

Trabajo Fin de Grado

Autosuficiencia energética limpia de una Unidad
tipo Agrupación desplegada en Zona de
Operaciones

Autor

Adrián Peña López

Director/es

Director académico: José Joaquín Sancho Val
Director militar: Álvaro Manuel González Carmona

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2018

AGRADECIMIENTOS

Antes de comenzar con la memoria del Trabajo de Fin de Grado (TFG) querría expresar mi gratitud a todas aquellas personas que me han ayudado a cumplir mis objetivos. En particular a mi familia, que me han apoyado y animado moralmente. Asimismo, agradecerle a mi director académico D. José Joaquín Sancho Val por su tiempo y dedicación a la hora de solventar las dudas que me han ido surgiendo durante la realización de esta memoria.

Por otra parte, agradecerle a mi director militar, Capitán Don Álvaro Manuel González Carmona y a todos los integrantes de la BOP "Galicia" VII por la información facilitada para la elaboración de este trabajo.

ABSTRACT

This report describes the energy needs of a Grouping Unit¹ to deploy in Mali, because it is the new operation zone where the “Galicia VII” Brigade will deploy in November 2018, and establishes a possible clean energy solution. For this purpose, the state of the art and the applicable regulations of our army and homologous armies were studied in order to have a global vision about energy technologies.

Once the information was collected, the technology was selected through an analysis of advantages, disadvantages and environmental impact, climate analysis of the area to be deployed and a SWOT analysis. The results show that photovoltaic solar technology is the most suitable for the study area.

Next, the electrical needs were analyzed and the number of necessary elements of the photovoltaic installation was calculated and its distribution was shown in a sketch.

Finally, its viability was analyzed through a risk analysis, a technical viability study and a feasibility study.

¹Agrupación táctica: estructura operativa de entidad Regimiento (1000 efectivos), siendo una estructura operativa: “organización establecida para el desarrollo de la acción conjunta y combinada y dispuesta para el empleo de la fuerza en operaciones, en cumplimiento de las misiones de las Fuerzas Armadas, todo ello con arreglo a lo dispuesto en la Ley Orgánica 5/2005 [21]”.

ÍNDICE

1.	Introducción.....	1
1.1.	Objetivos y alcance del trabajo.....	1
1.2.	Ámbito de aplicación del trabajo.....	1
1.3.	Antecedentes y estado del arte	2
1.3.1.	Soluciones energéticas limpias actualmente en el ET.....	2
1.3.2.	Soluciones energéticas limpias en otros ejércitos	3
1.4.	Marco legal y normativa aplicable	6
1.5.	Antecedentes legales	6
1.6.	Estructura de la memoria	7
2.	Metodología de trabajo	8
2.1.	Análisis climático de la zona de despliegue	9
2.2.	Análisis de la tecnología a considerar: Selección de la más idónea	11
2.3.	Debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de la tecnología seleccionada	13
3.	Implementación de una posible solución	14
3.1.	Descripción de la unidad objeto de estudio.....	14
3.1.1.	Orgánica de la unidad.....	14
3.1.2.	Nivel de alojamiento	14
3.2.	Estudio de las necesidades de consumo eléctrico.....	16
3.2.1.	Consumo del alumbrado exterior.....	16
3.2.2.	Consumo de agua caliente sanitaria	18
3.2.3.	Otros consumos.....	19
3.2.4.	Consumo eléctrico total de la base.....	19
3.3.	Cálculos de la solución escogida	19
3.3.1.	Croquis de la instalación eléctrica	19
3.3.2.	Paneles y baterías.....	20
3.3.3.	Reguladores	22
3.3.4.	Inversores.....	22
3.3.5.	Cableado	22
4.	Análisis de la solución adoptada: riesgos y estudios de viabilidad	23
4.1.	Análisis de riesgos	23
4.2.	Estudio de viabilidad técnica	24
4.3.	Estudio de viabilidad económica	25
4.3.1.	Inversión y coste de utilización GE.....	25
4.3.2.	Inversión y costes de utilización solución limpia.....	26
4.3.3.	Comparativa de costes: número de años a desplegar	27

5.	Conclusiones.....	28
5.1.	Líneas futuras de investigación.....	29
6.	Bibliografía	30
7.	Anexos	31

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1: vehículo PC VERDE.....	3
Ilustración 2: Carro de combate híbrido británico.	4
Ilustración 3: tienda de campaña con toldo fotovoltaico.	5
Ilustración 4: Soldado estadounidense portando panel solar en su mochila.	5
Ilustración 5: sistema portátil desalinizador.	5
Ilustración 6: esquema sistema energía geotérmica.....	6
Ilustración 7: Diagrama metodología.	9
Ilustración 8: Climatología promedio Bamako.....	9
Ilustración 10.Pronóstico días soleados/nublados.	10
Ilustración 9: Pronóstico velocidad del viento.	10
Ilustración 11: Croquis instalación fotovoltaica.	20
Ilustración 12: matriz probabilidad-impacto.	23
Ilustración 13: Croquis instalaciones.	24

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Características del despliegue.....	2
Tabla 2: Pronóstico irradiación (Bamako).....	11
Tabla 3: Ventajas e inconvenientes energías renovables.....	12
Tabla 4: DAFO energía solar fotovoltaica.	13
Tabla 5: Características alumbrado exterior.	17
Tabla 6: Superficie considerada para el alumbrado exterior.....	18
Tabla 7: Consumo equipos.	19
Tabla 8: Características motor generador MP-612Q.	26
Tabla 9: Precios componentes instalación fotovoltaica.	26

LISTA DE ABREVIATURAS

ACS: Agua Caliente Sanitaria.
AGM: Academia General Militar.
BOP: Brigada Orgánica Polivalente.
CAC: Caballero Alférez Cadete.
CBU: Coefficient of Beam Utilization.
CCAR: Centro de Carburantes.
CECOM: Centro de Comunicaciones.
CMUN: Centro de Municionamiento.
CRES: Centre for Renewable Energy Sources and Saving.
CTE: Código Técnico de Edificación.
CUD: Centro Universitario de la Defensa.
DEMC: Defence Energy Managers' Course.
DIDOM: Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales.
EDA: Agencia Europea de Defensa.
ET: Ejército de Tierra.
FAS: Fuerzas Armadas.
GREENMAR: Geothermal and Renewable Energy in Modular Architecture System.
ITM: Instituto Tecnológico de la Marañosa.
MINISDEF: Ministerio de Defensa.
OFAP: Oficina de Apoyo al Personal.
PC: Puesto de Mando.
PLM: Plana Mayor.
PLMM: Plana Mayor de Mando.
PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System.
RAE: Real Academia Española.
REN21: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.
TFG: Trabajo de Fin de Grado.
UAL: Unidad de Apoyo Logístico.
USACE: United States Army Corps of Engineers.
USAN: Unidad de Sanidad.
VERDE: Vehículo Ecológico de Rápido Despliegue.
ZO: Zona de Operaciones.

1. Introducción

1.1. Objetivos y alcance del trabajo

La siguiente memoria presenta los resultados del Trabajo de Fin Grado (TFG) del Caballero Alférez Cadete (CAC) Adrián Peña López, alumno del Centro Universitario de la Defensa (CUD) de la Academia General Militar (AGM), Zaragoza.

El alcance del trabajo consiste en un estudio de las necesidades energéticas de una Unidad tipo Agrupación², en base a un Regimiento de Infantería, para que esta pueda desplegar en zona de operaciones (ZO) con un nivel de alojamiento³.

Asimismo, se pretende desarrollar una posible solución energética limpia basada en la energía fotovoltaica, permitiendo reducir la dependencia por los combustibles fósiles.

Para ello a continuación, se listan los principales objetivos del proyecto:

- Estudiar las tecnologías de energías renovables actuales aplicables a las Fuerzas Armadas.
- Estudiar las condiciones climáticas de la zona de operaciones a considerar.
- Determinar las necesidades energéticas de una Unidad tipo Agrupación.
- Desarrollar una posible solución energética limpia con las tecnologías actuales del mercado.

1.2. Ámbito de aplicación del trabajo

Actualmente la generación de energía en bases y campamentos desplegados en territorio internacional depende casi exclusivamente del uso de grupos electrógenos diésel de alta capacidad (600KVA), dada la inexistencia o escasa fiabilidad de las redes eléctricas locales [1], no existiendo por el momento ningún campamento autosuficiente.

Misiones como Bosnia-Herzegovina y Kosovo, debido a años de continuos despliegues, han sido ejemplos de uso de la red eléctrica local pero siempre se han mantenido los grupos electrógenos dado que esta no siempre resultaba segura [1].

Dichos equipos proporcionan una gran ventaja táctica por proporcionar energía independientemente del terreno, clima u horario. Por el contrario, el empleo de generadores implica la necesidad de transportar grandes cantidades de combustible a través de rutas que podrían verse amenazadas.

Además, para asegurar el suministro de energía, es necesario que exista una capacidad de generación extra del 20% [2] instalando generadores redundantes para suplir aquellos que en algún momento pudiesen estar averiados o en labores de mantenimiento. También por este motivo, los generadores trabajan por debajo de su potencia nominal, habitualmente al 50% [2], para que en caso de fallo de alguno de ellos el resto aumente su generación, manteniendo el suministro constante. Esto provoca un sobredimensionamiento de la capacidad nominal de generación y una eficiencia energética muy baja.

Por lo expuesto anteriormente, junto al paulatino agotamiento a largo plazo de los combustibles fósiles, el continuo aumento del efecto invernadero y la necesidad de aumentar la independencia energética en operaciones militares, hacen necesario que las Fuerzas Armadas implementen este tipo de tecnologías en sus campamentos.

²Estructura operativa de entidad Regimiento (1000 efectivo), siendo una estructura operativa: "organización establecida para el desarrollo de la acción conjunta y combinada y dispuesta para el empleo de la fuerza en operaciones, en cumplimiento de las misiones de las Fuerzas Armadas, todo ello con arreglo a lo dispuesto en la Ley Orgánica 5/2005 [21]".

³ Desarrollado en el apartado 3.1.2.



Para el presente trabajo se ha considerado como zona de actuación Mali, por ser la futura zona de actuación de la Brigada ligera aerotransportable en noviembre de 2018. Este trabajo no se puede extender de forma genérica a cualquier otro despliegue de una Unidad tipo Agrupación debido a que los medios que despliega una Unidad en ZO depende de la misión recibida, y en el caso de usar energías renovables depende enormemente de la climatología del lugar y de las necesidades operativas. Por todo ello, este despliegue se caracteriza por:

Estructura operativa	Agrupación
Entidad	Regimiento
Arma	Infantería
Zona a desplegar	Mali
Climatología	Aw ⁴
Nivel de alojamiento	2

Tabla 1: Características del despliegue.

Fuente: elaboración propia.

1.3. Antecedentes y estado del arte

1.3.1. Soluciones energéticas limpias actualmente en el ET

Actualmente, tal y como se ha indicado anteriormente en el apartado 1.2., la solución adoptada por nuestras Fuerzas Armadas (FAS) cuando despliegan en territorio internacional se basan en grupos electrógenos diésel de alta capacidad (600KVA). La inexistencia o escasa fiabilidad de las redes eléctricas locales imposibilitan a día de hoy otra solución y aun cuando se goza de cierta estabilidad dichos grupos se despliegan igualmente para asegurar el suministro eléctrico.

Los estándares considerados [3] para desplegar 1000 efectivos estipula una potencia de 2,4 KVAs/hombre para un consumo eléctrico medio, dando un total de 2,400 KVAs⁵. Para esta potencia se despliegan 6 grupos electrógenos de alta capacidad (600KVA), 4 activos y 2 en reserva, cumpliéndose el 20% citado en el apartado 1.2. de capacidad extra para mantener el suministro constante en caso de avería, mantenimiento o relevo de actividad de los grupos electrógenos.

Para la zona de asistencia sanitaria y el cuerpo de guardia se despliegan 4 grupos electrógenos de 160 KVAs, de los cuales 2 se mantienen en reserva. Para este trabajo no se ha considerado las necesidades energéticas de la zona de asistencia sanitaria debido a haberla considerado una instalación de vital importancia que deberá disponer de un suministro continuo de energía eléctrica por lo que dichos grupos electrógenos serán desplegados igualmente.

Con el fin de mejorar la eficiencia energética en el ámbito militar, la Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales (DIDOM) lleva desarrollando desde el año 2014 una iniciativa denominada "Campamentos Militares 2020 en Eficiencia Energética". Entre sus líneas de trabajo que se plantean para ser desarrolladas en dicho campo destacan:

- Efectuar diseños y proyectos de campamentos y bases buscando la mejora de la eficiencia energética
- Efectuar el mantenimiento y sostenimiento de campamentos y bases mejorando la eficiencia energética.
- Estudiar el empleo de nuevos sistemas y definición de materiales que permitan mejorar la eficiencia energética.
- Ampliar la formación y concienciación en temas de eficiencia energética a las unidades de la Fuerza y Apoyo a la Fuerza

Asimismo, la Agencia Europea de Defensa (EDA) ha lanzado a principios de este 2017 un curso DEMC (Defence Energy Managers' Course) especializado en gestión energética en el ámbito de la Defensa

⁴Aw: clasificación climática de Köppen; tropical con invierno seco.

