuentra la posibilidad de sustituir el motor de combustión interna por un motor eléctrico. Esta opción podría parecer la más lógica pues los veleros monocasco históricamente han llevado siempre un motor intra-borda unido a un único eje; si fuese la configuración elegida, se podrían destacar motores como el AXC24 (24kW) de Oceanvolt.



Fig 5.11 - Oceanvolt AXC24

En cambio, hay una posibilidad muy interesante basada en implementar dos motores eléctricos en vez de uno. Esta opción es la usada en los catamaranes o barcos multicasco, localizando un motor en cada casco, pero en propulsión eléctrica también puede resultar ventajoso disponer de doble motor eléctrico, aún en caso de velero monocasco. El lector podría preguntarse, ¿Porqué son dos motores mejor que uno, en un velero monocasco?. La respuesta a la pregunta es simple. En primer lugar, es ventajoso disponer de dos motores en vez de uno, ya que gracias a la posibilidad de generar energía durante la navegación, dos motores implantados generarán el doble de energía en comparación a un único motor (visto más en detalle en el Capítulo 5.4.1).

Otra razón por la cual decantarse por el sistema de propulsión dual eléctrico sería la maniobrabilidad y seguridad de la propia embarcación; puede no parecer importante, pero las maniobras en espacios cerrados como pueden ser puertos o lugares de atraque desconocidos, es uno de los aspectos más difíciles de controlar con un velero, eso añadiendo la posibilidad de que las condiciones climatológicas no sean favorables en el momento de atraque, dan aún más peso a la opción de implantar un sistema dual. Como se muestra en la figura 6.12 al tener dos motores la maniobrabilidad al disponer es mayor ya que se puede hacer uso de cada motor de manera independiente, permitiendo ciabogar² de manera mucho más sencilla y segura, incrementando la posibilidad de realizar un atraque seguro, dadas las condiciones climáticas del momento.

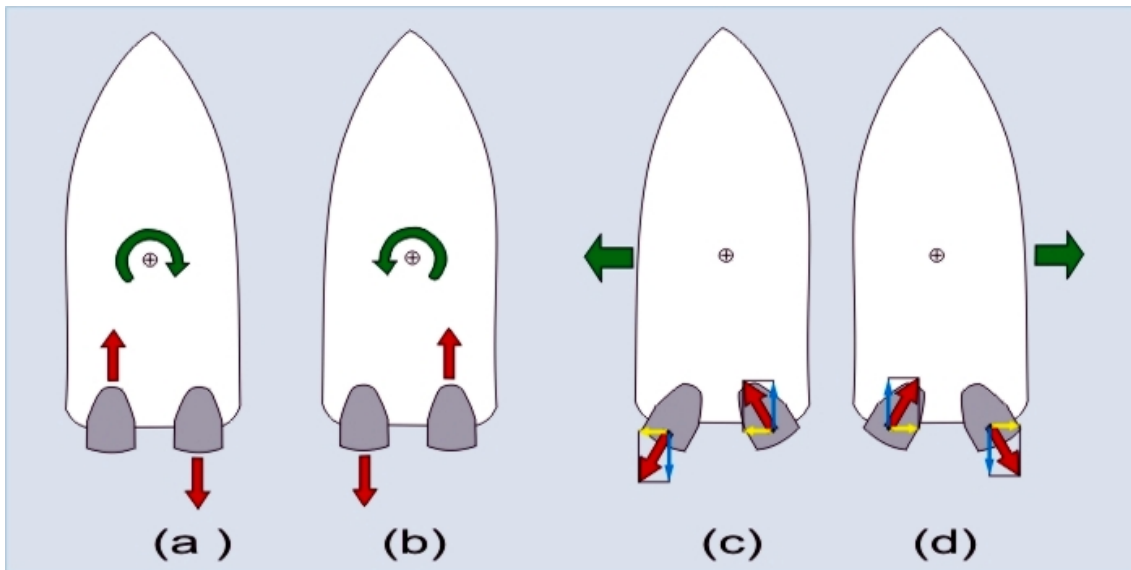


Fig 5.12 - Maniobras disponibles con sistema de dos motores.[37]

Por último, cabe destacar que, aunque los motores eléctricos requieren de muy poco mantenimiento y tienen un periodo de trabajo muy elevado, siempre cabe la posibilidad de que uno de los motores falle. De esta manera, al disponer de dos motores, en caso de fallo siempre se puede mantener el gobierno de la embarcación, un aspecto básico de seguridad en el mar.[38]

Es por eso que para el trabajo desarrollado, después de ver las oportunidades y ventajas de la opción de motor dual, se ha llegado a la conclusión de que la mejor opción para esta embarcación estudiada es la implementación de un sistema de propulsión eléctrica mediante dos motores eléctricos.

Después de analizar proveedores como Torqeedo u Oceanvolt, para el trabajo desarrollado se ha elegido a la empresa finlandesa Oceanvolt, principalmente por la confianza, por tener una de las mejores motores eléctricos con opción de hidrogenación del mercado y por la facilidad que se ha tenido con la empresa para intercambiar información acerca de las opciones de motor. Entrando en detalle, al querer implantar la opción de motor dual, se ha descartado la opción vista anteriormente de un motor con eje fijo, por lo que la opción elegida ha sido un sistema de motor dual por dos motores saildrive SD10.

² Ciabogar: Maniobra por la cual el barco gira o vira en redondo en el menor espacio posible.



Fig 5.13 - Oceanvolt SD10.

El motor eléctrico elegido, es un motor síncrono de imanes permanentes (PMSM, Permanent Magnet Synchronous Motor)[39]. El motor síncrono de imanes permanentes funciona mediante corriente alterna, debido a esto será necesario proveer de un inversor para poder convertir la corriente continua proporcionada por las baterías a corriente alterna[40]. Una de las ventajas, y principal razón para justificar el uso de esta tecnología en la industria es el ahorro energético: los motores PMSM tienen menores pérdidas por lo que el consumo eléctrico es menor, sin duda una característica vital en proyectos en los cuales la autonomía es fundamental.[41]

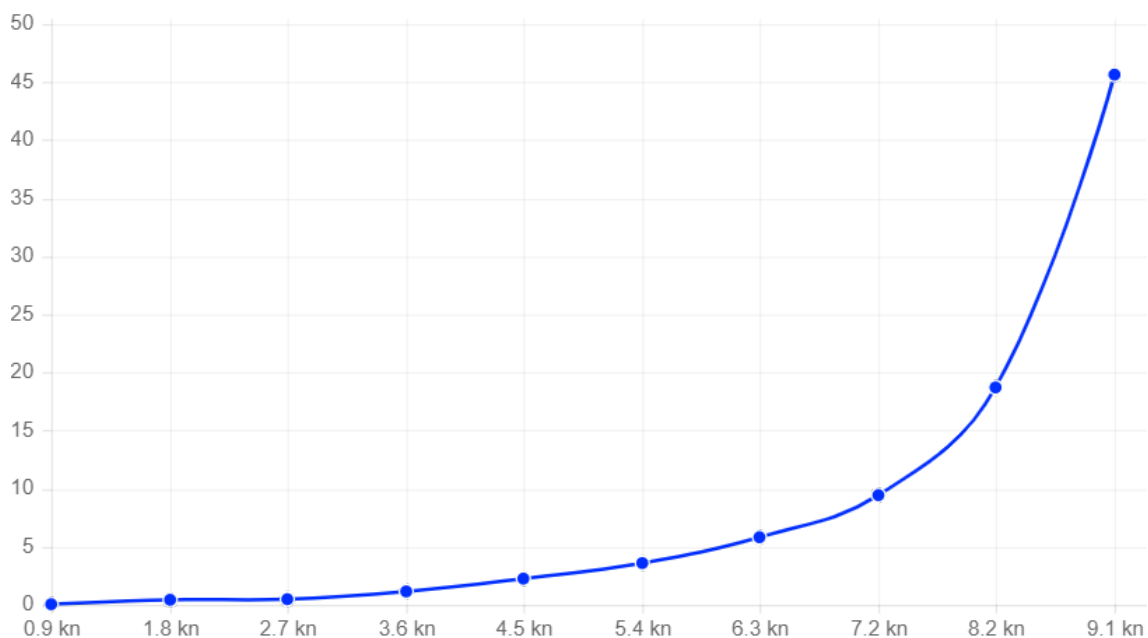


Fig 5.14 - Consumo Sistema Twin SD10 (20kW). Datos proporcionados por OceanVolt

Gracias a los datos proporcionados por OceanVolt se ha podido obtener el gráfico de consumo con respecto a la velocidad de la embarcación. El gráfico muestra el consumo del sistema de motores dual: como podemos observar la curva de consumo tiene carácter exponencial. A medida que incrementamos la velocidad de la embarcación el consumo de los motores se ve exponencialmente incrementado llegando hasta un consumo de 45 kW a velocidad de 9,1 nudos, una velocidad a la que muy rara vez se llega con un velero. Normalmente, el consumo más indicativo aplicado a la realidad sería a una velocidad entre 4.5-5.4 nudos (suele encontrarse la velocidad crucero del barco entre ese rango). De esta manera, el consumo en uso normal de la embarcación sería menos de 5kW.

5.2.2. Baterías del sistema

En primer lugar, es importante diferenciar las baterías a usar en cada caso. Por un lado, se tienen las baterías de servicio (12/24V), destinadas a la electrónica de navegación y demás cargas eléctricas de la embarcación (desde luces, pasando por bombas de achique, hasta nevera o congelador), las cuales se usan dentro de la embarcación para un uso cotidiano. Para ello, podemos aprovechar las baterías ya existentes de la propia embarcación; cabe destacar que las baterías usadas para este fin suelen ser de distintas características (plomo-ácido o gel).

Sin embargo, el sistema de propulsión eléctrica empleado funciona a tensión de 48V, por lo que las baterías empleadas para el fin de aportar energía a los motores (en caso excepcional a la embarcación cuando no se hace uso de los motores), serán de distintas capacidades.

Para abordar este problema, en primer lugar es necesario establecer el uso de la embarcación ya que es recomendable tener mayor capacidad de potencia para veleros destinados a travesía que los veleros de uso recreativo de salida y entrada a puerto.

Es importante que las baterías elegidas sean altamente densas energéticamente, ya que de esta manera se ahorrará espacio útil en el velero, otro aspecto crítico en este tipo de vehículos. A su vez, también es importante elegir la configuración adecuada del banco de baterías: dependiendo de las características necesarias habrá que conectarlas en serie o paralelo.

La conexión de baterías en serie se utiliza cuando interesa aumentar la tensión de salida. Para el trabajo desarrollado la tensión del sistema es de 48 V. En configuración serie, las ecuaciones aplicadas a las baterías quedarían:

$$V_{total}(V) = \sum_{i=1}^n V_i \quad ; i = n \quad (1)$$

$$Q_{total}(Ah) = Q_i \quad (2)$$

La conexión de baterías en paralelo se utiliza cuando interesa aumentar la capacidad total manteniendo la tensión de salida. En configuración paralelo, las ecuaciones aplicadas a las baterías quedarían:

$$V_{total}(V) = V_i \quad (3)$$

$$Q_{total}(Ah) = \sum_{i=0}^n Q_i \quad (4)$$

Cabe destacar que la cantidad de baterías a implantar está condicionada por el espacio disponible en la embarcación, localizadas debajo de la escalera de entrada al velero donde antes el motor estaba localizado. En nuestro caso (Sun Odyssey 509), midiendo las dimensiones disponibles y optimizando el espacio, es posible implantar 4 baterías del proveedor MG.

La configuración de las baterías será la siguiente, teniendo 4 baterías se disponen en dos subsistemas de 2 baterías cada uno. Cada subsistema tiene las baterías conectadas en serie de manera que se obtiene una tiene tensión de 48V (al tener cada batería una tensión de 24V) y además se consigue alcanzar la capacidad total de 28,4 kWh (suma de las capacidades de las cuatro baterías: cada batería tiene 7,1 kWh) .

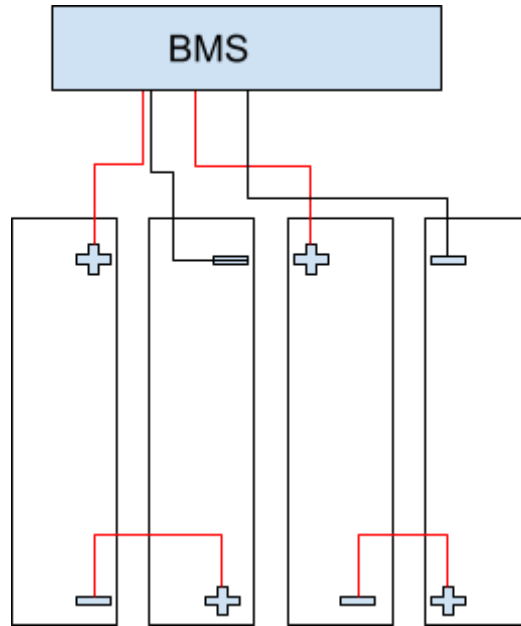


Fig 5.15 - Configuración de Baterías (Elaboración propia).

5.2.2.1. Caso práctico baterías

Con esta capacidad y sabiendo que los motores SD10 consumen 2,5 kW a una velocidad media de 4,5 nudos (1,25 kW por motor) sería posible hacer uso del motor durante 11,36 (división entre 28,4 kWh y el consumo de 2,5 kW) horas de manera que en estas condiciones tendríamos un rango disponible de aproximadamente 51,12 millas náuticas (95 km).

$$Rango (nm) = Velocidad (nudos) * Tiempo (horas) \quad (5)$$

Se ha efectuado una tabla con los distintos rangos disponibles si la embarcación navegase a motor (en condiciones ideales):

RANGO (nm)	RANGO (km)	HORAS MOTOR	VELOCIDAD	CONSUMO MOTORES
51,12	95	11,36	4,5	2,5
35,64	66	6,6	5,4	4,3
35,03	64,87	5,56	6,3	5,1
20,44	37,85	2,84	7,2	10

Tabla 5.1 - Rangos disponibles dependientes de la velocidad.

Rango de millas con respecto a la Velocidad del buque

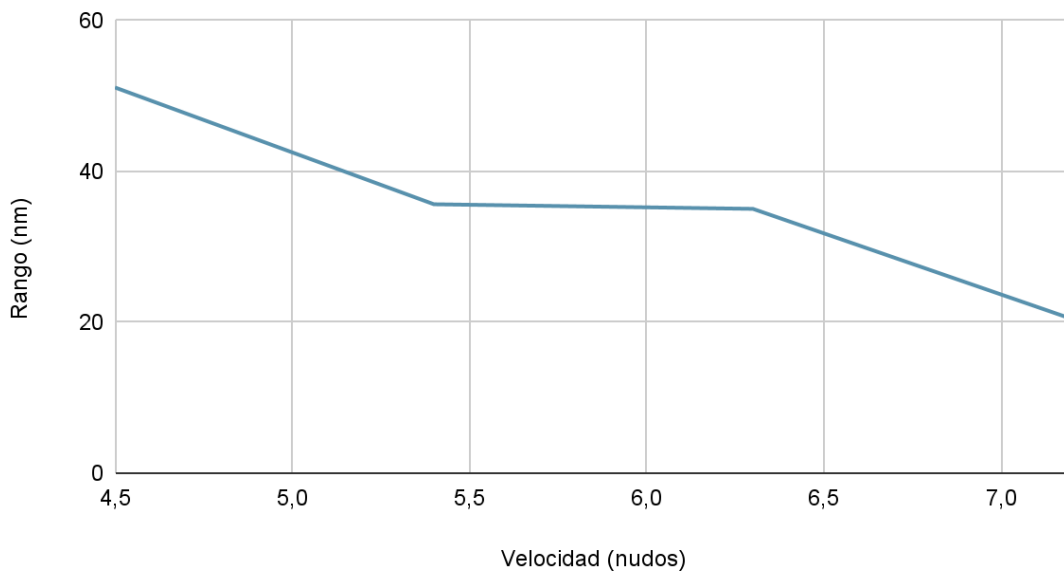


Fig 5.16 - Rango Millas con respecto a la Velocidad del buque.

5.2.3. Ubicación Componentes

En este subcapítulo se designa la ubicación para cada componente que conformará el sistema de propulsión eléctrica.

En primer lugar, el principal espacio donde residirá el sistema a integrar será donde antes se ubicaba el motor de combustión. Este espacio tiene unas dimensiones de 72x130x67cm con un volumen total disponible de 0,62m³. Los componentes a ubicar en este espacio disponible serán, las baterías, BMS , MPPT (seguidor del punto de máxima potencia para el sistema FV) y el CC Lynx (un bus de corriente continua para conectar componentes).

En la siguiente tabla se recogen las dimensiones de cada componente:

COMPONENTE	DIMENSIONES (CM)	VOLUMEN (m ³)
Baterías (conjunto)	65,2x29,4x77,2	0,148
BMS	42,6x22,5x11,7	0,01
MPPT	13x18,6x7	0,002
CC Lynx	29x17x8	0,004

Tabla 5.2 - Dimensiones Componentes en el compartimento motor.

Tanto el cargador como el convertidor 48/12 irán ubicados en compartimento estanco de babor donde estaba ubicado el cargador previo. Para la conexión de estos componentes al sistema central de propulsión habrá que tomar en cuenta la distancia, siendo esta un total de 2,35 metros.

Por último, los motores irán instalados cada uno al inicio de cada camarote de popa en el espacio disponible entre el suelo del velero y su caso, esto es posible gracias a que los motores son bastante planos dimensionalmente. Sus respectivos controladores de motor irán instalados debajo de la cama de los camarotes.

5.2.4. Longitudes, Secciones y Protecciones

En este apartado se va a proceder al dimensionamiento del cableado del sistema de propulsión.

Primero de todo, se ubicaron las posiciones en las cuales iban a ir instalados los distintos componentes del sistema. Una vez ubicados se tomaron medidas de la longitud de cable necesaria para poder conectar cada componente.

La siguiente tabla recoge las longitudes necesarias de los conductores entre componentes del sistema:

COMPONENTE	LONGITUD (metros)
Baterías-BMS	0,5
BMS-MPPT	0,5
MPPT- PANELES FV	5
BMS-DC Lynx	1
BMS-INVERSOR MOTOR	1,5
DC Lynx-CARGADOR	2,35
DC Lynx- CONVERTIDOR CC-CC	2,45

Tabla 5.3 - Longitudes necesarias entre componentes.

Con las longitudes tomadas y componentes elegidos, es posible dimensionar las secciones de los conductores del sistema. Para ello se ha elegido el proveedor ANCOR el cual fabrica conductores de cobre de máxima protección frente a la corrosión y electrólisis causada en ambientes marinos. Además, el cable tiene como característica clave la flexibilidad (Tipo 3) de manera que tiene una protección sólida frente a posible fatiga del material frente a torsiones o vibraciones.

Para poder hallar la sección necesaria para cada conductor se ha hecho uso de la tabla proporcionada en la norma UNE-EN ISO 13297:2021 (véase figura 5.17), esta norma entre otras cosas establece los requerimientos para diseñar una instalación de corriente continua de baja tensión en pequeñas embarcaciones, entre los requisitos se adjunta la tabla que dimensiona el área transversal mínima de los conductores.

Tabla A.1 – Área del conductor de la sección transversal, corriente permanente admisible e hilos

Área de la sección transversal	Máxima corriente admisible en servicio continuo, en amperios, para conductores individuales a las temperaturas nominales de aislamiento de:						Número mínimo de hilos ^b	
	60 °C	70 °C	85 °C a 90 °C	105 °C	125 °C	200 °C	Tipo A	Tipo B ^a
0,75	6	10	12	16	20	25	16	—
1	8	14	18	20	25	35	16	—
1,5	12	18	21	25	30	40	19	26
2,5	17	25	30	35	40	45	19	41
4	22	35	40	45	50	55	19	65
6	29	45	50	60	70	75	19	105
10	40	65	70	90	100	120	19	168
16	54	90	100	130	150	170	37	266
25	71	120	140	170	185	200	49	420
35	87	160	185	210	225	240	127	665
50	105	210	230	270	300	325	127	1 064
70	135	265	285	330	360	375	127	1 323
95	165	310	330	390	410	430	259	1 666
120	190	360	400	450	480	520	418	2 107
150	220	380	430	475	520	560	418	2 107

a Los conductores con hilos del tipo B deben utilizarse para todo cableado en el que se produzca una flexión frecuente durante el uso.

b Los valores de corriente nominal del conductor se pueden interpolar para áreas de sección transversal entre los que se muestran arriba.

