



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

# SISTEMA DE ALIMENTACIÓN HÍBRIDO PARA LA EXTENSIÓN DE AUTONOMÍA EN EL SISTEMA DE ARMAS 35/90

Autor

Antonio Rodríguez García

Director/es

Director académico: Joaquín Mur Armada

Director militar: José Manuel Rodríguez Rodrigo

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar





## Agradecimientos

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento tanto al director académico, el Doctor D. Joaquín Mur Armada, como al director militar, el Capitán D. José Manuel Rodríguez Rodrigo, así como a todo el personal del Grupo de Artillería Antiaérea II/30 por su implicación y ayuda para la realización de esta memoria y por supuesto al personal del escalón de mantenimiento, ya que siempre han estado a mi disposición.





## RESUMEN

El presente trabajo estudia una mejora de la autonomía energética del Sistema de Armas 35/90 que data del año 1970, y que cuenta con una actualización de 2003-2005 para integrarse en una nueva dirección de tiro y un grupo electrógeno de gasolina. Su principal problema radica en que el grupo electrógeno integrado en la Pieza cuenta con muchas horas de funcionamiento y está al final de su vida operativa, por lo que tiende a pasar frecuentes temporadas en el escalón de mantenimiento. Pero la sustitución de este grupo electrógeno supone un desafío al funcionar a frecuencia variable y al estar enclaustrado sobre la Pieza en un espacio angosto, al tiempo que se encuentra integrado con la electrónica. Además, su salida trifásica es a una tensión y frecuencia variables poco usuales.

Se propone instalar un conmutador de alimentación en el Sistema de Armas 35/90, junto con los conectores necesarios que permitan alimentar la Pieza desde el grupo electrógeno integrado o desde un sistema modular independiente, basado en un sistema con paneles solares fotovoltaicos, baterías y un inversor-cargador híbrido. El sistema también podría funcionar como un convertidor entre una toma convencional de red eléctrica o un grupo electrógeno convencional y la Pieza, permitiendo suministrar esta última y cargar las baterías si fuera necesario. Si el grupo electrógeno integrado no fuera operativo, el sistema propuesto podría alimentar la Pieza desde las placas solares, desde las baterías, desde una toma convencional de red eléctrica o desde un grupo electrógeno externo convencional.

El suministro solar permite disminuir el transporte logístico de combustible, de alto coste y peligroso en los entornos operativos, además de adecuarse al compromiso del Ejército por reducir la huella de carbono, dentro de los objetivos incluidos en *Fuerza 2035* y en los Objetivos de Desarrollo Sostenible séptimo (Energía asequible y no contaminante) y treceavo (Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos).

En este trabajo se realizan dos propuestas en función de la profundidad del rediseño que se quiera realizar sobre el sistema actual.

La primera opción es complementar el grupo electrógeno de origen con un sistema híbrido compuesto por un remolque con paneles fotovoltaicos, batería y un inversor/cargador híbrido que proporcione corriente alterna trifásica a 115/200 V a 400 Hz, añadiéndose un pequeño grupo electrógeno externo suplementario para situaciones donde el aporte solar fuera insuficiente. En este caso, el aporte solar junto con las baterías disminuye las horas de funcionamiento del grupo electrógeno suplementario, lo que implica menor consumo combustible y periodos de mantenimiento más espaciados, ya que éstos se realizan cada cierto número de horas de funcionamiento del motor de combustión presente en el grupo electrógeno.

La segunda opción supone un paso más, con una reingeniería del suministro eléctrico, sustituyendo las fuentes de alimentación electrónicas originales, la mayoría lineales a 28 V en corriente continua, por otras conmutadas de mayor eficiencia, factor de potencia y flexibilidad. Esta segunda opción permitiría una mayor optimización del suministro a costa de una modificación muy importante en la electrónica del sistema.

## Palabras clave

Grupo electrógeno, Sistema de Armas, paneles solares, combustible fósil, sistema híbrido energético.



**[PÁGINA INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO]**



## ABSTRACT

The present work studies an improvement of the energy autonomy of the Weapons System 35/90 dating from 1970, and which was updated in 2003-2005 to integrate in a new firing direction and a gasoline generator set. Its main problem lies in the fact that the generator set integrated in the system have been operating many hours of functioning and, therefore, tends to spend frequent periods on the maintenance, since it is at the end of its operational life. Therefore, the substitution of this generator set presents a challenge as it operates at variable frequency and is built on it, at the same time that is integrated with the electronics and with the multiple output voltages and its frequency is not standardized in Europe.

This work proposes to install a power switch in the 35/90 Weapon System, with the necessary connectors that allow the Piece to be powered from the generator set integrated or from a self-contained modular system, based on a system with photovoltaics solar panels, batteries, and a hybrid inverter-charger. The system could also work as an interface, a conventional generator set and the Weapon System, allowing it to be supplied and charge the batteries if necessary. If the integrated generator set is not operational, the proposed system could power the Weapon System from the solar panels through the batteries and a conventional electrical outlet or a conventional external generator set.

The solar supply allows to reduce the logistical transport of fuel, of high cost and dangerous in operating environments, in addition to being in line with the Army's commitment to reduce the carbon footprint, within the objectives included in Force 2035 and in the "Objectives Sustainable Development seventh (Affordable and clean energy) and thirteenth (Adopt urgent measures to combat climate change and its effects)".

In this work, two proposals are made depending on the depth of redesign that wanted to be carried out on the current system.

The first option is to complement the original generator set with a hybrid system consisting of a trailer with photovoltaic panels, a battery and a hybrid inverter/charger that provides three-phase alternating current at 115/200 V at 400 Hz, adding a small supplementary external generator set for situations where the solar contribution is insufficient. In this case, the solar contribution reduces the operating hours of the supplementary generator set, which implies lower fuel consumption and longer maintenance periods, since these set the number of operating hours.

The second option carries one more step, with a reengineering of the electrical supply, replacing the original electronic power supplies, most of which are linear at 28 V direct current, with other ones switched with greater efficiency, power factor and flexibility. This option would allow a greater optimization of the supply due to a very important modification in the electronics of the system.

## KEYWORDS

Generator Set (GS), Weapons System, photovoltaic panels, fossil fuel, hybrid energy system.



**[PÁGINA INTENCIONADAMENTE DEJADA EN BLANCO]**



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>III</b>
Palabras clave .....	III
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
KEYWORDS.....	V
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS</b> .....	<b>XII</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1    Objetivos y alcance del estudio .....	1
1.2    Ámbito de aplicación .....	1
1.3    Metodología .....	2
<b>2 Sistema de Armas 35/90</b> .....	<b>4</b>
2.1    Principales características del Sistema de Armas 35/90 .....	4
2.2    Grupo electrógeno del Sistema de Armas 35/90 .....	6
2.2.1    Principio de funcionamiento.....	7
2.3    Sistema de distribución de energía eléctrica y señales .....	8
2.4    Convertidor y caja interfaz de alimentación .....	9
<b>3 Sistema híbrido de suministro energético</b> .....	<b>11</b>
3.1    Antecedentes y marco teórico.....	11
3.2    Topologías habituales de los sistemas híbridos de suministro eléctrico aplicables al sistema 35/90 .....	16
3.2.1    CASO I: Alimentación sin cambiar las fuentes electrónicas originales.....	17



3.2.2	CASO II: Suministro actualizando las fuentes electrónicas del sistema .....	22
<b>4</b>	<b><i>Análisis de las simulaciones</i></b> .....	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Análisis de los de costes</b> .....	<b>24</b>
4.1.1	Situación actual (caso 0 o inicial) .....	24
4.1.2	Caso I: Alimentación sin cambiar las fuentes electrónicas originales .....	26
4.1.3	Caso II: Suministro actualizando las fuentes electrónicas del sistema .....	30
<b>4.2</b>	<b>Análisis del cuestionario</b> .....	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>Bibliografía</b> .....	<b>39</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 : GAAA II/30 (fuente: blog de Ceuta,2012) .....	2
Ilustración 2 : Sistema de Armas 35/90 GDF-007 (fuente: Ejército de Tierra, 2019) .....	5
Ilustración 3 : Grupo electrógeno (fuente: propia).....	6
Ilustración 4 : Frecuencia a 4000 r.p.m. (fuente: propia) .....	7
Ilustración 5 : Frecuencia a 2200 r.p.m. (fuente: propia) .....	7
Ilustración 6 : Entrada de conexiones entre grupo electrógeno y el Sistema de Armas 35/90 (fuente: propia) .....	8
Ilustración 7 : Sistema de distribución de energía eléctrica (fuente: Manual Sistema de Armas 35/90,2005) .....	8
Ilustración 8 : Vista general del convertidor (fuente: propia).....	9
Ilustración 9 : Cuadro de mandos e indicadores del convertidor (fuente: propia) .....	9
Ilustración 10 : Vista general de la caja de alimentación (fuente: propia) .....	10
Ilustración 11 : PC V.E.R.D.E. (fuente: Batallón de Cuartel General XII, 2015).....	12
Ilustración 12 : PC V.E.R.D.E. 2.0 (fuente: Batallón de Cuartel General XII, 2016).....	12
Ilustración 13 : Unidad Móvil de Energía (fuente: Regimiento de Infantería de Montaña 22, Ejército Argentino, 2020) .....	13
Ilustración 14 : Central Energética Transportable (fuente: TEMPERO GROUP, 2020) .....	14
Ilustración 15 Tráiler-Watt (fuente: ECOSUN, 2020) .....	15
Ilustración 16 : Esquema Caso I (diagrama modificado a partir de Clean Energy Review, 2021) .....	17
Ilustración 17 : Batería de litio de 48v Weco 5K3 Dual HV/LV (fuente: Weco, 2022).....	19
Ilustración 18 : Batería de litio Pylontech Phantom-S (fuente: Pylontech, 2022) .....	20
Ilustración 19 : Inversor/Cargador SP PRO LC1202 (fuente: Selectronic,2020) .....	21
Ilustración 20 : Inversor 30 kVA Riello Sirio SPS 30 (fuente: AROS Solar, 2022) .....	21
Ilustración 21 : Esquema CASO II (fuente: diagrama modificado a partir de Clean Energy Review 2021). .....	23
Ilustración 22 : Bloques de simulación del Caso 0 en el programa HOMER (fuente: HOMER PRO) .....	25



Ilustración 23 : Bloques de simulación del Caso I en el programa HOMER (fuente: HOMER PRO)	26
Ilustración 24 Gráfica de costes en la vida útil del caso 0 (fuente: HOMER PRO)	29
Ilustración 25 Gráfica de costes en la vida útil del caso I (fuente: HOMER PRO)	29
Ilustración 26 : Producción de electricidad mensual en el CASO I (fuente: HOMER PRO)	30
Ilustración 27 : Bloques de simulación del Caso II en el programa HOMER (fuente: HOMER PRO)	30
Ilustración 28 : Pregunta a) del cuestionario (fuente: propia)	33
Ilustración 29 : Pregunta c) del cuestionario (fuente: propia)	33
Ilustración 30 : Pregunta d) del cuestionario (fuente: propia)	34
Ilustración 31 : Pregunta f) del cuestionario (fuente: propia)	34
Ilustración 32 : Pregunta g) del cuestionario (fuente: propia)	35
Ilustración 33 : Pregunta i) del cuestionario (fuente: propia)	35
Ilustración 34 : Pregunta j) del cuestionario (fuente: propia)	36
Ilustración 35 : Pregunta l) del cuestionario (fuente: propia)	36



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Organización de la AAA (fuente: propia).....	4
Tabla 2 Características del Sistema de Armas 35/90 (fuente: propia) .....	5
Tabla 3 Potencia suministrada por la Central Energética Transportable (Fuente: TEMPERO GROUP,2020) .....	14
Tabla 4 Características del Sistema Fotovoltaica (fuente: ECOSUN, 2020) .....	15
Tabla 5 retos en I+D de Defensa sobre el estudio e implementación de sistemas de generación de energía en bases y campamentos (fuente: Monografías del SOPT,2011).....	16
Tabla 6 Diferencias entre Baterías de plomo-ácido y Baterías de iones de litio (fuente: propia)18	
Tabla 7 Comparación entre las baterías de Weco y Pylontech (fuente: Weco y Pylontech, 2022) .....	19
Tabla 8 Comparación entre SP PRO LC 1202 y Riello Sirio SPS 30 (fuente: Selectronic y AROS Solar, 2022) .....	20
Tabla 9 Estudio de costes del Bloque de Simulación del Caso 0 o situación actual (fuente: propia) .....	26
Tabla 10 Estudio de costes del Bloque de Simulación del Caso I (fuente: propia) .....	28
Tabla 11 Estudio de costes del Bloque de Simulación del Caso II (fuente: propia) .....	31



## ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AAA: Artillería Antiaérea

AC: Corriente Alterna

AD: Defensa Aérea

AHEAD: Advanced Hit Efficiency And Destruction

APU: Auxiliary Power Unit

DAA: Defensa Antiaérea

DC: Corriente Continua

ET: Ejército de Tierra

FDC: Fire Director Center

GAAA: Grupo de Artillería Antiaérea

GACA: Grupo de Artillería de Campaña

GE: Grupo Electrónico

GEN: Generador

GPU: Ground Power Unit

NPC: Coste Presente Neto

O&M: Operaciones y Mantenimiento

PC: Puesto de Mando

RAMIX: Regimiento de Artillería Mixto

SAM: Surface-To-Air Missile

SAPA: Sociedad Anónima de Placencia de las Armas

SHORAD: Short Range Air Defence

SIGLE: Sistema de Gestión Logística del Ejército de Tierra

TN: Territorio Nacional

ZO: Zona de Operaciones





# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Objetivos y alcance del estudio

El objetivo principal de este trabajo es idear y analizar sistemas de suministro eléctrico solares e híbridos alternativos al uso del grupo electrógeno integrado en el sistema de armas Oerlikon GDF 35/90 007.

