



**Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar**

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de los sistemas de
mantenimiento y consumos auxiliares
mediante energías renovables del Buque*

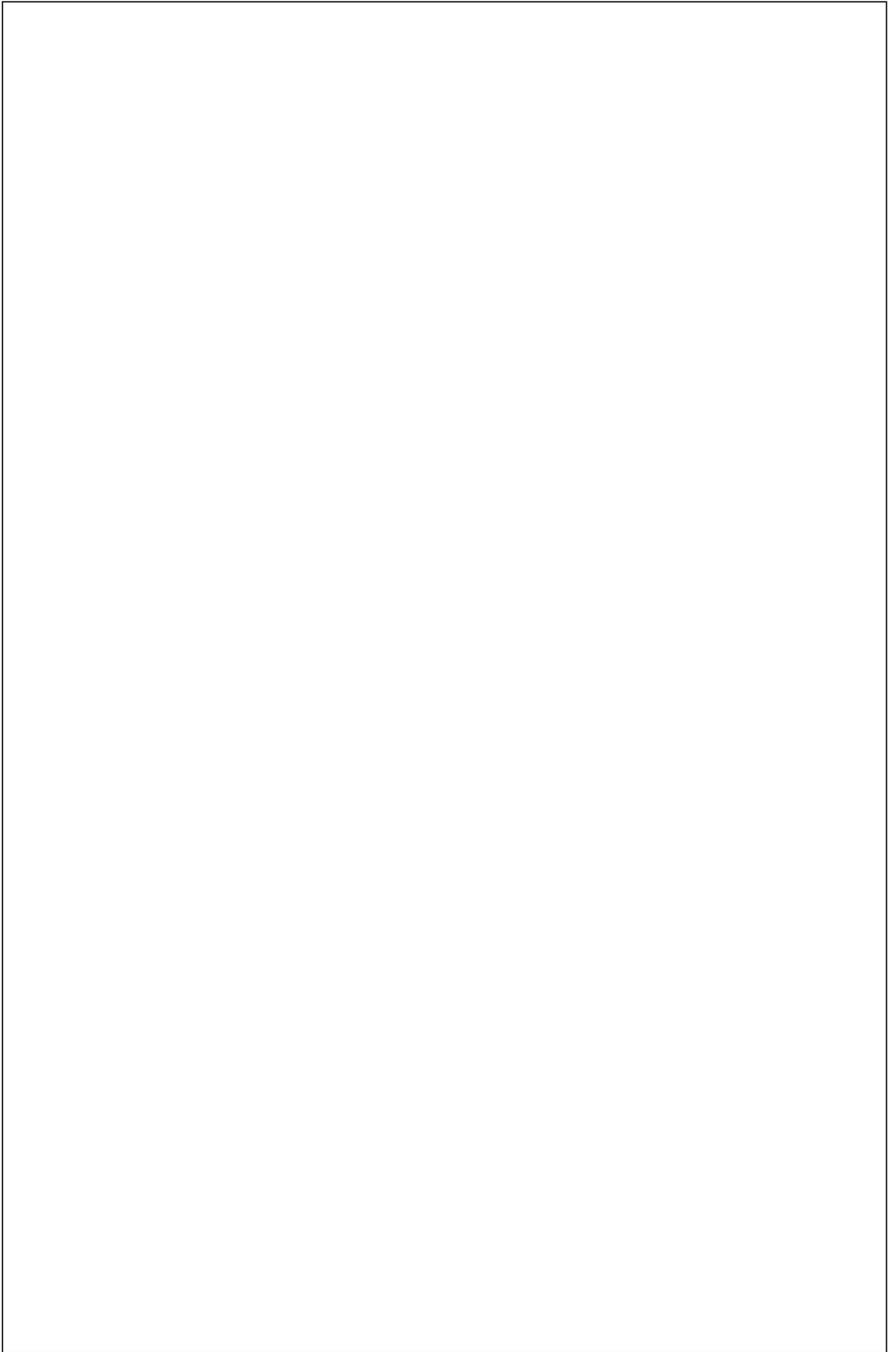
Escuela Juan Sebastián Elcano

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Martín Sanjorge Maneiro
DIRECTORES: Víctor Ángel Alfonsín Pérez
Andrés Suárez García

CURSO ACADÉMICO: 2014-2015

Universida_{de}Vigo





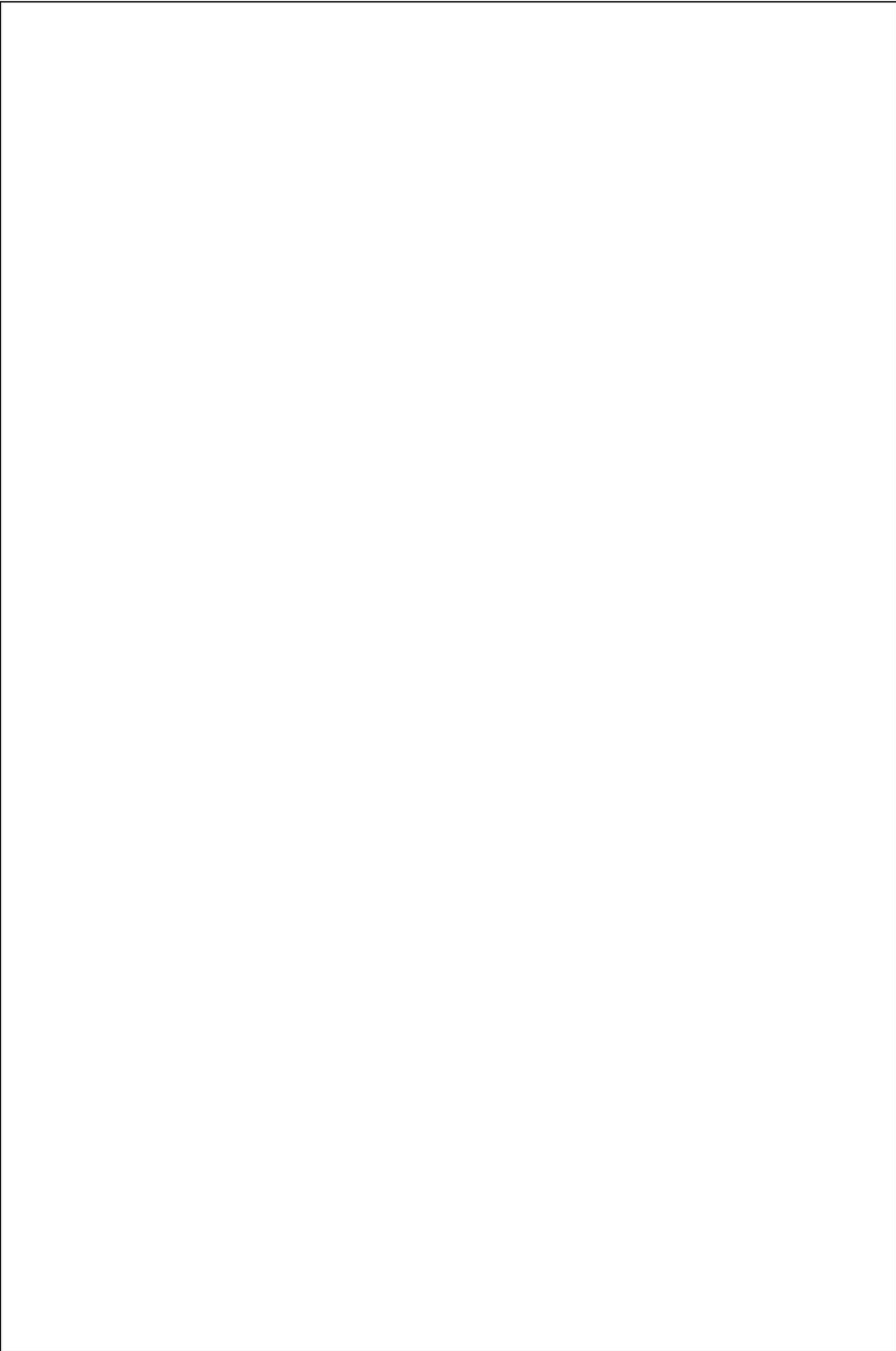
Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de los sistemas de
mantenimiento y consumos auxiliares
mediante energías renovables del buque
escuela Juan Sebastián Elcano*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo



RESUMEN

Este trabajo de fin de grado tiene como objetivo principal simular bajo el entorno de Matlab y de su interfaz gráfica Simulink diferentes fuentes de energía renovables (Hidrogenación, Aerogeneración y Generación Solar) implementadas en el buque escuela de la Armada Española Juan Sebastián de Elcano.

Con este trabajo se pretende dimensionar y comprobar la posible viabilidad técnica de una serie de dispositivos que transforman la energía presente en la mar, en forma de viento, sol y corrientes y aprovecharlas para generar potencia y contribuir por tanto, al ahorro de combustible utilizado por los generadores auxiliares convencionales que utilizan originalmente hidrocarburos.

También por otra parte este trabajo pretende contribuir a la buena imagen de la Armada, demostrando la implicación de la misma con la investigación y la concienciación ambiental por el uso de energías no contaminantes.

Como resultado y a continuación se pormenorizan el trabajo hecho y el interfaz resultante en el que se demuestra la viabilidad de instalación de energías renovables el almacenamiento en baterías de LiFePO_4 y el ahorro que generaría.

PALABRAS CLAVE

-Matlab, Simulink, Juan Sebastián de Elcano, Armada, Energía renovable, Baterías

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, que tanto han sacrificado para que yo pueda estar donde estoy y hacer lo que siempre he deseado hacer. Espero que les haya merecido el esfuerzo y que su confianza puesta en mi no desmereciera en ningún momento.

A mis hermanos, que son más que la sangre que nos une.

A mis amigos de siempre, los que han estado ahí para aguantarme cuando yo no podía y cuando no se podía conmigo. Por todos esos grandes momentos vividos y los que nos queden por vivir.

A la gente que me he encontrado en esta casa, en especial a la Vieja Guardia por compartir los momentos más duros, y me han abierto los ojos al conocer a toda la gente que compone este gran país. Por todas las experiencias atesoradas y a la vida que por la proa discurrirá junto a ellos.

A Mónica, por tener que aguantar estos duros meses y por ser una de las principales razones por las que quiera seguir hacia delante.

A mis tutores, por orientarme y motivarme a seguir adelante y al resto de profesores que me han soportado estos años.

Y a toda esa gente con la que me he encontrado durante mi camino, decir que fue placentero caminar un tramo con ellos o realizar una pequeña parada, y que en definitiva en mayor o menor medida han definido el como soy.

A la Armada y en especial a la Escuela Naval Militar y al B.E. Juan Sebastián de Elcano.

Por último a mi futura sobrina Martina, que espero que llegues pronto y te unas a la familia.

Gracias a todos.

CONTENIDO

Resumen.....	i
Agradecimientos	ii
Contenido.....	1
Índice de Figuras.....	4
Índice de Tablas	6
1 Introducción	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Motivación.....	8
1.3 Objetivos.....	8
1.4 Buque Escuela Juan Sebastián Elcano	9
2 Estado del Arte.....	11
3 Modelización	15
3.1 Fotovoltaico	15
3.1.1 Energía fotovoltaica	15
3.1.2 Principio de funcionamiento	15
3.1.3 Célula de Silicio Monocristalino.....	16
3.1.4 Modelado del panel fotovoltaico.....	17
3.1.5 Modelo de los 5 parámetros	18
3.1.6 Modelado en Matlab-Simulink	19
3.1.7 Selección del panel fotovoltaico	20
3.2 Energía eólica	22
3.2.1 Principio de funcionamiento	22

3.2.2 Tipos.....	24
3.2.3 Aerogenerador de eje horizontal.	25
3.2.4 Aerogeneradores de eje vertical.	25
3.2.5 Rotor Savonius	26
3.2.6 Modelo	28
3.2.7 Selección del aerogenerador	29
3.3 Hidrogeneración	30
3.3.1 Funcionamiento.....	31
3.3.2 Modelo	32
3.3.3 Selección del hidrogenerador	33
3.4 Baterías	34
3.4.1 Modelo	36
3.4.2 Selección de la batería.....	37
3.5 Generadores y Auxiliares (Grupo electrógeno).....	38
3.5.1 Introducción	38
3.5.2 Modelo	39
3.6 Cuadro eléctrico de demanda	40
3.6.1 Modelo	41
3.7 Modelo Global.....	41
3.7.1 Instalación y número de generadores de ER	41
3.7.2 Paneles Solares	42
3.7.3 Aerogeneradores	43
3.7.4 Hidrogeneradores	43
4 Simulación	45
4.1 Consideraciones previas a la simulación.....	45
4.2 Caso 1	46
4.2.1 Variables de entrada	46

4.2.2 Simulación.....	46
4.2.3 Resultados y Análisis	47
4.3 Caso 2	47
4.3.1 Variables de entrada.....	47
4.3.2 Simulación.....	48
4.3.3 Resultados y Análisis	49
4.4 Caso 3	50
4.4.1 Variables de entrada.....	50
4.4.2 Simulación.....	50
4.4.3 Resultados y Análisis	50
5 Conclusiones	53
5.1 Trabajos Futuros	54
6 Bibliografía	55
7 Anexos	58
7.1 Anexo 1 Panel solar SOLBIAN FLEX SP137	59
7.2 Anexo 2 Aerogenerador LEADING EDGE LE V150	61
7.3 Anexo 3 Hidrogenerador WATT&SEA CRUISING	67
7.4 Anexo 4 Batería TB-4860F	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Gráfico de Energías y estimación futura.....	7
Figura 2 Gráfico de la estimación de la producción y reservas mundiales de petróleo	7
Figura 3 Modelo B.E. Juan Sebastián de Elcano con Inkscape®.....	8
Figura 4 Juan Sebastián de Elcano	9
Figura 5 La Casa Real con el B.E. Juan Sebastián de Elcano en la Escuela Naval Militar ...	10
Figura 6 Buque PlanetSolar. Actual poseedor del record del mundo de circunnavegar el globo únicamente con energías renovables.	11
Figura 7 Prototipo del buque de EcoMarinePower	12
Figura 8 Prototipo del buque de Wind Challenger Power HP.....	13
Figura 9 Circuito equivalente	15
Figura 10 Esquema de una célula fotovoltaica.....	16
Figura 11 Célula Silicio Monocristalino	17
Figura 12 Circuito equivalente Modelo 5 parámetros. Tesis de “De Soto”	18
Figura 13 Esquema en M-S del panel solar.....	19
Figura 14 Dimensionamiento en M-S del panel solar.....	20
Figura 15 Panel Solar FLEX SP137.....	21
Figura 16 Distribución viento modelo de Weibull	23
Figura 17 Modelo de Betz	23
Figura 18 Gráfica de diferentes tipos de generador.....	24
Figura 19 Rendimiento diferentes tipos aerogeneradores	24
Figura 20 Aerogenerador de eje horizontal	25
Figura 21 Rotor Savonius.....	26
Figura 22 Esquema de giro de un rotor Savonius.....	27
Figura 23 Modelo Aerogenerador en M-S	28
Figura 24 Comparativa gráfica modelizada y gráfica del fabricante.....	28
Figura 25 Aerogenerador LE-V150.....	29

Figura 26 Presa de las Tres Gargantas.....	30
Figura 27 Generador eléctrico por olas	31
Figura 28 Modelo gráfica Potencia-velocidades Watt&Sea.....	32
Figura 29 Modelo Hidrogenerador en M-S	32
Figura 30 Comparativa gráfica modelizada y gráfica del fabricante.....	33
Figura 31 Hidrogenerador Watt&Sea Cruising	34
Figura 32 Esquema de una Batería básica	34
Figura 33 Batería TOPBAND	37
Figura 34 Grupo electrógeno de un barco	38
Figura 35 Despiece motor eléctrico y Esquema	38
Figura 36 Esquema en M-S de consumos, potencias y energías del buque	40
Figura 37 Cuadro de Consumo en M-S	41
Figura 38 Tranvía a Proa del Puente	42
Figura 39 Comparativas Producción y Consumo de energía	45
Figura 40 Simulación Caso 1.....	46
Figura 41 Resultado Descarga-Tiempo	47
Figura 42 Simulación Caso 2.....	48
Figura 43 Gráfica Carga-Tiempo	49
Figura 44 Energías Renovables- Tiempo	49
Figura 45 Simulación Caso 3.....	50
Figura 46 Carga Batería-Tiempo.....	51
Figura 47 Energías Renovables- Tiempo	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características panel solar Solbian SP137	21
Tabla 2 Comparativa de tipos de baterías.....	35
Tabla 3 Características Batería TB-48260F	37
Tabla 4 Ubicación y Cantidad de Aerogeneradores	43
Tabla 5 Ubicación y Cantidad de Aerogeneradores	43

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El auge de las energías renovables [1] y [2] (Figura 1) y el descenso de su precio debido a los avances en el campo [3] hacen que su uso esté cada vez más extendido y se busque implementarlas en mayores y más diversas áreas cada vez. Ya que no necesitan disponer de materias primas caras o de difícil acceso o guardado y no generan desechos nocivos son ideales para generar energía sostenible y de bajo coste.