⁵ En esta cifra del estándar ya se ha incluido el porcentaje del régimen de trabajo de los grupos electrógenos.

tanto para personal de Defensa como de las FAS. Dicho curso, en colaboración con el centro CRES (Centre for Renewable Energy Sources and Saving), se basa en la aplicación de la norma internacional ISO 50001 de Sistemas de gestión de la Energía. El personal formado, será capaz de obtener resultados rentables y sostenibles en gestión y eficiencia energética en los ámbitos del Ministerio de Defensa y de las FAS.

Una de las iniciativas actuales desarrollada por el Instituto Tecnológico de la Marañosa (ITM) es el proyecto GREENMAR[1] (Geothermal & Renewable Energy in Modular Architecture System) de instalaciones eficientes, modulares, aerotransportables y desmontables apoyadas en energías renovables. Dichos módulos son fabricados con materiales de alta calidad, resistentes y ligeros requiriendo de un mínimo mantenimiento, tanto para instalaciones permanentes como provisionales. Entre estos módulos se citan:

- Un módulo de vida con un contenedor de climatización altamente eficiente, con energía geotérmica de baja entalpía para agua caliente sanitaria.
- Un hangar para aviones A-400 con utilización alternativa como hospital, colegio, comedor, talleres, etc.

Por último y más cercano al objetivo de esta memoria, la Brigada “Guadarrama” XII (BRIAC XII) por iniciativa de dos militares destinados en el Cuartel General de esta Brigada, también han apostado por las energías renovables. Se trata de un prototipo de Puesto de Mando denominado “PC VERDE” [4] (Vehículo Ecológico de Rápido Despliegue)” sobre un vehículo de cadenas M-548, utilizado para transportar munición para los obuses autopropulsados.



Ilustración 1: vehículo PC VERDE

Fuente: defensa.com/espana/pc-verde-innovacion-dos-militares-et-capaz-suministrar-energia

Dicho vehículo consiste en un sistema de placas solares, más dos generadores eólicos. Ambos son sistemas comerciales adaptados al vehículo y proporcionan la energía necesaria para el Puesto de Mando (PC), almacenando la energía sobrante en ocho baterías de una capacidad de 880 A/h cada una. En caso de no cubrir las necesidades eléctricas cuenta con un grupo generador para la carga de las baterías.

1.3.2. Soluciones energéticas limpias en otros ejércitos

Entre las tecnologías renovables destacó a nivel militar el uso de los biocombustibles en los ejercicios RIMPAC 2012. Estos ejercicios se tratan de los más grandes ejercicios de guerra marítima del mundo, son bianuales y tienen como base Honolulu, Hawái. Son organizados por la Marina de los Estados Unidos e invitan a las fuerzas militares de las cuencas del Pacífico aunque siempre tienen presencia otros ejércitos [5].

El objetivo de los RIMPAC es mejorar la interoperabilidad entre fuerzas armadas de los países participantes y promover la estabilidad en la región.



La jornada de 2012 tuvo como uno de sus objetivos el uso de combustibles a partir de aceite vegetal y algas para buques y aviones y tratar de fomentar su uso en dicho ámbito[6]. La conclusión obtenida de este ejercicio fue que la tecnología del momento no era capaz de producir el combustible a una escala que satisficiera la demanda militar a un costo razonable, aunque sí que sentó la base para introducir los biocombustibles en el ámbito militar.

Por otra parte, en 2013 el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Estadounidense (USACE) terminó el mayor proyecto de energía solar fotovoltaica en una base estadounidense en Nuevo México. Esta instalación es la planta de energía solar fotovoltaica de baja concentración más grande del mundo con 4,465 MW [7].

Este mismo año ACCIONA energía, empresa española líder en la promoción y gestión de infraestructuras y energías renovables, fue seleccionada como potencial contratista para el desarrollo de proyectos de energía solar para el Ejército de Tierra de los Estados Unidos[8]. Días después de ser calificada en tecnología solar, ACCIONA también fue seleccionada para optar contratos de tecnología eólica en instalaciones militares[9]. Ambas iniciativas se encuadran dentro de un programa de la Administración estadounidense que pretende impulsar la implantación de estas tecnologías en dependencias militares a fin de reducir la dependencia energética con respecto a las energías tradicionales.

España también optó por esta empresa en 2015 mediante un contrato de 6 meses en el que se estipuló que todas las instalaciones dependientes del Ministerio de Defensa se abasteciesen en su conjunto por electricidad 100% de origen renovable [10].

Las FAS también recogen en sus manuales posibles usos de las energías renovables. En el “Estudio sobre aplicaciones de la energía solar para equipos militares” [11] se muestran ejemplos como:

- Hybrid Electric Drive; proyecto británico de vehículo híbrido que ofrece mayor aceleración, menor consumo, mayor capacidad de carga y más discreción que un vehículo convencional. Este tipo de carros de combate también están siendo actualmente objeto de ensayo por EEUU e Israel.



*Ilustración 2: Carro de combate híbrido británico.
Fuente: military.com/video/comb-vehicles/armored-vehicles/*

- Generadores móviles solares híbridos que reducen la necesidad de combustible a una décima parte que los generadores convencionales. El Naval Weapons Center, en la base de China Lake (California), dispone de estos equipos desde 1985.
- El U.S. Army SOLDier Systems Center (Natick) suministra paneles solares flexibles que tanto pueden sujetarse sobre las tiendas de campaña como sobre el equipo del propio combatiente, haciéndolos especialmente aptos para cubrir las necesidades de iluminación o recarga de baterías. La DIDOM entre sus estudios publicados también recoge el uso de estas tecnologías sobre tiendas de campaña.



Ilustración 4: Soldado estadounidense portando panel solar en su mochila.
Fuente: elperiódicodelaenergía.com



Ilustración 3: tienda de campaña con toldo fotovoltaico.
Fuente: [11]

Pensando en las catástrofes naturales, en Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) presentó un sistema portátil que permite aprovechar la energía del sol para desalinizar agua de forma rápida y sencilla y que podría ser transportado fácilmente a lugares donde se necesitase de manera urgente [12].

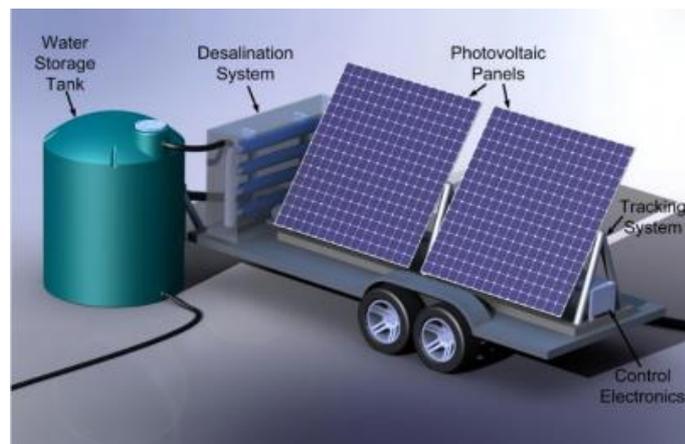


Ilustración 5: sistema portátil desalinizador.
Fuente: [12]

En cuanto a la energía geotérmica las FAS también han estudiado la posibilidad de empleo de la misma en los campamentos militares [13]. Su uso consiste en la producción de agua caliente sanitaria, climatización y calefacción mediante un sistema geotérmico integrado por:

- Intercambiadores de calor horizontal a poca profundidad que extrae el calor del subsuelo o evacúa el calor de la estancia.
- Termobomba que transfiere el calor entre el intercambiador y el sistema de distribución.
- Sistema de distribución: que encausa el calor o frío a las diferentes estancias.



Ilustración 6: esquema sistema energía geotérmica.
Fuente: [13]

Se ha querido dedicar este apartado a ejemplificar diferentes casos de uso o de posible aplicación de las energías renovables en las FAS para resaltar la importancia y necesidad de actualizar los sistemas energéticos que se están o se han llevado a cabo por diferentes ejércitos o por el nuestro propio. Como se cita en el apartado 2.2., las ventajas que facilitan estas tecnologías son enormemente provechosas, sin dejar al margen el respeto por el medio ambiente y la mejora de la imagen de las FAS por parte de nuestra sociedad.

1.4. Marco legal y normativa aplicable

De ámbito militar:

- Logistics Committee de OTAN “Policy on power generation for Deployed Force infrastructure (DFI), de diciembre de 2013.
- Instrucción 8/2009, de 9 de marzo, del Secretario de Estado de Defensa, por la que se aprueba el Programa Permanente de Eficiencia y Economía de Gasto del Ministerio de Defensa.
- Instrucción 56/2011, de 3 de agosto, del Secretario de Estado de Defensa sobre sostenibilidad ambiental y eficiencia energética en el ámbito del Ministerio de Defensa.

De ámbito civil:

- RD 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.
- RD 738/2015, de 31 de julio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica y el procedimiento de despacho en los sistemas eléctricos de los territorios no peninsulares
- RD 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos
- RD 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
- RD 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.
- Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética.

1.5. Antecedentes legales

La Instrucción 56/2011, de 3 de agosto, del Secretario de Estado de Defensa sobre sostenibilidad ambiental y eficiencia energética en el ámbito del Ministerio de Defensa, en su disposición tercera 2.b) indica que “El Ejército de Tierra, la Armada, el Ejército del Aire, los Órganos Directivos y Organismos Autónomos potenciarán, en lo posible, la sustitución de energías contaminantes por otras más limpias y/o renovables, desarrollando la implantación de energías alternativas.” [14]

Asimismo, la estrategia de la Unión Europea para el crecimiento y la ocupación 2020, se ha marcado cinco objetivos principales para ser alcanzados a más tardar en 2020. Entre ellos se encuentra: *reducir al menos un 20% las emisiones de los gases de efecto invernadero, aumentando el porcentaje de las fuentes de energía renovable en nuestro consumo final de energía hasta un 20% y en un 20% la eficacia energética* [15].

1.6. Estructura de la memoria

La memoria se ha estructurado en 7 capítulos diferenciados, el presente a modo de introducción, en el cual se redacta el objeto y ámbito de aplicación del mismo, el marco legal aplicable tanto en el ámbito civil como militar y el estado del arte de las tecnologías de energías renovables.

En el segundo capítulo se desarrolla la metodología que se ha seguido para la elaboración de este trabajo y se analiza la información recopilada para motivar la sección de la tecnología a desarrollar. Una vez seleccionada, se le aplica un análisis DAFO para conocer en qué situación se encuentran las FAS con respecto a la tecnología seleccionada.

En el tercer capítulo se plasma la idea principal de este trabajo, es decir la implantación de una posible alternativa limpia habiendo estudiado previamente las necesidades eléctricas de la unidad a desplegar. Este capítulo se cierra con el cálculo de los elementos necesarios para desplegar una instalación fotovoltaica en zona de operaciones y con un croquis de las diferentes zonas con las que consta una base.

En el cuarto se analiza la solución adoptada mediante un análisis de riesgos y se estudia su viabilidad tanto técnica como económica. En esta última, únicamente mediante los costes de adquisición, se ha estimado la duración que debe estar operativa la base para que la alternativa limpia sea menos costosa a la solución tradicional.

Es en el capítulo quinto de esta memoria donde se plasman las conclusiones del trabajo y le introduce una posible visión futura tanto de las tecnologías de energía renovables para suministrar energía a las bases como de las tecnologías de energía renovables portátiles en auge en las últimas décadas.

La parte última se cierra con los capítulos 6 y 7 en los que se recopila toda la bibliografía empleada y los anexos con la información complementaria de cada uno de los capítulos.



2. Metodología de trabajo

En este apartado se clarifica la metodología adoptada para la elaboración de este trabajo. Primeramente se ha considerado crucial el justificar la decisión de implantar sistemas de energía renovable para campamentos militares. Para ello a continuación se explica cómo se reducen las amenazas en los diferentes ámbitos con dicha implementación:

- **Seguridad:** la menor necesidad de combustible reduce el número de transportes de abastecimiento, reduciendo a su vez, las posibles situaciones de riesgo. Asimismo, la implementación de estas tecnologías reduciría la vulnerabilidad a cortes en el suministro eléctrico al dejar de depender de los combustibles fósiles.
- **Medio ambiente:** la reducción del uso de combustibles fósiles trae consigo la reducción de emisiones a la atmósfera.
- **Riesgos laborales:** se reduce el ruido producido por los generadores de gasoil.
- **Amenaza económica:** el ahorro que supone en el corto plazo la reducción de combustibles permite amortizar la inversión necesaria para implementar las tecnologías de energía renovable.
- **Logística:** este primer paso hacia la autosuficiencia energética supone la reducción de la huella logística en las operaciones ya que permite reducir las labores logísticas y por ende reducir el número de personal destinado a estas labores.
- **Mantenimiento:** aunque depende del tipo de tecnología, por lo general las tecnologías renovables requieren de un mantenimiento más reducido si estas son comparadas con las tecnologías de combustión.
- **Imagen pública:** la repercusión mediática de unas Fuerzas Armadas comprometidas con las energías renovables afectaría positivamente en la imagen que la sociedad tendría de las mismas.
- **Dependencia energética:** la independencia energética con respecto al resto de países exportadores de energía eléctrica supone una ventaja a nivel de Estrategia de Defensa Nacional. Además, la universalidad de estas tecnologías, y el uso de recursos inagotables como el sol, viento, agua, etc., consiguen reducir o eliminar la dependencia por las tecnologías convencionales.
- **Operatividad:** el uso de sistemas portátiles con este tipo de tecnologías es cada vez más frecuente en grupos de operaciones especiales: tiendas de campaña solares, módulos solares plegables, equipos solares para desalinización de agua, etc., facilitando las labores de los combatientes.