Dadas las necesidades futuras, se considera de gran importancia analizar la implementación e integración de energías renovables y sistemas híbridos dentro de las unidades de artillería antiaérea (AAA) (Givetash, 2019), concretamente en el sistema de armas mencionado. Esto incluye un estudio de los aspectos a tener en cuenta en su implementación, tales como:

- Contar con una movilidad necesaria para no interferir en la operatividad del sistema de armas.
- Requerir un menor mantenimiento que el actual y aumentar la fiabilidad del suministro energético.
- El sistema debe ser flexible y permitir alimentar la Pieza a través de la energía captada por paneles solares desplegados montados sobre un remolque, a través de un grupo electrógeno convencional auxiliar o utilizando la propia red eléctrica.

Para concluir, el trabajo integra las apreciaciones del contexto denominado Fuerza 2035 y la importancia de la energía solar en este contexto.

## 1.2 Ámbito de aplicación

El estudio de la implementación de un sistema híbrido energético se ha realizado en el Regimiento de Artillería Mixto número 30 (RAMIX-30) con base en Ceuta. El RAMIX-30 está compuesto por el Grupo de Artillería de Campaña I/30 (GACA I/30) y el Grupo de Artillería Antiaérea II/30 (GAAA II/30), siendo en este último donde tiene lugar el citado trabajo (ver ilustración 1).

El GAAA II/30 lo integran las siguientes baterías: batería de cañones antiaéreos Oerlikon GDF 35/90 007, batería de misiles Mistral en su primera versión, Batería de Plana que cuenta con el material necesario para ejercer el mando de las baterías como el radar RAC-3D y el FDC (Fire Director Center), y por último la batería de Servicios.

La investigación que ha sido llevada a cabo en la Unidad nos proporciona una visión de la futura implementación en las Fuerzas Armadas de la energía solar como alternativa energética frente a los recursos limitados como es el petróleo.



*Ilustración 1 : GAAA II/30 (fuente: blog de Ceuta,2012)*

### 1.3 Metodología

Para la realización de este trabajo se ha realizado una metodología mixta mediante procesos cualitativos y cuantitativos. Al mismo tiempo, hay que señalar la búsqueda de información bibliográfica y hemerográfica, así como la ayuda del personal de mantenimiento de la Unidad.

En una primera instancia, se ha realizado una recogida y extracción de información, principalmente procedentes de fuentes militares a través de la Biblioteca Virtual del Mando de Adiestramiento y Doctrina, así como de los documentos suministrado por el personal del Escalón de Mantenimiento. Las revistas y publicaciones de las Fuerzas Armadas sobre el futuro operativo 2035 han sido una gran fuente de información por la escasa experiencia en la utilización de energía solar en el ámbito militar.

Además de todo esto, cabe señalar la información suministrada por el Director Militar del presente estudio facilitando el proyecto anteriormente desarrollado en el Batallón de Cuartel General XII por el Brigada D. Miguel Ángel Arnaiz García y el Cabo 1º D. José Luis Cabestrero Aranda en el campo de la energía solar fotovoltaica. Al mismo tiempo, ha sido de ayuda inestimable para el presente estudio la información que constantemente me proporcionaba mi Director Académico, sin la cual no podría haberse llevado a cabo este trabajo.

Por otro lado, para profundizar más en el problema energético se ha realizado una serie de entrevistas al personal cualificado de la Unidad que poseen grandes conocimientos y experiencia sobre el sistema de armas 35/90, así como en otros sistemas de armas y sistemas de mando y control de la AAA, tanto fuera como dentro del territorio nacional. Las entrevistas se han realizado de manera personal y por vía telefónica siguiendo un patrón de estudio a fin de recopilar la información empírica (anexo I). Sumado a lo anterior, también se realizaron encuestas a fin de recabar el conocimiento de los suboficiales del escalón de mantenimiento del GAAA II/30, la mayoría de ellos con más de veinte años de servicio. Este largo recorrido militar que llevan en sus espaldas nos hace constatar la relevancia que tienen sus opiniones. Finalmente, en el



periodo de prácticas externas se realizó una encuesta anónima<sup>1</sup> entre el personal con una antigüedad mayor a quince años.

Tras su realización, los datos aportados por estas encuestas han permitido elaborar diferentes gráficas, en los que se muestran el porcentaje de las respuestas.

Finalmente, referido a los procedimientos cuantitativos, se han realizado numerosas mediciones con herramientas como voltímetro y amperímetro en las salidas del grupo electrógeno, y en la entrada del generador que posee actualmente el sistema de armas 35/90.

---

<sup>1</sup> Este encuesta anónima se ha realizado al personal con dicha antigüedad para aportar mar rigor a las preguntas realizadas.



## 2 Sistema de Armas 35/90

La defensa aérea (AD) es la encomendada para la neutralización o reducción de la capacidad intrínseca que tiene una acción enemiga que sea de carácter aéreo con el objetivo de destruir los recursos esenciales de la fuerza con un alto valor estratégico ya sea en territorio nacional o en operaciones en el extranjero. En concreto, la operación que realizan las fuerzas terrestres se denomina defensa antiaérea (DAA) y, así mismo, las pequeñas unidades preparadas para reaccionar conforme las órdenes de la defensa antiaérea conforman la artillería antiaérea.

La AAA se estructura y organiza en diferentes unidades, las cuales se diferencian según el tipo de sistema de armas tengan en su dotación con alcance y altura eficaz determinadas, divididas en dos tipos (ver tabla 1), sistemas *Surface-To-Air Missile* (SAM) con misiles para medias y grandes alturas (más de 8000 metros), y sistemas *Short Range Air Defence* (SHORAD), cañones y misiles de baja o muy baja cota.

*Tabla 1 Organización de la AAA (fuente: propia)*

Unidades SAM	Unidades SHORAD	Organizadas en
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Misiles PATRIOT</li> <li>○ Misiles HAWK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Misiles NASAMS</li> <li>○ Misiles ROLAND</li> <li>○ Misiles ASPIDE con cañones 35/90</li> <li>○ Cañones 35/90</li> <li>○ Misiles MISTRAL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Grupos</li> <li>○ Baterías</li> </ul>

La tabla anterior indica que el sistema de armas 35/90 corresponde a las unidades SHORAD, para baja o muy baja cota. A continuación, se citarán sus principales peculiaridades.

### 2.1 Principales características del Sistema de Armas 35/90

El sistema de armas Skyguard-35/90, de fabricación suiza, fue adquirido por las fuerzas armadas de nuestro país en el año 1970 con la versión GDF-001 con direcciones de tiro SuperFledermus.

Tres décadas después, entre los años 2003 y 2005, todos los cañones adquiridos se sometieron a un programa de modernización por parte de la Sociedad Anónima de Placencia de las Armas (SAPA) por la cual se modificaron los cañones a la versión GDF-005 que contaba con numerosas mejoras como un visor de puntería óptico con telemetro laser además de un grupo electrógeno incorporado (anteriormente, el GE era remolcado). Además, también se adquirieron 27 nuevas direcciones de tiro Skydor.



En estos últimos años, las piezas del ejército se vienen modernizando a la versión GDF-007 (ilustración 2). Cada Batería de AAA está compuesta por tres secciones y cada sección cuenta con una dirección de tiro y dos cañones, es decir, en una Batería habría como mínimo seis sistemas de armas 35/90.



*Ilustración 2 : Sistema de Armas 35/90 GDF-007 (fuente: Ejército de Tierra, 2019)*

Cada uno de estos sistemas está formado por dos cañones antiaéreos ligeros 35/90 bitubo montados sobre un afuste giratorio superior, que pueden ser disparados de forma mecánica o eléctricamente. Además de estos elementos, la Pieza dispone de un sistema de nivelación automático que funciona mediante un sistema hidráulico. Para el funcionamiento correcto de la Pieza y un nivel de operatividad necesario, el equipo que trabaja en ella debe de estar compuesto al menos de un suboficial y tres artilleros.

Las características más importantes de dicho cañón son las mostradas en la tabla 2 (Ejército de Tierra, 2021):

*Tabla 2 Características del Sistema de Armas 35/90 (fuente: propia)*

<b>Calibre</b>	35 milímetros
<b>Alcance máximo eficaz</b>	4.000 metros
<b>Alcance máximo horizontal</b>	11.200 metros
<b>Munición</b>	Rompedora ordinaria, trazadora y perforante
<b>Sector de puntería en elevación</b>	-88 <sup>00</sup> a 1.644 <sup>00</sup>
<b>Sector de puntería en dirección</b>	6.400 <sup>00</sup>
<b>Velocidad</b>	1.175 metros por segundo
<b>Cadencia por tubo</b>	550 dpm



<b>Capacidades</b>	Movilidad y despliegue en terreno variado con capacidad de disparar munición AHEAD
--------------------	--

## 2.2 Grupo electrógeno del Sistema de Armas 35/90

El Grupo Electrógeno (GE) (ilustración 3) proporciona la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de la Pieza. El GE está formado básicamente por un motor de gasolina que hace girar el generador, junto con los sistemas de regulación y control. El GE tiene dos modos de funcionamiento. Por un lado, cuenta con la opción “RALENTÍ” o “STAND-BY” según el manual que leamos, en esta opción podría arrancarse el motor, que giraría en vacío y el sistema monitor del motor entra en funcionamiento. En este modo el GE consume 5.6 l/h de combustible (gasolina).

En contraposición a esta opción se encuentra el modo “OPERACIÓN”, el cual es la posición normal de funcionamiento. En esta posición el GE pasa de la velocidad en vacío a la operativa del motor, según necesidades y consume 8.5 l/h de combustible.

Finalmente, la última opción es la denominada “OPERACIÓN EMERGENCIA”. En esta posición queda puenteado el sistema monitor y el motor puede arrancarse para que comience a funcionar pese a las averías que puedan producirse en el GE. Para evitar un posicionamiento accidental del selector sobre esta posición, el cañón cuenta con un anillo de bloqueo que es preciso presionar para llegar a ella.

El generador es accionado por un motor de gasolina que se acopla al afuste inferior por medio de un montaje hidráulico deformable. Cuando la Pieza está en posición de marcha, se levanta el GE separándolo del suelo para conseguir un espacio libre y protegerlo de salpicaduras y polvo, tal como se muestra en la ilustración 3. En posición de tiro, se hace descender al GE para que no interfiera con los giros del afuste superior.



Ilustración 3 : Grupo electrógeno (fuente: propia)



Del mismo modo, el GE dispone de un sistema de rellenado que alimenta automáticamente el depósito de carburante desde una petaca exterior, incluso con el motor en marcha. A efectos descriptivos se considera que la cara del GE que se enfrenta al afuste inferior es la parte frontal (delantera) del GE.

### 2.2.1 Principio de funcionamiento

Dentro del GE, un motor de combustión hace girar un generador que produce energía eléctrica. En función de la potencia requerida, el motor gira a dos velocidades distintas:

- Velocidad operativa (a plena carga): El motor y el alternador giran a 4000 r.p.m.



*Ilustración 4 : Frecuencia a 4000 r.p.m. (fuente: propia)*

A esta velocidad la frecuencia del motor debería de ser en torno a 8800 Hz, pero debido al desgaste del material y a su uso prolongado este ha llegado a descender hasta los 7.611 Hz como puede contemplarse en la ilustración 4.

- Velocidad en vacío (ralentí): El motor y el generador giran a 2200 r.p.m.



*Ilustración 5 : Frecuencia a 2200 r.p.m. (fuente: propia)*



A esta velocidad, la frecuencia del motor debería de ser en torno a 4840 Hz, pero al igual que a la velocidad anterior, debido a sus numerosos años de servicio este ha ido disminuyendo hasta llegar a los 4059 Hz que se puede observar en la ilustración 5.

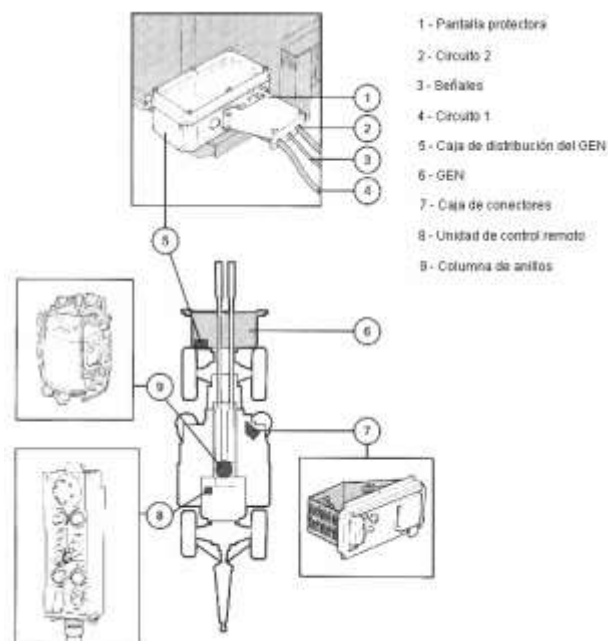
### 2.3 Sistema de distribución de energía eléctrica y señales

El generador del Grupo Electrónico (GEN) produce una corriente trifásica de 115/200 V y 400 Hz que se envía a la caja de distribución situada debajo de la batería, en el frontal del GEN.



