

**GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA**

**EIBAR**

---

**TFG :** ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE  
ENERGÍAS RENOVABLES EN EL BARCO AITA MARI

---

**DOCUMENTO N° 1: MEMORIA**

**Grado:** Grado en Ingeniería de Energías Renovables

**Curso:** 2021 - 2022

**Autor:** Hernando Román, Iván

**Directores:** Osa Amilibia, Juan Luis; Asensio De Miguel, Francisco Javier

# ÍNDICE

MEMORIA .....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Objetivos de desarrollo sostenible .....	2
1.2 Definición del problema .....	3
1.3 Alcance.....	5
2 METODOLOGÍA Y DATOS DE PARTIDA .....	6
2.1 Software y esquema de cálculo .....	6
2.2 Datos de partida.....	7
2.2.1 Zona de operación.....	7
2.2.2 Espacios disponibles en el barco.....	8
2.2.3 Generación actual.....	9
2.2.4 Consumos y componentes .....	9
2.2.4.1 Variación de consumo según la climatología.....	11
2.3 Selección de elementos.....	11
2.3.1 Modelos de generador .....	11
2.3.2 Módulos fotovoltaicos.....	12
2.3.3 Inversor .....	13
2.3.4 Baterías.....	13
2.3.5 Costes de instalación .....	14
2.3.6 Costes de operación y mantenimiento .....	15
3 SIMULACIONES .....	17
3.1 Simulación preliminar .....	17
3.1.1 Valoración de los resultados .....	18
3.2 Estudio de las propuestas.....	18
3.2.1 Análisis y comparación .....	19
3.2.2 Caso base .....	20
3.2.3 Primera propuesta .....	21
3.2.4 Segunda propuesta.....	21
3.2.5 Tercera propuesta .....	22
3.2.6 Comparación .....	23
4 IMPLANTACIÓN.....	26
4.1 Situación de los componentes .....	26
4.2 Hojas de mantenimiento .....	27
4.2.1 Generador.....	27
4.2.2 Inversor .....	27
4.2.3 Placas fotovoltaicas .....	27
4.3 Esquema eléctrico simplificado .....	28
5 CONCLUSIÓN .....	29
6 BIBLIOGRAFÍA.....	30

# **MEMORIA**

# **1 INTRODUCCIÓN**

Salvamento Marítimo Humanitario (SMH) es una ONG que se rige por los principios de "voluntariado, solidaridad, humanidad, universalidad, igualdad, imparcialidad y dignidad", fundada en Zarautz (Gipuzkoa) en 2015.

Nace como un grupo de rescate para reforzar la ayuda a las llegadas de botes hinchables con personas migrantes a las costas de las islas griegas en el mar Egeo, entre ellas la isla de Quíos. Tras el pacto entre la Unión Europea y Turquía, y la consecuente reducción de llegadas, el proyecto en el país heleno se adapta a las nuevas necesidades y se transforma en un equipo sanitario. En mayo de 2017, SMH llegó a un acuerdo de colaboración con otra ONG de rescate, ProemAid, para fundar el proyecto Maydayteraneo-Aita Mari. Esta iniciativa consiste en un barco de rescate en el Mediterráneo Central, en las aguas internacionales enfrente de las costas de Libia.

El objetivo principal de esta iniciativa es evitar la muerte de personas en su viaje a través del Mediterráneo Central. Además, el proyecto pretende monitorizar el cumplimiento de los Derechos Humanos por parte de los diferentes recursos desplegados en la zona para contener el flujo migratorio.

En 2018, Maydayteraneo-Aita Mari consigue reunir los fondos necesarios para comprar y equipar su propio buque de rescate, el Aita Mari. Este barco, era originalmente un pesquero de cerco (Stella Maris Berria) de la flota del Cantábrico, con sede en Getaria (Gipuzkoa), construido en Pasaia en 2001, con 32 m de eslora y 7 m de manga. Para las labores de rescate, cuenta con dos embarcaciones semirrígidas de 6m y medios de rescate masivos, así como balsas de rescate con capacidad para 150 personas. También está equipado con área sanitaria con instrumentación que le capacita para una asistencia de urgencia y soporte vital avanzado. Su tripulación está formada por once personas: oficiales de puente y máquina, marineros de puente y máquina, cocinero, personal médico sanitario y de rescate y equipo de medios de comunicación.

El buque se bautizó en honor a José María Zubía Cigarán (Aita Mari). Este marinero guipuzcoano fue reconocido por su valor al no dudar nunca para lanzarse al mar y rescatar a quienes estuvieran en apuros [1].

En este trabajo se aborda la optimización del sistema eléctrico del barco Aita Mari. Se desea reducir el consumo de combustible utilizado para generar energía eléctrica. Para ello se propone complementar la generación de energía eléctrica actual con sistemas de energías renovables, tales como la energía fotovoltaica o la energía eólica. Además del uso de energías renovables, se estudia la viabilidad de reemplazar los sistemas de generación actuales, los cuales han quedado sobredimensionados para su uso actual de salvamento marítimo. Se ha utilizado el software de optimización de microrredes HOMER para ello, haciendo simulaciones con los datos adquiridos. A continuación se exponen y analizan los resultados, proponiendo soluciones adecuadas a la naturaleza del proyecto.

## **1.1 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE**

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Globales, fueron adoptados por las Naciones Unidas en 2015 como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad.

Los 17 ODS están integrados: reconocen que la acción en un área afectará los resultados en otras áreas y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental. Los países se han comprometido a priorizar el progreso de los más rezagados.

Los ODS están diseñados para acabar con la pobreza, el hambre, el sida y la discriminación contra mujeres y niñas, entre otros.

La creatividad, el conocimiento, la tecnología y los recursos financieros de toda la sociedad son necesarios para alcanzar los ODS en todos los contextos.

Los Objetivos de desarrollo sostenible son el plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todos. Se interrelacionan entre sí e incorporan los desafíos globales a los que nos enfrentamos día a día, como la pobreza, la desigualdad, el clima, la degradación ambiental, la prosperidad, la paz y la justicia. Para no dejar a nadie atrás, es importante que logremos cumplir con cada uno de estos objetivos para 2030.

En este proyecto se abordan los siguientes ODS:

- Objetivos 1 y 2: Fin de la pobreza y hambre cero: Reduciendo el gasto en combustible de Salvamento Marítimo Humanitario, el cual utiliza una gran parte de sus fondos, les permitimos disponer de más recursos para el equipo médico que trabaja en el campo de refugiados de Vial, en la isla de Quíos, Grecia. Este equipo presta ayuda sanitaria de emergencia a los refugiados que desembarcan en dicho campo, a menudo en condiciones de malnutrición y deshidratación, además de prestarles atención y seguimiento médico, medicinas, enseñanzas de salud y primeros auxilios y planes de salud bucodental.
- Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante. Se ha tratado de reducir el consumo de energía del sistema eléctrico del Aita Mari, en parte tratando de integrar energías renovables.
- Objetivo 10: Reducir la desigualdad en y entre los países. Se pretende reducir el gasto energético del buque de rescate de Salvamento Marítimo Humanitario para así poder hacer que sus labores sean más eficaces y sostenibles, pues cuentan con un capital limitado a partir de donativos y subvenciones, permitiéndoles potencialmente salvar a más personas que huyen de sus países por pobreza, guerras, desigualdad de oportunidades u otras razones.
- Objetivo 13: Acción por el clima. El objetivo del proyecto es hacer el uso del barco más sostenible, tanto económica como climáticamente, reduciendo el consumo e incluyendo fuentes limpias de energía en la medida de lo posible.
- Objetivo 16: Promover sociedades justas, pacíficas e inclusivas. Se ha intentado hacer la labor de Salvamento Marítimo Humanitario más fácil de realizar y que alcance a más personas, para así poder prestarles una mejor ayuda a los que huyen de guerras, persecuciones e injusticias en sus naciones de origen, donde no se respetan las leyes o los derechos humanos.

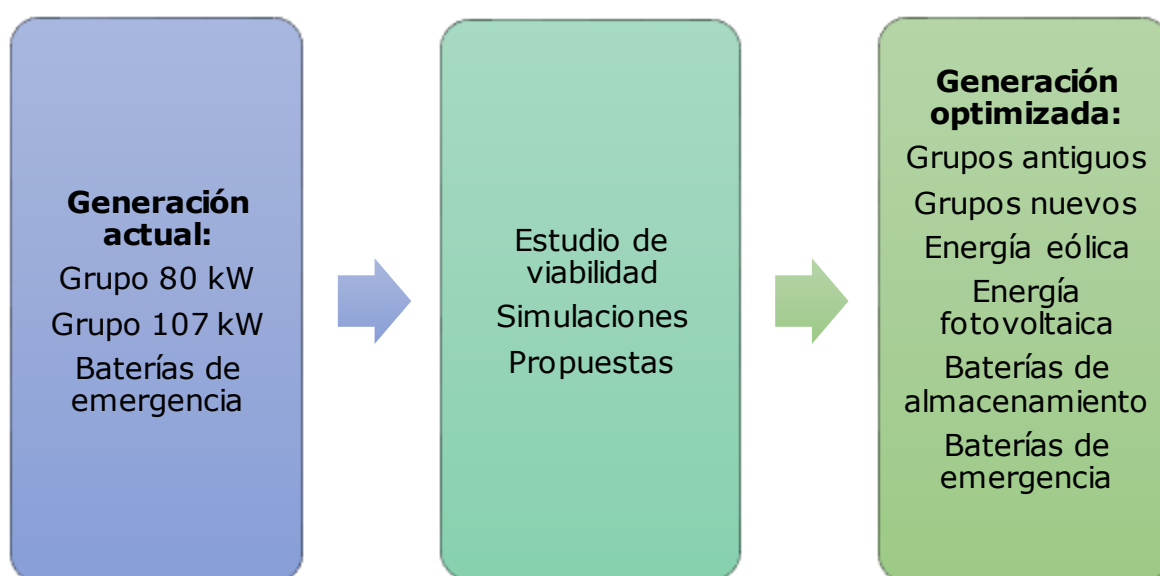
## 1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El Aita Mari es un buque atunero que se adaptó para realizar misiones de salvamento en la zona de búsqueda y rescate (del inglés *search and rescue*, SAR) del Mediterráneo central, comprendida entre Sicilia, Túnez y Libia. Es por ello que el sistema actual para la

generación de energía está no solo anticuado sino también sobredimensionado, puesto que la demanda de potencia cuando cumplía sus funciones de pesca era sustancialmente mayor a la actual.

Según nos informó el capitán del barco y actual presidente de SMH Iñigo Mijangos, de aquí en adelante Iñigo, el barco consume hasta 150 euros diarios de combustible solo en generación de electricidad, sin contar la propulsión. Los grupos generadores que utiliza el barco en la actualidad (uno principal y uno de emergencia) deben estar en funcionamiento las 24 horas del día, pues es su única fuente de electricidad y no cuentan con ningún sistema de almacenamiento de energía.

El sistema debe abastecer las necesidades de una tripulación de once personas, lo que incluye calefacción, aire acondicionado, iluminación, agua caliente y demás, y la distinta maquinaria y equipamiento de navegación, como ordenadores, radar o bombas hidráulicas.



**Figura 1.1: Diagrama de flujo del proyecto**

El estudio de viabilidad se ha realizado a través de una simulación preliminar en HOMER, en la que se estiman los modelos y dimensiones recomendados de los posibles componentes a instalar, indicados en la figura 1.1. Estos incluyen:

- Grupos de generación actuales.
- Grupos generadores nuevos de menor tamaño, más adecuados a la demanda.
- Baterías de almacenamiento que permitan apagar los grupos generadores cuando sea posible.
- Placas fotovoltaicas.
- Inversores con función de carga de ser necesaria.

Se descarta el uso de energía eólica puesto que el movimiento del barco es a propulsión, consumiendo combustible, por lo que los aerogeneradores crearían una resistencia al avance que aumentaría dicho consumo.