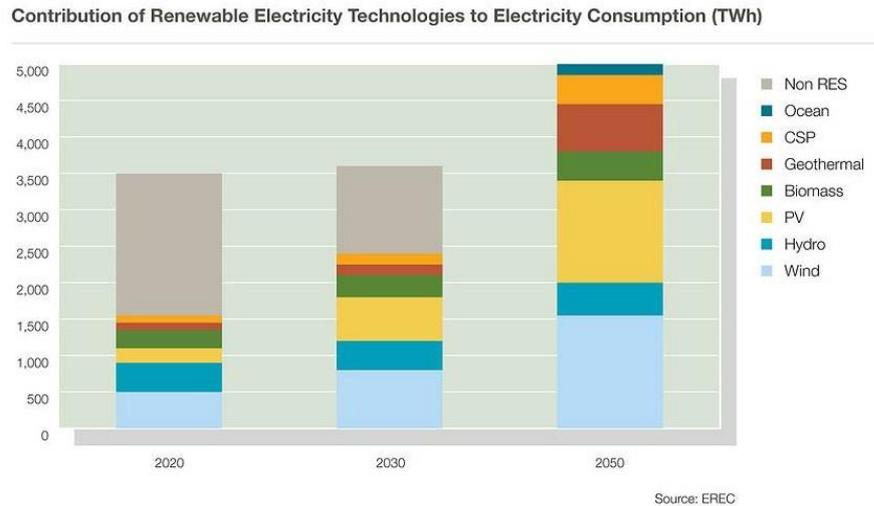


Figura 1 Gráfico de Energías y estimación futura

Por otra parte el descenso mundial de las reservas de hidrocarburos [4] y [5] (Figura 2) y la cada vez mayor dificultad de los procesos de extracción, como también de la inestabilidad política en la mayoría de países productores, hace que el precio de esta materia prima sea cada vez más elevado y los países y empresas traten de buscar otras vías de generación de energía para ser más independientes económica y energéticamente de los derivados del petróleo.

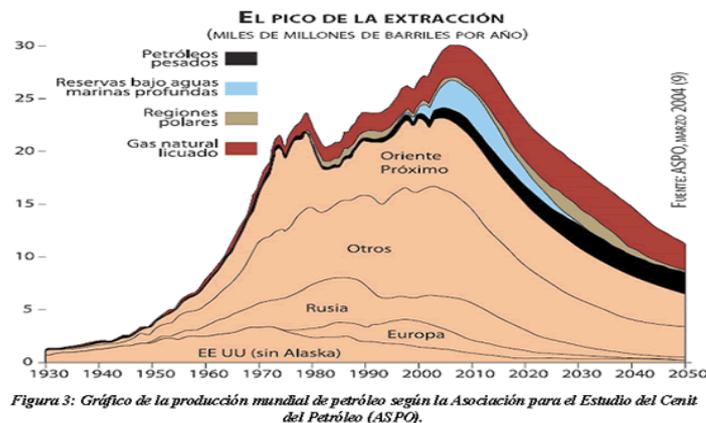


Figura 2 Gráfico de la estimación de la producción y reservas mundiales de petróleo

1.2 Motivación

La motivación para la realización de este trabajo de fin de grado es principalmente poner en práctica los conocimientos adquiridos durante la carrera y aunar los dos ámbitos principales que en esta misma se dan lugar.

El primero afianzar y demostrar los conocimientos adquiridos en el Grado en Ingeniería Mecánica con Intensificación en Tecnología Naval usando habilidades, conocimientos y todos los medios a disposición que existen en el Centro Universitario de la Defensa y en la Escuela Naval Militar.

El segundo es aportar soluciones a problemas que plantea la Armada y tratar en la medida de paliarlos o en este caso y como se tratará más extensamente en el segundo sub apartado de este punto realizar mejoras que puedan incrementar el rendimiento de instalaciones o procedimientos en la misma y continuar la línea sobre protección ambiental y ahorro energético que pretende la Armada [6].

La otra principal motivación de este trabajo es continuar una línea de desarrollo sobre energías renovables (ER) en buques [7], para que estos puedan depender cada vez más de fuentes de energía que no son nocivas ni perjudiciales para el ecosistema. Por otra parte aprovechar el entorno para así con los medios que existen en el mercado sobre tecnologías renovables poder ahorrar y en la medida que sea posible minimizar el uso de carburantes. Como también el uso de baterías para almacenar la energía obtenida y usarla cuando sea necesaria sin desperdiciarla inútilmente.

1.3 Objetivos

Los objetivos principales del proyecto son, a partir de datos proporcionados por el B/E Juan Sebastián de Elcano sobre condiciones meteorológicas, durante uno de sus cruceros de instrucción mediante la instalación de generadores eólicos, generadores hidrodinámicos, que aprovechan la velocidad del buque y paneles fotovoltaicos, que utilizan la radiación solar (Figura 3).

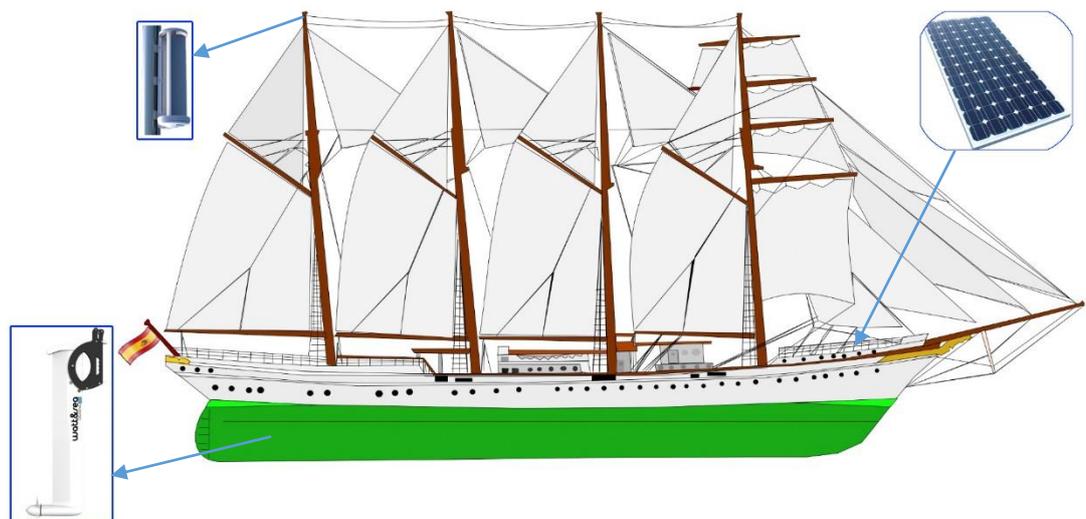


Figura 3 Modelo B.E. Juan Sebastián de Elcano con Inkscape®

A partir de estas fuentes renovables se alimentarán unas baterías y se analizarán una serie de casos para comprobar la viabilidad de la posible instalación de ER para su posible consumo de elementos auxiliares.

Todos estos elementos serán modelados mediante Matlab-Simulink (M-S), utilizando para ello ecuaciones teóricas y/o curvas proporcionadas por fabricantes y que finalmente nos ayudan a realizar en una primera fase una aproximación bastante exacta de lo que pasaría realmente si dichos sistemas fueran implementados en el buque.

Los objetivos que a priori se pretenden abordar son la viabilidad que supondría la instalación de los aparatos que puedan ubicarse en el barco sin poner en juego la imagen de este emblemático embajador flotante de España.

También a criterio del autor del proyecto el número de equipos que se instalarán será en opinión subjetiva los justos para que no se malogre o empañe la imagen del buque.

Otro objetivo que se pretende cumplir es la búsqueda de información en fuentes ajenas al centro y de ese modo aumentar la independencia y la madurez del autor para saber adquirir conocimientos y solucionar problemas por sí mismo fuera del ambiente docente. Siendo necesaria en este caso en particular la búsqueda de información de características de los equipos que se pretenden instalar a bordo y sopesar cuales son los mejores para conseguir el fin que se pretende. Mostrar la viabilidad de la instalación de ER en el Juan Sebastián de Elcano.

1.4 Buque Escuela Juan Sebastián Elcano

El Buque-Escuela Juan Sebastián de Elcano (A-71), es el barco más emblemático de la Armada Española y, es el encargado desde sus inicios de la formación de los futuros oficiales de la Armada en diversas materias del ámbito científico y marítimo. Es el quinto buque destinado a tal fin y recibe su nombre del explorador español homónimo que fue la primera persona en dar la vuelta al mundo (Figura 4).



Figura 4 Juan Sebastián de Elcano

Fue construido en los astilleros Echevarrieta y Larrinaga en la provincia de Cádiz, y botado a la mar el 5 de Marzo de 1927, siendo al año siguiente en el que realizaría su primer crucero de Instrucción. Por sus cubiertas han pasado todos los actuales oficiales de la Armada, incluyendo miembros de la casa Real desde hace 4 generaciones. Siendo su viaje inaugural honrado con la presencia del monarca Alfonso XIII. Destacando también los cruceros XXX con la presencia del rey Juan Carlos I, y el LVIII del rey Felipe VI (Figura 5).



Figura 5 La Casa Real con el B.E. Juan Sebastián de Elcano en la Escuela Naval Militar

Actualmente se han realizado un total de 85 cruceros, estando en este momento llevándose a cabo el LXXXVI.

El buque ha visitado más de 70 países, circunnavegado el globo en diez ocasiones, dejando tras de sí ya más de dos millones de millas recorridas. Interrumpiéndose solamente debido a la Guerra Civil desde 1937 hasta 1939 y en 1956 y 1978 por grandes obras de acondicionamiento.

2 ESTADO DEL ARTE

Las energías renovables están tomando cada vez porciones más grandes en el ámbito de las fuentes de energía. A pesar de ello en el ámbito náutico esta implantación está sufriendo más retrasos debido principalmente a la aún imponente diferencia de magnitudes y rendimientos que ofrece la energía de los generadores que funcionan con energías tradicionales, a las suministradas por generadores de energías renovables. En todo caso durante comienzos de este siglo, son más y más las empresas y centros de investigación que deciden invertir en ER debido principalmente a dos causas. El aprovechamiento de elementos gratis que ofrece la naturaleza como son corrientes, viento y radiación solar para poder aprovecharlas y además poder ahorrar un combustible con su precio con tendencia al alza.

En este punto hay que hacer una distinción. Por una parte en buques de pequeño porte en los cuales esta tecnología está teniendo mayor acogida debido a la necesidad de proveer a los pequeños electrodomésticos y aparatos electrónicos de energía. En este punto existen un sinnúmero de ejemplos y casos prácticos ya funcionando y su estudio está siendo continuamente mejorado. Este es el caso de uno de los proyectos en los que se basa este en el trabajo de fin de grado referenciado en [8] como principal ejemplo. También en este punto ya existe un gran mercado de generadores de ER y que hacen viable llegar a conseguir pequeños barcos que no dependan de los derivados del petróleo (Figura 6).



Figura 6 Buque PlanetSolar. Actual poseedor del record del mundo de circunnavegar el globo únicamente con energías renovables¹.

¹ <http://solarenergy.com/power-panels/pv/new-solar-technology>

Por otro lado, en la gran industria del comercio y transporte marítimo esta tecnología está menos investigada ya que el consumo es exponencialmente mayor y con las mismas tecnologías que son usadas en los pequeños buques, no es igualmente aplicable a estos grandes colosos del mar. Pese a esto, empresas y universidades están invirtiendo dinero en investigación para lanzar esta tecnología y hacerla viable para este gran sector que es el responsable de más del 80% del transporte en el mundo [9].

Esto ha llevado a que grandes empresas como ABB implicada principalmente en temas relacionados con la energía decida invertir e investigar en la navegación con ER [10].

También empresas internacionales están invirtiendo en el desarrollo de nuevos inventos o maximizando algunos ya existentes para conseguir los objetivos de aprovechamiento del entorno y ahorro de combustible. Casos como el de la empresa EcoMarinePower [11] (Figura 7), cuenta con prototipos y futuros diseños de buques con paneles solares inteligentes que se orientaran al sol para conseguir la mayor eficiencia en buques de gran porte que realicen tránsitos interoceánicos y en los que el ahorro de combustible es considerable.

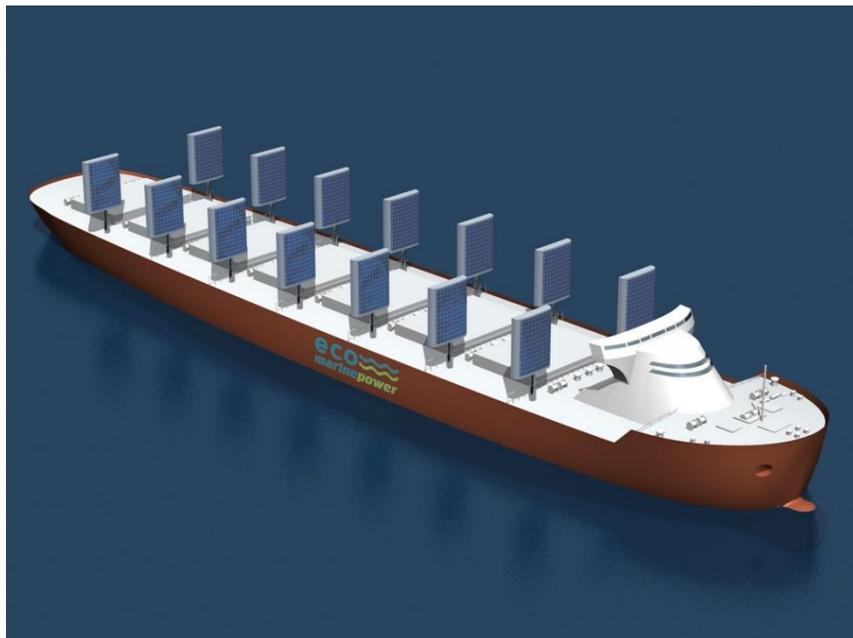


Figura 7 Prototipo del buque de EcoMarinePower²

También destacar el proyecto Wind Challenger Project HP [12] (Figura 8), que está llevándose a cabo por la Universidad de Tokyo junto a grandes empresas niponas de comercio y transporte marítimo. El sistema del WCPHP se basa en proporcionar a grandes

² <http://www.ecomarinepower.com/en/products/15>

buques que hagan rutas transoceánicas velas de materiales ligeros como el aluminio, que se puedan plegar o expandirse dependiendo si las condiciones son favorables para su uso.



Figura 8 Prototipo del buque de Wind Challenger Power HP³

Su automatización, al no depender de aparejos tradicionales propios de las velas como son los cabos y estachas, hacen que la instalación de las mismas no necesite personal adicional en el buque para su uso, ya que son dirigidas por un autómata que será el encargado de operarlas [13]. El coste tal como lo explican miembros de la empresa podría ser recuperable en un plazo de 5 a 10 años, ya que calculan un ahorro del 25% de combustible.

³ <http://www.ecomarinepower.com/en/products/15>

3 MODELIZACIÓN

3.1 Fotovoltaico

3.1.1 Energía fotovoltaica

Energía que produce electricidad a partir de la radiación solar por medio del uso de un dispositivo semiconductor llamada “Célula fotovoltaica”.

Esta tecnología fue descubierta por el físico francés A.Becquerel en 1839, y fue en 1883 cuando C.Fritts obtuvo la primera célula fotovoltaica usando un semiconductor.

3.1.2 Principio de funcionamiento

El material semiconductor expuesto a la radiación solar, experimenta el arranque de un electrón que posee por medio de un fotón perteneciente a la radiación solar incidente. Este fenómeno genera calor por el movimiento del electrón en busca de otro hueco diferente del que ha dejado al ser movido por el fotón. Esto resulta en el principio básico de la célula fotovoltaica que obliga a los electrones y los espacios que deja libres al ser arrancados a seguir un camino creando en este movimiento una diferencia de potencial (V) (Figura 9).

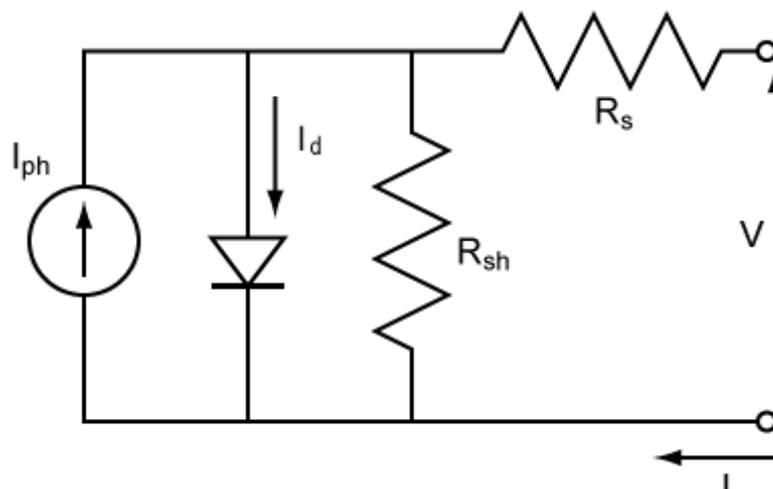


Figura 9 Circuito equivalente

Para realizar esta función se crea un campo eléctrico permanente, a través del dopaje del material semiconductor, normalmente Silicio (Si) llamada (unión PN).

En la tipo N el número de electrones libres es mayor que en el Silicio no adulterado y se sitúa por encima en las células fotovoltaicas.

En la tipo P, la situada por debajo de la N en la cual los electrones están circunscritos a la red cristalina, todo lo contrario que en la de tipo N y en contrapartida presenta huecos de carácter positivo.

