



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio para la mejora del sistema de suministro eléctrico de
auxiliares en cruceros de instrucción mediante el uso de sistemas
energéticos renovables*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Eduardo Golmayo Delgado

DIRECTORES: Víctor Alfonsín Pérez

CURSO ACADÉMICO: 2016-2017

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio para la mejora del sistema de suministro eléctrico de
auxiliares en cruceros de instrucción mediante el uso de sistemas
energéticos renovables*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

En este trabajo se presente el estudio para una posible implementación de diversas fuentes de energía renovable en cruceros de la Escuela Naval Militar. Para ello se han seleccionado fuentes de generación renovable del tipo fotovoltaica, eólica e hidrodinámica.

Para comprobar la posible viabilidad técnica de estos dispositivos en un crucero se ha realizado una simulación bajo condiciones reales.

Para ello se han utilizado un medidor de radiación y una estación meteorológica, de los cuales se han extraído los valores de radiación solar, viento y temperatura. Estos se pudieron instalar en el propio crucero de instrucción Agüete durante varias semanas con el fin de poder obtener un registro de datos lo más real posible. Además, se han obtenido datos reales de velocidad del crucero mediante un dispositivo GPS en el caso de una salida a la mar.

Se han realizado los modelos de cada uno de los sistemas renovables y se han implementado bajo el entorno de simulación de Matlab/Simulink®.

Finalmente se han utilizado estos modelos para la simulación a partir de los datos obtenidos anteriormente, con el fin tanto de poder seleccionar y dimensionar los dispositivos de generación y además calcular su producción energética para un periodo determinado.

PALABRAS CLAVE

Energía, Simulación, Modelo, Crucero, Aerogenerador

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mi tutor don Víctor Alfonsín Pérez por guiarme hacia la consecución de los objetivos propuestos y por su atención en todos los momentos en los que necesitaba su ayuda.

En segundo lugar, quiero dedicar este Trabajo de Fin de Grado a mi familia y a mi novia por su apoyo incondicional durante la realización del mismo. Así como, a mis amigos de esta Escuela Naval Militar por hacer que el día a día sea mucho más ameno.

CONTENIDO

Contenido	5
Índice de Figuras	7
Índice de Tablas.....	9
1 Introducción y Objetivos	2
1.1 Introducción	2
1.2 Objetivos	5
1.3 Estado del arte	5
2 Desarrollo del TFG.....	9
2.1 Introducción	9
2.2 Energía solar	9
2.2.1 Energía solar fotovoltaica	9
2.2.1.1 Principio de funcionamiento	9
2.2.1.2 Sistemas fotovoltaicos	10
2.2.1.3 Tipos de células fotovoltaicas	12
2.2.1.4 Selección de la tecnología fotovoltaica	12
2.2.2 Modelado del panel fotovoltaico	13
2.2.3 Modelo de los 5 parámetros.....	14
2.2.4 Modelo de un panel en Simulink®	15
2.3 Energía eólica.....	16
2.3.1 Principio de funcionamiento.....	16
2.3.1.1 Tipos de generadores eólicos	18
2.3.2 Modelo de un aerogenerador Simulink.....	19
2.4 Energía hidrodinámica	20
2.4.1 Hidrogenerador	22
2.4.2 Modelo del hidrogenador.....	22
2.4.3 Elección del hidrogenador	23
2.5 Baterías.....	25
2.5.1 Funcionamiento	25
2.5.2 Baterías de Pb-Ácido	26
2.5.3 Baterías del crucero de instrucción.....	26
3 Simulación.....	29
3.1 Simulación energía fotovoltaica.....	29
3.1.1 Dimensionamiento de los paneles	29

3.1.1.1 Potencia instalada de 700 W.....	30
3.1.1.2 Potencia instalada de 380W.....	31
3.1.2 Adquisición de datos de radiación y temperatura	32
3.1.2.1 Semana del 18 al 25 al febrero	33
3.1.2.2 Simulación primer escenario (700 W).....	34
3.1.2.3 Simulación segundo escenario (380 W).....	36
3.2 Simulación energía eólica	37
3.2.1 Selección de un aerogenerador	37
3.2.1.1 Generador eólico GE 400	40
3.2.1.2 Generador eólico Ampair Pacific 600	41
3.2.1.3 Aerogenerador Silent Wind 400.....	42
3.2.2 Elección del aerogenerador.....	43
3.2.3 Simulación del aerogenerador durante la semana	44
3.2.3.1 Obtención de datos	44
3.2.3.2 Simulación.....	45
3.2.3.3 Resultados	45
3.3 Simulación energía hidrodinámica.....	46
3.3.1 Obtención de datos de velocidad del crucero	46
3.3.2 Simulación	47
3.3.3 Resultados.....	48
3.4 Conclusiones	49
3.4.1 Resultados de la producción energética combinada	49
3.4.2 Conclusiones.....	50
3.4.3 Líneas futuras.....	51
4 Bibliografía.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Evolución y previsión del consumo mundial de energía a partir de fuentes de energía (EIA 2012)	2
Figura 1-2: Crecimiento de la población mundial	4
Figura 1-3: Velero 100% eléctrico alimentado por generadores de ER	6
Figura 1-4: Embarcación no tripulada impulsada por ER	7
Figura 1-5: Turanor PlanetSolar alimentado únicamente por energía solar	7
Figura 1-6: Aquarius Eco Ship. Prototipo de la empresa EMP	8
Figura 2-1: Efecto fotoeléctrico	10
Figura 2-2: Sistema fotovoltaico	11
Figura 2-3: Panel solar mono cristalino	13
Figura 2-4: Circuito equivalente del modelo de los 5 parámetros	14
Figura 2-5: Esquema básico del modelo de un panel fotovoltaico	15
Figura 2-6: Modelo de simulación de una placa fotovoltaica en Simulink®	16
Figura 2-7: Distribución de Weibull	17
Figura 2-8: Esquema básico del modelo en Simulink®	19
Figura 2-9: Modelo de un aerogenerador diseñado en Simulink	20
Figura 2-10: Esquema del funcionamiento de un molino de mareas	21
Figura 2-11: Planta undimotriz	22
Figura 2-12: Esquema básico del modelo de un hidrogenerador en Simulink®	23
Figura 2-13: Modelo de un hidrogenerador en Simulink®	23
Figura 2-14: Generador hidrodinámico Watt&Sea	24
Figura 2-15: Curva P-v del generador hidrodinámico Watt&Sea	24
Figura 2-16: Esquema de una celda electrolítica	25
Figura 2-17: Esquema de una batería de Pb-ácido	26
Figura 2-18: Plano general de la red de distribución eléctrica del crucero de instrucción Aguete ..	27
Figura 3-1: Superestructura del Aguete	29
Figura 3-2: Medición de la superestructura del Aguete	30
Figura 3-3: Propuesta (1) de distribución de los paneles solares	31
Figura 3-4: Propuesta (2) de distribución de los paneles solares	32
Figura 3-5: Medidor de radiación solar	32
Figura 3-6: Datos de radiación solar de la semana del 18 al 25 de febrero	33
Figura 3-7: Gráfica de temperatura de la semana del 18 al 25 de febrero	34
Figura 3-8: Simulación de los cuatro tipos de paneles solares en el primer escenario	35

Figura 3-9: Resultados de energía y potencia del primer escenario	36
Figura 3-10: Simulación de dos paneles de 190W de la segunda propuesta.....	36
Figura 3-11: Gráficas de la energía y potencia fotovoltaica generadas en el segundo escenario	37
Figura 3-12: Estación meteorológica	38
Figura 3-13: Transferencia de datos	39
Figura 3-14: Gráfica de viento de la semana del 18 al 25 de enero	39
Figura 3-15: Curva P-v del aerogenerador GE 400.....	40
Figura 3-16: Modelo de simulación del aerogenerador GE 400	41
Figura 3-17: Curva P-v del aerogenerador Ampair Pacific 600.....	41
Figura 3-18: Modelo de simulación del aerogenerador Ampair Pacific 600	42
Figura 3-19: Curva P-v del aerogenerador Silent Wind 400.....	42
Figura 3-20: Modelo de simulación del aerogenerador Silent Wind 400	43
Figura 3-21: Aerogenerador GE-400	43
Figura 3-22: Gráfica de los datos de velocidad de viento de la semana del 18 al 25 de febrero	44
Figura 3-23: Simulación del aerogenerador GE 400 en Simulink®	45
Figura 3-24: Función que representa la potencia que entrega el aerogenerador GE-400	45
Figura 3-25: Gráficas de energía acumulada y potencia obtenidas en la simulación.....	46
Figura 3-26: Ruta seguida por el crucero en una salida semanal	46
Figura 3-27: Gráfica de velocidades del crucero durante una salida semanal	47
Figura 3-28: Polinomio que define la gráfica P-v del hidrogenerador	47
Figura 3-29: Función de Matlab® que define el comportamiento del hidrogenerador escogido (2.3.3).....	48
Figura 3-30: Resultado del modelo de un hidrogenerador obtenidos en Simulink®	48
Figura 3-31: Gráficas de energía y potencia obtenidos en la simulación del hidrogenerador	49
Figura 3-32: Esquema de producción energética combinada.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos técnicos del panel solar mono cristalino	13
Tabla 2: Aerogeneradores de eje vertical	19
Tabla 3: Datos Técnicos de los paneles solares	31
Tabla 4: Datos técnicos del aerogenerador GE400	44

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

La problemática medioambiental que existe hoy en día, y concretamente la correspondiente contaminación atmosférica, es una de las preocupaciones que cada vez asume más protagonismo a nivel mundial. El rápido y continuo desarrollo tecnológico y el incremento de la población mundial, hace que se produzca un incremento de consumo cada vez mayor. Por consiguiente, a nivel global se requiere cada día más cantidad de energía, llegando a producirse en numerosos casos un uso desmesurado de los recursos naturales del ambiente.

Los recursos naturales se pueden diferenciar, según su finalidad, en dos grupos. Por un lado, existen los que se utilizan como factores de producción, como por ejemplo los minerales, el petróleo y otros materiales y, por otro lado, están los que se utilizan como bienes que pueden servir para el comercio internacional, de los cuales se puede extraer valor mediante el turismo, y como son por ejemplo, el clima y el paisaje [1]. Ambos casos tienen relación con el consumo de energía y recursos. El primer tipo citado tiene relación directa con el consumo de los recursos, mientras que el segundo tipo citado tiene relación indirecta, produciéndose un incremento del uso de energía a través de las personas que consumen.

El gasto cada vez mayor de los recursos se ve reflejado en el gráfico (Figura 1-1)Figura 1-1, donde se muestra como, a lo largo de los años, el consumo de energía a nivel mundial ha ido aumentando progresivamente.

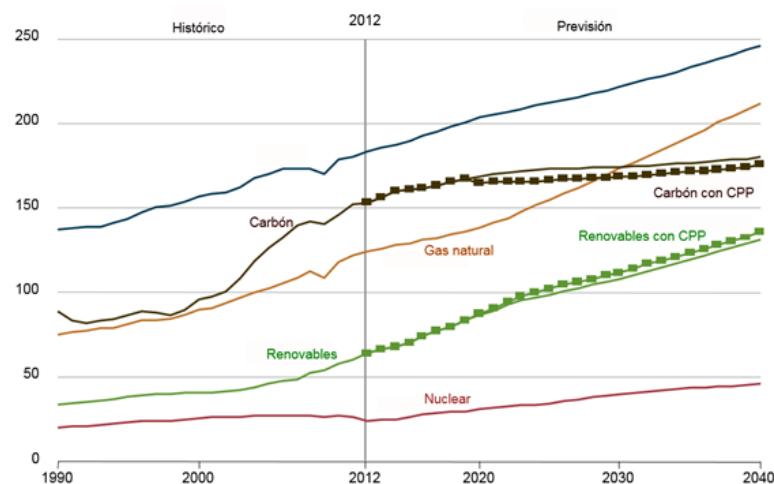


Figura 1-1: Evolución y previsión del consumo mundial de energía a partir de fuentes de energía (EIA 2012)

Todo esto lleva a pensar en el posible agotamiento o límite que tienen los recursos. La concienciación acerca de un uso responsable de los bienes naturales aumenta constantemente, ya que es evidente que las reservas no son ilimitadas y que su fin puede llegar algún día. Se pueden destacar, principalmente, dos grupos de fuentes de energía no renovables:

- **Combustibles fósiles:** son los recursos producidos a partir de los restos de biomasa, y en los cuales se va pasando por procesos de descomposición y fosilización. Es uno de los recursos más utilizados en todo el mundo, ya que supone alrededor del 80% de la energía utilizada del planeta [2]. El hecho de que estos recursos han de ser transformados químicamente para poder producir energía, supone la expulsión de gases contaminantes a la atmósfera. Lo más importante respecto a estos recursos, es que son limitados, es decir no renovables. Si alguno de estos se termina no podrán renovarse al ritmo suficiente como para poder ser aprovechados por el ser humano.
- **Combustibles nucleares:** los principales son el uranio y el plutonio. Estos son materiales que por medio de la fisión nuclear (provocando la división del núcleo) o por medio de la fusión nuclear (provocando la unión de dos átomos) liberan diferentes tipos de energía entre las cuales se encuentra la térmica [3]. Después de los recursos fósiles, son los más utilizados. Se trata de un recurso que aporta mucho pero que por otro lado es bastante inestable y produce mucha cantidad de residuos. Los residuos nucleares, si no se tratan debidamente, resultan un peligro importante para la población y el medio ambiente.

La extracción de los recursos para producir energía, los procesos de transformación a los que están sometidos y el consumo de la energía, producen emisiones con una gran cantidad de gases contaminantes a la atmósfera. Además, la atmósfera tiene un papel en el planeta fundamental, ya que de ella depende la vida en la tierra. Dentro de los problemas ambientales que generan la emisión de estos gases cada vez más presentes en el planeta, los más comunes son los siguientes:

- **El efecto invernadero:** la energía solar que llega a la tierra se refleja, pero solo en parte, el resto es absorbido por el suelo. El problema llega cuando el calor absorbido es liberado de nuevo por el suelo hacia la atmósfera. En éste recorrido se encuentra con algunos gases que le impiden salir al exterior. El calor choca con los gases y es devuelto hacia la tierra provocando un aumento de la temperatura en las zonas más bajas de la atmósfera. Un ejemplo similar a éste fenómeno es lo que ocurre en el interior de un vehículo cuando está expuesto al sol y la temperatura en su interior es mucho mayor que en el exterior.

Los principales gases que provocan el efecto invernadero son:

- **Dióxido de carbono (CO_2):** supone un 91,8% de las emisiones dentro del sector energético. Se libera de varias formas, desde el interior de la tierra, a través de la respiración, en la combustión de compuestos con carbono y en la evaporación que tiene lugar en el océano [4].
- **Metano (CH_4):** se trata del segundo compuesto que más contribuye al calentamiento global con un 15%, sólo superado por el dióxido de carbono [5]. Entre sus fuentes de emisión aparecen los vertederos, fermentación entérica, estiércol, petróleo, gas natural, minería del carbón y en aguas residuales.
- **El agujero de la capa de ozono:** en las capas altas de la atmósfera, más en concreto en la estratosfera, se forma el ozono dando lugar a la llamada capa de ozono. Se genera por efecto del sol sobre los átomos de oxígeno. Una de sus principales funciones es la de actuar como barrera de protección contra las radiaciones ultravioleta emitidas por el sol. El problema viene

con el uso de compuestos artificiales (fertilizantes, aerosoles, etc.) que dañan la capa de ozono y esto provoca un deterioro, causando en algunas zonas una reducción de la capa.

Los principales causantes de este fenómeno son los clorofluorocarbonos, es decir unos gases que aparecen en diferentes aplicaciones como por ejemplo la industria de la refrigeración o en los aerosoles. El problema se produce cuando se acumulan en la atmósfera, ya que contribuyen al deterioro de la capa de ozono [6].

- **La acidificación del suelo y del agua:** las actividades industriales suponen importantes fuentes de emisión de gases. Las emisiones a la atmósfera de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno reaccionan con el vapor de agua y dan lugar a unas sustancias ácidas (ácido sulfúrico y ácido nítrico). Cuando llueve éstos ácidos caen y provocan la acidificación de los suelos y aguas, pérdida de zonas de cultivo, deterioro de árboles, etc. [7].

Por otra parte, a lo largo de los años se ha incrementado el número de personas en el planeta, produciéndose una explotación de recursos para poder abastecer las necesidades energéticas del mundo. Tal y como se puede apreciar en la Figura 1-2, el crecimiento demográfico es evidente y la estimación (media, elevada o baja) tiene una tendencia creciente.

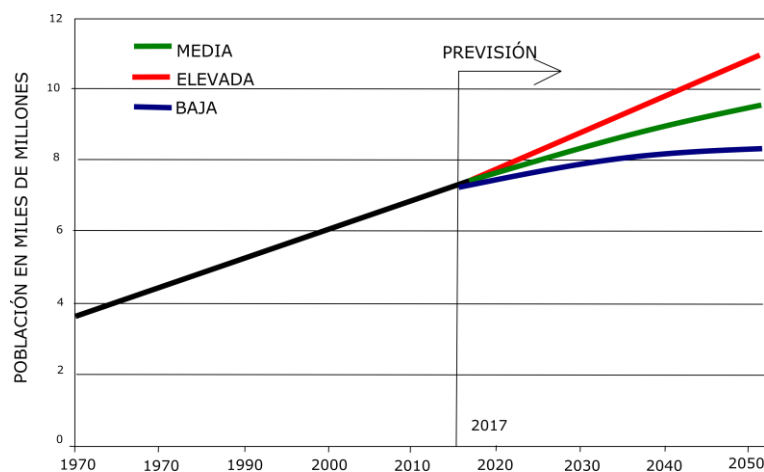


Figura 1-2: Crecimiento de la población mundial

Los recursos naturales son económicamente útiles, pero a su vez son escasos y cada vez tienen más dificultades para regenerarse debido a la constante utilización de los mismos. Todo ello ha favorecido el desarrollo de sistemas alternativos para la transformación de energía.

Las energías renovables son las utilizadas como alternativa a las energías no renovables, ya que son más eficientes y relativamente más económicas. Estas energías provienen de fuentes naturales e inagotables como el sol, el viento, el agua, etc. Por otro lado contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Entre las más desarrolladas se encuentran las siguientes:

- **Energía solar fotovoltaica:** Permite transformar la energía solar en electricidad por medio de células fotovoltaicas que se encuentran integradas en un panel solar. Esta energía se puede almacenar, utilizar directamente o incluso meter en una red de distribución eléctrica [8].
- **Energía eólica:** El sol calienta las masas de aire existentes en la tierra y esto provoca una diferencia de temperatura entre las mismas. Esto junto a las irregularidades de la superficie terrestre, genera diferencias de presión en el aire, que dan lugar al viento. Los aerogeneradores son los encargados de transformar la fuerza del viento en energía eléctrica.

- **Energía hidráulica:** este tipo de energía se genera a partir de la energía potencial asociada a las diferencias de altura existente entre dos puntos de un río o la existente en un embalse. Las centrales hidroeléctricas son las que transforman la energía potencial en energía eléctrica a partir del movimiento de las turbinas generado por la fuerza con la que cae el agua.

Para poder aprovechar todas estas energías, es necesario disponer de sistemas energéticos renovables capaces de transformarlas en energía útil. Existen dos tipos de sistemas, por un lado están los estacionarios, en los cuales los sistemas de generación renovable se corresponden a sistemas fijos o estacionarios. Dentro de este grupo se encuentran las casas, los parques eólicos o los huertos solares (parques solares).

Por otro lado, estarían los sistemas móviles o sistemas no estacionarios, y que, a su vez, se podrían clasificar en sistemas terrestres, aéreos y sistemas navales. Dentro de los terrestres se encuentran, por ejemplo, los vehículos solares, y dentro de los aéreos estarían los aviones solares. Dentro del escenario marítimo, el desarrollo de sistemas energéticos renovables está siendo lento, sin embargo, ya existen barcos que operan exclusivamente con energía solar.

Actualmente en la Armada Española, así como en la Escuela Naval Militar, no se conoce ningún caso de aprovechamiento de energías renovables para su uso en los buques. La implementación de un sistema de energía renovable para poder cargar las baterías auxiliares de los barcos de vela, se presentaría como una alternativa para el ahorro de combustible y para la reducción de emisiones perjudiciales a la atmósfera.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es el estudio de las diferentes fuentes de energías renovables existentes y con posible aplicación en cruceros de instrucción de la Escuela Naval Militar de Marín. Concretamente el estudio de la energía solar fotovoltaica, eólica e hidrodinámica.

Para ello, en primer lugar, se realizará un análisis bibliográfico de estas fuentes de energía y de los dispositivos para su aprovechamiento.

Se modelarán cada una de las tecnologías renovables a partir de la bibliografía y de los datos del fabricante, para su posterior implementación en Matlab/Simulink®.

Se estudiará la posible implementación de paneles fotovoltaicos en función del espacio disponible, planteándose diferentes escenarios para su aprovechamiento.

Por otra parte, se analizarán distintos generadores eólicos para las condiciones de viento existentes en el pantalán donde se ubica el crucero y se tratará de realizar una simulación para poder observar su aportación energética.

Finalmente se analizará la producción energética de un hidrogenerador aprovechando cuando el crucero navega a vela, para la producción hidrodinámica de energía eléctrica

Una vez analizadas las posibilidades de aplicación de las energías renovables en barcos de forma individualizada, se podrá obtener un valor global de la cantidad de energía que se puede generar en una semana, y que es la frecuencia con la que suele salir a navegar el crucero de instrucción.

1.3 Estado del arte

El desarrollo de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables es una tendencia presente en el panorama energético global. A la hora de plantear proyectos que implican energías limpias, la eficiencia energética cobra un protagonismo importante. En algunos ámbitos, como la aeronáutica o el automovilismo, este concepto lleva presente desde hace ya varios años.