La ilustración 7 representa de una manera visual el proceso que se ha seguido durante la elaboración de este trabajo. Primero se ha estudiado la motivación de este trabajo, explicado anteriormente. En una segunda fase se ha analizado la información existente que pudiese afectar para la elaboración del mismo. Una tercera fase se basa en el cómo abordar el trabajo; se han analizado las tecnologías renovables y se ha seleccionado aquella que mejor se adapta a las condiciones del despliegue. La última fase engloba el desarrollo del trabajo en el que se calculan los medios necesarios para el montaje de la instalación fotovoltaica en función de las necesidades eléctricas de la unidad.

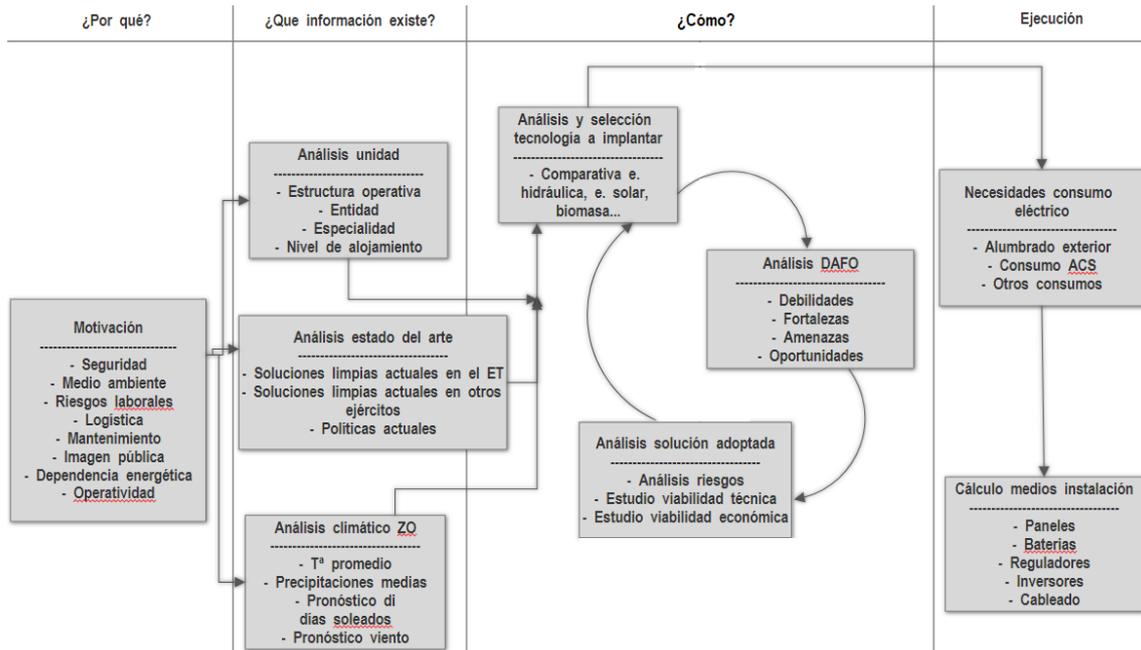


Ilustración 7: Diagrama metodología.
Fuente: elaboración propia.

2.1. Análisis climático de la zona de despliegue

El país de estudio para el presente análisis climatológico ha sido Malí, por ser la próxima zona a desplegar por la BOP "Galicia" VII. Más concretamente, los datos que se han considerado han sido para la ciudad de Bamako. Esta ciudad tiene un clima tropical con mucha menos lluvia en invierno que en verano. Dicho clima es considerado Aw⁶ según la clasificación climática de Köppen. La temperatura promedio es de 27.8 ° C y la precipitación media es de 953 mm. A continuación se muestran los datos de dicha zona:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	25.1	27.8	30.3	31.1	31.5	29	27.4	25.9	26.4	27.4	26.5	24.8
Temperatura mín. (°C)	16.3	18.9	21.9	23.6	24.7	23	22.5	21.3	21.2	20.6	18.1	16.1
Temperatura máx. (°C)	33.9	36.8	38.7	38.7	38.3	35	32.3	30.5	31.7	34.2	34.9	33.6
Temperatura media (°F)	77.2	82.0	86.5	88.0	88.7	84.2	81.3	78.6	79.5	81.3	79.7	76.6
Temperatura mín. (°F)	61.3	66.0	71.4	74.5	76.5	73.4	72.5	70.3	70.2	69.1	64.6	61.0
Temperatura máx. (°F)	93.0	98.2	101.7	101.7	100.9	95.0	90.1	86.9	89.1	93.6	94.8	92.5
Precipitación (mm)	0	0	4	18	50	120	224	290	178	64	4	1

Ilustración 8: Climatología promedio Bamako.
Fuente: climate-data.org

⁶ Aw: clasificación climática de Köppen; tropical con invierno seco.

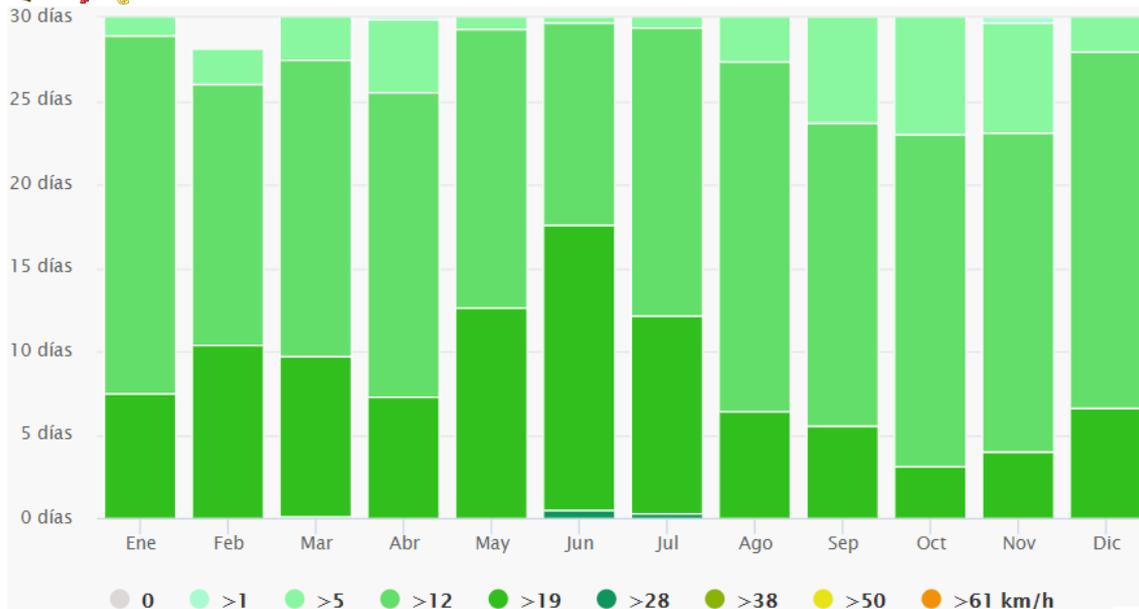


Ilustración 10: Pronóstico velocidad del viento.
Fuente: meteoblue.com

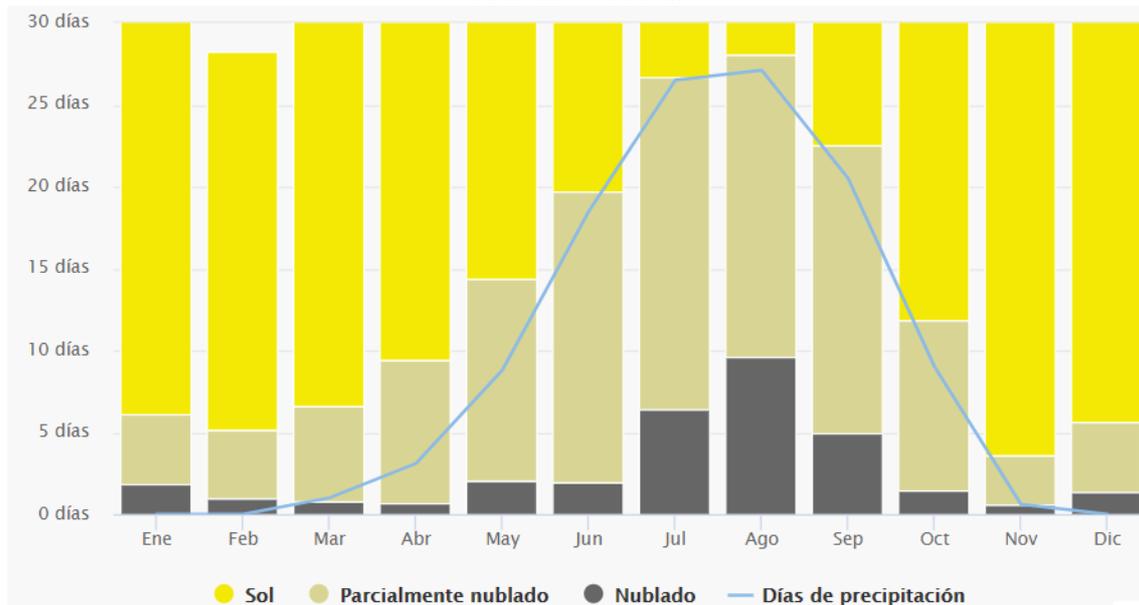


Ilustración 9: Pronóstico días soleados/nublados.
Fuente: meteoblue.com

A partir de los datos históricos representados en las ilustraciones 8, 9 y 10 se puede apreciar que prácticamente durante todo el año el clima es soleado o parcialmente nublado concentrándose la época de lluvias en los meses de Julio, Agosto y Septiembre, siendo Agosto el mes de más días nublados o con lluvia, con una cifra de 9 días. Asimismo, la velocidad del viento durante todo el año no supera las 12 km/h, estando comprendido mayoritariamente entre los 1 km/h y 5 km/h.

Para el cálculo de la irradiación solar incidente en dicha zona se ha utilizado el software online Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) proporcionado por el Servicio de Ciencia y Conocimiento de la Comisión Europea. Para ello se han introducido los siguientes datos de entrada:

- Localización: 12°38'43" North, 8°0'1" West.
- Elevación: 332 m.

Ante los que el software devuelve los siguientes datos:

- Grado de inclinación óptimo: 16 degrees.
- Déficit anual de irradiación debido a sombras: 0.0 %

Pronóstico irradiación solar mensual en Bamako, siendo:

Month	H_h	I_{opt}	Month	H_h	I_{opt}
Jan	5720	41	Jul	5670	-16
Feb	6440	31	Aug	5250	-6
Mar	7390	17	Sep	5750	10
Apr	6740	0	Oct	6100	26
May	6470	-14	Nov	5900	38
Jun	6190	-20	Dec	5570	43
Year	6090	16			

Tabla 2: Pronóstico irradiación (Bamako)

Fuente: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Siendo:

- H_h : Irradiación en el plano horizontal (Wh/m²/dia).
- I_{opt} : Inclinación óptima (grados).

2.2. Análisis de la tecnología a considerar: Selección de la más idónea

Según la Real Academia Española (RAE) las tecnologías renovables son aquellas cuyas fuentes se presentan en la naturaleza de modo continuo y prácticamente inagotable. Entre estas, para la elaboración de este análisis se han considerado:

- **Energía hidráulica:** aquella que aprovecha la energía potencial que proporcionan los saltos de agua, mediante la construcción de presas para hacer mover unas turbinas que a su vez mueven un generador eléctrico.
- **Energía solar térmica:** usa la energía procedente del sol mediante paneles solares para ser transformada en calor.
- **Energía solar fotovoltaica:** usa la energía lumínica procedente del sol mediante paneles fotovoltaicos para ser transformada en energía eléctrica.
- **Biomasa:** materia orgánica, vegetal o animal, que se usa para fines energéticos. Animales y plantas a lo largo de su vida acumulan energía química que puede recuperarse quemándose o transformándose en combustible.
- **Energía eólica:** aquella que usa la fuerza del viento para mover unas turbinas eólicas, es decir, transforma la energía cinética en energía eléctrica.
- **Energía geotérmica:** energía obtenida mediante el aprovechamiento de calor del interior de la Tierra. Algunas zonas de la misma presentan aguas subterráneas que pueden alcanzar temperaturas muy altas y que pueden ser aprovechadas para mover turbinas eléctricas.
- **Energía marina:** aquella producida por las olas del mar (undimotriz), las mareas (mareomotriz), la salinidad (osmótica) y las diferencias de temperatura del océano (mareotérmica).

La tabla 3 representa las principales características de las mismas, no habiéndose considerado la energía marina por la distancia entre la zona a desplegar y el mar ni la biomasa por no ser considerada una energía limpia.



Fuente de energía	Eólica	Geotérmica	Hidráulica	Solar
Ventajas	Limpia, inagotable y gratuita.	Inagotable. Menor impacto que las energías fósiles. Ahorro de las energías fósiles allí donde exista.	Suministra energía cuando es requerida (horas punta, olas de frío o calor). Inagotable. Limpia.	Gratuita, inagotable, limpia y de elevada calidad energética.
Inconvenientes	Dispersión. Aleatoria. Difícil almacenar. Aerogeneradores de grandes dimensiones y elevado coste.	Aplicación local. No puede transmitirse a grandes distancias. La elevada humedad provoca corrosión en las instalaciones.	Aleatoria (depende del año hidrológico) Es cara: inversiones en centrales, transporte a través de red a larga distancia.	Dispersa y aleatoria (dependencia con la calidad de la atmósfera). No se puede almacenar ni usar directamente.
Impacto ambiental	Ruido giro rotor. Impacto visual. Interfiere transmisiones.	Requiere mucho terreno. Erosión en el suelo, hundimientos e inducción a la actividad sísmica. Ruido/gases/ agua.	Cambios en ecosistemas. Pérdida de suelos. Variación del caudal río abajo. Alteración clima local.	Uso de grandes extensiones de terreno (pero son recuperables). Impacto visual.