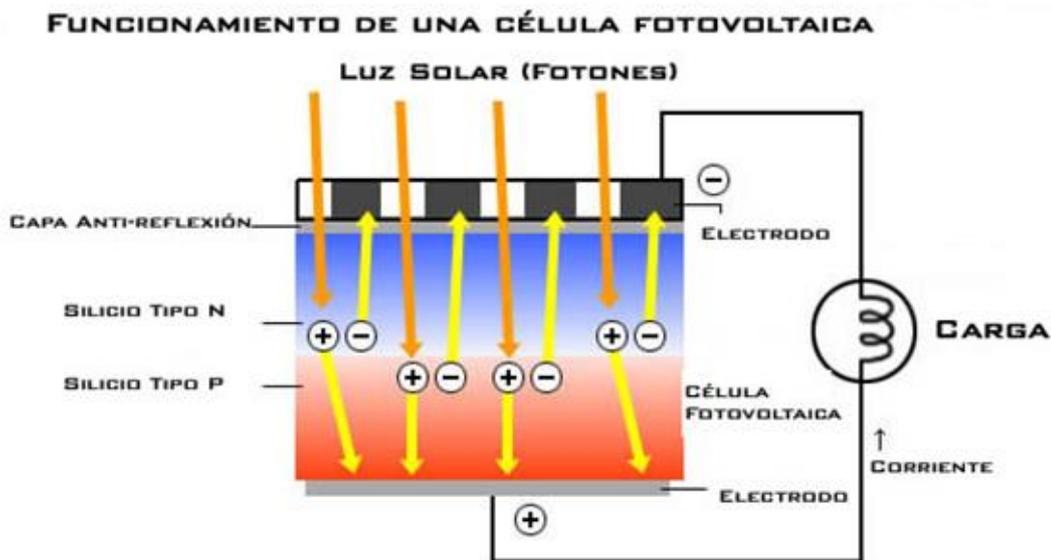


Figura 10 Esquema de una célula fotovoltaica

Una vez explicado la composición, el funcionamiento de la célula en condiciones de trabajo es la siguiente: los electrones que se encuentran libres en la capa superior(N) viajan atraídos hacia la capa (P). Es entonces cuando se crea la zona de carga de espacio” (ZCE), que es el lugar donde una inversión de la carga en cada uno de las capas crea un campo eléctrico. Debido a la disposición (N) arriba y (P) abajo el ZCE actúa como un diodo dejando únicamente circular los electrones en una dirección (Figura 10).

Cuando el fotón incide en el electrón y lo desplaza el efecto del campo eléctrico existente hace que los electrones se queden en la zona (N) y los huecos en la (P). Siendo más acusada la diferencia del campo eléctrico cerca de la (ZCE).

La célula fotovoltaica se completa poniéndole contactos eléctricos para canalizar y sacar la energía, además de otros aspectos a cubrir como son una cubierta protectora que permita pasar la radiación solar y que no sea reflectante para poder aprovechar al máximo los rayos solares.

3.1.3 Célula de Silicio Monocristalino

Este tipo de célula, (Figura 11) es la de mayor uso y difusión a lo largo del mundo y por ende la que mayor relación rendimiento-precio ofrece.

Es creada a partir de la solidificación del Silicio fundido formado por un único cristal de este material. Este gran cristal es cortado en unos menores para su más fácil manejo.



Figura 11 Célula Silicio Monocristalino

Las principales ventajas son un rendimiento del 15% superior al de los otros tipos, buena relación Watio/m² y la mayor cantidad de fabricantes de paneles fotovoltaicos, ofreciendo un catálogo más amplio que en otros tipos.

3.1.4 Modelado del panel fotovoltaico

El modelado en Matlab-Simulink (M-S) tiene como objetivo aproximar a funciones matemáticas el comportamiento real de un panel fotovoltaico. Con la introducción de los datos de radiación solar y temperatura durante el crucero, junto con variables del fabricante para conseguir conocer la potencia y energía suministrada por un conjunto de los mismos. La mayoría de estos modelos desarrollados para el cálculo de dicha predicción requieren una cantidad de parámetros de entrada que no van a estar disponibles en la fase de diseño. Sin embargo el modelo de Widalys de Soto [14], sólo utilizaría cinco parámetros de entrada, y que además suelen ser facilitados por los propios fabricantes de paneles.

Dicho modelo ha sido validado datos experimentales del *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, donde se han realizado diferentes test para las cuatro tecnologías de células fotovoltaicas principales, obteniendo resultados más que aceptables, e incluso mejorando los obtenidos por otros modelos que requieren una mayor cantidad de información de parámetros de entrada.

3.1.5 Modelo de los 5 parámetros

La realización del modelo en M-S requiere tener en cuenta las ecuaciones expuestas en este punto. Estas se encuentran desarrolladas en la tesis de De Soto [14]. Sabiendo que el comportamiento de un Panel Fotovoltaico se puede simular con un circuito equivalente (Figura 12).

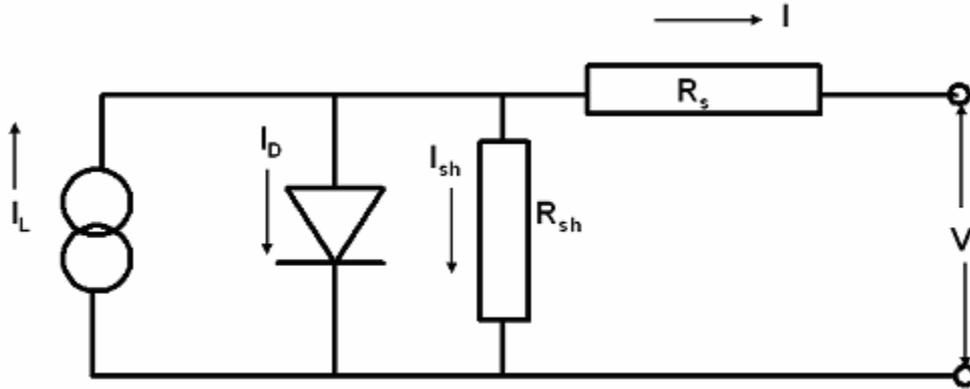


Figura 12 Circuito equivalente Modelo 5 parámetros. Tesis de “De Soto”

Con la ley de Kirchhoff se obtiene:

$$I = I_L - I_D - I_{sh} \quad (3.1)$$

Siendo I_L la intensidad que recorre el panel, I_D la intensidad que recorre el diodo, I_{sh} la intensidad de derivación e I la intensidad total.

Esta tesis además de simplificar las ecuaciones, hace que una vez estas estén creadas, solo se necesite introducir 5 variables que son normalmente datos que nos suministran los diversos fabricantes de paneles solares.

Despejando las intensidades (I_D e I_{sh}) se obtiene la ecuación de la intensidad total (2.2) y una vez obtenido este dato junto a la ecuación de potencia (2.3).

$$I = I_L - I_0 \left[e^{\frac{V+IR_s}{a}} - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (3.2)$$

$$P = V * I \quad (3.3)$$

Donde a es el factor ideal, I_L es la intensidad que recorre el panel, I_o es la intensidad de saturación inversa del diodo, R_s es la resistencia en serie y R_{sh} es la resistencia de la derivación.

3.1.6 Modelado en Matlab-Simulink

Una vez definidas las ecuaciones en las que se basará la modelización se procede a crear el modelo bajo el entorno de Simulink. En primer lugar se introducen las variables de entrada de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) Y de radiación (W/m^2). Ambas con datos reales durante un periodo equivalente al de una travesía.

Dichos datos entrarían en el modelo desarrollado con las ecuaciones anteriormente descritas, obteniendo a la salida el valor de la potencia generada por el panel fotovoltaico en cada instante de tiempo así como el valor para la energía obtenida durante toda la simulación.

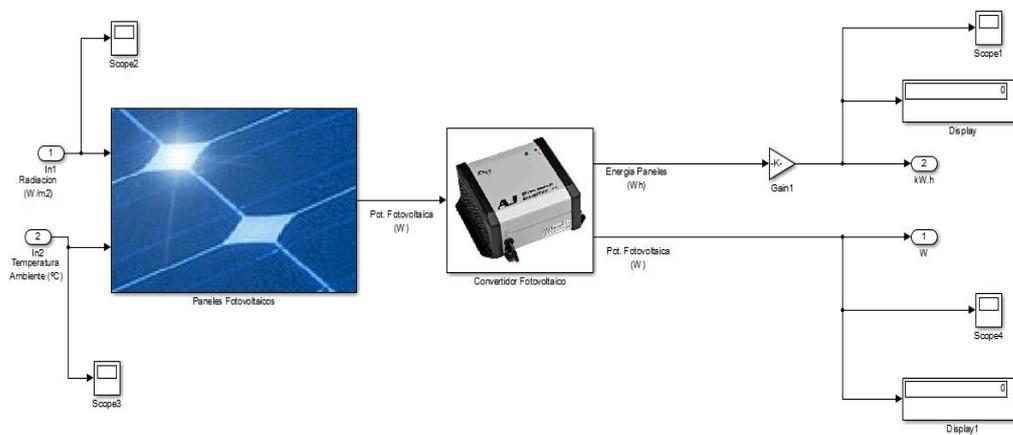


Figura 13 Esquema en M-S del panel solar

En la (Figura 13) se puede observar la aplicación del modelo basado en las ecuaciones propuestas por De Soto para la caracterización del panel fotovoltaico, utilizando los parámetros de la placa solar elegida y de la que se hablara en el siguiente apartado.

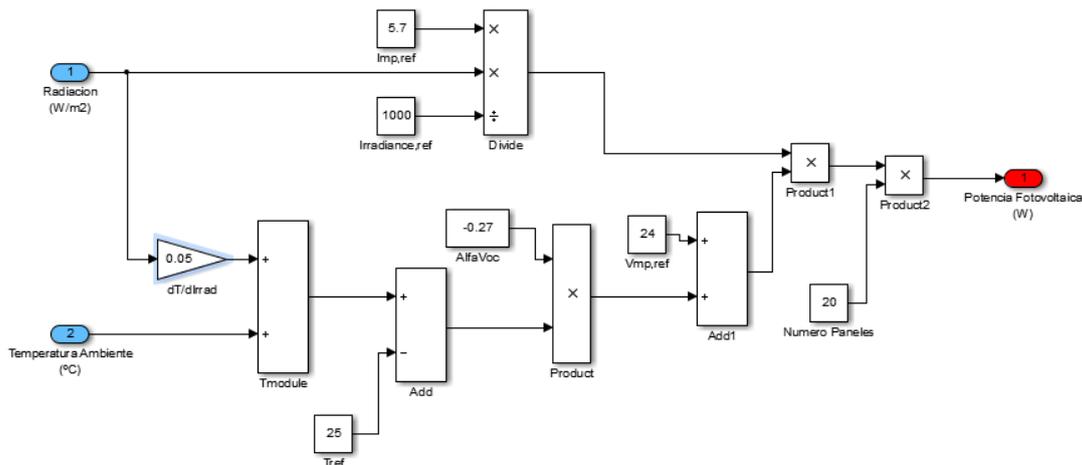


Figura 14 Dimensionamiento en M-S del panel solar

Se puede observar también que el número de paneles se puede alterar, junto con el resto de variables constantes propias de cada tipo de panel, el cual será mostrado en el siguiente apartado de esta sección.

En esta parte del subsistema la radiación solar y la temperatura se convierten en energía (Figura 14), esta salida entra en el convertidor de tensión que a su vez también es utilizado como contador de potencia para generar dos salidas de este sistema hacia el bloque general.

3.1.7 Selección del panel fotovoltaico

Tras un estudio de los diversos paneles existentes en el mercado, el modelo seleccionado para este estudio es el modelo de placa solar Solbian FLEX SP137 (Figura 15). Se trata de una placa pisable monocristalina y cuyas características principales se muestran resumidas en la (Tabla 1). La característica más importante para la elección de este modelo en particular, es que sea pisable. La zona donde se ubicarán serán los “tranvías” pequeñas elevaciones de altura sobre las cubiertas superiores del buque donde por una parte es la zona donde más se puede aprovechar la radiación solar debido a la mayor altura de la ubicación, como también por ser una zona menos transitada, solo utilizada cuando es necesario doblar la vela. Por eso aunque sea una zona de poco tránsito es necesario que tenga resistencia a un peso sobre ella para estos casos.

La fabricación de este tipo de panel solar está menos desarrollada que la de los de instalaciones en tierra y los convencionales, ya que estos, los pisables, tienen un menor campo de aplicación, a buques de pequeño porte o de vela, donde el aprovechamiento de la cubierta por parte de la dotación es máxima. Esto da lugar a un listado de fabricantes reducido en comparación con los que fabrican los convencionales. De entre estos pocos se ha optado por elegir la marca Solbian tanto como por búsquedas en internet de experiencias de usuarios que han resultado ser positivas, como también por ser los que mayores potencias aportan por panel. Otras características del panel pueden ser observadas en el Anexo (7.1).



Figura 15 Panel Solar FLEX SP137

Características Eléctricas	
Potencia de Pico	137 W
Voltaje de máxima potencia (Vmp)	24 V
Carga de máxima potencia (Imp)	5.7 A
Coefficiente de Temperatura (Voc)	-0.27%/°C
Coefficiente de Temperatura (Isc)	0.05%/C
Temperatura de Referencia	25°C
Características físicas	
Largo	1490 mm
Ancho	546 mm
Grosor	2 mm
Peso	2 kg
Número de celdas	44

Tabla 1 Características panel solar Solbian SP137

3.2 Energía eólica

Energía generada a partir del movimiento del viento, energía cinética, que es aprovechada para producir electricidad mediante los denominados aerogeneradores.

El aprovechamiento del viento por parte del ser humano data de los primeros pobladores que se deciden establecer en un lugar fijo y mediante la fuerza del viento generar artilugios capaz de aprovechar esa energía gratis que había en el ambiente, sobre todo en ejemplos tan claros como son los molinos, utilizados desde hace siglos para moler el grano y hacer harina.

Paralelamente en el Antiguo Egipto, se encuentran restos de los primeros barcos que aprovechaban el viento, usando velas que aprovechaban el viento reinante en la zona del Nilo para hacer navegar a través de sus aguas.

Se puede concluir que el viento siempre ha sido utilizado por parte del ser humano y en las últimas décadas, el progreso y la necesidad de buscar fuentes de energía alternativa no dependiente de los residuos fósiles, han dado a la invención de las turbinas eólicas modernas.

Los primeros fabricantes de estas turbinas fueron Kuriant, Bonus y Vestas entre otros, y sus primeros generadores quedan muy lejos en cuanto potencia generada comparada con los actuales. Desde 2001 existe en la ciudad alemana de Bonn la *World Wind Energy Association* (WWEA). Ideada en su creación en Dinamarca como una organización que intenta integrar en los países el uso de esta energía. Actualmente casi un centenar de países cuentan ya con campos eólicos. Con una generación al alza del orden de cientos de MW según estudios de 2011 [15].

3.2.1 Principio de funcionamiento

La energía del viento es usada para el movimiento del rotor que gira. Los principales factores que afectan a la hora de medir la potencia del viento son la velocidad del viento (v), la densidad del aire (ρ), área en la que actúa el viento (a^2).

A partir de la fórmula para la energía cinética, obtenemos la potencia:

$$P = \frac{1}{2} \rho a v^3 \quad (3.4)$$

Considerando que el viento no es constante tanto en tiempo como en intensidad, las características se aproximan a una distribución de Weibull (Figura 16).

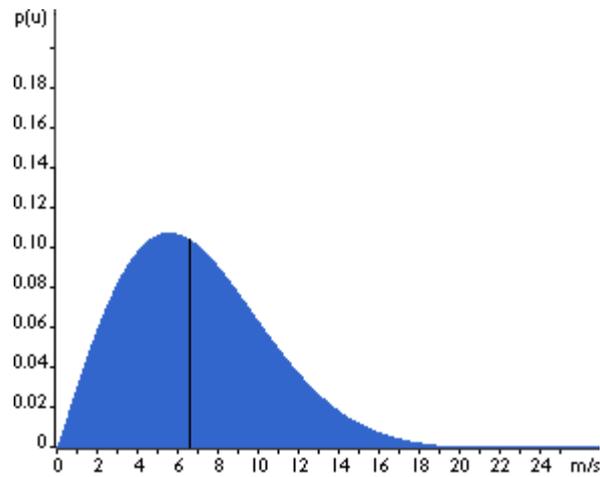


Figura 16 Distribución viento modelo de Weibull⁴

También usando la ley de Betz [16] que nos muestra que no podemos sacar más de un 59% de la energía del viento tal y como se muestran en la (Figura 17).

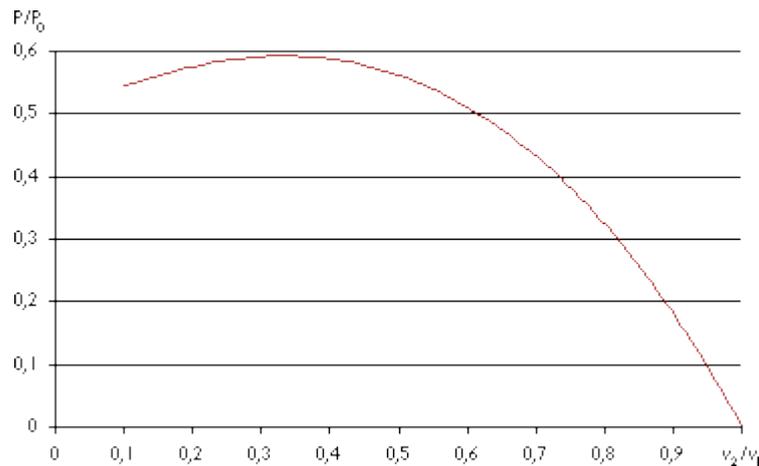


Figura 17 Modelo de Betz

Con ambas consideraciones los fabricantes de aerogeneradores muestran un gráfico de potencia frente a velocidad, para facilitar a los compradores y usuarios el uso y el régimen de trabajo de sus productos. En este gráfico es, entre otras consideraciones, en el que se basará la elección un determinado generador (Figura 18).