En el entorno marino, la implantación de este tipo de energías está siendo más lento, ya que es evidente que las magnitudes con las que se trabajan son, en líneas generales, de mayor proporción. No obstante, en barcos de menor porte, es decir, veleros o embarcaciones de recreo, ya existen ejemplos de uso de generadores de ER (energías renovables) para autoabastecerse (Figura 1-3).

En el mundo de la vela, el hecho de que, por lo general, se utilizan motores de menor potencia, supone una mayor facilidad a la hora de implementar generadores de energía a partir de los recursos que proporciona el entorno. Esto hace que lleve algunos años de ventaja con respecto a los barcos de propulsión.



Figura 1-3: Velero 100% eléctrico alimentado por generadores de ER

De hecho, ya son muchas las empresas que están innovando con este tipo de recursos, como por ejemplo, Innovanautic, que sacó a la luz un velero (Figura 1-3) que incorpora aerogeneradores y placas solares para alimentar al motor eléctrico.

Por otro lado, la empresa australiana OCIUS, fabricó una embarcación no tripulada (Figura 1-4) llamada “Bluebottle”, propulsada tanto por el viento, como por un motor eléctrico que lleva incorporado. Lo novedoso de éste proyecto, es la utilización de una vela rígida con paneles solares incrustados para hacer de doble función, la de aprovechar, tanto el empuje de la energía eólica directamente, como la de aprovechar la energía solar para alimentar al motor eléctrico. Bluebottle.

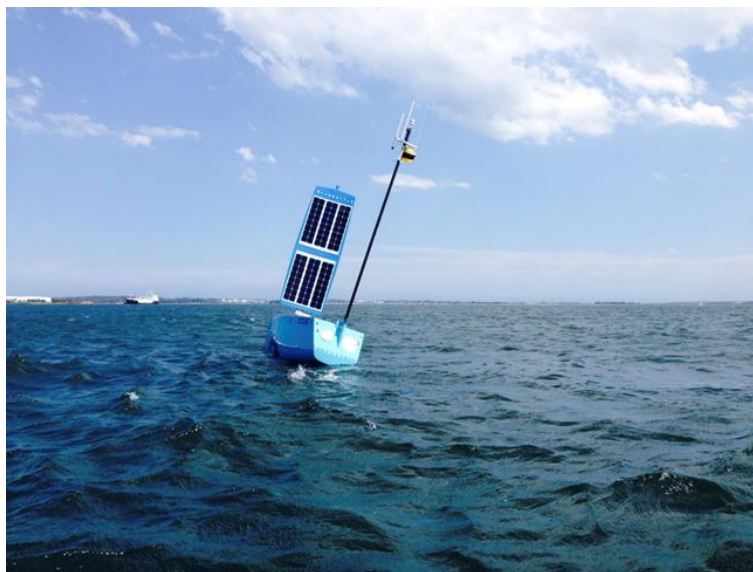


Figura 1-4: Embarcación no tripulada impulsada por ER

Centrando las miradas en la radiación solar, cabe destacar que un panel solar, debido a su forma geométrica y a su planicidad resulta menos espacioso normalmente que un aerogenerador. Quizás, es por ello que su aparición en los barcos es más habitual en comparación con los aerogeneradores, de hecho, el barco más grande hasta la fecha, que se abastece únicamente de energía renovable, es el llamado “Turanor PlanetSolar” (Figura 1-5), cuya cubierta está ocupada por múltiples paneles solares distribuidos y es capaz de navegar en la oscuridad durante 72 horas seguidas.



Figura 1-5: Turanor PlanetSolar alimentado únicamente por energía solar

En la industria del transporte marítimo, ya se plantea desde hace años la reducción del consumo de combustibles fósiles para implantar otros sistemas alternativos renovables para la generación de energía. Sin embargo, el desarrollo de un buque capaz de abastecerse solamente captando energía del entorno, está todavía lejos de conseguirse debido a la elevada potencia requerida por los motores que llevan este tipo de buques. No obstante, se conocen varios proyectos en los cuales las energías renovables tienen un papel destacable.

Hace un tiempo la empresa japonesa “Eco Marine Power” (Figura 1-6) presentó un proyecto para aprovechar la energía solar y eólica. Se basa en un diseño llamado “Aquarius MRE” [9] que permitirá a los buques obtener potencia de una manera mucho más eficiente y reduciendo la emisión de gases contaminantes. Utiliza velas rígidas móviles con paneles solares instalados, de manera que se pueden poner en la posición idónea para aprovechar al máximo el viento y la radiación solar. El sistema se

puede incorporar en barcos ya existentes o implantarlo en futuros proyectos como el “Aquarius Eco Ship”.

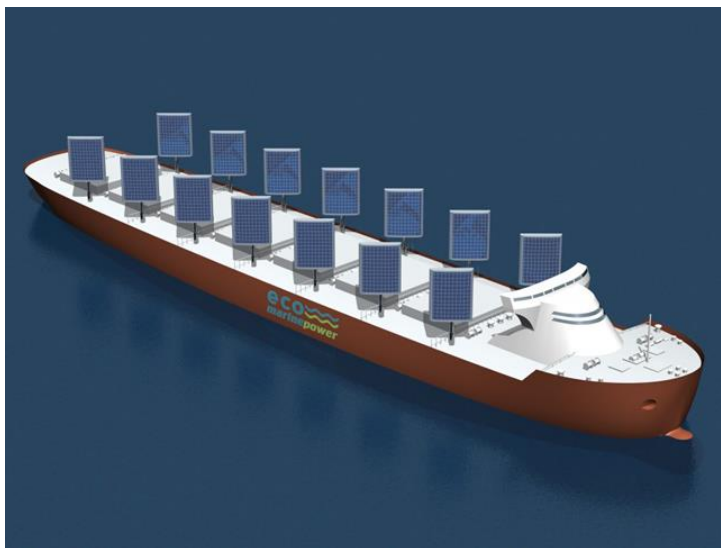


Figura 1-6: Aquarius Eco Ship. Prototipo de la empresa EMP

2 DESARROLLO DEL TFG

2.1 Introducción

En este apartado se pretenden explicar las energías renovables más comunes y analizar las tecnologías que existen para aprovechar cada una de ellas. Se trabajará con paneles solares, aerogeneradores e hidrogeneradores. Por otro lado, es de especial interés la posible aplicación de las mismas al suministro eléctrico del crucero de instrucción Agüete. Para ello, se hará un estudio de los factores meteorológicos y de esta forma poder realizar una simulación con la herramienta Matlab/Simulink® que permitirá obtener la cantidad de energía generada con cada una de ellas.

2.2 Energía solar

La energía solar es aquella que viene directamente del sol sin transformar. Para su aprovechamiento se necesitan sistemas de captación y almacenamiento de la radiación solar. Existen diversas formas para el aprovechamiento de dicha energía, entre las que se encuentran las siguientes:

- *Utilización directa:* Mediante elementos con alta capacidad de absorción de energía térmica se puede utilizar de forma directa. Es la llamada energía solar térmica pasiva.
- *Transformación en calor:* Se trata de la energía solar térmica, que aprovecha la radiación solar para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos.
- *Transformación en electricidad:* Es la energía con la que se va a trabajar, la llamada energía solar fotovoltaica, que permite captar la radiación solar mediante células fotovoltaicas para convertirla en energía eléctrica.

2.2.1 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica ha sido una de las energías elegidas debido a su nivel de desarrollo. Existen numerosas aplicaciones en las que se utiliza esta energía, y una de ellas es su aplicación en los barcos. En este apartado se explica el principio de funcionamiento de la tecnología fotovoltaica con algún apoyo en imágenes ilustrativas. A continuación se explicarán las diferentes células fotovoltaicas que existen y los tipos de sistemas que incluyen la energía fotovoltaica como fuente de energía principal. Por otro lado, se hará una descripción del modelo utilizado para hacer la simulación con el software Simulink®.

2.2.1.1 Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento está basado en el efecto fotoeléctrico o fotovoltaico que utilizan determinados materiales capaces de absorber fotones y emitir electrones. Cuando los electrones libres son capturados se produce una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

Los paneles solares están formados por células fotovoltaicas. Cada célula está compuesta por dos materiales semiconductores de diferente espesor. Es necesario que haya una unión entre un material de tipo P y un material de tipo N. El primero tiene huecos libres y el segundo tiene electrones libres que tienden a ocupar los huecos que le ha dejado el material de tipo P. En esta unión se produce un campo eléctrico, ya que hay intercambio de electrones y huecos. Cuando ya no puede haber más intercambio, se consigue un campo eléctrico permanente

Al incidir la luz sobre la célula (Figura 2-1), concretamente, sobre el material de tipo N, los fotones rompen el par electrón-hueco. Esto provoca una separación y una circulación libre de los electrones. Mediante un conductor externo, se une la capa negativa junto a la positiva y se aprovecha esa ruptura del enlace, consiguiendo que haya flujo de electrones (corriente eléctrica) desde el polo positivo (material de tipo P) al negativo (material de tipo N), siendo la intensidad proporcional a la cantidad de radiación solar incidente.

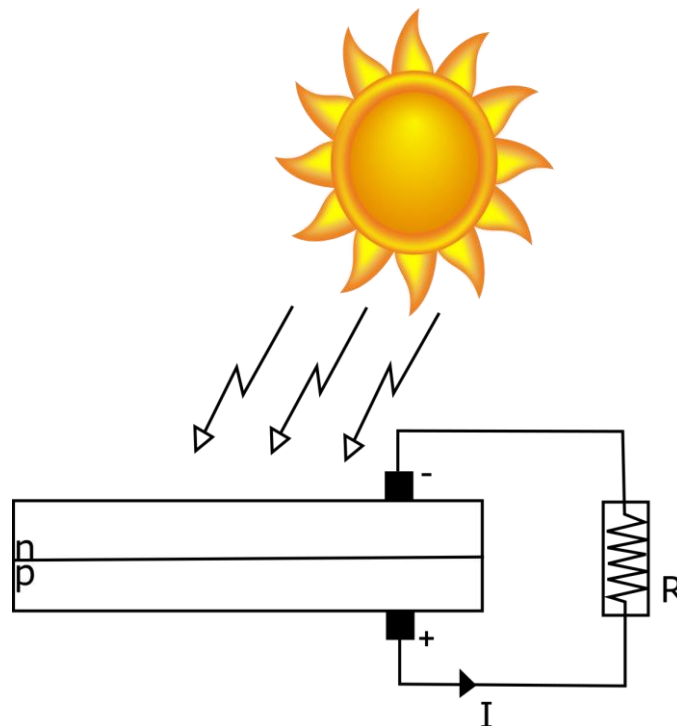


Figura 2-1: Efecto fotoeléctrico

La luz incidente choca con la célula con diferentes ángulos que varían con la trayectoria del sol; esto hace variar la cantidad de radiación solar que puede ser captada por la célula. A lo citado anteriormente, se le añade que la luz no siempre viene directamente del sol, sino que puede ser producto de un reflejo de la radiación sobre un terreno o de una dispersión generada por la atmósfera.

2.2.1.2 Sistemas fotovoltaicos

La conexión de varios elementos para el aprovechamiento fotovoltaico forma un sistema fotovoltaico. Los sistemas fotovoltaicos van a poder dividirse en función de si el sistema se encuentra o no conectado a una red eléctrica convencional [10]:

- *Sistemas fotovoltaicos conectados a una red eléctrica:* la energía generada se usa para alimentar una red eléctrica y de esta manera ayudar a la producción de energía eléctrica. Es frecuente su aplicación en los tejados de las casas o en las plantas de generación de energía.
- *Sistemas fotovoltaicos autónomos:* son aquellos que se utilizan para cubrir, con energía obtenida de la radiación solar, una demanda energética aislada de una red eléctrica

convencional. Dentro de este grupo se pueden citar otros subgrupos como: sistemas de electrificación (iluminación y electrodomésticos), sistemas profesionales (estaciones de telemetría, radioteléfonos, etc.) o sistemas de bombeo de agua.

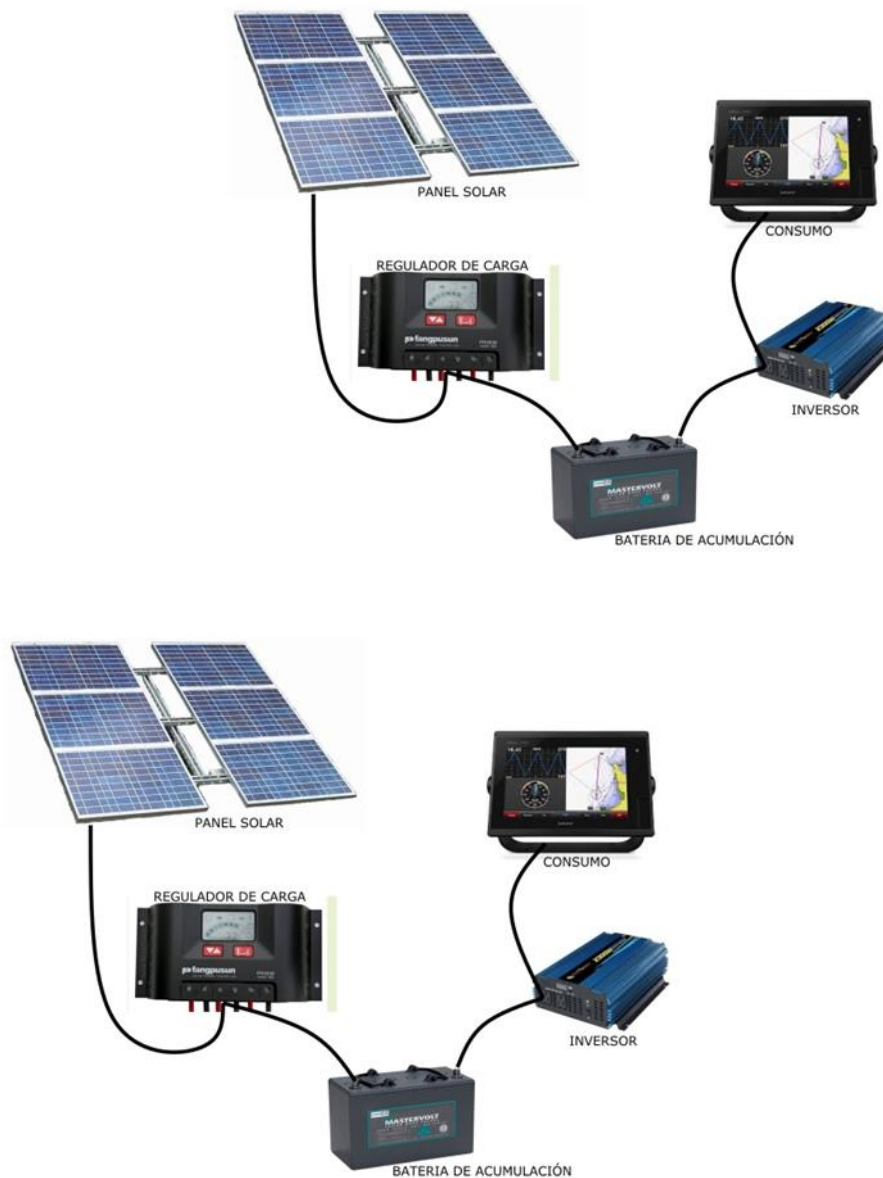


Figura 2-2: Sistema fotovoltaico

En función de esta clasificación los elementos que forman un sistema fotovoltaico pueden variar. El sistema fotovoltaico seleccionado para este trabajo es un sistema autónomo. A continuación, se citan los diferentes componentes que se pueden encontrar en un sistema de este tipo (Figura 2-2):

- *Panel o célula fotovoltaica:* existen de varios tipos y son los encargados de captar la energía que proviene del sol.
- *Batería de acumulación:* dónde se almacena toda la energía producida a partir de la radiación solar.
- *Regulador de carga:* está colocado entre el panel solar y la batería. Su función es controlar el estado de la batería durante la carga y descarga de la misma.

- *Inversor*: es el dispositivo que transforma la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC) permitiendo de esta manera conectar dispositivos que funcionan con AC.
- *Consumo*: cualquier electrodoméstico o dispositivo alimentado por el propio sistema. Pueden ser tanto de DC como de AC.

2.2.1.3 Tipos de células fotovoltaicas

A la hora de realizar el modelado es muy importante el tipo de célula o celda que se escoja, ya que en función de ello los parámetros del panel van a variar.

Existen varios tipos de células, cada uno con características diferentes, siendo una de las más relevantes y la cual se tendrá en cuenta, la eficiencia que puedan ofrecer. Las células están fabricadas generalmente con silicio, que junto con el empleo de otros materiales en pequeñas cantidades aporta una mayor conductividad de la célula. Teniendo en cuenta lo anterior, se exponen los tipos de celdas:

- *Células de silicio mono cristalino*: poseen una estructura uniforme que permite mejorar su eficiencia. El inconveniente que tienen es que el proceso de fabricación al que se someten es lento y consume mucha energía, lo que hace que sean los más caros del mercado [10].
- *Célula poli cristalinas*: a diferencia de los anteriores, poseen una estructura no uniforme. Su fabricación se realiza en moldes rectangulares y su coste de fabricación es menor que las de silicio mono cristalino. Cabe destacar que la eficiencia de los paneles con éste tipo de celdas ha aumentado considerablemente, llegando a obtener valores muy próximos a los de las celdas mono cristalinas.
- *Células de capa fina*: también llamadas células de silicio amorfo, poseen una estructura no cristalina, lo que permite fabricar células flexibles, muy útiles para instalarlas en las cubiertas de los barcos con forma redonda. El principal inconveniente de este tipo de células es la baja eficiencia que presentan comparándolas con los otros tipos de células.

2.2.1.4 Selección de la tecnología fotovoltaica

Como se ha visto en el apartado anterior, existen tres tipos de células, cada una de ellas presenta unas características particulares. Para el presente trabajo, se busca un tipo de celda con unos requisitos a los que se prestará más atención y los cuales se exponen a continuación:

- *Eficiencia*: es el parámetro a priori más importante, ya que el objetivo siempre es aportar un máximo de energía posible para cargar las baterías de un crucero.
- *Resistencia*: debido a las condiciones especiales a las que un barco está sometido durante la navegación, es evidente que el panel solar que se seleccione, debe tener una dureza y resistencia especial para soportar el entorno marino.
- *Durabilidad*: se busca además que los años de servicio, sean los máximos posibles para no tener que sustituirlos cada poco tiempo y poder aprovechar su máximo rendimiento durante muchos años.
- *Datos*: para su modelado es importante poder disponer de los datos técnicos del panel y posteriormente poder realizar la simulación con la herramienta Matlab/Simulink®.

La tecnología que mejor se adapta al caso particular que tiene lugar en este trabajo es la de silicio mono cristalino (Figura 2-3), ya que es la que mayor eficiencia presenta y, además, cumple aceptablemente en cuanto el resto de parámetros que se deben de tener en cuenta.



Figura 2-3: Panel solar mono cristalino

Por otro lado, se puede obtener una simulación lo más exacta posible, ya que, con la ficha técnica proporcionada por el fabricante, se pueden extraer muchos datos y crear un modelo que represente de manera más fidedigna posible el funcionamiento del panel solar seleccionado

DATO	VALOR
Potencia nominal (tolerancia $\pm 3\%$)	100 W
Cantidad de celdas en serie	36
Tensión máxima (V_{mp})	18 V
Intensidad de corriente máxima (I_{mp})	5,56 A
Tensión en vacío (V_{oc})	22,4 V
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	6,53 A
Coeficiente de temperatura de P_{pm} ($\%/^{\circ}C$)	-0,48/ $^{\circ}C$
Coeficiente de temperatura de V_{oc} ($\%/^{\circ}C$)	-0,34/ $^{\circ}C$
Coeficiente de temperatura de I_{sc} ($\%/^{\circ}C$)	+0.037/ $^{\circ}C$
Rango de temperatura	-40 $^{\circ}C$ a +85 $^{\circ}C$
Dimensiones (L x A x H)	1210x540x35 mm
Peso	8 kg

Tabla 1: Datos técnicos del panel solar mono cristalino

2.2.2 Modelado del panel fotovoltaico

Para representar el panel fotovoltaico mono cristalino se necesita un modelo que sirva para predecir de la manera más precisa y fiable posible la generación de energía. El modelo se elaborará en la herramienta Matlab/Simulink®, con la que se podrá aproximar con funciones matemáticas al funcionamiento real de un panel fotovoltaico.

En este trabajo se utiliza el llamado modelo de los 5 parámetros, creado por físico llamado Wiladys de Soto [11]. Una de sus ventajas de este modelo respecto a otros modelos ya existentes, es que necesita sólo cinco parámetros, que son generalmente proporcionados por el fabricante, para la representación del mismo.

2.2.3 Modelo de los 5 parámetros

El modelo de los 5 parámetros permite representar el comportamiento de una célula fotovoltaica, para ello se utiliza un circuito equivalente (Figura 2-4) que incluye una serie de resistencias y un diodo en paralelo [10]. Se puede utilizar tanto para una célula como para un panel hecho de varias células, por tanto muy útil para hacer una simulación precisa.

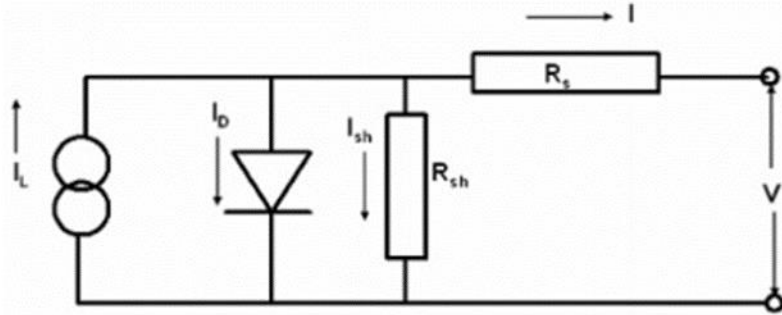


Figura 2-4: Circuito equivalente del modelo de los 5 parámetros

Los cinco parámetros de entrada de este modelo son: factor de idealidad (a), corriente luminosa (I_L), corriente de diodo (I_{ref}), resistencia en serie (R_S) y resistencia en paralelo (R_{sh}).