### **1.3 ALCANCE**

En este proyecto se ha tratado de optimizar el sistema de generación eléctrica actual, principalmente los grupos generadores, considerando reemplazarlos por motores más adecuados a la demanda. Además, se ha estudiado la viabilidad de incluir energías de origen renovable, así como baterías de almacenamiento, para reducir el consumo de combustible. Se han elegido los espacios más adecuados para instalar dichas soluciones de acuerdo con los datos proporcionados por Iñigo.

Para optimizar el sistema se ha estimado una duración del proyecto de 25 años, por lo que se han tenido en cuenta datos de costes de operación y mantenimiento, sustitución y coste aproximado de instalación de los distintos componentes.

Se ha tomado en cuenta también el tiempo que el barco pasa en distintos emplazamientos (en puerto atracado en España o Italia, en operaciones de rescate) de forma aproximada a la hora de obtener y utilizar distintos datos como la irradiancia, la temperatura media etc.

Se ha realizado una simulación preliminar para determinar la configuración óptima de componentes para el sistema, y teniendo en cuenta los datos obtenidos se han ofrecido distintas soluciones que podrían ser interesantes para la mejora del sistema actual.

Los montajes y sistemas recomendados y previstos en este proyecto deberán cumplir con las normas UNE-IEC 60092 sobre instalaciones eléctricas en buques.

No se trabajan en este proyecto los siguientes aspectos:

- Distribución del peso de los distintos componentes añadidos al barco.
- Cálculos de resistencia e integridad de la estructura que alberga las placas y sus soportes.
- Posibles reducciones u optimizaciones del consumo eléctrico del barco y su tripulación.
- Incremento de consumo de combustible necesario para la propulsión debido al peso de los componentes añadidos.
- Emisiones contaminantes de los grupos generadores.

## 2 METODOLOGÍA Y DATOS DE PARTIDA

En este apartado se exponen las condiciones y datos iniciales, junto con distintos factores limitantes, para el desarrollo y la implantación de la optimización del nuevo sistema eléctrico.

### 2.1 SOFTWARE Y ESQUEMA DE CÁLCULO

La optimización del sistema actual se ha llevado a cabo mediante el uso de HOMER (ver figura 2.1). HOMER (por sus siglas Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) es un software privado de diseño y optimización de proyectos de energías renovables, orientados a sistemas híbridos a base de energía de origen tanto convencional como renovable. Fue desarrollado originalmente por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos, NREL por sus siglas en inglés, y mejorado y distribuido por HOMER Energy.



**Figura 2.1: logotipo del software HOMER**

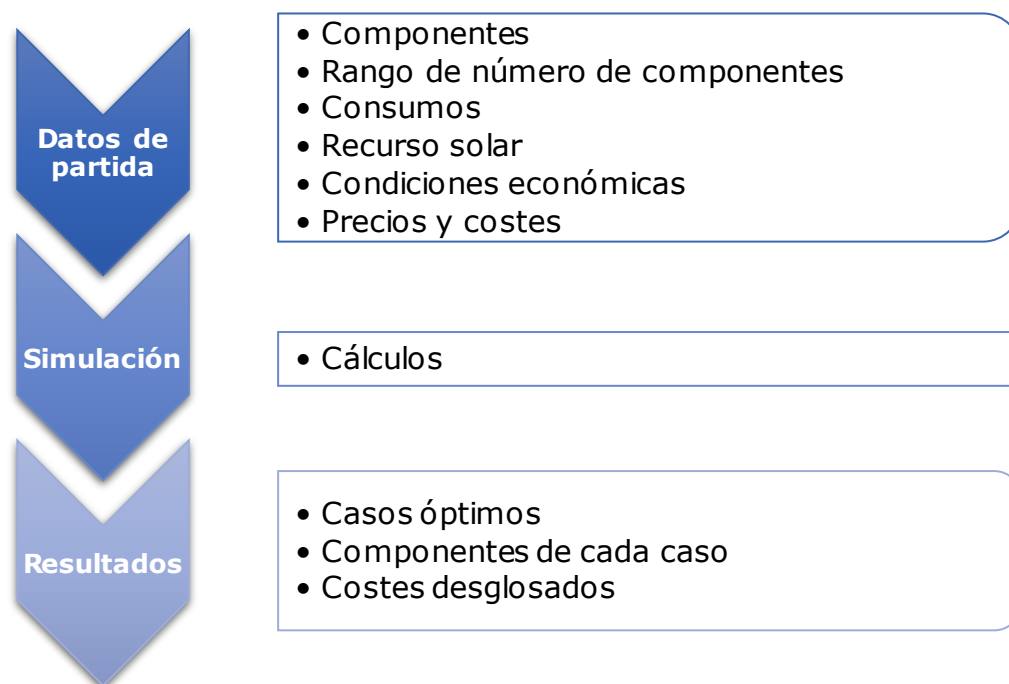
Introduciendo los datos de partida en el programa, su algoritmo calcula a fuerza bruta los resultados de todas las combinaciones posibles que se pueden dar con los componentes y rangos introducidos (ver Figura 2.2).

HOMER divide los costes del proyecto en inversión inicial, sustitución, operación y mantenimiento, combustible y valor final de los componentes. Cabe destacar que muestra los datos en dólares pero los datos introducidos están en euros, por lo que se debe obviar el símbolo del dólar donde aparezca.

Es importante explicar algunos conceptos que HOMER tiene en cuenta en las simulaciones, que se mencionan más adelante:

- **Random variability:** Consiste en la variación de potencia según las circunstancias, similar a un coeficiente de simultaneidad. HOMER lo divide en dos conceptos diferentes, day-to-day, variación de un día a otro, y time-step-to-time-step, variación de una fracción de tiempo a otra. En nuestro caso dicha fracción es de una hora.
- **Minimum load:** Como su nombre indica, es un factor que marca el porcentaje mínimo de carga que deben abastecer los generadores en todo momento.
- **Lifetime:** También evidente, es la vida útil de cada componente. La vida útil se mide en horas, en años, o en ciclos de carga en el caso de algunas baterías.
- **Initial charge:** Refiriéndose a las baterías, es la carga inicial de éstas en el momento de iniciar el proyecto, en nuestro caso 100%.





**Figura 2.2: Diagrama de flujo del funcionamiento del software HOMER**

## 2.2 DATOS DE PARTIDA

En este apartado se exponen los datos iniciales necesarios utilizados en el proyecto y las condiciones que lo limitan, tanto para las simulaciones en HOMER como para comprender mejor la naturaleza del proceso. Se habla de cada componente utilizado, indicando las características más importantes de cada uno y justificando la elección de cada modelo.

### 2.2.1 Zona de operación

El buque realiza labores de rescate en la zona SAR del mediterráneo central, estando de forma aproximada un mes en puerto por cada dos meses de misión. Opera haciendo principalmente movimientos este-oeste, yendo ocasionalmente al puerto de Sicilia (movimiento norte-sur). Los puertos donde tienen base, es decir, en los que pasan un mes cada dos de misión, son el puerto de Adra, en Almería (36,746N 3,018W) y el de Burriana, en Castellón (39,863N 0,076 W) [1][3].

Se han utilizado datos del clima y coordenadas de la isla de Lampedusa, Italia (35,5 N, 12,62 E) [3], debido a la proximidad a la zona de operación del Aita Mari. Para los datos de energía solar disponible se ha elegido el emplazamiento con la irradiancia media más baja entre Adra y Burriana, para los meses en los que se considera que el barco está en puerto, y Lampedusa, para los meses en los que está operando. Durante la estancia en puerto del barco, se ha tenido en cuenta la posibilidad de conectarse a la red del puerto en lugar de usar el grupo generador. Las coordenadas introducidas en HOMER para los cálculos de recurso solar son una media ponderada entre Lampedusa y el peor caso de irradiancia en puerto.



Figura 2.3: mapa de situación de los puertos de operación del Aita Mari

En la figura 2.3 [4] se pueden ver las distancias de algunas rutas que el buque sigue en sus misiones de rescate. Su zona de operación está relativamente cerca de Lampedusa, separada aproximadamente 300km de Sicilia. El puerto de Trapani es solo uno de los utilizados para desembarcar en la región. Las otras dos rutas muestran unas distancias aproximadas de 1100 y 1500 kilómetros hasta la zona de operación del Aita Mari desde los puertos de Burriana y Adra, respectivamente.

### 2.2.2 Espacios disponibles en el barco

Se muestra a continuación el plano de perfil del Aita Mari, donde se señalan varias zonas y espacios de interés para el proyecto [1]:

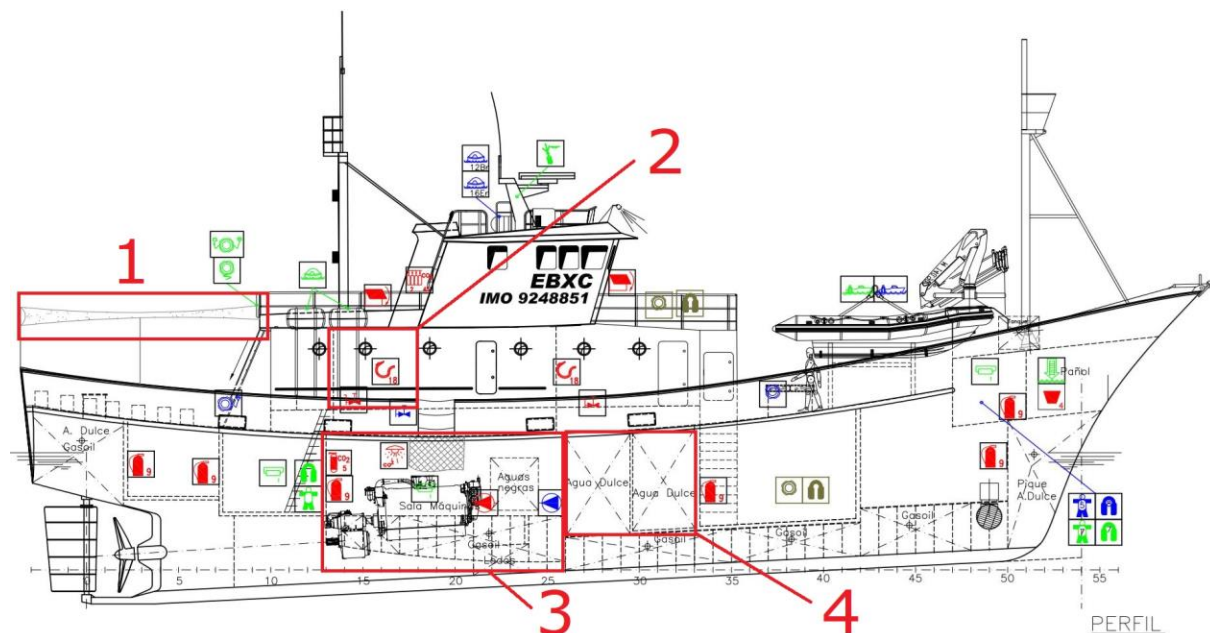


Figura 2.4: plano de perfil del Aita Mari

Según se puede ver en la figura 2.4, la zona número uno es a priori la superficie disponible donde se han instalado los módulos fotovoltaicos, de 20m<sup>2</sup> de superficie [1], pues cuenta con una estructura que los soporta sin suponer ningún estorbo para los tripulantes. El barco cambia de dirección y orientación frecuentemente, por lo que los paneles se han dispuesto horizontalmente.

La zona número dos es la sala de máquinas auxiliar, donde se encuentra actualmente el grupo de 80 kW. Se podría poner en el mismo lugar un generador nuevo.

La zona número tres es la sala de máquinas principal, donde se encuentran elementos como el motor de propulsión, el grupo de 107 kW o el cuadro eléctrico general.

La zona número cuatro son dos depósitos de agua vacíos, inutilizados y sellados, que se pueden adaptar para el almacenamiento de las baterías, contando con un volumen aproximado de 12 m<sup>3</sup> cada uno.