⁴ Windpower.org

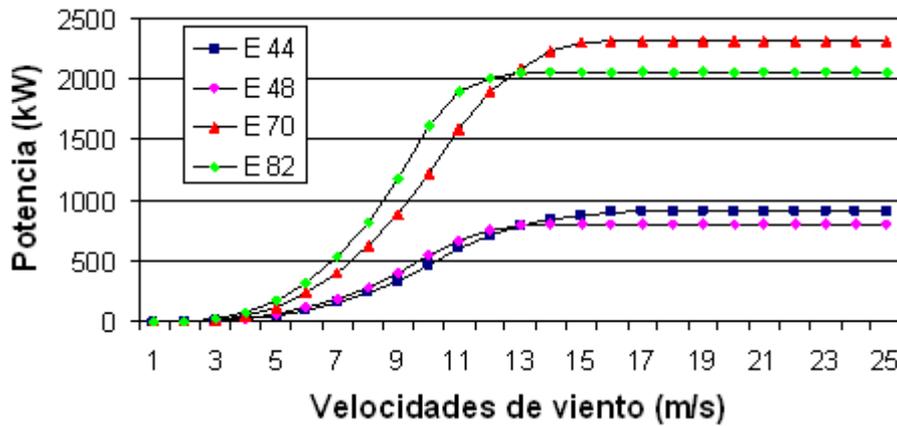


Figura 18 Gráfica de diferentes tipos de generador⁵

En cuanto a la generación de energía eléctrica las palas unidas en su parte central al rotor hacen girar al mismo, y este excita el estator que es donde se produce el cambio de energía a eléctrica. Desde ahí la corriente eléctrica generada es llevada mediante cables a baterías o es vertida a la red.

3.2.2 Tipos

Existen principalmente dos tipos de aerogeneradores clasificándolos con respecto a su eje de giro (Figura 19).

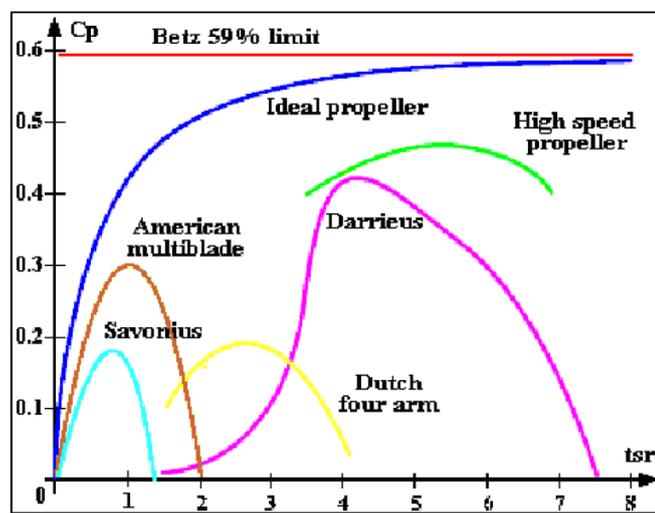


Figura 19 Rendimiento diferentes tipos aerogeneradores⁶

⁵ <http://scielo.sld.cu/img/revistas/im/v13n3/f0306310.gif>

⁶ <http://www.fieldlines.com/index.php?topic=143612.0>

3.2.3 Aerogenerador de eje horizontal.

Son los cuales en los que el eje de rotación es paralelo al suelo (Figura 20). Estos son los más utilizados debido a su fiabilidad y capacidad para adaptarse a distintas potencias.



Figura 20 Aerogenerador de eje horizontal

En estos momentos los mayores rendimientos de aprovechamiento giran en torno a un 0.8 del límite de Betz, anteriormente explicado. Todo este tipo de aerogeneradores trabajan entro dos velocidades, una baja y una alta, llamadas velocidad de conexión y velocidad de corte, respectivamente. Siendo en la primera cuando se empieza a generar energía eléctrica y la segunda cuando el sistema cortaría la alimentación para evitar problemas tanto en la red eléctrica como en la propia estructura de la instalación.

3.2.4 Aerogeneradores de eje vertical.

Son los que el eje de rotación es perpendicular al suelo. Encontrándolos nombrados en muchas ocasiones (VAWT) en inglés [17].

Estos aerogeneradores de más escasa implantación que los de eje horizontal, presentan una serie de ventajas notables con respecto a esos, también en el caso de nuestra instalación, como son por ejemplo:

- Más cercanía entre ellos, ya que no generan el frenado del viento al pasar por ellos como en el caso de los de eje horizontal.
- No necesitan ser orientables a la dirección predominante del viento.
- No necesitan corrientes de aire tan fuertes como las que se dan a grandes alturas por lo que pueden ser instalados cerca del suelo.
- Más fácil mantenimiento tanto en mano de obra, debido al punto anterior, como en componentes ya que hay menos partes móviles que generen fricción
- Silenciosos.

Por otra parte también existen desventajas:

- Menos rendimiento.
- Más caros.

- Tendencia a deformaciones de las palas con fuertes vientos.

3.2.5 Rotor Savonius

El rotor Savonius (Figura 21) fue inventado por el ingeniero finlandés del mismo nombre en 1922. Este tipo de turbina es muy simple. Lo que da como resultado que sea más robusta frente a turbulencias y pueda aprovechar mejor los vientos de menor intensidad. Esto ha hecho que sea de las más fáciles de usar y más económicas.

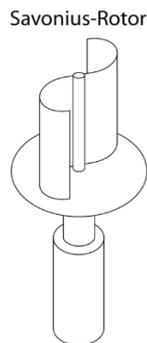


Figura 21 Rotor Savonius

Con respecto a la potencia generada con un rotor Savonius se puede calcular con la fórmula en (W) (Figura 22).

$$P_{MÁX} = 0.18h\phi v^3 \quad (3.5)^7$$

Siendo, h, la altura en (m), ϕ el diámetro en (m) y v^3 la velocidad del viento en (m/s) y el factor 0,18 (kg/m^2).

⁷ Le Gourières, D.: Énergie Eolienne. Théorie, conception et calcul pratique des installations. Paris, Editions Eyrolles, 1980

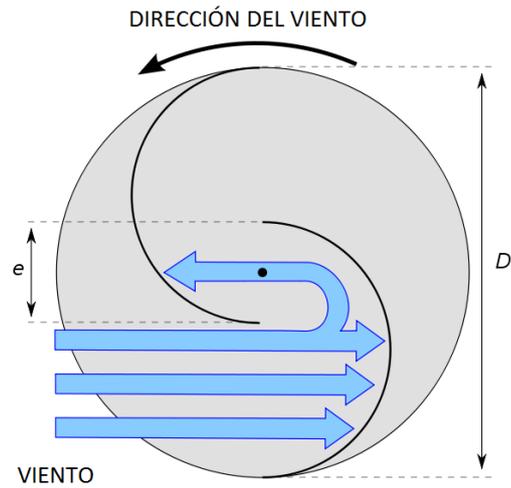


Figura 22 Esquema de giro de un rotor Savonius

Para calcular la velocidad de giro en (rpm) se usa la siguiente ecuación:

$$n = \frac{(60\lambda v)}{\pi\phi} \quad (3.6)$$

Siendo:

- λ , velocidad específica eólica en un rotor Savonius aprox a 1
- v , velocidad el viento m/s
- ϕ , diámetro del rotor en m

3.2.6 Modelo

El modelaje del aerogenerador está diseñado también con M-S (Figura 23) y tiene también dos salidas una en potencia (W) y en energía (Wh) que va a un contador donde se suman el total de las 3 energías.

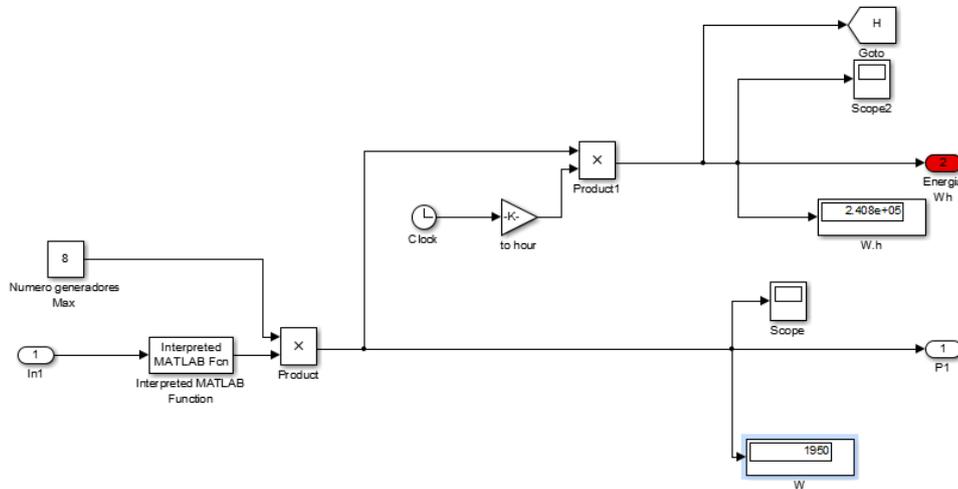


Figura 23 Modelo Aerogenerador en M-S

En este esquema se muestra la modelización en M-S de un hidrogenerador genérico, donde se puede variar el número de los mismos solamente modificando la variable. Esta función se extrae de la curva (P-v) que proporciona el fabricante del aerogenerador. La caracterización y la conversión a polinomio fue hecha en la página (WebPlotDigitizer) de donde se sacaron los puntos y con la función (CFTool) de Matlab se generó una ecuación que se aproximara a la curva. Es esta la que se muestra como la curva generada por un polinomio en M-S se aproxima a la real dada por el fabricante (Figura 24).

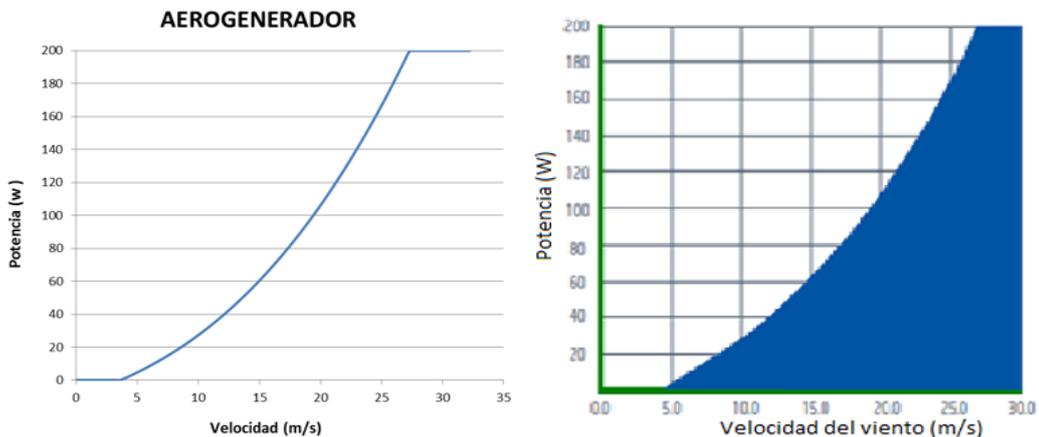


Figura 24 Comparativa gráfica modelizada y gráfica del fabricante

En el siguiente punto se muestra el tipo de aerogenerador elegido y la curva suministrada por la empresa. Todo esto hace que se pueda cambiar fácilmente tanto el número de aerogeneradores como el modelo del mismo.

3.2.7 Selección del aerogenerador

El aerogenerador elegido es Leading Edge (LE-V150) (Figura 25), un aerogenerador de eje vertical Savonius. La elección atiende a una serie de factores y razones.

La primera y más importante respecto al buque. La imagen en el J.S. Elcano juega un papel determinante en su papel de embajador español flotante, y este modelo es el que menos impacto visual genera, sobre todo comparándolo con uno de eje horizontal. También, ya que es un barco de vela, un generador de eje horizontal solamente podría ponerse en el tope de los palos, minimizando así el número de ellos a 4, ya que molestaría a la maniobra y podría enredarse con algún cabo o cable del buque, haciéndolo a su vez peligroso por esta razón.

Esto permitirá instalar el LE-V150 en más lugares a lo largo del barco donde su forma y tamaño discreto no llame la atención ni provoque accidentes.

En otro ámbito, en el de eficiencia. Esta clase de generadores de eje vertical son más robustos ya que el número de piezas móviles es menor, lo cual aumenta el riesgo de sufrir una avería. Esto en un crucero que dura de media 6 meses, haría más difícil la reparación durante el desarrollo de este.

Por otra parte además de la robustez y el mantenimiento, existe el tema de la generación. Los generadores de eje vertical necesitan mucha menos velocidad del viento para empezar a funcionar que los de eje horizontal. Por lo que en intervalos donde el viento sea casi inexistente como en casos en los que se navegue cerca del ecuador, hace de esta elección la más adecuada, además puede recibir el viento prácticamente de los 360° por lo que no es necesario variar su orientación una vez instalado.

La empresa L-E es de las pocas que cuenta en su catálogo con generadores Savonius Anexo(7.2), además de ser la que su generador proporciona mayor potencia, se ha decidido elegir él LE-V150.

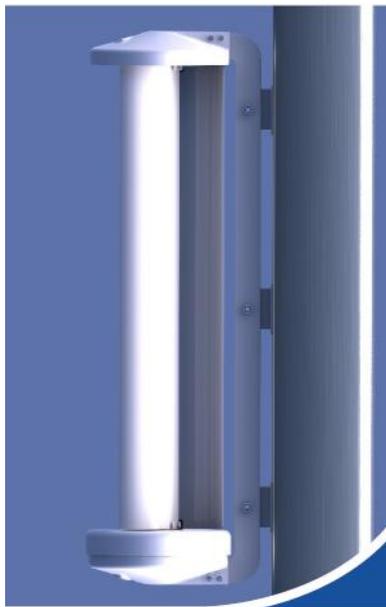


Figura 25 Aerogenerador LE-V150

3.3 Hidrogeneración

En el caso del aprovechamiento del agua, también data de la misma época aproximadamente que el aprovechamiento del viento sobre todo en molinos de agua. Estos aprovechaban la velocidad del agua en algunos tramos de río para mover las palas y mediante engranajes moler el grano para sacar harina.

Durante el s.XIX mucho antes que en el caso de la autogeneración, se inventó la turbina de agua que normalmente instalada en grandes presas aprovechaba la energía cinética del agua para mover el rotor de la turbina y excitando el estator se generaba energía eléctrica que se vertía a la red.

Este campo siguió experimentando un gran avance desde su introducción, siendo durante el s.XX uno de los grandes logros en cada país ya que mostraba a la opinión general el alto nivel de desarrollo de los países que la construían.

La potencia también fue aumentando también a lo largo de los años, hasta llegar en nuestro siglo a cotas colosales como es el caso de la Presa de las Tres Gargantas en China que produce 22500MW [18](Figura 26).



Figura 26 Presa de las Tres Gargantas

Por otra parte pese al gran desenvolvimiento de esa tecnología en tierra firme, en la mar no ha tenido tanta implantación hasta los últimos años. Aunque hay ejemplos de boyas con turbinas submarinas en el mar del Norte que aprovechan las grandes corrientes que ahí se generan, y por otra parte hace pocos años se instaló en Brasil [19] la primera planta eléctrica que genera electricidad gracias a la fuerza de las olas (Figura 27).



Figura 27 Generador eléctrico por olas

Como último caso y el más particular e importante para el tema que ocupa este proyecto, la generación de energía eléctrica en buques ha sido muy escasa debido principalmente a que el aprovechamiento de la energía cinéticas del movimiento relativo buque-mar, frenaría el avance del buque y se desperdiciaría la energía gastada en el movimiento para generar más energía. Además teniendo en cuenta la gran diferencia de magnitudes de la energía producida por un motor de combustión interna a uno eléctrico hace que esta tecnología no haya despegado.

El resultado es que pocas empresas hayan optado por investigar en este campo, aunque hay algunas que han construido algunos hidrogeneradores de pequeño tamaño especialmente diseñados para buques de vela, que aunque de pequeñas potencias, también tienen pequeño tamaño y poca resistencia al avance del buque, por lo cual son instalados para poder cargar baterías a lo largo de las travesías.

3.3.1 Funcionamiento

La fórmula para el cálculo de la potencia de un hidrogenerador es la siguiente:

$$P = \eta \rho g h \vartheta \quad (3.7)$$

Siendo η la eficiencia de la turbina, ρ la densidad del agua, g es la celeración de la gravedad, h , la diferencia de la altura del agua y ϑ el flujo volumétrico.

Con esta fórmula y basándose en pruebas experimentales las empresas fabricantes crean una gráfica Potencia-velocidad del buque, en la que muestran las potencias que son capaces de generar (Figura 28).

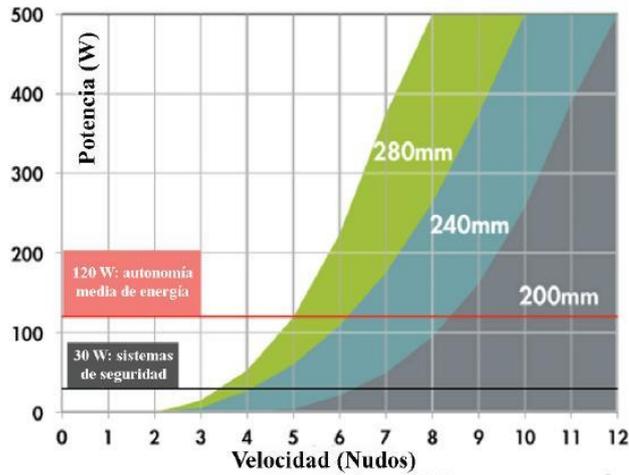


Figura 28 Modelo gráfica Potencia-velocidades Watt&Sea

3.3.2 Modelo

El modelo del hidrogenerador (Figura 29) se realizó de la misma forma que el del aerogenerador, entrando en este caso la variable de la velocidad del buque, el número modificable del número de unidades que se instalarán y una función realizada en el script de Matlab. La ecuación polinómica se aproxima al comportamiento real propuesto por el fabricante del componente (Figura 30).