Para obtener las diferentes ecuaciones que representen el circuito equivalente, se aplica la Ley de Kirchhoff referente a la corriente. Se obtiene la fórmula siguiente:

$$I = I_L - I_D - I_{SH} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Al desarrollar los términos corriente de diodo y la corriente que pasa a través de la resistencia en paralelo, se obtiene la ecuación siguiente:

$$I = I_L - I_{ref} \left[e^{\frac{V+IR_S}{a}} - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_{SH}} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Para calcular la potencia se utiliza la ecuación comúnmente conocida:

$$P = I \cdot V \quad \text{Ec. 3.3}$$

Lo que se hizo para comprobar la eficacia de este modelo, fue comparar la curva I-V obtenida a partir del modelo de los cinco parámetros, con la curva I-V proporcionada por el NIST (“*National Institute of Standards and Technology*”). Quedó comprobado que si los 5 parámetros requeridos por éste modelo se conocen, entonces se pueden predecir con mucha precisión las curvas I-V asociadas a una célula fotovoltaica.

Para poder utilizar correctamente éste método, se requiere, como ya se ha dicho, calcular el valor de los parámetros, que juntos, dan sentido al modelo. Para ello, se necesita, en primer lugar, fijar una serie de condiciones estándar, que son $T_c=25^\circ\text{C}$ y $G_{eff}=1000\text{ W/m}^2$, refiriéndose a temperatura ambiente y a la irradiancia incidente respectivamente. En estas condiciones, se necesita conocer una serie de valores proporcionados por el fabricante que son:

- La corriente de corto circuito ($I_{sc,ref}$).
- El voltaje de circuito abierto ($V_{oc,ref}$).

- La corriente a la máxima potencia ($I_{mp,ref}$).
- El voltaje a la máxima potencia ($V_{mp,ref}$).
- La pendiente de la curva en el momento de cortocircuito.

Donde *mp* se refiere a máxima potencia, *ref* quiere decir en condiciones estándar, *sc* corto circuito y *oc* circuito abierto. Ahora bien, con todo lo anterior, se calculan los parámetros asociados a este método. Hay que decir que se van a calcular 4 parámetros, dado que la pendiente de la curva en el momento de cortocircuito, en los paneles mono cristalinos, tiene valores próximos a cero. Por ello, la resistencia en paralelo (R_{sh}), como depende de la corriente de cortocircuito, su valor tiende a infinito.

$$\frac{dI_{sc,ref}}{dV} = -1/R_{sh,ref} \quad \text{Ec. 3. 4}$$

Finalmente, después de desarrollar todas las ecuaciones, se llegan a obtener dos importantes, que introduciéndolas en la fórmula de potencia, se obtiene la ecuación que se utilizará más adelante. Las ecuaciones son las siguientes:

$$I_{mp} = I_{mp,ref} \frac{G_{eff}}{G_{eff,ref}} \quad \text{Ec. 3. 5}$$

$$V_{mp} = V_{mp,ref} + \beta_{Voc}(T_c - T_{c,ref}) \quad \text{Ec. 3. 6}$$

$$P = I_{mp} V_{mp} \quad \text{Ec. 3. 7}$$

En estas ecuaciones, I_{mp} es intensidad máxima, V_{mp} es la tensión máxima, G_{eff} es la radiación efectiva, β_{Voc} es la corriente luminosa, T_c es la temperatura y P la potencia. Para los cálculos posteriores, lo único que debemos conocer son los valores de los términos de las tres ecuaciones anteriores.

2.2.4 Modelo de un panel en Simulink®

Después de haber definido y explicado las ecuaciones que dan lugar al modelo de los 5 parámetros, estas se han implementado en Simulink®. En la Figura 2-5 se muestra el nivel superior del modelo implementado en Simulink® donde se pueden observar las entradas y salidas del modelo. Dos entradas o “inputs” con los datos de radiación global en (W/m^2) y temperatura ($^{\circ}C$), y una salida de datos con la potencia eléctrica obtenida (“output”).

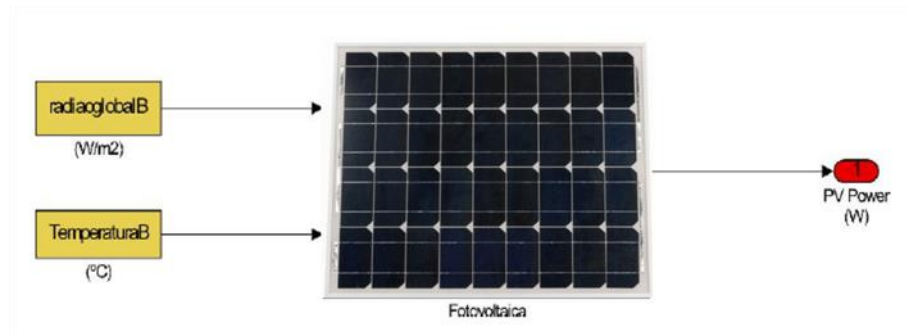


Figura 2-5: Esquema básico del modelo de un panel fotovoltaico

La parte central del modelo es la del funcionamiento del panel. Como se ha descrito anteriormente este funcionamiento se puede representar mediante una serie de ecuaciones y parámetros (Modelo de los 5 parámetros).

En la Figura 2-6 se puede observar como dichas ecuaciones han sido implementadas bajo el entorno de Simulink®. Se ha resaltado con color verde la parte del modelo referente a la radiación. En ella por una parte se encuentra la entrada de datos de radiación y a continuación un bloque multiplicador en el cual intervienen dos datos procedentes de las características del panel: la corriente de máxima potencia ($I_{mp,ref}$) y el valor de radiación de referencia ($Irradiance, ref$).

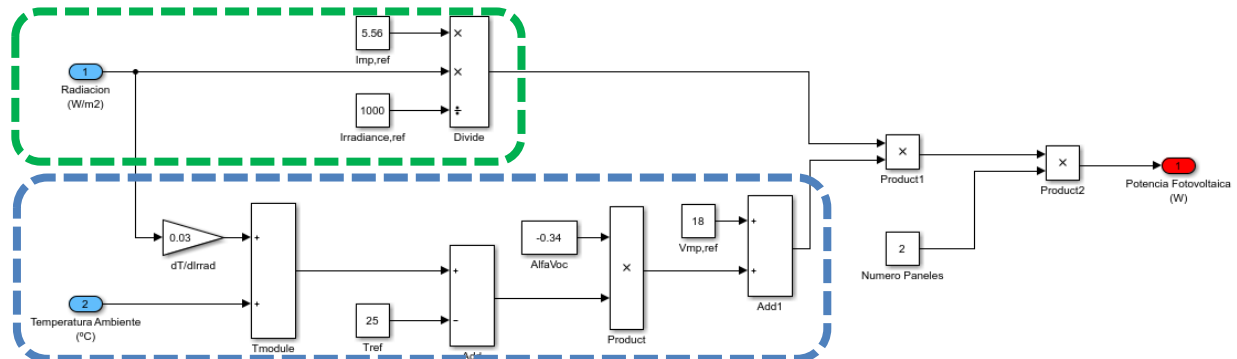


Figura 2-6: Modelo de simulación de una placa fotovoltaica en Simulink®

El bloque resaltado en azul representa la parte del modelo que tiene que ver con la temperatura y en la cual intervienen varios parámetros diferentes. La unión de todos esos bloques da lugar a la ecuación 3.6. Finalmente, se multiplican ambos datos obtenidos y se multiplican a su vez por el número de paneles que tenga nuestro sistema.

2.3 Energía eólica

La energía eólica es aquella que se obtiene a partir del aprovechamiento de la fuerza del viento mediante aerogeneradores, capaces de convertir ese movimiento en energía útil. Supone actualmente una fuente de energía renovable competitiva en comparación con las restantes energías renovables.

El calentamiento de las masas de aire existentes en la tierra provoca una diferencia de temperatura entre las mismas que, junto a las irregularidades de la superficie terrestre, genera diferencias de presión en el aire, que dan lugar al mismo viento. Los aerogeneradores son los encargados de transformar el movimiento provocado por el viento en energía eléctrica.

Ya desde hace varios siglos antes a.C, el viento se aprovechaba en el ámbito marino para mover embarcaciones a vela. Por otro lado, se construían molinos que eran accionados por el viento. Estos molinos llegaron a tener un papel muy importante en muchas actividades, como, por ejemplo, para moler el grano o drenar el agua. Son muchos los tipos de molinos que se han utilizado a lo largo de la historia, pero como precursor de los aerogeneradores actuales cabe mencionar la Aero turbina danesa creada por Lacourt (1892), que era una máquina capaz de desarrollar entre 5 y 25 kW [12].

A lo largo de los años se ha visto mucha progresión en el desarrollo de máquinas accionadas por el viento. Los aerogeneradores son sin duda los más desarrollados y utilizados para la obtención de energía. La construcción de campos eólicos es cada día más frecuente para abastecer centrales eléctricas.

2.3.1 Principio de funcionamiento

El principio básicamente consiste en la extracción de potencia del viento obteniendo cantidad de movimiento de la corriente. El movimiento que genera el viento al incidir sobre las palas de los aerogeneradores, provoca un giro de las mismas, que a su vez es transformado en energía eléctrica por el generador y almacenado en acumuladores o directamente suministrado a una red que demande la energía.

Los diferentes factores que forman parte en la generación de energía, son: la masa del aire (m) con una velocidad de viento (v) que se supone uniforme y unidireccional, la densidad del aire de la corriente (ρ) y la sección (A) sobre la que incide el viento.

Relacionando los factores citados anteriormente se puede formular una expresión con la que se puede obtener el valor de la potencia eólica, claramente dependiente de la velocidad. La expresión es la siguiente:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \text{Ec. 3. 8}$$

Es importante tener en cuenta que no se puede aprovechar el cien por cien de la potencia que nos aporta el viento, ya que existen una serie de pérdidas. En la ecuación anterior, hay que añadir un coeficiente de potencia (C_p) y de esta forma se obtiene la expresión de la potencia de una turbina.

$$P = C_p \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \text{Ec. 3. 9}$$

Según el llamado “modelo de Betz”, creado por el físico alemán Albert Betz, existe un límite para el valor máximo de coeficiente de potencia con el que puede funcionar una turbina. Se trata del llamado “límite de Betz”, que expresa que alrededor del 60% de la energía que contiene el viento se puede aprovechar en la turbina [13].

La producción de energía de la turbina eólica, como se puede intuir, no es constante debido a las variaciones de intensidad del viento que se generan constantemente. Para suavizar esta fluctuación, los aerogeneradores son capaces, hasta cierto punto, de compensarlo con la inercia del rotor de la turbina.

Por otro lado, cabe destacar que la intensidad del viento es mayor durante el día que durante la noche, esto es debido, entre otras cosas, a que la diferencia de temperatura entre la superficie del mar y la tierra son mayores durante el tiempo de luz. Esto es una ventaja, ya que la mayor parte del consumo de energía se produce durante el día.

La variación del viento en un lugar concreto se puede describir con el uso de la distribución de Weibull (Figura 2-7). Como se puede observar, se trata de una distribución de probabilidad para poder estimar el comportamiento del viento en un periodo de tiempo, normalmente un mes aproximadamente.

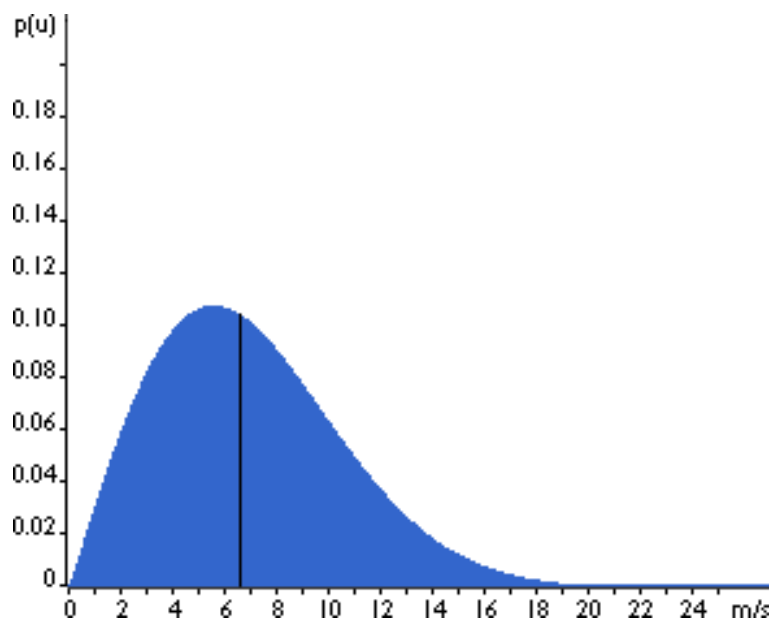


Figura 2-7: Distribución de Weibull

2.3.1.1 Tipos de generadores eólicos

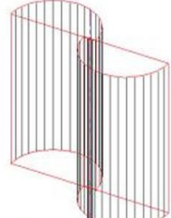
Las empresas pueden elegir fabricar entre varios tipos de aerogeneradores, los cuales se diferencian entre otras características, en la posición del eje (horizontal o vertical) y en la potencia que son capaces de aportar. Precisamente en el presente proyecto se va a hacer la clasificación en función de la potencia que pueden entregar y en función de la posición del eje.

Según la potencia nominal, los aerogeneradores eólicos se pueden clasificar de la siguiente manera en [14]:

- *Micro turbinas:* su uso está destinado principalmente a pequeños consumos de energía como caravanas, casas aisladas o incluso barcos. Están diseñadas, normalmente, para la carga de baterías de almacenamiento. Suelen ser de eje horizontal con tres palas y que trabajan con velocidades de rotación elevadas.
- *Pequeños aerogeneradores:* éstos están orientados a abastecer a un rango más grande de personas, generalmente una población aislada y se consideran turbinas con más potencia que las anteriores. Es frecuente su aportación en sistemas que combinan diferentes tipos de energía como la solar fotovoltaica o grupos de generadores Diésel.
- *Grandes aerogeneradores:* los aerogeneradores de esta magnitud son utilizados para abastecer a grandes redes eléctricas. Los más habituales son de eje horizontal con tres palas y están presentes en muchos parques eólicos desde los años noventa.
- *Aerogeneradores multimegavatio:* suelen ser los que más se ven hoy en día en los parques eólicos, son capaces de entregar una potencia de hasta 3 MW y tienen diámetros de hasta 90 m. También se utilizan en instalaciones marinas.

Por otro lado, se puede hacer una clasificación de los aerogeneradores en función de cómo esté colocado el eje:

- *Aerogeneradores de eje vertical:* conceptualmente son más sencillos que los de eje horizontal. Su eje de rotación se encuentra perpendicular a la superficie de la tierra. Tiene dos principales ventajas con respecto a los horizontales. Lo primero es que no necesitan un sistema de orientación ya que son omnidireccionales. Lo segundo es que el generador en sí mismo se encuentra en el suelo, lo cual hace más fácil su mantenimiento. Frente a las dos ventajas anteriores, estos aerogeneradores presentan unas eficiencias menores, por eso es más normal que se vean rotores de eje horizontal en los parques eólicos. En la siguiente tabla (Tabla 2) se muestran los más utilizados::

	Aerogenerador con rotor Savonius: Aerogenerador sencillo y generalmente el más se utiliza en los barcos, ya que está disponible en tamaños pequeños facilitando su instalación.
	Aerogenerador con rotor Darrieus: Es el que más rendimiento ofrece. Tiene dos palas curvas simétricas y su eje vertical descansa sobre el rotor. El problema que presentan es que están situados cerca del suelo, donde el viento es normalmente menor.

	Aerogenerador con rotor Giromill: Está formado por unas palas verticales que van unidas al eje por unos brazos horizontales. Las palas van cambiando su orientación para aprovechar al máximo la intensidad del viento.
	Aerogenerador con rotor Windside: Presenta una eficiencia que se acerca mucho a los aerogeneradores de eje horizontal. Tiene unas palas alabeadas con torsión que se prolongan por todo el eje vertical.

Tabla 2: Aerogeneradores de eje vertical

- *Aerogeneradores de eje horizontal:* en general estos aerogeneradores son más eficientes que los de eje vertical, de hecho son los que más se emplean en los parques eólicos. Su forma es la más parecida a un molino de viento de muchos siglos atrás. Básicamente es una columna sobre la cual se asienta la barquilla con sus palas unidas y dentro de la cual se encuentra el generador con todo el mecanismo que lleva integrado. La mayoría de ellos son de tres palas, aunque se utilizan también los mono pala o bipala.

2.3.2 Modelo de un aerogenerador Simulink

Se ha utilizado la herramienta Matlab/Simulink® para diseñar el modelo que mejor representa el funcionamiento de un aerogenerador. Se han combinado bloques, cada uno de ellos con diferentes funciones, para llegar a poder obtener los resultados de interés.

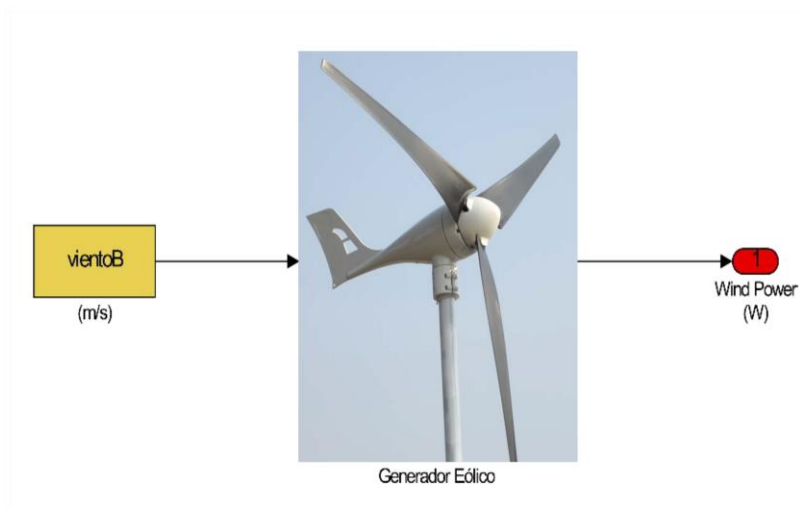


Figura 2-8: Esquema básico del modelo en Simulink®

La Figura 2-8 muestra como es el modelo de una manera muy sencilla. Básicamente consiste en una entrada de datos de viento en un modelo que parametriza la curva Potencia-velocidad del viento proporcionada por el fabricante. La combinación de ambas da una salida de potencia.

Para explicar el funcionamiento de cada bloque, se han resaltado los que son de mayor interés para poder entender y explicar de manera más sencilla el modelo. En primer lugar, se destaca en color verde

un bloque que sirve para la entrada de datos, en este caso el viento en m/s. Se ha escogido m/s para medir la intensidad del viento, ya que la mayoría de fabricantes proporcionan datos en dicha unidad.

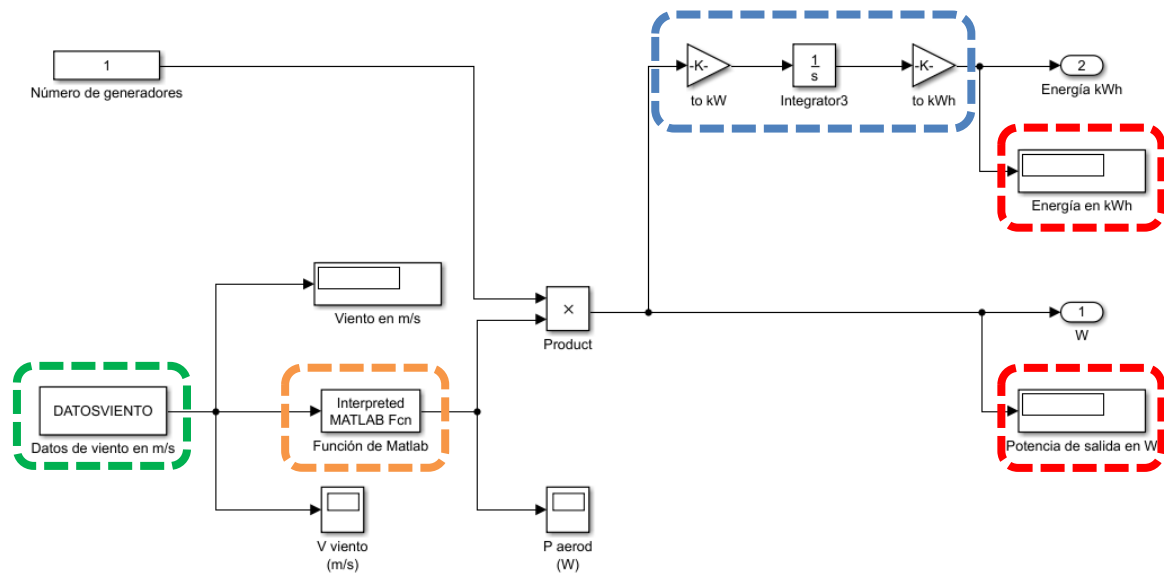


Figura 2-9: Modelo de un aerogenerador diseñado en Simulink

El recuadro naranja (Figura 2-9) resalta el bloque que permite la implementación y la interpretación de una función. En el caso del presente modelo, se implementará una función que representa a la curva P-v de un aerogenerador. Esto permitirá que, al introducir unas variables de entrada (rachas de viento en este caso) se pueda obtener la potencia entregada por el aerogenerador en cada instante.

En la parte superior derecha de la imagen, se han resaltado en azul tres pequeños bloques que son clave para poder obtener el dato de energía. El primero es un multiplicador que permite pasar de W a kW para después con el bloque integrador obtener la energía en kWh. El último bloque multiplicador permite el cambio de unidades de kWh a kWh.