Tabla 3: Ventajas e inconvenientes energías renovables.

Fuente: [16]

A continuación, se desarrolla la causa por la cual se han ido descartado las diferentes energías renovables:

- **Energía eólica:** pese a ser la más usada a nivel mundial, tal y como expone la REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) en su informe anual de la Situación Mundial de las Energías Renovables, se ha rechazado principalmente por interferir en las transmisiones así como por producir ruido afectando al bienestar del personal. Asimismo, tal y como refleja el análisis climatológico del apartado 2.1., Malí se caracteriza por la escasez de vientos. Las dimensiones de estos equipos los convierten en una amenaza a la seguridad pues son vistos desde kilómetros de distancia.
- **Energía geotérmica:** no se ha optado por esta tecnología porque se caracteriza por erosionar el suelo produciendo hundimientos llegando a inducir actividad sísmica. Al igual que la eólica produce ruidos y gases afectando al bienestar del personal.
- **Energía hidráulica:** el único río en la zona es el Níger, navegable y principal vía de comunicación, transporte y comercio entre las diferentes ciudades. Se ha descartado esta posibilidad porque implicaría cortar el tráfico del mismo.

Finalmente, habiendo considerado las ventajas, desventajas e impacto ambiental se ha optado por la energía solar fotovoltaica para satisfacer las necesidades eléctricas de la Unidad tipo Agrupación. El análisis climatológico del apartado 2.1. y la proximidad de dicha zona con el ecuador, han sido la motivación fundamental de esta decisión.

2.3. Debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de la tecnología seleccionada

Este análisis permite obtener una situación realista de cómo se encuentra una organización, en este caso las FAS, analizando sus características internas (Debilidades y Fortalezas) y su situación externa (Amenazas y Oportunidades) y planificar una estrategia futura.

Mientras que el apartado 2.2. se centra en la selección de la energía renovable más idónea, este se centra en el estudio de la situación actual de la energía solar fotovoltaica.

La tabla 4 mostrada a continuación recoge las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades más características para esta tecnología:

ANÁLISIS INTERNO Debilidades	ANÁLISIS EXTERNO Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Amortización económica a largo plazo. • Incertidumbre en la producción eléctrica por la aleatoriedad del recurso. • Rápida obsolescencia por la rápida evolución de esta tecnología. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entorno económico negativo (periodo actual de crisis) • Posible objetivo potencial para las fuerzas enemigas. • Rechazo social hacia las instalaciones dado que necesitan amplios espacios de terreno.
ANÁLISIS INTERNO Fortalezas	ANÁLISIS EXTERNO Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Industria española, referente mundial en dicha tecnología. • Potenciación industria nacional. • Recurso natural abundante en la zona considerada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución huella logística de combustibles (ejemplo convoyes de combustible) • Mejora de la imagen de las FAS comprometidas con el medio ambiente. • Reducción de emisiones. • Reducción de la dependencia energética. • Impulso conciencia ecológica.

*Tabla 4: DAFO energía solar fotovoltaica.
Fuente: elaboración propia.*

De lo que se puede concluir de esta herramienta es que el principal problema al que se enfrenta este proyecto es el económico. Pese a que España goza de una posición puntera en esta tecnología, se enfrenta a una crisis económica, por lo que es necesario asegurar que la misión asignada para el despliegue considerado implique un gran periodo de tiempo para que la implementación de esta tecnología pueda ser amortizada.

Asimismo, estas instalaciones se han considerado un factor crítico para el mantenimiento de la base por lo que se ha de tener en cuenta en el plan de seguridad de la misma.

Pese a esto, en términos generales, se obtiene una gran ventaja en cuanto a seguridad, ya que se reducen los convoyes para el suministro de combustible reduciendo el número de posibles emboscadas. Más importante si cabe, se logra cierta independencia energética al mismo tiempo que se mejora la imagen de las FAS, se reducen las emisiones y se impulsa la conciencia ecológica en nuestra sociedad.



3. Implementación de una posible solución

3.1. Descripción de la unidad objeto de estudio

3.1.1. Orgánica de la unidad

Antes de realizar cualquier cálculo es necesario definir la entidad en la que se van a basar los mismos. Para el presente estudio se ha considerado una Unidad tipo Agrupación de 1000 efectivos [3], ejemplo en el que se apoya actualmente por la Fuerza Logística Operativa⁷ para realizar sus estimaciones cuando apoyan a un contingente desplegado en territorio internacional.

A título orientativo, ya que el referente principal ha sido el número total de efectivos, se ha considerado el siguiente organigrama:

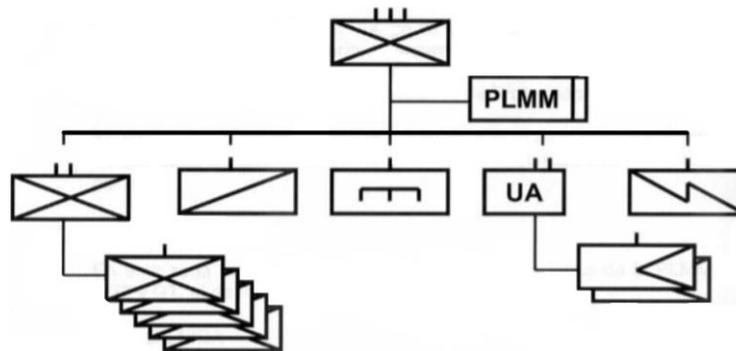


Ilustración 11: Organigrama Unidad Agrupación.
Fuente: [3]

De la ilustración 10 se puede apreciar que esta Unidad está compuesta por:

- 1 Plana Mayor de Mando de entidad Regimiento.
- 1 Batallón de Infantería con 5 Compañías de Infantería.
- 1 Compañía de Reconocimiento.
- 1 Compañía de Ingenieros.
- 1 Unidad de Abastecimiento de entidad Batallón con 2 Compañías de Servicios de Apoyo al combate.
- 1 Compañía de Transmisiones.

3.1.2. Nivel de alojamiento

Para la estimación de las necesidades eléctricas de esta Unidad es necesario conocer el nivel de alojamiento del que dispondrá la base, que difieren principalmente en el tiempo que despliega y el nivel de comodidad que se pretende alcanzar.

Para esta memoria se ha considerado el nivel de alojamiento 2, es decir, las tareas de castrametación están a cargo del Mando de Ingenieros y se base en tiendas especiales, climatizadas o no en función del uso, y elementos prefabricados para determinados componentes de uso común ya definidos, como cocinas, duchas o elementos de ablución con el fin de alcanzar el grado de confortabilidad mínimo para la Unidad usuaria. Se ha optado por este nivel de alojamiento a fin de tratar de reducir las necesidades eléctricas de dicha base.

⁷ Fuerza Logística Operativa: organización del Ejército de Tierra que tiene como uno de sus cometidos proporcionar el apoyo logístico necesario para las operaciones militares.

El nivel 2 de alojamiento se caracteriza por las siguientes zonas [3]:

- **Zona de seguridad y control:** consta de 3 tiendas colectivas, con una superficie de 120 m² y 1 contenedor de ablución mixto (WC y duchas)
- **Zona de mando:**
 - Centro de Comunicaciones (CECOM): consta de 5 tiendas alojamiento, con una superficie de 115 m² y 1 contenedor de ablución WC.
 - Plana Mayor de Mando (PLMM) de la Agrupación: consta de 24 tiendas alojamiento con una superficie de 550 m² y 2 contenedores de ablución WC
 - Plana Mayor (PLM) de las Compañías (Cia,s): consta de 16 tiendas colectivas con una superficie de 640 m² y 1 contenedor de ablución WC
 - PLM de la Unidad de Apoyo Logístico (UAL): consta de 10 tiendas alojamiento con una superficie de 230 m² y 1 contenedor de ablución WC
- **Zona de vida:**
 - Área de alojamiento de mandos: consta de 62 tiendas alojamiento con una superficie de 1116 m², 2 contenedores de ablución WC y 2 contenedores de ablución duchas.
 - Área alojamiento tropa: consta de 300 tiendas alojamiento con una superficie de 5400 m², 10 contenedores de ablución WC y 10 contenedores de ablución duchas.
- **Zona de servicios:**
 - Sala multiusos: consta de 12 tiendas colectivas con una superficie de 480 m².
 - Cantina de tropa: consta de 13 tiendas colectivas con una superficie de 480 m².
 - Cantina de mandos: consta de 8 tiendas colectivas con una superficie de 320 m².

Para completa la cantina de mandos y tropa se dotará de 2 módulos cooperativa sobre contenedor.

 - Gimnasio: consta de 7 tiendas colectivas con una superficie de 280 m².
 - Locutorio/Internet: consta de 10 tiendas alojamiento con una superficie de 230 m²
 - Oficina de Apoyo al Personal (OFAP): consta de 3 tiendas colectivas con una superficie de 120 m²
 - Comedor: consta de 16 tiendas colectivas con una superficie de 640 m²
 - Cocina: consta de 10 tiendas colectivas con una superficie de 400 m², 2 módulos cocina, 8 contenedores frigoríficos y 4 contenedores isoterma víveres.
 - Almacén de cocina: consta de 8 tiendas colectivas con una superficie de 320 m².
 - Lavandería: consta de 6 tiendas colectivas con una superficie de 240 m² y 2 contenedores lavandería.
- **Zona logística:**
 - Abastecimiento de agua: consta de 16 depósitos de 25 000 l con una superficie de 800 m².



- Suministro eléctrico: consta de 6 grupos electrógenos de 600 KVAs (4 funcionamiento, 2 reserva) y 4 de 160 KVAs (1 Unidad de Sanidad (USAN), 1 Cuerpo de guardia, 1 emergencia y el otro de reserva) con una superficie de 300 m².
- Sistema contraincendios: basado en extintores.
- Instalaciones:
 - Lavadero de vehículos: con una superficie 80 m².
 - Talleres y oficinas: consta de 10 tiendas colectivas con una superficie de 400 m².
 - Taller de 2º Escalón de mantenimiento de vehículos: consta de 8 tiendas colectivas con una superficie de 320 m².
 - Almacén de abastecimiento: consta de 8 tiendas colectivas con una superficie de 320 m².
 - Centro de carburantes (CCAR): consta de 1 tienda colectiva, 4 depósitos flexibles de 25 000 litros y 4 depósitos flexibles de 5 000 litros, suponiendo una superficie de 600 m².
 - Centro de municionamiento (CMUN): consta de 18 depósitos de munición en base a 18 contenedores isoterms especiales para transporte de municiones, suponiendo una superficie de 600 m².
 - Zona de aparcamientos: 1 000 m² para vehículos rueda y 1 000 m² para vehículos cadena.
- **Zona de asistencia sanitaria:**
 - Instalaciones de la USAN: consta de 8 tiendas botiquín autohinchables con una superficie de 400 m², 1 contenedor de ablución WC y 1 contenedor de ablución duchas.
 - Almacenes sanitarios: consta de 1 contenedor isoterms y 1 tienda colectiva de aproximadamente 70 m².
- **Helisuperficie:** de aproximadamente 500 m², consta de un área de toma, una calle de rodadura y una zona de aparcamiento.

3.2. Estudio de las necesidades de consumo eléctrico

En este apartado se desarrollan los diferentes consumos eléctricos de una Unidad tipo Agrupación para un despliegue con un nivel de alojamiento 2. Para ello, se ha dividido este apartado en tres subapartados.

El primero de ellos se dedica a la iluminación exterior de las instalaciones, entendiéndose estas como las zonas de tránsito entre las diferentes estancias. El factor decisivo para este cálculo ha sido la superficie a iluminar considerada en el apartado 3.1.2.

El segundo de ellos desarrolla el consumo eléctrico que supone el agua caliente sanitaria (ACS) en nuestra base. Estos cálculos se fundamentan en la expresión fundamental de calorimetría, aplicable cuando el incremento de temperatura que se quiere aplicar no es excesivamente grande.

Un tercer y último subapartado se ha dedicado al consumo de todo tipo de equipos en función de las diferentes zonas que constituyen la base. Se desarrollan específicamente en el anexo A.

3.2.1. Consumo del alumbrado exterior

Para el cálculo del número de focos de 1000W para el alumbrado exterior se ha considerado el método de los lúmenes. Dicho método usa la fórmula:

$$N = \frac{E_m * S}{\Phi * CBU * f_m}$$

Siendo:

- N : número de proyectores necesarios.
- E_m : iluminancia media recomendada para cada aplicación.
- S : la superficie a iluminar en m².
- Φ : flujo luminoso de un proyector.
- CBU: coeficiente de utilización del haz (Coefficient of Beam Utilization) que se define como la relación entre los lúmenes que llegan a la superficie iluminada y los lúmenes del haz. Su valor que oscila entre 0.6 y 0.9.
- f_m : factor de mantenimiento cuyo valor está entre 0.65 y 0.80. Sirve para cuantificar la disminución del flujo luminoso por el envejecimiento de las lámparas y por la suciedad acumulada en estas y el proyector.