### **2.2.3 Generación actual**

En la actualidad el buque cuenta con generadores sobredimensionados, pues fueron dimensionados para su uso como barco pesquero. Los modelos concretos son los siguientes [1]:

- Motor CUMMINS 6BT5.9D (89,71 kW) - generador LETAG 10-EXR-250m1.4 80 kW
- Motor CUMMINS 6CT8.3G (120,59 kW) - generador MAGNAMAX TUR 451-RFL 107 kW

Por normativas de seguridad, los sistemas de generación de energía en barcos deben ser redundantes [1]. Para repartir el número de horas de uso, garantizar el correcto funcionamiento y reducir las probabilidades de problemas mecánicos, ambos generadores se usan de forma alternativa.

Durante las estancias en puerto, el barco se conecta a la propia red eléctrica del puerto, pudiendo apagar el grupo generador.

### **2.2.4 Consumos y componentes**

A continuación se muestran dos tablas, una con la potencia consumida por cada componente [1], y la otra con los precios de los componentes utilizados para las simulaciones en HOMER.

**Tabla 2.1: consumos de los componentes del barco**

<b>Componente</b>	<b>Unidades</b>	<b>Potencia total (kW)</b>	<b>Horas de uso diarias</b>	<b>Consumo diario (kWh)</b>
Equipos de navegación	17	0,5	24	12
Ordenadores	4	1	24	24
Radar	1	10	24	240
Sonda	1	1	1	1
Aire Acondicionado	2	2	6	12
Calefacción	6	6	3	18
Neveras	4	0,12	24	2,88
Arcones congelador	2	0,07	24	1,68
Vitrocerámica	1	3,5	4	14
Horno	1	3	1	3
Extractor de cocina	1	0,3	1	0,3
Extractores camarotes	2	0,1	1	0,1

Ventilación sala de máquinas	2	0,2	24	4,8
Bomba CI	1	4	1	4
Bomba lastre	2	22	0,5	11
Bomba achique	1	5,5	1	5,5
Bomba sentina	1	1,5	1	1,5
Bomba lodos	1	1,5	1	1,5
Bomba AD	1	1,2	1	1,2
Bomba AS	1	1,2	1	1,2
Bomba AN	1	1,5	1	1,5
Compresor	1	3	3	9
Motor de arranque	1	1	0,03	0,03
Bomba hidráulica	1	4,6	24	110,4
Calentador de agua	1	2	2	4
Iluminación	22	0,5	6	3
Luz de cubierta	6	0,3	1	0,3
Focos de cubierta	8	1,5	1	1,5
<b>Total</b>				<b>489,39</b>

**Tabla 2.2: coste de distintos componentes del proyecto**

Concepto	Precio unitario
Gasóleo B [5]	0,893 €/L
Electricidad de la red del puerto [6]	0,341 €/kWh
Operarios cualificados [1]	35,58 €/h
Baterías [7]	14690,82 €/string
Módulos fotovoltaicos [8]	139,51 €/ud
Sensores motor 80kW [6]	180,07 €/ud
Filtros motor 80kW [6]	938,01 €/ud
Refrigerante mezcla 50% [9]	3,61 €/L
Aceite de motor 15W-40 [10]	3,38 €/L
Inversor cargador [11]	1255 €/ud
Pack mantenimiento motor nuevo (distintos modelos) [12]	329,12 - 1100,50 €/ud

En nuestro proyecto, la potencia consumida se ha dividido en dos componentes. La primera corresponde al consumo fijo constante en alta mar, que incluye todos los aparatos que funcionan las 24 horas del día mientras navega, por lo que es cero durante la estancia en puerto. Para esta componente el factor random variability *day to day* y *time step to time step* es de 5% en ambos casos.

La segunda incluye el resto de consumos variables, a los que se añade una parte de la primera componente únicamente cuando están atracados en puerto, relativa a aparatos que deben estar funcionando aunque no se esté navegando, como neveras o congeladores para conservar alimentos. Para esta segunda componente El valor *day to day* es 25% y el *time step to time step* 50%.

Según los cálculos hechos en HOMER con estimaciones de simultaneidad, el consumo medio y pico navegando es de 14 kW y 29,5 kW respectivamente, y de 4,8 kW y 13,6 kW durante las estancias en puerto.

La mínima carga del generador en el caso base, el actual, es del 10%, puesto que el generador debe estar encendido en todo momento para abastecer cualquier demanda. Para las simulaciones el valor será cero, para dar la libertad a HOMER de apagar el grupo si lo considera óptimo.

Los precios de los componentes fueron tomados entre mayo y julio de 2020, excepto el del gasóleo, que es la media de los precios del gasóleo entre junio y diciembre de 2019 según el ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Debido a esto, los costes actuales podrían variar sustancialmente, dado el reciente incremento general de precios, especialmente el de la energía.

### **2.2.4.1 Variación de consumo según la climatología**

En la tabla de consumos de los distintos componentes del barco (tabla 2.1) se pueden observar las horas de consumo de calefacción y aire acondicionado, pero la potencia de dichos equipos es la máxima que puede administrar, la cual rara vez es necesaria. Dado que no se dispone de datos de consumo reales, se ha decidido hacer una estimación. Para dicha estimación se utilizaron datos climáticos de La Valeta en la herramienta degreedays.net [18], pues según la propia herramienta éstos eran los más fiables y precisos.

El software en degreedays.net está desarrollado por la compañía BizEE Software, que obtiene y filtra datos de temperaturas para entregar datos de grados día. Los grados día son la suma de las diferencias entre una temperatura base y la temperatura media del día, y resultan muy útiles para estimar consumos de calefacción y refrigeración en edificios y viviendas. Con los grados día se calculó la potencia que se consume cada mes del año, tanto de calefacción como de aire acondicionado, de forma proporcional a la temperatura media del mes.

## **2.3 SELECCIÓN DE ELEMENTOS**

En este apartado se presentan los elementos elegidos para el estudio de viabilidad del proyecto. Por un lado están los grupos electrógenos a partir de diésel, que generan la mayor parte de la energía. Sustituir los actuales por unos de menor tamaño, adecuados a la demanda actual, podría resultar rentable.

Por otra parte, se han seleccionado los componentes para la implementación de energía solar fotovoltaica: paneles, convertidores y baterías. Las baterías, como elemento de almacenamiento de energía, se pueden utilizar sin la necesidad de instalar paneles fotovoltaicos, para que el generador pueda funcionar a la máxima eficiencia y durante menos tiempo.

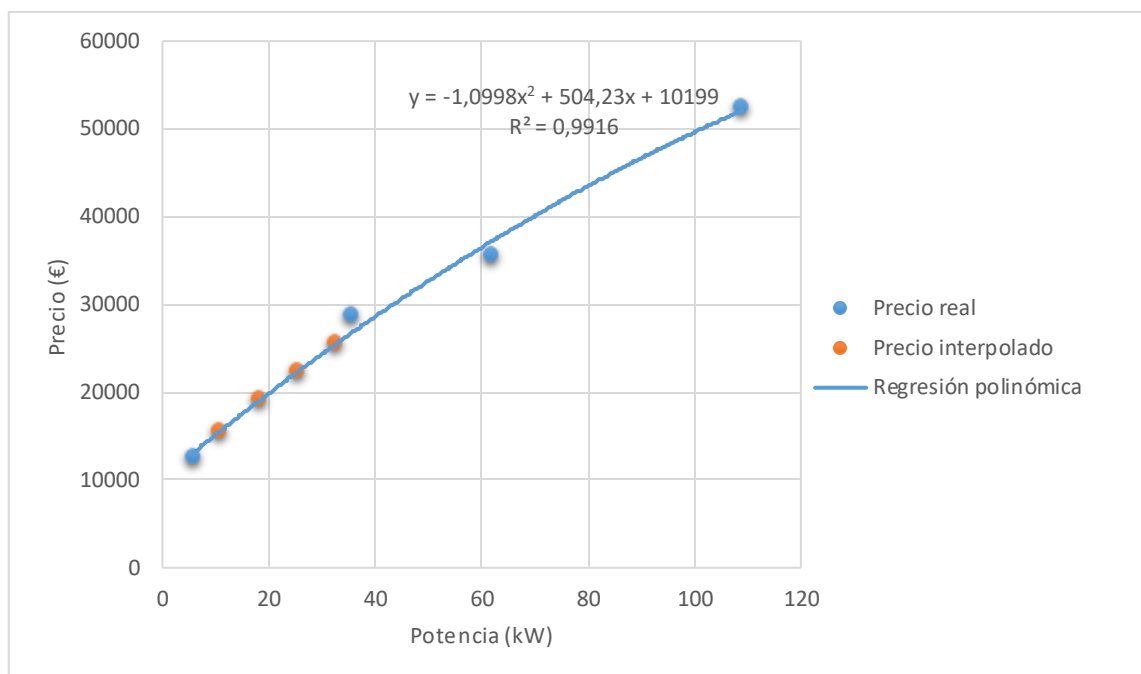
### **2.3.1 Modelos de generador**

Se trató de contactar con varios fabricantes y proveedores para obtener precios y presupuestos de los distintos modelos según la potencia de cada generador, datos necesarios para la simulación en HOMER. No se obtuvieron suficientes respuestas por lo que los precios de algunos tamaños de los grupos se han calculado mediante interpolación. Todos los modelos son de la marca Solé Diesel [12][13][14].

**Tabla 2.3: precio de los modelos de generador estudiados**

<b>Modelo</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Precio (€)</b>
G-8T-3	5,8	12438,80
G-15T-3	10,9	15564,40
G-25T-3	18,2	19011,70
35GT	25,5	22341,70
45GT	32,7	25511,30
50GT	35,6	28701,20
85GT	61,8	35549,80
150GT	109	52405,10

Los modelos con precios interpolados están indicados en cursiva. Como se puede ver en la gráfica a continuación, para la interpolación se ha usado una regresión polinómica de grado dos, pues dio un resultado de dispersión razonable, es decir, un valor de  $R^2$  cercano a la unidad, en este caso 0,9916.



**Figura 2.5: gráfica de interpolación de los precios de los generadores**

### 2.3.2 Módulos fotovoltaicos

Para cubrir la superficie disponible se ha elegido el modelo de módulo fotovoltaico 460W 24V Monocristalino Hiku, del fabricante Canadian Solar. Se ha decidido usar este modelo por varias razones. En primer lugar, las células utilizan la tecnología PERC, recuperando parte de la luz que no se puede absorber de forma directa a través de una capa reflectante en la parte trasera de la placa, mejorando su eficiencia.

En segundo lugar, la placa está dividida en dos mitades simétricas, haciendo que la corriente circule por seis strings por placa en lugar de tres, mejorando la producción en caso de sombras parciales, que serán habituales dado que el mástil, antenas y distintas partes del barco producirán sombras.

Por último, el panel cuenta con certificación IEC 61701, garantizando su resistencia a la corrosión en ambientes salinos. Puesto que el barco cambia de rumbo constantemente de forma impredecible, se ha decidido que lo mejor es colocarlos en horizontal. La vida útil de estos módulos es de 25 años. Sus características eléctricas (STC) y mecánicas se muestran a continuación [8].

**Tabla 2.4: especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos**

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Potencia máxima nominal ( $P_{m\acute{a}x}$ )	460 W
Tensión óptima de operación ( $V_{mppt}$ )	41,5 V
Corriente óptima de operación ( $I_{mppt}$ )	11,09 A
Tensión en circuito abierto ( $V_{oc}$ )	49,5 V
Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ )	11,72 A
Eficiencia máxima	20,8%
Temperatura de operación	-40°C ~ +85°C

Coeficiente de temperatura de potencia	-0,35%/°C
Temperatura nominal de operación	42±3°C
Tecnología de célula	Monocristalina
Disposición de células	144 [2 x (12 x 6)]
Dimensiones	2018 x 1048 x 35 mm
Peso	24,3 kg
Caja de conexiones	IP68, 3 diodos bypass

### **2.3.3 Inversor**

En cuanto al inversor, se ha escogido el MOD 3000TL3-XH, de la marca Growatt. Este inversor es un modelo trifásico de tamaño reducido capaz de suministrar hasta 3000W, que puede cargar baterías con el excedente de producción al mismo tiempo que alimenta las cargas AC. Se eligió este modelo por ser de tamaño relativamente reducido, bajo coste y de fácil instalación, además de la función simultánea de abastecimiento y carga de baterías. Genera una corriente alterna trifásica y está recomendado para sistemas fotovoltaicos de hasta 6 kW de potencia instalada. Las dimensiones del inversor se deben elegir en función del número de paneles a instalar, es decir, la potencia instalada, y la tensión de entrada, la cual depende de la distribución serie-paralelo de los módulos. La vida útil, proporcionada por el fabricante, es de 15 años. Las características técnicas se muestran en la siguiente tabla [11].