*Ilustración 6 : Entrada de conexiones entre grupo electrógeno y el Sistema de Armas 35/90 (fuente: propia)*

Esta caja tiene la misión de llevar la energía eléctrica a todos los conjuntos de la Pieza y constituye la interconexión de esta con el grupo electrógeno, sirviendo además de canal para la transmisión y recepción de las numerosas señales eléctricas que se general durante su operación. La unión de los cables con la caja de distribución del GEN está protegida por una pantalla protectora colocada después de que se hayan conectado los cables.



*Ilustración 7 : Sistema de distribución de energía eléctrica (fuente: Manual Sistema de Armas 35/90,2005)*



En las ilustraciones 6 y 7 se pueden apreciar los conectores del circuito 1 (X1), circuito 2 (X2) y señales (X3). Los cables del sistema de armas, en vez de ir a los conectores X1, X2 y X3 del GE se conectarán al sistema que propone crear en este trabajo.

## 2.4 Convertidor y caja interfaz de alimentación

En este subcapítulo se explica el sistema que utilizan los escalones de mantenimiento de la AAA para el suministro energético de los sistemas de armas sin consumir combustible, lo cual ha servido de partida para investigar las distintas alternativas que se podría tener ante el combustible fósil.



*Ilustración 8 : Vista general del convertidor (fuente: propia)*



*Ilustración 9 : Cuadro de mandos e indicadores del convertidor (fuente: propia)*

Por lo tanto, se cuenta con un convertidor de frecuencias (ilustración 8) que utiliza la corriente de 380 V producida de una central eléctrica anexa al cuartel para convertirla en una corriente de 200/115 V a 400 Hz. Al mismo tiempo, y de manera concatenada, cuenta con la caja



interfaz de alimentación para el Cañón de Artillería Antiaérea 35/90. Esta caja interfaz (Ilustración 10) conecta las piezas a una toma de red eléctrica o a un generador 115V. / 400 Hz, sin utilizar el Grupo Electrónico, evitando así el ruido y los humos que provoca el Grupo Electrónico del Cañón cuando se realizan pruebas en el interior de los Talleres.



*Ilustración 10 : Vista general de la caja de alimentación (fuente: propia)*



## 3 Sistema híbrido de suministro energético

Este capítulo analiza los antecedentes o lo que se conoce como “estado del arte”, en el cual se explicará el proyecto que llevo a cabo el Batallón de Cuartel General XII, así como de las soluciones que se proponen ante el problema que nos encontramos, para ello se dispondrán dos casos tipo.

En este sentido hemos de puntualizar que los sistemas energéticos híbridos son aquellos que generan electricidad a partir de dos o más fuentes, generalmente de origen renovable, compartiendo un mismo punto de conexión. Las fuentes de energía que habitualmente se hibridan en pequeños sistemas eléctricos con grupos electrógenos o sistemas de almacenamiento eléctrico, son la energía solar fotovoltaica, energía eólica y energía hidráulica. Concretamente, esta memoria se centrará en combinar una fuente de energía fotovoltaica con el grupo electrógeno a gasolina.

### 3.1 Antecedentes y marco teórico

Para la realización de este trabajo ha sido utilizado como punto de partida el proyecto de campo Puesto de Mando Versión Ecológica Rápido Despliegue (PC VERDE) que realizó el personal del Batallón de Cuartel General XII<sup>2</sup>, los cuales se centran en el uso de la energía solar fotovoltaica desde el año 2015 hasta la actualidad.

Según sus conclusiones, este tipo de energía nos permite reducir el nivel de contaminación acústica, medioambiental y eliminar la firma IR, y, como no, un ahorro de combustible.

De manera estratégica, y a fin de que las placas solares pasen desapercibidas por el enemigo, se plantea el uso de redes miméticas sobre dichas placas, que se explicarán más adelante, proporcionando un notable incremento en cuanto a la seguridad táctica, así como una mayor protección ante las obtenciones de imágenes térmicas por la reducción de grupos electrógenos al mínimo imprescindible, lo que disminuye en gran medida las fuentes emisoras de firma térmica.

En primer lugar, se debe puntualizar que el diseño generado por el proyecto PC VERDE suministra una potencia de 3,75 kVA en corriente continua y, por lo tanto, no puede ser utilizado en el presente estudio ya que necesita una potencia igual o mayor a 25 kVA en corriente alterna a 400 Hz. En todo caso interesa en cuanto al aprovechamiento de sus fundamentos y como punto de partida.

El sistema que formaron en el Batallón de Cuartel General XII va montado sobre un TOA M-548 (de carga), tal como se puede ver en la ilustración 11. Este sistema constaba de nueve paneles solares de 220 Wp cada uno, un controlador de carga, un sistema de almacenamiento de energía basado en cuatro baterías AGM tipo estacionario de 220 Ah y 12 V y un inversor de 3000 VA para convertir la corriente continua a 24 V a corriente alterna a 230 V.

---

<sup>2</sup> Batallón de Cuartel General de la Brigada ‘Guadarrama’ XII, situado en las bases “El Goloso” en Madrid y “El Empecinado” en Valladolid.



El PC V.E.R.D.E. también cuenta con un grupo electrógeno trifásico para los casos de agotamiento de la carga de las baterías como pueden ser en periodos nocturnos o cuando por circunstancia meteorológicas no se proporcione la energía fotovoltaica suficiente para dichas cargas, o en momentos de necesitar una potencia suministrada mayor.



*Ilustración 11 : PC V.E.R.D.E. (fuente: Batallón de Cuartel General XII, 2015)*

Posteriormente, este sistema ha sufrido varias modificaciones entre las que cabría destacar la sustitución del GE trifásico por otro monofásico de 12 kW, la incorporación al sistema de dos aerogeneradores de eje horizontal con una capacidad de producción de 800 W cada uno, y la mejora del sistema de despliegue de las placas solares para reducir el tiempo de esta operación además proporcionar capacidad de inclinación, optimizando así la producción de energía, pudiendo variar el ángulo de incidencia sobre el horizonte y, entre otras modificaciones, se han integrado todos estos nuevos elementos en una estructura metálica autoportante que le permite el montaje sobre cualquier vehículo o plataforma, ya que en la primera versión solo estaba disponible para el vehículo mencionado anteriormente.

En la ilustración 12 se puede observar cómo se ha incrementado la superficie de placas solares y su disposición inclinada que se puede ajustar para aumentar la captación de radiación solar. También se pueden contemplar los dos aerogeneradores sobre torres telescópicas.



*Ilustración 12 : PC V.E.R.D.E. 2.0 (fuente: Batallón de Cuartel General XII, 2016)*



Con todas las mejoras desarrolladas e implantadas, el sistema proporciona en modo "limpio", es decir, sin el GE encendido, una potencia de 5000 W. En caso de que haya una demanda superior de la que proporcionan los inversores o las baterías, el sistema daría la orden de arrancar el GE.

Para entender y comprender el funcionamiento de la Pieza (gracias a la Biblioteca Virtual de las Fuerzas Armadas) se ha utilizado el manual de funcionamiento del sistema de armas 35/90 GDF-005. Y, a pesar de que el sistema actual que posee el Ejército de Tierra cuenta con la versión 007 y que su manual no se encuentra disponible en dicha Biblioteca, se ha podido aprovechar el documento M-3-4-29 sobre el cañón AA. 35/90 GDF-005 (el cual actualmente está derogado), dado que la única diferencia entre las dos versiones es la capacidad de disparar misiles tipo *Advanced Hit Efficiency And Destruction (AHEAD)*<sup>3</sup> en la última versión.

Por otro lado, las Fuerzas Armadas de Argentina, ante la necesidad de encontrar una alternativa al uso de combustible, es decir, una fuente de energía más concienciada con el medio ambiente y por supuesto más silenciosa que un grupo electrógeno, en 2020 fueron dotadas de unidades móviles de energía por parte de la firma especializada en tecnología EXO, encargada de investigar y desarrollar soluciones de energía limpia y sostenible (EXO, 2020).

Este sistema hace uso de paneles solares y baterías que pueden recibir y almacenar energía recibida durante el día. Van montados en un semirremolque como el que pueden ver en la ilustración 13.



Ilustración 13 : Unidad Móvil de Energía (fuente: Regimiento de Infantería de Montaña 22, Ejército Argentino, 2020)

Según han comprobado, puede ser utilizado para diversos servicios: una unidad médica o incluso para una unidad operativa desplegada en un punto sensible o de gran importancia lejos de nuestra zona de seguridad.

Entre sus características, es de gran relevancia señalar que puede ser montado y puesto

---

<sup>3</sup> Se trata de munición inteligente que permite la graduación de la espoleta de impacto de manera automática a la salida de la boca del cañón de acuerdo a una distancia al blanco.



en funcionamiento en quince minutos con una dotación de 3 soldados, cuenta con una potencia de 3 kVA pero en caso de necesitar más, podría añadirse más módulos fotovoltaicos.

Otra unidad móvil de energía que se ha podido encontrar es la central energética transportable fabricada por el equipo de I+D+I de ADES, una marca de TEMPERO GROUP<sup>4</sup>, que es una firma de ingeniería tecnológica en España.

Está montado sobre la estructura de un tráiler de camión (ilustración 14) y en su control puede seleccionarse generación 100% renovable o generación mixta con apoyo de un grupo electrógeno. A parte de esto, es capaz de suministrar energía eléctrica tanto de día como de noche ya que no solo está dotada de paneles fotovoltaicos, también de sus correspondientes baterías para la acumulación de energía, así como de turbinas eólicas y un grupo electrógeno.



*Ilustración 14 : Central Energética Transportable (fuente: TEMPERO GROUP, 2020)*

La tabla 3 muestra la potencia pico de los módulos solares, las turbinas eólicas y los grupos electrógenos de los cuatro modelos disponibles en Tempero Group.

*Tabla 3 Potencia suministrada por la Central Energética Transportable (Fuente: TEMPERO GROUP, 2020)*

Modelo	CET 10 kW	CET 50 kW	CET 60 kW	CET 70 kW
Módulos solares	4,2 kW	16,2 kW	16,2 kW	16,2 kW
Turbinas eólicas	-	-	10 kW	20 kW
Grupo electrógeno	6,8 kW	36 kW	36 kW	36 kW

Al mismo modo, se ha planteado el uso del sistema llamado Trailer-Watt, mostrado en la

<sup>4</sup> TEMPERO GROUP es una firma de ingeniería tecnológica española, cuyo objetivo es desarrollar soluciones que fomenten el uso racional y eficiente de las energías renovables.



ilustración 15, fabricado por la empresa ECOSUN<sup>5</sup>, que cuenta con las características mostradas en la tabla 4 (ecosun innovations, 2020):

*Tabla 4 Características del Sistema Fotovoltaico (fuente: ECOSUN, 2020)*

<b>Sistema fotovoltaico</b>	
Tecnología de módulos fotovoltaicos	Cristalina con vidrio o cristalina semirrígida encapsulado policarbonato
Cantidad de módulos fotovoltaicos	18, despleables con sistema hidráulico manual o eléctrico
Potencia de cada uno de los módulos fotovoltaicos	300 a 360 Wp
Potencia total	5,4 a 6,5 kWp



*Ilustración 15 Tráiler-Watt (fuente: ECOSUN, 2020)*

También es importante señalar que las conclusiones obtenidas en la “Jornada Monográfica: Sistemas de generación de energía y eficiencia energética en operaciones internacionales” (Monografías del SOPT, 2011) proponen que se ha reducido el coste de estos tipos de proyectos debido al desarrollo masivo de los paneles fotovoltaicos en el sector civil. La tabla 5 resume los principales retos de generación de energía en el Ejército.

Esto sumado a un aumento en la efectividad de las operaciones y a una reducción de los costes logísticos, así como de emisiones, hace que España tenga que desarrollar en un futuro cercano soluciones para la generación de energía compatibles con la zona en la cual despleguemos, así como un aumento de la eficacia energética en cuarteles y campamentos, tanto en TN o en ZO.

---

<sup>5</sup> ECOSUN es una filial de ECOSUN EXPERT, un grupo pionero en el uso de placas solares a escala internacional



Tabla 5 retos en I+D de Defensa sobre el estudio e implementación de sistemas de generación de energía en bases y campamentos (fuente: Monografías del SOPT, 2011)

Reto	Breve explicación
Adaptación al entorno	Adaptación de los sistemas y tecnologías fabricados en el sector civil al entorno militar centrándose en aspectos como la robustez, capacidad de movimiento o niveles de ruido o firma térmica
Facilidad de despliegue	Ante la movilidad necesaria para algunos sistemas de armas, así como para campamentos no permanentes es conveniente que los sistemas de energías tengan que ser desplegables, modulares y estandarizados.
Tecnologías finales no duales	Debido al enorme importe de capital necesario al principio de estos proyectos, es posible que, aunque tengan un increíble potencial militar, sean desechados por opciones más asequibles y para nada aplicables a Defensa.