Para finalizar la explicación del funcionamiento del modelo, cabe destacar los dos bloques en rojo que permiten la visualización, en cada instante, de los datos de energía y de potencia. Es fundamental la obtención del dato de energía para poder hacer una posterior comparación entre los aerogeneradores y para poder hacer un estudio sobre la implementación de esta energía en el esquema eléctrico del barco.

2.4 Energía hidrodinámica

La energía hidrodinámica se basa en el aprovechamiento de la energía del agua cuando está en movimiento. Ese movimiento se genera cuando la lluvia cae sobre las montañas y ésta desciende creando arroyos y ríos que generan una corriente muy potente hasta que desembocan en el mar. Ya desde la antigua Grecia se usaban molinos hidráulicos para moler el trigo y conseguir harina [15], por tanto el concepto de utilizar el agua para obtener un beneficio viene desde hace muchos siglos.

Es un tipo de energía que lleva explotándose desde hace muchos años. A finales del siglo XIX comenzó a utilizarse la energía hidroeléctrica para generar energía y abastecer las necesidades de las diferentes poblaciones. Su uso más avanzado es en el ámbito de la industria energética, en concreto las centrales hidroeléctricas. La primera fue construida en las cataratas del Niagara para suministrar energía a las farolas de las calles.

Las centrales están formadas por una presa que retiene el agua a una altura determinada. Cuando se libera el agua, esa energía potencial se aprovecha para mover unas turbinas situadas en la central y

estas mueven un generador para que pueda producir electricidad. Esta se transporta a los diferentes lugares que lo necesiten mediante cables eléctricos. La diferencia respecto a las dos fuentes de energía renovable anteriores (solar y eólica) es la posibilidad que tienen las centrales de controlar el paso del agua por las turbinas y de esta forma producir electricidad en función de las necesidades del momento. En contrapartida, el problema viene cuando hay estaciones del año en las que se producen periodos de sequía, ya que no se acumula suficiente agua para llenar la presa y por tanto la producción de energía se para parcialmente o completamente.

Otro ámbito en el cual se obtiene energía a partir de la energía cinética del agua es el medio marino. Por un lado se encuentra la energía mareomotriz [16] que le saca partido al ascenso y descenso de las mareas mediante molinos de mareas. Es una fuente de energía poco desarrollada hoy en día.

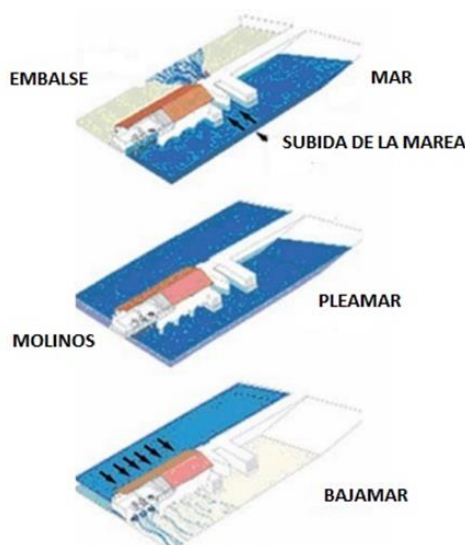


Figura 2-10: Esquema del funcionamiento de un molino de mareas

Como se puede observar en la imagen (Figura 2-10), durante la subida de la marea la presa se llena de agua hasta alcanzar su máximo en la pleamar. Cuando la marea comienza a bajar, el agua pasa por los molinos de marea que se mueven y generan energía aprovechando la bajada de la marea hasta la bajamar.

También, dentro de este ámbito se encuentra la energía undimotriz que aprovecha la energía cinética y potencial de las olas, sin embargo, la irregularidad constante que presenta el oleaje, hace que su rendimiento se vea perjudicado. Esto junto a su elevado coste para la construcción de instalaciones hace que su mejora siga en vías de desarrollo para un futuro mejor.

En la siguiente Figura 2-11 se muestra una planta undimotriz que está en vías de desarrollo, formada por dos grandes brazos mecánicos en contacto con el mar. Cada brazo está formado por una boya de 10m de diámetro que se mueve con el ascenso y descenso de las olas. Este movimiento acciona una bomba hidráulica situada en el extremo articulado del brazo. La bomba está unida a un circuito cerrado de agua dulce que acumula presión generada a partir del impulso generado por la bomba.

La bomba inyecta el agua del circuito cerrado en un tanque y almacena presión generada por la bomba en un acumulador, para que posteriormente se libere con mucha presión un chorro de agua para activar una turbina y de esta manera generar energía.



Figura 2-11: Planta undimotriz

Por otro lado, existen hidrogeneradores capaces de producir energía con el movimiento relativo que se genera en el agua al moverse el barco en un sentido. El desarrollo de los hidrogeneradores no es tan avanzado en comparación con las células fotovoltaicas y los aerogeneradores. En el apartado que se redacta a continuación se entra en detalle con el funcionamiento del hidrogenerador y sus características.

2.4.1 Hidrogenerador

Junto a las fuentes de energía solar y eólica, aparece el hidrogenerador que es capaz de generar energía con el movimiento del barco en el que va instalado. Los hidrogeneradores trabajan normalmente de forma autónoma y el movimiento de su hélice sumergida se produce en sentido contrario al que lo haría la hélice de propulsión del barco. De esta manera es capaz de proporcionar electricidad al barco en el que va instalado.

Su implementación tiene sentido en los barcos de vela, como los cruceros de instrucción de la Escuela Naval Militar, ya que utiliza la fuerza del viento indirectamente para generar energía. En un barco de propulsión, no se consideraría energía limpia, ya que se generaría electricidad con el movimiento del barco provocado por un motor y provocaría pérdidas por rozamiento que se traducen en mayor consumo de combustible.

Su uso más común es como sistema para apoyar la recarga de las baterías auxiliares de un barco. Se sitúan normalmente en la proa de los veleros y se pueden instalar varios en caso de que el espacio en la obra viva del barco lo permita. Los hidrogeneradores incorporan en su interior un convertidor de corriente alterna a continua y son capaces de obtener energía a bajas velocidades.

2.4.2 Modelo del hidrogenerador

El modelo diseñado en Matlab/Simulink® para representar el funcionamiento de un hidrogenerador es similar al que fue elaborado para el aerogenerador. En primer lugar, se muestra el esquema básico que representa de lo que va a ser el modelo de Simulink®.

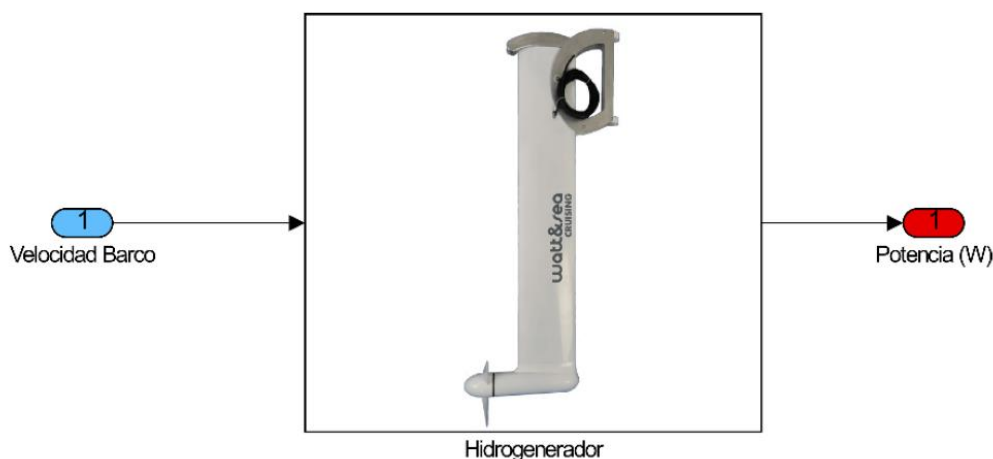


Figura 2-12: Esquema básico del modelo de un hidrogenerador en Simulink®

Se puede observar en la Figura 2-12 que el modelo consiste en una entrada de datos de velocidad del crucero y una salida de potencia. Entre medias, lo que se hace es conseguir una parametrización en forma de polinomio de la gráfica de potencia frente a velocidad de un barco proporcionada por el fabricante.

Entrando sin mucho detalle en el modelo (Figura 2-13), ya que es similar al del aerogenerador, se destacan dos bloques que en éste modelo cambian. En primer lugar, en el recuadro verde se resalta el bloque con el que se introducen los datos de velocidad del crucero en nudos y en segundo lugar se destaca en el recuadro naranja la función correspondiente a la curva de potencia del hidrogenerador.

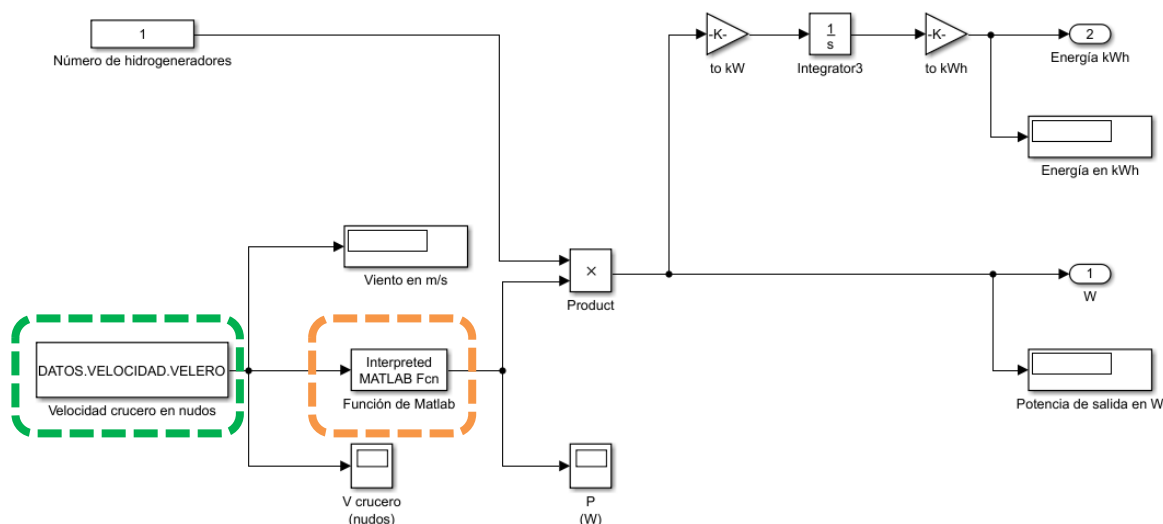


Figura 2-13: Modelo de un hidrogenerador en Simulink®

2.4.3 Elección del hidrogenerador

Como se ha expuesto en subapartados anteriores, la generación de energía a partir del aprovechamiento del movimiento del agua de mar no está tan desarrollada como otras. Concretamente, el concepto de aprovechar el avance de un barco para producir energía está aún menos avanzado. Esto lleva a que en general sean pocos los fabricantes de hidrogeneradores, por tanto, se ha escogido el hidrogenerador más conocido y avanzado del mercado. Su nombre es “Cruising” y pertenece a la compañía Watt&Sea.



Figura 2-14: Generador hidrodinámico Watt&Sea

Como se observa en la imagen (Figura 2-14) está compuesto por un brazo con una hélice en su extremo y por un soporte en el otro extremo para poder hacerlo fijo al espejo de popa del crucero. Este tipo de soporte permite que se pueda sacar del agua fácilmente en el caso de que no se quiera utilizar.

Por otro lado, el fabricante vende dos modelos diferentes. Uno es el de versión regata que permite variar el paso de la hélice electrónicamente para adaptar la potencia generada por la hélice y la potencia captada por las baterías. La otra versión no presenta esta tecnología, pero por lo demás son iguales.

Finalmente se ha escogido la versión crucero ya que, a pesar de que en algunas ocasiones el crucero de instrucción Aguete participa en regatas, su actividad normal es la de salir a navegar una vez a la semana y hacer tránsitos propios de un crucero.

Una vez escogida la versión regata, toca escoger entre los diferentes diámetros que ofrece el fabricante. Existen tres tamaños de hélice, cada una de ellas con una entrega de potencia diferente para cada velocidad. Como se puede apreciar en la imagen (Figura 2-15), el color verde refleja la potencia que es capaz de aportar el hidrogenerador con una hélice con un diámetro de 280 mm.

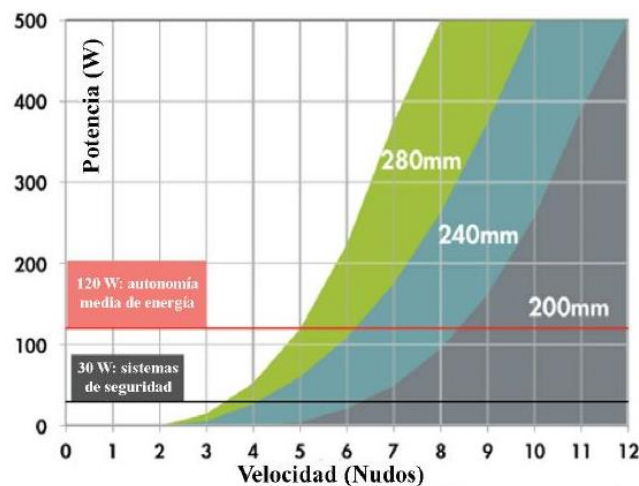


Figura 2-15: Curva P-v del generador hidrodinámico Watt&Sea

El tamaño escogido es precisamente el más grande, ya que en todo momento genera más potencia que los demás y porque es un tamaño muy adecuado para las dimensiones del crucero de instrucción Aguete. También se puede observar que es eficiente dentro de un rango de velocidades que van desde los 2 nudos hasta los 14 nudos, dentro de las cuales se mueve el crucero de instrucción Aguete.

2.5 Baterías

Las baterías recargables son elementos muy útiles para proporcionar energía a todo aquello que lo necesite dentro de muchos ámbitos diferentes como la electrónica, la automoción o en el caso del presente proyecto, el entorno marino. En estos últimos resulta ser un componente vital para proporcionar una autonomía duradera y poder navegar durante largos períodos, así como para abastecer los diferentes servicios de la embarcación.

2.5.1 Funcionamiento

Las baterías están formadas por celdas electroquímicas colocadas en serie o “en batería” y que son capaces de almacenar energía química, existente en los compuestos químicos que forman parte del proceso de carga y descarga, y posteriormente transformarla en energía eléctrica. Las reacciones químicas son eléctricamente reversibles y gracias a ello hacen posible que las baterías tengan la capacidad de carga y descarga.

Entrando en detalle en la estructura interna de las baterías, cada celda consta de un cátodo, ánodo y electrodo que hacen posible la circulación de iones entre los polos, y de esta forma se obtiene un flujo de energía en una dirección.

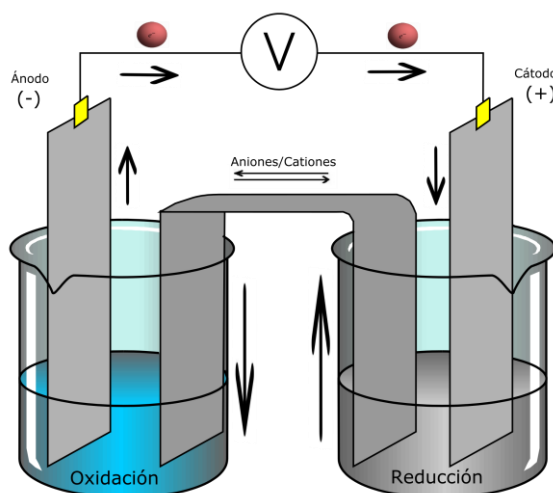


Figura 2-16: Esquema de una celda electroquímica

Una batería se dedica a almacenar energía, se cargan y descargan en función de una serie de reacciones electroquímicas de oxidación y reducción. En este tipo de reacciones, lo que ocurre es que un agente oxidante provoca la oxidación de otro que se llama reductor.

En la Figura 2-16 se observa un recipiente que contiene electrolito en solución, dentro del cual se introducen dos electrodos conectados a los polos de una batería (en la imagen se refiere al símbolo V) que genera corriente continua y de esta forma se establece un circuito eléctrico completo. Los electrones son los que transmiten la corriente desde la batería hacia la solución por medio de unos alambres. Dentro de la celda, los iones negativos y los iones positivos son los que conducen la electricidad.

El cambio en el tipo de conducción se establece cuando los iones positivos viajan hacia el electrodo cargado negativamente a reducirse (aceptando electrones), por otro lado los iones negativos van hacia el electrodo positivo a oxidarse (cediendo electrones) y de esta forma los electrones son bombeados hacia la batería por medio de los alambres conductores mencionados anteriormente.

2.5.2 Baterías de Pb-Ácido

Las baterías del crucero de instrucción Aguate son de plomo y ácido sulfúrico. Estas son las más utilizadas hoy en día debido a su bajo coste. En ellas, los dos electrodos están hechos de plomo y el electrolito es una solución de agua destilada mezclada con ácido sulfúrico. Para hacer referencia a ella, se le llamará batería Pb-ácido.

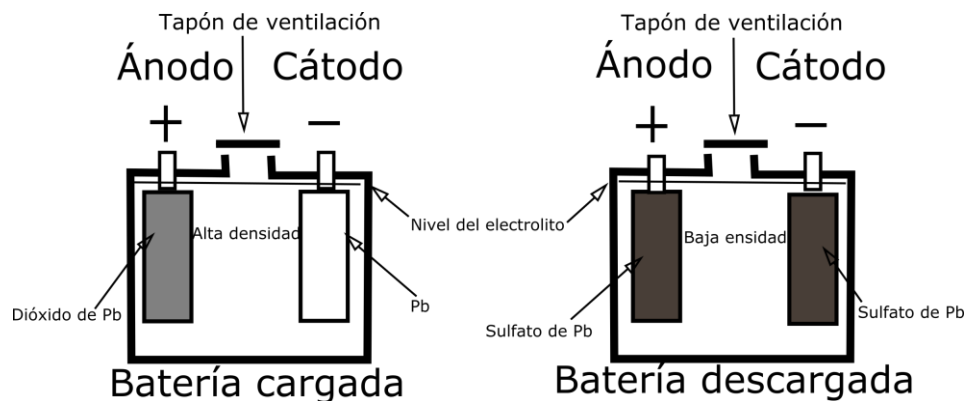


Figura 2-17: Esquema de una batería de Pb-ácido

Como se puede ver en la Figura 2-17 en la parte de arriba de la batería existe un tapón de ventilación. Esto es debido a que en el proceso químico que se desarrolla en la batería, se liberan gases (hidrógeno y oxígeno). El tapón está diseñado para que se evacuen los gases pero sin que exista la posibilidad de que el electrolito salga fuera de la batería.

El electrolito actúa de forma activa en el proceso electroquímico haciendo variar la proporción de ácido en la solución en función del estado de carga de la batería. Cuando la batería está cargada, la proporción de ácido en la solución aumenta, mientras que cuando la batería está descargada la cantidad de ácido disminuye.

Cuando la batería está completamente cargada, el electrodo positivo cuenta con una depósito lleno de dióxido de plomo mientras que el negativo es plomo. Cuando la batería se descarga, la reacción química que tiene lugar hace que las dos placas se queden con un depósito de sulfato de plomo. La concentración del ácido se puede monitorizar para poder conocer el estado de carga de la batería en cada instante.

Para caracterizar a una batería, se utilizan tres valores: la cantidad de energía que puede almacenar, la máxima corriente que puede entregar y la profundidad de descarga que puede sostener. La característica principal que se va a tener en cuenta a la hora de realizar las simulaciones, es la cantidad de energía que puede ser acumulada en una batería. Este dato viene dado en vatios-hora (Wh) y por otro lado, está la capacidad (C) de una batería de aguantar un régimen de descarga, esta se mide en amperios-hora (Ah).

Para una batería el número de Wh se puede calcular multiplicando el valor del voltaje nominal por el número de Ah, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Wh = Voltaje\ nominal \times Ah \quad Ec. 3.10$$

La Ec. 3.10 servirá para dimensionar la capacidad total de las baterías de las que dispone el crucero de instrucción Aguate.

2.5.3 Baterías del crucero de instrucción

La red de distribución eléctrica del Aguate (Figura 2-18) cuenta con varios grupos de baterías distribuidas a lo largo del interior del barco. Estas baterías sirven para dar energía a los diferentes

servicios de los que dispone el crucero y son todas de Pb-ácido. Estas baterías cuentan con un cargador que es alimentado de dos maneras, o bien en puerto por medio de una toma a tierra o bien por medio de un generador cuando el barco se encuentra navegando.

