

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Elena Gallego Morge

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Viabilidad de la implantación de un sistema solar fotovoltaico para suministro eléctrico de una base militar en zona de conflicto que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar "marcas de agua" o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que

pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 17 de Julio de 2018

ACEPTA



Fdo... Elena Gallego Monje

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

**VIABILIDAD DE LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR
FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO DE UNA BASE MILITAR
EN ZONA DE CONFLICTO**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2017/2018 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Elena Gallego Monge

Fecha: 17... / 07... / ..18.

Autorizada la entrega del proyecto
LOS DIRECTORES DEL PROYECTO



Fdo.: M. Mar Cledera Castro y Carlos Morales Polo Fecha: 17... / 07... / ..18..

Deseo expresar mi gratitud al Instituto Tecnológico La Marañosa y SEADA del Ejército del Aire por su valiosa colaboración para el desarrollo de este proyecto.

A mi familia, y en especial a mi padre, por su paciencia, comprensión y tiempo dedicado en mí. GRACIAS.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

INGENIERO INDUSTRIAL

**VIABILIDAD DE LA IMPLANTACIÓN DE UN
SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA
SUMINISTRO ELÉCTRICO DE UNA BASE
MILITAR EN ZONA DE CONFLICTO.**

Autor: Elena Gallego Monge

Directores: María del Mar Cledera Castro

Carlos Morales Polo

Madrid

Julio, 2018

VIABILIDAD DE LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO DE UNA BASE MILITAR EN ZONA DE CONFLICTO

Autor: Gallego Monge, Elena.

Directores: Cledera Castro, María del Mar. / Morales Polo, Carlos.

Entidad colaboradora: ICAI-Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

I. INTRODUCCIÓN.

Actualmente la situación energética viene dada principalmente por la gran explotación de los combustibles fósiles que se ha llevado a cabo a lo largo del siglo XX. Sin embargo, se trata de recursos no renovables, lo que desencadena que no sean de utilidad a largo plazo. Los combustibles fósiles tienen una fecha de caducidad cercana si se siguen utilizando como hasta ahora, según los expertos. Las reservas de gas natural se tienen para seis décadas más, las de petróleo para cuatro décadas, y las de carbón para aproximadamente 150 años. Por este motivo, en los últimos años se está incrementando el uso de energías renovables, y gracias a ello ha aumentado la conciencia social respecto al cuidado y preservación del planeta. De esta manera, son las energías renovables las que están comenzando a cubrir algunas de las necesidades energéticas, así como el uso de vehículos eléctricos y/o de pilas de combustible como sistemas de transporte sostenibles.

En los últimos años se ha visto damnificado considerablemente el agujero de la capa de ozono debido al aumento de los gases de efecto invernadero a causa del uso excesivo de las energías convencionales. Así, como punto de partida, se acuerda el Protocolo de Kioto del Convenio Marco sobre Cambio Climático de la ONU (UNFCCC) en el año 1997, presentando como principal reto la disminución de los gases de efecto invernadero a la atmósfera para conseguir reducir el calentamiento global. En los años posteriores, destacan entre otros, el programa Horizonte 2020 y la COP21 celebrada en París en 2015, los cuales siguen ampliando los acuerdos necesarios para conseguir los objetivos que se desean alcanzar.

Las Fuerzas Armadas también deben evolucionar en el ámbito energético. Se debe propiciar el uso de nuevas fuentes de energía, de tal forma que desencadene, entre otros factores, en una menor dependencia exterior de combustible en las misiones en el extranjero. Por ello, desde hace unos años, se está investigando nuevas formas de

obtención de la energía. Particularmente, las Fuerzas Armadas Españolas junto con el Ministerio de Defensa, se han centrado en diferentes proyectos, algunos de ellos, en vías de desarrollo. Este punto resulta de gran relevancia e interés en el TFM.