**Tabla 2.5: especificaciones técnicas del inversor**

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Potencia fotovoltaica instalada máxima recomendada	6 kW
Potencia máxima extraída de baterías	3,3 kW
Potencia alterna máxima suministrada	3 kW
Potencia alterna aparente máxima	3,3 kVA
Eficiencia máxima	97,5%
Consumo en vacío	5,5 W
Corriente fotovoltaica máxima de entrada	16 A
Corriente de baterías máxima de entrada	11 A
Corriente de máxima de salida	5 A
Rango de voltaje de operación MPPT	140-1000 V
Eficiencia de rectificado	85%

### **2.3.4 Baterías**

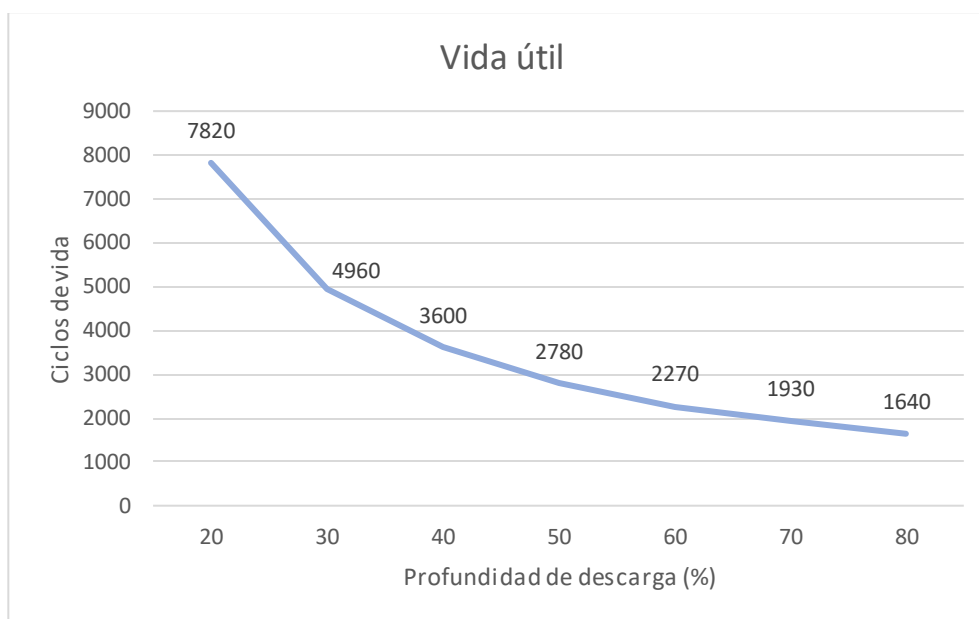
Para el almacenamiento de energía se decidió utilizar las baterías 24V OPzS 3000 de HOPPECKE, un pack de 12 baterías de 2 voltios, con una capacidad nominal de 3000 Ah. Su tecnología es plomo ácido, que si bien en general resulta algo inferior al litio, en nuestro caso son una mejor opción, pues el espacio y el peso no son un problema limitante en nuestro proyecto, y en aplicaciones de mayor capacidad el uso de baterías de litio puede suponer una enorme inversión. Con un mantenimiento adecuado pueden llegar a una vida útil comparable.

Son baterías con un uso máximo de hasta 8000 ciclos de carga a una profundidad de 20%, que correspondería a casi 22 años de vida útil, según el fabricante. Su tecnología de cátodo tubular y ánodo de rejilla les concede la capacidad de proporcionar un servicio duradero, estable y fiable, ofreciendo además gran resistencia ante descargas profundas con corrientes bajas. Sus características técnicas son las siguientes [7][15].

**Tabla 2.6: especificaciones técnicas de las baterías**

Característica	Valor
Tecnología	Plomo-ácido regulado por válvula
Capacidad nominal	3000 Ah
Capacidad total	4340 Ah en C100, 3220 Ah en C10
Eficiencia del ciclo de carga	86%
Carga mínima	30%
Corriente máxima de carga	610 A
Volumen	1,2 m <sup>3</sup>

Su vida útil según la profundidad de descarga se muestra en la figura:



**Figura 2.6: gráfica de vida útil de las baterías**

### 2.3.5 Costes de instalación

Debido a las características del proyecto, fue muy difícil obtener datos precisos de costes de instalación o reparación, incluso a la hora de los propios precios de los materiales, pues muchos fabricantes y proveedores mantienen estos precios en secreto por motivos de competencia.

Los costes pueden variar sustancialmente caso a caso, como por ejemplo a la hora de tener que extraer o introducir un nuevo generador en el barco. Si las dimensiones no lo permiten, es necesario hacer una cesárea al barco. Una cesárea consiste en la apertura de un espacio en el casco del barco para realizar cualquier trabajo, extraer o introducir componentes.

En el caso del Aita Mari, ya se necesitó una cesárea en el pasado, a la que se le hizo una compuerta, por lo que se puede reaprovechar la cavidad para sustituir componentes de gran tamaño de ser necesario, reduciendo enormemente los costes de la operación.

Para estimar costes de instalación de los componentes se recurrió a un estudio de la facultad de ingeniería de la universidad de Alejandría publicado en 2021 en su revista "Alexandria Engineering Journal" [18]. En dicho estudio se realiza una estimación de los costes de cada parte de un proyecto de una instalación fotovoltaica, donde el montaje, instalación y pruebas de los componentes corresponden a un 10% del coste total. Adaptando esa cifra a nuestro proyecto en el Aita Mari, se decidió estimar el coste de instalación de los componentes como un 10% del coste material de cada componente.



### 2.3.6 Costes de operación y mantenimiento

En las tablas a continuación se muestran los procesos necesarios para el mantenimiento de distintos componentes. En primer lugar, el del generador actual [1] y en segundo el de los distintos modelos según la potencia a comparar con el actual, además de otros componentes.

En el caso del motor actual, el coste de mantenimiento es sustancialmente mayor, debido evidentemente a su antigüedad y uso. La vida útil estimada de un generador Diésel es de 40000 horas.

El mantenimiento recomendado por el fabricante para los modelos nuevos es el mismo, variando solo el coste del pack de mantenimiento [12][13].

En la primera tabla, correspondiente al motor actual, se muestra el precio total, incluyendo mano de obra. En la segunda, correspondiente al motor nuevo, se indica el coste de la mano de obra, y en la tercera, también para el motor nuevo, se muestra el coste del pack de mantenimiento según el modelo de generador [16].

**Tabla 2.7: costes de mantenimiento aproximados de los generadores actuales**

Concepto	Frecuencia (h)	Precio (€)	Duración (h)
Comprobaciones diarias	24	7,12	0,2
Comprobaciones semanales	168	7,12	0,2
Cambio de aceite y filtros	500	995,43	4
Mantenimiento de sensores	1000	180,07	2
Cambio de refrigerante	2000	108,27	2

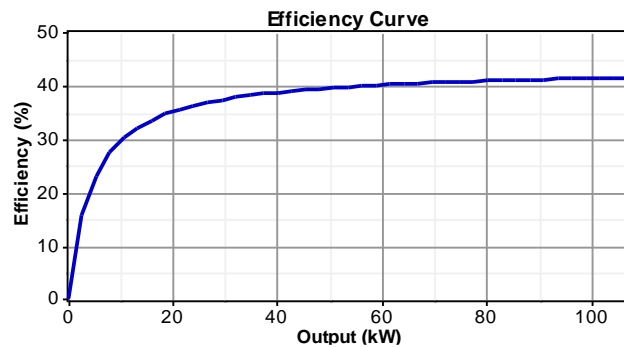
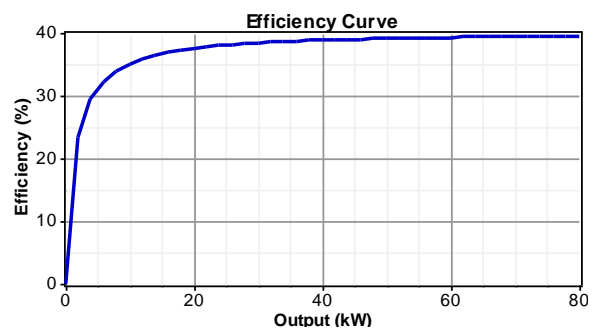
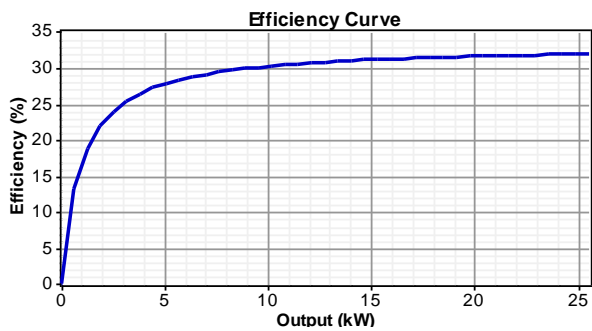
**Tabla 2.8: costes de mantenimiento aproximados de los componentes nuevos**

Concepto	Frecuencia	Precio (€)	Duración (h)
Revisar: Ánodos, bomba de agua de mar, nivel de batería. Cambiar: Aceite y filtro. Limpiar: Filtro de agua.	200h	53,37	1,5
Revisar: Apriete de tornillos, limpieza de válvulas, bujías, motor y alternador de arranque. Cambiar: filtro de combustible, separador de agua, filtro de aire.	400h	71,16	2
Revisar: Presión de compresión, inyección. Cambiar: Correa del alternador.	800h	71,16	2
Revisar: Turbo. Cambiar: Filtro de aire, líquido refrigerante. Limpiar: Tanque de combustible	Dos años	124,53	3,5
Revisar: Escape, aceite, nivel de combustible, refrigerante, filtro de agua, válvula agua de mar.	Diario	7,116	0,2
Revisar: Voltaje en vacío del sistema de baterías, voltaje individual por celda. Densidad, temperatura y nivel de electrolito. Temperatura ambiente.	Seis meses	17,79	0,5 (por string)
Revisar: Apriete de conexiones, estado de los soportes de las baterías, ventilación de la sala donde se almacenan.	Anual	17,79	0,5 (por string)

**Tabla 2.9: precio de los distintos packs de mantenimiento de los generadores**

Modelo	Pack	Coste (€)
G-8T-3	13840104	329,12
G-15T-3	13840104	329,12
G-25T-3	13840104	329,12
35GT	17440102	586,25
45GT	17540105	699,38
50GT	17540105	699,38
85GT	19440106	987,36

Las curvas de eficiencia obtenidas en HOMER con los datos de consumo del fabricante son las siguientes:



**Figuras 2.7, 2.8 y 2.9: curvas de consumo de los generadores de 25,5, 107 y 80 kW, respectivamente [17]**

### 3 SIMULACIONES

En este apartado se exponen y estudian los resultados obtenidos de las simulaciones de HOMER. En primer lugar, se hizo una simulación preliminar, en la que se introdujeron distintos rangos de potencias y dimensiones de los distintos componentes a estudiar, con la finalidad de estudiar las variaciones que cada componente provoca en el sistema y obtener unas dimensiones óptimas de cada uno de ellos.

A continuación, se analizaron los resultados de esta simulación preliminar, extrayendo conclusiones que nos sirvieron para proponer distintas soluciones acordes a la situación y condiciones del proyecto.

Por último, se simularon y estudiaron las soluciones propuestas individualmente, y se compararon para obtener una perspectiva más clara a la hora de seleccionar cuál implantar.