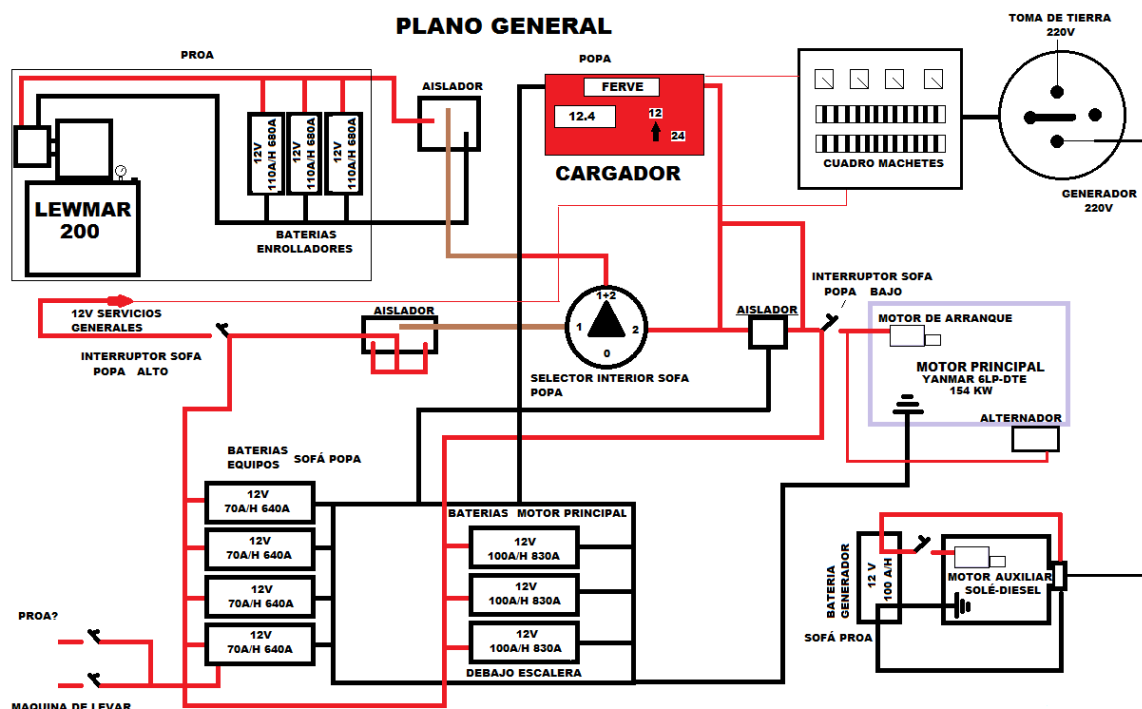


Figura 2-18: Plano general de la red de distribución eléctrica del crucero de instrucción Aguete

A través de un interruptor de tres posiciones, se puede seleccionar la toma de tierra, el generador o bien el cuadro principal. Este último distribuye los 220 V de corriente alterna a diferentes equipos, entre ellos los cargadores de las baterías. También dispone de 5 grupos de baterías con la siguiente distribución:

- *Grupo de tres baterías de 12 V:* se sitúan en paralelo y en la proa del barco. Cada una de ellas tiene una capacidad de 110 Ah. Este grupo alimenta al circuito hidráulico de los enrolladores de las velas. Se cargan con el cargador situado a popa.
- *Grupo de dos baterías de 12 V:* están colocadas en serie y hacen un total de 24 V de corriente continua con 142 Ah de capacidad. Este grupo sirve para alimentar a la bomba de la hélice de proa.
- *Una batería de 12 V:* es la batería de arranque del motor auxiliar que cuenta con 100Ah de capacidad y se carga directamente con el alternador del motor auxiliar.
- *Grupo de cuatro baterías de 12 V:* su disposición es en paralelo y cada una tiene una capacidad de 70 Ah. Sirven para dar corriente a la máquina de levar (es la utilizada para subir y bajar el ancla).
- *Grupo de tres baterías de 12 V:* son las baterías de arranque del motor principal y cada una cuenta con 100 Ah, lo que hace un total de 300 Ah.

Una vez conocida toda la red de distribución y todas las baterías con las que cuenta el barco para dar energía a los diferentes servicios, se puede hacer un cálculo de la capacidad total con la que cuenta el barco. Sumando todas las capacidades y teniendo en cuenta la disposición en serie o en paralelo de cada una de ellas, da un total de 1150 Ah aproximadamente.

3 SIMULACIÓN

3.1 Simulación energía fotovoltaica

En el presente apartado se realizó una simulación de la energía que podría producir el crucero Aguete durante el periodo de una semana. Esta simulación se realizó a partir de los datos reales obtenidos de radiación y temperatura. Finalmente se muestran los resultados de las simulaciones y se obtienen las conclusiones que de ellos se derivan

3.1.1 Dimensionamiento de los paneles

Una vez definida la tecnología fotovoltaica a emplear en el apartado 2.2.1.4, es necesario seleccionar el tipo de paneles monocristalinos a instalar. Esto se realizó en función de las dimensiones del espacio disponible en el crucero Aguete. Cada panel mono cristalino es capaz de entregar una potencia diferente, debida principalmente a las dimensiones del panel. Combinando varios tipos de paneles se puede optimizar la producción de energía en función del espacio disponible.

Para hacer menos aparatosa su instalación y que no impida hacer una actividad normal en la cubierta durante las navegaciones, se ha pensado en utilizar únicamente la superestructura para cubrir los espacios que tiene disponibles y de los cuales no se hace uso alguno.

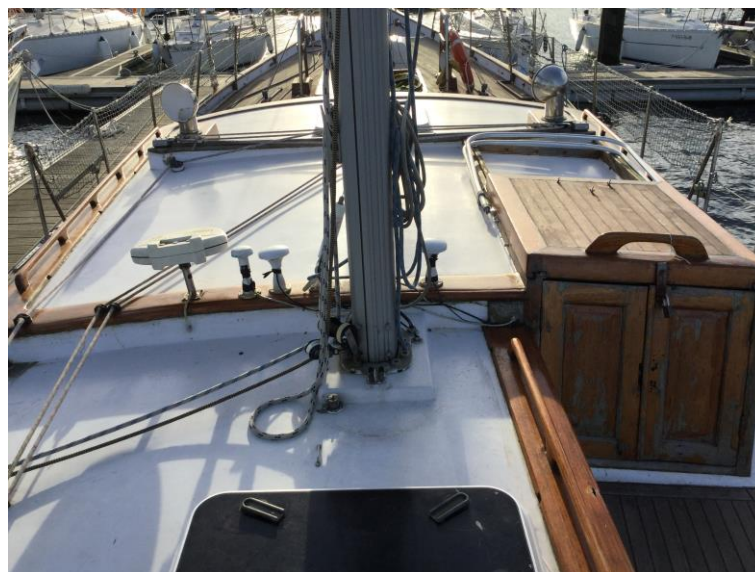


Figura 3-1: Superestructura del Aguete

En la imagen (Figura 3-1) se puede observar la cantidad de espacio disponible en esta parte del crucero, convirtiéndose en una ubicación idónea para ocupar con paneles solares. La superestructura dispone aproximadamente de 10 m^2 de los cuales no todo es aprovechable debido a los diferentes elementos que son fijos y suponen un obstáculo para la instalación. Quitando el espacio no aprovechable, queda un total de 9 m^2 para instalar los módulos. Para poder hacer una buena distribución de los paneles, se han hecho mediciones de las dimensiones que tiene la superestructura (Figura 3-2).

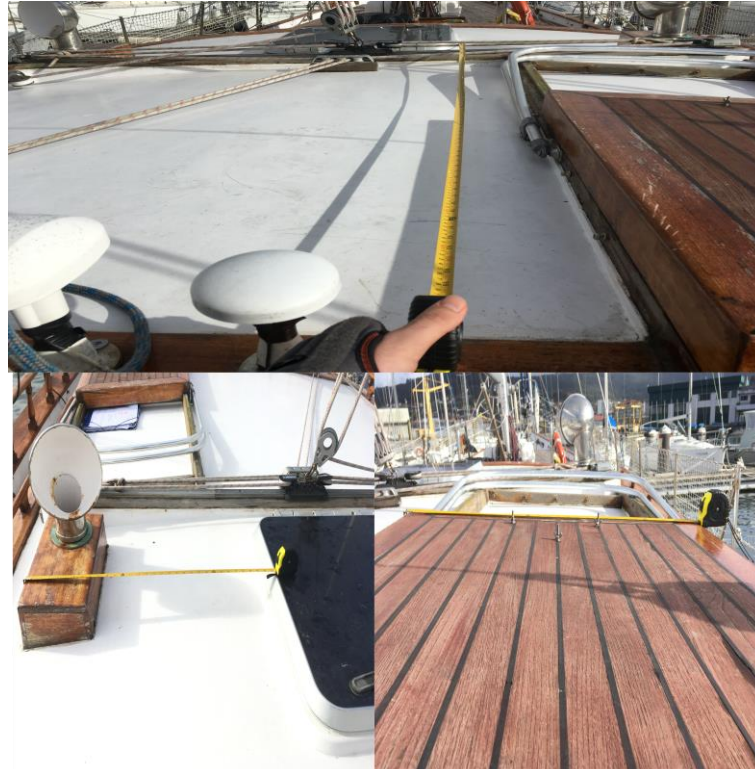


Figura 3-2: Medición de la superestructura del Aguete

Una vez realizada las mediciones, se ha calculado el número óptimo de paneles instalables. Para ello se han hecho dos propuestas en las cuales se han utilizado diferente número de paneles y por tanto se ha generado diferente energía.

3.1.1.1 Potencia instalada de 700 W

La primera propuesta es la más ambiciosa. Se ha querido aprovechar todo el espacio disponible y de esta manera obtener el máximo de potencia fotovoltaica posible, priorizando así el ahorro de combustible y minimizando las emisiones de gases contaminantes.

En primer lugar, se ha estudiado el espacio disponible a raíz de las mediciones realizadas anteriormente. Para ello se ha realizado un esquema gráfico de toda la superficie del crucero y a partir de las especificaciones del fabricante de paneles solares [17], se ha planteado una distribución en la cual pudieran instalarse el máximo número de paneles.

El problema a la hora de maximizar el espacio es la necesidad de ajustar los módulos a los espacios existentes en la cubierta, debido a que las dimensiones de estos módulos vienen determinadas por la amplitud del catálogo del fabricante. A pesar de ello, se ha conseguido un buen reparto de la superficie.

Otra de las hipótesis que surgieron, era la posibilidad de utilizar las escotillas como superficie aprovechable, pero resultó ser inviable puesto que, si se instalaban módulos encima, quedaba

totalmente inutilizado y por tanto no se podría usar como entrada de luz solar o como una escotilla para ventilar.

Otro posible inconveniente era la posibilidad de que la jarcia de labor del crucero estorbase para el buen funcionamiento del sistema fotovoltaico. Finalmente se ha considerado que los cabos que pasan por encima de la superficie de la superestructura no supondrían un obstáculo dado que están hechos de materiales que no dañarían la superficie de los paneles.

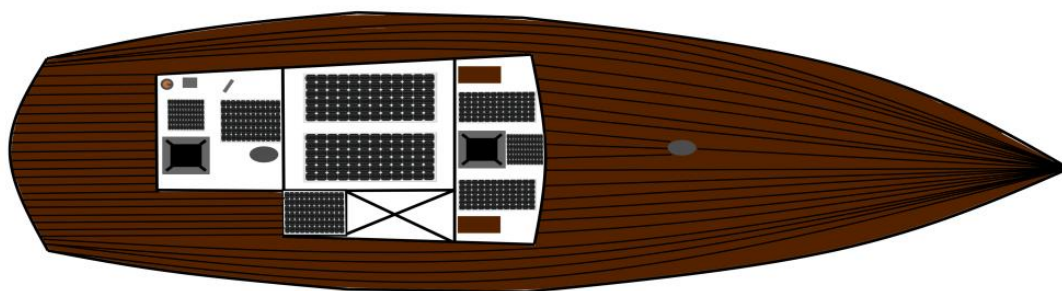


Figura 3-3: Propuesta (1) de distribución de los paneles solares

En la Figura 3-3 se puede ver el reparto de los espacios entre los módulos. Se han seleccionado tamaños diferentes, cada uno aporta una potencia acorde a sus dimensiones y la suma de todos ellos será lo que determine la potencia total instalada y la cantidad de energía que se pueda generar. En total se han elegido 8 paneles de 4 tamaños diferentes.

Tamaño (mm)	Potencia nominal (W)	Tensión máxima (V)	Corriente máxima (A)	Tensión en vacío (V)	Corriente de cortocircuito (V)
450 x 540 x 25	30	18	1,67	22,5	2
645 x 540 x 25	50	18	2,78	22,2	3.16
1005 x 540 x 35	80	18	4,45	22,3	4.96
1580 x 808 x 35	190	36	8,06	43,2	5.98

Tabla 3: Datos Técnicos de los paneles solares

En la Tabla 3 se muestran algunos de los parámetros más significativos y la potencia que es capaz de entregar cada panel en condiciones ideales ($T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $G_{\text{eff}}=1000\text{ W/m}^2$). Estos se van a tener en cuenta para la parte de simulación.

3.1.1.2 Potencia instalada de 380W

Esta se trataría de una propuesta más conservadora que la anterior, puesto que lo que se pretende en este caso es que las energías renovables formen parte del suministro eléctrico, pero de una forma más discreta. En este caso se ha optado por implementar dos paneles de 190 W (Tabla 3) distribuidos de la forma que muestra la Figura 3-4.

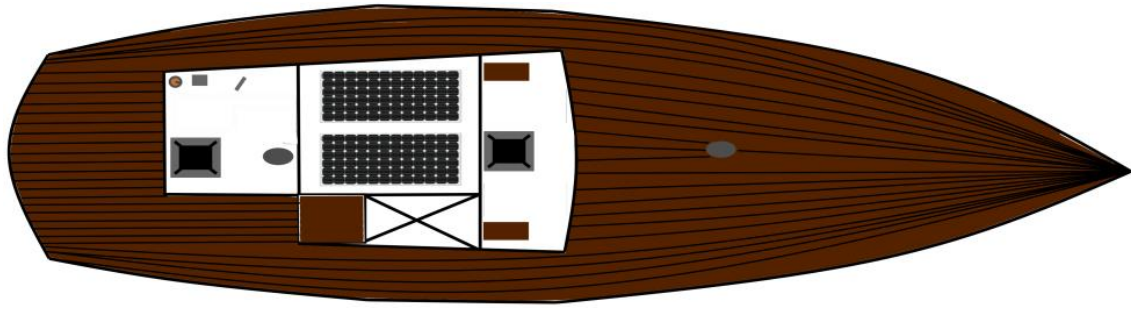


Figura 3-4: Propuesta (2) de distribución de los paneles solares

La superficie que se está ocupando en este caso es de $2,5 \text{ m}^2$, dejando libres los $6,5 \text{ m}^2$ restantes. Esto se traduce en una menor aportación de energía, pero, por otro lado, la superficie desocupada quedaría libre para otros usos, minimizando así su impacto en el crucero.

3.1.2 Adquisición de datos de radiación y temperatura

Para calcular la potencia fotovoltaica, se han obtenido datos de radiación solar y temperatura ambiente. Para ambos se han utilizado medidores que se han instalado en el propio crucero para hacer más precisa la simulación.

En primer lugar, la radiación se ha calculado con un medidor de radiación solar (PCE-SPM 1). Este aparato ha permitido calcular la radiación cada 5 segundos para poder hacer un estudio fiable de la radiación diaria. Los datos se han exportado al ordenador para su posterior tratamiento con la herramienta Matlab/Simulink[®].

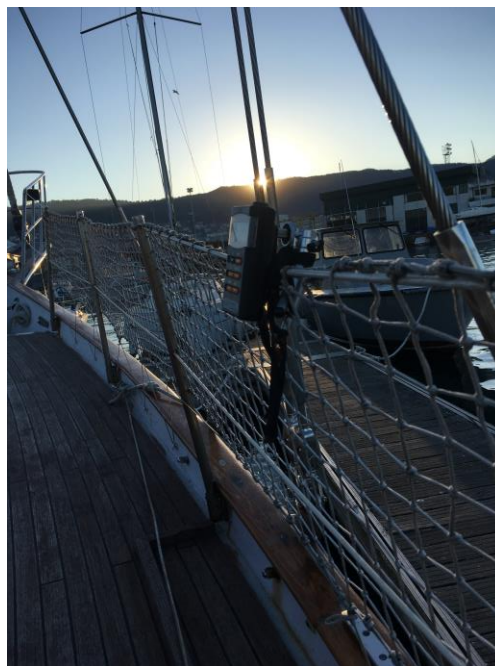


Figura 3-5: Medidor de radiación solar

Como se puede observar en la imagen (Figura 3-5), el aparato se colocó de tal forma que siempre apuntara al cielo y de esta manera simular la posición en la cual se instalarían los paneles.

Por otro lado, para el cálculo de la temperatura se han tomado los datos que proporciona la estación meteorológica utilizada en la parte eólica de este trabajo (Figura 3-12), y cuyas características se mencionarán más adelante. La toma de datos en este caso se ha hecho cada 15 minutos, dado que la

temperatura no es tan cambiante como la radiación. Finalmente, estos datos se insertaron en una tabla de Excel para su posterior tratamiento con Matlab[®].

En la adquisición de datos se han tenido en cuenta periodos de una semana, debido a que la frecuencia con la que sale a navegar el crucero es un día a la semana. Por tanto, sería interesante el estudio de la generación fotovoltaica durante este periodo.

3.1.2.1 Semana del 18 al 25 de febrero

La semana en la que se han obtenido datos para simular es la del 18 al 25 de febrero. En general, el tiempo fue soleado durante casi la totalidad de la misma, no obstante, dos días de la misma semana estuvieron parcialmente nublados y con algo de lluvia.

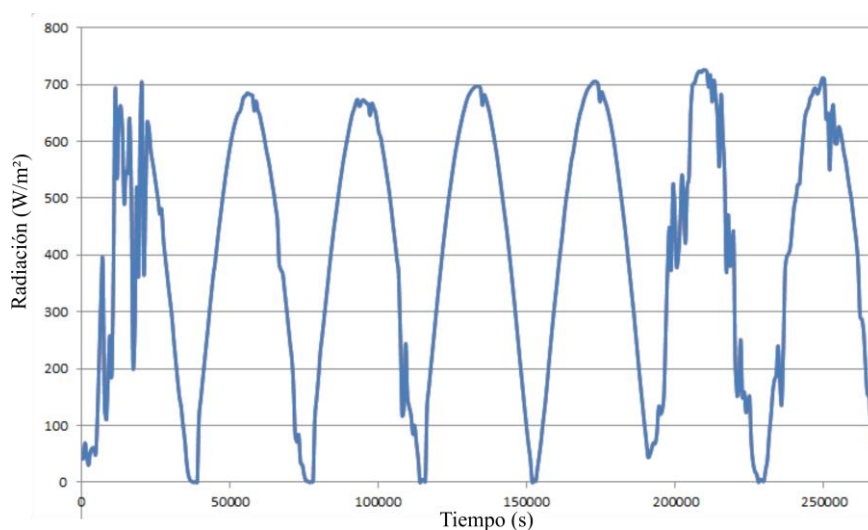


Figura 3-6: Datos de radiación solar de la semana del 18 al 25 de febrero

En la Figura 3-6 se pueden observar los datos de radiación obtenidos para ese caso. La radiación ha sido generalmente buena, obteniendo máximos de hasta 700 W/m^2 durante las horas de máxima altura del sol. Se puede observar la subida que se corresponde con el período del día en el cual el sol está subiendo y la bajada cuando la hora del día va aproximándose al momento del ocaso. Por otro lado, se puede apreciar la variación de la radiación del primer y penúltimo día y que son fruto de los momentos en los que el cielo se nubla.

Por otro lado en la Figura 3-7 se muestran los datos de temperatura para este mismo periodo. En color rojo se indica la temperatura externa que existió en cada momento en la cubierta del crucero de instrucción Agüete. Los máximos van desde los 27°C durante el día hasta mínimos de hasta 8°C durante la madrugada. Estas temperaturas mínimas tan bajas son normales para el periodo estacional en el que se realizaron las mediciones.

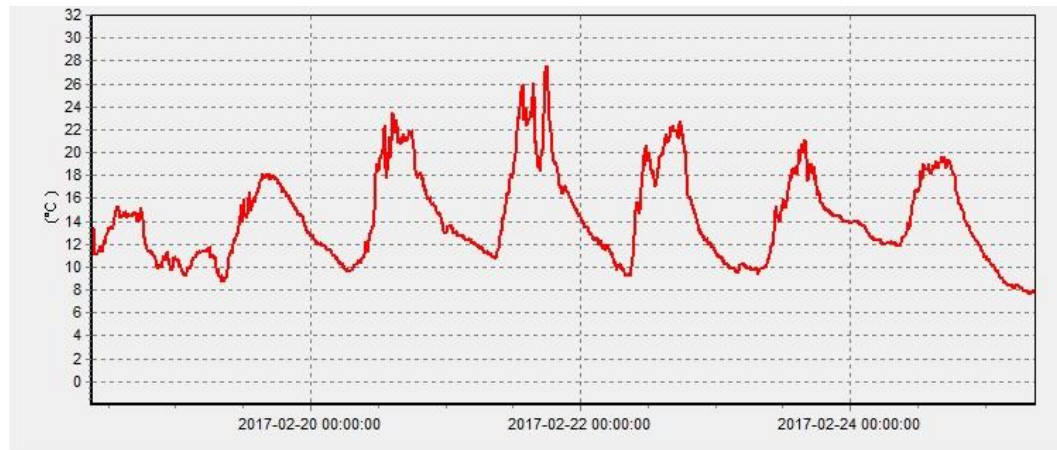


Figura 3-7: Gráfica de temperatura de la semana del 18 al 25 de febrero

3.1.2.2 Simulación primer escenario (700 W)

Una vez diseñada la distribución y calculado el número de paneles, se ha realizado la simulación en Matlab/Simulink® empleando el modelo desarrollado anteriormente (apartado 2.2.3) y particularizándolas con los datos proporcionados por el fabricante.

En este caso se han escogido los valores del panel de 190 W proporcionados por el fabricante “Victron Energy”. A continuación, se muestran los pasos seguidos, que han sido los mismos para todos los demás paneles. Por tanto, los valores de entrada del panel fotovoltaico de mayor tamaño son:

- *Bloques de entrada de datos:*
 - Temperatura (°C) y Radiación (W/m^2).
- *Bloques de datos del fabricante:*
 - V_{mp} : Tensión máxima= 36 V.
 - I_{mp} : Intensidad máxima= 5,44 A.
 - β_{oc} : Corriente luminosa= -0,34 %/°C
- *Bloques de datos de referencia:*
 - T_{ref} : Temperatura de referencia= 25 °C.
 - $G_{eff, ref}$: Radiación de referencia = 1000 W/m^2 .
- *Bloques de salida de resultados:*
 - E : Energía (kWh).
 - P : Potencia (W).