Fig 5.17 - Rango Millas con respecto a la Velocidad del buque.

Dicha tabla indica la sección del conductor según la corriente admisible y la temperatura nominal de aislamiento. Para saber las corrientes máximas que los conductores tienen que soportar se ha elegido la corriente máxima que cada componente tiene de salida (véase Tabla 5.4) y posteriormente se han obtenido las secciones siguiendo la tabla de la norma (aplicando criterio térmico). Para ello se ha elegido la condición más restrictiva del aislamiento: en ambiente húmedo la temperatura nominal del aislamiento según el fabricante es de 75 °C, esta temperatura no figura en la tabla, por lo que se ha elegido la siguiente temperatura menor (70 °C) de manera que es más restrictiva y aporta más seguridad.

Como ejemplo, el dimensionamiento de los conductores de las baterías ha sido el siguiente: en primer lugar, el sistema de baterías es capaz de aportar 280Ah, por lo que se ha elegido esta corriente para el dimensionamiento. Entrando a la tabla proporcionada por la norma por la columna de 70°C, el valor de 280 cae entre el rango de corrientes 265-310 A, se elige la inmediatamente superior. De esta manera, la sección mínima es de 95 mm² pero al comprobar con las secciones normalizadas por el fabricante, sólo es posible elegir de 107 mm². Este proceso se ha repetido para el resto de componentes.

Cabe destacar que los valores indicados son determinados para una temperatura ambiente de 30°C.

Como ya se tienen las intensidades de corriente, longitudes y secciones de los conductores del sistema, procedemos a calcular la caída de tensión para cada conductor. Siguiendo la norma, la caída de tensión debe de ser menor al 10% de la tensión nominal.

La caída de tensión se ha calculado mediante la ecuación indicada en la norma UNE-EN ISO 13297:2021:

$$C. d. t = \frac{0,0164 \cdot I \cdot L}{s} \quad (6)$$

Las secciones dimensionadas se recogen en la siguiente tabla:

COMPONENTE	CORRIENTE (A)	SECCIÓN NORMALIZADA (mm ²)	CAÍDA DE TENSIÓN (%)
BATERÍAS	280	107	0,09
MOTORES	195	53	0,38
MPPT	40	8	0,17
CARGADOR	70	21	0,54
CC-CC	30	5	1
DC Lynx	70	21	0,01

Tabla 5.4 - Dimensionamiento de conductores

Cabe destacar que la caída de tensión es mínima debido a la poca longitud de los conductores.

En cuanto a las protecciones necesarias para el sistema, la protección usada en embarcaciones para evitar que las líneas eléctricas sufran sobrecargas y cortocircuitos es mediante el uso de fusibles. El fusible será colocado a la entrada del circuito en el polo positivo.

Empezando por las baterías, estas llevan integrado fusibles de tipo MEGA y con un poder de corte de 300 A (indicado por el fabricante). Los fusibles están conectados en el borne positivo de la batería. Si se quisiera contar con una doble capa de protección, el componente de monitorización de baterías cuenta con capacidad de hasta 8 fusibles MEGA, por lo que sería recomendable instalar en el terminal positivo fusible con poder de corte de 300A.

Pasamos ahora al componente BMS, cuyo objetivo es servir de protección para las baterías frente a posibles fallos del sistema. A su vez, este componente lleva un Contactor de seguridad integrado, protegiendo al sistema de cualquier daño en caso de fallo. Además integra un circuito de precarga evitando chispas en la puesta en marcha.

Por otro lado se tiene el MPPT, el cual cuenta con 3 tipos de protecciones distintas para garantizar la seguridad del sistema. En primer lugar, se tiene una protección contra la temperatura excesiva. Este modelo cuenta con sensores que en caso de sobret temperatura reducirán la potencia. Por otra parte, integra protección frente a cortocircuitos y polaridad inversa de los paneles instalados. Por último, el modelo cuenta con protección frente a corriente inversa fotovoltaica.

Siguiendo con las protecciones de los diversos componentes, llegamos al cargador. El modelo de cargador/inversor elegido cuenta con todo tipo de protecciones; entre ellas destacan protección frente a cortocircuito a la salida y frente a sobrecarga.

El componente que sirve de conexión entre el sistema de baterías y tanto el cargador como el convertidor CC-CC es el Lynx Power In. Este sistema de bus CC cuenta con la posibilidad de instalar hasta 4 fusibles que protejan los conectores en cuestión.

En la siguiente imagen se puede visualizar el esquema de los componentes del sistema:

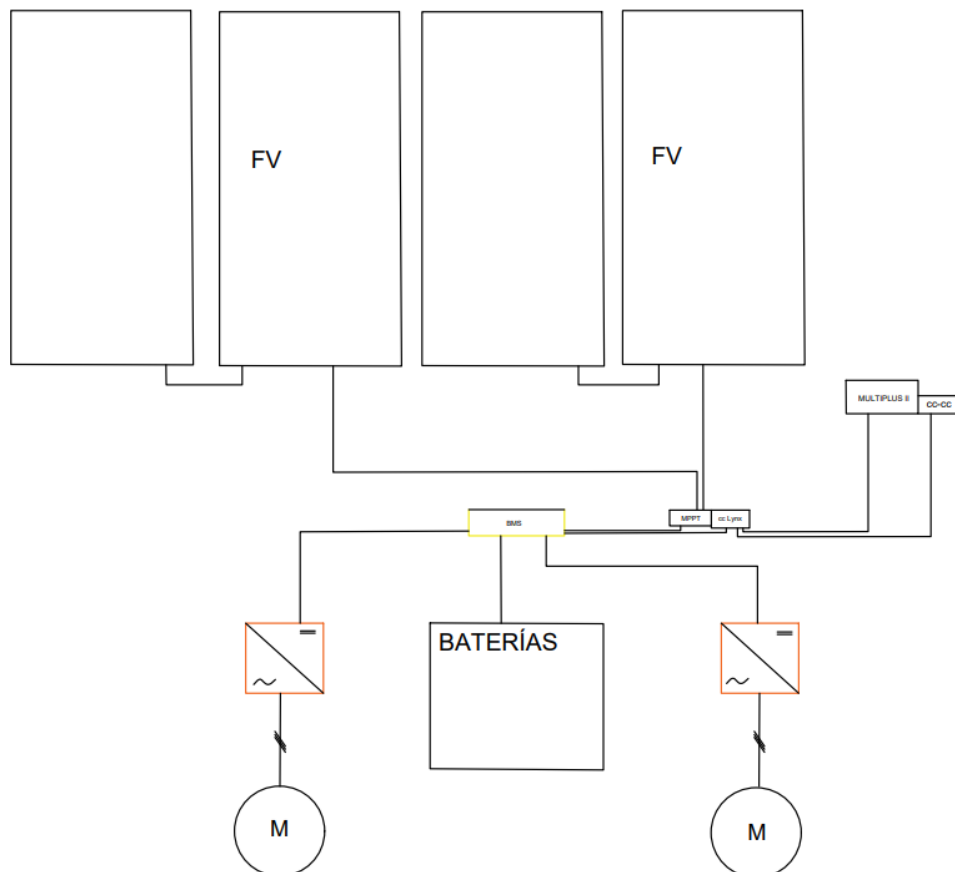


Fig 5.18 - Esquema componentes del sistema

5.3. Selección de Componentes

En este apartado, se seleccionarán los diferentes componentes necesarios para el diseño de la propulsión eléctrica del velero Sun Odyssey 509.

5.3.1. Motores

Para la selección de los motores a implantar se ha tenido en cuenta la potencia ya instalada en el velero. A la hora de diseñar el sistema, el armador del velero quería una potencia la cual tuviera las ventajas de los motores eléctricos pero sin perder capacidades ya disponibles.

Instalado ya en el velero, se tiene un motor con potencia de 75HP/55 kW. De esta manera se ha elegido implementar dos motores del Saildrive 10 de 10kW cada uno. Teniendo una potencia total instalada de 20kW (sistema de propulsión dual), según el fabricante, el SD10 equivaldría a un motor con potencia entre 20-30 HP por lo que el sistema diseñado en el trabajo dispondría de una potencia entre 40-60HP. Considerando las ventajas de los motores eléctricos frente a los de combustión se considera que se compensa sobradamente la reducción de potencia máxima al cambiar de sistema de propulsión.

Este motor se trata de un motor de corriente alterna síncrono de imanes permanentes (PMSM). Como su nombre indica, al ser síncrono el rotor gira en sincronismo con el campo magnético, esto sucede a cualquier par. Una de las grandes ventajas de este tipo de motor es su gran rendimiento. [42]

Al ser los motores empleados de corriente alterna y trifásicos, hará falta disponer de un inversor. En nuestro caso, el proveedor de los motores elegido suministra en conjunto el sistema de motores y controladores de los motores (integra el inversor) por lo que no será necesario dimensionar ese subsistema de corriente alterna.

5.3.2. Sistema de Baterías

Para el sistema de baterías se ha elegido una batería de tecnología de litio ferrofosfato (LiFePo4) del proveedor MG Energy Systems, en particular el modelo MG LFP 24V.

Las características técnicas más importantes de la batería elegida serían la tensión de trabajo, capacidad, ciclo de vida y protecciones. Empezando por la tensión, cada batería tiene un voltaje 24V, de manera que al conectar en serie dos baterías de las mismas características, la tensión se eleva a la del sistema de 48V. La capacidad nominal es de 280 Ah por batería y la energía nominal es de 7.2kWh. Un aspecto muy importante que se ha tenido en cuenta a la hora de elegir la batería es su energía nominal ya que influye directamente en la autonomía de la embarcación.

Cada batería del sistema cuenta con un ciclo de vida de mínimo 3500 ciclos, considerándose el fin de vida de la batería cuando a temperatura ambiente de 25 °C se tiene una capacidad del 70% de la capacidad inicial. En cuanto a la configuración posible, el proveedor indica que se pueden conectar en serie hasta 6 módulos y en paralelo hasta 96 módulos por lo que la configuración diseñada cumple.

En cuanto a protecciones, cada módulo cuenta con fusibles de 300A para evitar sobrecorrientes, implementados en el terminal positivo de la batería.

Además de las características de la batería elegida, en el sistema se va a implementar un módulo de monitorización de baterías, para evitar que ningún parámetro de la batería incremente en exceso. El módulo elegido sería el 24-48V 400A MGMLV48X400 de nuevo del proveedor MG.

El BMS elegido está diseñado para sistemas de baja tensión, garantizando una monitorización segura del banco de baterías hasta 48V en corriente continua, más que suficiente para nuestro sistema instalado. El modelo elegido tiene un contactor principal de seguridad de corriente continua de 400A de manera que desconecta las baterías de las cargas en caso de sobrecarga. Además cuenta con portafusibles (hasta 8 fusibles es capaz de integrar) para proteger frente a sobrecargas y cortocircuitos.

5.3.3. Cargador y Convertidor CC-CC

El cargador elegido suministrado por el proveedor Victron energy es el Inversor/cargador MultiPlus-II 230V 48/5000, es un modelo adaptado para uso en el ámbito marino. La gran ventaja de este modelo es la compatibilidad con todo tipo de baterías, ya sean de plomo-ácido o litio (LiFePO4) como las instaladas en el sistema. El inversor/cargador trabaja a 48V de tensión y tiene una potencia de salida de 5000 VA, con lo cual, cumple con las especificaciones necesarias.

Para tener una comunicación entre sistemas eléctricos del velero (sistema de propulsión y sistema cotidiano) es necesario implantar un convertidor CC-CC, ya que un sistema trabaja a 48V y el otro sistema trabaja a 12V. Para ello se ha considerado como mejor opción el convertidor Orion-Tr 48/12 360W suministrado por Victron Energy. Este convertidor permite un rango de tensión de entrada entre 40-70 V y suministra una corriente de salida continua de 30 A.

Tanto el cargador como el convertidor están conectados a un bus de corriente continua que sirve de unión entre estos dos componentes y el resto del sistema. El componente elegido es DC Lynx power in.

5.4. Integración con sistema de generación renovables

Una vez dimensionado el sistema de propulsión eléctrica y elegido los componentes, podemos entrar en detalle en los sistemas de apoyo de generación de energía, entre ellos destacan la Hidrogeneración y la Energía solar fotovoltaica.

5.4.1. Hidro generación

En embarcaciones eléctricas es vital tener formas de recargar las baterías sin necesidad de estar conectado al puerto donde se esté atracado. Es por eso por lo que se han analizado distintas formas de autoconsumo para poder maximizar la recarga de baterías de manera sostenible y renovable.

Entre estas opciones (solar, aerogenerador, etc.), destaca la hidrogenación. Una de las grandes ventajas de las máquinas síncronas es su dualidad, pudiendo funcionar como motor síncrono (en maniobras en puerto) o como generador. Esta última función es muy importante ya que es posible sacarle mucho partido en un velero ya que cuando se va a vela impulsado por el viento, es posible usar la propia inercia del barco para mover la hélice y generar energía, aunque ello vaya en detrimento de una menor velocidad de la embarcación.[43]

Con la ayuda de Oceanvolt se ha podido hacer un estudio y cuantificar la capacidad de regeneración usando el motor SD10 o Servoprop 10.

Hydrogeneration Estimate for Saildrive 10 & ServoProp 10

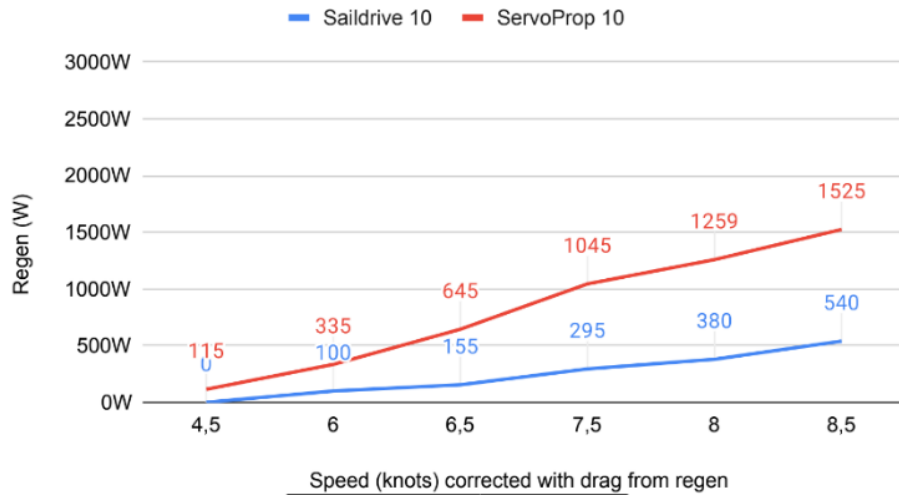


Fig 5.19 - Estimación de generación de potencia a través de Oceanvolt SD10

Eligiendo el motor eléctrico Saildrive 10 (Curva azul) podemos observar la potencia que es capaz de generar el Saildrive a distintas velocidades del velero. Hay que destacar que al elegir la configuración de motor dual, la generación de potencia se doblará, al disponer de dos motores iguales.

No hay que olvidar que estos resultados y potencia regenerativa están condicionados por el estado del mar y la embarcación. Es decir, la hidrogenación es óptima cuando se cumplen las condiciones ideales como navegar en ceñida con un ángulo entre 60-90° con respecto a la dirección del viento (véase figura 6.18).

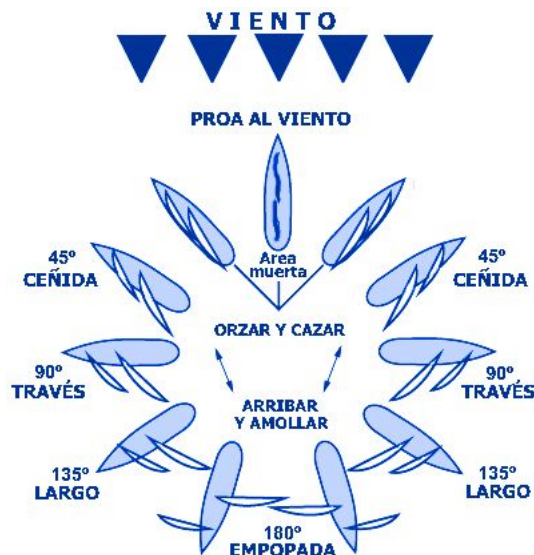


Fig 5.20 - Rumbos de Navegación

Otra de las condiciones a tener en cuenta es el estado del mar (en condiciones con mar gruesa como olas de 3 metros no es posible hacer uso de esta tecnología). Esta se puede analizar mediante la escala Beaufort, la cual indica el estado del mar según la intensidad del viento (véase figura 6.19). Siguiendo la escala Beaufort, las condiciones ideales para aprovechar al máximo la hidrogenación sería entre el nivel 2, en el cuál podemos empezar a desplegar las velas, y el nivel 6, cuando se puede ir con la totalidad de la superficie de las velas desplegadas.

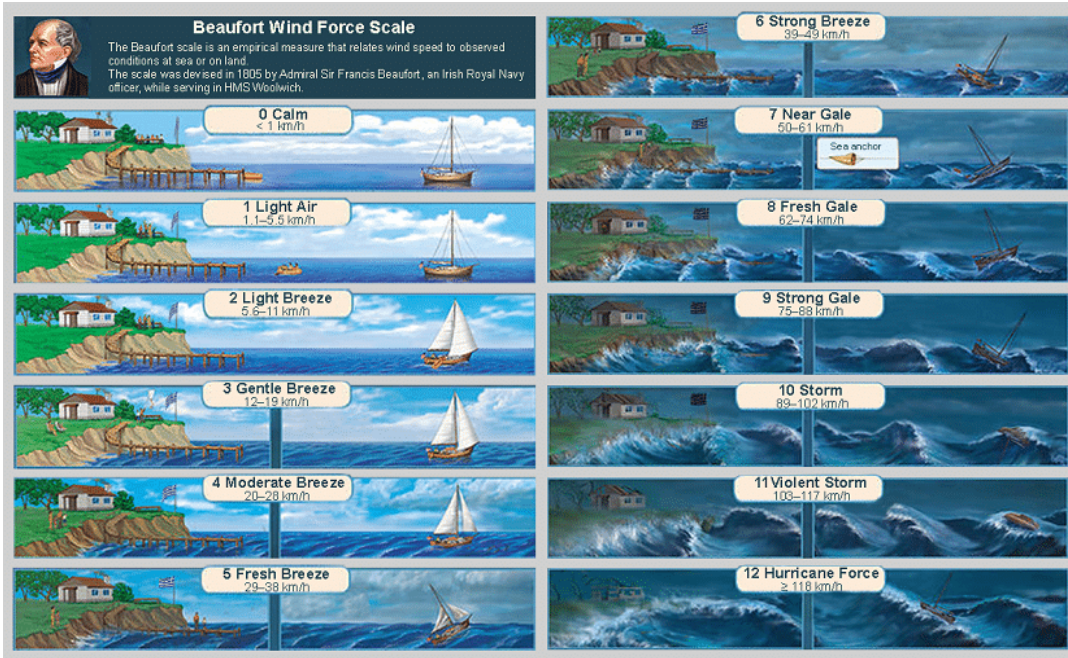


Fig 5.21 - Escala Beaufort[44]

El último condicionante, para un aprovechamiento óptimo de esta fuente de energía sería un buen trimado de velas[45]. El trimado de velas se define como la regulación de los elementos disponibles en el barco (en este caso al ser velero, las velas) para lograr un aprovechamiento máximo de la fuerza propulsora.[46] Esta condición depende de dos aspectos: el buen estado del material disponible y tanto de la habilidad como la experiencia del capitán de la embarcación a la hora de trimar las velas.