A continuación se muestran las consideraciones para un foco de 1000W y para las características de este tipo de instalaciones [17]:

Φ (lm)	CBU	Fm	Em (lux)
20000	0,6	0,65	5 ⁸

Tabla 5: Características alumbrado exterior.

Fuente: elaboración propia.

Para calcular la superficie exterior a alumbrar, se ha recopilado en la siguiente tabla la superficie asignada para cada zona multiplicando por 4 la superficie ocupada por las instalaciones, indicada en el apartado 3.1.2., con el fin de incluir de este modo las zonas de tránsito y aproximar las dimensiones de la base a lo más parecido a las bases actuales. Se ha tomado como referencia la base Gran Capitán (Iraq) de 45 000 metros cuadrados diseñada para 450 efectivos, en este caso la base tipo está pensada para 1000 personas⁹:

⁸ Valor recomendado para labores de vigilancia. (<http://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterio/deportes.html>)

⁹ A tenerse en cuenta que la Base "Gran Capitán" posee un nivel 3 de alojamiento, es decir con mayores comodidades, por ello la superficie no es estrictamente el doble.



Zona		Superficie (m2)	Zona	Superficie (m2)
seguridad y control		480	logística	abastecimiento agua 3200
mando	CECOM	460		suministro eléctrico 1200
	PLMM	2200		lavadero vehículos 320
	PLM CIA,s	2560		taller y oficinas 1600
	PLM UAL	920		taller 2º escalón 1000
vida	alojamiento mandos	4464		Almacén abastecimiento 1280
	alojamiento tropa	21600		CCAR 2400
servicios	sala multiusos	1920		CMUN 2400
	cantina tropa	1920		aparcamientos 8000
	cantina mandos	1280	asistencia sanitaria	instalaciones USAN 1600
	gimnasio	1120		almacenes sanitarios 280
	OFAP	480	helisuperficie	8000
	comedor	2560	TOTAL	77084
	cocina	1600		
	almacén cocina	1280		
	lavandería	960		

Tabla 6: Superficie considerada para el alumbrado exterior.
Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto el número de focos necesarios son:

$$N = \frac{5 \cdot 77084}{20000 \cdot 0,6 \cdot 0,65} = 49,41 \approx 50 \text{ focos de } 1000 \text{ W}$$

Como se indica en el anexo A para la estimación del tiempo de empleo de los equipos se ha considerado "Blackout", por lo que cualquier equipo no implicado en tareas de seguridad o uso necesario para el correcto funcionamiento de la base permanece, por razones de seguridad, apagado de 23:00 a 6:00 horas. De este modo, el uso del alumbrado exterior se restringe a la franja horaria de 6:00 hasta las 8:00 y de 21:00 a 23:00 por lo que permanecen encendidas durante 4 horas diarias. El consumo del alumbrado exterior es por tanto:

$$C_{(exterior)} = 4 * 50\ 000 = 200 \text{ KWh/día}$$

3.2.2. Consumo de agua caliente sanitaria

Para la estimación de este apartado se ha considerado el Código Técnico de Edificación (CTE) del 17 marzo [18], estableciéndose un consumo diario por persona de 22 l de agua caliente sanitaria.

Suponiendo que el cambio de temperatura al que se va a someter esa agua no va a ser muy grande (de 15°C a 60°C) se puede considerar la siguiente expresión calorimétrica:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Siendo:

- c: calor específico, en este caso del agua por lo que su valor es 1 cal/ (g*K)
- m: masa, su valor es 22 l = 22kg = 22 000 g
- ΔT: variación de temperatura, su valor es (Tf – Ti) = 60 – 15 = 45

Por lo que el resultado es:

$$Q = 22\ 000 * (1000 \text{ hombres}) * 1 * 45 = 990\ 000\ 000 \text{ cal/día}$$

Sabiendo que:

- 1 cal = 4,1868 J
- 1 W = 1 J/s

Se deduce que:

$Q = 47973,75$ W/día son necesarios para calentar los 22 l de agua por persona establecidos, pero suponiendo que aproximadamente 1/3 de los efectivos están empeñados en misiones u ocupando posiciones avanzadas (sin agua corriente) se puede estimar que diariamente se consumen:

$$C_{(ACS)} = 2/3 * 47973,75 = 31982,5 \text{ W/día} = 31,98 \text{ KWh/día.}$$

3.2.3. Otros consumos

En el anexo A se desarrolla el consumo eléctrico para establecer una base con nivel de alojamiento 2 para una Unidad tipo Agrupación de 1000 efectivos en función de las diferentes zonas.

El consumo en KWh/día por zonas se resume en la tabla 7:

Seguridad y control	Mando	Vida	Servicios	Logística
5,3776	273,138	140,8125524	1755,6892	39,5896
Coefficiente de simultaneidad				0.7
TOTAL				1550,22 KWh

Tabla 7: Consumo equipos.
Fuente: elaboración propia.

3.2.4. Consumo eléctrico total de la base

En este apartado se agrupa el consumo total de la base con nivel 2 de alojamiento para la Agrupación tipo considerada:

$$C_{TOTAL} = C_{(ACS)} + C_{(equipos)} + C_{(exterior)} = 31,98 + 1550,22 + 200 = 1782,20 \text{ KWh/día.}$$

3.3. Cálculos de la solución escogida

En este apartado se calcula el número de elementos de una instalación solar necesarios para abastecer a la Agrupación tipo para el mes más desfavorable, asegurando así el suministro para el resto de meses del año. En el anexo B se especifican las características técnicas de los distintos componentes. Estos datos se han obtenido de la base de datos del software PVsyst, plataforma que sirve para diseñar, estudiar y simular instalaciones fotovoltaicas.

3.3.1. Croquis de la instalación eléctrica

El esquema general en el que se basa la instalación fotovoltaica es el siguiente:

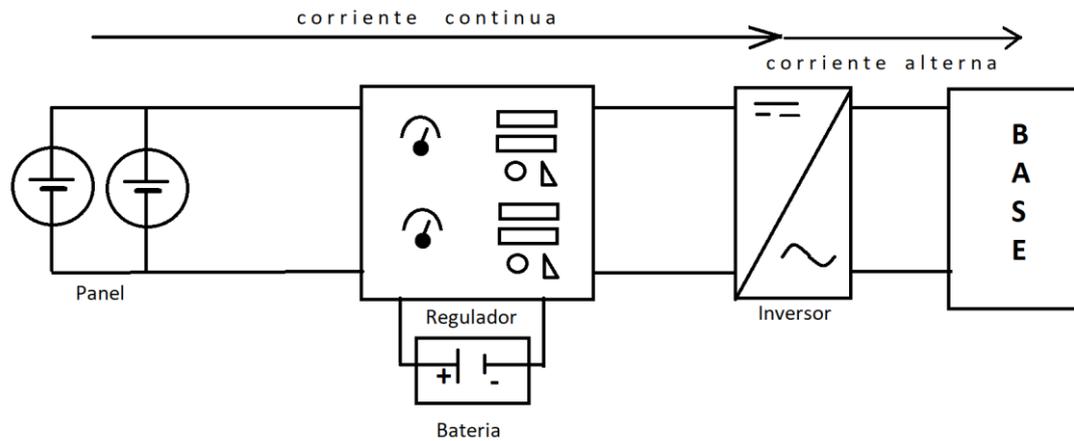


Ilustración 11: Croquis instalación fotovoltaica.
Fuente: elaboración propia

En el apartado 4.2. se muestra la distribución del terreno en función de las diferentes zonas. Visualmente se puede apreciar la superficie dedicada a cada zona. Se ha optado, por seguridad de la instalación fotovoltaica, distribuir los paneles en el perímetro de la base en detrimento de la seguridad de la misma al interferir los paneles en el campo visual de los 360°. En el apartado 4.2. se explica por qué se ha optado por esa distribución.

3.3.2. Paneles y baterías

Los paneles fotovoltaicos son el elemento fundamental de la instalación. Están formados por un conjunto de células fotovoltaicas que convierten la energía del sol en eléctrica (corriente continua) mediante el efecto fotoeléctrico.

Las baterías, generalmente solo se presentan en las instalaciones autónomas, acumulan la energía eléctrica en forma de energía química durante los periodos de luz solar y esta se libera en forma de energía eléctrica cuando la luminosidad es insuficiente.

Para el cálculo del número de estos componentes es necesario obtener primero las pérdidas totales con la siguiente fórmula:

$$K_t = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] * \left[1 - \frac{(K_A * D_{aut})}{P_D} \right]$$
$$K_t = [1 - (0,005 + 0,025 + 0,065 + 0,1)] * \left[1 - \frac{(0,005 * 3)}{0,65} \right] = 0,78$$

Siendo:

- K_A : pérdidas debido a la autodescarga diaria de la batería, por defecto se ha tomado 0,5%
- K_B : pérdidas debido al rendimiento de la batería. Se ha considerado 0,5 % ya que dicho valor está comprendido entre 0,5% hasta 1% para los acumuladores más viejos.
- K_C : pérdidas debido al inversor. El inversor considerado pierde un 2,5%
- K_R : pérdidas debido al regulador. El regulador considerado pierde un 6,5%
- K_X : otras pérdidas debido a la caída de tensión o por efecto Joule de la instalación eléctrica. Se ha considerado 10%.
- D_{aut} : días de autonomía. Dado que se toma como referencia Agosto por ser el mes más desfavorable, este cuenta con 9 días nublados o lluviosos por lo que se consideran 3 días de autonomía.
- P_D : profundidad de descarga de la batería. Por defecto se ha tomado 65%.

Una vez calculadas las pérdidas, se calcula el consumo máximo de la instalación en amperios mediante la expresión (Ley de Ohm):

$$I_{inst\ max} = \frac{C_{TOTAL} * 1000}{V_{bat}} = \frac{1782,20 * 1000}{4} = 445550\ Ah/día$$

A continuación se calcula la energía que nos proporciona el panel considerado:

$$E_{panel} = \mu_{panel} * I_{inst\ max} * HSP$$

$$E_{panel} = 0,957 * 9,43 * 5,25 = 47,38\ Ah/día$$

Siendo:

- μ_{panel} : rendimiento del panel. 95,7 % para el panel seleccionado.
- $I_{max\ panel}$: intensidad máxima proporcionada por el panel 9,43 A para el panel seleccionado.
- HSP : radiación en horas solar pico correspondiente a la ubicación de la instalación. Como se recoge en el apartado 2.1., agosto es el mes más desfavorable en cuanto a irradiación medida en hora solar pico, con un valor de 5,250 KWh/m²/día.

Para calcular la capacidad de la batería se usa la expresión:

$$C_{bat} = \frac{\frac{I_{inst\ max}}{K_t} * D_{aut}}{Pd}$$

$$C_{bat} = \frac{\frac{445550}{0,78} * 3}{0,65} = 2636390,53\ Ah$$

Por último para calcular el número de paneles se han utilizado las expresiones:

$$Paneles_{paralelo} = \frac{\frac{I_{inst\ max}}{K_t}}{E_{panel}}$$

$$Paneles_{paralelo} = \frac{\frac{445550}{0,78}}{47,38} \approx 12056$$

$$Paneles_{serie} = \frac{V_{bat}}{V_{panel}}$$

$$Paneles_{serie} = \frac{4}{34} = 0,12 \approx 1$$

Aplicando la misma expresión para las baterías:

$$Baterias_{serie} = \frac{C_{bat}}{C_{nominal}}$$

$$Baterias_{serie} = \frac{2636390,53}{1121} \approx 2352$$

Siendo:

- $C_{nominal}$, la capacidad real de las baterías. Para la batería seleccionada su capacidad nominal es 1121 Ah.

$$Baterias_{paralelo} = \frac{V_{inst}}{V_{bat}}$$



$$Baterias_{paralelo} = \frac{220}{4} = 55$$

Siendo:

- V_{inst} , la tensión a la cual trabaja la base, siendo su valor 220 V

3.3.3. Reguladores

El regulador representa el nexo de unión entre los paneles solares y los elementos de consumo de la instalación. Se encarga también de proteger a los acumuladores antes sobrecargas ya que proporciona a su salida la tensión continua necesaria para la instalación, es decir, fija el valor de la tensión nominal a la que trabaja la instalación.

El cálculo del número de reguladores se detalla en este apartado. Para ello, inicialmente se calcula la intensidad del campo fotovoltaico:

$$I_{campoFV} = N^{\circ} ramas * I_{cortoFV}$$
$$I_{campoFV} = 12056 * 9,93 = 119716,08 A$$

Siendo:

- $N^{\circ} ramas$: número de paneles en paralelo necesarios.
- $I_{cortoFV}$: intensidad de cortocircuito del panel que se ha seleccionado, siendo en este caso 9,93 A

Para el cálculo de la intensidad del regulador se ha sobredimensionado un 10% con respecto a la que recibe de los paneles, por lo que se extrae que:

$$I_{regulador} = 1,1 * I_{campoFV}$$
$$I_{regulador} = 1,1 * 119716,08 = 131687,69 A$$

Finalmente:

$$N^{\circ} reguladores = \frac{I_{regulador}}{I_{reg real}}$$
$$N^{\circ} reguladores = \frac{131687,69}{33} = 3990,53 \approx 3991$$

Siendo:

- $I_{reg real}$: intensidad real del regulador. Para el regulador considerado su valor es 33 A.