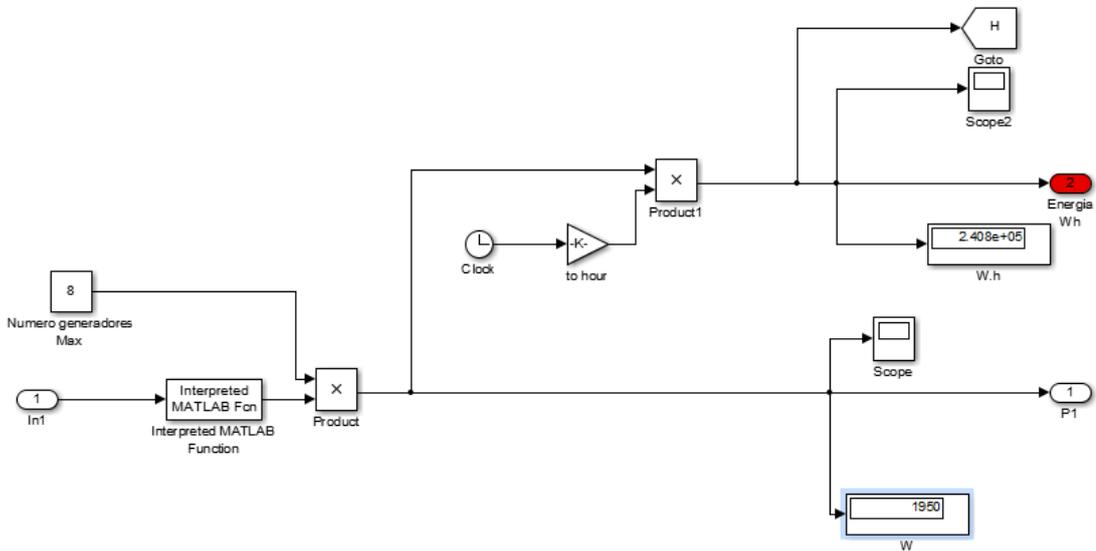


Figura 29 Modelo Hidrogenerador en M-S

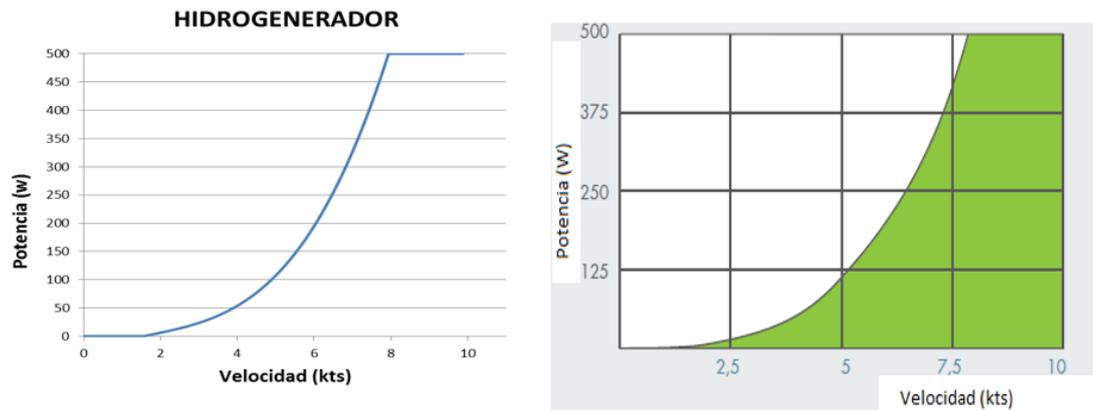


Figura 30 Comparativa gráfica modelizada y gráfica del fabricante

Las salidas serán dos, una de Potencia en (W) y una de Energía (Wh) que irá hacia un contador explicado más en profundidad en el apartado “Modelo Completo”.

El modelo de hidrogenerador será explicado más en profundidad en el siguiente apartado, aunque el modelaje de la interfaz M-S permite el fácil intercambio en caso de nuevas versiones o diferentes modelos que puedan salir en el futuro.

3.3.3 Selección del hidrogenerador

Como ya se ha explicado en subapartados anteriores, la generación marina no se ha desarrollado tanto como la ubicada en tierra o es estática en la mar. Esto es debido principalmente a la resistencia al avance propio de cada objeto que se introduce en la obra viva de un buque y frena la velocidad de avance.

Esto lleva a la realidad de que pocas empresas fabrican hidrogeneradores, y estos principalmente son de pequeño tamaño, para de esta manera minimizar la resistencia al avance y proporcionar la potencia necesaria para suministrar electricidad a los sistemas del barco.

En este caso el componente elegido es el Cruising de la compañía Watt&Sea Anexo(7.3). Esta compañía fabrica dos modelos, el Crusing, y el Raicing. La decantación por el Cruising es que sencillamente ofrece mayor potencia a velocidades bajas de crucero, como las que mantiene el Elcano de una media de 5,5 nudos durante el crucero. Además otra ventaja que proporciona este hidrogenerador es la posibilidad de abatirlos cuando el usuario disponga, en caso por ejemplo que se esté navegando a motor y se decida reducir la resistencia al avance.

La principal ventaja que ofrece el hidrogenerador, (Figura 31) es que debido a la navegación del Elcano, siguiendo rutas de vela y aprovechando las corrientes que circulan por los mares y océanos, se vería ayudado por estos factores y pese a reducir un poco la velocidad, se podría estar generando electricidad de manera gratuita.



Figura 31 Hidrogenerador Watt&Sea Cruising

3.4 Baterías

Se trata de un dispositivo formado por una serie de celdas electroquímicas que son capaces de transformar energía química en eléctrica (Figura 32). Cada celda consta de un ánodo, cátodo y electrodo que hacen que los iones puedan circular fácilmente entre estos polos, consiguiendo así que la carga fluya en una dirección. Su inventor fue el italiano A.Volta en el año 1800. Desde esa época se ha avanzado mucho en este campo ya que resulta muy importante el poder almacenar electricidad lejos de su fuente o en carencia de esta por un periodo más o menos prolongado de tiempo.

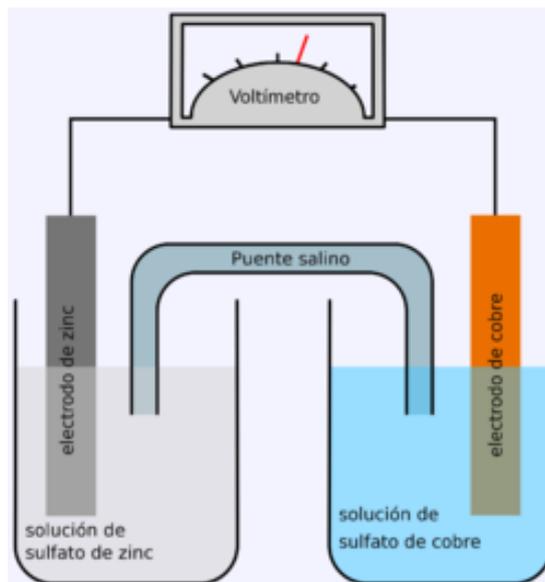


Figura 32 Esquema de una Batería básica

En la actualidad existen diferentes tipos de los que cabe destacar: las de plomo, níquel-cadmio, polímero litio, litio-ión, níquel-hierro, como las más comunes. En la siguiente tabla se muestra las características principales de este tipo de baterías (Tabla 2)⁸.

Parámetro	Ni-Cd	Ni-Mh	Plomo-Ácido	LiFePO ₄
Voltaje de Trabajo	1.2	12	2.1	3.2
Densidad energética por peso (Wh/kg)	30 - 50	50 – 80	40	120
Densidad energética por volumen (Wh/l)	150	200	70	210
Ciclos completos de vida	500	500	400	2000
Precio(\$/Wh)	1	2	0.4 – 0.6	0.25 – 0.4
Impacto Medioambiental	Venenosos	Poco venenosos	Venenosos	Seguro
Seguridad	Excelente	Bueno	Muy Bueno	Excelente

Tabla 2 Comparativa de tipos de baterías

Debido a las varias ventajas que se muestran en las tablas con relación a las otras se elegirá para el modelo, trabajar con una batería LiFePO₄ [20].

Para calcular esto se simulará en M-S con las siguientes fórmulas y otros datos obtenidos del fabricante, que se explican en el siguiente punto.

$$Q = It_{(en\ horas)} \text{ en C} \quad (3.9)$$

Siendo I la intensidad y t el tiempo en horas.

$$W = Pt \text{ en W.h} \quad (3.10)$$

Siendo P la potencia y h el tiempo en horas.

⁸ <http://www.plenergy.ca/>

3.4.1 Modelo

En este caso la elección de las variables del modelo y sus cálculos, y constantes están basados en estudios previos [8]. La batería será cargada por los sistemas generadores de energías renovables que tendrá el buque. El comportamiento de la batería se ha simulado con un circuito equivalente. La tensión de circuito abierto (OCV) estará afectada por la Resistencia interna (R_i) del circuito calculado y la profundidad de descarga de la batería (SoC). En el caso de esta clase de batería se puede asumir que este valor es constante.

Para calcular la capacidad de la batería en culombios (C) se usará la ecuación de Peukert:

$$C_p = T_{des} I_{des}^k \quad (3.11)$$

Donde T_{des} es el tiempo de descarga, I_{des} es la intensidad de descarga y k es el coeficiente de Peukert

A través de cálculos experimentales, para este tipo de batería se sabe que el Coeficiente de Peukert es $k= 1.056$ y la resistencia interna es $R_{int} = 0.011\Omega$.

A continuación se muestran capturas de pantalla de M-S donde se muestran las funciones utilizadas y como se ha modelizado la batería.

3.4.2 Selección de la batería

La elección de este elemento va a estar limitada por un factor determinante como es el tamaño. Por ello se ha seleccionado una batería de gran capacidad, la TB-48260F (Figura 33) de la empresa TOPBAND (Tabla 3) con una tensión de trabajo de 50V y una capacidad de 260Ah. Para más información Anexo(7.4).



Figura 33 Batería TOPBAND⁹

Especificaciones técnicas TB-48260F	
Voltaje Nominal	51,2 V
Capacidad	260 Ah
Rango de voltaje de trabajo	32V – 58.4 V
Largo	1430 mm
Ancho	455 mm
Altura	358 mm
Peso	195 Kg
Vida útil	2000 ciclos

Tabla 3 Características Batería TB-48260F

⁹ http://tp-energy.en.alibaba.com/product/849960375-212564515/48V_golf_cart_lifepo4_battery_260Ah_TB_48260F.html

3.5 Generadores y Auxiliares (Grupo electrógeno)

3.5.1 Introducción

El grupo electrógeno (Figura 34) se basa básicamente en el uso conjunto de un motor de combustión interna. Principalmente diésel por ofrecer mejores características que el de gasolina, que genera unas revoluciones en un rotor que excita las bobinas en el alternador del estator y genera corriente eléctrica que es la que se vierte al cuadro o elemento de consumo.

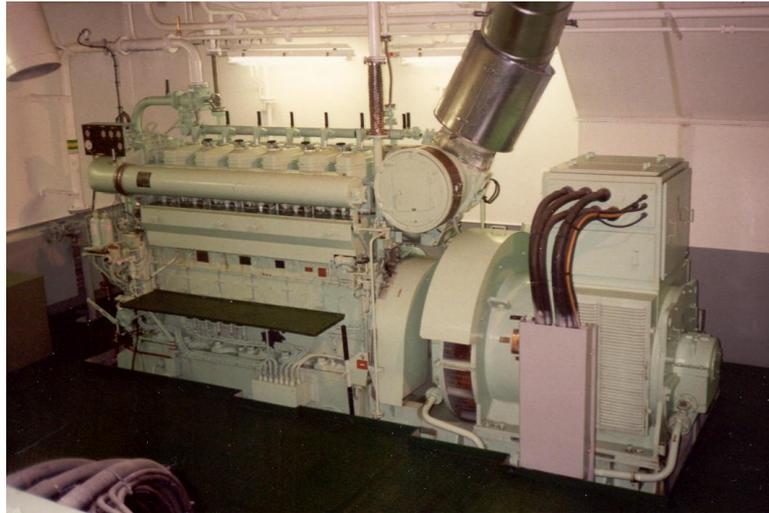


Figura 34 Grupo electrógeno de un barco

Es principalmente utilizado en lugares donde no es accesible el consumo de la red eléctrica (lugares aislados como montañas o zonas desérticas), en lugares de necesidad temporal de la red eléctrica (emergencias, campamentos temporales), en ciertos lugares en los que es necesario tenerlos como generadores eléctricos de emergencia en el caso de que falle la red (hospitales, cárceles) y sobre todo en el caso que se trata en este estudio en un buque de guerra, donde se aúnan varias de estas circunstancias.



Figura 35 Despiece motor eléctrico y Esquema

La inducción (Figura 35) sigue el comportamiento descrito por la ley de Lenz con la ecuación:

$$\Phi = B * S \cos \alpha \quad (3.12)$$

Siendo Φ = Flujo magnético en (Wb), B es la inducción magnética en (T), S es la superficie (m^2) y α es el ángulo vector S perpendicular a la superficie definida por el conductor y la dirección del campo.

Los principales componentes son el motor eléctrico y el alternador. El resto de elementos son necesarios para el buen funcionamiento de ambos y son expuestos en los respectivos anexos y documentación de referencia.

El buque dispone de 3 grupos electrógenos ubicados 2 en la cámara de máquinas y uno en el local del servo. El motor de combustión interna es el MAN modelo 2840 LE [21], refrigerado por agua, de 4 tiempos y 10 cilindros en V y el alternador es un LEROY SOMER, modelo LSAM 471L9,[22]que genera una potencia de salida de 301 (KW).

3.5.2 Modelo

El modelado de ambos se crea también en M-S (Figura 36) usando consumos a plena carga en la salida de potencia de los alternadores. Las constantes introducidas son:

- Energía calorífica de Diésel = 43,1 MJ/kg
- Consumo MOTOR MAN_{a plena carga} = 110l/hr [23] [24]
- Potencia Alternador= 301kW

Además se pueden seleccionar el número de los motores que se quieran poner en funcionamiento.

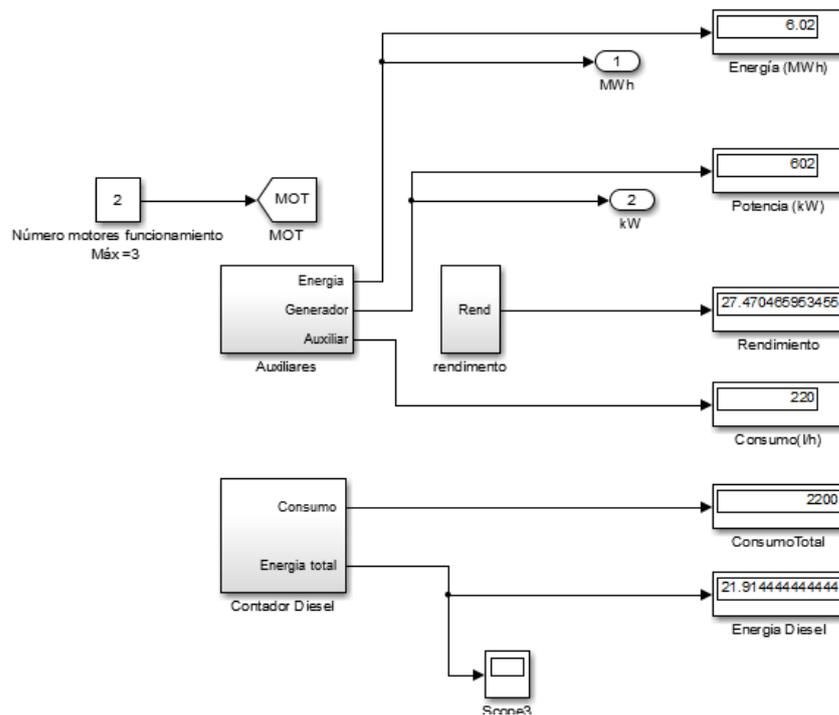


Figura 36 Esquema en M-S de consumos, potencias y energías del buque

Dando en esta presentación general se muestran los display en orden descendiente:

- Energía de salida de los alternadores en MWh
- Potencia de salida de los alternadores (kW)
- El rendimiento del grupo electrógeno (%)
- Consumo instantáneo de combustible (litros)
- Consumo total en (litros)
- Energía diésel producida (MWh)

3.6 Cuadro eléctrico de demanda

El cuadro eléctrico de demanda es el que en estos momentos posee el B.E. Juan Sebastián de Elcano. La ubicación se halla en la Cámara de Control de Máquinas compuestos por tres cuadros principales que son los que proporcionan la energía a todos los equipos y sistemas del buque.

A través de la tabla del Manual del buque se conoce que la potencia máxima requerida para los equipos es de 190kW basado en cálculos realizados en este proyecto e informados por el buque. El cuadro también ha sido simulado en M-S, con lo que podemos también variar diferentes configuraciones.

3.6.1 Modelo

El modelo está basado en los datos del Manual de Máquinas del Elcano [22] lo que se ha realizado en este caso es separar los elementos en tres necesidades. Vitales, Semi-Vitales y No vitales según el criterio del buque (Figura 37).

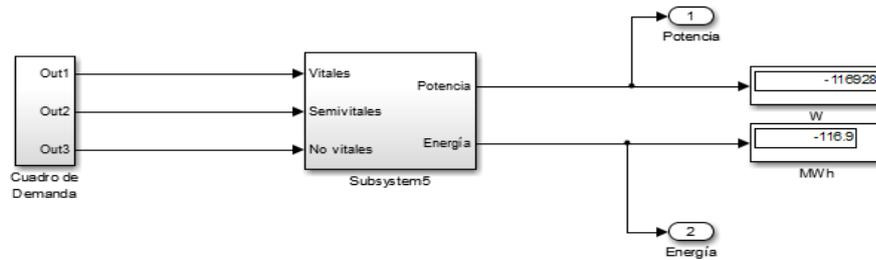


Figura 37 Cuadro de Consumo en M-S

Se puede ver en la figura la potencia de salida y la energía que genera el sistema. El signo negativo es para asociar a un elemento de gasto.