Por lo tanto, en un futuro próximo la visión más probable es que los grupos electrógenos que se utilizan tanto en bases como en zona de operaciones sean sustituidos por sistemas que hagan disminuir la dependencia del combustible fósil como pueden ser sistemas híbridos.

### 3.2 Topologías habituales de los sistemas híbridos de suministro eléctrico aplicables al sistema 35/90

En esta sección se compararán con la situación actual, denominada caso 0, dos tipos de sistemas híbridos de suministro eléctrico, denominados caso I (alimentación en corriente alterna de 115/200 V a 400 Hz) y caso II (alimentación en corriente continua a varios niveles de tensión).

En primer lugar, para suministrar eléctricamente el sistema de armas 35/90 lo más conveniente sería cambiar el grupo electrógeno que dispone la Pieza por otro más eficiente que proporcione corriente alterna trifásica a 115/200 V a 400 Hz. Este es el primer caso propuesto, denominado Caso I o AC. El principal problema de este caso se encuentra en el hecho de que los parámetros eléctricos necesarios para el sistema de armas 35/90 son los habituales en las aeronaves y no de una instalación doméstica o industrial. Por lo tanto, se tendrá que optar por equipamiento dedicado a este sector, lo que implica una menor gama de productos y un mayor coste que los equipamientos respecto el sector industrial.

Los grupos electrógenos trifásicos de estas características y parámetros se suelen denominar “*Ground Power Unit*” (GPU) porque sustituyen al generador de un buque o una aeronave cuando está en puerto o aeropuerto. Los GPUs aeronáuticos son utilizados en los casos de mantenimiento y/o permanencia prolongada de las aeronaves en suelo, que sustituyen al generador de la aeronave APU (*Auxiliary Power Unit*), permitiendo un mayor ahorro de combustible y de mantenimiento, además de reducir el ruido ocasionado por la APU.

Por otro lado, el segundo caso ha venido a ser denominado Caso II o DC. En esta ocasión



se suministrará directamente a los consumos electrónicos en corriente continua. Este caso es más complicado ya que habría que revisar detenidamente los manuales de la Pieza y desmontar o cambiar algunas partes del sistema electrónico y rediseñar el cableado para llevarlas a una conexión lateral del sistema. De esta manera se ganaría eficiencia, porque las fuentes de corriente continua integradas en el sistema de armas son de un diseño menos eficiente que las fuentes conmutadas actuales.

### 3.2.1 CASO I: Alimentación sin cambiar las fuentes electrónicas originales

En este primer caso, la pieza se alimenta en corriente alterna desde el grupo electrógeno integrado, o, a través de un inversor que convierta el suministro en corriente alterna de 50 Hz a 230/400 V a corriente alterna a 400 Hz a 115/200 V.

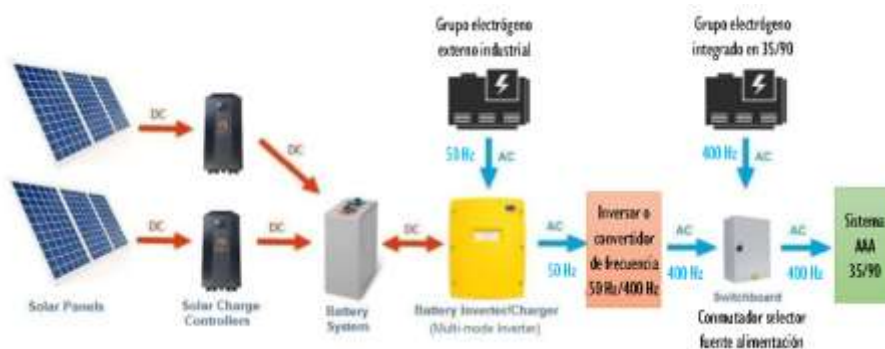


Ilustración 16 : Esquema Caso I (diagrama modificado a partir de Clean Energy Review, 2021)

En el anterior esquema (ilustración 16) se observan los siguientes elementos:

a) **Paneles solares:** en el presente estudio se necesitará un sistema móvil de energía que sea capaz de suministrar la potencia que proporciona el motor de explosión del GE, que es de 44 HP, dado que 1 HP es igual a 0,746 kW, el motor de combustión produciría 32,8 kW a 4.000 rpm.

b) **Controladores de carga solar:** también conocidos como reguladores de carga. Es el componente de la instalación encargado de dirigir y controlar la energía que circula entre la batería y los módulos solares fotovoltaicos (AutoSolar, 2021). En definitiva, este componente evita las sobrecargas de las baterías cuando están recibiendo energía fotovoltaica de los paneles solares de la instalación fotovoltaica y también evita una descarga muy profunda de las baterías que acortase demasiado su vida útil.

c) **Sistemas de baterías:** a la hora de elegir las baterías idóneas para este sistema fotovoltaico se han tenido en cuenta que existen dos tipos de baterías, por un lado, las de plomo-ácido y, por otro, las de iones de litio. En la tabla 6 se evalúan sus ventajas y desventajas de dichos sistemas.



Tabla 6 Diferencias entre Baterías de plomo-ácido y Baterías de iones de litio (fuente: propia)

<b>Baterías de plomo-ácido</b>	
<b>ventajas</b>	<b>desventajas</b>
Compatibilidad con la mayoría de inversores	Menor eficiencia: alrededor del 80%
Tecnología probada y confiable.	Densidad de energía baja - Muy pesado
Seguro, de muy bajo riesgo (Gel sellado / AGM)	Capacidad utilizable limitada - Max 40% de la capacidad nominal para no degradarlas rápidamente
La batería no se desconecta cuando está baja de carga o tensión	No modular: tamaño fijo una vez instalado
Larga vida (si no se descargan en exceso)	Mantener durante varias semanas la batería a media carga las degrada severamente.
Se recicla fácilmente.	Las altas temperaturas pueden reducir drásticamente la vida útil de la batería
<b>Baterías de iones de litio</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>desventajas</b>
Muy alta eficiencia - Aproximadamente 97%	Pueden desconectarse a altas temperaturas (superiores a 45° C)
Densidad de energía muy alta: compacto y ligero	Pueden desconectarse a bajas temperaturas (por debajo de 5 ° C)
Se permiten altas tasas de carga y descarga	Pueden desconectarse bajo cargas continuas de alta sobretensión
Sin problemas de degradación con estado de carga parcial	Más difícil de reciclar al final de su vida útil
Sistemas modulares y escalables (actualizables)	Puede que no funcionen sin un inversor compatible

Según la comparativa realizada en la tabla 6, y atendiendo a las características y funciones que proporcionan, la mejor elección serían las baterías de iones de litio, decir también que las baterías de plomo se reservan para carretillas elevadoras y otras aplicaciones donde el peso es menos importante que el coste. A bajas temperaturas y con un estado de carga bajo las baterías de litio podrían desconectarse o volverse inestables.

Todas las baterías de litio necesitan un controlador, que puede estar en el propio paquete de la batería (autogestionado) o fuera de él (administrado de forma centralizada por un único controlador). En conclusión, las baterías de litio administradas y autogestionadas difieren en dónde está el controlador.

Las baterías de litio autogestionadas se plantean como una opción fiable para el sistema. Por el contrario, las baterías de litio administradas plantean mayores problemas debido a que existen menos inversores compatibles con estas baterías.

En cambio, las baterías autogestionadas cuentan con varias ventajas que convienen a este proyecto como por ejemplo que son modulares, flexibles y se pueden expandir para crear sistemas de almacenamiento de energía de mayor capacidad.



En el mercado actual se tienen diferentes opciones, en esta memoria se ha realizado un estudio de dos baterías viables para este proyecto, siendo la primera opción estudiada la ofrecida por la empresa Weco (mostrada en la ilustración 17) y la segunda, la ofrecida por Pylontech (mostrada en la ilustración 18).

*Tabla 7 Comparación entre las baterías de Weco y Pylontech (fuente: Weco y Pylontech, 2022)*

	<b>Batería de litio de 48 V Weco 5K3 Dual HV/LV</b>	<b>Batería de litio Pylontech Phantom-S</b>
<b>Dimensiones (mm)</b>	510x550x150	440x410x89
<b>Voltaje nominal (V)</b>	51.2	48
<b>Capacidad nominal (Ah)</b>	105	50
<b>Energía (kWh)</b>	10	5
<b>Potencia (kW)</b>	5.3	2.4
<b>Peso (kg)</b>	52	24
<b>Precio (€)</b>	2,489.00	2,375.30

Observando la tabla 7, se puede apreciar que ambas opciones son rentables, tienen un precio menor que la mayoría de opciones que se puede encontrar en el mercado además de un peso aconsejable para nuestro proyecto, ya que al necesitar una potencia de 25 kW, se tendría que montar un sistema modulado de dos a tres baterías en el caso de las baterías de litio de 48 V Weco 5K3 Dual HV/LV y cinco en el caso de baterías de litio Pylontech Phantom-S.

Señalar que ambas opciones cuentan con envío gratuito en los distribuidores consultados.



*Ilustración 17 : Batería de litio de 48v Weco 5K3 Dual HV/LV (fuente: Weco, 2022)*



Ilustración 18 : Batería de litio Pylontech Phantom-S (fuente: Pylontech, 2022)

**d) Inversor/cargador de baterías:** los sistemas solares modernos fuera de la red utilizan inversores-cargadores para administrar baterías, energía solar y fuente de energía de respaldo, como un generador. Este componente es la unidad central de gestión de energía. Están diseñados para hacer funcionar sistemas de alto consumo, por lo que son idóneos para el Sistema de Armas que requiere de alta potencia para mover la Pieza tanto en orientación como en elevación.

En función de la fiabilidad, el servicio y la potencia nominal existen varios inversores-cargadores en el mercado. Del mismo modo que en el apartado anterior, se ha realizado un estudio sobre dos opciones disponibles en el mercado, la primera de ellas la que proporciona la empresa australiana Selectronic (ilustración 19) y la segunda, la proporcionada por la empresa italiana AROS Solar (ilustración 20).

Tabla 8 Comparación entre SP PRO LC 1202 y Riello Sirio SPS 30 (fuente: Selectronic y AROS Solar, 2022)

	SP PRO LC1202	Riello Sirio SPS 30
<b>Tensión nominal</b>	210 +/- 15% to 240 +/- 10% V CA	400 V+ N ( $\pm 20$ %, preajustable)
<b>Frecuencia nominal</b>	50 Hz +/- 1% to 10%	de 45 a 65 Hz
<b>Capacidad de corriente de transferencia de CA</b>	30 kW	30 kW
<b>Fuente de entrada de CA máxima, (generador o red)</b>	30 kW	27 kW
<b>Tiempo de conmutación entre red / generador y baterías</b>	Menos de 0.03 segundos	
<b>Carga máxima desde la red o el generador</b>	20.0 kW	
<b>Precio</b>	24,000.00	12,074.07



Ilustración 19 : Inversor/Cargador SP PRO LC1202 (fuente: Selectronic,2020)



Ilustración 20 : Inversor 30 kVA Riello Sirio SPS 30 (fuente: AROS Solar, 2022)

Si se observa la tabla 8, en la que se ha realizado una comparación entre las dos opciones propuestas, se puede apreciar que ambos inversores nos proporcionan prestaciones semejantes, pero atendiendo al precio, se contempla como una mejor opción la suministrada por la empresa AROS Solar.

**e) Inversor o convertidor de frecuencia:** La Pieza necesita un sistema trifásico a 400 Hz y la corriente alterna que llega desde el inversor/cargador es de 50 Hz (modelos para Eurasia, África, Oceanía y parte de Sudamérica) o 60 Hz (modelos para Norteamérica). Por ello es necesario un componente electrónico que cambie o varíe la frecuencia desde 50 Hz a 400 Hz (un transformador cambia los niveles de tensión, pero no la frecuencia).

En el mercado industrial genérico no existen convertidores de frecuencia para 400 Hz de al menos 105 kVA, por lo que hay que elegir equipos del sector naval o aeroespacial. Este nicho de productos está destinados a alimentar buques y aeronaves cuando están en puertos o



aeropuertos y tienen un precio considerable respecto el resto de componentes.

Se pueden encontrar los siguientes convertidores estáticos:

- Guinault SA 180: con una potencia nominal de 180 kVA y con peso de 1100 kg. (Guinault, 2019)
- ITW GSE 7400 eGPU 180 kVA. (ITWGSE, 2022)
- ABEST SINE33I-GPU de 90 kVA. (ABEST ENERGY SOLUTIONS, 2016)

**f) Conmutador selector de fuente:** se trata de un selector para elegir como suministrar eléctricamente el sistema de armas, si con la energía procedente del grupo electrógeno interno o del sistema híbrido que se propone en este trabajo.

Si los cables que actualmente van del Sistema de Armas a los conectores X1, X2 y X3 del GE mostrado en la ilustración 6 se conectasen manualmente al sistema híbrido propuesto o al GE, no sería necesario incluir el conmutador en el sistema. Este conmutador tiene un coste reducido, pero sería necesario obtener el permiso pertinente para modificar el Sistema de Armas 35/90, donde el espacio disponible es bastante escaso.