En esta propuesta hay varios paneles diferentes y por ello se ha simulado cada uno de ellos con sus características técnicas específicas. De esta manera, utilizando el modelo (Figura 2-6) explicado anteriormente, se han obtenido datos de energía de cada panel y se han sumado para poder obtener el total de energía que se puede generar en una semana.

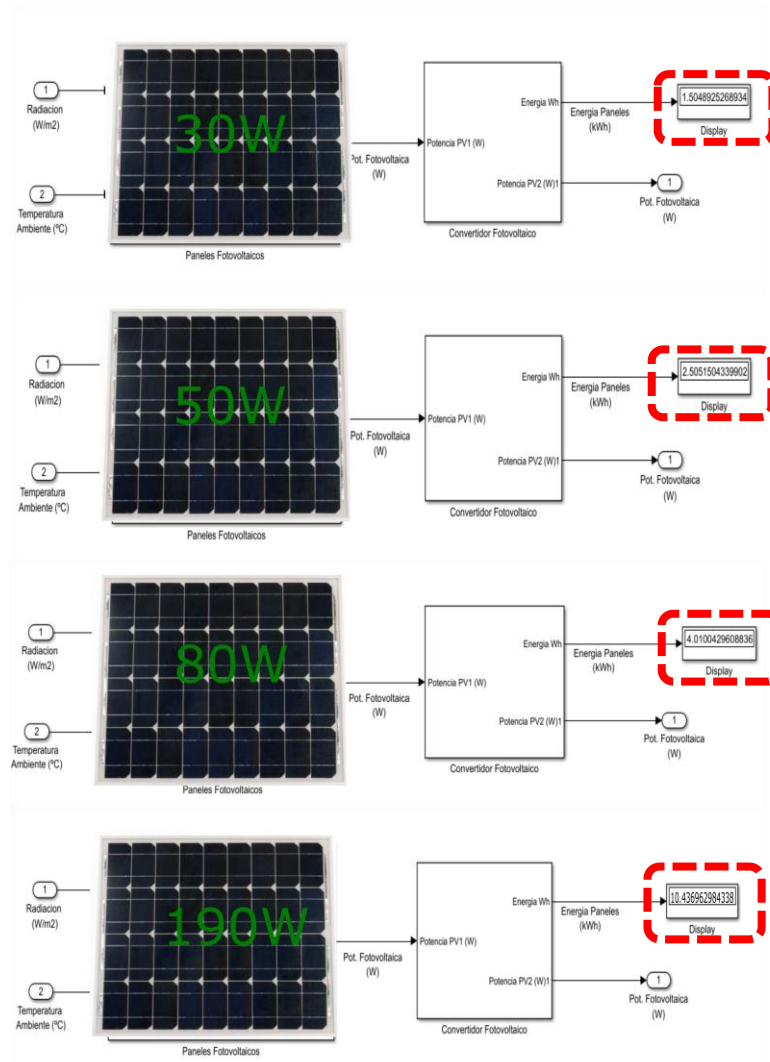


Figura 3-8: Simulación de los cuatro tipos de paneles solares en el primer escenario

Para realizar la simulación, se ha configurado el modelo desarrollado anteriormente en Simulink® y que fue explicado en el apartado 2.2.4. Para ello se han introducido los valores de los parámetros de cada uno de los paneles proporcionados por el fabricante.

Se puede observar en la imagen (Figura 3-8) que los pasos para realizar la simulación son idénticos, ya que se utilizan los mismos modelos, lo único que cambia son los datos específicos de cada módulo.

En cuanto a los resultados obtenidos, se puede apreciar que el panel de mayor potencia es el que más energía ha sido capaz de generar, llegando a conseguir una acumulación de hasta 10,4 kWh de energía.

Observando los otros resultados obtenidos, se observa como la capacidad de generar energía ha ido disminuyendo con el tamaño de los paneles, siendo el que menos energía ha generado el de 30 W de potencia nominal.

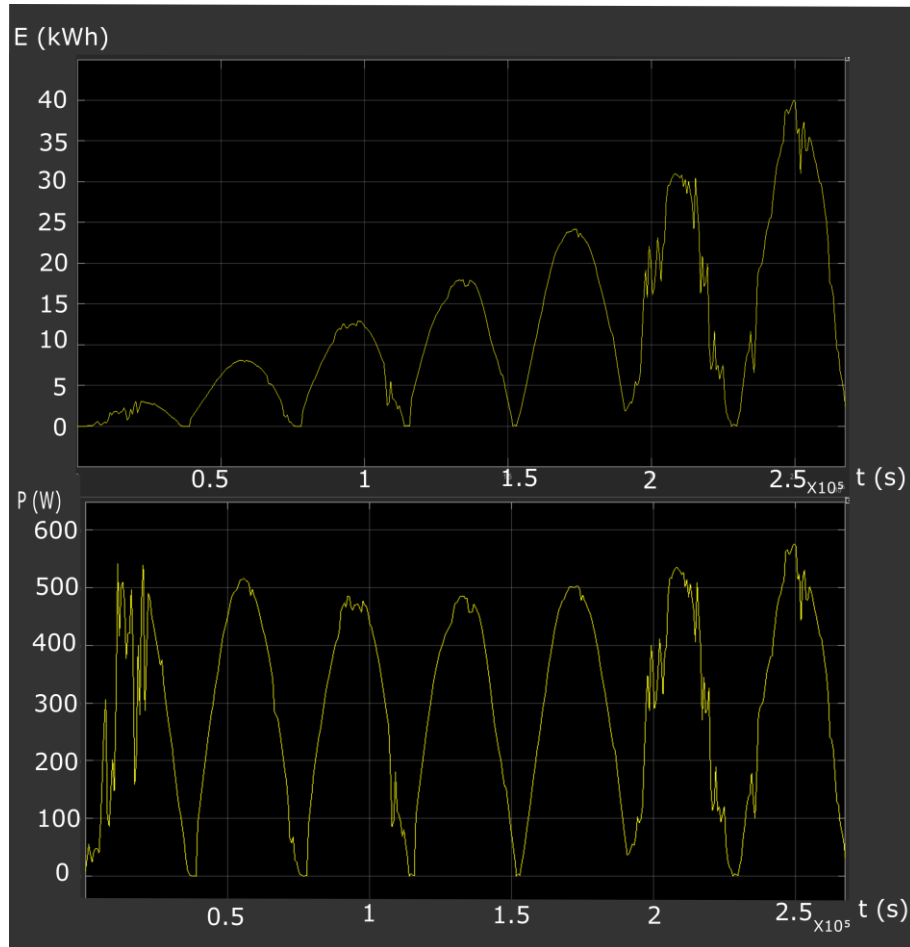


Figura 3-9: Resultados de energía y potencia del primer escenario

En la Figura 3-9 se presentan las gráficas de energía acumulada y potencia obtenidas en la simulación combinada de todos los paneles que forman parte de la simulación del primer escenario. Como se puede comprobar, se ha conseguido un total de 40 kWh (sumando dos paneles de cada tipo) de energía total que equivale a 3330 Ah en baterías de 12 V. Este resultado es tres veces la capacidad de todas las baterías del crucero de instrucción Aguete.

Esta propuesta sería más adecuada si el crucero hiciera más de una salida a la semana, puesto que el consumo sería mayor y por tanto se conseguiría una aportación muy provechosa por parte de las energías renovables.

3.1.2.3 Simulación segundo escenario (380 W)

Los resultados obtenidos son los mismos que en la simulación del apartado anterior para el panel de 190 W. En este caso, al ser dos módulos, la energía total generada es de 20 kWh, que equivalen a 1500 Ah, una cifra bastante más pequeña que la obtenida en el apartado anterior.

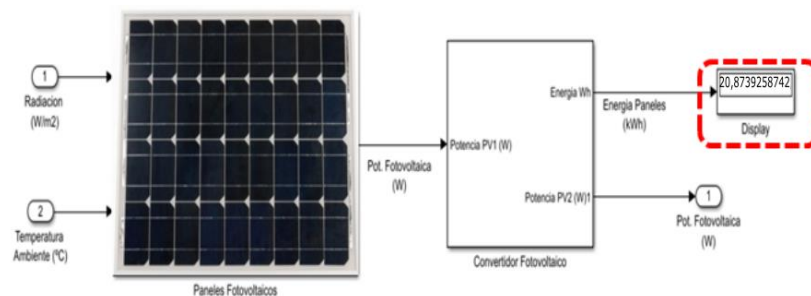


Figura 3-10: Simulación de dos paneles de 190W de la segunda propuesta

Con los resultados obtenidos daría para cargar todas las baterías que tiene el Aguete (Figura 2-18), incluso para algo más de capacidad. El problema aparecería en las semanas en las cuales no hubiese radiación solar tan alta como es el caso de esta semana de simulación, en tal caso, seguramente dos paneles solares no darían para generar mucha energía y habría que recargar las baterías en tierra.

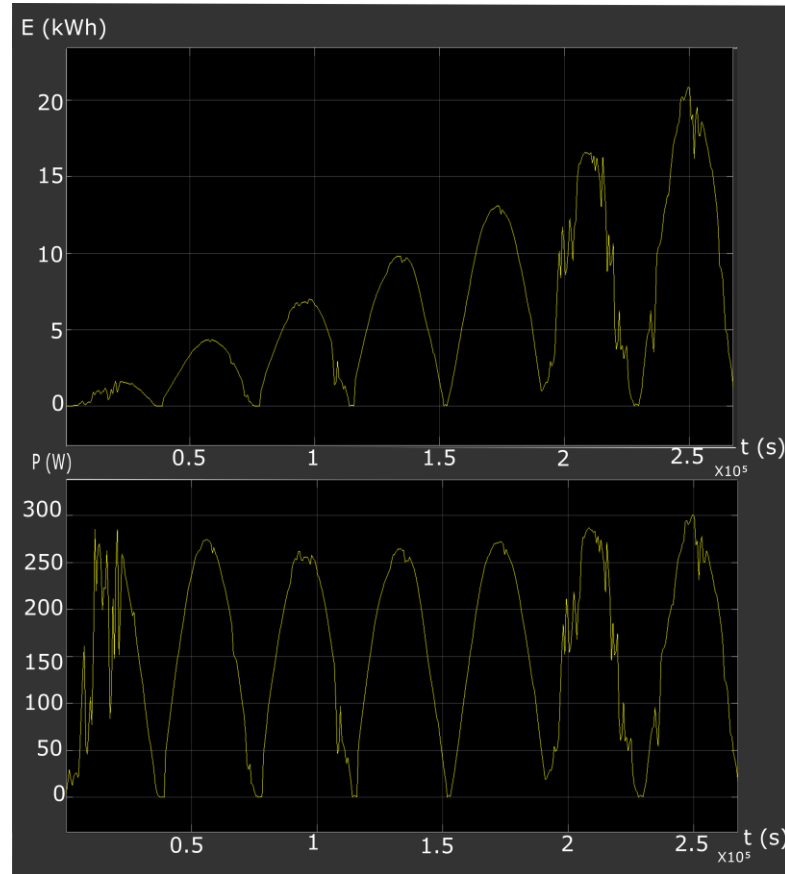


Figura 3-11: Gráficas de la energía y potencia fotovoltaica generadas en el segundo escenario

En la Figura 3-11, por un lado se encuentra la energía acumulada por dos paneles de 190 W a lo largo de la semana, que va ascendiendo hasta un total de 20 kWh aproximadamente, y por otro lado se pueden apreciar las oscilaciones que sufre la potencia fotovoltaica debido a la irregularidad de la radiación solar. Estas oscilaciones, van acorde también a las subidas y bajadas de temperatura (Figura 3-7), ya que dependen igualmente de la intensidad de la radiación solar.

3.2 Simulación energía eólica

Para la simulación de la energía eólica, en primer lugar, se ha realizado un estudio para varios aerogeneradores, de esta forma, se han analizado sus capacidades y se ha podido escoger el óptimo. Todo ello según las condiciones meteorológicas presentes en el pantalán, donde se encuentra atracado el Aguete. Una vez seleccionado el aerogenerador, se presentan los datos de viento utilizados para la posterior simulación del aerogenerador elegido y se continúa con un análisis de los resultados. Los datos de viento para la simulación corresponden a la misma semana de estudio que para el caso de la energía solar fotovoltaica.

3.2.1 Selección de un aerogenerador

Al igual que se realizó el apartado anterior para el caso de los paneles fotovoltaicos, es necesario de forma similar, realizar un dimensionamiento para la potencia instalada. En este caso se ha realizado un estudio del tipo de aerogenerador óptimo para la instalación en un crucero. Se ha tenido en cuenta en primer lugar el tamaño, ya que el espacio del que se dispone en un barco de recreo es reducido. Por

ello, el tipo de aerogenerador que mejor se acopla a un crucero de las dimensiones del Agüete, se encontrará dentro del grupo de las micro turbinas (apartado 2.3.1.1). Dentro de este grupo, se encuentran micro turbinas con potencias que van desde los 100 W hasta los 1000 W, teniendo todos ellos dimensiones similares. Lo que suele variar es el número de palas que llevan acopladas, siendo la mayoría aerogeneradores tripala.

El siguiente criterio a tener en cuenta se trató de la velocidad mínima de arranque del aerogenerador, que puede variar de entre los 2,2 m/s hasta los 4 m/s aproximadamente. Es un parámetro muy importante, a la hora de elegir el aerogenerador, ya que, dentro de la dársena, dónde se encuentran atracados los cruceros de instrucción de la Escuela Naval Militar, los vientos son generalmente más flojos que los que existen en la ría de Pontevedra. Para elegir el aerogenerador, en primer lugar, se ha acotado el abanico tan amplio que nos presenta el mercado náutico poniendo la restricción de velocidad mínima antes mencionada. Teniendo esto en cuenta, se han escogido tres aerogeneradores con velocidades de arranque similares y bastante bajas. Para poder hacer distinción entre ellos y compararlos se ha hecho un estudio de la energía que podrían generar tomando como referencia la semana del 18 al 25 de enero.

Para la toma de datos, se ha utilizado una estación meteorológica (Figura 3-12) que se instaló en el propio crucero de instrucción.



Figura 3-12: Estación meteorológica

Como se puede observar, está colocada en la popa del crucero y a una altura baja, ya que no era viable colocarlo a una mayor elevación. La estación cuenta con un anemómetro, un termómetro y pluviómetro, aunque este último no se ha utilizado para el presente trabajo.

Gracias a la estación, se han conseguido valores precisos de viento de varias semanas. Para poder observar y grabar toda la información, la estación dispone de un transmisor que intercambia información con un dispositivo con memoria interna. Ambos se conectan a través de frecuencia radio para poder guardar y visualizar los datos. En el ordenador fue necesario instalar un software denominado como “Easyweather” con el cual se puede visualizar la información en tiempo real. Gracias a este software, cuando se conecta el dispositivo al ordenador, se pueden visualizar los datos en tiempo real y hacer una copia de los mismos, eligiendo el periodo de tiempo que mejor se adapte a nuestros intereses.

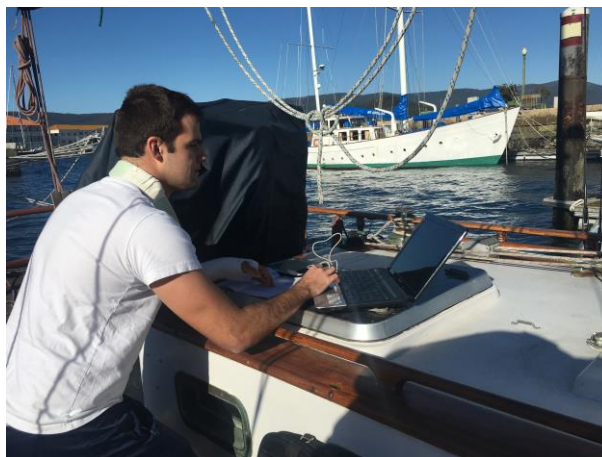


Figura 3-13: Transferencia de datos

Se ha seleccionado la primera semana en la que se instaló el anemómetro para hacer la prueba de simulación de los aerogeneradores. Como se puede ver en la imagen (Figura 3-14), los vientos en dicha semana no son muy intensos.

En color rojo se muestran los datos de viento y en color verde los datos de las rachas de viento. Se han tenido en cuenta los datos correspondientes a las rachas para no dejar de lado los intervalos en los que el viento ha soplado con mayor intensidad. De esta forma, se ha desarrollado una media entre los valores de viento y los datos de rachas de viento.

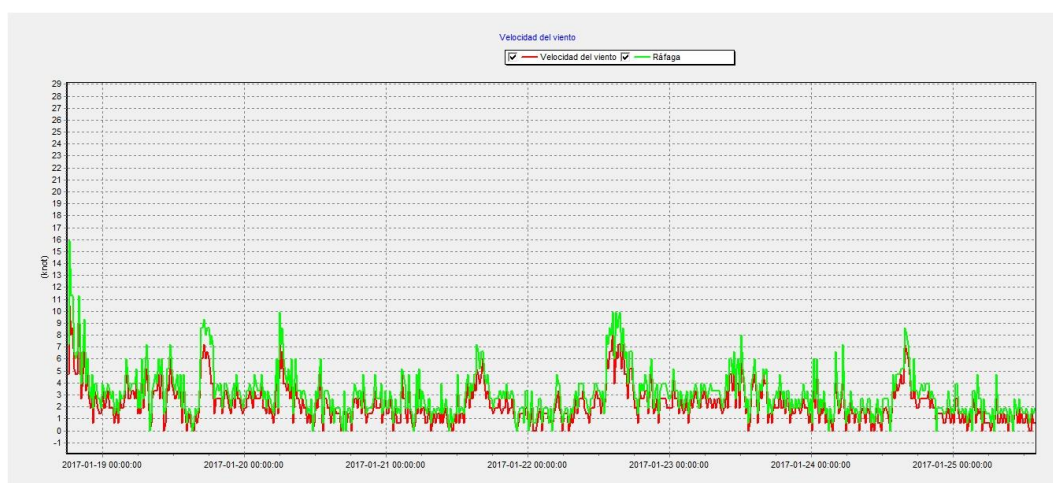


Figura 3-14: Gráfica de viento de la semana del 18 al 25 de enero

El estudio de la potencia y de la energía asociada a estos valores, se ha realizado con la herramienta Matlab/Simulink®. Se ha utilizado el modelo descrito anteriormente en el apartado 2.3.2 para hacer la simulación con cada uno de los aerogeneradores.

En cada caso, se ha implementado la curva proporcionada por el fabricante P-v (potencia-velocidad de viento) y mediante la herramienta de Matlab® “basic fitting”, se ha calculado el polinomio que mejor se ajustaba a la curva dada.

En general, los polinomios a partir del cuarto grado se ajustan muy bien y para no complicar los cálculos se han utilizado polinomios hasta de quinto grado en todos los casos.

Para explicarlo con más detalle, a continuación se exponen los datos de cada aerogenerador y un análisis de los mismos.

3.2.1.1 Generador eólico GE 400

Es un aerogenerador con potencia de salida de 400W y que está diseñado específicamente para embarcaciones y resistir entornos marinos. Tiene eje horizontal, tres palas y además incluye un regulador externo para controlar la potencia de salida y para que las baterías no sufran con las subidas y bajadas de la intensidad del viento. Su curva Potencia-velocidad de viento se expone a continuación y en ella se pueden apreciar diferentes detalles.

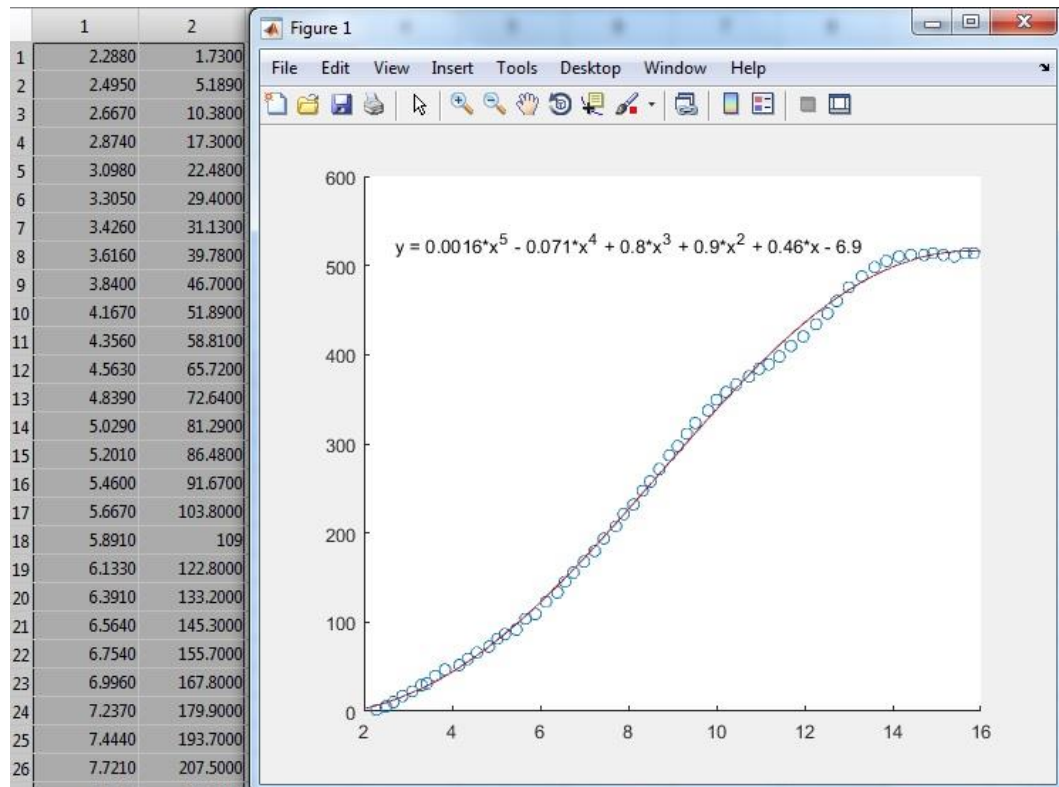


Figura 3-15: Curva P-v del aerogenerador GE 400

Como se puede observar en la imagen, la curva P-v (Figura 3-15) tiene como característica principal y más destacable que su velocidad de arranque es de 2,5 m/s aproximadamente, lo que permite que se comience a generar potencia desde velocidades muy bajas.