#### 3.1 SIMULACIÓN PRELIMINAR

Tras introducir todos los datos necesarios mencionados en los apartados 2.2 y 2.3 en HOMER, la simulación preliminar entrega las siguientes propuestas como las más rentables. La siguiente tabla muestra de forma simplificada las combinaciones de componentes para las que HOMER calcula el proyecto óptimo:

**Tabla 3.1: componentes utilizados en cada resultado ofrecido por HOMER**

Componente	A	B	C	D
Placas fotovoltaicas	Sí	Sí	No	No
Baterías	No	Sí	No	Sí

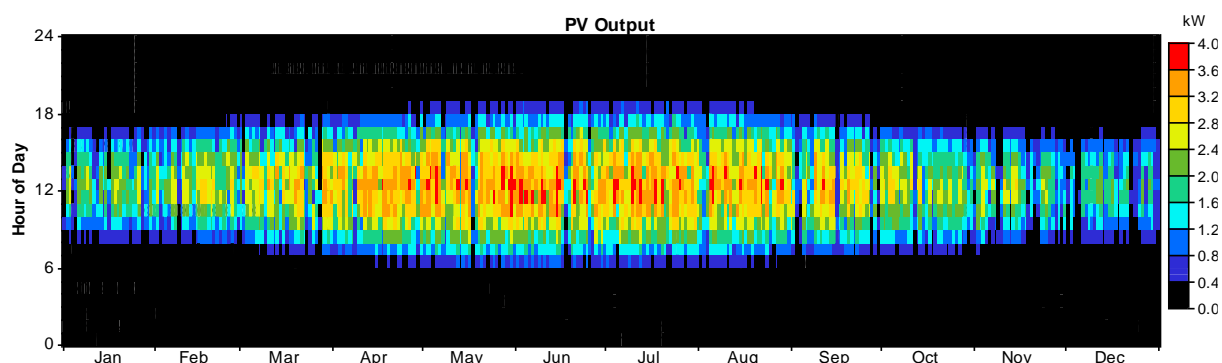
En esta simulación preliminar todos los motores usan la misma curva de consumos, la del generador de 80 kW, para determinar la potencia óptima necesaria. Los rangos permitidos para la simulación preliminar en HOMER son los siguientes:

- Potencia del generador: los grupos mencionados en el apartado 2.2.6. Se pueden cambiar ambos generadores o solo uno de ellos, en función de lo que se considere más adecuado.
- Convertidores: de 0 a 5, potencias de 0 a 15 kW. Un convertidor es suficiente para el máximo de placas a instalar, pero se permiten 5 para poder abastecer demandas mayores a través de las baterías. En caso de requerir más de un convertidor se debería buscar un modelo de mayor potencia en lugar de instalar varios convertidores.
- Placas solares: de 0 a 9, potencias de 0,46 a 4,14 kW. 9 es el máximo número que se podrían colocar en la superficie disponible
- Baterías: de 0 a 10 strings, de 12 baterías de 2 V. 10 es el máximo número de baterías que se estima que entran en los depósitos dejando suficiente espacio para su distribución y operación.

En la siguiente tabla se puede observar como la propuesta más rentable económicamente es la A, la que incluye placas fotovoltaicas pero no baterías, pues es la que ofrece un menor coste total del proyecto y por consiguiente del kWh. La menos rentable, la D, no incluye paneles, pero sí baterías de almacenamiento.

**Tabla 3.2: Datos económico-técnicos de los resultados de la simulación**

Propuesta	A	B	C	D
Potencia fotovoltaica (kW)	4,14 (9 placas)	4,14 (9 placas)	-	-
Potencia grupo (kW)	25,5	25,5	25,5	25,5
Número de strings de baterías	-	1	-	1
Potencia convertidor (kW)	3	3	-	3
Inversión inicial (€)	27571	43723	24576	41356
Coste total del proyecto (€)	509848	524851	528870	542450
Coste medio de la energía (€/kWh)	0,315	0,324	0,326	0,335
Fracción renovable	0,05	0,05	-	-



**Figura 3.1: potencia de salida de nueve módulos fotovoltaicos**

### 3.1.1 Valoración de los resultados

De los resultados completos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- En los casos que incluyen potencia fotovoltaica, la cantidad óptima es la máxima que se puede instalar. El propio HOMER muestra una advertencia de que la cantidad adecuada a instalar podría ser mayor que la permitida en los datos de entrada.
- Los casos en los que se incluyen baterías son más costosos que en los que no, además de que incluyen la cantidad mínima de almacenamiento, indicando que en este caso almacenar energía para permitir apagar el grupo generador no es una alternativa rentable.
- Dado que instalar mayor capacidad de energía fotovoltaica no es posible e incluir mayor almacenamiento no es viable, un único convertidor es suficiente para cubrir las necesidades.
- Los módulos fotovoltaicos aportan un máximo del 4,96% de la demanda total, una cantidad baja pero que reduce sensiblemente el precio de la energía, pues el coste medio aproximado del kWh fotovoltaico para el proyecto es de 0,027€.
- Todas las propuestas de HOMER incluyen el motor de 25,5 kWh, puesto que un motor mayor consumiría más combustible para producir lo mismo, y un motor menor requeriría de grandes capacidades de almacenamiento para abastecer la demanda constante. Las combinaciones que utilizan un motor de menor potencia y almacenan energía tienen costes totales del proyecto de incluso diez veces el del caso más rentable.

## 3.2 ESTUDIO DE LAS PROPUESTAS

Debido a las posibilidades y limitaciones a la hora de implantar el proyecto, se decidió ofrecer tres soluciones diferentes, en función de la capacidad de inversión del peticionario, basándonos en los resultados de la simulación preliminar:

- Primera propuesta: La de menor inversión, sugiere la instalación de la máxima cantidad de módulos fotovoltaicos.
- Segunda propuesta: De inversión intermedia, consiste en instalar los paneles fotovoltaicos y sustituir el generador de mayor potencia para usar el nuevo de 25,5 kW alternativamente con el de 80 kW.
- Tercera propuesta: La de mayor rentabilidad e inversión, propone instalar las placas fotovoltaicas y sustituir ambos grupos actuales por dos nuevos de 25,5 kW.

El caso base corresponde a la configuración actual. Se analizaron estas tres posibles soluciones, comparando el precio total del proyecto con el caso base y además de su rentabilidad, amortización e inversión inicial necesaria.

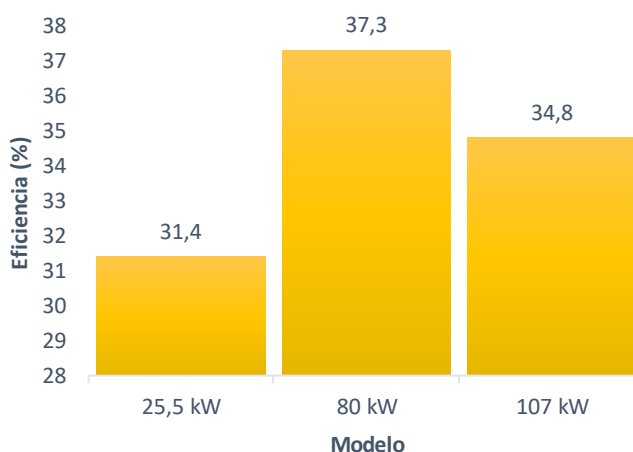
### 3.2.1 Análisis y comparación

Se confrontan los cuatro sistemas a estudiar en distintos aspectos, como los costes totales del proyecto, ahorro total respecto a la situación actual, flujos de caja y demás.

**Tabla 3.3: datos económico-técnicos del caso base y las tres propuestas ofrecidas**

Solución	Base	Primera	Segunda	Tercera
Potencia fotovoltaica (kW)	-	4,14	4,14	4,14
Potencia grupo (kW)	80/107	80/107	25,5/80	25,5/25,5
Potencia convertidor (kW)	-	3	3	3
Inversión inicial (€)	-	3622	28198	52774
Coste total del proyecto (€)	721842	705351	630716	613453
Coste medio de la energía (€/kWh)	0,446	0,435	0,389	0,379
Ahorro total respecto al caso base (€)	-	16491	91126	108389
Fracción renovable	-	0,05	0,05	0,05

Se puede observar una diferencia bastante importante en cuanto al coste total del proyecto y del kWh entre la simulación preliminar y las de cada caso propuesto. Esto es debido a que el modelo de generador estudiado tiene un rendimiento sustancialmente menor al actual, es decir, su curva de consumo es peor. La eficiencia media de cada generador para nuestro proyecto se puede observar a continuación:



**Figura 3.2: eficiencias medias durante el proyecto de los generadores utilizados en las propuestas**

Esto conlleva a unos periodos de amortización menores a los que cabría esperar en la simulación preliminar, puesto que el consumo se reduce menos de lo previsto, además de que ya se dispone de los generadores actuales, al contrario del nuevo, que requiere una inversión inicial para ponerlo en funcionamiento.

Los costes de sustitución incluyen los componentes que se deberán reemplazar al final de su vida útil durante la duración del proyecto (25 años). Los costes de operación y mantenimiento incluyen las tareas necesarias para el mantenimiento de los componentes, que en el caso de la red eléctrica del puerto incluye el coste de la energía utilizada. El valor final es el valor económico que HOMER considera que tienen los componentes al finalizar el proyecto.

### 3.2.2 Caso base

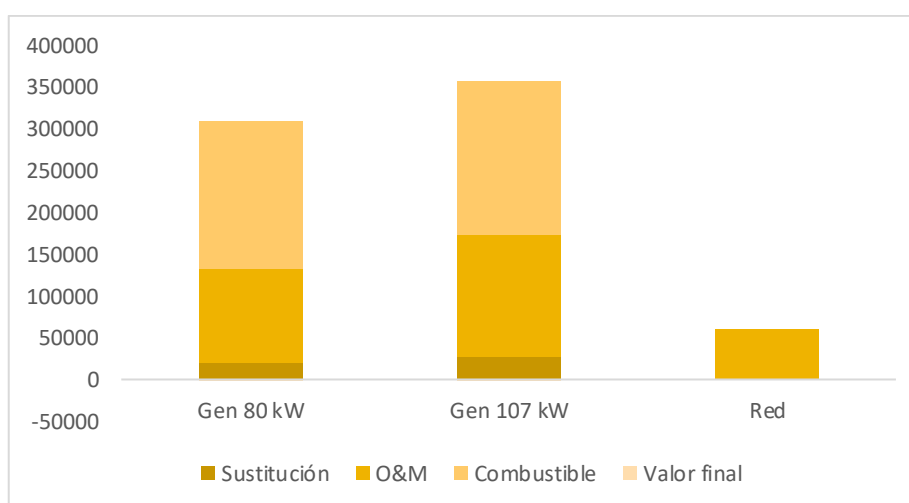
En la situación actual, los costes de operación y mantenimiento comprenden el 44% del coste total, mientras que el consumo de combustible pasa ligeramente el 50%. Se estima que el generador de 80 kW funciona 2952 horas al año, produciendo 57175 kWh, el 45% de la demanda. El generador de 107 kW por su parte trabaja 2880 horas al año generando 55932 kWh de energía, el 44% de la consumida. En tercer lugar, se compra a la red el 11% de la electricidad necesaria, que asciende a 13621 kWh. Cada motor se arranca cuatro veces al año según las simulaciones de HOMER.

El generador de menor tamaño consume 15524 litros de combustible al año, lo que se traduce en una media de eficiencia eléctrica del 37,4%, y un factor de carga medio del 8,16%.

Por su parte, el de mayor tamaño consume 16323 l/año, con una eficiencia del 34,8% y un factor de carga del 5,97%.