### 3.2.2 CASO II: Suministro actualizando las fuentes electrónicas del sistema

En este caso se sustituyen las fuentes de alimentación continua de la pieza alimentadas a 400 Hz por otras de tecnología actual, alimentadas directamente del cargador/inversor, del grupo electrógeno convencional externo o de la red eléctrica a frecuencia industrial (50 Hz), de alta eficiencia y de la tensión adecuada. Al no requerir un sistema trifásico a 400 Hz se puede utilizar material industrial, notablemente más económico que el aeronáutico.

El sistema híbrido sustituiría las fuentes integradas del sistema de armas por unas de mayor eficiencia y no habría convertidor de frecuencia. Las fuentes AC/DC (muy habituales y con economía de escala) son bastante más económicas que los convertidores de frecuencia de aplicación aeronáutica y tienen más rendimiento.

El problema en este caso, como se ha dicho anteriormente, radica en el hecho de que habría que revisar con gran atención los manuales del sistema de armas ya que habría que realizar una reingeniería de la Pieza y modificar, o quitar, varios componentes electrónicos para poder suministrar eléctricamente al sistema con corriente continua.

El esquema general se muestra en la ilustración 21. Los componentes de este esquema son exactamente iguales que en el caso anterior a excepción de que el conversor de frecuencia sería eliminado y sustituido por varias fuentes de corriente de alterna a continua.

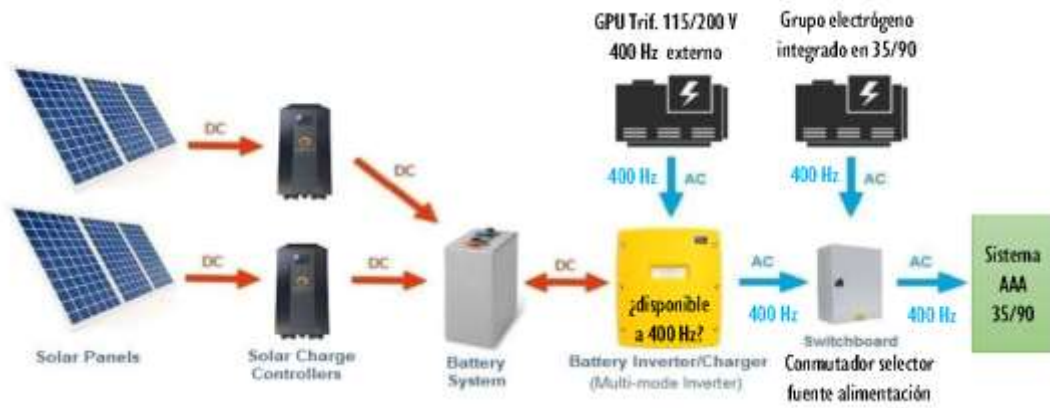


Ilustración 21 : Esquema CASO II (fuente: diagrama modificado a partir de Clean Energy Review 2021).



## 4 Análisis de las simulaciones

En primer lugar, se ha de puntualizar que, debido a las limitaciones de tiempo y de medios disponibles, no se han podido implementar unas medidas fiables en el escalón de mantenimiento de la Unidad en la que se han realizado las prácticas externas. En caso de que se quisiera llevar a cabo en la práctica una mejora del suministro energético del sistema AAA 35/90, debería realizarse con anterioridad una campaña de medidas con un analizador de redes adecuado para sistemas eléctricos a 400 Hz que registrase tanto los picos como el historial del consumo. Por lo tanto, la propuesta y el análisis de la mejora del suministro energético se ha realizado en base a los valores de partida que se ha conseguido deducir de manuales y los obtenidos por las entrevistas realizadas al personal de mantenimiento, sin la posibilidad de medir estos valores.

El nuevo sistema ideado en el Caso II es más ambicioso, debido al hecho de que sustituye el grupo electrógeno y las fuentes de alimentación continua por un sistema alternativo conectado a los buses de corriente continua, también sería necesario obtener registros de tensiones y corrientes en estos buses (especialmente los picos de consumo). Como línea de trabajo futuro, este TFG abre las puertas a una campaña de medidas en caso de disponer medios materiales y posteriormente efectuar algunas pruebas con el diseño refinado.

### 4.1 Análisis de los de costes

#### 4.1.1 Situación actual (caso 0 o inicial)

En este primer análisis se estudiará el caso 0 o inicial, es decir, como se encuentra la Pieza actualmente suministrada energéticamente. Como se ha explicado en los puntos anteriores; la Pieza cuenta con un grupo electrógeno con una potencia normal de 25 kVA y una potencia pico de 105 kVA, esta última potencia no se ha tenido en cuenta en este estudio energético ya que solo se produciría en el momento de arranque del grupo electrógeno y su duración es de unos instantes, menos de un minuto.

Por lo tanto, para este análisis, este GE consume en “RALENTÍ” 5.6 l/h, que correspondería a un suministro eléctrico de 16.5 kVA, y en “OPERACIÓN” consume 8.5 l/h, que correspondería con el suministro eléctrico normal de 25 kVA.

El pico de potencia de 105 kVA durante unos segundos en el arranque sí que se ha tenido en cuenta a la hora de elegir equipos capaces de suministrar dicho pico (algunos equipos diferencian en sus especificaciones la máxima potencia que pueden suministrar de forma continua y la máxima potencia que pueden suministrar durante breves segundos antes de que se dispare la protección térmica de sobrecarga).

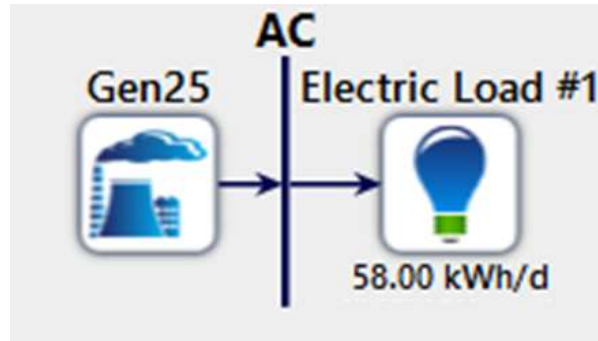
Para calcular el retorno de la inversión, *el Valor Presente Neto se ha calculado con un horizonte de 25 años para la vida útil y una tasa de interés de 8 %*. Los costes de operación, consumo de combustible y producción que aparecen en la tabla número 9 son el resultante de sus 25 años de vida útil.

En este estudio se han planteado cuatro simulaciones, las condiciones de utilización 3 y 4 corresponden a un uso del sistema de armas de 2 meses, lo que correspondería a su uso anual en maniobras, en el cual la Pieza estaría aproximadamente cuatro horas en “RALENTÍ” y otras dos horas en “OPERACIÓN”, por lo que se tendría un consumo de 166 kVAh/día durante 2



meses.

Además, estos dos usos o condiciones de utilización se diferencian en que uno de ellos se ha tomado como precio por litro del combustible 1.40 € y el otro con un precio por litro de 2.00 €, ambos dos se han tomado como valores constantes en este estudio.



*Ilustración 22 : Bloques de simulación del Caso 0 en el programa HOMER (fuente: HOMER PRO)*

Los otros dos usos o condiciones de utilización 1 y 2 se diferencian de los anteriores en que se ha representado el consumo de la Pieza en el periodo de instrucción diaria de la Unidad. De lunes a viernes se hace uso de dos horas en “RALENTÍ” y una sola hora en “OPERACIÓN”, lo que da un consumo de 58 kVAh/día.

En el programa HOMER, la simulación del sistema actual (sin ninguna mejora) representado en la ilustración 22 se realiza parametrizando el consumo del sistema en el programa como la carga eléctrica 1 (representada con el icono de una bombilla) que es suministrado con el grupo electrógeno denominado Gen25 (representado con el icono de una central eléctrica térmica). Los parámetros del grupo electrógeno Gen25 se han modificado para reflejar los datos indicados en el manual.

La parametrización del grupo electrógeno se basa en uno genérico de 25 kVA proporcionado por el programa HOMER, para el cual se ha fijado una inversión inicial de cero euros ya que es algo con lo que se cuenta. Así mismo, se ha fijado también un valor de 12.500 euros para realizar un reemplazamiento, es decir, comprar un nuevo grupo electrógeno.

De acuerdo con los valores que aparecen en el Sistema de Gestión Logística del Ejército de Tierra (SIGLE), para calcular los costes de operación y mantenimiento (O&M) del GE se ha imputado un coste unitario de 0,253 € por hora de funcionamiento del GE.

Antes de comentar los resultados de la tabla 9, se explicará el significado de sus contenidos:

- En el campo “Meses de uso” se muestra el tiempo en el cual la Pieza ha estado en funcionamiento, diferenciando entre dos meses que se refiere al periodo de maniobras y 12 meses, el periodo de instrucción anual.
- En el campo “Precio de la gasolina” se ha especificado el valor de la gasolina en €/L.
- En el campo “Costes” contamos con lo siguiente:
  - NPC: se denomina coste presente neto o también puede ser llamado costo del ciclo



de vida de un componente. Es el valor actual de todos los costes de instalación y operación del componente o sistema durante la vida útil del proyecto.

- Coste anual de funcionamiento (Homer Energy, 2015): es el valor anualizado de todos los costes e ingresos que no sean los costes del capital inicial, incluyendo los costes de operación y mantenimiento (O&M) obtenidos de SIGLE.v
  - Capital inicial: es la inversión inicial que se realiza para llevar a cabo el proyecto. En este caso, el grupo electrógeno que se utilizará está ya integrado en la Pieza y amortizado, por lo que el capital inicial a imputar es cero euros.
- En el campo “Total gasolina” se especifica cuanto combustible fósil en litros se ha consumido en cada caso.
  - Finalmente, en el campo “Producción” se especifica cuantos kWh se han producido en cada caso.

Tabla 9 Estudio de costes del Bloque de Simulación del Caso 0 o situación actual (fuente: propia)

Uso	Meses de uso	Precio de la gasolina (€/L)	Costes			Total gasolina (L/año)	Producción (kWh)
			NPC	Coste anual de funcionamiento	Capital inicial		
1	12	1,40	460.889	35.422	0,00	18.717	55.018
2	12	2,00	727.892	55.862	0,00	18.716	55.018
3	2	1,40	88.567	6.851	0,00	3.805	11.205
4	2	2,00	137.774	10.656	0,00	3.805	11.205

En la tabla número 9, el coste de funcionamiento de una sola pieza asciende, en los 25 años de su vida útil y con un precio de la gasolina de 1,40 €/L, a casi medio millón de euros si se utiliza todos los meses del año y casi 100.000 € (88.567 €) en su vida útil si la pieza solo se utiliza durante 2 meses al año.

#### 4.1.2 Caso I: Alimentación sin cambiar las fuentes electrónicas originales



Ilustración 23 : Bloques de simulación del Caso I en el programa HOMER (fuente: HOMER PRO)



La ilustración 23 refleja el flujo de potencia en el sistema híbrido. El grupo electrógeno está representado con el icono de una central eléctrica térmica y tiene una potencia aparente de 25 kVA, con las características de costes mencionadas en el análisis de la situación actual.

A diferencia de la situación inicial, en el Caso I se añade una fuente de energía renovable. Para la realización de este estudio se ha utilizado unas placas solares genéricas proporcionadas por la biblioteca que contiene el programa HOMER.

Estas placas solares cuentan con una potencia de 6 kW. Para su compra se ha consultado con las dos empresas propuestas, tanto Ecosun como Tempero Group, siendo únicamente Ecosun la que ha facilitado el valor de su sistema (placas solares más remolque) y se ha establecido un capital inicial de 3,000 €. Como valor por reemplazos se ha establecido un valor de 2,500 € y como costes de operación y mantenimiento, O&M un valor de 10 €/año, algo muy asequible ya que las placas solares cuentan con muy poco mantenimiento. Así mismo se ha establecido un tiempo de vida de 25 años, mucho más larga que la que posee el grupo electrógeno.

Las placas solares tienen una característica especial denominada “Derating Factor” o factor de corrección en castellano, el cual es un factor de escala que HOMER aplica a la salida de potencia del panel solar para tener en cuenta la producción reducida en condiciones operativas reales en comparación con las condiciones bajo las cuales el panel solar fue calificado. Es decir, se utiliza este factor para tener en cuenta actores como la suciedad en los paneles, pérdidas de conexión, sombras, cubiertas de nieve, envejecimiento, etc. En este caso se ha elegido un factor de corrección del 80%.

El tercer componente que se encuentra en el esquema anterior es la batería, o mejor dicho las baterías, ya que será necesario más de una. Al igual que con las placas solares, se han utilizado unas baterías genéricas proporcionadas por el programa HOMER. En este caso, se ha establecido un valor aproximado de 2500 € por cada una de las baterías de 8,6 kWh (energía disponible en la batería WECO, que es más económica que la Pylontech), y el mismo valor para reemplazos.

Para labores de O&M se ha establecido un valor de 10 €/año, como con las placas solares, las baterías tienen muy poco mantenimiento, como puede ser limpiarlas del polvo que podría coger en el periodo de maniobras.

Finalmente, el último componente se trata del convertidor que, como se comentó anteriormente, se usa para pasar de DC a AC. Este convertidor, al igual que con los otros dos componentes, se ha hecho uso de la biblioteca de HOMER para obtener uno y para su compra se ha establecido un precio medio entre los dos convertidores propuestos facilitados por las empresas Selectronic y AROS solar, siendo este valor de 15,000.00 € de inversión inicial y el mismo valor para su reemplazo, así como un valor de 0.00 €/año en su mantenimiento.