Por otro lado, presenta una pendiente ascendente y hasta los 500 W de potencia donde tiende a frenar por seguridad. También se puede observar que el polinomio elegido es uno de quinto grado, ya que es el que mejor se adapta a la forma de la gráfica. La simulación se ha realizado con el mismo modelo (Figura 2-9) mencionado en el apartado anterior.

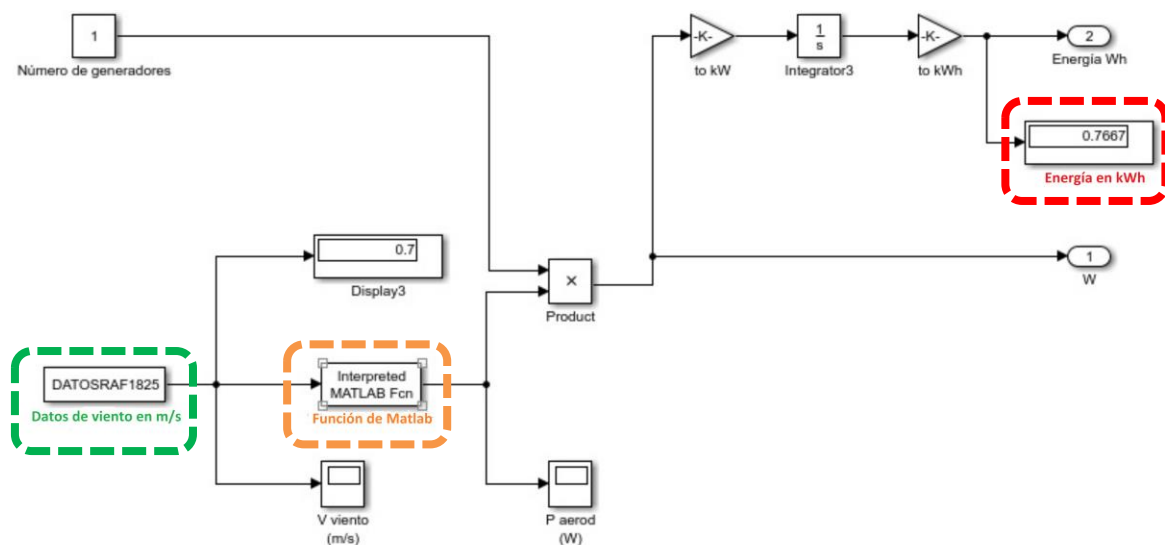


Figura 3-16: Modelo de simulación del aerogenerador GE 400

Como se puede observar en el modelo (Figura 3-16), hay tres bloques que se resaltan, el verde es el bloque utilizado para introducir los datos de la media entre la velocidad del viento y las ráfagas que en este caso son los pertenecientes a la semana del 18 al 25 de enero. Junto al anterior, se encuentra el bloque resaltado en naranja, en el cual se ha introducido la función que define la curva P-v para poder obtener la potencia entregada por el aerogenerador en cada instante.

Finalmente, se puede observar en el recuadro rojo los 766 Wh que es capaz de producir el aerogenerador en una semana. Esto va a ser determinante a la hora de hacer la elección del más óptimo.

3.2.1.2 Generador eólico Ampair Pacific 600

Está pensado para grandes embarcaciones y está protegida frente a fuertes rachas de viento. Es capaz de entregar hasta 600 W de potencia con vientos de 11 m/s aproximadamente.

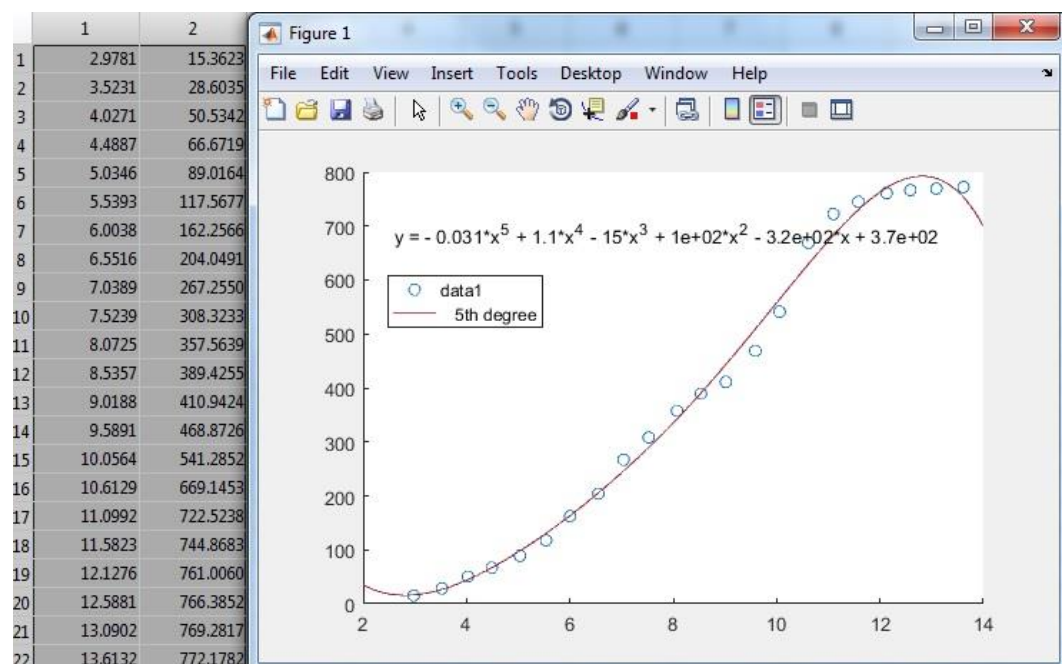


Figura 3-17: Curva P-v del aerogenerador Ampair Pacific 600

En este caso se ha escogido un polinomio de quinto grado para representar a la curva P-v. Se puede apreciar que la velocidad mínima de arranque es de 3 m/s, lo que hace que presente menos rendimiento a bajas velocidades de viento. Sin embargo, tiene, en términos generales, una entrega de potencia mayor con velocidades un poco más altas, como pueden ser los 6 m/s. Por ejemplo, comparándolo con otros, este entrega aproximadamente 200 W con 6 m/s de viento mientras que el aerogenerador GE-400 (Figura 3-15) entrega alrededor de 100 W de potencia a la misma velocidad.

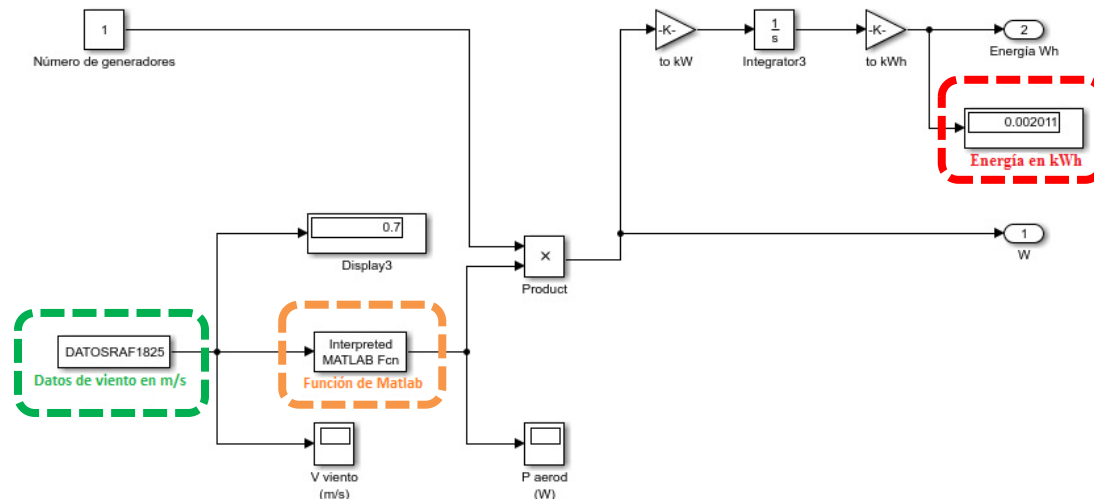


Figura 3-18: Modelo de simulación del aerogenerador Ampair Pacific 600

En este modelo se han introducido los mismos datos de viento que en el anterior, pero se ha insertado la función correspondiente a este aerogenerador. Como se puede observar en el recuadro rojo, la energía producida es de tan sólo 2Wh, esto quiere decir que es un aerogenerador poco eficiente durante los días en los que la intensidad del viento es baja.

3.2.1.3 Aerogenerador Silent Wind 400

Es un aerogenerador silencioso y ligero, lo cual facilita su instalación en cualquier parte del velero. Presenta una potencia de salida de 420W a solo 1350 rpm, que es un 30% menos que otros aerogeneradores con una potencia de salida similar [18]. Está hecho para aguantar el entorno marino gracias a los materiales con los que está fabricado.

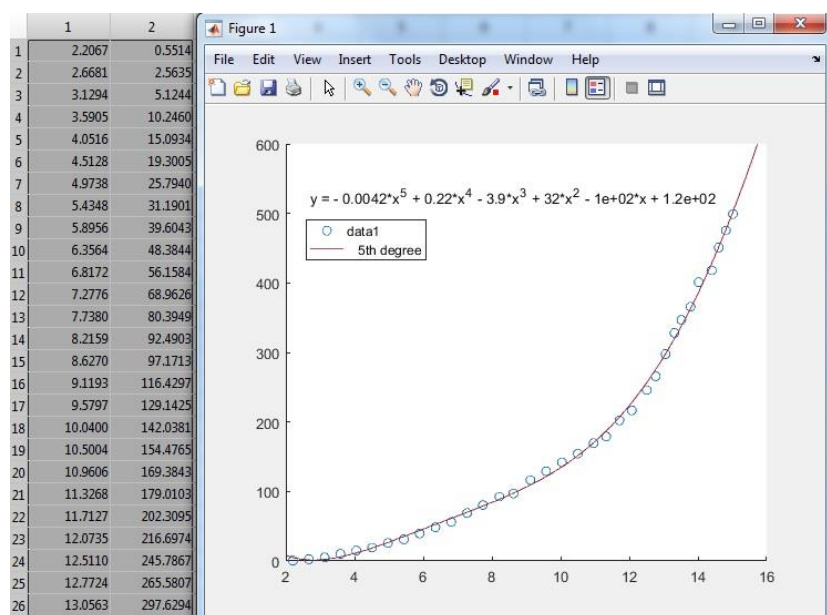


Figura 3-19: Curva P-v del aerogenerador Silent Wind 400

Como se puede ver en la Figura 3-19, la velocidad de viento para el arranque es de tan solo 2,2 m/s, es decir, el inicio de carga se produce con velocidades muy bajas, de hecho, es el que tiene menor velocidad mínima del viento para el arranque comparado con los otros dos aerogeneradores.

Esto sin embargo, no quiere decir que sea el que mejor trabaje a velocidades bajas, ya que, como bien refleja la curva P-v, la pendiente es poco pronunciada desde los 4 m/s hasta los 11 m/s. A continuación, se puede ver el resultado obtenido en la simulación para poder hacer un análisis más completo.

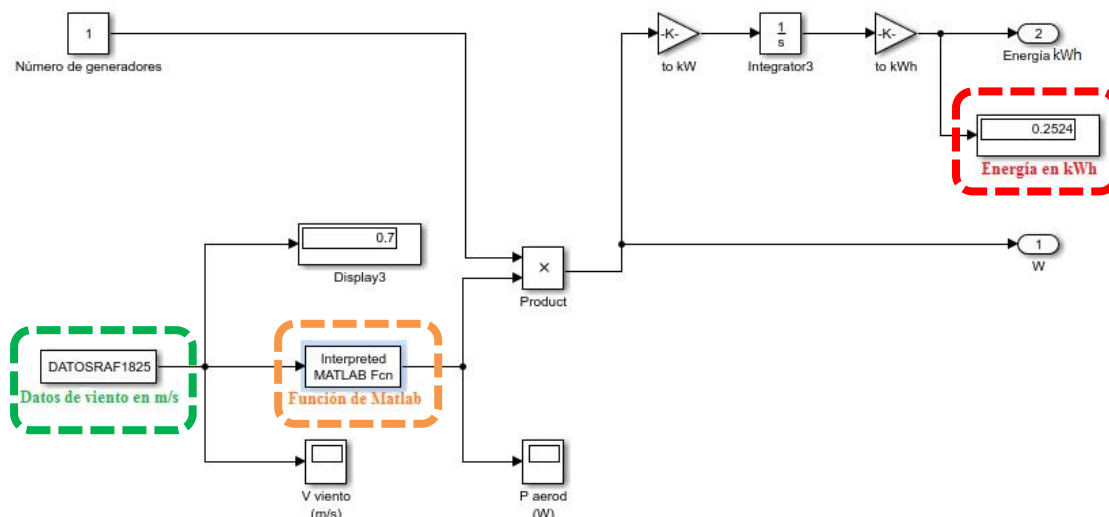


Figura 3-20: Modelo de simulación del aerogenerador Silent Wind 400

Utilizando la ecuación correspondiente a este generador se ha obtenido un resultado de 252,4 Wh, lo que quiere decir que, a pesar de tener la velocidad de arranque más pequeña, no es el que mejor rendimiento presenta en la prueba realizada con los vientos, generalmente flojos, de la semana de estudio.

3.2.2 Elección del aerogenerador

Después de realizar una simulación con cada uno de los aerogeneradores, se ha escogido el generador GE-400 porque es el que mayor energía proporciona durante la semana que ha sido objeto de estudio. Otro motivo por el cual se ha elegido, es el hecho de que va a ser capaz de recargar las baterías, aunque sea con poca aportación, prácticamente cualquier semana y esto es algo que se buscaba para poder hacer que su instalación en un crucero sea productiva.



Figura 3-21: Aerogenerador GE-400

Además de las capacidades expuestas en el apartado (3.2.1.1), presenta otras características importantes. Permite la posibilidad de formar un sistema híbrido de carga de baterías gracias a su posible combinación con paneles solares. También está protegido frente a vientos de mucha fuerza ya que dispone de un freno electromagnético que a cierta velocidad para el giro del rotor. Para conocer con más detalle sus capacidades, se expone a continuación una tabla de características técnicas.

DATO	VALOR
Potencia nominal	400 W
Potencia de pico	500 W
Velocidad del viento para arranque	2,5 m/s
Velocidad del viento nominal	11 m/s
Velocidad máxima del viento	45 m/s
Velocidad del viento de trabajo	2,5 m/s-20 m/s
Voltaje de salida	12 VDC o 24 VDC
Rango de temperatura de trabajo	-45 °C a 60 °C
Material de las aspas	Fibra de carbono
Diámetro del rotor	1,33 m
Peso	7,8 kg

Tabla 4: Datos técnicos del aerogenerador GE400

3.2.3 Simulación del aerogenerador durante la semana

En el presente apartado se expone la simulación con los datos de viento obtenidos durante la semana del 18 al 25 de febrero junto con el posterior análisis de los resultados obtenidos.

3.2.3.1 Obtención de datos

La recogida de datos se ha podido realizar con la estación meteorológica (Figura 3-12) instalada en el cruce. En este caso los datos obtenidos son de la semana del 18 al 25 de febrero. Se han tenido en cuenta las ráfagas de viento como en apartados anteriores. En cuanto a los valores, cabe destacar que ha habido rachas de hasta 9 m/s y una media aproximada de 2,5 m/s de viento, un valor algo pequeño teniendo en cuenta que la velocidad de arranque del aerogenerador es de 2,5 m/s.

Para esta simulación, a diferencia de la realizada para obtener el aerogenerador más adecuado, se ha hecho una media entre los datos de velocidad de viento y las ráfagas, para tener en cuenta ambos valores y no dejar de lado ninguno y de esta forma realizar una simulación más fidedigna.

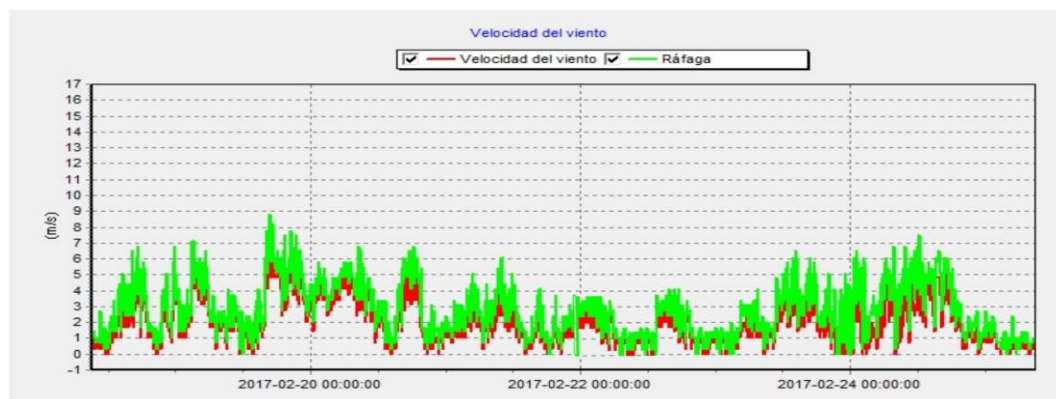


Figura 3-22: Gráfica de los datos de velocidad de viento de la semana del 18 al 25 de febrero

Se puede apreciar en la Figura 3-22 como los primeros días el viento sopla con más intensidad y por la mitad de la semana sufre un descenso considerable que afecta de manera directa en la generación de energía eólica. Finalmente, los dos últimos días remonta con vientos generalmente más fuertes.

3.2.3.2 Simulación

En esta simulación se ha utilizado el modelo (Figura 2-9) de un aerogenerador. En el modelo han intervenido diferentes bloques.

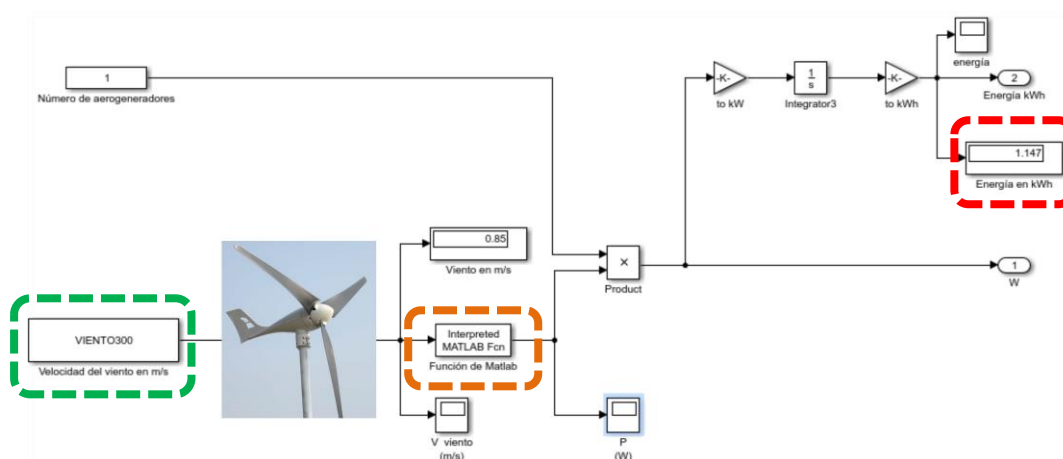


Figura 3-23: Simulación del aerogenerador GE 400 en Simulink®

Como en modelos anteriores, los datos introducidos son la velocidad del viento (recuadro verde), en este caso los datos correspondientes a la Figura 3-22. Además, en el recuadro naranja se ha introducido la función correspondiente al aerogenerador.

```

viento_Aerog.m
1 function [P1]=viento_Aerog(x)
2
3 P1= 0.0016*x^5-0.071*x^4+0.8*x^3-0.9*x^2+0.46*x-6.9;
4 if x<=2.5
5     P1=0;
6 end
7 if P1<=0
8     P1=0;
9 end
    
```

Figura 3-24: Función que representa la potencia que entrega el aerogenerador GE-400

La función generada con la herramienta Matlab® está compuesta en primer lugar por el polinomio de quinto grado, calculado a partir de la Figura 3-15. También, se establecen dos condiciones, en la primera se muestra que si la velocidad de viento es menor que 2,5 m/s entonces la potencia de salida es 0 W y si el valor del polinomio es menor o igual que 0, entonces el software mostrará una potencia de salida de 0 W.

3.2.3.3 Resultados

Los resultados obtenidos no son muy buenos si tenemos en cuenta que la energía generada por dos paneles fotovoltaicos (Figura 3-11), de menor potencia de salida que el aerogenerador y durante la misma semana de prueba, es de varias órdenes de magnitud mayor. Esto puede ser debido a que la velocidad del viento, durante la semana de simulación, no ha sido suficientemente alta como para mover el rotor del aerogenerador durante los períodos de baja intensidad.