3.3.4. Inversores

Este componente alimenta los aparatos ya que convierte la corriente continua con la que trabaja el sistema (baterías) en corriente alterna (220V, 50 Hz) con las mismas características que la red eléctrica, corriente en la que trabajan las cargas.

Pese a que el inversor considerado trabaja a una potencia máxima de 500KW se ha ramificado la instalación en función de las zonas que componen la base. De este modo el número de inversores considerados es 8.

3.3.5. Cableado

La determinación de las secciones necesarias para la alimentación de los diferentes suministros, no entra dentro del alcance de este trabajo.

4. Análisis de la solución adoptada: riesgos y estudios de viabilidad

4.1. Análisis de riesgos

En este apartado se han considerado los posibles riesgos que suponen la instalación de paneles fotovoltaicos en zona de operaciones. Para ello se ha utilizado una plantilla de riesgos (anexo C) donde se han recogido todos los posibles riesgos detectados para realizar la clasificación y priorización de los mismos. A continuación, se muestra la matriz de probabilidad de impacto utilizada para dicha clasificación.

		Número de riesgos		
Probabilidad	Alta	0	0	2
	Media	1	4	3
	Baja	0	0	2
		Bajo	Medio	Alto
		Impacto		

Clase riesgo	Nr
Crítico	2
Alto – medio	3
Medio	7
Bajo	0
Total:	

Riesgos Bajos: no se prevé ninguna acción ya que se asumen las consecuencias en caso de materializarse.

Riesgos Moderados: se plantea un seguimiento y control de las áreas afectadas por el riesgo. En función de la evolución del mismo proponer una acción mitigadora o asumir el riesgo.

Riesgos Altos/Críticos: se plantean acciones mitigadoras para evitar que el riesgo se materialice y/o en caso de hacerlo reducir el impacto.

*Ilustración 12: matriz probabilidad-impacto.
Fuente: plantilla riesgos asignatura CUD "Oficina de Proyectos".*

Esta matriz otorga para las probabilidades los valores de 1,2 y 3 para los riesgos en que la posibilidad de que ocurran sea baja media o alta respectivamente. Asimismo, el impacto es clasificado en bajo, medio y alto. La plantilla asigna color rojo para los riesgos de alta probabilidad e impacto alto, color naranja para probabilidad alta e impacto medio o viceversa, color amarillo para probabilidades baja y media e impacto medio y alto y viceversa y únicamente color verde para probabilidad bajo e impacto bajo.

De este análisis se ha concluido que el riesgo de mayor envergadura es la posibilidad de no tener repuestos para la instalación fotovoltaica. La fuerte dependencia de su abastecimiento por cadena logística ha dado lugar a establecer como medida disponer de talleres y personal cualificado en estas tecnologías para poder solventar los problemas in situ.

Otro de los riesgos clasificado como crítico es la consideración de dichas instalaciones como un objetivo rentable para el enemigo. Se trata de instalaciones perfectamente reconocibles, muy vulnerables a sus ataques y de gran rentabilidad ya que inhabilitando estas instalaciones dejarían sin suministro eléctrico a la base. Es por ello necesario desplegar personal en las inmediaciones de las mismas a fin de proporcionarles seguridad.



4.2. Estudio de viabilidad técnica

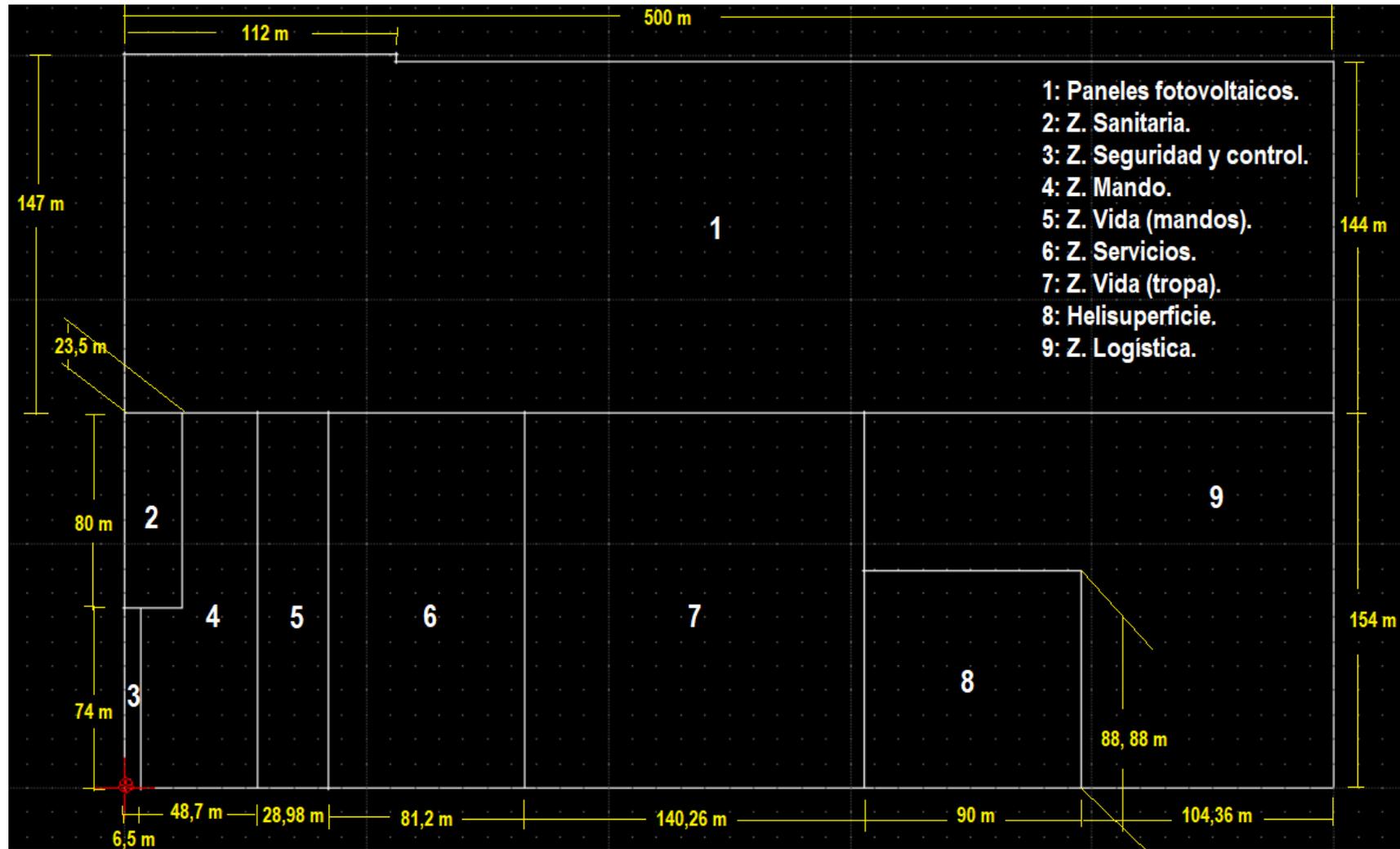


Ilustración 13: Croquis instalaciones.
Fuente: elaboración propia.

En la ilustración 14 se representa un croquis de las zonas que componen la base. Dicho croquis se ha elaborado con QCAD, software gratuito de diseño asistido por ordenador.

Para el cálculo de la zona ocupada por los paneles fotovoltaicos se han considerado las dimensiones del panel seleccionado (1x2 m) a las que se le han añadido 1 m de separación. Además, para evitar sombras, se ha considerado y solo para esta estimación, que los paneles se encuentran horizontales al suelo. De este modo se concluye que 12056 paneles ocupan:

$$12056 * 6 \text{ m}^2 / \text{panel} = 72\,336 \text{ m}^2$$

Siendo:

- $6 \text{ m}^2 / \text{panel}$: dimensiones del panel añadiéndole el metro de separación, es decir, 2x3 m

La disposición de los paneles se ha diseñado en 48 filas de 250 y 1 fila adicional de 56 paneles constituyendo el total necesario.

Únicamente se han diseñado a una altura, a fin de minimizar el perfil y ser por tanto menos visibles al mismo tiempo que es más fácil proporcionarles seguridad.

Dado que la base tiene una superficie total de 77084 m^2 , resulta imposible el que dichos paneles se encuentren en el interior. Por ello, se ha considerado el establecer dicha zona en las proximidades de la base a fin de poder proporcionarles mayor seguridad y evitar desplazamientos. Asimismo, se han dispuesto centralizados en una misma cara evitando el ponerlos alrededor de la base con el objetivo de no cerrar posibles vías de comunicación y restringir el campo visual lo menos posible.

4.3. Estudio de viabilidad económica

A continuación se hace una aproximación de los costes adquisición y coste de utilización de ambas alternativas, no incurriendo en coste de mantenimiento ni en ningún otro con el fin de conocer en un primer momento las necesidades de inversión. Para ello, se ha comparado la solución actual del Ejército de Tierra basada en los 6 grupos electrógenos de 600 KVA¹⁰ con la solución limpia basada en paneles fotovoltaicos.

4.3.1. Inversión y coste de utilización GE

Dada la imposibilidad de disponer de las características técnicas de los generadores eléctricos utilizados actualmente por el ET, estas se han aproximado tomando como referencia las características de generadores similares. Estos datos han sido facilitados por empresas del sector¹¹.

El precio unitario de un generador eléctrico varía según modelo y características de las mismas, oscilando entre 68 633,22 €¹² y 76 539,09 €¹³. El precio que se ha estipulado para la estimación se ha establecido en 72 000 €, por lo que el coste de adquisición de los 6 grupos electrógenos se estima en:

$$C_{\text{adquisición}} = 72\,000 * 6 = 432\,000 \text{ €}$$

Para el cálculo del precio del consumo de combustible se ha estipulado un consumo para un nivel de funcionamiento del 50% tal y como marca la doctrina citada en el apartado 1.2.

Las características de consumo, para el modelo MP-612Q de la empresa MODASA, se recogen en la siguiente ilustración:

¹⁰ No se han considerado los grupos electrógenos de 160 KVA citados en el apartado 1. 3. 1. destinados a las zonas del cuerpo de guardia y sanidad pues se ha considerado que por seguridad en el suministro eléctrico se desplegarían de todos modos tal y como se indica en el anexo A.

¹¹ Mayorista "V vendageneradores.net", SOMASA, EDMÍ y PERKINS.

¹² Precio para modelo: GRUPO ELECTRÓGENO MOTOR CUMMINS 650KVA.

¹³ Precio para modelo: PERKINS 625KVA insonorizado.



Consumo de combustible		
Velocidad del motor	1800RPM l/h	1500 RPM l/h
Potencia Stand by	141	143
Potencia prime	127	132
75% Potencia prime	95	97
50% Potencia prime	66	66

Tabla 8: Características motor generador MP-612Q.

Fuente: MODASA

Como se puede apreciar, el consumo para este modelo trabajando al 50% de sus posibilidades es de 66 l/h. Por lo que el consumo para los 4 generadores citados en el apartado 1.3.1. que están 24 horas en funcionamiento, se puede calcular:

$$\text{Consumo diesel}_{\text{anual}} = \text{Consumo medio}_{GE} * N_{GE} * 24 \text{ h} * 365 \text{ dias}$$

$$\text{Consumo diesel}_{\text{anual}} = 66 * 4 * 24 * 365 = 2\,312\,640 \text{ l/año}$$

Siendo:

- $\text{Consumo medio}_{GE}$: consumo medio del generador eléctrico.
- N_{GE} : número de generadores eléctricos funcionando simultáneamente.

Para el cálculo del coste de dicho combustible en Mali se ha tomado como precio del litro de diésel el proporcionado por Global Petrol Prices para el 16 de octubre de 2017 con una cifra constante de 1,04 €/l ya que dicha información tiene el carácter de material clasificado.

Se puede por tanto estimar el coste del combustible según la expresión:

$$C_{\text{diesel}}_{\text{anual}} = \text{Consumo diesel}_{\text{anual}} * P_{\text{diesel}}_{\text{litro}}$$

$$C_{\text{diesel}}_{\text{anual}} = 2\,312\,640 * 1,04 = 2\,405\,145,60 \text{ €}$$

Finalmente el coste total de la alternativa actual se puede expresar mediante la ecuación:

$$C_{GE} \text{ total} = C_{\text{adquisición}} + C_{\text{diesel}}_{\text{anual}} * N^{\circ} \text{ años a desplegar}$$

$$C_{GE} \text{ total} = 432\,000 + 2\,405\,145,60 * N^{\circ} \text{ años a desplegar}$$

4.3.2. Inversión y costes de utilización solución limpia

Los costes de utilización de esta alternativa son cero ya que el sol no tiene ningún coste de explotación. Por el contrario, para el desarrollo de esta alternativa es necesario el invertir en la adquisición de paneles, baterías, reguladores, inversores y cableado pese a que este último no entra dentro del alcance de este trabajo.

A continuación se listan los precios unitarios de adquisición de los diferentes componentes:

Elemento	Modelo	Precio unitario (€)
Batería	Surrete Rolls 4 KS 25 PS	1 165,82
Panel	CS3U 775MS	262,27 ¹⁴
Regulador	PVi 1600HD	231,29 ¹⁵
Inversor	Genérico	120 000

Tabla 9: Precios componentes instalación fotovoltaica.

Fuente: elaboración propia.

¹⁴ Para el precio de este panel se ha usado el del modelo de 320W Amerisolar Policristalino por ser el que más se asemeja a nuestro modelo dado que no ha sido posible conocer el del modelo utilizado para los cálculos.