En todos los casos se han utilizado los mismos cuatro tipos de uso o utilización que en caso 0 recogido en el punto 4.1.1. Para mas detalles sobre las condiciones de sensibilidad de cada estudio, se remite al lector a dicho punto.



Tabla 10 Estudio de costes del Bloque de Simulación del Caso I (fuente: propia)

Uso	Meses de uso	Precio de la gasolina (€/L)	Arquitectura			Costes		Total gasolina (L/año)
			PV (kW)	GE (kW)	Batería (kWh)	NPC (€)	Capital inicial (€)	
1	12	1,40	57	25	28	361.531	82.930	9.886
2	12	2,00	53	25	26	459.605	78.978	10.210
3	2	1,40	61	25	37	98.744	184.299	14.613
4	2	2,00	53	25	39	172.150	181.246	14.782

A diferencia de la tabla 9, en la tabla 10 se puede contemplar como en el campo "Arquitectura" se han añadido los componentes mencionados, así como la potencia que suministran.

Por tanto, se deduce lo siguiente:

- Por un lado, la implantación de esta situación en una unidad de Artillería Antiaérea no sería viable en los casos 3 y 4, es decir en los periodos de maniobras, ya que el NPC tanto de este estudio como el de la situación inicial son claramente muy parecidos, además de contar que en este caso se tendría que realizar un desembolso inicial de casi 200.000 € para poder contemplar el nivel de kWh necesario en estos periodos.

Hay que añadir que este estudio se ha realizado con las condiciones climatológicas de la Ciudad Autónoma de Ceuta, ya que ha sido allí donde se realizaron las prácticas externas.

Por lo tanto, si en este lugar, donde se tienen unas condiciones más que favorables para este tipo de sistemas fotovoltaicos, no es considerable la opción de implantarlos en los periodos de maniobras, no haría falta comprobar cómo sería en lugares como Letonia en los que nuestras Fuerzas Armadas tienen tropas desplegadas.

- Por otro lado, es evidente que para un uso anual como el que podría realizar la Unidad en la que se realizaron las prácticas externas, la cual no tiene un periodo de maniobras tan prolongado como podría tener otra unidad que este desplegada en la península, es una gran idea contemplar esta situación ya que vería reducido su NPC en cerca de 100.000 €, ya que, con solo mirar la cantidad de combustible consumido, se reduce a la mitad con este caso.
- Otro aspecto a tener en cuenta es la potencia necesaria en las 4 situaciones, siendo necesaria una potencia entre 53 y 61 kW de las placas fotovoltaicas, como se puede comprobar en la columna PV (kW) de la tabla 10.

Por lo tanto, si se decidiera utilizar el remolque solar suministrado por Ecosun, harían falta aproximadamente 9 o 10 remolques, con la carga logística que conllevaría y con una subida en el valor del capital inicial.



En cambio, si se decidiera utilizar el tráiler de Tempero Group, harían falta 3 o 4 de ellos.

Ambas opciones son desorbitadas si se quisiera alimentar el sistema únicamente a través de las placas solares por lo que debería de estudiarse una situación en la que la Pieza se suministre mayormente con el grupo electrógeno, reduciendo así el número de remolques o tráilers necesarios.

Para constatar esta reducción de consumo de combustible se ha hecho uso de la siguiente grafica proporcionada por el programa HOMER.

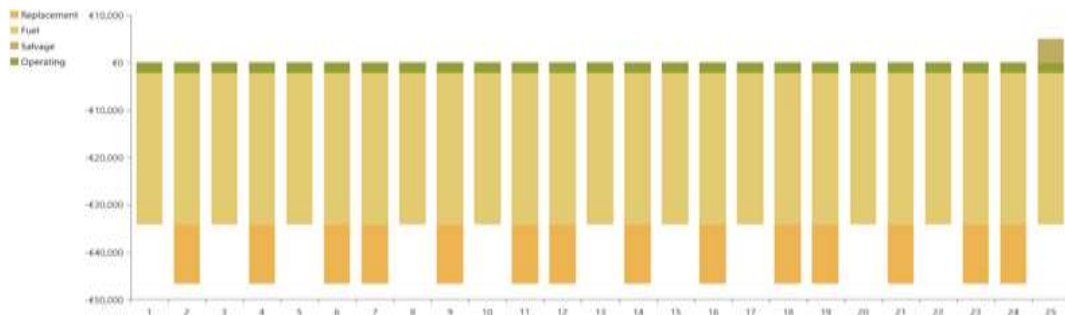


Ilustración 24 Gráfica de costes en la vida útil del caso 0 (fuente: HOMER PRO)

En el caso 0, el flujo de caja o *clashflow* anual es bastante uniforme y predecible, como se puede observar en la ilustración 24, pues el gasto de combustible es muy similar todos los años y lo que varía es el coste de reemplazo, es elevado aproximadamente cada 2 años (parte ámbar de cada barra).

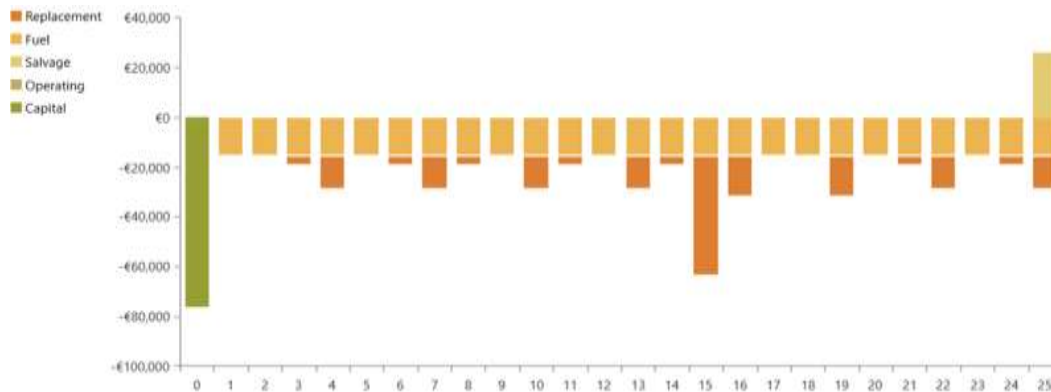


Ilustración 25 Gráfica de costes en la vida útil del caso 1 (fuente: HOMER PRO)

En el caso I, el gasto anual de combustible es muy inferior, aunque la inversión inicial es equiparable al de dos años de combustible del caso 0.

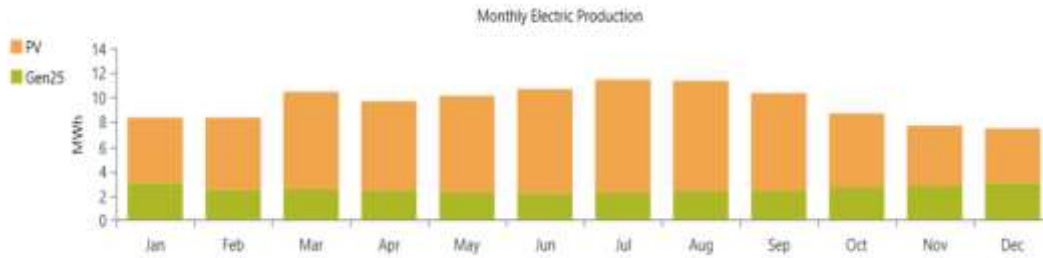


Ilustración 26 : Producción de electricidad mensual en el CASO I (fuente: HOMER PRO)

En la presente gráfica (ilustración 26) se observa que, excepto en los meses con una incidencia menor de los rayos solares se contempla algo más de uso de gasolina, pero prácticamente, en todos los meses del año, la Pieza es mayormente alimentada por la energía eléctrica suministrada por las placas fotovoltaicas.

Las ilustraciones 25 y 26 permiten observar que el Caso I es una opción viable, a pesar de que, evidentemente, al principio del proyecto hay que realizar un gran desembolso. El caso I requiere una mayor inversión inicial que se recupera por el menor consumo de combustible durante los 25 años de vida del sistema.

El valor residual estimado al final de su vida útil del Caso I (última barra de la ilustración 25) es mucho mayor que el del Caso 0 (última barra de la ilustración 26). Es decir, se tendría una recuperación económica mucho mayor que la que se tiene en la situación inicial.

En la tabla número 10 se ha marcado de color amarillo la mejor opción que HOMER PRO ha encontrado para el uso 1 teniendo en cuenta el precio del combustible 1,4 €/L y siendo comparado este Caso I con la situación inicial, teniendo un NPC de 361.531 € y una inversión inicial de 82.930 €.

La inversión inicial supone un mayor riesgo, pero al final de la vida útil de 25 años se produce un ahorro de unos 100.000 € para un precio de 1,4 €/L de gasolina por el menor consumo de combustible. Además, el sistema propuesto aborda la necesaria renovación de los grupos electrógenos.

#### 4.1.3 Caso II: Suministro actualizando las fuentes electrónicas del sistema

En este estudio se analizará la última situación que ha sido planteada, el Caso II.

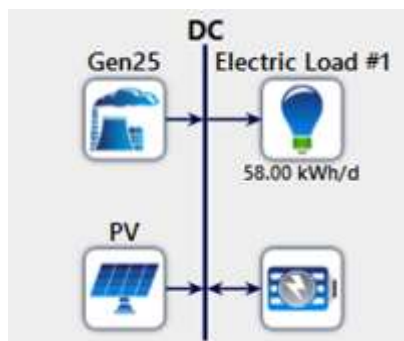


Ilustración 27 : Bloques de simulación del Caso II en el programa HOMER (fuente: HOMER PRO)



Como se explicó en el apartado 3.2.2, la diferencia existente entre este caso y el anterior es la eliminación del grupo electrógeno integrado de la Pieza y sustituirlo por uno más asequible y con una frecuencia de 50 Hz. La frecuencia de los grupos electrógenos estándar en Europa es de 50 Hz, disponiendo de una amplia gama y podría transportarse en un remolque integrado junto a las baterías y parte de los paneles fotovoltaicos.

Con esto, el convertidor de frecuencias, así como el convertido de AC/DC, se podría eliminar del esquema, haciendo este mucho más fácil y ahorrándose un gran importe de dinero, ya no en la compra de los nuevos elementos sino en sus reparaciones.

Para este estudio se ha elegido el mismo grupo electrógeno que el programa HOMER nos facilita, con la diferencia de que su compra tendría un valor de 1000 €, su reemplazo el mismo valor, el coste de las labores de O&M, sería el mismo que en la situación inicial ya que lo realizaría el personal de mantenimiento.

Otra cosa a añadir respecto a este nuevo GE, es que puede ser alimentado a través de Diesel, cosa que facilitaría en gran medida la huella logística, ya que la gasolina solo es necesaria en una Unidad de AAA para alimentar el sistema de armas 35/90.

El resto de sus sistemas de armas y de sus grupos electrógenos para alimentar los elementos necesarios en un campamento son alimentados con Diesel, por lo que no sería necesario llevar dos tipos de combustible.

En lo que respecta a las placas fotovoltaicas, así como a sus correspondientes baterías, son las mismas y con las mismas características que han sido utilizadas en el estudio del Caso I.

Comparando la ilustración 27 con la ilustración 23, se ha eliminado el convertidor de AC/DC por lo que, de partida, tendríamos un ahorro frente el estudio de 7000 €.

Al igual que en los estudios anteriores, se han analizado los mismos 4 tipos de utilización, los dos primeros referentes al periodo de instrucción anual y los otros dos, al periodo correspondiente a las maniobras. Así mismo, se han utilizado los mismos datos meteorológicos que en el estudio del Caso I, los referentes a la Ciudad Autónoma de Ceuta.

*Tabla 11 Estudio de costes del Bloque de Simulación del Caso II (fuente: propia)*

Uso	Meses de uso	Precio de la gasolina (€/L)	Arquitectura			Costes		Total gasolina (L/año)
			PV (kW)	GE (kW)	Batería (kWh)	NPC (€)	Capital inicial (€)	
1	12	1,40	49	25	24	247.056	26.092	10.858
2	12	2,00	36	25	14	382.114	19.026	11.441
3	2	1,40	77	25	39	54.801	40.506	2.390
4	2	2,00	53	25	39	84.678	29.669	2.516



Realizado este análisis se pueden obtener las siguientes conclusiones de la tabla 11:

- En primer lugar, todas las opciones se presentan como una posibilidad altamente viable, presentando unos NPCs inferiores a la situación actual y al sistema híbrido de corriente alterna.
- A diferencia de los análisis anteriores, en este Caso II, la posibilidad de uso de este tipo de fuente energética en los periodos de maniobras de una Unidad se antoja bastante recomendable, ya que incluso con un precio de la gasolina o diesel de 1,40 €, solo sería necesario unos 50.000 € (40.506 €) para alimentar energéticamente a la Pieza. Aunque el desembolso inicial sea mayor, es innegable que los costes serían mucho menores.
- La opción de implementar este sistema para el periodo anual de instrucción vuelve a ser más que rentable, reduciendo a la mitad su coste comparándolo con la situación inicial.
- Comparado este Caso II con el Caso I, se observa que el desembolso inicial es inferior, debido a que los componentes necesarios son mucho más baratos que en la situación anterior, además de que no se ha considerado el coste de nuevas fuentes por falta de datos.