Este sería un ejemplo de una travesía relativamente corta y sencilla. Otra posibilidad muy común recorriendo el trayecto Valencia-Ibiza nos permitiría generar un 13% (yendo a la misma velocidad de 6,5 nudos durante las horas de travesía y generado por cada motor 155W) de la capacidad total instalada. Un porcentaje que sumando la posibilidad de generación mediante otros elementos como paneles solares abren la disponibilidad de autosuficiencia únicamente con energía renovable.

Los datos ejemplo de las travesías Valencia-Jávea y Valencia- Ibiza se recogen en la siguiente tabla, la cual muestra la energía que es posible generar si durante la distancia indicada se navegase con el motor durante las horas de travesía necesaria y se generase por cada motor la misma potencia, indicada en la gráfica de hidrogenación (véase 6.17):

	DISTANCIA (nm)	VELOCIDAD (knts)	TIEMPO TRAVESÍA (h)	POTENCIA GENERADA (2 MOTORES kW)	ENERGÍA TOTAL (kWh)
Vlc-Jávea	45	6,5	7	0,31	2,15
Vlc-Jávea	45	8,5	5	1,08	5,72
Vlc-Ibiza	79	6,5	12	0,31	3,77
Vlc-Ibiza	79	8,5	9	1,08	10,04

Tabla 5.5 - Potencia generada por los motores en travesía (Caso práctico).

5.4.2. Estudio Fotovoltaico

La energía solar es la energía que se obtiene mediante la radiación electromagnética del sol, energía que se puede “recolectar” mediante placas fotovoltaicas instaladas en la embarcación.[47]

Las grandes ventajas de la energía solar, es que es una energía que no se agota, es una energía “verde” y es de fácil acceso. De hecho, la tierra recibe 120.000 teravatios de radiación solar en su superficie. Esta cantidad es 20.000 veces mayor que la energía total necesaria para abastecer a todo el planeta[48]. Si bien, actualmente con la tecnología no es posible maximizar el aprovechamiento de esta energía, es una oportunidad vital como aporte de energía extra en una embarcación.

Para realizar el estudio fotovoltaico en el velero, se ha hecho uso de software PVGIS el cual es un software libre que proporciona información sobre radiación solar para cualquier localización de Europa y África.[49]

En cuanto al plano de trabajo, se ha determinado que el sistema más óptimo para la instalación es colocar los paneles fotovoltaicos en la popa del barco apoyado sobre una estructura metálica encima del toldo de popa. Se ha elegido esta zona principalmente por dos razones. La primera razón sería la disponibilidad de espacio, en popa se tiene la mayor manga utilizable del velero

Tras tomar medidas en la propia embarcación, se han recopilado las siguientes medidas

- Altura estructura: 205cm
- Longitud máxima: 410cm
- Anchura: 318cm

Cabe destacar que, al realizar las medidas pudimos ver que la botavara (“palo” o estructura perpendicular al mástil, donde la vela se apoya) se adentraba unos 40 cm sobre el área estudiada para la instalación de los paneles fotovoltaicos, condicionando el espacio libre para incluir los paneles. Así pues, restando las dimensiones no aprovechables se tiene una anchura de 278 cm.

De esta manera, teniendo en cuenta los condicionantes, se tiene que el espacio total disponible para la instalación de placas fotovoltaicas sería de $11,4 m^2$.

$$\text{Espacio disponible (m}^2\text{)} = \text{Manga popa (metros)} * \text{longitud habitable popa (metros)} \quad (8)$$

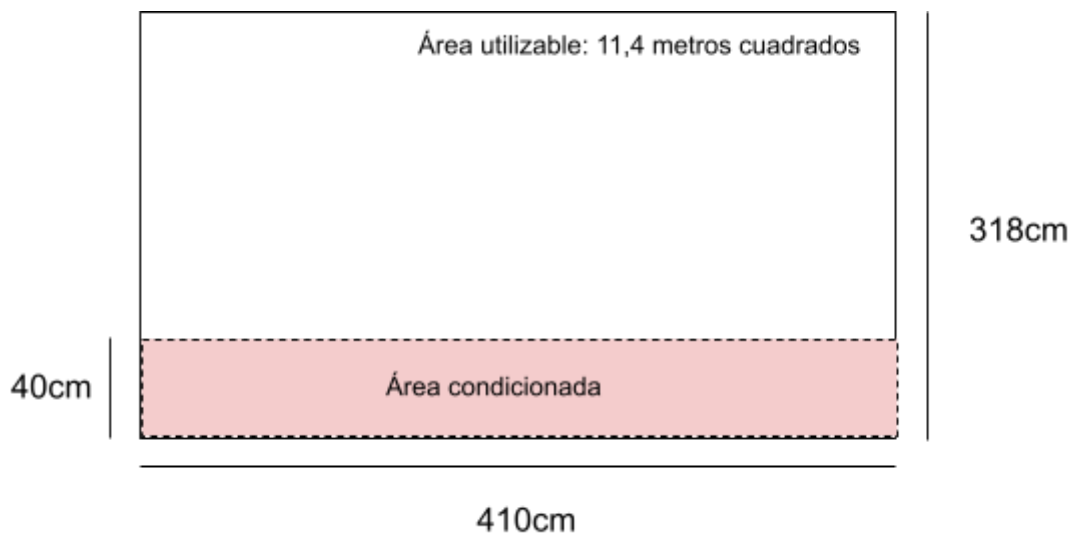


Fig 5.23 - Esquema del área aprovechable para paneles fotovoltaicos.

La segunda razón vendrían a ser las sombras. Para que una instalación fotovoltaica logre maximizar su energía generada es necesario evitar al máximo las sombras. En un velero es difícil por el espacio reducido disponible; no obstante, con las velas desplegadas al máximo, el área donde menores sombras aparecen es a su vez, la popa de la embarcación, tal y como se observa en las fotografías mostradas a continuación.



Fig 5.24 - Vista en perspectiva de localización de los paneles fotovoltaicos.



Fig 5.25 - Vista lateral del Sun Odyssey 509 y Barco vecino con instalación fotovoltaica en popa.

A la hora de realizar el estudio del rendimiento solar posible en dicha instalación, hay que destacar que a diferencia de un huerto solar, o una instalación privada, en un velero el rendimiento de la propia instalación depende del lugar en el que se encuentre, es dependiente geográficamente. Para este desarrollo se ha considerado que el velero siempre navegará por aguas valencianas y se ha elegido la marina de Valencia como localización para desarrollar el estudio, como se puede observar en la figura satélite mostrada a continuación (véase figura 6.24). La posición exacta con coordenadas: 39.462467, -0.315228.



Fig 5.26 - Vista de localización de la embarcación en la Marina de Valencia (Foto extraída de Google Earth).

De esta manera, con la localización conocida y gracias al software PVGIS, se obtienen los datos meteorológicos de la localización elegida. Los datos necesarios para la realización del estudio fotovoltaico son la evolución de irradiancia y temperatura ambiente para el día medio de cada mes.

Mediante PVGIS se han recopilado los datos necesarios para obtener mediante excel las curvas de la evolución de temperatura e irradiancia para cada día característico por mes (12 días característicos en 12 meses):

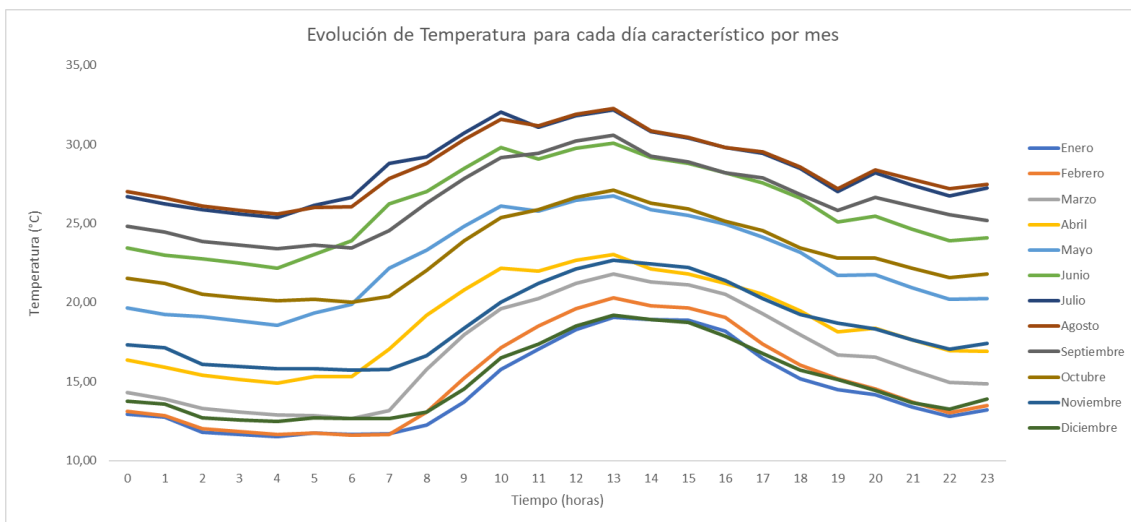


Fig 5.27 - Curvas Temperatura diaria por mes.

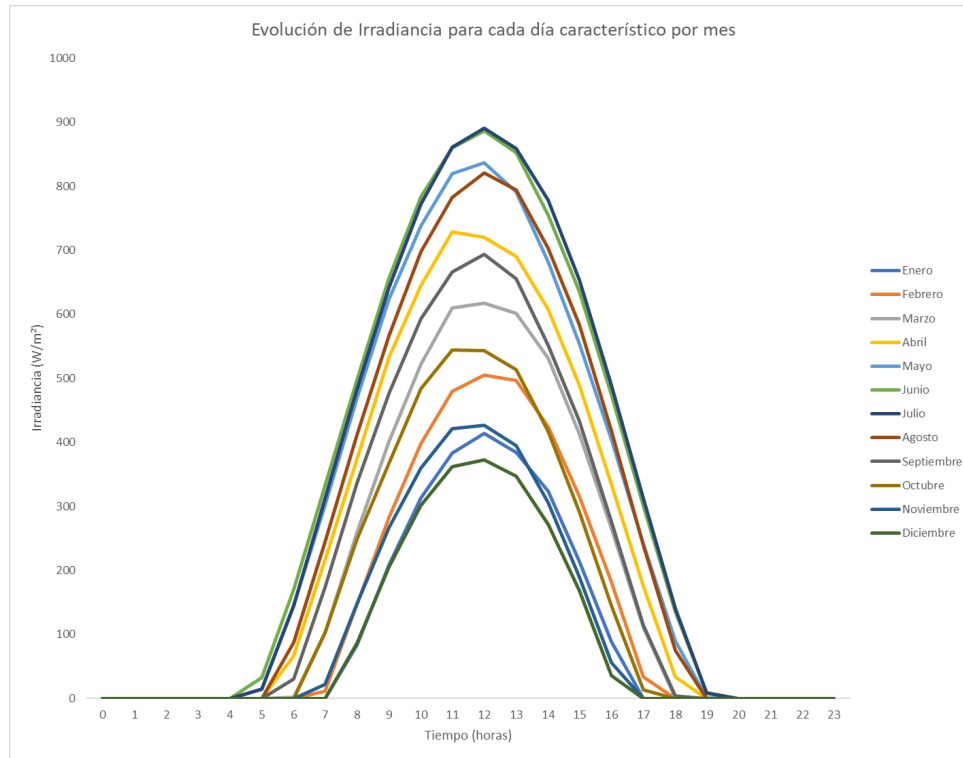


Fig 5.28 - Curvas Irradiancia diaria por mes.

De las gráficas se puede obtener, de manera lógica que los meses más destacables en términos de irradiancia serían los meses desde mayo hasta agosto, y los meses de menor irradiancia serían los meses de invierno.

Para los cálculos de potencia generada por los paneles fotovoltaicos se ha tenido en cuenta un rendimiento total de la instalación (pérdidas por cableado, suciedad, etc.) de 90%.

Para poder calcular la potencia generada por el sistema, es necesario cuantificar tanto las pérdidas por irradiancia como las pérdidas por temperatura de la célula.

Empezando por las pérdidas por temperatura, se calcula mediante la temperatura de la célula, la temperatura ambiente, irradiancia y las condiciones de ensayo NOCT (Nominal Operating Cell Temperature), siguiendo la ecuación:

$$T_{célula} = T_{ambiente} + (T_{NOCT} - 20)/800 * Irradiancia \quad (9)$$

Cabe destacar que la temperatura ambiente e irradiancia son los valores recogidos para cada hora del día más característico del mes durante el año.

Una vez se obtiene la temperatura de la célula, se dispone a calcular las pérdidas por temperatura, siguiendo la ecuación:

$$Pérdidas_{temperatura} = (100 - (T_{célula} - 25) * Coeficiente Pérdidas Temperatura)/100 \quad (10)$$

La siguiente figura muestra los resultados de pérdidas por temperatura durante cada hora del día más característico para cada mes:

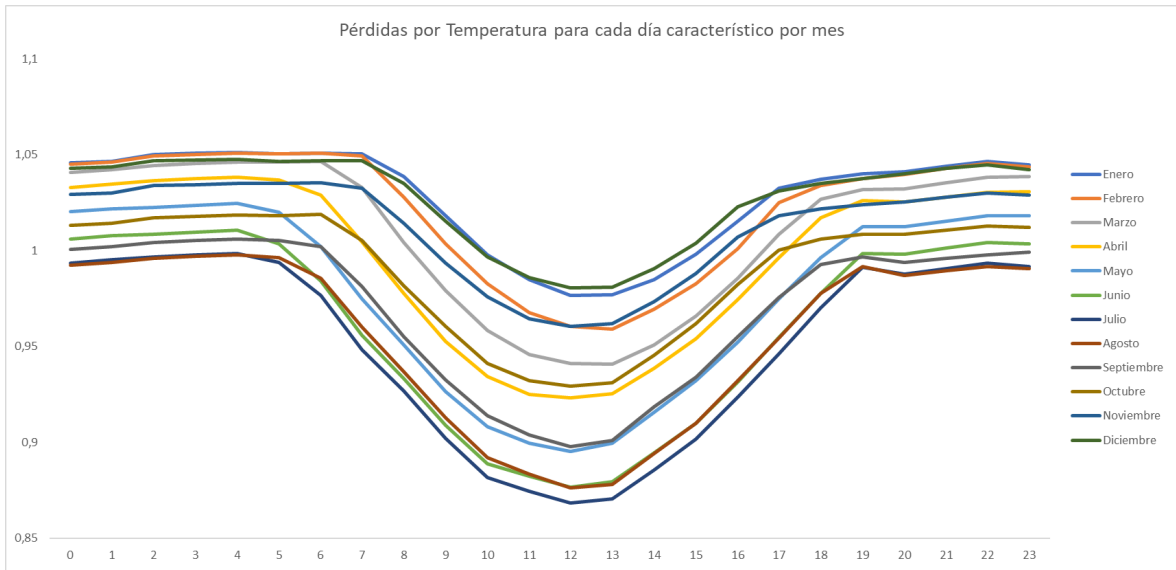


Fig 5.29 - Curvas Pérdidas por Temperatura diaria por mes.

Ahora pasamos al cálculo de pérdidas por irradiancia, para ello calculamos el decrecimiento del rendimiento a baja irradiancia siguiendo la ecuación:

$$Pérdidas_{irradiancia} = [100 - (1000 - Irradiancia)/(1000 - 200) * Coef. Pérdidas Irradiancia]/100 \quad (11)$$

La siguiente figura muestra los resultados de pérdidas por irradiancia durante el día más característico de cada mes:

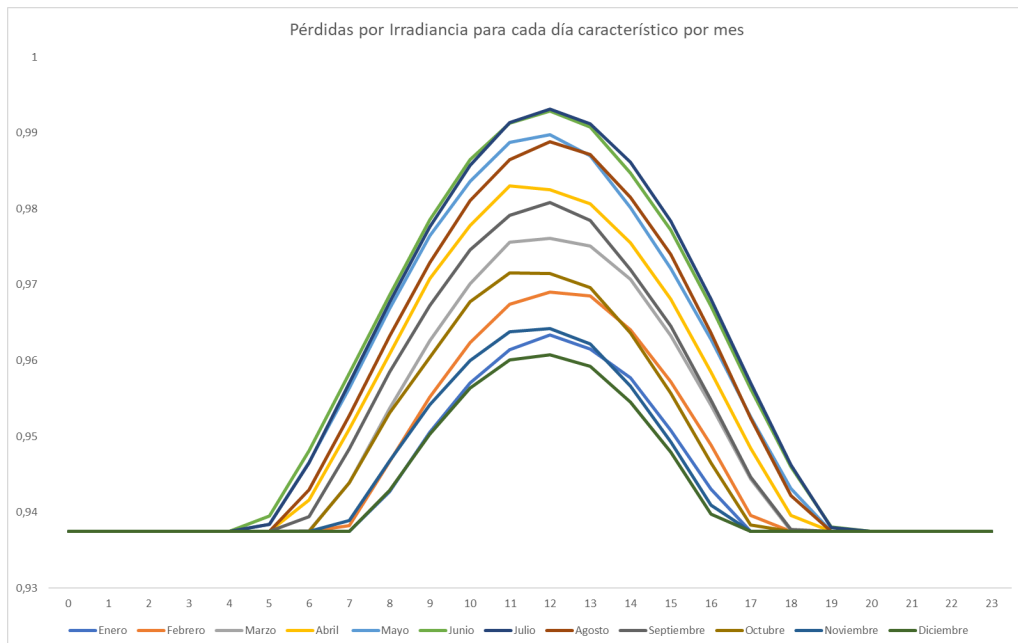


Fig 5.30 - Curvas Pérdidas por Irradiancia diaria por mes.