**Tabla 3.4: desglose de costes del proyecto del caso base**

Gasto	Gen. 80 kW	Gen. 107 kW	Red puerto	Total
Inversión inicial	0	0	0	0
Sustitución	19751	25900	0	45651
Operación y mantenimiento	111700	145792	59428	316920
Combustible	177216	186337	0	363553
Valor final	-1571	-2711	0	-4282
Total	307096	355318	59428	721842



**Figura 3.3: desglose de costes del proyecto del caso base**

### 3.2.3 Primera propuesta

En el caso de añadir un sistema de generación fotovoltaica al sistema actual, éste costaría apenas un 0,6% del total del proyecto. El coste de operación y mantenimiento de los grupos sería algo inferior al 44%, y el del combustible consumido ligeramente menor que el 50%. Los porcentajes son similares al caso actual, pero el coste total es menor por lo que el coste absoluto de cada parte es algo inferior.

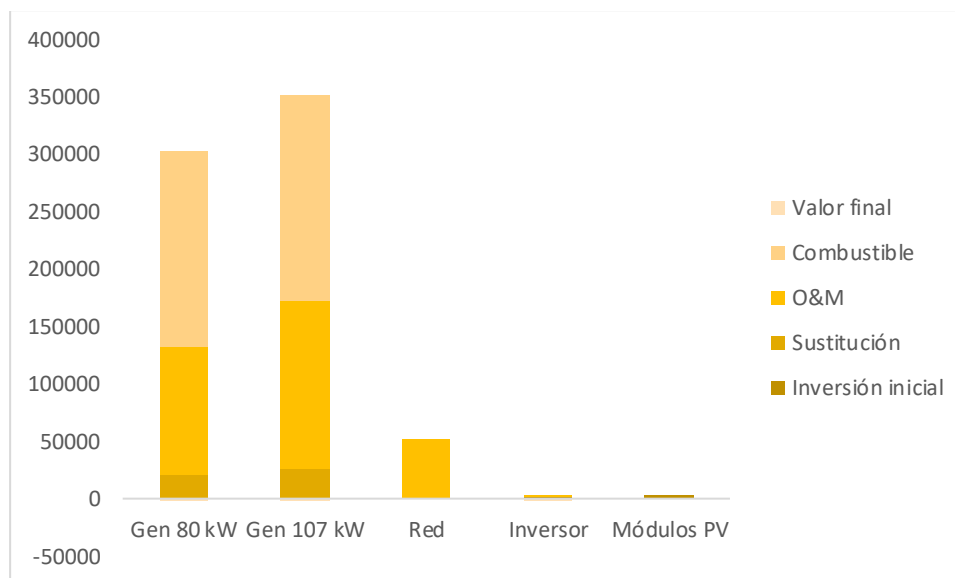
Los generadores de 80 y 107 kW trabajarían 2952 y 2880 horas al año produciendo 54901 y 53704 kWh anuales respectivamente. La red abastecería un 9% de la demanda y los paneles un 5%.

La eficiencia de los generadores es obviamente la misma que en la actualidad, pero su factor de carga medio sería un poco menor.

La producción media del sistema fotovoltaico sería de 780 W, lo que da un factor de carga del 18,9%. El coste medio de la electricidad generada mediante este sistema sería de 0,027 €/kWh.

**Tabla 3.5: desglose de costes del proyecto de la primera propuesta**

Concepto	Gen 80 kW	Gen 107 kW	Red	Inversor	Módulos PV	Total
Inversión inicial	0	0	0	1255	2367	3622
Sustitución	19751	25900	0	576	0	46227
O&M	111700	145792	51151	230	0	308873
Combustible	170664	180355	0	0	0	351019
Valor final	-1571	-2711	0	-107	0	-4389
Total	300544	349336	51151	1954	2367	705351



**Figura 3.4: desglose de costes del proyecto de la primera propuesta**

### 3.2.4 Segunda propuesta

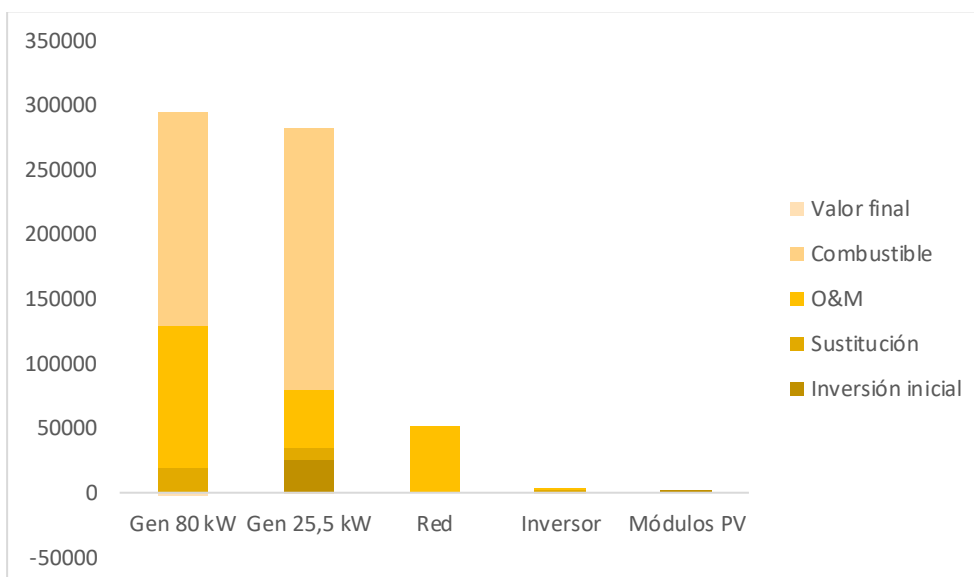
De sustituir el motor de mayor tamaño por uno del modelo elegido, se puede observar como el coste de las placas y el inversor sigue siendo el mismo, pues su sustitución depende del tiempo de vida y no de las horas de uso. Los costes de operación se reducen drásticamente, del casi 44% del caso anterior al 32,6%, Pero el consumo de combustible

asciende ligeramente acaparando un 58,6% del gasto total. El coste de la compra de componentes supera el 9%.

En cuanto a la generación, habría unos porcentajes similares al caso anterior, con los motores de 25,5 y 80 kW produciendo un 43% y 44% respectivamente. El motor nuevo ofrecería una eficiencia eléctrica media del 31,4% y un factor de carga medio del 24,6%, frente al 6% del antiguo de 107 kW.

**Tabla 3.6: desglose de costes del proyecto de la segunda propuesta**

Concepto	Gen 25,5 kW	Gen 80 kW	Red	Inversor	Módulos PV	Total
Inversión inicial	0	24576	0	1255	2367	28198
Sustitución	19376	10144	0	576	0	30096
O&M	109051	45208	51151	230	0	205640
Combustible	167068	202642	0	0	0	369710
Valor final	-2014	-807	0	-107	0	-2929
Total	281764	293481	51151	1954	2367	630716



**Figura 3.5: desglose de costes del proyecto de la segunda propuesta**

### 3.2.5 Tercera propuesta

Al sustituir ambos generadores por unos nuevos, la inversión inicial pasa a formar un 8,6% del gasto total, los costes de operación y mantenimiento un 23% pero el consumo de combustible pasa a abarcar casi dos tercios del total.

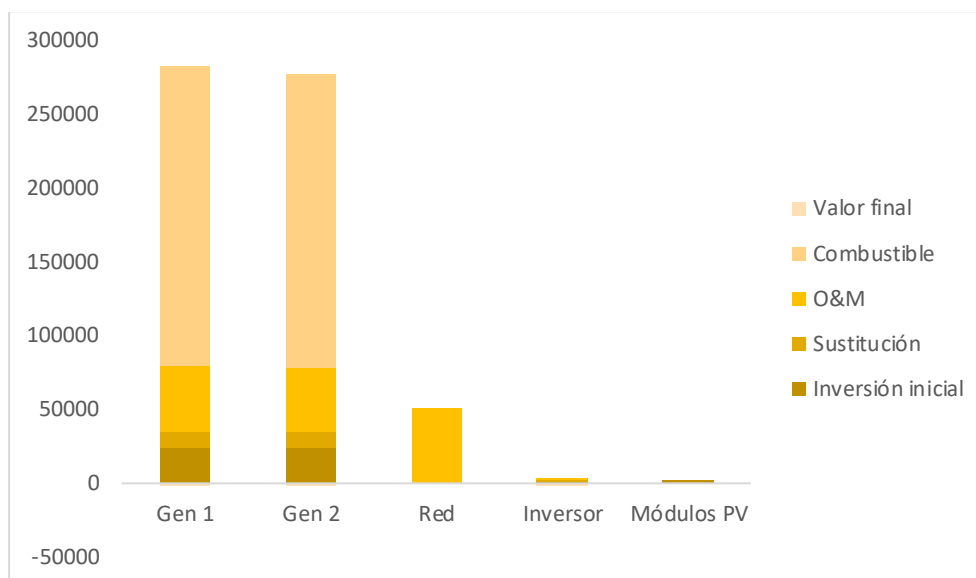
Los factores de carga y distribución de producción de cada componente serían muy similares al anterior.

**Tabla 3.7: desglose de costes del proyecto de la tercera propuesta**

Concepto	Gen 1	Gen 2	Red	Inversor	Módulos PV	Total
Inversión inicial	24576	24576	0	1255	2367	52774



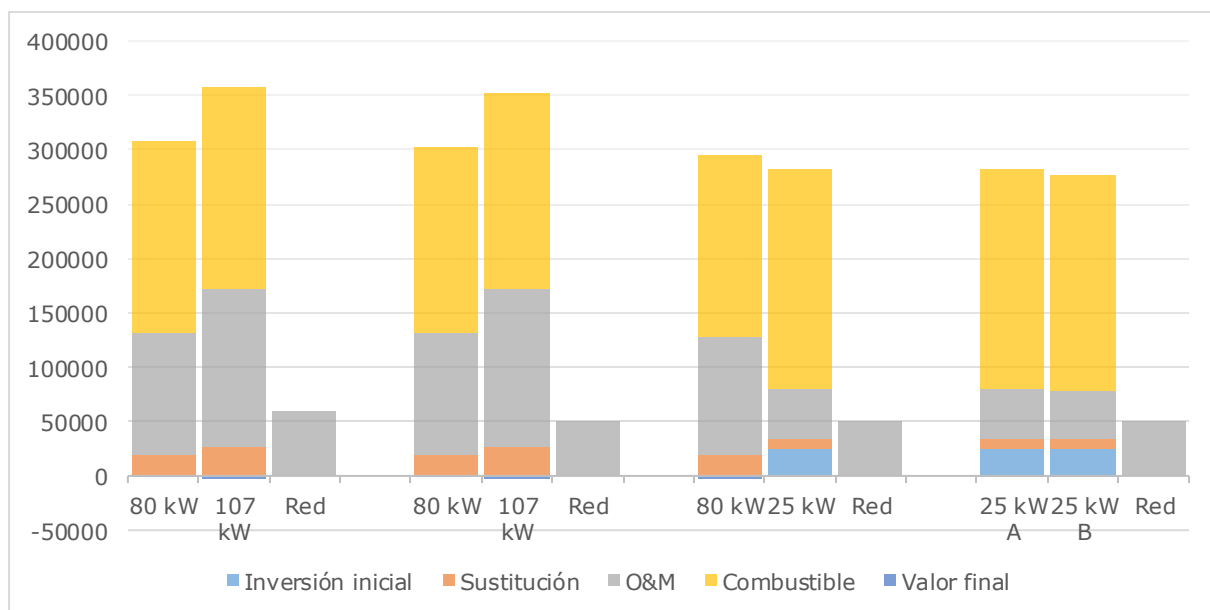
Sustitución	10147	9952	0	576	0	20675
O&M	45224	44136	51151	230	0	140741
Combustible	202909	198300	0	0	0	401209
Valor final	-804	-1035	0	-107	0	-1946
Total	282052	275929	51151	1954	2367	613453