Claramente este Caso II sería la mejor opción, pero introducirla en el Ejército de Tierra sería muy complicado, ya que habría que hacer una modificación completa de la Pieza, algo difícil con la actual situación económica, pero no se puede negar que el cambio del grupo electrógeno integrado en el sistema de armas es algo que tarde o temprano se tendrá que hacer.

## 4.2 Análisis del cuestionario

En este apartado se realizará un análisis del cuestionario realizado en la Unidad en la que se realizaron las practicas externas, para lo cual, el lector puede leerla por completo en el Anexo II ya que en este análisis solo se han estudiado las preguntas de más relevancia.

Este cuestionario ha sido realizado por un total de 50 personas, de las cuales se ha procurado que haya una diversidad de empleos, siendo 15 oficiales, 15 suboficiales y 20 componentes de tropa (ver ilustración 28) y procurando que tengas unas nociones sobre el GE de la Pieza (ver ilustración 29).

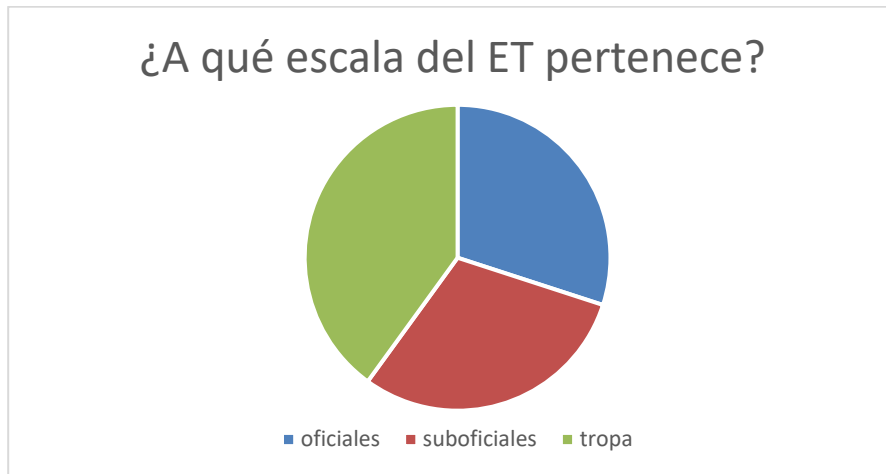


Ilustración 28 : Pregunta a) del cuestionario (fuente: propia)

El número del personal de tropa al que se le ha realizado el cuestionario es mayor que los otros dos debido a que al final, ellos son los que están mano a mano con el GE, comprendiendo sus errores y aciertos, son los que, en algunas cuestiones, saben más sobre este asunto.

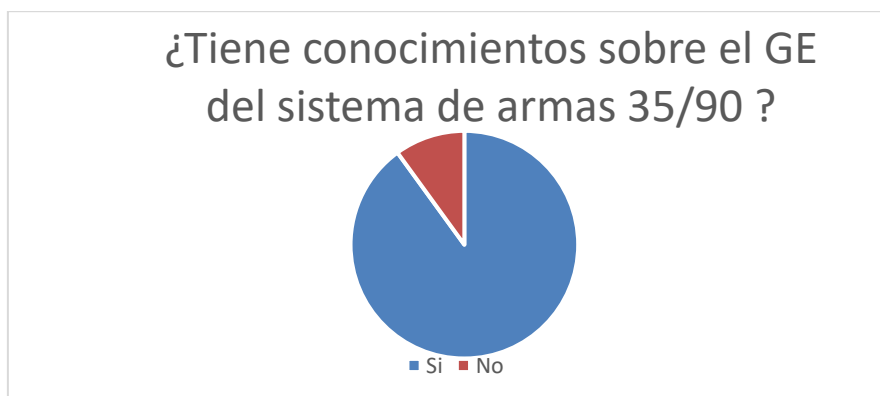


Ilustración 29 : Pregunta c) del cuestionario (fuente: propia)

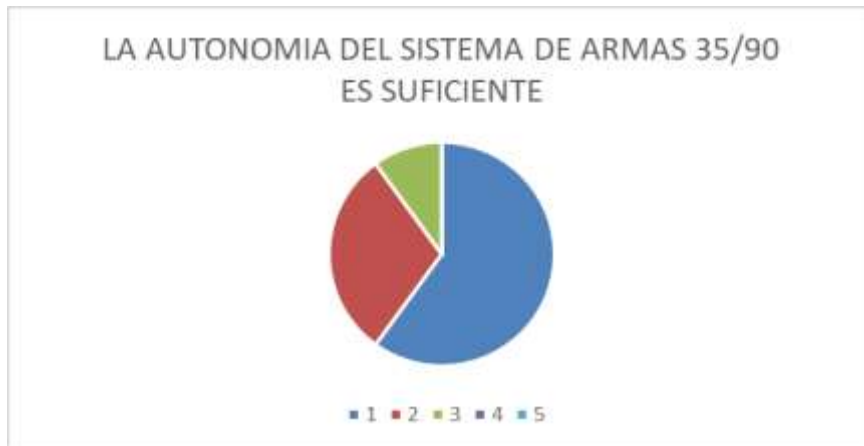


Ilustración 30 : Pregunta d) del cuestionario (fuente: propia)

A partir de la pregunta d) (ver ilustración 30) del cuestionario se utiliza la escala de Likert de cinco categorías, siendo 1 en total desacuerdo y 5 en total acuerdo.

En la pregunta d), más del 50 % de los cuestionados han respondido que la autonomía de la Pieza no es suficiente.

Esta respuesta es evidente ya que como se ha explicado en puntos anteriores, el depósito del GE es de 20 litros, teniendo un consumo muy alto, por lo que constantemente tienen que estar pendiente de que el GE no se quede sin combustible, lo que conlleva que un artillero este controlando el nivel de gasolina en el depósito.



Ilustración 31 : Pregunta f) del cuestionario (fuente: propia)

En esta ilustración 31, se tienen unas respuestas más diversas, posiblemente por el desconocimiento de parte del personal cuestionado sobre las capacidades que tienen los sistemas de armas del Ejército del Aire o de la Armada.



Para futuros conflictos en los que esta nación se encuentre, no se combatirá unilateralmente, además de que pertenece a contingentes internacionales y siempre se actuará con las fuerzas armadas de otros países, coordinando los fuegos, como podría ser, por poner un ejemplo, los fuegos pertenecientes a nuestro Ejército de Tierra con los de navíos de las Fuerzas Británicas.

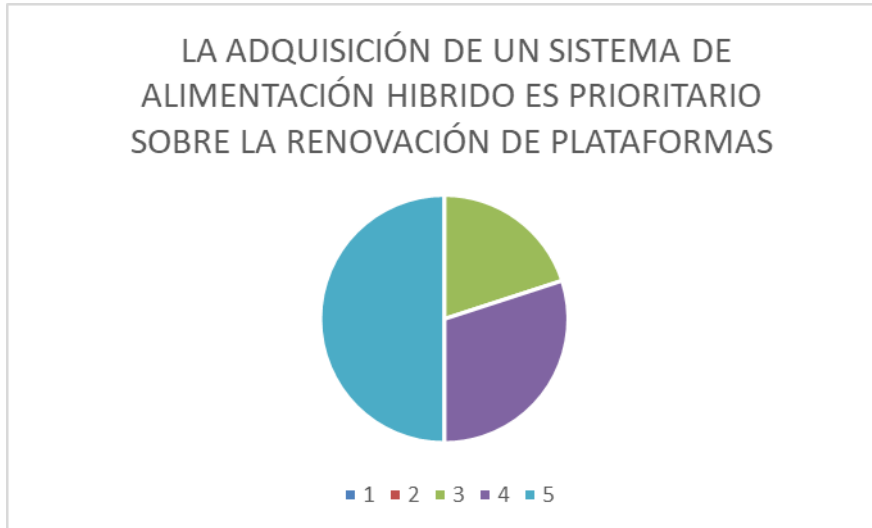


Ilustración 32 : Pregunta g) del cuestionario (fuente: propia)

En la pregunta g) mostrada en la ilustración 32, exactamente el 50 % está en total acuerdo con la prioridad de la modificación o sustitución del sistema de alimentación actual por uno híbrido, informándose sobre los múltiples beneficios que tendría un sistema de alimentación de este tipo como puede ser su bajo mantenimiento, o, lo que es más importante, la reducción de la firma calórica producida por el GE y refiriéndose a la salud de los artilleros, la reducción del sonido que produce también el GE.



Ilustración 33 : Pregunta i) del cuestionario (fuente: propia)

La pregunta i) mostrada en la ilustración 33, tiene diversidad de respuestas, esto se debe a



que no todo el personal piensa que esta modificación de la Pieza, es importante, sí, pero hay otras modificaciones que habría que tener en cuenta.

En palabras del General de Brigada de Artillería, Enrique Silvela Diaz-Criado, “en muy poco tiempo los sistemas actuales en uso por el MAAA, que también opera cañones como los Oerlikon GDF-007 con munición AHEAD, pueden perder su eficacia y quedar impotentes antes cualquier amenaza o agresión que se puede llegar a materializar” (Cámara, 2021).

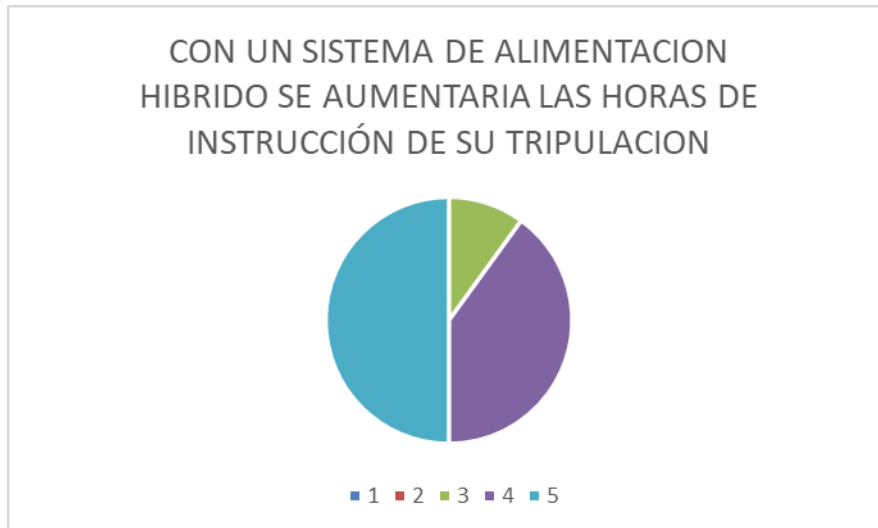


Ilustración 34 : Pregunta j) del cuestionario (fuente: propia)

La pregunta j) mostrada en la ilustración 34, todo el personal está de acuerdo, ya que, en la mayoría de las veces, la Pieza se encuentra en el escalón de mantenimiento debido a problemas o fallos en el GE, problemas que son realmente complicados de arreglar, algo que pude comprobar en la Unidad en la que realicé las practicas, en el que una Pieza se llevó una semana entera por un funcionamiento incorrecto del GE.



Ilustración 35 : Pregunta l) del cuestionario (fuente: propia)



En la pregunta l), última del cuestionario y mostrada en la ilustración 35, otra vez se obtienen respuestas diversas, por la misma razón que la pregunta i). Aun así, la respuesta 5, en total acuerdo, gana al resto. Esto se debe a que, a corto plazo, los principales problemas con los que cuenta la tripulación de la Pieza, son producidos por el GE como se ha comentado en la pregunta anterior, problemas como, por ejemplo, que el GE no funciona en “OPERACIÓN” por lo que no podríamos realizar fuego, etc.



## 5 CONCLUSIONES

A lo largo de la presente memoria se han extraído las siguientes conclusiones sobre sistemas de alimentación híbrido para la extensión de autonomía en el Sistema de Armas 35/90.

En primer lugar, como se ha podido comprobar en el análisis de costes de la situación inicial, el grupo electrógeno del Sistema consume mucho combustible, originando números inconvenientes, como son un gasto de presupuesto desproporcionado, problemas logísticos al ser suministrado por gasolina, un ruido excesivo que provoca por un lado una fácil detección de las unidades de artillería antiaérea, sumando a la gran firma calórica que se produce en su funcionamiento, aumentando esta facilidad de detección por tropas enemigas, y por otro la fatiga y molestias en los sirvientes de la Pieza.

En segundo lugar, el aumento de la autonomía del Sistema de Armas 35/90 con sistemas híbridos de energía es un proyecto de gran envergadura como se ha podido comprobar, no solo por el coste que conlleva su ejecución, sino también por la dificultad que implica. De igual modo, su aumento es necesario como se ha podido comprobar con los métodos cuantitativos utilizados.

En tercer lugar, la primera solución propuesta permite alimentar la pieza sin modificar las fuentes electrónicas originales. En este sentido se ha podido comprobar con los análisis llevados a cabo en el programa HOMER PRO que reduciríamos en gran medida el uso de carburante, tal y como se ha mostrado en la ilustración 22, consiguiendo uno de los objetivos incluidos en *Fuerza 2035*. Además de que, para un uso anual esta solución es adecuada si se encontrará un sistema de alimentación que no conlleve el uso de nueve o diez de los remolques solares propuestos, ya que como se ha comprobado, se necesita una potencia entre 53 y 61 kW de las placas fotovoltaicas, como se puede observar en la columna PV (kW) de la tabla 10.