Una vez obtenidos estos parámetros, ya es posible calcular la potencia que el sistema elegido generará para ello se ha seguido la ecuación:

$$Potencia\ generada = Irradiancia * \text{Área} * Rendimiento\ sistema * Rendimiento\ del\ panel * Pérdidas\ Irradiancia * Pérdidas\ Temp. \quad (12)$$

siendo:

Irradiancia en W/m^2

Área en m^2

Rendimientos en %

Quedando la gráfica de potencia generada así:

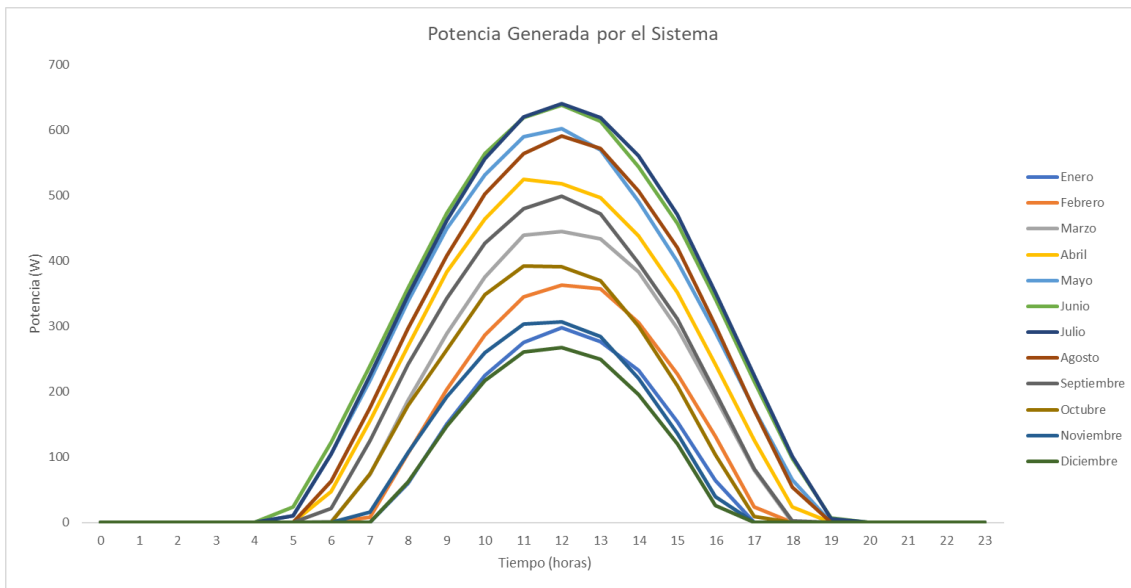


Fig 5.31 - Curva de potencia generada por el sistema

Una vez calculada la potencia generada por el sistema es posible calcular la energía que el sistema nos generará cada mes, esto se ha calculado mediante la ecuación:

$$Energía\ generada = \sum_{n=0}^{23} Potencia * n^o\ días\ del\ mes \quad (13)$$

Los resultados se han dispuesto en un gráfico quedando:

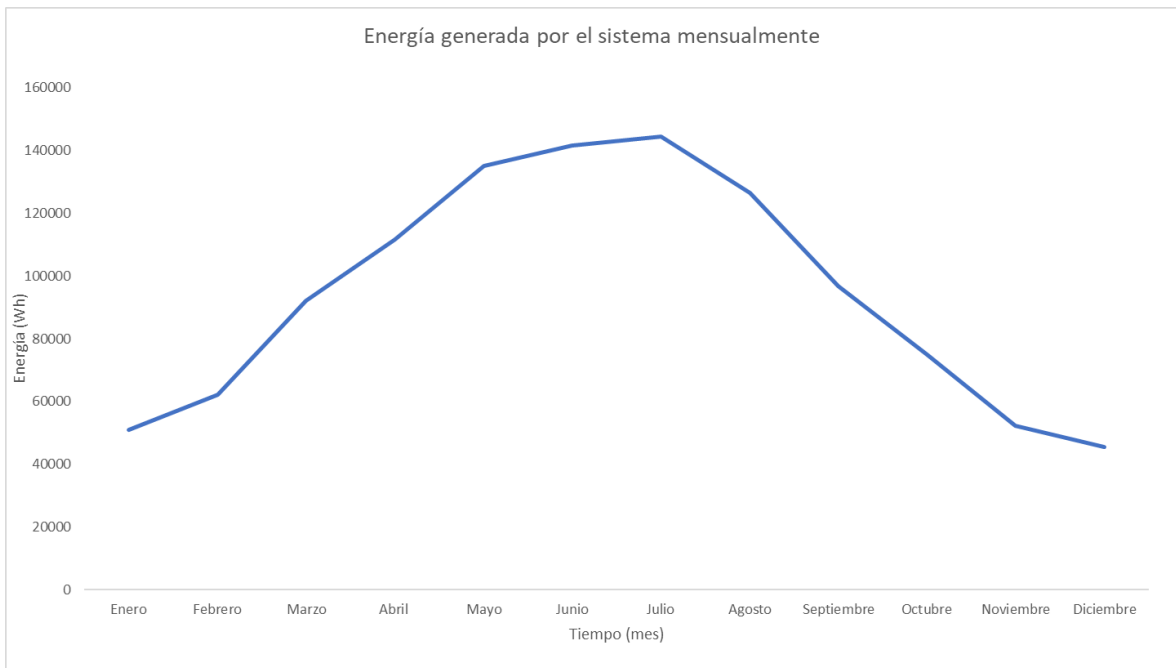


Fig 5.32 - Curva de energía generada por el sistema

Según el estudio solar, el sistema sería capaz de generar un pico de energía de 144kWh durante los meses de verano. Es decir, teniendo una capacidad de baterías de 28,4kWh, el sistema fotovoltaico sería capaz de suministrar esta capacidad 5 veces durante estos meses, aunque a medida que nos adentramos en los meses de invierno el rendimiento se vería bastante condicionado.

El lector puede preguntarse, ¿por qué se hace uso de los datos de irradiación sobre un plano horizontal?. Esto se debe a que los paneles fotovoltaicos instalados se instalarán horizontalmente ya que al estar la embarcación en constante movimiento, no es viable tratar de buscar una inclinación para los paneles.

En cuanto a los paneles elegidos, se ha elegido el proveedor Atersa, el cuál dispone de una sección dedicada a paneles fotovoltaicos para ámbito marino. Estos paneles cuentan con una protección IP67, la cual protege contra polvo y además también protege contra la inmersión completa en agua.[50]

En cuanto al panel fotovoltaico elegido, se ha decantado por elegir el módulo solar A-200M GS de 200W de potencia máxima. Este módulo solar está compuesto por 72 células monocristalinas de 125 x 125 mm. Se ha elegido ese módulo ya que trabajan a 24V de tensión. De esta manera, es fácil conectar las placas en serie y así poder llegar a la tensión deseada a la cual trabaja el sistema de propulsión, 48V.

Las características del panel elegido según la ficha técnica son:

- Potencia pico del panel: 200 Wp
- Rendimiento en STC: 15,67%
- Área del panel: 1,58*0,808 m²
- Coeficiente de pérdidas por temperatura: 0,38 %/ °C
- Coeficiente de pérdidas por irradiancia: 5% (se asume un 5% de coeficiente de pérdidas al no encontrar datos)
- Temperatura nominal de operación de la célula: 45 °C

Dimensiones del módulo:

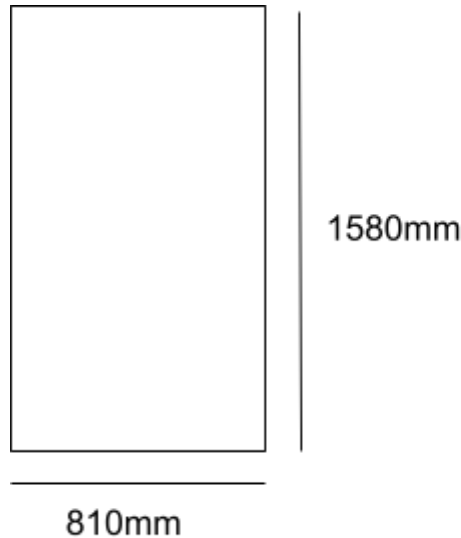


Fig 5.33 - Dimensiones Módulo Fotovoltaico

Con estas dimensiones y el espacio disponible. Se instalan 4 paneles fotovoltaicos por motivos de optimización de espacio; 2 de los paneles están conectados en serie para aumentar la tensión a 48V e igualar la tensión del sistema. El resto estarán conectados en paralelo. De esta manera, las características totales del sistema instalado serán de 800W, 48V y una corriente máxima de 16,67A.

Para las conexiones entre módulos fotovoltaicos se utilizan cables de longitud 900mm y sección 4mm² de protección IP67, con conector compatible MC4.

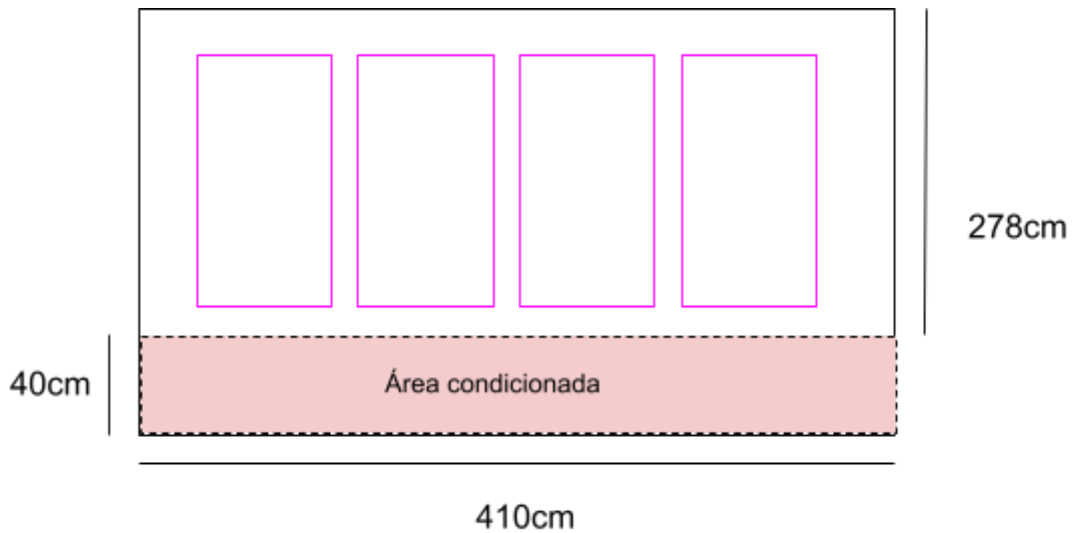


Fig 5.34 - Distribución de paneles fotovoltaicos. Elaboración propia.

Además, para una correcta y óptima instalación se ha elegido integrar un regulador de carga MPPT. De esta manera se puede regular la carga suministrada a las baterías y evitar que existan sobrecargas que puedan dañarlas. Otra de las ventajas de integrar un regulador MPPT es que es posible el aprovechamiento eficiente de las placas ya que el regulador de carga MPPT funciona extrayendo la máxima potencia de los paneles fotovoltaicos; esta característica es vital en días nublados o con poca luz ya que se consigue extraer mucha más energía solar de manera que en situaciones en las que se necesite será necesario; de hecho según el fabricante es posible extraer hasta un 30% más de energía comparado con un regulador PWM.[51]

El regulador elegido es del proveedor Victron energy y se ha elegido el modelo MPPT 150/35. Este modelo tiene una corriente de carga de hasta 35A y permite hasta 2000W de potencia nominal de las placas con baterías a tensión de 48V en bornes. A su vez, la eficiencia máxima del MPPT elegido es del 98%.

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

No solo es importante diseñar un sistema óptimo y eficiente, pero es igual de importante respaldarlo con un presupuesto serio y que cuantifique de manera correcta los gastos a tener en cuenta para plantear la solución idónea.

En el primer punto del capítulo se plantea el presupuesto ofertado, con los gastos de material y mano de obra para realizar la inversión.

Una vez planteado el presupuesto en el punto anterior, en el segundo punto se realiza un análisis del mismo, incluyendo un estudio del período del retorno así como otros parámetros importantes a tener en cuenta para la toma de decisiones de inversiones de capital considerable.

6.1. KPIs

A la hora de sintetizar la información acerca de un proyecto, existen variedad de indicadores de desempeño o KPIs (siglas en inglés: Key Performance Indicators). Sirven para medir el éxito de un proyecto, empresa u organización.

Para el trabajo desarrollado, los indicadores de desempeño más destacables y prácticos para el TFG serían entre otros, el VAN y TIR.

El VAN, Valor Actual Neto, es un parámetro vital para un proyecto. Este parámetro permite posicionar la viabilidad económica de un proyecto y se define mediante la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (14)$$

siendo:

n : Duración de la inversión

V_t : Flujo de caja en el periodo t

k : tasa de descuento

I_0 : Inversión inicial

Al realizar el cálculo del Valor Actual neto es posible encontrarse 3 escenarios distintos. Estos son:

- VAN = 0
- VAN > 0
- VAN < 0

Cuando el resultado del cálculo da un valor neutral, como 0, significa que el proyecto no dará rentabilidad ni ganancias, pero tampoco generará pérdidas. Por lo que si se elige llevar a cabo el proyecto o no, depende del inversor ya que la rentabilidad total de la implantación sería nula.

Por otro lado tenemos la situación más favorable, que el valor actual neto sea positivo. Este parámetro nos indica que el proyecto si es rentable y con el tiempo generará ganancias, por lo que es un buen proyecto para invertir.

Sin embargo, cabe la posibilidad que el valor actual neto calculado sea negativo. En este caso, el proyecto es considerado no viable, ya que generará más pérdidas que ganancias.[52]

Cabe destacar, que el valor actual neto es un indicativo económico de la viabilidad financiera de un proyecto. Sin embargo, no todos los proyectos han de medirse únicamente mediante parámetros económicos, esto dependerá del tipo de proyecto. El trabajo desarrollado busca diseñar el sistema de propulsión eléctrica del barco de manera rentable, pero la decisión final del desarrollo de proyecto es del armador y en vela recreativa las ventajas como el confort, maniobrabilidad del buque así como las ventajas medioambientales pueden tener un peso mayor incluso que la rentabilidad económica a la hora de decidir si implementar el proyecto o no.

A continuación, se tiene otro parámetro indicativo de rentabilidad de un proyecto; la tasa interna de retorno, es otro parámetro muy interesante para aplicar a un proyecto. La tasa interna retorno se podría definir como la rentabilidad que sacamos de una inversión o la tasa que hace que el VAN sea cero[53]. Aplicado a este trabajo, sería qué rentabilidad podemos maximizar al invertir en la electrificación de un velero, proyecto que conlleva invertir una cantidad considerable de dinero por adelantado.

Este parámetro está ligado al Valor actual neto y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = 0 \quad (15)$$

siendo:

F_n : Flujo de caja en periodo n

n : Periodo

i : Inversión inicial

A su vez, como con el VAN, los resultados del cálculo de la tasa interna de retorno se deben analizar de la siguiente manera:

- TIR = 0
- TIR > r
- TIR < r

El parámetro r se identifica como el costo de oportunidad, valor que indica los beneficios que no se perciben cuando se elige un tipo de inversión frente a una alternativa. La viabilidad del proyecto y cuando se aconsejaría al inversor que invirtiera en el proyecto sería al calcular una tasa interna de retorno mayor al costo de oportunidad[54]. Indicando que es la mejor opción de inversión.

6.2. Inversión Inicial

En primer lugar, para la realización del presupuesto se han agrupado los gastos en 6 grupos distintos:

- Sistema de propulsión (Motores, hélices, Inversores, Cableado de comunicación, mando de control de velocidad, displays, etc)
- Sistema de baterías (Baterías y Sistema de monitorización de baterías y cables de comunicación entre sistemas)
- Sistema FV (Paneles fotovoltaicos y MPPT)
- Cargadores y accesorios (Cargador/Inversor, Convertidor CC-CC y DC Lynx)
- Cableado (Longitudes de cada conductor necesario del sistema)
- Mano de obra (engloba los costes de varadero y mano de obra en la instalación del sistema)

Una vez agrupados, se resuelve el sumatorio de gastos, ascendiendo a un total de 56.878,27€ de inversión inicial. Para clarificar el peso de cada sistema de gastos sobre la inversión inicial se ha diseñado el siguiente gráfico:

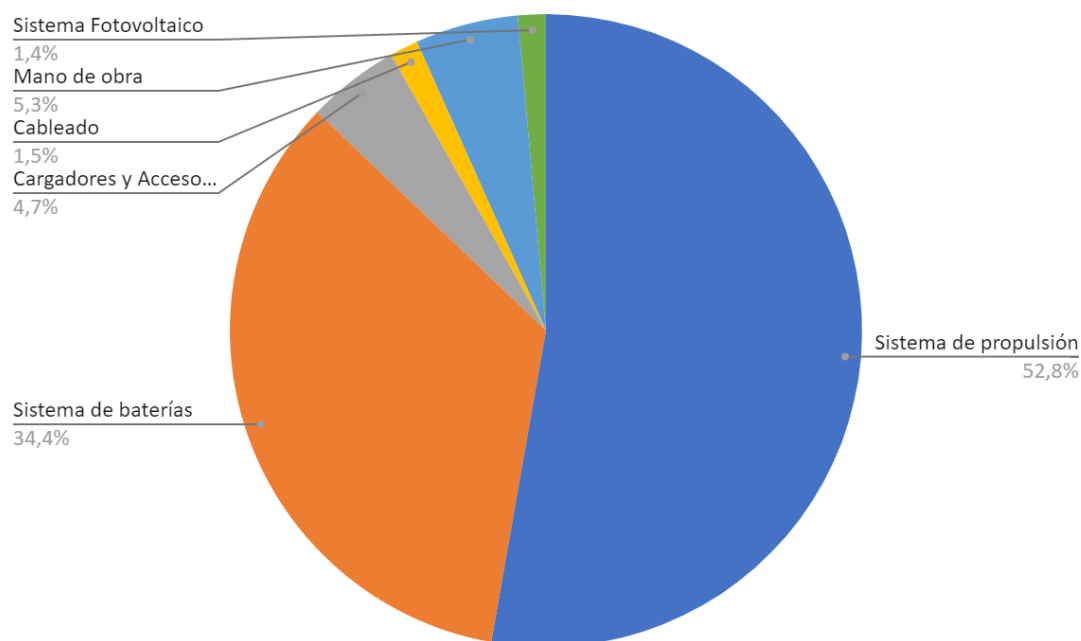


Fig 6.1 - Gráfica circular de gastos porcentuales. Elaboración propia

Como podemos observar, el sistema que más refleja el coste inicial es el sistema de propulsión, el cual representa más de la mitad de la inversión. Seguidamente, tenemos el sistema de baterías que representa un 35% de la inversión, el cual es necesario tener en cuenta ya que las baterías tienen un ciclo de vida y habrá que reemplazarlas cuando se llegue al fin de su vida útil, que según indica el fabricante es cuando a temperatura ambiente (25 grados) la capacidad nominal es del 75% de la inicial.

Las baterías elegidas tienen como vida útil como mínimo 3500 ciclos, teniendo en cuenta el uso de la embarcación se ha estimado en conjunto con el armador que la embarcación navega como mínimo 218 días al año y como hipótesis se ha tomado que se realiza una carga al día por lo que se tienen 250 cargas anuales. De esta manera, dividiendo el número de ciclos por el número de

cargas sale como resultado que habría que cambiar las baterías cada 14 años. Considerando la vida útil de proyecto en 20 años, habría que considerar una segunda inversión en baterías aumentando su tasa en el proyecto hasta el 50%, siendo el sistema que más gastos contribuiría en el cómputo global del proyecto.

6.3. Ahorro económico

Para la realización de este apartado, se han estudiado los distintos ahorros que conlleva la transición a un sistema eléctrico. Principalmente, se tienen 2 grandes ahorros: el combustible y el mantenimiento del motor de combustión.

- **Combustible:** El ahorro del combustible se puede ver desarrollado en el capítulo 8 (Análisis Sostenibilidad). El total anual de diésel ahorrado es de 3600 litros. A esto se tiene que tener en cuenta la situación de crisis energética e inflación vivida; influyendo negativamente en el precio por litro de combustible, situando el precio en 1,6€/litro.

De esta manera el ahorro anual en combustible asciende a 5760€.

- **Mantenimiento:** Para calcular el ahorro del motor, se ha procedido a preguntar al armador, indicándonos que al ser un barco de alquiler, se requiere un mantenimiento y revisión exhaustivo del motor. La suma total de posible ahorro en mantenimiento de motor es de 1000€.

De esta manera el ahorro total anual es de 6760€.

Conocidos los ahorros y gastos, se procede al cálculo de los flujos de caja, necesarios para el cálculo del VAN y TIR. Para ello es necesario establecer una duración vida del proyecto, estableciendo un total de vida de proyecto en 20 años.

AÑO PROYECTO	AÑO	GASTO (€)	AHORRO (€)	FLUJOS DE CAJA (€)	AMORTIZACIÓN (€)
0	2023	56.878,27	0	-56.067,23	-56.878,27
1	2024	0	6.760	+6.760	-50.118,27
2	2025	0	6.760	+6.760	-43.358,27
3	2026	0	6.760	+6.760	-36.598,27
4	2027	0	6.760	+6.760	-29.838,27
5	2028	0	6.760	+6.760	-23.078,27
6	2029	0	6.760	+6.760	-16.318,27
7	2030	0	6.760	+6.760	-9.558,27
8	2031	0	6.760	+6.760	-2.798,27
9	2032	0	6.760	+6.760	+3.961,73
10	2033	0	6.760	+6.760	+10.721,73
11	2034	0	6.760	+6.760	+17.481,73
12	2035	0	6.760	+6.760	+24.241,73
13	2036	0	6.760	+6.760	+31.001,73
14	2037	18.480,00	6.760	-11.720	+19.281,73
15	2038	0	6.760	+6.760	+26.041,73
16	2039	0	6.760	+6.760	+32.801,73
17	2040	0	6.760	+6.760	+39.561,73
18	2041	0	6.760	+6.760	+46.321,73
19	2042	0	6.760	+6.760	+53.081,73
20	2043	0	6.760	+6.760	+59.841,73

Tabla 6.1 - Tabla ahorros y flujos de caja durante la vida útil del trabajo

Con los flujos de caja calculados, se ha procedido a mostrarlo en un gráfico de manera que quede claro visualmente cuando se rentabiliza el proyecto.