3.7 Modelo Global

El modelo global consiste en el uso de todos los modelos desarrollados en anteriores puntos, de forma que sus datos estén directamente relacionados y muestren un resultado global más cercano a la realidad. Desde aquí se pueden variar los parámetros de entrada y poder analizar diferentes partes de modelo sobre un gran número de hipótesis que se puedan plantear.

Por esa razón y por el limitado tiempo del que se dispone para la realización del proyecto, se han seleccionado 3 estudios con diferentes hipótesis de partida para analizar y poder extraer conclusiones.

Del modelo destacan los diferentes subsistemas que son: Energías Renovables, Grupo Electrónico, Cuadro de Demanda y Batería. Estos subsistemas permiten usarlos individual, parcial o totalmente para crear diferentes casos.

3.7.1 Instalación y número de generadores de ER

Debido a la gran demanda de energía requerida por el buque en su planta eléctrica es necesario instalar un gran número de generadores de ER. Aunque sin olvidar lo expuesto en puntos anteriores sobre la necesidad de que el buque necesita mantener su buena imagen. Por tanto la situación y número de componentes a instalar tiene que ser comedido y bien ubicado. También hay que tener en cuenta a la hora de la ubicación, la instalación en lugares que no entorpezcan la maniobra ni afecten a la habitabilidad de la dotación.

3.7.2 Paneles Solares

La ubicación de los mismos será en los denominados tranvías principalmente por dos razones:

1ª Son las zonas planas más altas del buque y de esta manera reciben mayor incidencia solar.

2ª Son zonas de escaso tránsito cotidiano por parte de la dotación, solamente durante las maniobras de plegado de velas. Esto da lugar a que el desgaste de los paneles sea menor.



Figura 38 Tranvía a Proa del Puente

La superficie aproximada de los tranvías (Figura 38) es de 20m^2 . Debido a la forma de los propios tranvías y elementos de maniobra y seguridad ubicados en ellos se utilizarán un total de 20 paneles que dan una superficie aproximada de 15 m^2 con lo que existe margen para la correcta ubicación de los mismos.

3.7.3 Aerogeneradores

La forma de los aerogeneradores LE-V150 permite ubicarlos en diferentes zonas del buque. Para esta simulación se utilizarán un total de 18 (Tabla 4)

Ubicación	Número
MESANA	2
MAYOR POPEL	2
MAYOR PROEL	2
TRINQUETE	2
PUENTE DE GOBIERNO	4
CASTILLO	2
TOLDILLA	2
ACCESO ZONA OFICIALES	2

Tabla 4 Ubicación y Cantidad de Aerogeneradores

Siendo todas ellas zonas abiertas las cuales no afectan a la maniobra del buque, ni a la imagen ni a la habitabilidad de la dotación.

3.7.4 Hidrogeneradores

Estos serán ubicados a lo largo de la obra viva del buque en las zonas más lejanas a crujía en ambas bandas. También se situará un número de ellos en la popa. En esta zona se dejará una distancia suficiente para que los aerogeneradores puedan trabajar en condiciones favorables. También estas zonas cerca de los laterales del buque permiten más fácilmente el mantenimiento o supervisión de los mismos, pudiéndolos izar, en caso de que no se quieran utilizar, con mayor facilidad.

Para esta simulación se utilizará un número de 12 hidrogeneradores (Tabla 5).

Ubicación	Número
Banda de Babor	4
Banda de Estribor	4
Popa	4

Tabla 5 Ubicación y Cantidad de Aerogeneradores

4 SIMULACIÓN

4.1 Consideraciones previas a la simulación.

Durante la realización de este proyecto, una vez dimensionadas todas las entradas y componentes que influyen en la planta de generación eléctrica del buque se puede observar (Figura 39) que la diferencia entre la potencia generada por el conjunto de ER es en varios órdenes de magnitud menor que el de la potencia producida por el grupo electrógeno.

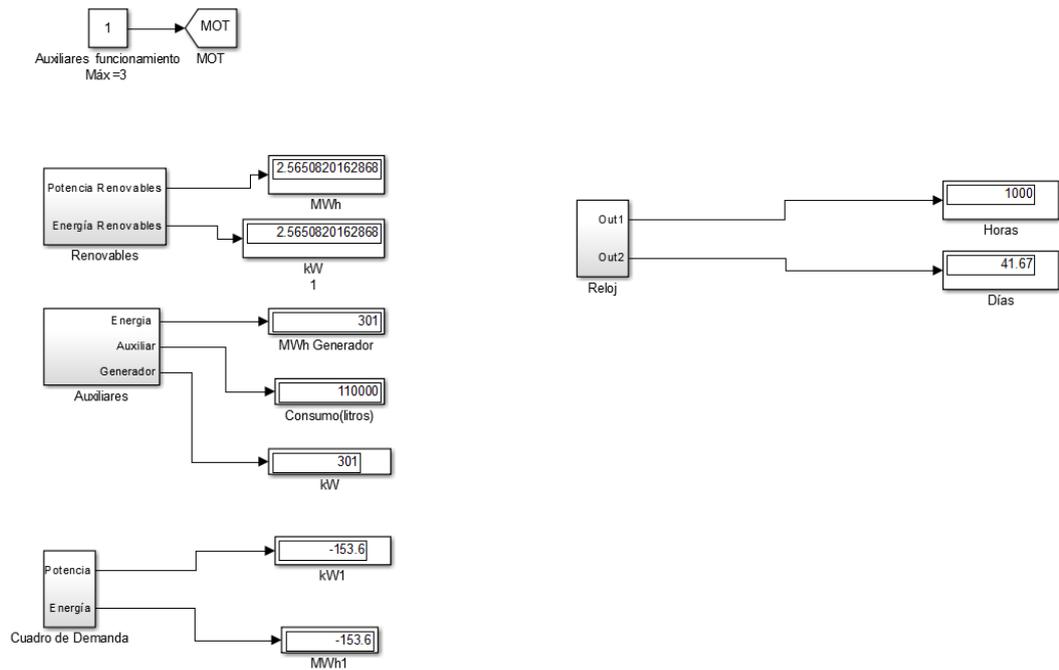


Figura 39 Comparativas Producción y Consumo de energía

Durante la ejecución del proyecto se decidió asumir objetivos más reales y que ofrezcan conclusiones más tangibles. Esta es la razón por la cual se han elegido 3 casos que puedan ser considerados de interés.

4.2 Caso 1

4.2.1 Variables de entrada

Este primer caso trata del estudio de la dimensionalización de las baterías para proveer al buque de la potencia necesaria para mantener en funcionamiento los equipos vitales durante un periodo de 12 horas.

Este tiempo es escogido por ser un periodo en el cual pueda estar ocurriendo una emergencia, durante el cual mientras se subsana la incidencia el grupo de baterías pueda estar alimentando al buque.

Para ello se introducirá en M-S la potencia demandada por los equipos vitales en un periodo de 12 horas (43200 s) y se elegirá un determinado grupo de baterías de LiFePO₄ adecuado para esta necesidad.

4.2.2 Simulación

Para este caso se ha puesto de variables de entrada la Potencia que generan los equipos vitales, durante el periodo determinado de 12 horas a descargar la batería. También se han decidido introducir las ER para que ralentizara la descarga al máximo de la batería.

Se han probado varias posibles baterías durante esta simulación siendo la elegida la puesta en el punto 3.4.2 de este trabajo (Figura 40).

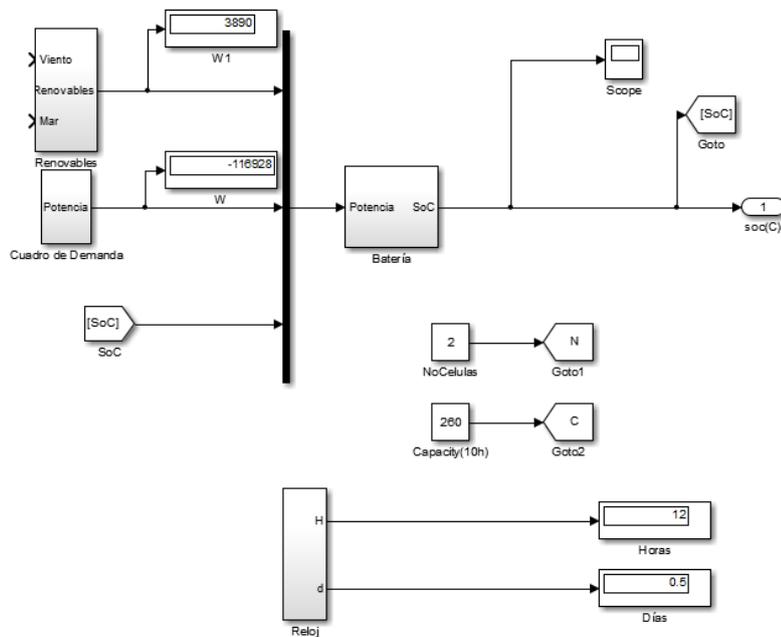


Figura 40 Simulación Caso 1

4.2.3 Resultados y Análisis

Para este caso es necesaria la instalación de 2 bloques de una capacidad de 260Ah en paralelo y 4 en serie siendo un total de 8 baterías del modelo anteriormente seleccionado.

Como nos muestra la gráfica (Figura 41), durante este periodo la batería sería completamente descargada en este intervalo de 12h.

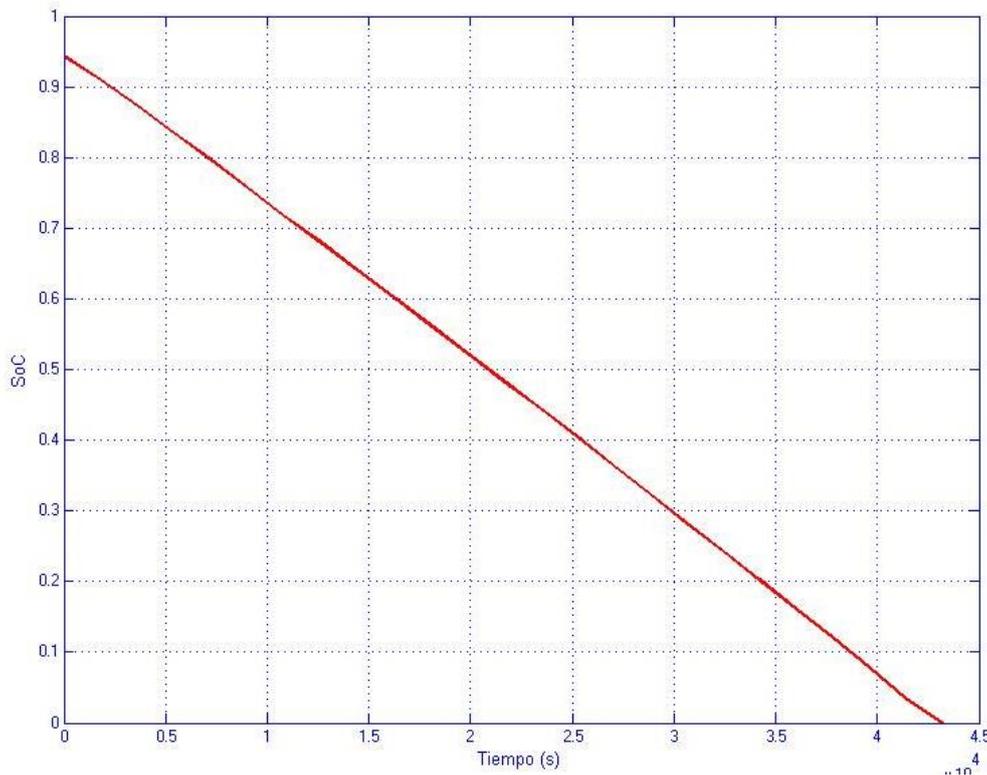


Figura 41 Resultado Descarga-Tiempo

4.3 Caso 2

4.3.1 Variables de entrada

En este segundo caso se estudiará el tiempo en el que las ER son capaces de cargar las baterías necesarias en el punto anterior. Para este caso las variables de viento, mar, temperatura y radiación solar han sido suministradas por el Buque Escuela Juan Sebastián de Elcano tomadas durante el Crucero de Instrucción LXXXV e introducidos estos datos en una variable random del simulink que simula el comportamiento del buque durante la travesía.

4.3.2 Simulación

Para este segundo caso se retira del sistema la entrada de consumo y se simula, hasta que el SoC (*State of Charge*) estado de carga de la batería llega a 1 y queda cargada (Figura 42).

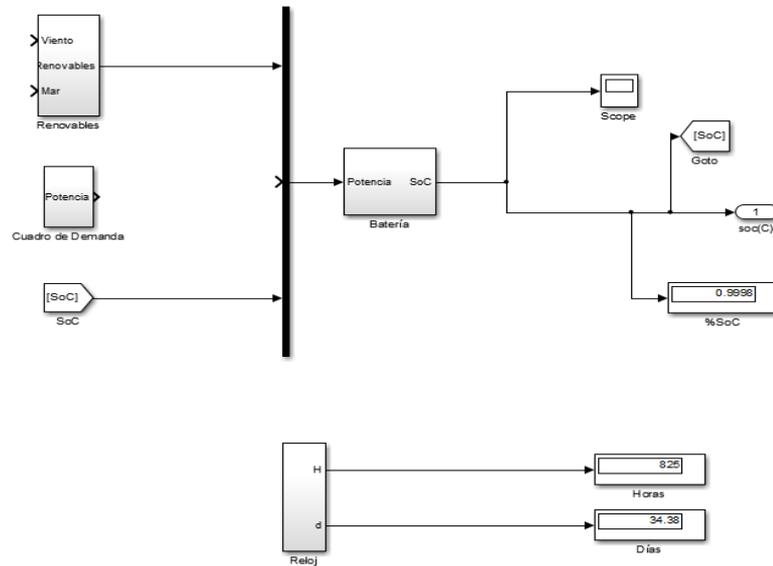


Figura 42 Simulación Caso 2

4.3.3 Resultados y Análisis

Para conseguir cargar completamente la batería se necesitan un total de 34 días y medio (3×10^6 s). En las siguientes gráficas se muestra la carga de la batería respecto del tiempo (Figura 43) y un histórico de potencia de ER respecto a tiempo (Figura 44).

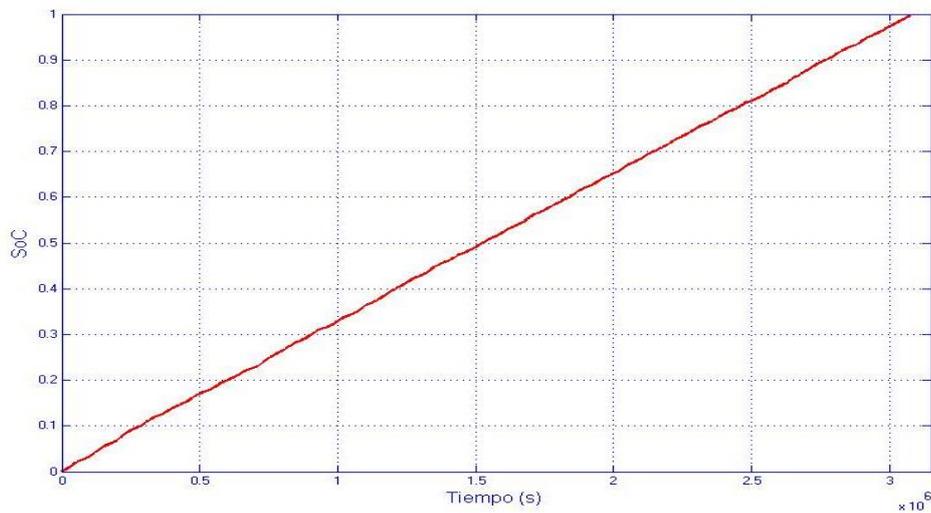


Figura 43 Gráfica Carga-Tiempo

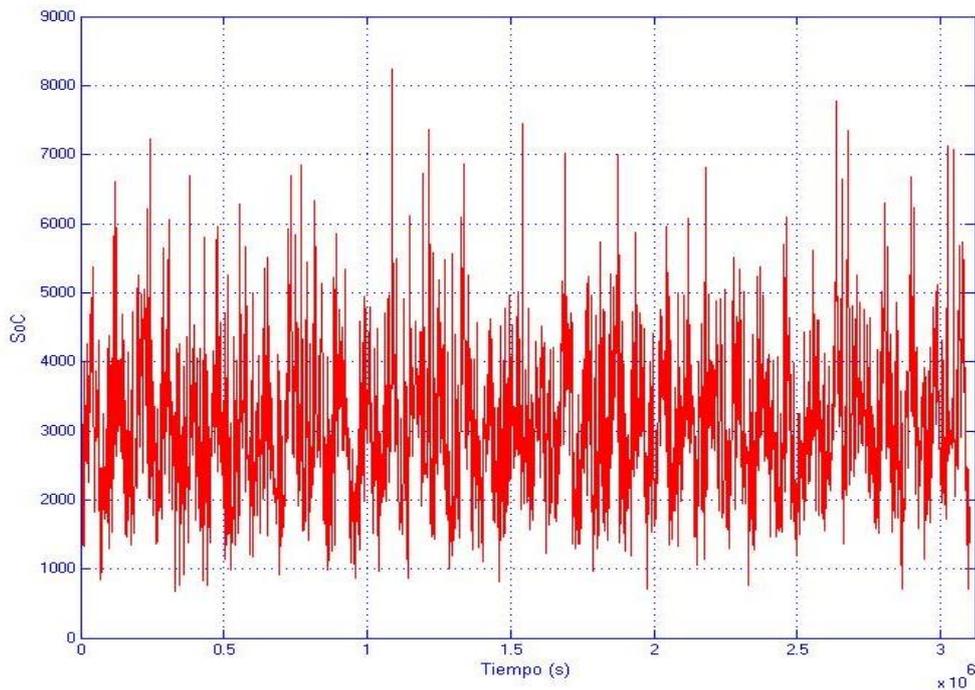


Figura 44 Energías Renovables- Tiempo

Estos 34 días muestran que durante un Crucero de Instrucción Promedio como el del año 2014 de 150 días de mar se podrían realizar un número de entre 4 y 5 cargas completas de la batería.