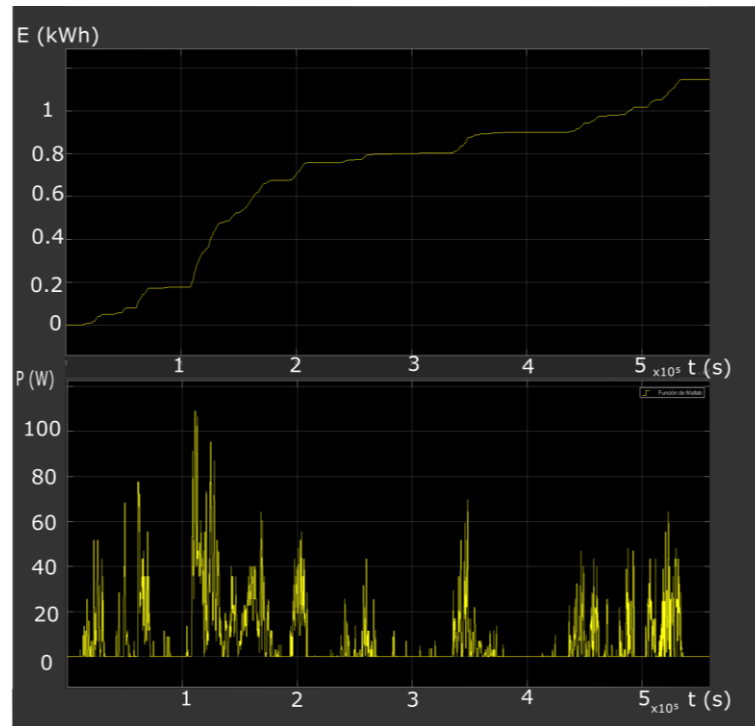


Figura 3-25: Gráficas de energía acumulada y potencia obtenidas en la simulación

En la Figura 3-25 se puede apreciar como en los primeros días de la semana hay una pendiente muy pronunciada en la gráfica de acumulación de energía, esto es debido a la intensidad de viento que era más fuerte durante los primeros días de la semana (Figura 3-22). Al final de la semana se ha podido generar un total de 1,14 kWh, que equivale a 95 Ah en una batería de 12 V, que es una cantidad muy pequeña, ya que únicamente daría para cargar una batería de 70Ah del crucero de instrucción.

3.3 Simulación energía hidrodinámica

En el presente apartado se explican los pasos seguidos hasta la obtención de los resultados de energía generada a partir de las velocidades del crucero.

3.3.1 Obtención de datos de velocidad del crucero

En la obtención de datos se utilizó un GPS para grabar las velocidades del crucero de instrucción en cada instante. Para ello se ha embarcado un GPS portátil en el propio velero para poder grabar las velocidades y la ruta que sigue el mismo. Las salidas que hace el crucero son de aproximadamente 3 h y media, una vez a la semana. A continuación se pueden ver los resultados de la navegación.

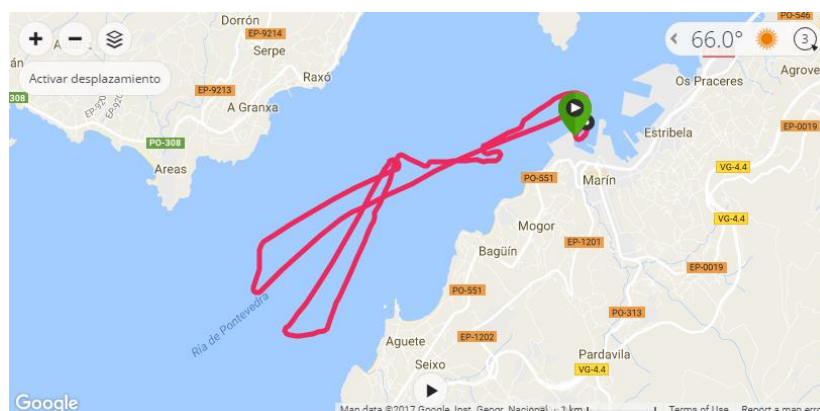


Figura 3-26: Ruta seguida por el crucero en una salida semanal

Se puede observar en la imagen (Figura 3-26) la ruta que realizó el crucero en una salida habitual. Se puede ver como hace varios trayectos hacia fuera de la Ría de Pontevedra y luego vuelve. Las velocidades que consiguió alcanzar el velero en dicha salida son entre los 2 nudos y los 6 nudos.



Figura 3-27: Gráfica de velocidades del crucero durante una salida semanal

En la Figura 3-27 se deben descartar los tramos tanto al principio como al final, ya que son períodos en los que el velero navega con propulsión a motor para salir y en la dársena de la Escuela Naval Militar. Se puede observar como sube la velocidad hasta estabilizarse y al final baja hasta pararse por completo. Por otro lado, se pueden apreciar algunas caídas de velocidad muy notables, estas son debido a que cuando el velero gira para cambiar de rumbo, la velocidad disminuye considerablemente.

3.3.2 Simulación

Para realizar una simulación precisa y conseguir los resultados buscados, se han seguido varios pasos. En primer lugar, era necesario conseguir calcular el polinomio que define la gráfica potencia-velocidad (Figura 2-15) proporcionada el fabricante. Para realizar dicha operación, se ha hecho uso del software Matlab®.

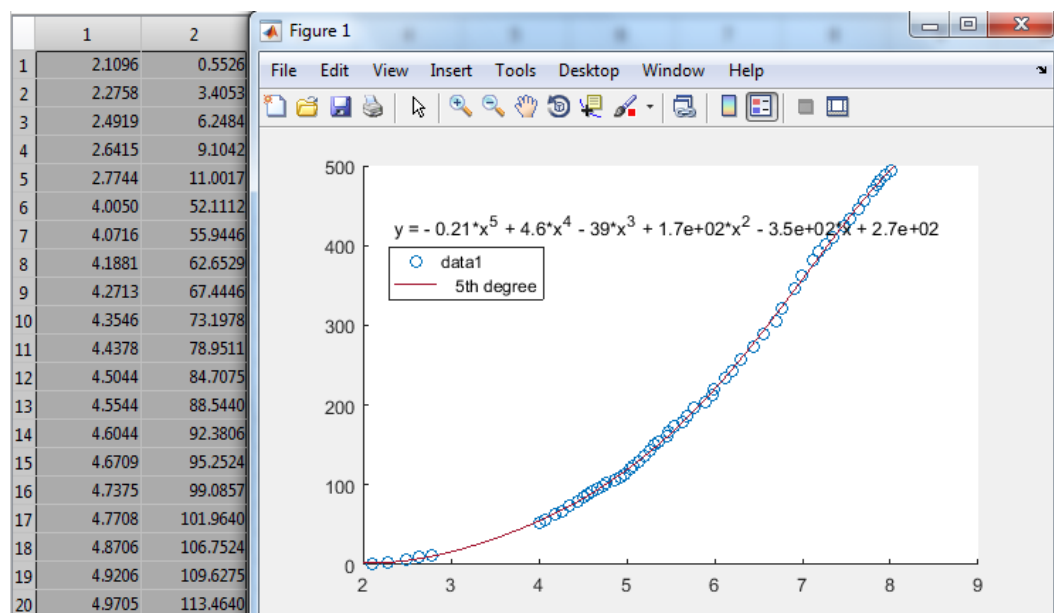


Figura 3-28: Polinomio que define la gráfica P-v del hidrogenerador

Para ello fue utilizada una herramienta que permite aproximar la gráfica a un polinomio. En el caso de la Figura 3-28 se eligió un polinomio de quinto grado para definir el comportamiento de la gráfica. Por otro lado, se ha tenido que elaborar con el programa una función para definir el comportamiento del hidrogenerador, teniendo en cuenta los datos que nos proporciona la gráfica.

```

1  function [P1]=velocidad_hidrog(x)
2
3  P1= -0.21*x^5+4.6*x^4-39*x^3+170*x^2-350*x+270;
4  if x<=2
5      P1=0;
6  end
7  if P1<=0
8      P1=0;
9  end

```

Figura 3-29: Función de Matlab® que define el comportamiento del hidrogenerador escogido (2.4.3)

En la función, lo que se ha hecho es establecer las condiciones de trabajo del hidrogenerador. Como se puede ver en la Figura 3-29, se ha introducido el polinomio y dos condiciones que dicen que si el valor de la velocidad es menor o igual que 2 nudos, entonces la potencia de salida del hidrogenerador será 0 W.

Una vez definida la función, el siguiente paso ha sido realizar la simulación con los datos presentados en el apartado 3.3.1.

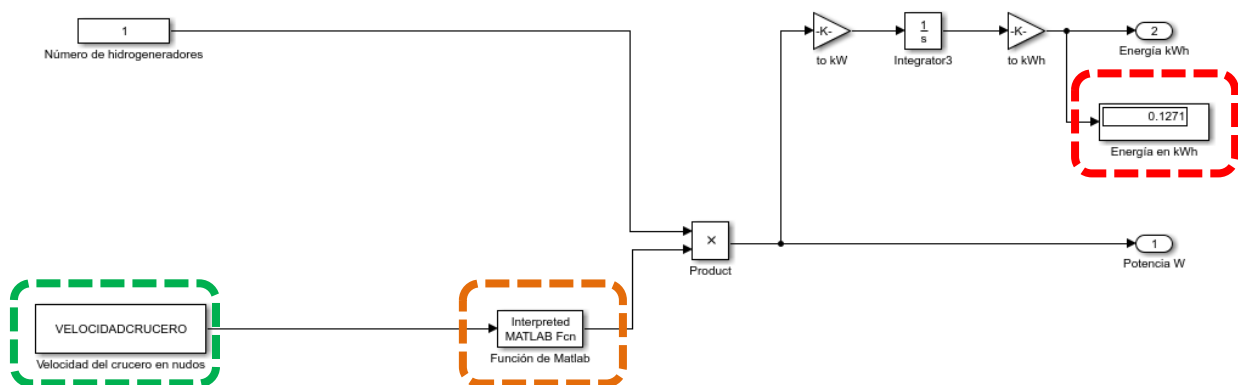


Figura 3-30: Resultado del modelo de un hidrogenerador obtenidos en Simulink®

A la hora de realizar la simulación, se han extraído los datos de la Figura 3-27 y se han introducido en Matlab®. De esta forma se ha podido introducir un bloque en Simulink® con dichos datos, como se muestra en el recuadro verde.

Además, otro de los bloques, representa la función descrita en Matlab® (Figura 3-29) y que en este caso esta resaltada con el recuadro naranja. Por último, en el recuadro rojo se resalta el bloque de salida que representa el resultado final.

3.3.3 Resultados

Los resultados obtenidos con el hidrogenerador no son muy satisfactorios. Se han obtenido 0,12 kWh, lo que equivale a 10,5 Ah en una batería de 12V. Esto es debido, en primer lugar a que las navegaciones semanales que hace el crucero son de corta duración. En ese período de tiempo es difícil conseguir una buena generación de energía.

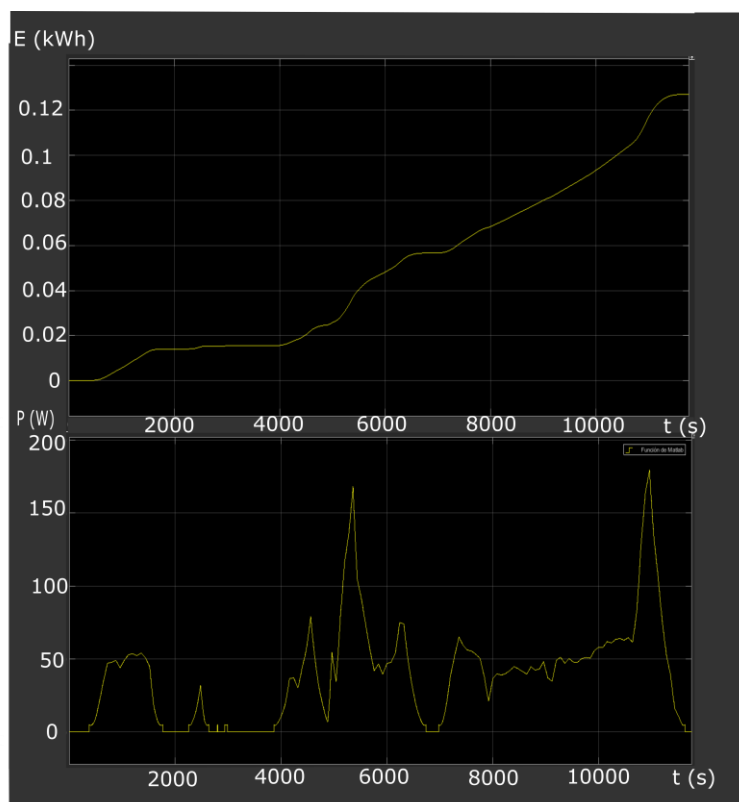


Figura 3-31: Gráficas de energía y potencia obtenidos en la simulación del hidrogenerador

En segundo lugar, la poca generación se debe a que las velocidades del crucero son bastante bajas y poco constantes. Durante dichas salidas, el barco realiza varios giros y los períodos en los que se estabiliza no dan como para que el hidrogenerador pueda producir suficiente cantidad de energía (Figura 3-31) para que sea provechosa su instalación.

3.4 Conclusiones

En el presente apartado se comentarán los resultados obtenidos para cada una de las tecnologías renovables, concluyendo con una valoración de los objetivos logrados y, posteriormente, las posibles líneas futuras que pueden surgir a raíz del presente trabajo.

3.4.1 Resultados de la producción energética combinada

Atendiendo a los resultados obtenidos en los anteriores apartados, se ha podido comprobar la producción energética de cada una de las tecnologías renovables. Sin duda la que mayor energía ha aportado durante la semana de estudio ha sido la energía solar fotovoltaica. Cabe destacar, que esta tecnología tiene una ventaja considerable con respecto a las otras, y es el hecho de que el crucero cuente con mucha superficie libre para su instalación.

Respecto a la energía eólica, su aportación a la producción energética global ha sido bastante pobre. Esta se ha visto perjudicada por varios motivos. En primer lugar, el viento que ha habido dentro de la dársena de le Escuela Naval Militar durante la semana de estudio, no ha sido suficiente como para que pudiera generar una cantidad de energía considerable. Esto es debido a que la dársena está diseñada como refugio para los barcos y por tanto el viento es más flojo que el que se genera en la Ría de Pontevedra.

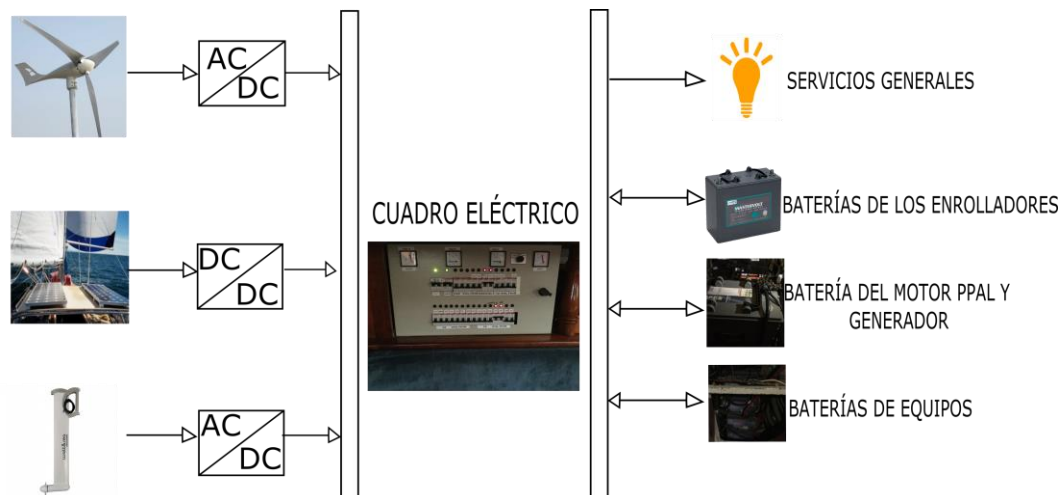


Figura 3-32: Esquema de producción energética combinada

Otra de las razones de que produzca menos cantidad de energía, en términos generales, es el hecho de que ocupe más espacio y sea más aparatosa su instalación, ya que por este motivo no se pueden instalar muchos aerogeneradores para generar mayor potencia. Con los paneles solares ocurre lo contrario, ya que al ser planos no ocupan mucho volumen y se pueden instalar varios.

Por último, se ha podido verificar la limitada aportación del hidrogenerador. Esto es debido principalmente, a que depende del movimiento del velero, que sale a navegar 3 horas y media a la semana. Quizás, su instalación tendría mayor aportación en cruceros que realicen travesías más duraderas. Por este motivo sí que sería interesante ver la producción energética del hidrogenerador en el embarque de fin de curso que realizan los cruceros de la Escuela Naval Militar, dónde seguramente su aportación sea bastante más fructífera.

3.4.2 Conclusiones

Para concluir con el trabajo, hay que mencionar que el estudio acerca de la implementación de las energías renovables en cruceros ha sido positivo.

Por otra parte, se ha conseguido modelar de forma positiva cada una de las tecnologías planteadas, todo ello bajo el entorno de Matlab/Simulink® y estas han sido utilizadas para realizar las simulaciones bajo condiciones reales de radiación, temperatura y velocidad del viento.

En cuanto a los resultados obtenidos con la energía solar fotovoltaica, ha quedado demostrada su aportación a la producción energética global y las posibilidades que tiene para su posible instalación en un crucero.

Además, se ha conseguido llevar a cabo un estudio en el cual se ha seleccionado que aerogenerador es más conveniente para las condiciones de viento planteadas en el trabajo. Finalmente, una vez seleccionado, se ha podido comprobar la generación de potencia eólica, no obteniendo resultados demasiado favorables, sobre todo si se compara con la generación fotovoltaica.

Por último, se ha estudiado una ruta que sigue habitualmente un crucero de la Escuela Naval Militar durante una salida semanal. Se han empleado los datos de velocidad del mismo para su posterior simulación. Finalmente, se ha constatado que la generación hidrodinámica durante esta travesía ha sido escasa.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante las simulaciones, ha quedado demostrada la utilidad de instalar tecnologías renovables en el crucero de instrucción Agüete, ya que se han podido cargar completamente todas las baterías del crucero.

3.4.3 Líneas futuras

La aplicación de energías renovables en el crucero de instrucción “Aguete” se ha presentado como algo innovador y se ha podido constatar que es viable. Por tanto, una línea de trabajo futura sería un estudio más exhaustivo de las posibilidades que tiene este crucero para poder llegar a conseguir que sea completamente autónomo, implementando un motor eléctrico e instalando una mayor potencia de tecnologías renovables.

Por otro lado, sería interesante estudiar la posibilidad de hacer un estudio de viabilidad para la implantación de las tecnologías renovables en otros cruceros de instrucción de la Escuela Naval Militar, desde los más pequeños hasta los que son de tamaño similar al crucero estudiado en el presente trabajo.

Así mismo, sería interesante estudiar la posibilidad de implementar energías renovables en las lanchas de instrucción. Estas son embarcaciones con propulsión a motor y por tanto la posibilidad de reducir su consumo se presenta como una idea muy positiva y realista dado que las energías renovables, como se ha podido comprobar, son perfectamente compatibles con el entorno marino.

4 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización Mundial del Comercio, «Informe sobre el comercio mundial en 2010,» 2010.
- [2] J. M. M. Quemada, «canal.uned.es,» [En línea]. Available: <https://canal.uned.es/uploads/materials/resources/pdf/4/1/1319025174814.pdf>. [Último acceso: 13 febrero 2017].
- [3] «energia-nuclear.net,» [En línea]. Available: <https://energia-nuclear.net/>. [Último acceso: 20 Enero 2017].
- [4] Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente, «prtr-es,» [En línea]. Available: <http://www.prtr-es.es/CO2-Dioxido-de-carbono,15590,11,2007.html>. [Último acceso: 10 febrero 2017].
- [5] Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente, «prtr-es,» [En línea]. Available: <http://www.prtr-es.es/CH4-metano,15588,11,2007.html>. [Último acceso: 13 Febrero 2017].
- [6] National Geographic, «National Geographic,» [En línea]. Available: <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/capa-ozono-disminucion>. [Último acceso: 18 Enero 2017].
- [7] Ministerio de educación y ciencia, Acidificación de suelos y aguas: problemas y soluciones, Madrid, 2005.
- [8] R. C. G. Javier María Méndez Muñiz, Energía Solar Fotovoltaica, Madrid: Fundación Confemetal, 2007.
- [9] «Eco Marine Power,» [En línea]. Available: <http://www.ecomarinepower.com/>. [Último acceso: 20 Enero 2017].
- [10] W. D. Soto, Improvement and Validation of a Model for Photovoltaic Array Performance, Wisconsin-Madison, 2004.
- [11] W. D. Soto, Improvement and Validation of a Model for Photovoltaic Array Performance, Madison, 2004.
- [12] Departamento de ingeniería eléctrica y energética. Universidad de Cantabria., Energía Eólica,

2000.

- [13] A. L. Neumann, La energía eólica: Principios básicos y tecnología., Madrid, 2002.
- [14] M. Villarrubia, Energía Eólica, Barcelona: Ediciones Ceac, 2004.
- [15] National Geographic, «nationalgeographic,» [En línea]. Available: <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/hydropower-profile>. [Último acceso: 19 Febrero 2017].
- [16] J. A. M. S. y J. L. C. Rolle, «tecnicaindustrial,» [En línea]. Available: <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/86/1488/a1488.pdf>. [Último acceso: 19 Febrero 2017].
- [17] «Victron Energy,» [En línea]. Available: <https://www.victronenergy.com.es/>. [Último acceso: 3 Febrero 2017].
- [18] «Energía Naval,» [En línea]. Available: <http://www.enersaval.es/>. [Último acceso: 12 Febrero 2017].
- [19] «Web de La Moncloa,» [En línea]. Available: <http://www.lamoncloa.gob.es>. [Último acceso: 13 enero 2015].
- [20] J. Rodríguez y V. Fernández, Cómo redactar el estado del arte de un trabajo, Editorial Genios, 2010.
- [21] P. Martínez y A. García, Cómo escribir una buena memoria de TFG, Publicaciones del 2000, 2013.
- [22] A. Pérez, Cómo escribir una bibliografía, Nuevas publicaciones.
- [23] M. M. Vallina, Instalaciones Solares Fotovoltaicas, Madrid: Paraninfo, 2010.
- [24] A. V. Faúndez, Minería y medio ambiente, Ministerio de Educación, 1999.
- [25] Naciones Unidas, «La situación demográfica en el mundo, 2014,» Nueva York, 2014.
- [26] Instituto tecnológico de Canarias, S.A, «CienciaCanaria,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.cienciaCanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>. [Último acceso: 25 Enero 2017].