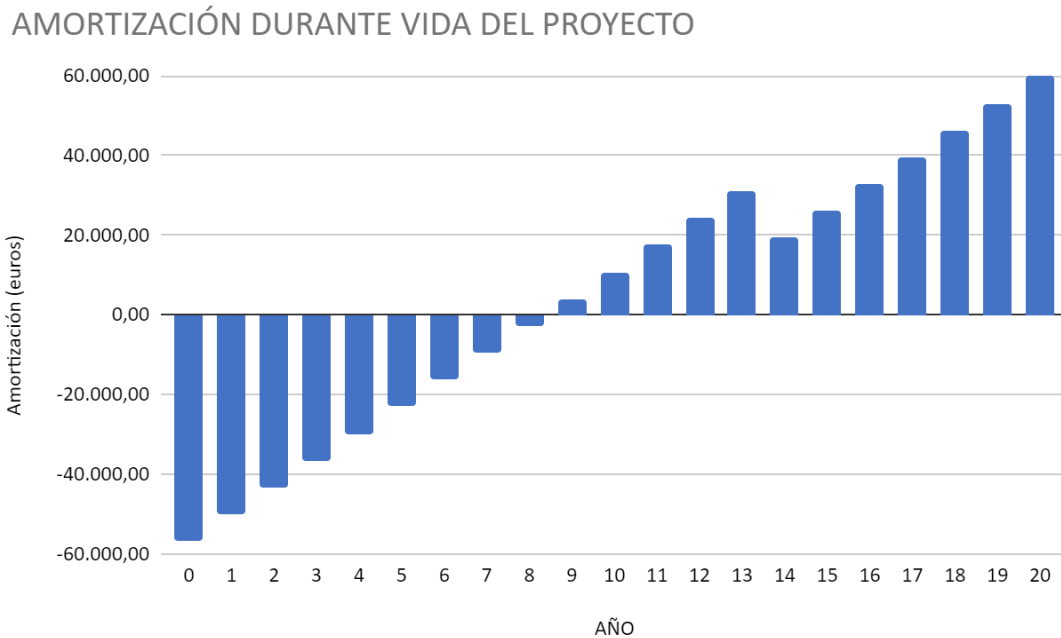


Fig 6.2 - Gráfica Amortización.

Como se puede observar del gráfico, con el ahorro anual tenido en cuenta, la amortización de la inversión inicial se daría al finalizar el octavo año de proyecto. A partir del noveno año el proyecto ya estaría amortizado y se empezarían a considerar ganancias.

Cabe destacar que en el año 14 del proyecto habría que hacer una segunda inversión en baterías por valor de 18.480€, condicionando las ganancias pero sin causar pérdidas. Al finalizar la vida útil tenida en cuenta en el proyecto la rentabilidad quedaría en +60.652€, sin duda una buena rentabilidad.

6.4. Viabilidad del proyecto

Una vez obtenidos los flujos de caja se procede al cálculo del Valor actual neto y la tasa interna de retorno para poder analizar la viabilidad del proyecto.

Para empezar con el análisis de viabilidad, se ha procedido a sacar el Valor actual neto. Para ello es necesario establecer una tasa de descuento, que para este proyecto se ha establecido en 5% siguiendo los valores habituales de un proyecto de viabilidad. Siguiendo el 5% de descuento anual se ha obtenido un VAN de +17.173,92€ por lo que el proyecto se considera rentable.

Siguiendo por la tasa interna de retorno, se ha obtenido para saber cuál sería la tasa que resultase que el valor actual neto fuese cero. Se ha obtenido un TIR del 9%, de manera que al ser la tasa interna de retorno mayor que la tasa de descuento, se cumple las condiciones para que el proyecto se considere rentable y viable.

6.5. Presupuesto

PRESUPUESTO		
Sistema de propulsión	Cantidad	Precio
Sistema de propulsión SD10	1	30.015,00 €
Incluye: Dos motores SD10, hélices, saildrive, Controladores de motor (inversores), conductores trifásicos, displays, conductores de tipo CAN.		30.015,00 €
Sistema de Baterías		19.539,50 €
MG LFP Batería 25,6V/280Ah/7200Wh	4	18.480,00 €
MG Master LV 24-48V/400A	1	1.059,50 €
Sistema Fotovoltaico		811,04 €
Panel FV A-280M GS Atersa	4	504,00 €
MPPT Victron BlueSolar 135/35	1	307,04 €
Cargadores y accesorios		2.685,79 €
Victron MultiPlus II 48/5000	1	1.589,79 €
Orion-Tr 48/12 360W	1	766,00 €
Victron Energy Lynx Distributor	1	330,00 €
Cableado	metros	826,94 €
Ancor 4/0 AWG Battery Cable	2,5	177,13 €
Ancor 1/0 AWG Cable	6	212,52 €
Ancor 8 AWG Cable	1,5	7,40 €
Ancor 10 AWG Cable	5	26,40 €
Ancor 4 AWG Cable	6	73,50 €
Victron Energy Lynx Distributor	1	330,00 €
Mano de obra		3.000,00 €
Varadero		3.000,00 €
TOTAL		56.878,27€

Tabla 6.2 - Presupuesto del trabajo.

7. ANÁLISIS SOSTENIBILIDAD

El análisis energético tiene como objetivo cuantificar la sostenibilidad del proyecto e intentar estimar el ahorro de emisiones al llevar a cabo una transición a un sistema puramente eléctrico desde un sistema de combustión.

La metodología empleada para dicho análisis ha sido sencilla, antes de nada se preguntó al armador cuantas veces al mes se hace una recarga de combustible en el velero, llegando a la conclusión de que se hacen 1 recarga al mes en los meses que no son de temporada (Octubre-Mayo) y 2 recargas al mes en los meses de temporada alta (Junio-Septiembre) de manera que al año se tienen 15 recargas de combustible al año.

Teniendo en cuenta la capacidad del tanque de combustible del velero, 240 litros, anualmente se consumen 3.600 litros de diésel.

Una vez calculado el consumo del sistema de propulsión actual de la embarcación, se ha calculado el equivalente de emisión de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso siendo las emisiones dictadas por el Ministerio de Transición Ecológica. Para calcular las emisiones equivalentes se ha seguido la siguiente ecuación:

$$\text{Equivalente Emisión (kgX/ud)} = k * \text{consumo(litros)} \quad (16)$$

siendo:

k: factor de emisión

Para este apartado se han tomado los factores de emisión del año 2022 ya que aún no han salido los factores de emisión de este año, aunque estos valores durante los últimos años no han variado. Teniendo como factores de emisión 2,747 (dióxido de carbono), 0,259 (metano) y 0,074 (óxido nitroso) para el transporte marítimo se ha efectuado la siguiente tabla[55]:

Gas emitido	Emisiones Equivalentes (kgXe)
Dióxido de carbono	9889,2
Metano	932,4
Óxido nitroso	266,4

Tabla 7.1 - Emisiones anuales de dióxido de carbono equivalentes emitidas por la embarcación.

En conclusión, el ahorro de emisiones anuales al cambiar a un sistema eléctrico, sería de 9 toneladas de dióxido de carbono, 932 kilogramos de metano y 266 kilogramos de óxido nitroso. Cabe destacar que estas cifras son únicamente para una embarcación y ser esta un velero que tiene menor consumo, si se multiplicase por el número de embarcaciones que hay mundialmente de todos los tipos, el ahorro de emisiones posible es muy considerable.

8. CONCLUSIONES

El noveno y último capítulo de lo que conforma la memoria engloba la conclusión del proyecto. En este capítulo se ha querido resumir los aspectos importantes decididos para el proyecto.

En primer lugar, se ha decidido adoptar la solución más sostenible y que se pueda adaptar a las condiciones operativas requeridas por el armador, en este caso se ha elegido la opción de transformar la propulsión del “Nuk” a una propulsión completamente eléctrica. Además, por motivos prácticos (maniobrabilidad y generación de energía) se ha tomado la decisión de implementar un sistema de propulsión a base de dos motores, situados cada uno en los camarotes de popa.

Siguiendo con los componentes necesarios para el sistema. Para que el sistema sea completo y eficiente se ha decidido implantar los siguientes componentes:

- 2x SD10 Oceanvolt (incluye inversores para el motor)
- Baterías MGLFP24 280Ah
- MG Master LV 48V
- Victron MPPT 150-35 & Módulo FV Atersa A-200M GS
- Victron Lynx Power In
- Convertidor CC-CC Orion Tr 48/12-360W
- Cargador/Inversor Victron MultiPlus II

Como último paso se ha realizado un estudio de viabilidad para tener una visión global de la posible rentabilización del sistema, aunque este trabajo no requería únicamente que fuera rentable ya que depende mucho de la decisión del propio armador. Aun así, con una inversión inicial de 56.878,27€ y teniendo en cuenta un gasto en baterías al final de su vida útil (año 14 del proyecto) se ha conseguido una tasa interna de retorno del 9% y un valor actual neto de 17.173,92€, considerando la rentabilidad del sistema muy positiva.

Con la vital importancia del impacto medioambiental hoy en día, y teniendo en cuenta la visibilidad que se le quería dar a la implantación de esta tecnología en el ámbito marítimo recreativo, se hizo un análisis de sostenibilidad del ahorro en emisiones que se conseguiría con este sistema. Los resultados obtenidos decretaron un posible ahorro aproximado de 9 toneladas de dióxido de carbono anual. Con este resultado también se quiere demostrar la posible cantidad de emisiones que podrían reducirse si se adoptase esta medida en un ámbito global solo en la navegación recreativa.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Imia, C. M. (2022, February 22). *Principales Sistemas de Propulsión en Buques*. Centramar. from <https://www.centramar.es/sistemas-de-propulsion-en-buques/>
- [2] Montoya, L. (n.d.). *¿Cómo trabajan las hélices?* RICE PROPULSION. Retrieved April 16, 2023, from <http://www.ricepropulsion.com/TNLS/Como%20trabajan%20las%20helices.htm>
- [3] *Efecto de la hélice en un barco | Academia Náutica Marinos*. (2016, February 17). Marinos.es. Retrieved April 23, 2023, from <https://marinos.es/el-efecto-de-la-helice-en-un-barco/>
- [4] Montoya, L. (n.d.). *Cavitación*. RICE PROPULSION. Retrieved April 28, 2023, from <http://www.ricepropulsion.com/TNLS/Cavitacion.htm>
- [5] Prieto, Á. (2020, January 3). *Motores de combustión (Diésel, Gasolina) vs Eléctricos*. Autonocion.com. <https://www.autonocion.com/motores-combustion-diesel-gasolina-vs-electricos-par/>
- [6] Rodríguez, B. (2011, November 2). *Motor eléctrico versus motor de combustión: par, potencia y eficiencia | forocohelectricos*. Forocohelectricos, from <https://forocohelectricos.com/2011/11/motor-electrico-versus-motor-de.html>
- [7] *Barcos electricos, ¿Que autonomia tienen? ¿Que parque de baterías necesito?* (n.d.). Fondear. http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Los_Barcos/Barcos-Elctricos/Barco-elctrico.asp
- [8] Oliveira, J. A. (2022, April 2). *Candela C-8, la revolución eléctrica de la náutica de recreo*. VA DE BARCOS. <https://vadebarcos.net/2022/04/02/candela-c-8-la-revolucion-electrica-de-la-nautica-de-recreo/>
- [9] *BARCOS DE PASAJEROS CON PROPULSION EXCLUSIVAMENTE SOLAR*. (n.d.). seacleaner. Retrieved May 2, 2023, from <https://www.seacleaner.com/solemar/index.htm>

- [10] *Innovative ship propulsion design - Evolution*. (2017, February 9). SKF Evolution. Retrieved May 3, 2023, from <https://evolution.skf.com/innovative-ship-propulsion-design/>
- [11] Garay, E. (2023, April 13). You're About to See Electric Ferries Everywhere—Here's What to Know. *Traveler*.
https://www.cntraveler.com/story/electric-ferries?trk=feed_main-feed-card_feed-article-content
- [12] Cerny, P. (2021, July 7). "All aboard!" E-Ferry Ellen and the future of electric shipping | Heinrich Böll Stiftung | Brussels office - European Union. Heinrich-Böll-Stiftung European Union. from
<https://eu.boell.org/en/2021/07/07/all-aboard-e-ferry-ellen-and-future-electric-shipping>
- [13] *Air-independent propulsion*. (n.d.). Wikipedia. Retrieved May 5, 2023, from https://en.wikipedia.org/wiki/Air-independent_propulsion
- [14] *El Submarino Español diseñado por Isaac Peral cumple 130 años*. (2023, May 9). ABC. https://www.abc.es/cultura/abci-submarino-espanol-disenado-isaac-peral-cumple-130-aos-201809071016_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F
- [15] *Electric Propulsion Systems for Monohull*. (n.d.). Oceanvolt. Retrieved May 2, 2023, from <https://oceanvolt.com/solutions/private/monohull/>
- [16] Ramírez Bravo, A. (2020, Noviembre). "Estado del Arte" para una propulsión totalmente eléctrica. RGM Noviembre 2020. Retrieved May 2, 2023, from <https://armada.defensa.gob.es/archivo/rgm/2020/11/rgmnov2020Cap6.pdf>
- [17] Nannini, M. (2021, September 27). *Gestión de baterías y energía a bordo de un velero*. Global Solo Challenge. from <https://globalsolochallenge.com/es/bateria-energia-velero-es/>
- [18] *BATERÍAS PLOMO-ÁCIDO Abiertas*. (n.d.). Generatuluz. Retrieved June 16, 2023, from <https://www.generatuluz.com/tu-propia-instalacion-aislada/tipos-de-baterias-y-sus-caracteristicas/baterias-plomo-acido/>

- [19] *Ventajas del LiFePO4 frente al litio-ion tradicional.* (2021, July 16). NextCity Labs. from <https://nextcitylabs.com/global/es/ventajas-del-litio-ferroso-lifepo4-frente-al-litio-ion-tradicional/>
- [20] García, D. (2022, March 10). *Qué son las baterías LFP: ventajas, inconvenientes y aplicaciones en la automoción.* Motorpasión. <https://www.motorpasion.com/revision/que-baterias-lfp-ventajas-inconvenientes-aplicaciones-automocion>
- [21] Maseras, J. (2021, July 7). *Instalación eléctrica del barco: ¿12 o 24 voltios?* boats.com. <https://es.boats.com/consejos/instalacion-electrica-del-barco-12-o-24-voltios/>
- [22] *Electric Boats.* (2023, May 9). ETHW. Retrieved May 15, 2023, from https://ethw.org/Electric_Boats?mwg_rnd=2110571
- [23] *Barco eléctrico.* (2023, May 9). Hisour. Retrieved June 16, 2023, from https://www.hisour.com/es/electric-boat-39897/?mwg_rnd=7283227
- [24] *Electric boating History.* (n.d.). Electric boat association of Australia. <https://web.archive.org/web/20110428041143/http://www.electricboats.org.au/electric-boating/history-of-electric-boating/>
- [25] *Dufour 410 Amorfoli.* (2023, May 9). Valencia Yachting Center. Retrieved May 16, 2023, from <https://valenciayachtingcenter.es/alquiler-de-barcos/doufour-410-grand-large-valencia-amorfoli>
- [26] *Un J/120 remotorizado eléctricamente con Ocean Volt – Panorama Náutico.* (2021, December 10). Panorama Náutico. Retrieved May 16, 2023, from <https://www.panoramanautico.com/video-testimonial-un-j-120-remotorizado-electricamente-con-ocean-volt/>
- [27] *Oceanvolt electric demonstrator SV Nazca.* (2022, August 1). Sail Electric. Retrieved May 5, 2023, from <https://sailelectric.com/thousands-of-miles-sailed-on-electric-zero-diesel/>

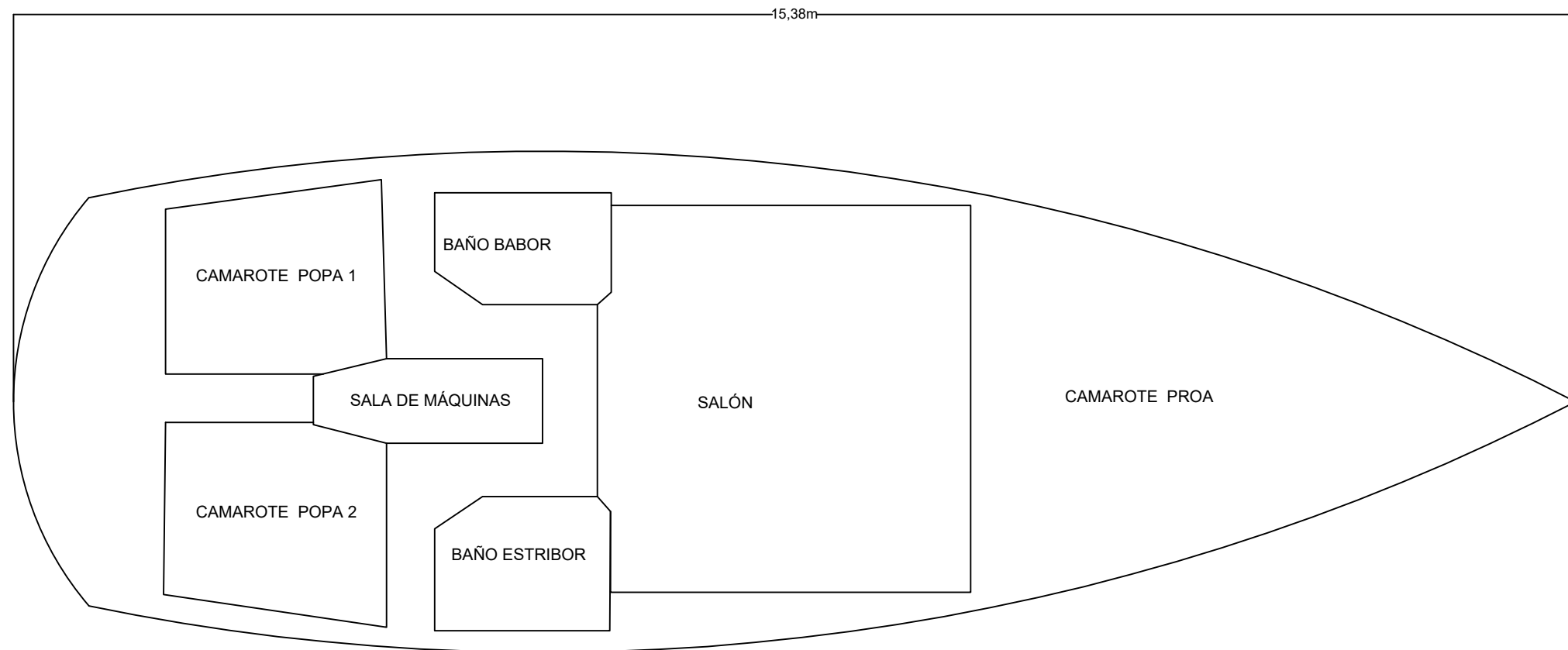
- [28] *Sail electric, live electric.* (2021, August 24). Sail Electric. Retrieved April 28, 2023, from <https://sailelectric.com/sail-electric-live-electric/>
- [29] *Los barcos eléctricos, un paso más en la transición energética.* (2022, December 22). Endesa. Retrieved April 28, 2023, from <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/movilidad-sostenible/barcos-electricos-solucion-de-scarbonizacion>
- [30] *IMO's work to cut GHG emissions from ships.* (n.d.). International Maritime Organization. Retrieved April 28, 2023, from <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>
- [31] *Electric Ship Market Size Growth Drivers & Share | Industry Report, 2030.* (n.d.). MarketsandMarkets. Retrieved April 28, 2023, from <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/electric-ships-market-167955093.html>
- [32] Briand, P. (n.d.). *Sun Odyssey 509 | Sailboat 15.38m.* Jeanneau. Retrieved April 28, 2023, from <https://www.jeanneau.es/boats/sailboat/2-sun-odyssey/529-sun-odyssey-509>
- [33] *Partes de un velero | Nomenclatura náutica y partes de un barco.* (n.d.). Náutica Formación. Retrieved April 28, 2023, from <https://nauticaformacion.es/cuales-son-las-partes-de-velero-tipos-de-velas-nomenclatura-nautica/>
- [34] *4JH4-TE.* (n.d.). YANMAR. Retrieved May 12, 2023, from https://www.yanmar.com/marine/wp-content/uploads/2021/02/DS_4JH4-TE_A4_052022_HR.pdf
- [35] *Range of Electric Hybrid propulsion.* (n.d.). Oceanvolt. Retrieved April 28, 2023, from <https://oceanvolt.com/support/downloads/>
- [36] *Lista 6: ventajas e inconvenientes | Gestoría Náutica Marinos.* (2021, November 8). Marinos.es. Retrieved May 20, 2023, from <https://marinos.es/matricular-un-barco-en-la-lista-6/>