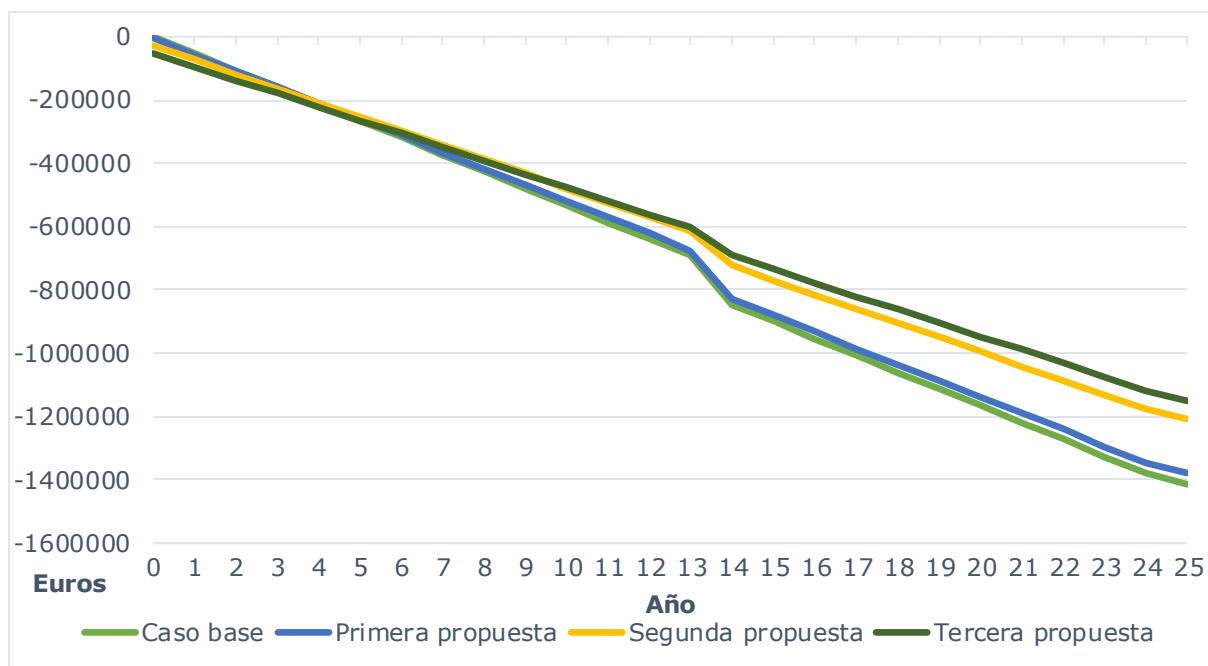
**Figura 3.6: desglose de costes del proyecto de la tercera propuesta**

### 3.2.6 Comparación

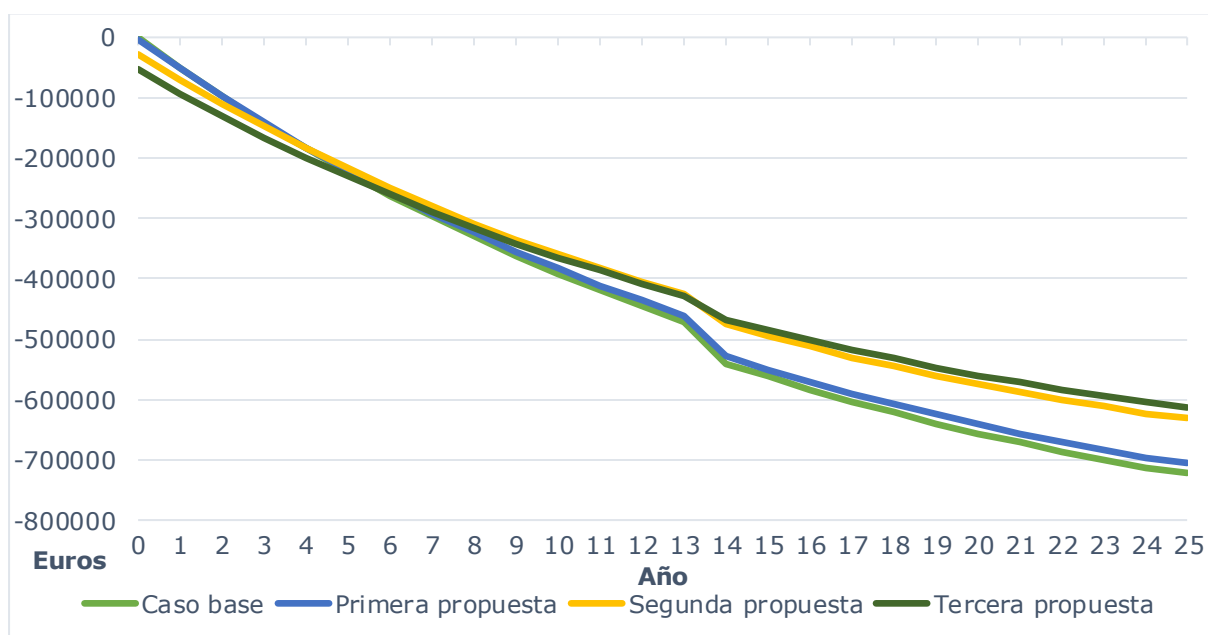
Aquí se comparan los costes de los cuatro casos, enfrentando ahorro frente a inversión e indicando periodos de amortización.



**Figura 3.7: comparativa de costes de los cuatro casos estudiados**



**Figura 3.8: flujo de caja combinado simple de los cuatro casos estudiados**



**Figura 3.9: flujo de caja combinado compuesto de los cuatro casos estudiados**

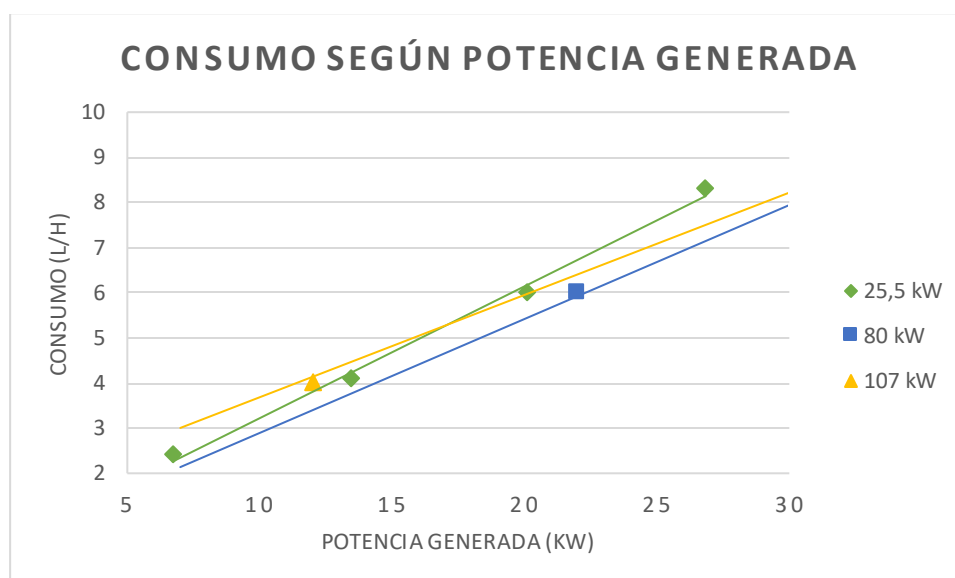
El flujo de caja combinado simple aplica intereses sobre el valor base de los componentes, mientras que el compuesto aplica intereses sobre el valor del año anterior de dichos componentes.

El punto de intersección del caso base con cada una de las propuestas indica el momento en el que la inversión quedaría amortizada. Utilizando la media de coste anual de cada caso, los periodos de amortización simples serían los siguientes:

**Tabla 3.8: valores de rentabilidad de las propuestas estudiadas**

Variable	Primera propuesta	Segunda propuesta	Tercera propuesta
Periodo estimado de amortización	2 años 10 meses	4 años	6 años 3 meses
Ahorro total del proyecto (€)	16491	91126	108389
Ahorro medio anual (€)	660	3645	4336
Inversión inicial	3622	28198	52774

Para comprender de forma un poco más clara la diferencia entre cada alternativa, se presentan los consumos de combustible de cada uno de los tres grupos utilizados. Cabe destacar que los datos de los dos motores actuales están extrapolados linealmente, por lo que su consumo seguramente sea mayor en el rango de potencias en el que trabajan en la actualidad, debido a que trabajan a un 25% y 18,7% de su capacidad total para los motores de 80 kW y 107 kW respectivamente. En cambio, el motor nuevo a instalar de 25,5 kW trabajaría al 78,4% de su capacidad nominal aproximadamente.



**Figura 3.10: comparativa de consumos de los generadores según su potencia generada**

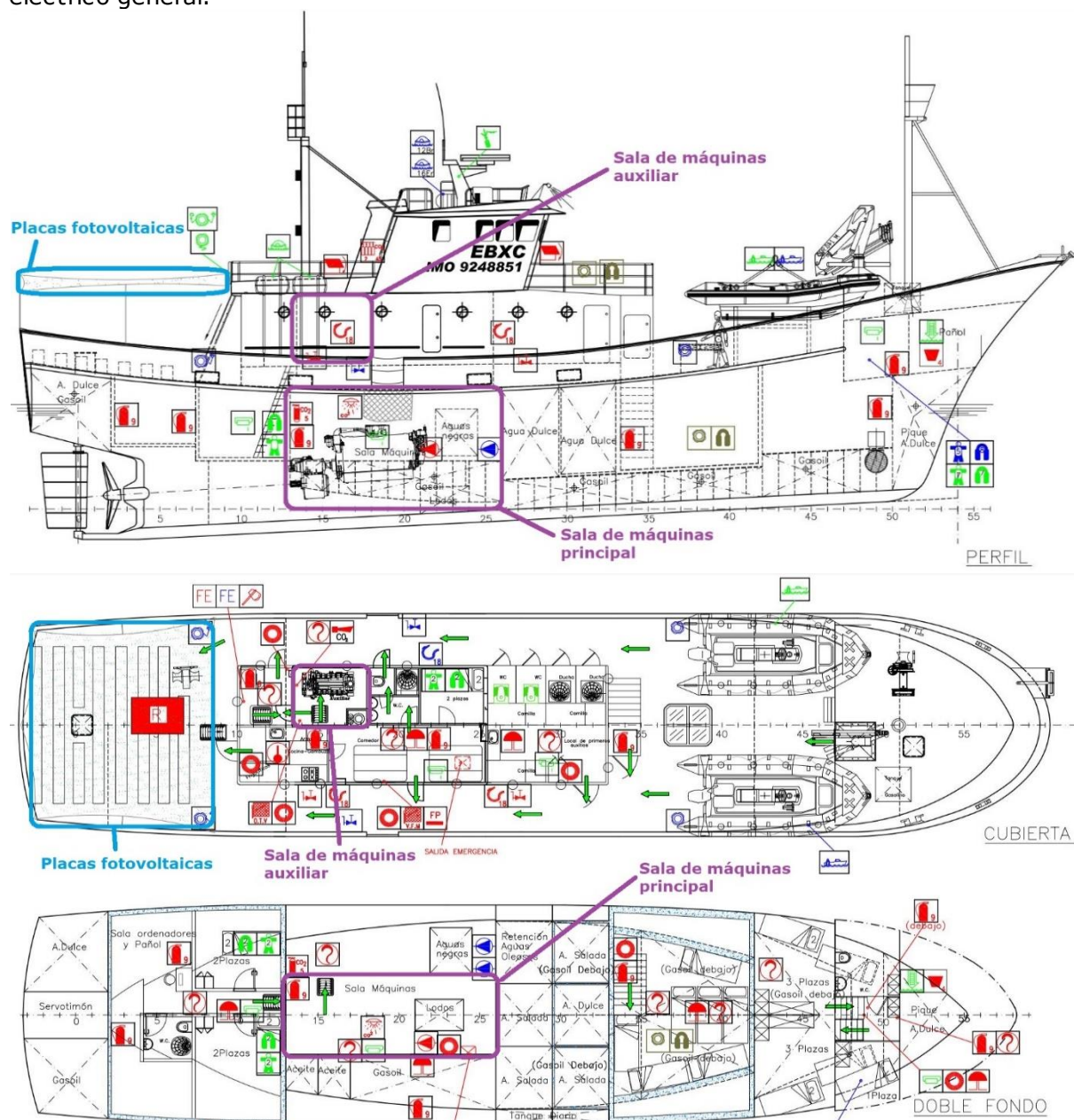
Es importante destacar que el ahorro económico de las propuestas depende mucho del precio del combustible, pues los motores nuevos, si bien tienen un mantenimiento mucho más barato, consumen algo más de combustible por su menor eficiencia. Con los datos de eficiencia manejados en este proyecto, no resulta tan rentable cambiar los generadores actuales, dado el precio actual de los carburantes (junio 2022).