4.4 Caso 3

4.4.1 Variables de entrada

En este último caso se decide estudiar la viabilidad de hacer de la Zona de Guardiamarinas (Sollado, Baños, Cámara, Biblioteca y Repostería) una zona autosuficiente, usando solamente la energía proveniente de las energías renovables. Para esto se simulará durante un cruce promedio de 150 días de mar.

4.4.2 Simulación

Para este último caso, conocida y aislada de los equipos la potencia destinada a la zona de Guardiamarinas, se decidió introducir tanto las energías renovables frente a la potencia demandada por los equipos de esta zona, y con la energía comprobar cuanto se tarda en cargar las mismas baterías que en los ejemplos anteriores (Figura 45).

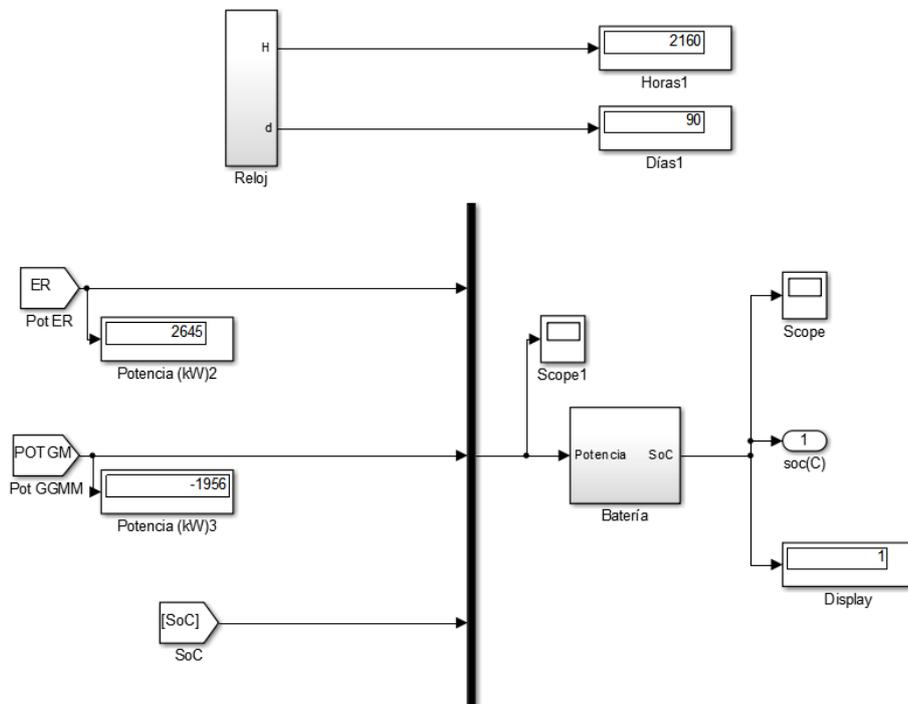


Figura 45 Simulación Caso 3

4.4.3 Resultados y Análisis

El resultado muestra que con los datos introducidos el tiempo completo de carga de la batería es de aproximadamente 90 días (8×10^6 s). Lo que proporcionaría a la batería entre 1 o 2 ciclos de carga durante una navegación completa. Siempre teniendo en cuenta las variaciones que se puedan dar en cada navegación en particular.

A continuación se muestran 2 gráficas, la primera muestra el ciclo de carga respecto al tiempo (Figura 46), y la segunda el histórico de energías renovable durante los mismos 90 días (Figura 47).

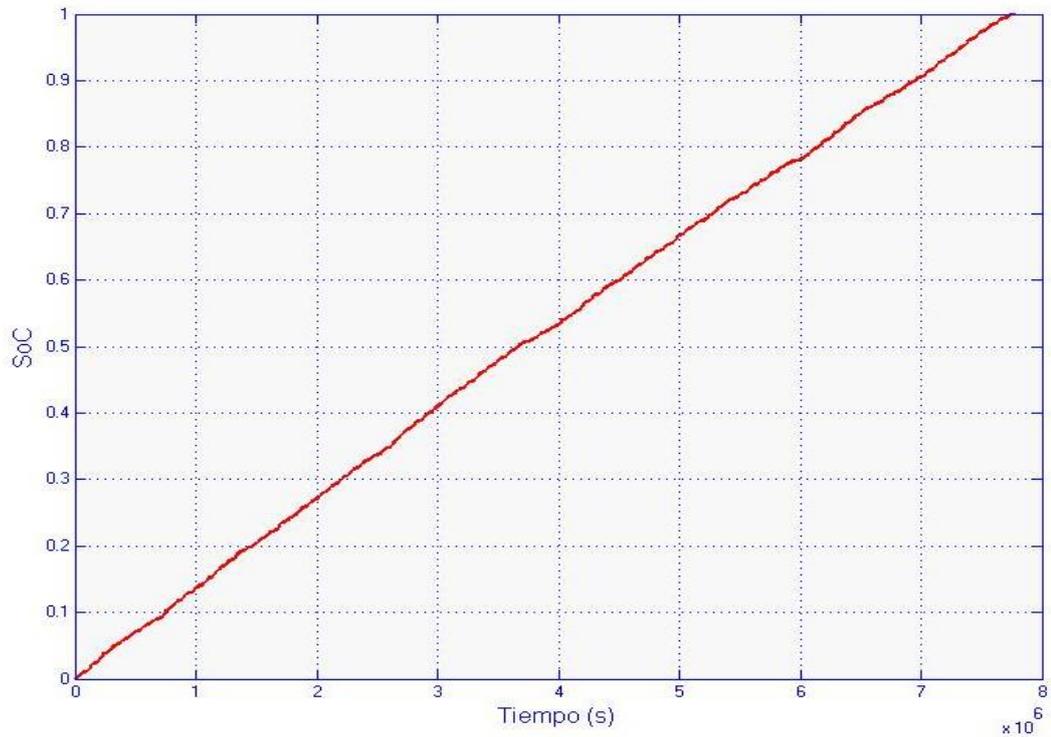


Figura 46 Carga Batería-Tiempo

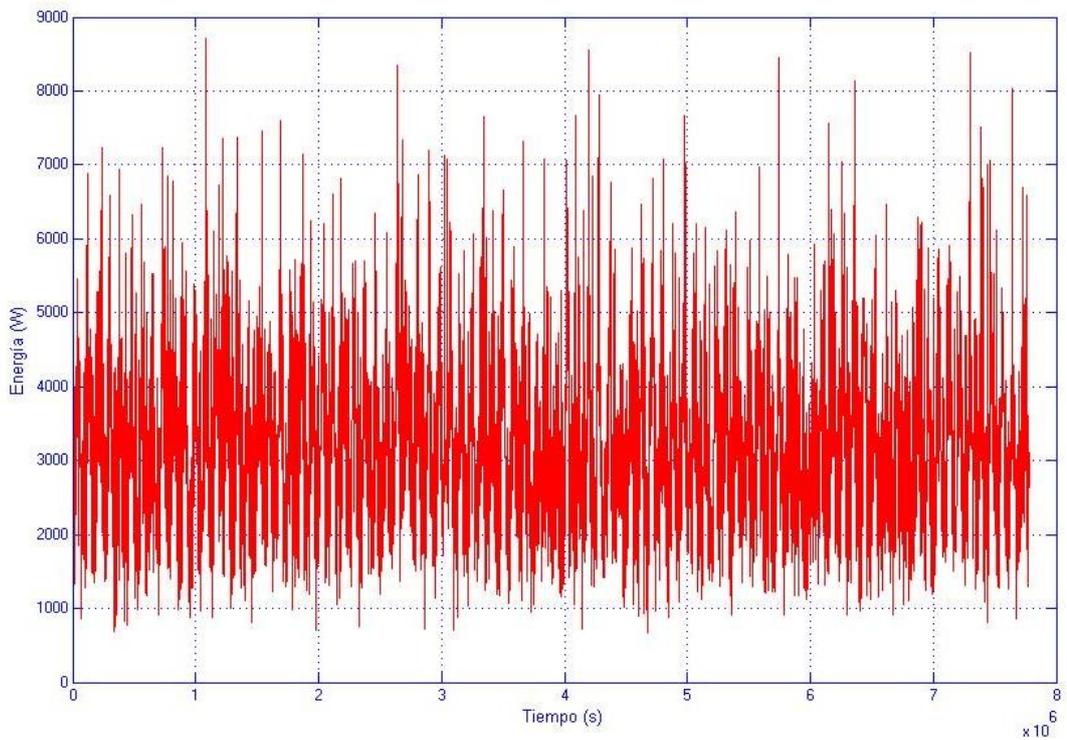


Figura 47 Energías Renovables- Tiempo

5 CONCLUSIONES

La idea inicial de este trabajo era conseguir que los consumos auxiliares del Juan Sebastián de Elcano fueran totalmente cubiertos con energías renovables, pero finalmente se ha comprobado, y gracias a la realización de simulaciones la inviabilidad de seguir con esta línea. Por lo cual se ha decidido cambiar el rumbo del proyecto hacia objetivos más viables como los casos expuestos en el punto anterior, y en los cuales se podrían cubrir con cierto éxito situaciones que se puedan llegar a dar en el velero. Estas situaciones pueden ser muy comunes en un barco tan antiguo y pueden incluir inundaciones en cámara de máquinas debido a que un golpe de mar moje los grupos electrógenos a través de los orificios de extracción, fallos propios del uso continuado de los mismos, necesidad de mantenimiento de estos aparatos y otros más, propios de navegaciones en las condiciones en las que se conduce el buque. La razón por la cual al contar con baterías que suplan al barco durante un periodo suficientemente largo mientras se arregla la incidencia añade otro elemento de seguridad y autonomía al buque en caso de emergencia.

Las conclusiones positivas que se pueden sacar es que, durante el proceso de investigación cada vez el uso de las energías renovables está más extendido en multitud de campos y particularmente en este se están aumentando las prestaciones de los equipos constantemente. Es posible que en un periodo de años no muy lejano el rendimiento de estos generadores de energías limpias ofrezcan potencias mayores y sea posible realizar el objetivo inicial de este proyecto, que es el de cubrir toda la demanda de los generadores auxiliares.

Por otra parte el uso de M-S para poder crear condiciones similares a las propias del buque en un ordenador, hace posible crear casos o ejemplos que pueden ser estudiados desde múltiples situaciones y que sea posible extraer diferentes conclusiones. La modularidad de este programa y su facilidad de uso hace que esto sea muy sencillo y que cambiando variables se pueda maximizar el rendimiento de la planta eléctrica.

Por último resaltar la gran cantidad de energía demandada en un buque de guerra que hace que a día de hoy sea muy difícil hacerlo autosuficiente por medio de energías renovables. Esto también es debido a que muchos componentes eléctricos en este buque son antiguos y en algunos casos obsoletos en el mundo civil. Esto es lo que crea en muchos casos necesidad de convertidores en muchos aparatos y dispare el nivel del consumo del propio velero. Esto podría ser subsanable realizando un estudio más en profundidad e identificar esos picos de gasto de energía e intentar cambiarlos por otros más modernos y eficientes.

5.1 Trabajos Futuros

Durante el estudio previo y la recopilación de información muchos fueron los posibles caminos que pudo haber tomado este trabajo. La decisión de lo realizado en el mismo fue que por parte del autor pareció la más indicada e inmediatamente más viable de realizar. Pero además al realizar el trabajo se tomó notas de diferentes campos o líneas de investigación que surgen de la realización de este proyecto y que se proceden a enumerar las más importantes.

- Simulación en programas informáticos como el M-S de otras unidades de la Armada para tener una gran fuente de información si se quieren realizar cambios o mejoras en los mismos.
- Hecho lo anterior comprobar si existen aspectos que se puedan mejorar, o ciertas partes que están obsoletas y pueden ser mejoradas para aumentar la eficiencia de las plantas de energía.
- Realizar estudios de eficiencia energéticas en las unidades para no desperdiciar energía inútilmente.
- Estudios económicos para comprobar la rentabilidad de posibles instalaciones de ER.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Ministerio Ciencia e Innovación,» [En línea]. Available: http://www.energiasrenovables.ciemat.es/suplementos/sit_actual_renovables/renovables.htm.
- [2] «Huffington Post Auge energía renovable,» [En línea]. Available: http://www.huffingtonpost.com/2013/06/26/renewable-energy-growth_n_3504265.html.
- [3] «Noticias de la ciencia,» [En línea]. Available: : <http://noticiasdelaciencia.com/not/6133/el-abaratamiento-de-las-energias-renovables-puede-darles-el-monopolio-electrico-dentro-de-dos-decadas/>.
- [4] «Teoría del pico de Hubbert o agotamiento del petróleo,» [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_del_pico_de_Hubbert.
- [5] «FMI comenta la escasez de las reservas de petróleo mundial,» [En línea]. Available: <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/fmi-alerta-sobre-creciente-escasez-de-petroleo-en-el-mundo>.
- [6] «La Armada a favor de energías renovables,» [En línea]. Available: http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/conocenos_noticias/prefLang_es/00_noticias--2013--04--NT-059-Jornadas-MA-JAL_es?_selectedNodeID=1162057&_pageAction=selectItem.
- [7] A. S. Á. C. Á. S. R. M. Víctor Alfonsín, «Modelization of hybrid systems with hydrogen and renewable energy oriented to electric propulsión in sailboats,» [En línea]. Available: www.elsevier.com/locate/he.
- [8] V. A. Alfonsin, «Integration of several renewable energies for internal combustion engine substitution in a comercial sailboat,» *Science Direct*.
- [9] El orden mundial, «El orden mundial,» [En línea]. Available: <https://elordenmundial.wordpress.com/2012/12/14/el-transporte-maritimo/>. [Último acceso: 22 2 15].
- [10] ABB, «ABB noticias,» [En línea]. Available: <http://www.abb.es/cawp/seitp202/e0cd28b443bdee3cc12578d4002e6f24.aspx>. [Último acceso: 22 2 15].

- [11] Eco Marine Power, «Eco Marine Power,» [En línea]. Available: <http://www.ecomarinepower.com/en/products/15>. [Último acceso: 22 15].
- [12] Wind Challenger Power, «Wind Challenger Power HP,» [En línea]. Available: http://wind.k.u-tokyo.ac.jp/index_en.html. [Último acceso: 15 15].
- [13] DigInfoTV, «Youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=JFPcZZR7oa8>.
- [14] W. D. Soto, «Improvement and Validation of a Model for Photovoltaic Array Performance,» PhD Thesis; 2004.
- [15] «Eکیدom,» [En línea]. Available: <http://www.ekidom.com/historia-de-la-energia-eolica>.
- [16] «Motiva.fi,» [En línea]. Available: http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/es/stat/betzpro.htm. [Último acceso: 2015 1 25].
- [17] «Motiva.fi,» [En línea]. Available: http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/es/tour/design/horver.htm.
- [18] Wikipedia, «Wikipedia,» [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Presa_de_las_Tres_Gargantas. [Último acceso: 15 2 15].
- [19] «Energías renovables marinas,» [En línea]. Available: <http://www.energias-renovables-marinas.com/energia-undimotriz/primera-generacion-de-energia-con-olas-del-mar-en-brasil-1707573>.
- [20] «Baterías de Litio,» [En línea]. Available: <http://bateriasdelitio.net/?p=104>.
- [21] «Manual del destino de Máquinas del B.E. Juan Sebastián de Elcano,» p. Capitulo 3.
- [22] «Manual de Máquinas del B.E. Juan Sebastián de Elcano,» [En línea]. Available: http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/ShowBinaryServlet?nodePath=/BEA%20Repository/Desktops/Portal/ArmadaEspañola/Pages/mardigital_bibl

ioteca/20_buques_superficie/20_buques_superficie_es/doc_998_serv_maq_c
ano//archivo.

[23] «BoatPoint,» [En línea]. Available:
[http://www.boatpoint.com.au/content/engine-reviews/2000/man-1035hp-
1831t-v-10-d-2840-le-403edc-8113](http://www.boatpoint.com.au/content/engine-reviews/2000/man-1035hp-1831t-v-10-d-2840-le-403edc-8113).

[24] MAN ENGINE, «demp.com,» [En línea]. Available:
http://www.demp.com/pdf/DEMP_PROPULSION.pdf.

7 ANEXOS

7.1 Anexo 1 Panel solar SOLBIAN FLEX SP137



SOLBIAN FLEX
FLEXIBLE PHOTOVOLTAIC PANELS
FLEX SP137

powered by
SUNPOWER

The photovoltaic panels of **SP series** are made using **SunPower™** monocrystalline cells, with an **efficiency greater than 22.5%**, incorporated in **polymers with high strength**.
The **SunPower™** cells, thanks to their "back-contact" technology, have a very pleasant aesthetic appearance; furthermore, they make the **Solbian panels the most efficient on the market**.
These materials make the panels flexible, walkable with a weight of about 1/6 compared to the traditional glass panels. Their specific technologies makes them particularly resistant to the marine environment and therefore suitable for application in the marine industry.