En cuarto lugar, la segunda solución propuesta permite alimentar la pieza modificando las fuentes electrónicas originales, al mismo tiempo que se reduce la inversión inicial necesaria. Esta opción, es la más favorable económicamente y alcanza los objetivos marcados en este trabajo, pero requiere una reingeniería completa del Sistema de Armas.

Dicho lo anterior, es evidente que este proyecto se tendrá que realizar, en parte, porque el hecho de que una Pieza se encuentre en el Escalón de Mantenimiento numerosas jornadas impidiendo la instrucción de los sirvientes hace que se reduzca la capacidad operativa de una Unidad. Y, por otra parte, porque los actuales conflictos hacen necesaria esta mejora en la Pieza, para que no esté obligada a depender del combustible fósil ya sea por la imposibilidad del transporte logístico o por otra razón.



## 6 Bibliografía

ABEST ENERGY SOLUTIONS. (2016). *CONVERTIDOR DE FRECUENCIA ESTÁTICO 400HZ (GROUND POWER UNIT) GPU*. Recuperado el Enero de 2022, de <https://abestenergysolutions.com/producto/convertidor-frecuencia-gpu-400-hz-sine33i/>

Abora. (2021). *El panel solar más eficiente del mundo*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2021, de <https://abora-solar.com/panel-solar-hibrido/modelos/>

Agustín, D. S. (2018). *SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGIA RENOVABLE A VIVACS DURANTE EL DESPLIEGUE DE UNIDADES DE CABALLERIA*. Trabajo Fin de Grado en *Ingeniería en Organización Industrial*. Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar, Zaragoza, España.

AutoSolar. (2021). *¿Qué es un regulador de carga? Características y tipos*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2021, de <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-de-carga-caracteristicas-y-tipos>

Cámara, O. D. (2021). *Faltan recursos económicos para renovar la Artillería Antiaérea del Ejército de Tierra*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2021, de <https://www.defensa.com/espana/faltan-recursos-economicos-para-renovar-artilleria-antiaerea>

Cegasa. (2020). *eBick Ultra 175. La forma más sencilla de almacenar de energía con tecnología Litio-LFP de Cegasa*. Recuperado el 3 de Diciembre de 2021, de <https://www.cegasa.com/ebick-ultra-100>

Clean Energy Reviews. (2021). *What Is A Hybrid Inverter*. Recuperado el 30 de Noviembre de 2021, de <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/what-is-a-hybrid-inverter>

Corporation, B. P. (2010). *¿Que es una fuente de poder variable de corriente directa (CD)? Final Test*.

Ecosun innovations. (2020). *REMOLQUE SOLAR TRAILER-WATT® 12S*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2021, de <https://www.ecosuninnovations.com/es/productos/remolque-solar-trailer-wattr>

Ejército de Tierra. (11 de Septiembre de 2019). *ADQUISICIÓN DE TARJETAS DEL GRUPO ELECTRÓGENO DEL SISTEMA DE ARTILLERIA ANTIAÉREA 35/90 MM*. Recuperado el 2 de Noviembre de 2021, de <https://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/59236832-91da-400f-be41-c22f731a3478/DOC2019110608514025+PPT.pdf?MOD=AJPERES>

Ejercito de Tierra. (2019). *Fuerza 35. Ejercito de Tierra*, 84.

Ejército de Tierra. (2021). *Cañón AAA 35/90 GDF-007*. Recuperado el septiembre de 2021, de [https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/artilleria\\_antiaerea/caaa35-90-007.html](https://ejercito.defensa.gob.es/materiales/artilleria_antiaerea/caaa35-90-007.html)

EXO. (2020). *Exo diseñó una unidad móvil de energía para el Ejército Argentino durante la pandemia*. Recuperado el 25 de Diciembre de 2021, de <https://exo.com.ar/exo-diseno-una-unidad-movil-de-energia-solar-para-abastecer-al-ejercito-argentino-durante-la-pandemia/>



- Givetash, L. (2019). *OTAN promueve que las fuerzas armadas usen energía renovable*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2021, de <https://futuroverde.org/2019/05/otan-promueve-que-las-fuerzas-armadas-usen-energia-renovable/>
- Guinault. (2019). *VARIADOR ESTÁTICO 400 HZ 90-180 KVA*. Recuperado el Enero de 2022, de <http://www.guinault.com/es/aeropuerto/sa/>
- HIMOINSA A YANMAR COMPANY. (2021). *Grupos electrógenos híbridos de velocidad variable que reducen un 40% el consumo de combustible y prolongan los periodos de mantenimiento*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2021, de <https://www.himoinsa.com/esp/noticias/63/product-launch/grupos-electrogenos-hibridos-de-velocidad-variable-himoinsa.html>
- Homer Energy. (2015). *Manual del programa Homer Pro. Costo actual neto*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2021, de [https://www.homerenergy.com/pdf/HOMER2\\_2.8\\_HelpManual.pdf](https://www.homerenergy.com/pdf/HOMER2_2.8_HelpManual.pdf)
- Homer Energy. (2015). *Manual del programa Homer Pro. Costo operacional*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2021, de [https://www.homerenergy.com/pdf/HOMER2\\_2.8\\_HelpManual.pdf](https://www.homerenergy.com/pdf/HOMER2_2.8_HelpManual.pdf)
- ITWGSE. (2022). *Convertidor de Frecuencia eGPU ITW GSE 7400*. Recuperado el Enero de 2022, de <https://itwgse.com/es/productos/potencia/la-egpu-itw-gse-7400/>
- López, A. G. (2015). *Estudio de la utilización de energía solar en unidades. Trabajo Fin de Grado en Ingeniería en Organización Industrial*. Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar, Zaragoza, España.
- MDSPOWER. (2021). *Convertidor de Frecuencia Trifásicos 1500VA 115VCA 400Hz*. Recuperado el 8 de Diciembre de 2021, de <https://www.mdspower.com/es/convertidores-de-frecuencia-400hz/convertidores-de-frecuencia-400hz-3-fc-400hz-3-models>
- Melián, A. J. (2019). *ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE LA ADQUISICIÓN DE UN SISTEMA DE ARMAS ALTERNATIVO AL CAÑÓN ANTIAÉREO 35/90 GDF-007 Y DIRECCIÓN DE TIRO SKYDOR. Trabajo Fin de Grado en Ingeniería en Organización Industrial*. Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar, Zaragoza, España.
- Ministerio de Defensa. (2019). Entorno operativo 2035. *Instituto Español de Estudios Estratégicos* ( 083-19-027-5), 106.
- Monografías del SOPT. (2011). Jornada monográfica: Sistema de generación de energía y eficiencia energética en operaciones internacionales. *Monografías del SPOT, 10*, 293.
- Potencia electrónica mecánica. (2013). *EXPLICACION DE INVERSORES*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2021, de <https://www.potenciaelectromecanica.com/wp-content/uploads/2013/04/EXPLICACION%20DE%20INVERSORES.pdf>
- S&P. (2020). ¿Qué es y para qué sirve un variador de frecuencia? *Soler Palau*.
- S.A., G. E. (2020). *Unidad móvil de energía para el Ejército Argentino*. Recuperado el 2 de Noviembre de 2021, de <https://www.defensa.com/argentina/unidad-movil-energia-para-ejercito-argentino>



Selectronic. (2022). *BR0007\_18 Selectronic SP PRO Series 2i bi-directional inverter battery chargers Data Sheet March 2022*. Recuperado el 4 de Marzo de 2022, de [http://www.selectronic.com.au/brochure/BR0007\\_18%20SP%20PRO%20Series%20i%20Data%20Sheet%20March%202022\\_Web.pdf](http://www.selectronic.com.au/brochure/BR0007_18%20SP%20PRO%20Series%20i%20Data%20Sheet%20March%202022_Web.pdf)



## **ANEXOS**

*ANEXO I: ENTREVISTA A EXPERTOS*

*ANEXO II: CUESTIONARIO*



# Anexo I

## Entrevista a Expertos

En este apartado nos encontramos la entrevista que se ha realizado al personal correspondiente al Escalón de Mantenimiento que se encuentra en la Unidad en la que el CAC Antonio Rodríguez García ha realizado sus prácticas externas para la recogida de información y opiniones de gran valor para la realización de su Trabajo Fin de Grado.

Esta información recogida en esta serie de preguntas solo será utilizada por el CAC exclusivamente para la realización de su trabajo, por lo que, si difusión será limitada, además de que, si el entrevistado prefiere no ser nombrado, se ruega que lo diga antes de comenzar esta entrevista:

- ¿Cómo ha sido su trayectoria militar desde su inicio?
- ¿Qué opina de la AAA actualmente?
- ¿Cree usted que la operatividad de los sistemas de armas de la AAA del ET español son suficientes con los conflictos que existen actualmente?
- ¿Cree limitada la autonomía de los sistemas de armas de la AAA del ET español?
- En caso afirmativo:
  - ¿Cómo cree usted que se podría mejorar dicha autonomía?
  - ¿Se reduciría la huella logística con esas ideas?
  - ¿Cómo afectaría dichas modificaciones al sistema de armas?
  - ¿Qué ventaja tendrían sus ideas?
- En caso negativo:
  - ¿No ve recomendable un sistema de energía híbrido?
  - ¿Qué tipo de desventaja cree usted que tiene este tipo de sistema?
    - ¿Cree que la incorporación de un sistema de energía híbrido al sistema de armas 35/90 aumentaría el prestigio y potencial de ET de cara a la lucha contra el cambio climático?
  - Para concluir, ¿desearía añadir algún comentario u opinión sobre este tema?

Muchas gracias por su colaboración. Ceuta, 23 de septiembre de 2021



## Anexo II

### Cuestionario

En este apartado, al igual que el anterior, se ha realizado un cuestionario a todo aquel personal que se ha prestado a hacerlo en la unidad en la que el CAC ha estado realizando sus prácticas externas con el fin de tener un concepto más amplio de su conocimiento sobre el sistema de armas 35/90 así como su autonomía y posibles mejoras.

Como dije en el apartado anterior, la información que pueda conseguir de este cuestionario será única y exclusivamente utilizada por el cadete para la realización de su TFG y a diferencia del apartado anterior, este cuestionario es totalmente anónimo.

#### 1. INFORMACIÓN PREVIA

a) ¿A qué escala del ET pertenece?

Oficiales

Suboficiales

Tropa

b) ¿Cuántos años de servicio?

Menos de 10

Entre 10 y 20

Más de 20

c) ¿Tiene experiencia/conocimientos sobre el GE del sistema de armas 35/90 (aunque sea conceptual, lectura de artículos relacionados, ...)?



SÍ      NO                                           

**2. CONSIDERACIONES SOBRE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN HÍBRIDO PARA LA EXTENSIÓN DE AUTONOMÍA EN EL SISTEMA DE ARMAS 35/90**

d) LA AUTONOMIA DEL SISTEMA DE ARMAS 35/90 ES SUFICIENTE

En total desacuerdo    1        2        3        4        5        En total acuerdo

e) SE DEBE CONSIDERAR LA AUTONOMIA DEL SISTEMA DE ARMAS DEL 35/90 COMO ALGO PRIORITARIO.

En total desacuerdo    1        2        3        4        5        En total acuerdo

f) LAS CAPACIDADES QUE PROPORCIONA LA ARTILLERÍA ANTIAEREA NO PUEDEN SER SUPLIDAS POR OTROS MANDOS COMPONENTES (Armada y Ejército del Aire).

En total desacuerdo    1        2        3        4        5        En total acuerdo

g) LA ADQUISICIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN HIBRIDO ES PRIORITARIO SOBRE LA RENOVACIÓN DE PLATAFORMAS.

En total desacuerdo    1        2        3        4        5        En total acuerdo

h) ESPAÑA DEBERÍA SEGUIR LA LÍNEA DE LOS PAÍSES DE SU ENTORNO (P. EJ. FRANCIA E ITALIA) EN CUANTO A MODERNIZACIÓN E INCORPORACIÓN DE SISTEMAS QUE PERMITAN AUMENTAR LA AUTONOMÍA DE SU ARTILLERÍA.

En total desacuerdo    1        2        3        4        5        En total acuerdo

i) UN SISTEMA DE ALIMENTACION HIBRIDO AUMENTARIA LA CAPACIDAD OPERATIVA DEL SISTEMA DE ARMAS 35/90.



En total desacuerdo    1        2        3        4        5        En total acuerdo

j) CON UN SISTEMA DE ALIMENTACION HIBRIDO SE AUMENTARIA LAS HORAS DE INSTRUCCIÓN DE SU TRIPULACION

En total desacuerdo    1        2        3        4        5        En total acuerdo

k) LA INCORPORACIÓN DE ESTOS SISTEMAS ENERGÉTICOS REQUIERE UNA ALTA ESPECIALIZACIÓN DE CIERTO PERSONAL.

En total desacuerdo    1        2        3        4        5        En total acuerdo

l) ES NECESARIA Y URGENTE LA INCORPORACIÓN DE UN SISTEMA DE ALIMENTACION HIBRIDA

En total desacuerdo    1        2        3        4        5        En total acuerdo

Para finalizar, ¿quiere hacer algún comentario o aportación sobre este tema?

Muchas gracias por su colaboración.

Ceuta, 23 de septiembre de 2021.