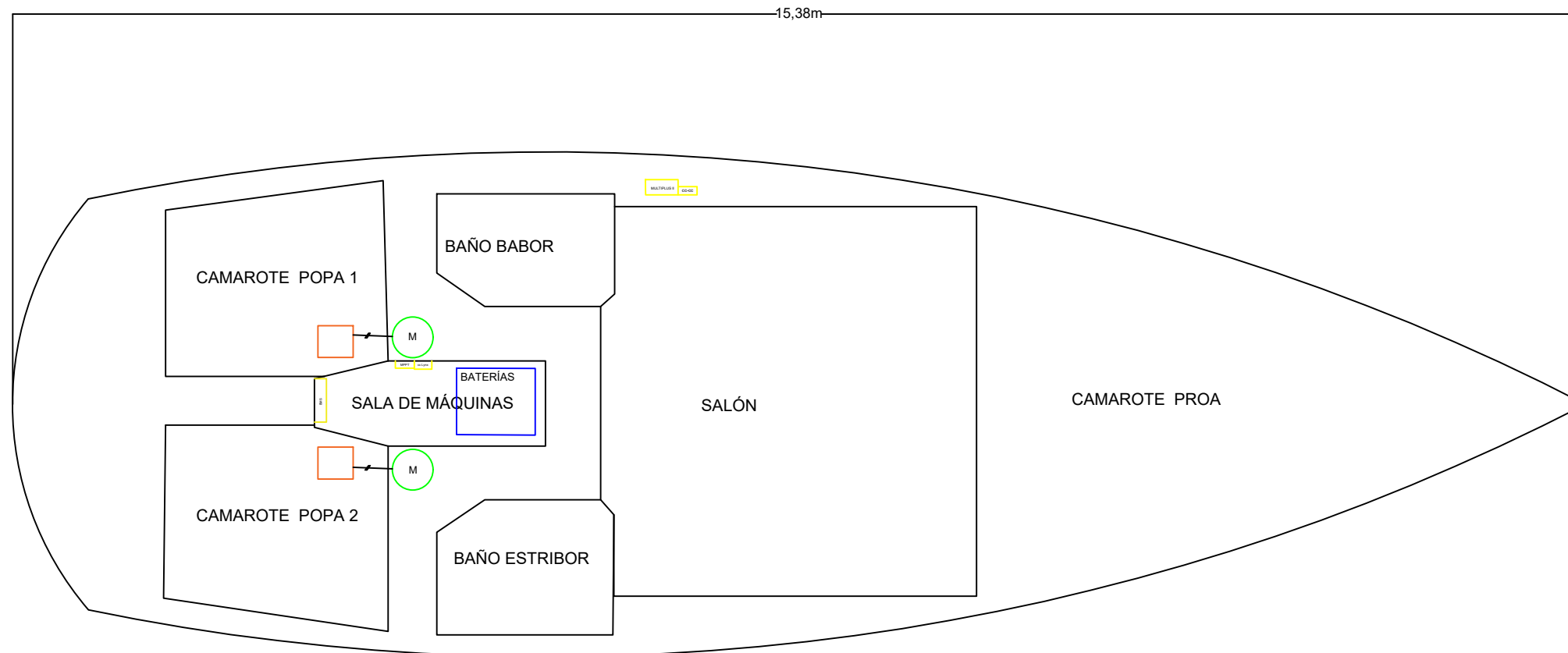
- [37] *Yamaha Helm Master; control total*. (2014). Fondear. Retrieved May 25, 2023, from http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Motores_Helices/Yamaha-Helm_Master/Yamaha-Joystick.asp
- [38] Can two motors be better than one. (n.d.). *Oceanvolt*. <https://oceanvolt.com/support/downloads/>
- [39] *Sail drive*. (n.d.). Oceanvolt. Retrieved April 20, 2023, from <https://oceanvolt.com/solutions/systems/sail-drive/>
- [40] *Motor Control Permanent Magnet Sync Motor (PMSM)*. (n.d.). Farnell.From, <https://es.farnell.com/motor-control-permanent-magnet-sync-motor-pmsm-technology?!CID=I-CT-TP-BROWSE-4>
- [41] *Identificación de parámetros de motores PMSM*. (n.d.). HIOKI EUROPE GmbH.From, https://motor-measurement-hioki.com/es/Motor_sincrono_inductancia_motor_parametros_motor.php
- [42] La tecnología de los motores de imanes permanentes. (2014, November 18). *PUBLICACIONES DYNA*. <https://www.dynapubli.com/noticias-PD/la-tecnologia-de-motores-de-imanes-permanentes>
- [43] Tirado, S. R. (n.d.). *Maquinas Sincrónicas*. Monografias.com. Retrieved May 25, 2023, from <https://www.monografias.com/trabajos93/maquinas-sincronicas/maquinas-sincronicas>
- [44] La escala Beaufort, compañera de viaje de los vientos marinos. (2017, February 8). *Nautical News Today*. <https://www.nauticalnewstoday.com/la-escala-beaufort-companera-viaje-los-vientos-marineros/>
- [45] Hydrogeneration. (n.d.). *Oceanvolt*. <https://oceanvolt.com/support/downloads/> (

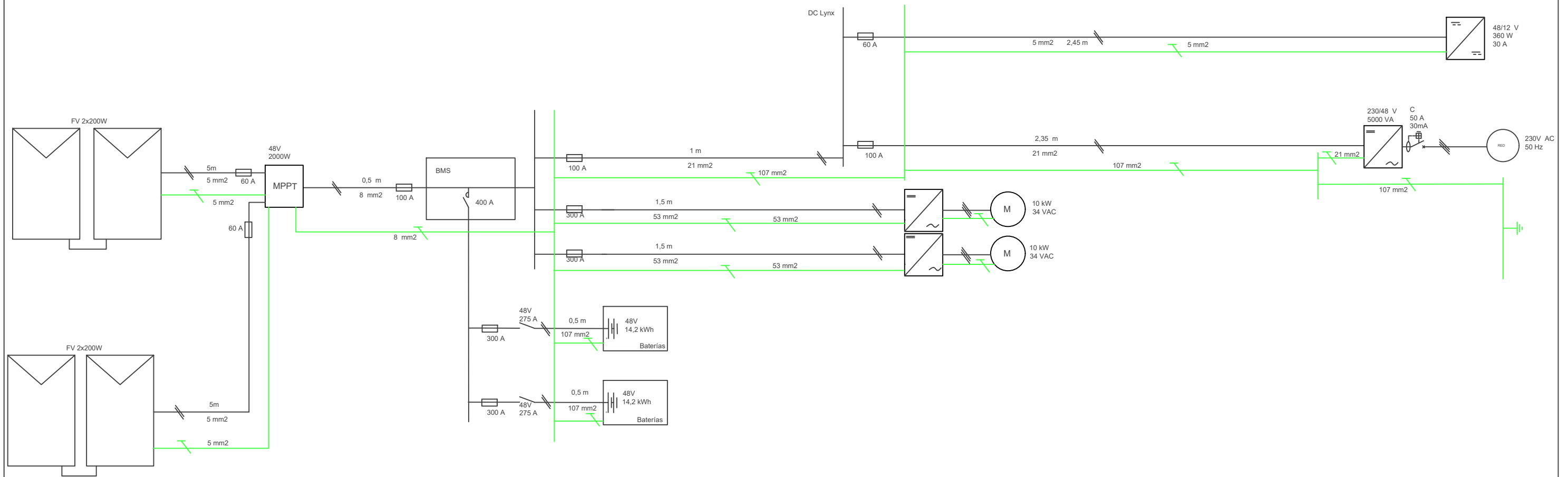
- [46] *trimar Significado | Diccionario náutico.* (n.d.). Cenáutica. Retrieved June 16, 2023, from <https://www.cenautica.com/es/trimar/diccionario-nautico/1538>
- [47] *¿Qué es la energía solar? Tipos y principales ventajas.* (n.d.). Repsol. Retrieved May 25, 2023, from <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/transicion-energetica/energia-solar/index.cshtml>
- [48] *¿Qué beneficios tiene la energía solar? | ACCIONA | Business as unusual.* (n.d.). Acciona. Retrieved May 16, 2023, from <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/>
- [49] *PVGIS Online Tool.* (n.d.). EU Science Hub. Retrieved June 16, 2023, from https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool_en
- [50] *Grado de protección IP.* (n.d.). Wikipedia. Retrieved June 16, 2023, from https://es.wikipedia.org/wiki/Grado_de_protecci%C3%B3n_IP
- [51] *Qué es un regulador MPPT - Blog de energía solar.* (n.d.). SolarPlak. Retrieved May 28, 2023, from <https://solarplak.es/energia/que-es-un-regulador-mppt/>
- [52] Ramírez, P. (2022, September 26). *Van y TIR: Concepto, diferencias y cómo calcularlos.* Economía 3. from <https://economia3.com/van-tir-concepto-diferencias-como-calcularlos/>
- [53] *Tasa interna de retorno (TIR) ¿Qué es?* (n.d.). Software DELSOL. Retrieved May 17, 2023, from <https://www.sdelosol.com/glosario/tasa-interna-de-retorno-tir/>
- [54] *Costo de oportunidad: ¿cómo valorarlo en los viajes de negocios?* (2022, July 12). SAP Concur. from <https://www.concur.com.mx/blog/article/costo-de-oportunidad-mx>
- [55] *INFORMACIÓN COMPLETA PARA LA TOMA DE DECISIONES SOBRE LA SECCIÓN DE PROYECTOS DE ABSORCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO Y LA SECCI.* (n.d.). Ministerio de Transición Ecológica.from

https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores-emision_tcm30-479095.pdf

10. Planos







11. Anexos

11.1. Fotos Actuales del Velero



Proa y cubierta del "Nuk".



Vista de popa y babor del "Nuk".

11.2. Fichas Técnicas

En este capítulo se muestran las fichas técnicas de los componentes empleados para el desarrollo del proyecto:

Inversor/cargador MultiPlus-II

230 V

[Página del producto en línea](#)

<https://ve3.nl/6H>



Un MultiPlus, con funcionalidad ESS (Sistema de almacenamiento de energía)

El MultiPlus-II es un inversor/cargador multifuncional con todas las funciones del MultiPlus, más un sensor de corriente externa opcional que amplía las funciones PowerControl y PowerAssist hasta 50 A y 100 A respectivamente. El MultiPlus-II es ideal para su uso profesional en el ámbito marino, navegación de recreo, vehículos y aplicaciones terrestres no conectadas a la red. También dispone de una funcionalidad antiisla incorporada y homologaciones en cada vez países para su uso como ESS. Existen varias configuraciones del sistema posibles. Podrá encontrar información más detallada en el Manual de diseño y configuración de sistemas ESS.

PowerControl y PowerAssist – aumento de la capacidad de la red o de un generador

Se puede establecer una corriente máxima del generador o de la red. El MultiPlus-II tendrá en cuenta las demás cargas de CA y utilizará la corriente sobrante para cargar la batería, evitando así sobrecargar el generador o la red (función PowerControl). PowerAssist lleva el principio de PowerControl a otra dimensión. Cuando se requiera un pico de potencia durante un corto espacio de tiempo, como pasa a menudo, el MultiPlus-II compensará la falta de potencia del generador, de la toma de puerto o de la red con energía de la batería. Cuando se reduce la carga, la potencia sobrante se utiliza para recargar la batería.

Energía solar: Energía CA disponible incluso durante un apagón

El MultiPlus II puede utilizarse en sistemas fotovoltaicos, conectados a la red eléctrica o no, y en otros sistemas de energía alternativos. Es compatible tanto con controladores de carga solar como con inversores conectados a la red.

Dos salidas CA

La salida principal dispone de la función “no-break” (sin interrupción). El MultiPlus II se encarga del suministro a las cargas conectadas en caso de apagón o de desconexión de la toma de puerto/generador. Esto ocurre tan rápidamente (menos de 20 milisegundos) que los ordenadores y demás equipos electrónicos continúan funcionando sin interrupción. La segunda salida sólo está activa cuando la entrada del MultiPlus II tiene alimentación CA. A esta salida se pueden conectar aparatos que no deberían descargar la batería, como un calentador de agua, por ejemplo.

Potencia prácticamente ilimitada gracias al funcionamiento en paralelo (no para los modelos de 8k, 10k y 15k) y trifásico.

Hasta 6 Multis pueden funcionar en paralelo para alcanzar una mayor potencia de salida. Seis unidades 48/5000/70, por ejemplo, darán una potencia de salida de 25 kW/30 kVA y una capacidad de carga de 420 amperios. Además de la conexión en paralelo, se pueden configurar tres unidades del mismo modelo para una salida trifásica. Pero eso no es todo: se pueden conectar en paralelo hasta 6 juegos de tres unidades que proporcionarán una capacidad de inversor de 75 kW / 90 kVA y más de 1200 amperios de capacidad de carga.

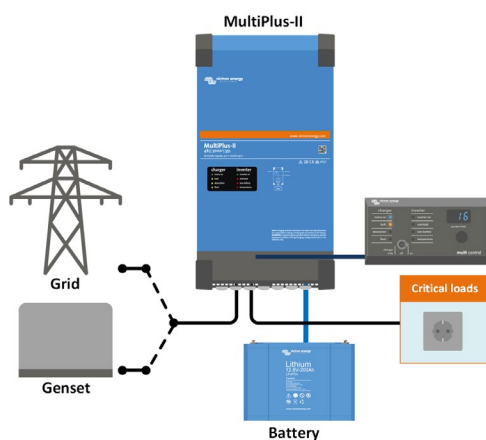
Configuración, seguimiento y control del sistema in situ

La configuración puede cambiarse en cuestión de minutos con el software VEConfigure (se necesita un ordenador o un portátil y una interfaz MK3-USB).

Hay varias opciones de seguimiento y control disponibles: Color Control GX, Venus GX, Octo GX, CANvu GX, portátil, ordenador, bluetooth (con la mochila opcional VE.Bus Smart), monitor de baterías, panel Digital Multi Control.

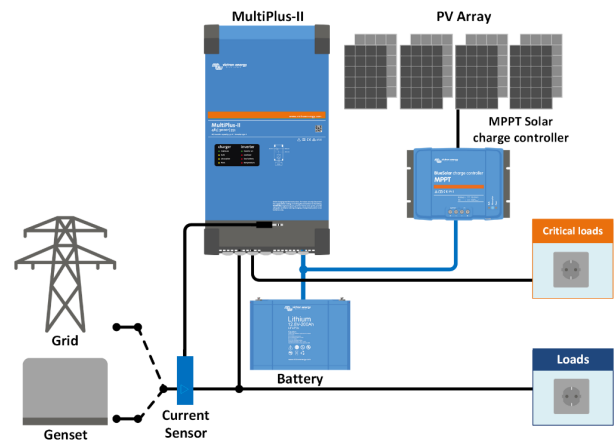
Configuración y seguimiento remotos

Instale un Color Control GX u otro producto GX para conectarse a Internet. Los datos de funcionamiento se pueden almacenar y mostrar gratuitamente en la web VRM (Victron Remote Management). Una vez conectado a Internet, se puede acceder a los sistemas de forma remota y se puede cambiar la configuración.



Aplicación estándar marina, móvil o no conectada a la red

Las cargas que deberían apagarse cuando no hay energía en la entrada de CA pueden conectarse a una segunda salida (no se muestra en la imagen). La función PowerControl y PowerAssist tendrá en cuenta estas cargas para limitar la entrada de CA a un valor seguro.



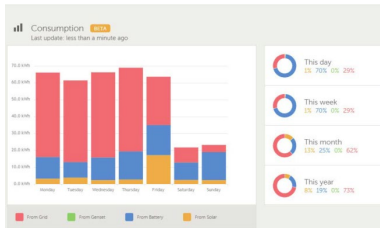
Topología paralela a la red con controlador de carga solar MPPT

El MultiPlus-II utilizará los datos del sensor de CA externa (pedir por separado) o del medidor de energía para optimizar el autoconsumo y, si lo desea, evitar la devolución a la red del excedente de energía solar. En caso de un corte del suministro eléctrico, el MultiPlus-II seguirá alimentando las cargas críticas.



GX Touch y Cerbo GX

Facilita un control y un seguimiento intuitivos del sistema. Además del control y seguimiento del sistema, el Cerbo GX permite acceder a nuestra web de seguimiento remoto gratuita: el portal en línea VRM.



Portal VRM

Nuestra web gratuita de seguimiento remoto (VRM) mostrará todos los datos de su sistema en un completo formato gráfico. Los ajustes del sistema pueden modificarse a distancia a través del portal. Se pueden recibir alarmas por email.



App VRM

Controle y gestione su sistema Victron Energy desde su *smartphone* o tableta. Disponible tanto para iOS como para Android.



Mochila VE.Bus Smart

Mide la tensión y temperatura de la batería y permite el seguimiento y control mediante *smartphone* u otro dispositivo bluetooth.



Área de conexión



Sensor de corriente de 100 A:50 mA

Para implementar PowerControl y PowerAssist y optimizar el autoconsumo con sensor de corriente externo. Corriente máxima: 50 A y 100 A resp. Longitud del cable de conexión 1 m



Panel Digital Multi Control

Una solución práctica y de bajo coste para el seguimiento remoto, con un selector giratorio con el que se pueden configurar los niveles de PowerControl y PowerAssist.