¹⁵ Para el precio de este regulador se ha usado el del modelo Leo 10 35^a 48 V por ser el que más se asemeja a nuestro modelo dado que no ha sido posible conocer el del modelo utilizado para los cálculos.

De este modo los costes de adquisición se pueden estimar mediante:

$$C_{baterias} = N^{\circ} baterias * P_{unitario} bateria = (2352 + 55) * 1165,82 = 2\,806\,128,74 \text{ €}$$

$$C_{paneles} = N^{\circ} paneles * P_{unitario} panel = (12056) * 262,27 = 3\,161\,927,12 \text{ €}$$

$$C_{reguladores} = N^{\circ} reguladores * P_{unitario} regulador = 3991 * 231,29 = 923\,078,39 \text{ €}$$

$$C_{inversores} = N^{\circ} inversores * P_{unitario} inversor = 8 * 120\,000 = 960\,000 \text{ €}$$

$$\begin{aligned} C_{equipos} total &= C_{baterias} + C_{paneles} + C_{reguladores} + C_{inversores} \\ &= 2\,806\,128,74 + 3\,161\,927,12 + 923\,078,39 + 960\,000 \\ &= 7\,851\,134,25 \text{ €} \end{aligned}$$

4.3.3. Comparativa de costes: número de años a desplegar

En este apartado se calcula el número de años que tendría que estar la base operativa para que los costes de la solución limpia fuesen inferiores a la alternativa actual. La expresión mostrada a continuación se ha basado en la teoría de rentas considerando el desembolso en el momento inicial del proyecto para una renta constante. Se ha calculado usando los costes y no el valor actual neto de las alternativas por la imposibilidad de operar con una única ecuación y dos incógnitas. De este modo:

$$\begin{aligned} C_{equipos} total &\leq C_{GE} total \\ I_{0(p)} &\leq I_{0(GE)} + Q * \frac{1 - (1 + k)^{-n}}{k} \end{aligned}$$

Siendo:

- $I_{0(p)}$: inversión inicial de la solución limpia basada en paneles solares, es decir, únicamente $C_{equipos} total$ ya que para esta alternativa no se ha considerado ningún coste variable.
- $I_{0(GE)}$: inversión inicial de la solución actual basada en GE, es decir, $C_{adquisición}$ de los GE.
- Q : flujos de caja; la parte variable de la solución actual basada en GE, es decir, $C_{diesel} anual$ que además se ha considerado constante dado que se desconoce como fluctúa el precio del diésel en Mali.
- k : tipo de interés. Se ha establecido en el 1,901%¹⁶.
- n : Número de años a desplegar.

De la expresión anterior se despeja:

$$\begin{aligned} n &\geq \frac{-\log_{10}\left(-\frac{(I_{0(p)} - I_{0(GE)}) * k}{Q} + 1\right)}{\log_{10}(1 + k)} \\ n &\geq \frac{-\log_{10}\left(-\frac{(7\,851\,134,25 - 432\,000) * 0,01901}{2\,405\,145,60} + 1\right)}{\log_{10}(1 + 0,01901)} \end{aligned}$$

$$n \geq 3,20$$

Por tanto, los costes asociados a la alternativa limpia son inferiores siempre que las instalaciones sean usadas más de 3 años y 73 días.

¹⁶ Dato obtenido del histórico de tipo de interés del Tesoro Público promediando los bonos del año 2016.



5. Conclusiones

Inicialmente cuando se abordó este trabajo se estudiaron cuáles serían los objetivos del mismo para contribuir a desarrollar una posible solución energética limpia para una Brigada desplegada en zona de operaciones. Para ello se estudió la motivación de esta memoria, el estado del arte en cuanto a autosuficiencia energética en base a las renovables tanto de nuestro propio Ejército como de Ejércitos aliados y el conocimiento tanto de las políticas nacionales como europeas al respecto. Esta primera toma de contacto, reveló la gran importancia de las tecnologías renovables por las ventajas operativas que estas ofrecen, destacando entre ellas la independencia energética tanto con territorio nacional como a nivel Estrategia de Defensa Nacional, con otros países.

Posteriormente, se analizó el clima de la zona en la que desplegaría la Unidad con el fin de motivar la elección de la tecnología a usar y se compararon las ventajas, desventajas e impacto ambiental de todas ellas. Por las condiciones climáticas favorables, habituales de una zona tropical seca y la cercanía con el ecuador, se consideró que la tecnología más idónea es la energía solar fotovoltaica. Este resultado fue analizado mediante un DAFO para obtener la situación en la que se encuentra España y el Ejército para afrontar esa implantación en una de sus bases.

Posteriormente se consideraron las necesidades eléctricas para desplegar una Brigada en zona de operaciones y fue en este momento cuando surgió la primera problemática. Las necesidades eléctricas resultaron ser muy grandes por lo que sería necesario desplegar una cantidad de medios inviable para poder ser cumplimentadas. Llegado este punto, se consideró necesario evaluar la temática inicial y se terminó por reducir la entidad de la fuerza a desplegar a una Agrupación táctica de 1000 efectivos con el objetivo de reducir sus necesidades energéticas. Aun así, las necesidades seguían siendo considerables y se optó por reducir su nivel de alojamiento a un nivel 2 en base a tiendas modulares, configuración usada principalmente en las etapas más tempranas de una misión. Finalmente y continuando con esta memoria, se calcularon las necesidades energéticas siendo agrupadas en alumbrado exterior, agua caliente sanitaria y otros consumos donde se recogen los consumos de todos los electrodomésticos, equipos o medios desplegados. Se ha tratado durante toda la memoria hacer un estudio con la mayor verosimilitud posible a lo que podría ser un despliegue de una Agrupación táctica de infantería. Se especifica la especialidad fundamental para no considerar el que pudiesen desplegar sistemas de armas de otras especialidades que tendrían sus propias necesidades energéticas.

A continuación, se realizaron los cálculos de la cantidad de medios necesarios para una instalación solar fotovoltaica. Se ha usado el software PVsyst para conocer la integración de los elementos del sistema (panel, batería, regulador e inversor). Para el cálculo del número necesario de cada uno de ellos, se ha tomado como referencia el mes más desfavorable. Estudiando el suministro para este mes se cubren las necesidades de todos los demás. En consecuencia, surgió la segunda problemática de esta memoria. Pese a haber estudiado que las necesidades energéticas antes de realizar los cambios citados eran enormes, el número de paneles fotovoltaicos, baterías, regulares e inversores resultó ser relativamente grande. Por ello, considerando únicamente las dimensiones de los paneles solares suponen prácticamente la superficie de la base.

Finalmente se ha analizado los riesgos y la viabilidad tanto técnica como económica de la instalación. Técnicamente, la única solución viable para situar estos paneles, dado la superficie que ocupan, ha sido en las inmediaciones de la base. Se ha optado por distribuir las en el perímetro, tal y como se indica en el apartado 4.2. porque aun habiendo podido alojarlas en el interior se reduciría aún más los espacios y zonas de vida y más importante si cabe, estas instalaciones tienen riesgo de producir incendios por las altas temperaturas que las placas pueden llegar a alcanzar. Aquí ha sido donde ha surgido la tercera y última problemática. La vulnerabilidad a la que se expone la unidad desplegada con las instalaciones fotovoltaicas en sus proximidades, la gran extensión que estas ocupan y la gran dependencia energética por esta fuente de suministro convierten a las instalaciones en un objetivo altamente rentable para el enemigo.

En el ámbito económico, dicho trabajo se encuentra en una posición aventajada si únicamente se consideran los costes de adquisición ya que el estudio de viabilidad económica ha revelado que si el despliegue tiene una duración mínima de 3 años y 73 días los costes de adquisición de los componentes de la instalación son inferiores a la adquisición de los grupos electrógenos y su combustible durante ese

tiempo. Misiones como Afganistán que ha tenido una duración de 12 años, o la campaña Antártida que cumple 30 años este 2018 son ejemplos donde este trabajo tendría más opciones de ser viable.

Por todo ello, considerando el desarrollo de la tecnología actual, dicho TFG resulta inviable a la hora de poder ser puesto en práctica por nuestras unidades.

5.1. Líneas futuras de investigación

Por el contrario, en la elaboración de dicha memoria se ha podido dar a conocer el fuerte impulso de los sistemas de suministro de energías renovables portátiles. Estos sistemas en constante cambio, íntimamente ligados al avance tecnológico, están siendo ampliamente utilizados por otros ejércitos sobre todo en grupos de operaciones especiales permitiendo la carga de baterías o suministro de energía para sus medios.

Es por ello de esperar que el soldado del futuro termine llevando en su equipo individual o en el colectivo algún sistema de suministro eléctrico basado en las energías renovables.

Por último y suponiendo que en un tiempo próximo el desarrollo de esta tecnología fuese lo suficientemente grande, siempre habrá determinados sistemas que por necesidades operativas no pueden ser sustituidos por completo. Por ejemplo, los equipos médicos no pueden depender únicamente de fuentes de energía renovable por ser en su mayoría, fuentes de carácter interrumpido. Con el estudio realizado en la elaboración de esta memoria se puede prever que los grupos electrógenos que se usan a actualmente en los despliegues de nuestras FAS continuarán siendo desplegados ya sea como sistema auxiliar o para solventar posibles contingencias por la facilidad que supone el desplegarlos.



6. Bibliografía

- [1] J. J. Valero *et al.*, "Seminario 'Eficiencia energética en campamentos militares,'" Granada, 2014.
- [2] Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica, "Jornada monográfica: Sistemas de generación de energía y eficiencia energética en operaciones internacionales," 2011, p. 13.
- [3] Ejército de Tierra, "Estudio sobre campamentos en Zonas de Operaciones para unidades tipo Agrupación," 2005.
- [4] Defensa.com, "PC VERDE: La innovación de dos militares del ET capaz de suministrar energía a puestos de mando," 2017.
- [5] D. Sanz, "La Armada de EE UU realiza maniobras con biocombustibles," 2012. [Online]. Available: <https://energiasrenovadas.com/la-armada-de-ee-uu-realiza-maniobras-con-biocombustibles/>. [Accessed: 01-Oct-2017].
- [6] Third Fleet Public Affairs, "RIMPAC exercise to begin June 29 | Commander, U.S. Pacific Fleet," 2012. [Online]. Available: <http://www.cpf.navy.mil/news.aspx/000846>. [Accessed: 02-Oct-2017].
- [7] J. Garulo, "Finalizada la mayor instalación de energía solar fotovoltaica en una base estadounidense | Onemagazine," *One Magazine*, 2013. [Online]. Available: <http://www.onemagazine.es/noticia/11879/business/finalizada-la-mayor-instalacion-de-energia-solar-fotovoltaica-en-una-base-estadounidense.html>. [Accessed: 12-Sep-2017].
- [8] Sala de prensa ACCIONA, "ACCIONA Energía, seleccionada por el Ejército de EE.UU. para desarrollar proyectos solares en sus instalaciones," 2013. [Online]. Available: <https://www.acciona.com/es/salaprensa/noticias/2013/septiembre/acciona-energia-seleccionada-por-el-ejercito-de-eeuu-para-desarrollar-proyectos-solares-en-sus-instalaciones/>. [Accessed: 12-Sep-2017].
- [9] Sala de prensa ACCIONA, "ACCIONA, seleccionada también para proyectos eólicos por el Ejército de EEUU," 2013. [Online]. Available: <https://www.acciona.com/es/noticias/acciona-seleccionada-tambien-para-proyectos-eolicos-por-el-ejercito-de-eeuu/>. [Accessed: 12-Sep-2017].
- [10] Energy News, "El Ejército español tendrá electricidad renovable | EnergyNews.es," 2015. [Online]. Available: <https://www.energynews.es/todas-las-instalaciones-del-ministerio-de-defensa-se-alimentaran-de-electricidad-renovable/>. [Accessed: 12-Sep-2017].
- [11] Jefatura de Adiestramiento y Doctrina de Logística, "Estudio sobre las aplicaciones de la energía solar para equipos militares." MADOC, Calatayud, pp. 1–21, 2009.
- [12] M. Bettex, "In the World: Drinking water, from sunshine | MIT News," 2010. [Online]. Available: <http://news.mit.edu/2010/itw-portable-desalination-1015>. [Accessed: 12-Sep-2017].
- [13] F. J. Suárez, "Estudio geotermia superficial y arquitectura de tierra para empleo en campamentos militares." DIDOM, Granada, pp. 1–16, 2015.
- [14] Secretario de Estado de Defensa, *Instrucción 56/2011, de 3 de agosto, sobre sostenibilidad ambiental y eficiencia energética en el ámbito del Ministerio de Defensa*. España, 2011, p. 4.
- [15] European Commission, "Europa 2020: Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador," *Com(2010) 2020*, vol. 1, pp. 1–119, 2010.
- [16] G. Martínez, "IMPACTO DE LA ENERGÍA EN EL MEDIO AMBIENTE. LAS ENERGÍAS RENOVABLES.," 2012. [Online]. Available: <http://www.eoi.es/blogs/galirmartinez-barros/2012/11/24/impacto-de-la-energia-en-el-medio-ambiente-las-energias-renovables/>. [Accessed: 05-Aug-2017].
- [17] R. Jimenez, "Energías renovables aplicadas a las operaciones militares." Escuela Superior de las Fuerzas Armadas, p. 58, 2013.
- [18] J. C. I. Borbón, *Real decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*. 2006.
- [19] MADOC, *Manual técnico. Tienda modular polivalente de estructura exterior*. Ejército de Tierra Español, 2013.
- [20] J. J. Romero, M. Á. Conde, P. M. Hermoso, J. M. Pérez, J. M. Pemán, and J. De la Puerta, "Material de vida y campamento." Granada, 2003.
- [21] J. C. I. Borbón, *Ley Orgánica 5/2005, de 17 de noviembre, de la Defensa Nacional*. 2005, p. 5.