Para justificar la inversión habría que utilizar generadores nuevos con eficiencias similares, o superiores de ser posible, a los modelos utilizados actualmente.

## 4 IMPLANTACIÓN

### 4.1 SITUACIÓN DE LOS COMPONENTES

Los generadores nuevos se sitúan en la posición de los actuales, estando el de 80 kW en la sala de máquinas auxiliar y el de 107 kW en la principal. Su extracción podría resultar complicada por motivos de espacio y colocación, por lo que podrían no poder aprovecharse. Los módulos fotovoltaicos se colocan en la popa del buque, el espacio que Iñigo nos indicó que tenían disponible. El plano muestra algo similar a un toldo en esa parte, pero en la actualidad es una estructura metálica donde se colocarán los paneles. El inversor se instala en la sala de máquinas principal, donde se encuentra el cuadro eléctrico general.



Figuras 4.1 y 4.2: planos de situación del Aita Mari

## 4.2 HOJAS DE MANTENIMIENTO

A continuación se muestra un listado con los nuevos componentes y las tareas de mantenimiento recomendadas para cada uno de ellos. Se puede encontrar más información al respecto en los manuales correspondientes [8][11][12].

### 4.2.1 Generador

**Tabla 4.1: tareas de mantenimiento del generador**

Tarea	Frecuencia
Revisar: Ánodos del sistema de refrigeración, rodete de la bomba de agua de mar, nivel de batería. Cambiar: Aceite y filtro lubricante. Limpiar: Filtro de agua del sistema de refrigeración.	200h
Revisar: Apriete de tornillos, limpieza de válvulas; bujías, motor y alternador de arranque. Cambiar: filtro de combustible, separador de agua, filtro de aire.	400h
Revisar: Presión de compresión, bomba del inyector, inyector. Cambiar: Correa del alternador.	800h
Cambiar: Aceite lubricante.	Anual
Revisar: Turbo. Cambiar: Filtro de aire, líquido refrigerante. Limpiar: Tanque de combustible.	Dos años
Revisar: Ruido y vibraciones del escape, aceite, nivel de combustible, refrigerante, filtro de agua, válvula de agua de mar.	Diario

### 4.2.2 Inversor

**Tabla 4.2: tareas de mantenimiento del inversor**

Tarea	Frecuencia
Lectura de datos y memoria de fallos.	Mensual
Limpieza o recambio de los filtros de aire, limpieza de rejillas protectoras de entrada y salida de aire, limpieza de ventiladores externos si procede.	Seis meses
Comprobar sellado de las carcasas. Inspeccionar presencia de polvo, suciedad o filtraciones de humedad. Revisar apriete de conexiones y funcionamiento de los ventiladores. Reemplazar conexiones oxidadas si procede. Revisar seccionadores, fusibles y otras protecciones.	Anual

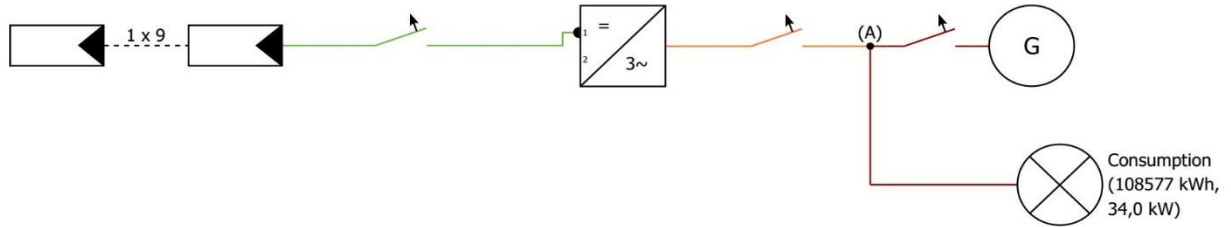
### 4.2.3 Placas fotovoltaicas

**Tabla 4.3: tareas de mantenimiento de los paneles fotovoltaicos**

Tarea	Frecuencia
Limpieza superficial de los módulos	Cuatro meses
Comprobar corrosión de conexiones	Seis meses
Comprobar estado de los soportes y estructuras.	Anual

### 4.3 ESQUEMA ELÉCTRICO SIMPLIFICADO

Puesto que el barco posee ya un sistema eléctrico completo, el diseño y dimensionamiento del cableado y las protecciones nuevas queda a cargo de la empresa instaladora. A modo orientativo se muestra un esquema unifilar simplificado del sistema.



**Figura 4.3: Esquema unifilar simplificado del sistema eléctrico**

## **5 CONCLUSIÓN**

Al realizar la simulación preliminar se obtuvieron resultados que indicaban que la inversión sería muy segura y rentable. Al incluir datos más precisos, principalmente los de eficiencia de los motores, la solución óptima consistía en instalar dos generadores nuevos, de 25,5 kW cada uno, y añadir 4,14 kW fotovoltaicos con su inversor correspondiente, pero no almacenamiento. Los datos de esta configuración indican una rentabilidad sustancialmente menor a lo esperado en base a los resultados preliminares. Esto es debido a que los grupos generadores actuales poseen un bastante mejor rendimiento eléctrico en comparación con los modelos nuevos estudiados para sustituirlo. El consumo de uno nuevo sería ligeramente superior, y el abaratamiento del sistema radicaría principalmente en sus menores costes de operación y mantenimiento.

En el caso de implantar una solución que emplee un nuevo motor, sería de gran importancia analizar distintos modelos de generador en el rango de potencias estudiado en este proyecto, en torno a 25 kW, buscando uno con eficiencias superiores, pues si bien resultaría más costoso a la hora de comprarlo, se reduciría el consumo de combustible. Esto resulta de gran importancia dados los precios actuales de los carburantes, excepcionalmente altos debido entre otras cosas al conflicto entre Ucrania y Rusia, que subieron desde los 0,893 €/l utilizados en este estudio hasta los más de 1,40 €/l en los meses de abril y mayo y los 1,68 €/l a principios de julio de este año 2022.

Por otra parte, aprovechar al máximo el espacio disponible para instalar placas es una inversión mucho más fiable y rentable, pues apenas requieren mantenimiento, no consumen combustible y producen una electricidad extremadamente barata en comparación a los generadores diésel.

Con un análisis más exhaustivo de los componentes del sistema eléctrico actual e información más precisa de los consumos de la tripulación y del barco, se podría reducir la demanda eléctrica, por ejemplo, utilizando electrodomésticos más eficientes, mejorando el aislamiento del barco para consumir menos en calefacción y aire acondicionado o reemplazando todo el alumbrado y focos por análogos de tecnología led.

Si bien con alcance algo limitado, en el estudio se han tenido en cuenta los Objetivos de Desarrollo Sostenible, aplicando la tecnología en la medida de lo posible para ayudar a hacer de nuestro mundo un lugar más habitable, seguro, justo, diverso y equitativo, independientemente del país de origen, etnia, religión, género, orientación sexual o cualquier otra distinción.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

Muchos de los datos necesarios se han obtenido intercambiando correos o llamadas con Iñigo, en cuyo caso se hará alusión a él. Los precios utilizados se corresponden con los del momento en el que se consultaron (mayo a julio 2020), por lo que podría haber discrepancias respecto a los actuales. Todos los precios incluyen IVA salvo que se indique lo contrario.

La información necesaria para el proyecto ha sido extraída de los siguientes sitios:

1. Iñigo Mijangos, capitán del Aita Mari y Presidente de Salvamento Marítimo Humanitario.
2. Lilienthal, P. (2020, 29 enero). HOMER Energy is now part of UL. HOMER Microgrid News. Recuperado 15 de abril de 2022, de <https://microgridnews.com/home-r-energy-is-now-part-of-ul/>
3. EU Science Hub. (s. f.). PVGIS Photovoltaic Geographical Information System. Photovoltaic Geographical Information System. Recuperado 27 de enero de 2021, de [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system_en)
4. M.D. Systems. (s. f.). Sea Routing. SeaRoutes. Recuperado 3 de marzo de 2022, de <https://m.classic.searoutes.com>
5. M.I.C.T. (s. f.). Histórico de Precios. Histórico de Precios. Recuperado 19 de enero de 2021, de <https://sedeaplicaciones.minetur.gob.es/shpcarburantes/>
6. Anexos 8, 9 y 10
7. HOPPECKE. (s. f.). The HOPPECKE grid | power V L (series OPzS). HOPPECKE Batteries, Inc. Recuperado 22 de enero de 2021, de <https://www.hoppecke.com/en/product/grid-power-v-l/>
8. Autosolar, Tienda Solar Fotovoltaica. (s. f.). Panel Solar Canadian 460W 24V Monocristalino Hiku. Autosolar. <https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-solar-canadian-460w-24v-monocristalino-hiku>
9. Alvarez Riveira, motores marinos, industriales y grupos. (s. f.). Refrigerante anticongelante Fleetguard ES Compleat. Alvarez Riveira. Recuperado 24 de marzo de 2021, de <https://alvarezriveira.com/producto/refrigerante-anticongelante-fleetguard-es-compleat/>
10. Tienda online de piezas y recambios de coche. (s. f.). Aceite de motor MANNOL TS-1, SHPD MN7101-5. recambioscoches.es. Recuperado 26 de marzo de 2021, de <https://www.recambioscoches.es/mannol/15768088>
11. Autosolar, Tienda Solar Fotovoltaica. (s. f.). Inversor Trifásico Híbrido Growatt MOD 3000TL3-XH | AutoSolar. Autosolar. Recuperado 5 de abril de 2021, de <https://autosolar.es/inversores-hibridos/inversor-trifasico-hibrido-growatt-mod-3000t13-xh>



12. Solé Diesel. (s. f.). Grupos Electrógenos. Solé Diesel, motores marinos y grupos electrógenos. Recuperado 11 de febrero de 2021, de [https://www.solediesel.com/es/grupos-electrogenos?kva=3%2C93&fases%5B%5D=3&rpms%5B%5D=1500\\_50&rpms%5B%5D=3000\\_50&tipo=0](https://www.solediesel.com/es/grupos-electrogenos?kva=3%2C93&fases%5B%5D=3&rpms%5B%5D=1500_50&rpms%5B%5D=3000_50&tipo=0)
13. Náutica SolyMar. (s. f.). Tienda online de recambios y accesorios para náutica. Recuperado 2 de julio de 2021, de <https://nauticasoly.com/>
14. Anexo 11
15. Monsolar Ingenieros. (s. f.). baterías estacionarias hoppecke 24V power VL 24-3230. Tienda online Monsolar. Recuperado 23 de enero de 2021, de <https://www.monsolar.com/baterias-estacionarias-hoppecke-power-vl-24-3230.html>
16. Náutica SolyMar. (s. f.). kit mantenimiento 1600h Solé Diesel. Tienda online de recambios y accesorios para náutica. Recuperado 18 de octubre de 2021, de <https://nauticasoly.com/tienda/kit-mantenimiento-1600h-sole-diesel-2/>
17. Anexo 2
18. BizEE Software. (s. f.). Heating & Cooling Degree Days – Free Worldwide Data Calculation. Degree Days. Recuperado 13 de junio de 2021, de <https://www.degreedays.net/>
19. Sarkar, S., Bhaskar, M., Uma Rao, K., V, P., Almakles, D., & Subramaniam, U. (2022). Solar PV network installation standards and cost estimation guidelines for smart cities. Alexandria Engineering Journal, 61(2), 1277–1287. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.06.098>