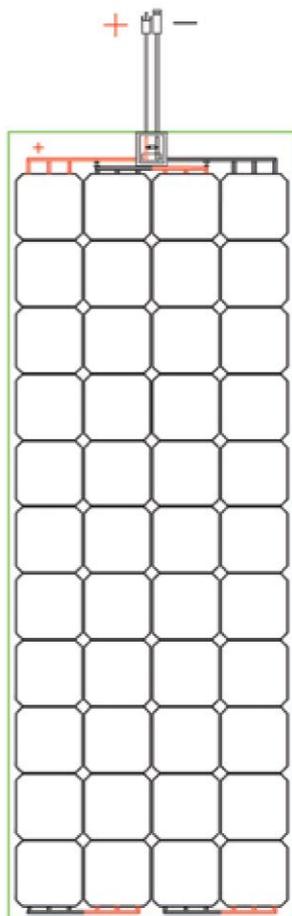
The **SOLBIANFLEX PANELS** of Sun Power series are the product of experience installing PV systems on many racing boats of the greatest navigators including:

- ✓ Maserati "VOR 70" of **Giovanni Soldini**
- ✓ 60' Open IMOCA "Safran" of **Marc Guillemot**
- ✓ 60' Open IMOCA "Cervin EnR" of **Yannick Bestaven**
- ✓ "Team Plastique" of **Alessandro di Benedetto**

And many others that are sailing the world from the equator to the poles.

MADE IN ITALY

SOLBIAN.EU **SOLBIAN**



CONNECTION AND FIXING OPTIONS



CONNECTION: JUNCTION BOX



CONNECTION: SOLDERING RIBBON



FIXING: DOUBLE SIDED TAPE



FIXING: STAINLESS STEEL EYELETS



FIXING: ZIPPER

FLEX SP137

CURVE I-V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Peak Power (+/- 5%) - Pmax	137 W
Rated Voltage - Vmp	24.0 V
Rated Current - Imp	5.7 A
Open Circuit Voltage - Voc	29.1 V
Short circuit Current - Isc	6 A
Temp. coeff. Pmax	-0.38%/°C
Temp. coeff. Voc	-0.27%/°C
Temp. coeff. Isc	0.05%/°C

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Length	1490 mm
Width	546 mm
Thickness	2 mm
Weight	2 kg
Num. of cells	44

WARRANTIES

- ✓ **5 year** limited power warranty
- ✓ **2 year** limited product warranty



SOLBIAN ENERGIE ALTERNATIVE SRL

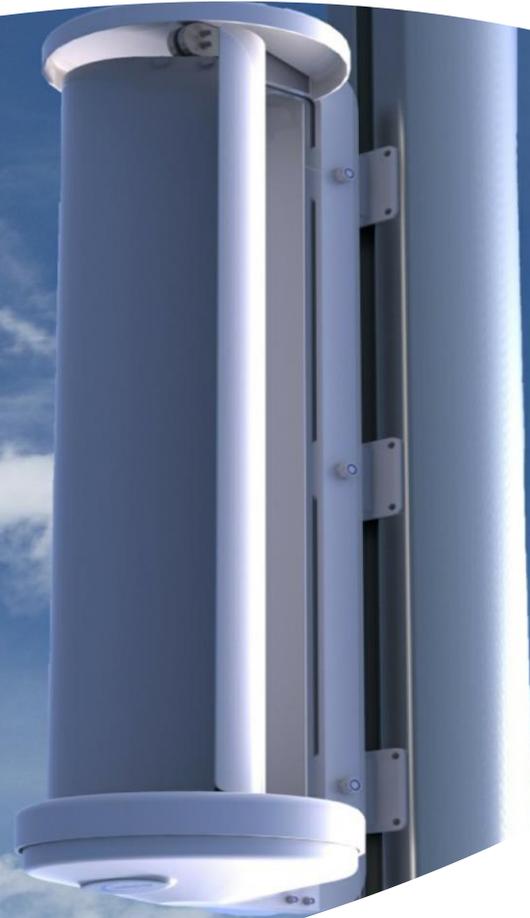
Legal and Operative Headquarter: Viale Gandhi 21b - 10051 Avigliana (TO) - ITALY
 Telephone: +39 011.966.35.12 - Fax: +39 011.966.47.20 - info@solbian.eu

7.2 Anexo 2 Aerogenerador LEADING EDGE LE V150



Local Renewable Power Worldwide

Robust
Silent
Reliable



LE-v150

Ideal **battery charging**
applications where **space** is
premium

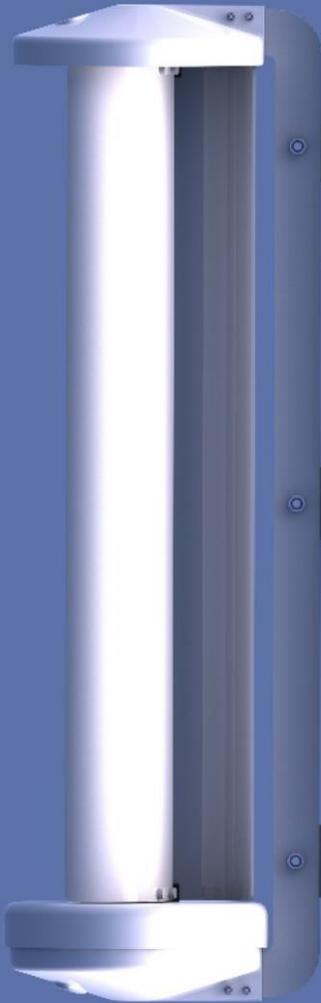


Designed
Manufactured
in the UK

marine&industrialoff-grid

Proven to be virtually indestructible in extremely harsh environments

LE-v150 :Features



LE-v150

Ideal **battery charging**

applications where **space** is a premium

Features:

Output

m/s (17.8mph), 200W max

Silent Operation

Absolutely no noise as the turbine operates

Small and compact

Easy to install in places where space is limited

Indestructible

Designed to survive Antarctic winds

Lightweight

Weights just 13Kg

Safe

Bird and bat safe

This compact and silent vertical axis turbine designed to provide power outputs up to 200 watts for a host of different battery charging applications.

The LE-v150 uses a proven crossventilated 'savonius' rotor design which gives excellent power conversion for a vertical axis turbine of this size. The rotor is coupled with a zero cogging axial flux alternator enabling the turbine to start up in the lightest of winds.



Renewable Power Worldwide

Local

The turbine will receive the wind from 360 degrees without the need to yaw into position. The LE-v150 is marine quality finished with bearings sealed for life and fully lubricated, so no greasing or maintenance

is required. With only 1 moving part and
no brushes or sliprings

to wear out, there is little to go wrong.

www.leturbines.com

LE-v150 : Technical Overview

Rotor diameter - 270mm **Rotor Height:** - 918mm

Rotor Type: - 3-Blade savonius

Blade Material: - Aluminium

Rated output - 24W at 8m/s (17.8mph)

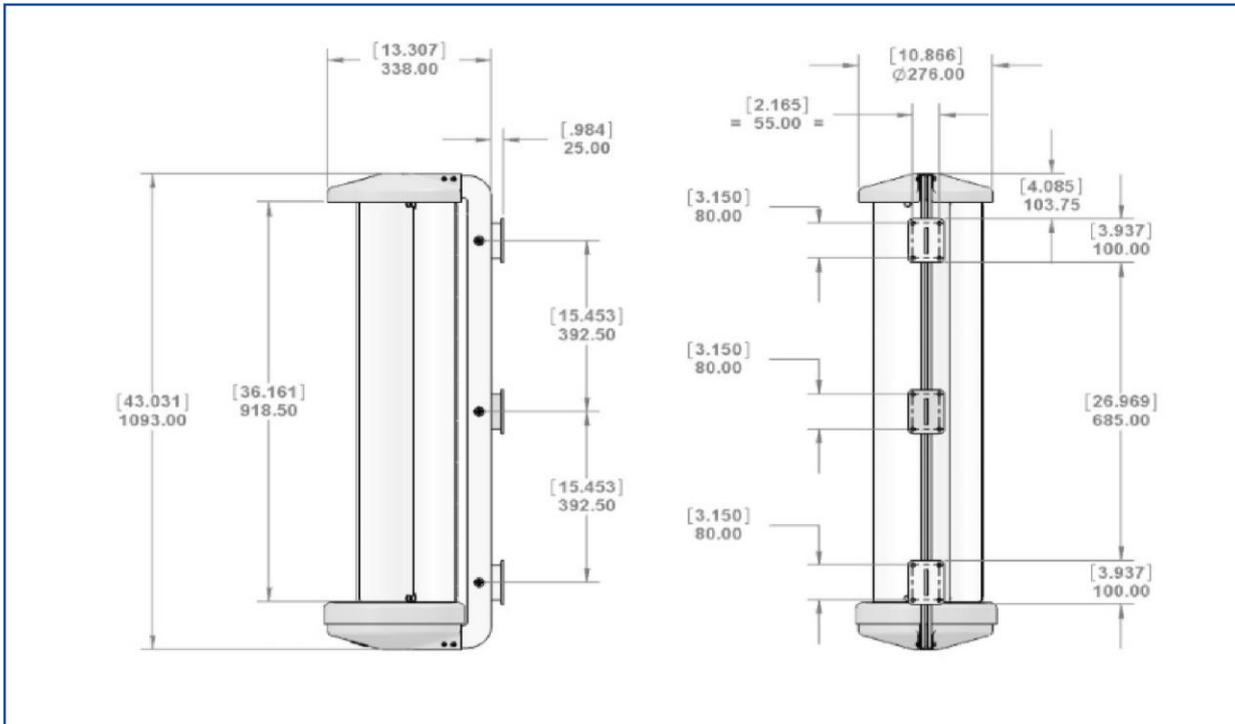
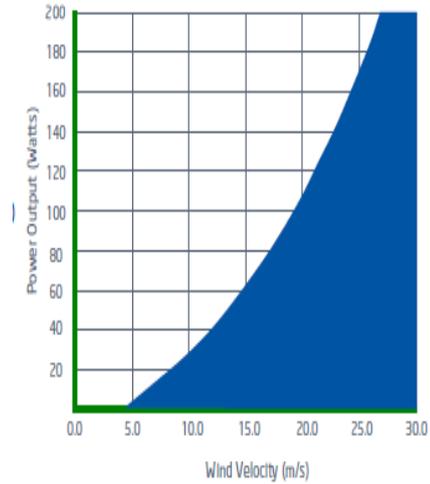
Peak output - 200W

Cut-in speed - 4m/s (9mph)

Weight - 13Kg

DC output voltage - 12V or 24V

Warranty: - 2 years



The LE-v150 has a design life of 20 years, but due to its modular design and ease of maintenance, the turbine could easily run indefinitely.

The LE-v150 is available in 12V and 24V versions. It can be combined with Solar PV panels in off-grid renewable energy systems, powering LED street lights and remote telemetry. The turbine can be side mounted to an existing structure using the supplied mount brackets.

LE-v150 :Applications

- Marine
- Telemetry
- Trickle charging
- LED Lighting systems
- Road signage
- Off-grid ● Extreme environments

Wind turbine performance is subject to many factors. All output data contained in this document is indicative and actual turbine outputs will depend on the prevailing site and installation conditions.



Our LE-v150 vertical axis turbine is compact and silent. It is



suitable for use in applications where a traditional horizontal axis turbine may be inappropriate - such as powering road signage and lighting in sub-urban areas.



Leading Edge Turbines
Skyrrid Farm | Pontrilas
Herefordshire | HR2 0BW

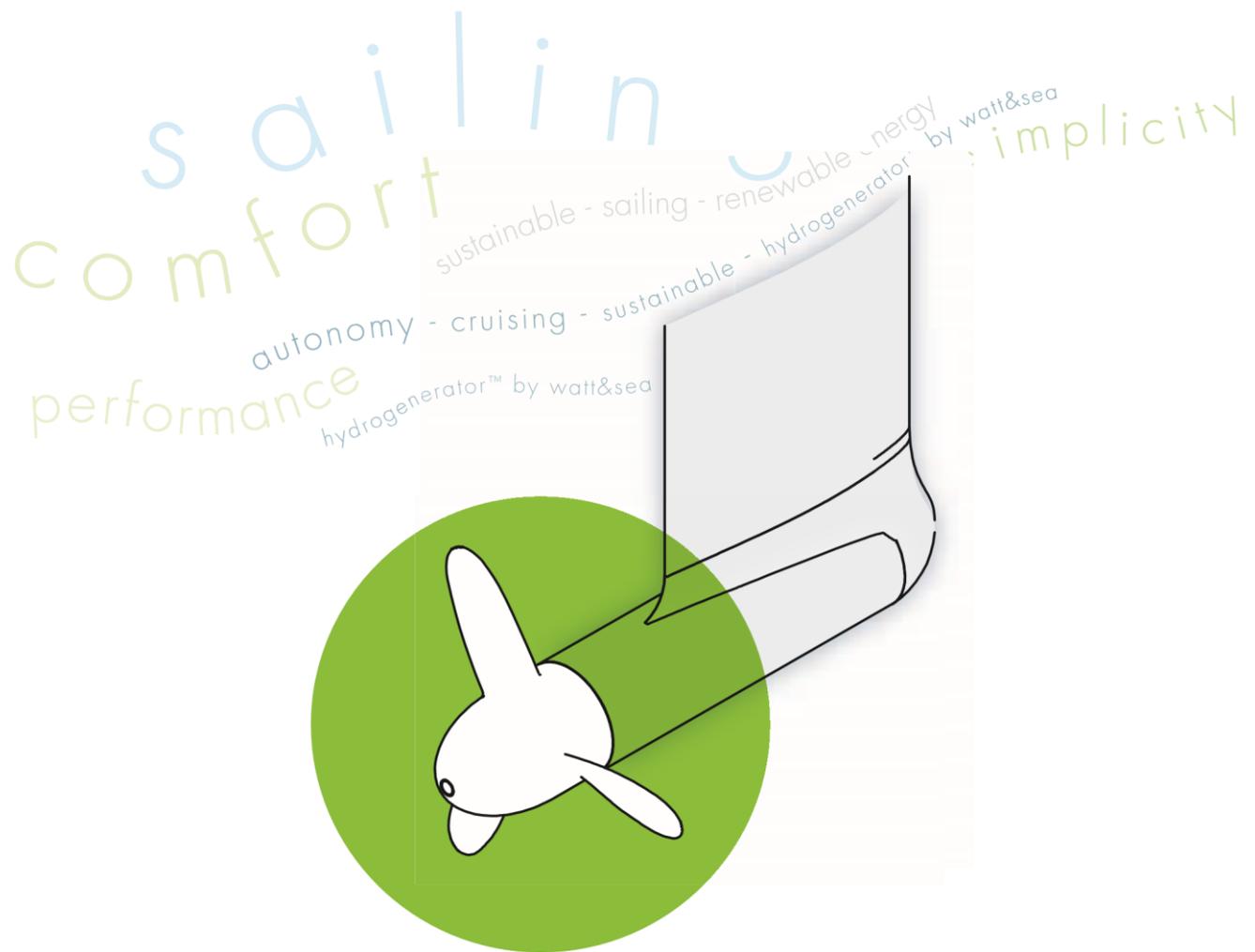
Call 0845 652 0396 | Email info@leturbines.com

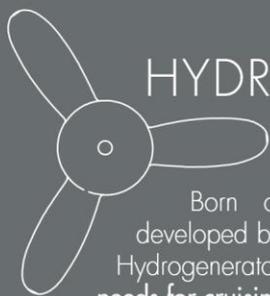
Copyright © 2013 Leading Edge Turbines

7.3 Anexo 3 Hidrogenerador WATT&SEA CRUISING

HYDROGENERATOR™

CRUISING





HYDROGENERATOR™ CRUISING

Born of nautical racing research and developed by industrial manufacturers, watt&sea's Hydrogenerator™ is the solution to all your energy needs for cruising or racing.

Quiet and ultra-efficient, it can generate up to 100% of the energy requirements of a sailboat (500W, or 40A @ 12V).

With optimal output and minimal drag, watt&sea's Hydrogenerator™ outclasses existing systems (wind turbines and solar panels), allowing you to navigate with positive energy and to recharge your batteries for worry-free mooring.

- High-grade Aluminum Construction
- Electronic Converter
- Brushless Permanent-magnet Alternator
- Easy transom-mounting Lift Bracket
- Maintenance-free
- 1-year warranty



TECHNICAL SPECIFICATIONS

power.....	120W @ 5 knots (10A @ 12V ; 5A @ 24V) 500W @ 8 knots (40A @ 12V ; 20A @ 24V)
start-up speed.....	3 knots
weight.....	8 kg
voltage.....	12V or 24V
regulation.....	micro-controlled converter
propeller.....	three-blade unit, replaceable
dimensions.....	height : 125 cm width : 38 cm

PERFORMANCE*



- At 3 knots you can run your lights and safety systems.
- At 5 knots you can run on-board electronics (pilot, computer, instruments, etc.)
- At 6 knots you can switch on remaining systems (refrigeration, water, etc.)

* Average Manufacturer's research data. Actual data will vary with individual boat specifications and on-board equipment.

CONTACTS

watt&sea

Le Sextant, Unité 01
1 rue de la Trinquette
17000 LA ROCHELLE
FRANCE

contact@wattandsea.com
www.wattandsea.com
Tel : +33 (0) 546 413 199

REOREV

LEROY SOMER



projet cofinancé par l'Union Européenne

DISTRIBUTOR

COMMERCIAL STAMP

7.4 Anexo 4 Bateria TB-4860F



Specifications

Model:	TB-48260F
Type:	LiFePO4 battery
Nominal voltage:	51.2V
Typical capacity:	260Ah
Max continous discharge current :	100A
Max pulse discharge current :	250A
Work voltage range:	32V~58.4V
Size:	1430*455*358mm
Weight:	approx.195kg
Charging temperature:	0°C~45°C
Discharging temperature	-20°C~60°C
Storage temperature	5°C~35°C
About 2000 cycles to 80% with 100%	
DOD under 20 °C~25°C	
Application:Solar and wind energy systems, forklift,clean car,Bus,attractions tour, hybrid vehicle and so on.	

[lifepo4 battery pack 48V260Ah TB-48260F](#)