MultiPlus-II 230V	12/3000/120-32 24/3000/70-32 48/3000/35-32	24/5000/120-50 48/5000/70-50	48/8000/ 110-100	48/10000/ 140-100	48/15000/ 200-100
PowerControl y PowerAssist	Sí				
Conmutador de transferencia	32 A	50 A	100 A	100 A	100 A
Corriente máxima de entrada CA	32 A	50 A	100 A	100 A	100 A
INVERSOR					
Rango de tensión de entrada CC	12V - 9,5-17 V		24V - 19-33V	48V - 38-66 V	
Salida	Tensión de salida: 230 V CA ± 2 % Frecuencia: 50 Hz ± 0,1 % (1)				
Potencia cont. de salida a 25 °C (3)	3000 VA	5000 VA	8000 VA	10000 VA	15000 VA
Potencia cont. de salida a 25°C	2400 W	4000 W	6400 W	8000 W	12000 W
Potencia cont. de salida a 40 °C	2200 W	3700 W	5500 W	7000 W	10000 W
Potencia cont. de salida a 65 °C	1700 W	3000 W	4000 W	6000 W	7000 W
Balance neto máximo aparente (corriente retornada a la red)	3000 VA	5000 VA	8000 VA	10000 VA	15000 VA
Pico de potencia	5500 W	9000 W	15000 W	18000 W	27000 W
Eficacia máxima	93%/94%/95%	96%	95%	96%	95%
Consumo en vacío	13 / 13 / 11 W	18 W	29 W	38 W	55 W
Consumo en vacío en modo AES	9 / 9 / 7 W	12 W	19 W	27 W	39 W
Consumo en vacío en modo búsqueda	3 / 3 / 2 W	2 W	3 W	4 W	6 W
CARGADOR					
Entrada de CA	Rango de tensión de entrada: 187-265 V CA Frecuencia de entrada: 45 - 65 Hz				
Tensión de carga de "absorción"	14,4 / 28,8 / 57,6 V				
Tensión de carga de "flotación"	13,8 / 27,6 / 55,2 V				
Modo de almacenamiento	13,2 / 26,4 / 52,8 V				
Máxima corriente de carga de la batería (4)	120 / 70 / 35 A	120 / 70 A	110 A	140 A	200 A
Sensor de temperatura de la batería	Sí				
GENERAL					
Salida auxiliar	Sí (32 A)		Sí (50 A)		
Sensor de CA externa (opcional)	50 A		100 A		
Relé programable (5)	Sí				
Protección (2)	a - g				
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo (no para los modelos de 8k, 10k y 15k) y trifásico, control remoto e integración del sistema				
Puerto de comunicaciones de uso general	Sí, 2 puertos				
On/Off remoto	Sí				
Temperatura de trabajo	-40 a +65 °C (refrigerado por ventilador)				
Humedad (sin condensación)	máx. 95 %				
CARCASA					
Material y color	acero, azul RAL 5012				
Grado de protección	IP22				
Conexión de la batería	Pernos M8		Cuatro pernos M8 (2 conexiones positivas y 2 negativas)		
Conexión 230 V CA	Bornes de tornillo de 13 mm ² (6 AWG)		Pernos M6	Pernos M6	Pernos M6
Peso	19 kg	30 kg	42 kg	49 kg	80 kg
Dimensiones (al x an x p)	546 x 275 x 147	607 x 330 x 149	642 x 363 x 206	677 x 363 x 206	810 x 405 x 217
	499 x 268 x 141	565 x 320 x 149			
	499 x 268 x 141				
NORMAS					
Seguridad	EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, EN-IEC 62109-1, EN-IEC 62109-2				
Emisiones, Inmunidad	EN 55014-1, EN 55014-2 EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3 IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3				
Sistema de alimentación ininterrumpida	Puede consultar los certificados en nuestro sitio web				
Antiisla	Puede consultar los certificados en nuestro sitio web				
1) Puede ajustarse a 60 Hz	3) Carga no lineal, factor de cresta 3:1				
2) Claves de protección:	4) Hasta 25 °C de temperatura ambiente				
a) cortocircuito de salida	5) Relé programable que puede configurarse para las funciones de alarma general, subtensión CC o señal de arranque para el generador. Capacidad nominal CA: 230 V/4 A, Capacidad nominal CC: 4 A hasta 35 VCC y 1 A hasta 60 VCC				
b) sobrecarga					
c) tensión de la batería demasiado alta					
d) tensión de la batería demasiado baja					
e) temperatura demasiado alta					
f) 230 VCA en la salida del inversor					
g) ondulación de la tensión de entrada demasiado alta					

Convertidor CC/CC Orion aislado

www.victronenergy.com

100 / 250 / 400 Vatios



Orion-Tr 24/12-20 (240 W)



Orion-Tr 24/12-20 (240 W)

Terminal on/off remoto

El terminal on/off remoto elimina la necesidad de montar un interruptor de alta potencia en el cableado de entrada. El interruptor on/off remoto puede accionarse mediante un interruptor de baja potencia o, por ejemplo, con el interruptor de arranque/parada del motor (véase el manual).

Todos los modelos son a prueba de cortocircuitos y pueden conectarse en paralelo para incrementar la corriente de salida.

Pueden conectarse un número ilimitado de unidades en paralelo.

Protección contra altas temperaturas

La corriente de salida se reducirá en caso de temperatura ambiente elevada.

Protección IP43

Si se instala con los bornes de tornillo orientados hacia abajo.

Bornes de tornillo

No se necesitan herramientas especiales para su instalación

Fusible de entrada (no reemplazable)

Solo en modelos con entrada de 12 y 24 V.

Tensión de salida ajustable

No diseñado para cargar baterías.

Considere usar un Orion-Tr Smart para cargar la batería.

Convertidores aislados 110 – 120 W	Orion-Tr 12/12-9 (110 W)	Orion-Tr 12/24-5 (120 W)	Orion-Tr 24/12-9 (110 W)	Orion-Tr 24/24-5 (120 W)	Orion-Tr 24/48-2,5 (120 W)	Orion-Tr 48/12-9 (110 W)	Orion-Tr 48/24-5 (120 W)	Orion-Tr 48/48-2,5 (120 W)
Rango de tensión de entrada (1)	8-17 V	8-17 V	16-35 V	16-35 V	16-35 V	32-70 V	32-70 V	32-70 V
Subtensión de desconexión	7 V	7 V	14 V	14 V	14 V	28 V	28 V	28 V
Reinicio de subtensión	7,5 V	7,5 V	15 V	15 V	15 V	30 V	30 V	30 V
Tensión nominal de salida	12,2 V	24,2 V	12,2 V	24,2 V	48,2 V	12,2 V	24,2 V	48,2 V
Rango de ajuste de la tensión de salida	10-15 V	20-30 V	10-15 V	20-30 V	40-60 V	10-15 V	20-30 V	40-60 V
Tolerancia de la tensión de salida	+/- 0,2 V							
Nivel de ruido	2 mV rms							
Corriente de salida cont. a tensión nominal de salida y 25 °C	9 A	5 A	9 A	5 A	2,5 A	9 A	5 A	2,5 A
Corriente máxima de salida (10 s) a tensión nominal de salida	12,5 A	6,3 A	12,5 A	6,3 A	3,0 A	12,5 A	6,3 A	3,0 A
Corriente de cortocircuito	32 A	23 A	39 A	30 A	19 A	27 A	25 A	17 A
Potencia cont. de salida a 25 °C	110 W	120 W	110 W	120 W	120 W	110 W	120 W	120 W
Potencia cont. de salida a 40 °C	85 W	110 W	85 W	115 W	115 W	85 W	100 W	85 W
Eficiencia	87 %	88 %	85 %	87 %	88 %	87 %	86 %	89 %
Corriente de entrada sin carga (2)	< 50 mA	< 80 mA	< 40 mA	< 60 mA	< 120 mA	< 50 mA	< 60 mA	< 80 mA
Consumo de corriente	< 200uA cuando se desactiva mediante el puerto remoto							
Aislamiento galvánico	200 V entre entrada, salida y carcasa							
Rango de temperatura de trabajo	-20 a +55 °C (reducción de potencia del 3 % por cada °C sobre 40 °C)							
Humedad	Máx. 95 % sin condensación							
Conexión CC	Bornes de tornillo							
Sección de cable máxima:	6 mm ² AWG10							
Peso	0,42 kg 1 lb.							
Dimensiones (al x an x p)	100 x 113 x 47 mm (4,0 x 4,5 x 1,3 pulgadas)							
Normativa: Seguridad Emisiones Inmunidad Directiva Automoción	EN 60950 EN 61000-6-3, EN 55014-1 EN 61000-6-2, EN 61000-6-1, EN 55014-2 ECE R10-5							
1)	Si la tensión de salida se establece a su valor nominal o inferior al nominal, permanecerá estable dentro del rango de tensión de entrada especificado (función Buck-Boost). Si la tensión de salida es superior a la tensión nominal según un cierto porcentaje, la tensión de entrada mínima a la que la tensión de salida permanece estable (no disminuye) se incrementa en ese mismo porcentaje							
2)	Consumo de corriente cuándo el Orion-TR está generando tensión pero no se le aplica ninguna carga.							

Vea la página dos para modelos de 250 W y 400 W

Convertidores aislados 220 - 280 Watt	Orion-Tr 12/12-18 (220 W)	Orion-Tr 12/24-10 (240 W)	Orion-Tr 24/12-20 (240 W)	Orion-Tr 24/24-12 (280 W)	Orion-Tr 24/48-6 (280 W)	Orion-Tr 48/12-20 (240 W)	Orion-Tr 48/24-12 (280 W)	Orion-Tr 48/48-6 (280 W)
Rango de tensión de entrada (1)	8-17 V	8-17 V	16-35 V	16-35 V	16-35 V	32-70 V	32-70 V	32-70 V
Subtensión de desconexión	7 V	7 V	14 V	14 V	14 V	28 V	28 V	28 V
Reinicio de subtensión	7,5 V	7,5 V	15 V	15 V	15 V	30 V	30 V	30 V
Tensión nominal de salida	12,2 V	24,2 V	12,2 V	24,2 V	48,2 V	12,2 V	24,2 V	48,2 V
Rango de ajuste de la tensión de salida	10-15 V	20-30 V	10-15 V	20-30 V	40-60 V	10-15 V	20-30 V	40-60 V
Tolerancia de la tensión de salida	+/- 0,2 V							
Nivel de ruido	2 mV rms							
Corriente de salida cont. a tensión nominal de salida y 40 °C	18 A	10 A	20 A	12 A	6 A	20 A	12 A	6 A
Corriente máxima de salida (10 s) a tensión nominal de salida	25 A	15 A	25 A	15 A	8 A	25 A	15 A	8 A
Corriente de cortocircuito	40 A	25 A	50 A	30 A	25 A	50 A	30 A	25 A
Potencia cont. de salida a 25 °C	280 W	280 W	300 W	320 W	320 W	280 W	320 W	320 W
Potencia cont. de salida a 40 °C	220 W	240 W	240 W	280 W	280 W	240 W	280 W	280 W
Eficiencia	87 %	88 %	88 %	89 %	89 %	87 %	89 %	89 %
Corriente de entrada sin carga (2)	< 80 mA	< 100 mA	< 100 mA	< 80 mA	< 120 mA	< 80 mA	< 80 mA	< 80 mA
Consumo de corriente	< 200uA cuando se desactiva mediante el puerto remoto							
Aislamiento galvánico	200 V entre entrada, salida y carcasa							
Rango de temperatura de trabajo	-20 a +55 °C (reducción de potencia del 3 % por cada °C sobre 40 °C)							
Humedad	Máx. 95 % sin condensación							
Conexión CC	Bornes de tornillo							
Sección de cable máxima	16 mm ² AWG6							
Peso	1,3 kg (3 lb)							
Dimensiones (al x an x p)	130 x 186 x 70 mm (5,1 x 7,3 x 2,8 pulgadas) 4,0 x 4,5 x 1,9							
Normativa: Seguridad Emisiones Inmunidad Directiva automoción	EN 60950 EN 61000-6-3, EN 55014-1 EN 61000-6-2, EN 61000-6-1, EN 55014-2 ECE R10-5							

Convertidores aislados 360 - 400 Watt	Orion-Tr 12/12-30 (360 W)	Orion-Tr 12/24-15 (360 W)	Orion-Tr 24/12-30 (360 W)	Orion-Tr 24/24-17 (400 W)	Orion-Tr 24/48-8,5 (400 W)	Orion-Tr 48/12-30 (360 W)	Orion-Tr 48/24-16 (380 W)	Orion-Tr 48/48-8 (380 W)
Rango de tensión de entrada (1)	10-17 V	10-17 V	20-35 V	20-35 V	20-35 V	40-70 V	40-70 V	40-70 V
Subtensión de desconexión	7 V	7 V	14 V	14 V	14 V	28 V	28 V	28 V
Reinicio de subtensión	7,5 V	7,5 V	15 V	15 V	15 V	30 V	30 V	30 V
Tensión nominal de salida	12,2 V	24,2 V	12,2 V	24,2 V	48,2 V	12,2 V	24,2 V	48,2 V
Rango de ajuste de la tensión de salida	10-15 V	20-30 V	10-15 V	20-30 V	40-60 V	10-15 V	20-30 V	40-60 V
Tolerancia de la tensión de salida	+/- 0,2 V							
Nivel de ruido	2 mV rms							
Corriente de salida cont. a tensión nominal de salida y 40 °C	30 A	15 A	30 A	17 A	8,5 A	30 A	16 A	8 A
Corriente máxima de salida (10 s) a tensión nominal de salida	40 A	25 A	45 A	25 A	15 A	40 A	25 A	15 A
Corriente de cortocircuito	60 A	40 A	60 A	40 A	25 A	60 A	40 A	25 A
Potencia cont. de salida a 25 °C	430 W	430 W	430 W	480 W	480 W	430 W	430 W	430 W
Potencia cont. de salida a 40 °C	360 W	360 W	360 W	400 W	400 W	360 W	380 W	380 W
Eficiencia	87 %	88 %	88 %	89 %	89 %	87 %	89 %	89 %
Corriente de entrada sin carga(2)	< 80 mA	< 100 mA	< 100 mA	< 80 mA	< 120 mA	< 80 mA	< 80 mA	< 80 mA
Consumo de corriente	< 200uA cuando se desactiva mediante el puerto remoto							
Aislamiento galvánico	200 V entre entrada, salida y carcasa							
Rango de temperatura de trabajo	-20 a +55 °C (reducción de potencia del 3 % por cada °C sobre 40 °C)							
Humedad	Máx. 95 % sin condensación							
Conexión CC	Bornes de tornillo							
Sección de cable máxima	16 mm ² AWG6							
Peso	Modelos con entrada de 12 V y/o salida de 12 V: 1,8 kg (3 lb) Otros modelos: 1,6kg (3.5 lb)							
Dimensiones (al x an x p)	Modelos con entrada de 12 V y/o salida de 12 V: 130 x 186 x 80 mm (5,1 x 7,3 x 3,2 pulgadas) Otros modelos: 130 x 186 x 70 mm (5,1 x 7,3 x 2,8 pulgadas)							
Normativa: Seguridad Emisiones Inmunidad Directiva automoción	EN 60950 EN 61000-6-3, EN 55014-1 EN 61000-6-2, EN 61000-6-1, EN 55014-2 ECE R10-5							

- 1) Si la tensión de salida se establece a su valor nominal o inferior al nominal, permanecerá estable dentro del rango de tensión de entrada especificado (función Buck-Boost).
Si la tensión de salida es superior a la tensión nominal según un cierto porcentaje, la tensión de entrada mínima a la que la tensión de salida permanece estable (no disminuye) se incrementa en ese mismo porcentaje
- 2) Consumo de corriente cuando el Orion-TR está generando tensión pero no se le aplica ninguna carga.

SmartSolar Charge Controller MPPT 150/35 & 150/45

www.victronenergy.com



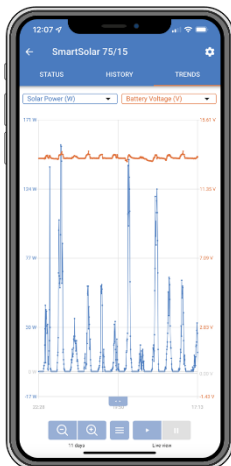
SmartSolar Charge Controller MPPT 150/35



Bluetooth sensing Smart Battery Sense



Bluetooth sensing BMV-712 Smart Battery Monitor



Bluetooth Smart built-in

The wireless solution to set-up, monitor, update and synchronise SmartSolar Charge Controllers.

VE.Direct

For a wired data connection to a Color Control GX, other GX products, PC or other devices

Ultrafast Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Especially in case of a clouded sky, when light intensity is changing continuously, an ultra-fast MPPT controller will improve energy harvest by up to 30 % compared to PWM charge controllers and by up to 10 % compared to slower MPPT controllers.

Advanced Maximum Power Point Detection in case of partial shading conditions

If partial shading occurs, two or more maximum power points may be present on the power-voltage curve. Conventional MPPTs tend to lock to a local MPP, which may not be the optimum MPP.

The innovative BlueSolar algorithm will always maximize energy harvest by locking to the optimum MPP.

Outstanding conversion efficiency

No cooling fan. Maximum efficiency exceeds 98 %. Full output current up to 40 °C (104 °F).

Flexible charge algorithm

Fully programmable charge algorithm (see the software page on our website), and eight preprogrammed algorithms, selectable with a rotary switch (see manual for details).

Extensive electronic protection

- Over-temperature protection and power derating when temperature is high.
- PV short circuit and PV reverse polarity protection.
- PV reverse current protection.

Internal temperature sensor

Compensates absorption and float charge voltage for temperature.

Optional external battery voltage and temperature sensing via Bluetooth

A Smart Battery Sense or a BMV-712 Smart Battery Monitor can be used to communicate battery voltage and temperature to one or more SmartSolar Charge Controllers.

Fully discharged battery recovery function

Will initiate charging even if the battery has been discharged to zero volts.

Will reconnect to a fully discharged Li-ion battery with integrated disconnect function.

SmartSolar Charge Controller	MPPT 150/35	MPPT 150/45
Battery voltage	12 / 24 / 48 V Auto Select (software tool needed to select 36 V)	
Rated charge current	35 A	45 A
Nominal PV power 1a, b)	35 A 12 V: 500 W / 24 V: 1000 W / 36 V: 1500 W / 48 V: 2000 W 45 A 12 V: 650 W / 24 V: 1300 W / 36 V: 1950 W / 48 V: 2600 W	
Max. PV short circuit current 2)	40 A	50 A
Maximum PV open circuit voltage	150 V absolute maximum coldest conditions 145 V start-up and operating maximum	
Maximum efficiency	98 %	
Self-consumption	12 V: 20 mA 24 V: 15 mA 48 V: 10 mA	
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (adjustable)	
Charge voltage 'float'	Default setting: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (adjustable)	
Charge algorithm	multi-stage adaptive (eight pre-programmed algorithms)	
Temperature compensation	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C	
Protection	PV reverse polarity / output short circuit / over-temperature	
Operating temperature	-30 to +60°C (full rated output up to 40°C)	
Humidity	95 %, non-condensing	
Data communication port	VE.Direct See the data communication white paper on our website	
ENCLOSURE		
Colour	Blue (RAL 5012)	
Power terminals	16 mm ² / AWG6	
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)	
Weight	1,25 kg	
Dimensions (h x w x d)	130 x 186 x 70 mm	
STANDARDS		
Safety	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2	
STORED TRENDS		
Data stored	Battery voltage, current and temperature, as well as load output current, PV voltage and PV current.	
Number of days trends data is stored	46	
1a) If more PV power is connected, the controller will limit input power. 1b) The PV voltage must exceed Vbat + 5 V for the controller to start. Thereafter the minimum PV voltage is Vbat + 1 V. 2) A PV array with a higher short circuit current may damage the controller.		

MG LFP 24V Series

- Technical specifications -

MGLFP24x280 (LFP 280Ah)

MGLFP24x230 (LFP 230Ah)



Technical specifications

Technical specifications	MGLFP24x230 25.6 V / 230 Ah	MGLFP24x280 25.6 V / 280 Ah
Technology	Lithium-Ion next generation LiFePo4	
Cell configuration	8S1P	
Nominal voltage	25.6 V	
Nominal capacity	230 Ah	280 Ah
Nominal energy	5.8 kWh	7.2 kWh
Cycle Life DOD 80% ¹	> 3500	
Specific energy ²	143 Wh/kg	136 Wh/kg
Weight	41 kg	53 kg
Discharge⁵		
Discharge cut-off voltage	24.0 V	
Recommended discharge current	< 115 A (< 0.5C)	< 140 A (< 0.5C)
Continuous discharge current	230 A (1.0 C)	280 A (1.0 C)
Maximum discharge current ³	345 A (1.5 C)	420 A (1.5 C)
Fuses ⁴	300A, fuse inside	
Charge⁵		
Charge voltage	28.2 V	
Recommended charge current	< 115 A (< 0.5C)	< 140 A (< 0.5C)
Continuous charge current	230 A (1.0 C)	280 A (1.0 C)
Maximum charge current (10 s) ³	345 A (1.5 C)	420 A (1.5 C)
Configuration		
Series configuration ⁷	Up to 6 modules	Up to 6 modules
Parallel configuration	Up to 96 modules.	
Environmental		
Operating temperature charge	0 to +45°C	
Operating temperature discharge	-20 to +55°C	
Recommended operating temperature	20 to +30°C	
Recommended storage temperature	10 to +35°C	
Humidity (non-condensing)	≤ 95 %	
Mechanical		
Power connections	M8 stud, 20 Nm	
IP-Protection class	IP40	
Cooling	Air, convection	
Dimensions (l x h x w)	517 x 294 x 193 mm	652 x 294 x 193 mm
Safety		
Battery Management System (BMS)	Integrated slave BMS	
Balancing	Passive	
Compatible BMS master controller	MG Master LV, MG Master HV	
Communication	CAN-Bus, RJ45 or M12 connection	
Standards		
EMC: Emission	EN-IEC 61000-6-3:2007/A1:2011/C11:2012	
EMC: Immunity	EN-IEC 61000-6-1:2007	
Low voltage directive	EN 60335-1:2012/AC:2014	
Approvals	IEC-EN62619, IEC-EN62620 (ES-TRIN ⁶)	

This document is subject to changes without notification. All rights reserved. The information in this datasheet is carefully checked and is considered to be reliable, however MG Energy Systems assumes no responsibility for any inaccuracies.