7. Anexos

Anexo A Consumos por zonas.

Esta tabla se ha elaborado a partir de los datos proporcionados por: [3], [19], [20]

		Unidades	Potencia (W)	Potencia (KW)	Factor de simultaneidad	Horas de uso	Consumo (kw*día)
Zona de seguridad y control	tienda colectiva	3					
	contenedor de ablución mixto (WC y duchas)	1					
	lámpara 2x36W (por tienda)	2x3	36	0,036	0,9	4	0,7776
	plafón 200W (por contenedor de ablución)	2x1	200	0,2	0,7	4	1,12
	teléfono	1	25	0,025	1	24	0,6
	ordenador	1	120	0,12	1	24	2,88
							consumo zona
Zona de mando	tienda alojamiento	39					5,3776
	tienda colectiva	16					
	contenedor ablución WC	4					
	plafón 200W (por contenedor de ablución)	2x4	200	0,2	0,3	4	1,92
	lámpara 2x36W (por tienda)	2x55	36	0,036	0,7	4	11,088
	ordenador	16	120	0,12	0,5	24	23,04
	impresora	2	150	0,15	0,95	24	6,84
	teléfono	16	25	0,025	0,3	24	2,88
	módulos aire acondicionado (solo CECOM y PLMM)	10	1010	1,01	0,7	5	35,35
	proyector	2	20	0,02	0,5	1	0,02
	Shelter transmisiones	1	10000	10	0,8	24	192



								consumo zona
Zona de vida	tienda alojamiento	362						273,138
	contenedor ablución WC	12						
	contenedor ablución duchas	12						
	lámpara 2x36W (por tienda)	2x362	36	0,036	0,85	4		88,6176
	plafón 200W (por contenedor de ablución)	2x24	200	0,2	0,9	2		17,28
	carga teléfono móvil	1000	5	0,005	0,65	3		9,75
	ordenador portátil	800 (1)	45	0,045	0,65	1		23,4
	máquina de afeitar	500 (2)	30	0,03	0,9	0,08333		1,124955
	secador	12	400	0,4	0,8	0,166666		0,63999744
								consumo zona
Zona de servicios	tienda alojamiento	10						140,8125524
	tienda colectiva	89						
	televisión	4	200	0,2	0,9	8		5,76
	arcón frigorífico	4	300	0,3	1	24		28,8
	lámpara 2x36W (por tienda)	2x99	36	0,036	0,8	4		22,8096
	módulos aire acondicionado (solo cantinas)	4	1010	1,01	0,95	5		19,19
	ordenador	5	120	0,12	0,6	8		2,88
	teléfono	5	25	0,025	0,6	8		0,6
	router	2	6	0,006	0,95	24		0,2736
	bicicleta estática	5						
	bicicleta elíptica	5						
	ergómetro	5						
	cinta de correr	5	18	0,018	0,8	9		0,648
	plancha eléctrica industrial	2x2	8000	8	0,8	4		102,4
	placa eléctrica cocina	4x2	3500	3,5	0,7	4		78,4
	campana extractora 75W	2x2	75	0,075	0,6	4		0,72

	cortadora fiambre	2x2	240	0,24	0,6	0,5	0,288
	batidora/trituradora	2x2	1100	1,1	0,6	0,5	1,32
	horno convención 7 bandejas	2x2	7500	7,5	0,7	4	84
	microondas	2x2	2000	2	0,7	1	5,6
	hervidor de agua	2x2	3000	3	0,7	3	25,2
	freidora 8 litros	2x2	6600	6,6	0,8	3	63,36
	plafón 200W (módulos cocina)	4	200	0,2	0,95	4	3,04
	contenedor frigorífico	8	6000	6	0,7	24	806,4
	contenedor isoterma víveres	4					
	lavadoras 9kg	10	7000	7	0,8	5	280
	secadora 9 kg	10	5600	5,6	0,8	5	224
							consumo zona
Zona logística	tienda colectiva	19					1755,6892
	tienda carpa	10					
	contenedores isoterma especiales para transporte de munición	18					
	ordenador	2	120	0,12	0,8	24	4,608
	impresora	1	150	0,15	1	2	0,3
	equipo shelter almacén (3)	1	2000	2	0,5	3	3
	equipo shelter armamento (3)	1	10000	10	0,5	5	25
	lámpara 2x36W (por tienda)	2x29	36	0,036	0,8	4	6,6816
							consumo zona
Zona asistencia sanitaria	Por la función que esta zona desempeña, no se ha considerado en este proyecto dada la imposibilidad de verse ininterrumpido el suministro eléctrico para esta zona. La Doctrina actual, tal y como se refleja en el apartado 1. 3. 1., ya recoge el destinar grupos electrógenos exclusivamente para el desempeño de estas funciones						39,5896
							coeficiente de simultaneidad
							0,7
							TOTAL
							1550,224867



Anexo B

Características componentes instalación fotovoltaica

Nota: datos obtenidos de la base de datos de PVsyst

Modelo	500 kWac inverter	Fabricante	Generic
N. archivo	Generic_500kW.OND	Origen de datos	Generic device
	Original PVsyst database		Prod. desde 2012

Lado entrada (Campo FV CC)		Lado salida (Red CA)	
Tensión MPP Mínima	320 V	<input type="radio"/> Monophased	Frecuencia
Tensión Mínima para Pnom	N/A V	<input checked="" type="radio"/> Triphased	<input checked="" type="checkbox"/> 50 Hz
Maximum input current	N/A A	<input type="radio"/> Biphased	<input type="checkbox"/> 60 Hz
Tensión MPP Nominal	380 V	Tensión de Red	400 V
Tensión MPP Máxima	700 V	Potencia nominal CA	500 kW
Tensión FV máx Absoluta	1000 V	Potencia máxima CA	500 kW
Umbral Potencia	5000 W <input type="checkbox"/> Default	Corriente CA nominal	723 A <input type="checkbox"/>
		Corriente CA máxima	800 A <input type="checkbox"/>
Especificación contractual, sin significado físico verdadero.	Obligatorio	Eficiencia	
Potencia nominal FV	625 kW	Eficiencia máxima	97.50 %
Potencia máxima FV	650 kW <input type="checkbox"/>	Eficiencia EURO	96.80 %
Corriente máxima FV	N/A A <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Eficiencia definida para 3 tensiones	

Ilustración 5: Características inversor

Model	PVi 1600HD eco	Manufacturer	AEG Power solutions
File name	AEG_PVi_1600.RLT	Data Source	Manufacturer
	Original PVsyst database		

Device general features		Electrical characteristics	
Technology	MPPT converter	Max. charging current	33.3 A
Data Display	LEDs	Max. discharging current	30.0 A
Control mode	<input checked="" type="radio"/> Battery Voltage <input type="radio"/> SOC based	Max. back-up current	33.0 A
Back-up genset	<input checked="" type="checkbox"/> Managed <input type="checkbox"/> Effectively used	Converter nom. power	1600 W
Battery Temperature compensation	Type: External sensor <input type="checkbox"/> Default Correction coefficient: -5.0 mV/°C <input checked="" type="checkbox"/> Reference temperature: 20 °C <input checked="" type="checkbox"/>	Self consumption	62.0 mA
		Night consumption	6.0 mA
		Associated Battery Pack	
		Technol.	Pb-ácido, cerrada, Gel
		Battery pack voltage	48 V
		<input type="checkbox"/> Switchable 2nd voltage	

Ilustración 6: Características regulador

Description **AEG Power solutions, PVi 1600HD eco**

Input side (DC PV field)		Output (Battery and Load)	
Minimum MPP Voltage	170 V	Nominal output voltage	48 V
Maximum MPP Voltage	420 V	Nominal Output Power	1.60 kW
Maximum Array Voltage	420 V	Maximal Output Power	1.60 kW
Power Threshold	15.0 W	Nominal Output Current	33.3 A

Efficiency	
Maximal efficiency	93.5 %
European normalised average efficiency :	92.5 % 

Values for the automatic profile

Ilustración 7: Eficiencia regulador

Model	4-KS-25PS	Manufacturer	Rolls
File name	Rolls_4_KS_25PS.BTR	Data Source	Web 2006

New object

Technology Pb-ácido, cerrada, placas

Basic parameters	
Number of Elements	2
Nominal Voltage	4.0 V
Nominal Capacity (C10)	1121 Ah
Internal Resistance	1.78 <input checked="" type="checkbox"/> mOhm
Coulombic Efficiency	97.0 % 

Values	
<input type="radio"/>	Per element
<input checked="" type="radio"/>	Whole battery

Sizes	
Width	270 mm
Depth	629 mm
Height	400 mm
Weight	145.0 kg

Indicators	
Stored energy (80% DOD)	3.59 kWh
Specific energy	25 Wh/kg
Specific weight	40 kg/kWh

Ilustración 8: características batería



Modelo	CS3U-375MS		Fabricante	Canadian Solar Inc.	
N. archivo	Canadian_CS3U-375MS.PAN		Origen datos	Manufacturer 2017 TUV-SUD c	
	Original PVsyst database		Prod. desde 2017		

Potencia nominal **375.0** Wp Tol. +/- **0.0** **1.3** % Tecnología **Si-mono**

(en STC)

Especificaciones del fabricante o otras medidas					
Cond. de referencia:	GRef	1000	W/m ²	TRef	25 °C
Corriente de cortocircuito	Isc	9.930	A	Circuito abierto Voc	47.60 V
Punto Potencia Máximo:	Imp	9.430	A	Vmpp	39.80 V
Coeficiente de temperatura	milsc	5.0	mA/°C	N* células	72 x 2
	o milsc	0.050	%/°C		

Resultado del modelo interno	
Cond. de funcionamiento	GOper 1000 W/m ² TOper 25 °C
Punto Potencia Máximo:	Pmpp 375.3 W Coef. temperatura -0.36 %/°C
Corriente Imp	9.43 A Tensión Vmpp 39.8 V
Corriente de cortocircuito Isc	9.93 A Circuito abierto Voc 47.6 V
Eficiencia / Sup. células	21.33 % / Sup. módulo 18.92 %

Resumen del modelo	
Parámetro principal	
R paral.	600 ohm
Rp (G=0)	2500 ohm
R serie modelo	0.24 ohm
R serie máx.	0.26 ohm
R serie aparente	0.42 ohm
Parámetros modelo	
Gamma	0.957
Io Ref	0.02 nA
muVoc	-149 mV/°C
miPmáx fijado	-0.37 /°C

Ilustración 9: Características paneles

Anexo C

Matriz “Análisis de riesgos”

vol	Descripción riesgo	Causa del riesgo	Impacto (bajo, medio, alto)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo	Efectos riesgo	Medida	Clase riesgo tras implementar medida
1	En caso de alojarse sobre fachadas; riesgo de caída sobre personal	Mal montaje o deterioro de las instalaciones	H	2	2H	daños o muerte de personal	realización de inspecciones periódicas	1H
2	En caso de alojarse sobre fachadas; estas instalaciones se caracterizan por la presencia de puntos calientes que pueden producir incendios	deterioro de las instalaciones	M	2	2M	afectar al resto de la edificación	mantenimiento y reposición de los componentes que presenten signos de deterioro	1M
3	En caso de alojarse sobre fachadas; caída de personal por la realización de labores de mantenimiento e inspección	elementos de seguridad en malas condiciones	H	2	2H	daños o muerte de personal	realización de inspecciones periódicas	1H
4	Estas instalaciones se caracterizan por la presencia de puntos calientes que pueden producir incendios	deterioro de las instalaciones	H	2	2H	incendios de gran extensión	instalación de equipos contra incendio	1L
5	Perdida de suministro eléctrico por sombras	Edificación o plantación de cultivos en los alrededores de la instalación	M	2	2M	perdida de rendimiento de las instalaciones	Establecimiento de una zona de seguridad en los alrededores	1L
6	Daños por fenómenos naturales	fenómenos naturales extremos	M	2	2M	inutilización de las instalaciones	Reforzar estructuras de soporte, implantación de sistemas de puestas a tierra	2L
7	Escasez de repuestos	cadena logística interrumpida debido al despliegues en zonas aisladas	H	3	3H	inutilización de las instalaciones	Disponer de talleres y personal cualificado que pueda solventar el problema en la zona a desplegar	3M
8	Aumento de nubosidades	cambio climático	H	1	1H	deficit en el suministro eléctrico	disponer de otras fuentes de energía alternativas	1M
9	Pérdida de terrenos cultivables	Ocupación de grandes extensiones de terreno	H	1	1H	descontento social, desnutrición	planes de compensación a los locales (puestos de trabajo)	1M
10	Desplazamientos de la fauna local	Ocupación de grandes extensiones de terreno	M	2	2M	alteración del ecosistema	Establecer reservas naturales	2L
	Objetivo rentable	Instalaciones muy características y vulnerables a ataques enemigos	H	3	3H	inutilización de las instalaciones	Destinar personal para proporcionar seguridad a las instalaciones	3M
11	Impacto paisajístico	Construcción de instalaciones ajenas al medio	L	2	2L	descontento social	Instalación en zonas lejanas a núcleos de población	1L