Footnotes

¹ End-of-Life is 70% of initial capacity at 25 °C. Cycle life is depending on the battery temperature. Higher battery temperature will result in a lower number of cycles.

² Including BMS and enclosure.

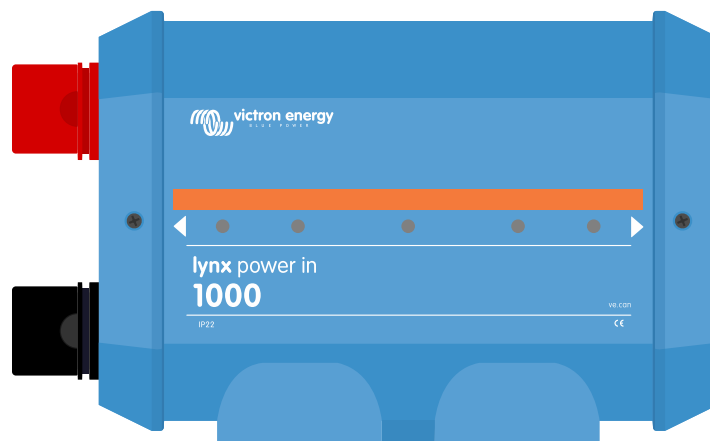
³ Duration is depending on battery temperature.

⁴ Fuses can be replaced with non-fused battery poles for high power and high voltage applications. In this case each battery string needs to be fused elsewhere in the circuit.

⁵ Charge and discharge rates are depending on battery temperature and State-Of-Charge.

⁶ In progress for 230 Ah module.

⁷ More than six in series on request.



Lynx Power In

9. Technical specifications Lynx Power In

Power	
Voltage range	9 - 60Vdc
Current rating	1000A

Connections	
Busbar	M8

Physical	
Enclosure material	ABS
Enclosure dimensions (hwxwd)	290 x 170 x 80mm
Unit weight	2.1 kg
Busbar material	Tinned copper
Busbar dimensions (hwx)	8 x 30mm

Environmental	
Operating temperature range	-40°C to +60°
Storage temperature range	-40°C to +60°
Humidity	Max. 95% (non-condensing)
Protection class	IP22

MG Master LV

- Technical specifications -

12 V / 24 V / 48 V / 72 V / 96 V



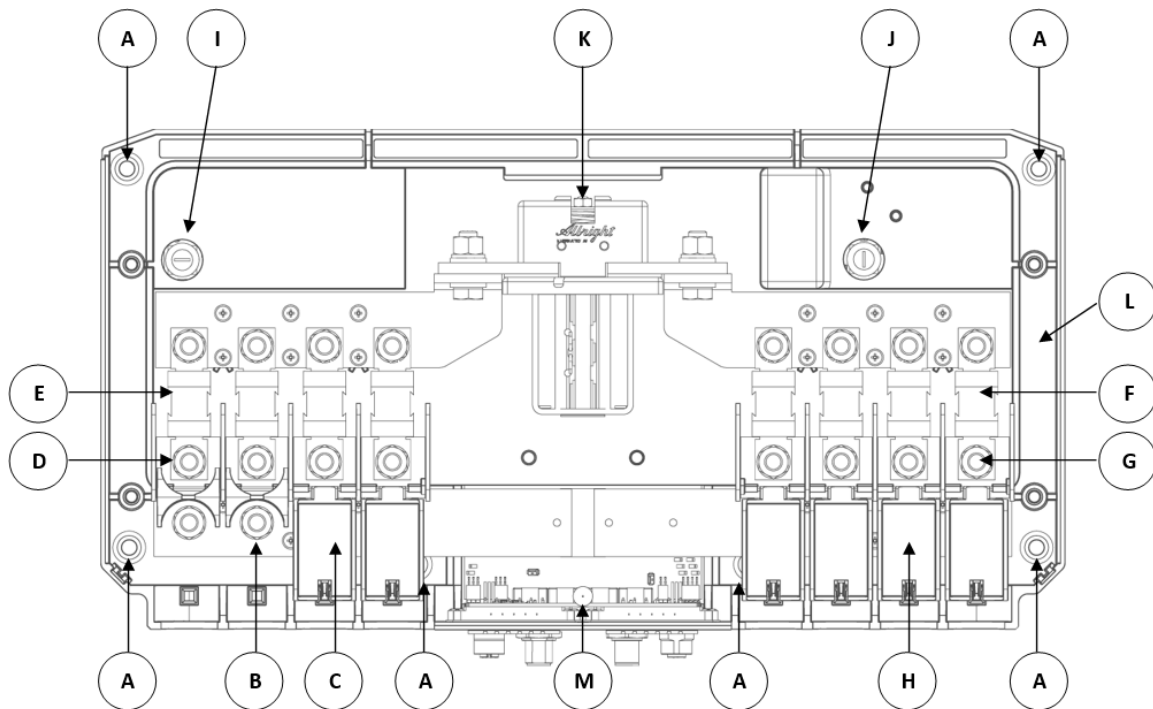
Technical specifications: 24-48 V and 72-96 V Master LV's

Technical specifications	24-48 V 150 A MGMLV48X150	24-48 V 400 A MGMLV48X400	24-48 V 600 A MGMLV48X600	24-48 V 1000 A MGMLV48100X	72-96 V 500 A MGMLV96X500
Maximum number of connected batteries	96 battery modules of type LFP, HE, UHE, HP or 48 battery modules of type RS				
Supply voltage range	18 ... 58 VDC				40 ... 120 VDC
Standby mode power usage	73 mW @ 26,2 V and 138 mW @ 52,4 V				< 2 mW
Active mode power usage	8,7 W				5,6 W
Main safety contactor current continuous	150 A	400 A	600 A	1000 A	500 A
Communication	CAN-Bus (Victron VE.CAN, NMEA2000, SMA)				
IO					
Aux. output	13,5 V / 1 A, short circuit protection, overcurrent protection				
Allow-to-charge (switched voltage)	13,5 V / 1 A, short circuit protection, overcurrent protection				
Allow-to-discharge (switched voltage)	13,5 V / 1 A, short circuit protection, overcurrent protection				
Allow-to-charge (relay output)	0,8 A @ 60 VDC, potential free				
Allow-to-discharge (relay output)	0,8 A @ 60 VDC, potential free				
Programmable contact (relay output)	0,8 A @ 60 VDC, potential free				
External status signal	13,5 V / 140 mA short circuit protection, overcurrent protection				
Emergency shutdown input (available on M12 CAN-bus connectors)	Emergency shutdown to open main contactor hardwired.				
Enclosure					
Material	ABS (reinforced)				
Dimensions	426 x 225 x 117 mm				
Weight	4,4 kg	4,9 kg	6,0 kg	8,6 kg	4,6 kg
Environmental					
Operating temperature range	-20 °C to 50°C				
Humidity	Max. 95% (non-condensing)				
Protection class	IP22				
Standards					
EMC: Emission	EN-IEC 61000-6-3:2007/A1:2011/C11:2012				
EMC: Immunity	EN-IEC 61000-6-1:2007				
Low voltage directive	EN 60335-1:2012/AC:2014				
Approvals	IEC-EN 62619				
RoHS	EN 50581:2012				

Technical specifications: 12 V Master LV's

Technical specifications	12 V	12 V	12 V	12 V
	150 A	400 A	600 A	1000 A
	MGMLV120150	MGMLV120400	MGMLV120600	MGMLV121000
Maximum number of connected batteries	96 battery modules of type MGLFP120210			
Supply voltage range	8 ... 15 VDC			
Standby mode power usage	63 mW			
Active mode power usage	10.3 W			
Main safety contactor current continuous	150 A	400 A	600 A	1000 A
Communication	CAN-Bus (Victron VE.CAN, NMEA2000, SMA)			
IO				
Aux. output	13,5 V / 1 A, short circuit protection, overcurrent protection			
Allow-to-charge (switched voltage)	13,5 V / 1 A, short circuit protection, overcurrent protection			
Allow-to-discharge (switched voltage)	13,5 V / 1 A, short circuit protection, overcurrent protection			
Allow-to-charge (relay output)	0,8 A @ 60 VDC, potential free			
Allow-to-discharge (relay output)	0,8 A @ 60 VDC, potential free			
Programmable contact (relay output)	0,8 A @ 60 VDC, potential free			
External status signal	13,5 V / 140 mA short circuit protection, overcurrent protection			
Enclosure				
Material	ABS (reinforced)			
Dimensions	426 x 225 x 117 mm			
Weight	4,4 kg	4,9 kg	6,0 kg	8,6 kg
Environmental				
Operating temperature range	-20 °C to 50°C			
Humidity	Max. 95% (non-condensing)			
Protection class	IP22			
Standards				
EMC: Emission	EN-IEC 61000-6-3:2007/A1:2011/C11:2012			
EMC: Immunity	EN-IEC 61000-6-1:2007			
Low voltage directive	EN 60335-1:2012/AC:2014			
RoHs	EN 50581:2012			

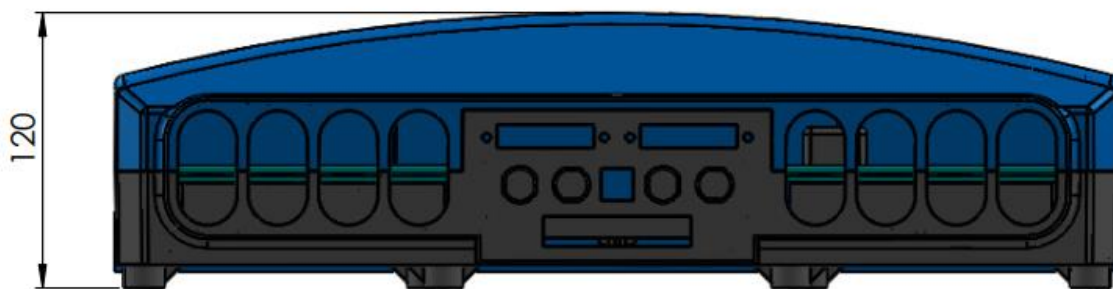
Connection overview



Part	Description
A	Mounting holes
B	'-' minus battery connections (M8 bolt connections)
C	Plastic insulation part
D	'+' positive battery connections (M8 bolt connections)
E	Battery side fuses
F	Loads/Chargers side fuses
G	'+' positive Loads/Chargers connections (M8 bolt connections)
H	'-' minus Loads/Chargers connections (below plastic insulator) (M8 bolt connections)
I	Fuse of main control unit (Fuse 5X20mm Fast acting 250V 6,3A; Eska: 520.525)
J	Pre-charge fuse (Fuse 5X20mm Fast acting 250V 10A; Eska: 520.527)
K	Safety contactor (can be 150A/400A/600A/1000A)
L	Bluetooth Smart (NFC antenna)
M	Status LED

Dimensions

Dimensions in mm.



Ordering information

Master LV for 12 V systems

Product	Article number
MG Master LV 12V/150A	MGMLV120150
MG Master LV 12V/400A	MGMLV120400
MG Master LV 12V/600A	MGMLV120600
MG Master LV 12V/1000A	MGMLV121000

Master LV for 24 V and 48 V systems

Product	Article number
MG Master LV 24-48V/150A (M12)	MGMLV481150
MG Master LV 24-48V/400A (M12)	MGMLV481400
MG Master LV 24-48V/600A (M12)	MGMLV481600
MG Master LV 24-48V/1000A (M12)	MGMLV481001

Master LV for 72 V and 96 V systems

Product	Article number
MG Master LV 72-96V/500A (M12)	MGMLV961500

Optimum
nueva gama



Módulo solar (72 células 5")
A-xxxM GS (180/190/200/210 W)

- ➔ **Optimice sus instalaciones.**
- ➔ **Alta eficiencia** del módulo y potencia de salida estable, basado en una tecnología de proceso innovadora.
- ➔ **Funcionamiento eléctrico excepcional** en condiciones de alta temperatura o baja irradiación.
- ➔ Facilidad de instalación gracias a un **diseño de ingeniería innovador.**
- ➔ **Riguroso control de calidad** que cumple con los más altos estándares internacionales.
- ➔ **Garantía, 10 años** contra defectos de fabricación y **25 años** en rendimiento (80% potencia de salida).



**A-xxxM GS (ES)** (xxx = potencia)

Características eléctricas	A-180M GS	A-190M GS	A-200M GS	A-210M GS
Potencia Máxima (Pmax)	180 W	190 W	200 W	210 W
Tensión Máxima Potencia (Vmp)	35.60 V	36.20 V	36.70 V	37.20 V
Corriente Máxima Potencia (Imp)	5.05 A	5.25 A	5.45 A	5.65 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	44.10 V	44.80 V	45.40 V	45.90 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	5.40 A	5.60 A	5.80 A	6.00 A
Eficiencia del Módulo (%)	14.10	14.88	15.67	16.45
Tolerancia de Potencia (%)	0/+5			
Máxima Serie de Fusibles (A)	15			
Máxima Tensión del Sistema (IEC)	DC 1000 V			
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)	45±2			

Características eléctricas medidas en Condiciones de Test Standard (STC), definidas como: Irradiación de 1000 w/m², espectro AM 1.5 y temperatura de 25 °C. Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp). Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) used, power measurement uncertainty is within +/- 3%

Especificaciones mecánicas

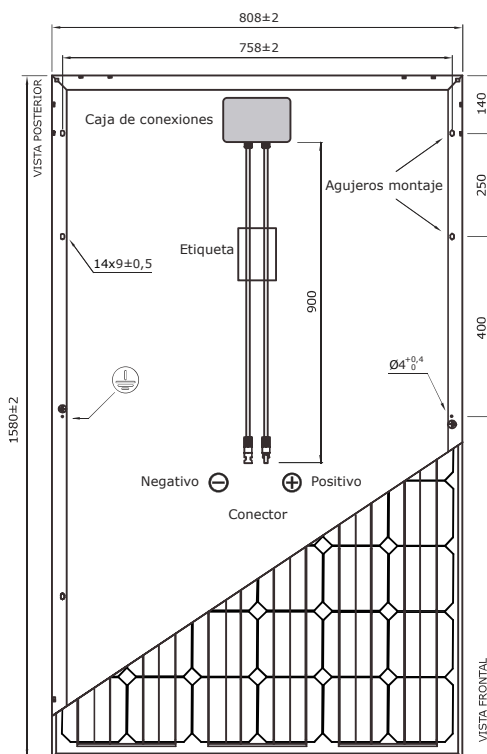
Dimensiones (± 2 mm.)	1580x808x35 mm.
Peso (± 5 %)	21.6 kg
Máx. carga estática, frontal (nieve y viento)	2400 Pa (**)
Máx. carga estática, posterior (viento)	2400 Pa

(**) 5400 Pa con marco de 50 mm.

Materiales de construcción

Cubierta frontal (material/tipo/espesor) (*)	Cristal templado alta transmisión/bajo nivel hierro/3.2 mm
Células (cantidad/tipo/dimensiones)	72 pzas (6x12)/Monocristalina /125 x 125 mm
Marco (material/color)	Aleación de aluminio anodizado /plata
Caja de conexiones (grado de protección)	IP67/3 diodos
Cable (longitud/sección) / Conector	900 mm. /4 mm ² /MC4 compatible/IP67

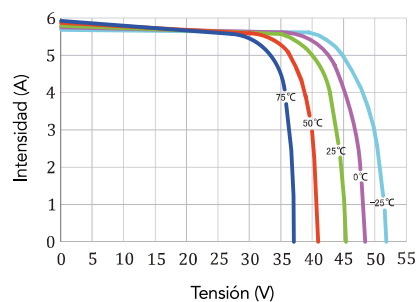
(*) Con capa anti-reflectante

Vista genérica construcción módulo

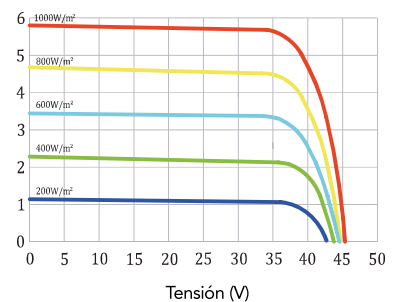
NOTA: El dibujo no está a escala.

Características de temperatura

Coef. Temp. de Isc (TK Isc)	0.08558% /°C
Coef. Temp. de Voc (TK Voc)	-0.29506% /°C
Coef. Temp. de Pmax (TK Pmax)	-0.38001% /°C
Temperatura de Funcionamiento	-40 to +85 °C

Temperatura Varía (A-200M GS)**Embalaje**

Módulos/palé	31 pzas
Palés/contenedor 40' HQ	32 palés
Módulos/contenedor 40' HQ	992 pzas
Palés/contenedor 20'	14 palés
Módulos/contenedor 20'	434 pzas

Irradiación Varía (A-200M GS)

NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

➔ www.atersa.com • atersa@elecnor.com
Madrid (España) +34 915 178 452 • Valencia (España) +34 961 038 430

Revisado: 16/12/19
Ref.: MU-5M 6x12 GS (ES) (1)-B
© Atersa SL, 2016



IEC 61215
IEC 61730





OCEANVOLT SD6/8/10/15 PROPULSION SYSTEM



OWNER'S MANUAL VERSION 2.0

27.2.2019



8 GENERAL FACTS

8.1 TECHNICAL DATA

Model:	Unit	SD6	SD8	SD10	SD15
Maximum power	kW	6	8	10	15
Continuous power	kW	6	8	10	12
Nominal battery voltage	VDC	48	48	48	48
Operating voltage	VAC	34	34	34	34
Current continuous (maximum)	A	116	156	195	235 (290)
Rpm (nominal and maximum)	RPM	2200	2200	2200	2200
Reduction ratio		1.93:1	1.93:1	1.93:1	1.93:1
Lubrication oil		Fully synthetic transmission oil 75W-80. Class GL4/4+.			
	liters	0,45	0,45	0,45	0,45
Coolant liquid		Propylene glycol or Ethylene glycol with OAT inhibitors			
Mixing ratio		50:50	50:50	50:50	50:50
*Standard motor controller		air-cooled	air-cooled	liquid-cooled	liquid-cooled
Weight of motor	kg	34.0	34.0	38.0	38.0
Weight of saildrive (dry without propeller)	kg	10.8	10.8	10.8	10.8
Weight of motor controller (excluding pump, hoses, heat exchanger)	kg	8.0	8.0	8.0	8.0

* Air-cooled: Max ambient air-temperature for the motor controller is 35 celsius to run the motor continuously at nominal power.

* Liquid-cooled: Max sea water temperature 32 celsius, and max ambient air-temperature 50 celsius to run the motor controller continuously at nominal power. Observe: The electric motor should be installed in a compartment with an ambient airtemperature of less than 45/40/35/30 celsius (SD6/8/10/15).

8.2 CONTACT INFORMATION

Head office:

Oceanvolt Oy

Vetokuja 1

FI-01610 Vantaa

Finland

Email: support@oceanvolt.com

Phone: +358 10 325 5285, open 9am to 5pm (timezone: GMT +2)