Se debe destacar las nuevas mejoras en la tecnología solar fotovoltaica, obteniendo nuevos productos que hacen que las instalaciones fotovoltaicas lleguen a ser más óptimas. Principalmente destaca la celda flexible, caracterizada por presentar un fácil montaje y ser muy ligera, lo que permite que pueda transportarse e instalarse en cualquier emplazamiento.

Sin embargo, a pesar de todas las ventajas de las energías renovables, a día de hoy, deben complementarse con las energías convencionales. Es por ello, que en el presente proyecto se hace uso de grupos electrógenos, de tal forma que pueda ser satisfecho adecuadamente el consumo energético. Estos equipos permiten generar electricidad en aquellos emplazamientos en los que resulta difícil la llegada de la red eléctrica o los cortes en el suministro eléctrico ocurren con frecuencia.

Con todo ello, se ofrecen nuevas respuestas a la demanda energética en las misiones, disminuyendo el impacto ecológico en la zona y logrando una progresiva reducción del uso de los combustibles fósiles. Para llevarlo a cabo en el ámbito del Ejército se deben adaptar soluciones tecnológicas medioambientales aceptables, que sean viables económicamente y que la logística pueda realizarse en condiciones de seguridad y fiabilidad.

El despliegue de las Fuerzas Armadas en las diferentes misiones internacionales se encuentra en ocasiones con la dificultad de garantizar el correcto aprovisionamiento de suministros, buscando conseguir la autonomía y viabilidad del despliegue de las tropas militares. Además, la mayor concienciación medioambiental de la sociedad lleva a la búsqueda de modelos de gestión más sostenibles y nuevas soluciones innovadoras que logren disminuir el impacto ambiental y la huella ecológica en los emplazamientos donde las misiones internacionales se despliegan. De esta manera, la generación eléctrica se trata de un recurso indispensable que debe responder a las necesidades de la tropa. Se debe precisar de fuentes de energía seguras y fiables que sean capaces de abastecer la demanda energética de las necesidades operacionales. Del mismo modo, se tiene que garantizar la alimentación constante de aquellos equipos que no puedan interrumpir su funcionamiento.

De esta manera, el TFM se centra en una base militar en zona de conflicto, siendo los casos de estudio los que se explican a continuación. Las bases generalmente cubren su demanda eléctrica gracias a los grupos electrógenos de los que dispone. Por un lado, los grupos electrógenos deben estar provistos de combustible, que se ha de trasladar a la base. Sin embargo, se debe considerar las situaciones de emergencia que se pueden ocasionar. En el caso de que se produzca un conflicto en las inmediaciones y la base no pueda ser aprovisionada de combustible para los grupos (en numerosas ocasiones, los

camiones que trasladan el combustible son explosionados por los grupos terroristas para que la base no tenga provisiones), y como consecuencia, la demanda no pueda ser cubierta, entonces se dimensiona un sistema solar fotovoltaico que sea capaz de suplir el consumo eléctrico en tal situación. Asimismo, se pueden producir fallos en los grupos, lo que conllevaría el uso del sistema solar, como en el caso anterior. En estas situaciones, el consumo eléctrico que se desea satisfacer correspondería a la demanda eléctrica de primera necesidad, es decir, aquel consumo que debe ser cubierto de manera ininterrumpida, dado que abastecer únicamente la energía eléctrica con la instalación fotovoltaica conllevaría un dimensionado de grandes magnitudes. Esto podría desencadenar en un proyecto poco viable por el elevado coste, así como problemas de espacio en la instalación de los módulos solares fotovoltaicos. Por otro lado, se tiene que considerar igualmente las situaciones de no emergencia (situación normal) en la base militar. En este caso, la demanda eléctrica se cubriría tanto con los grupos electrógenos como con la energía aportada por la instalación solar fotovoltaica.

Por ello, en relación a las operaciones internacionales que desarrollan las Fuerzas Armadas, el consumo eléctrico de una base militar en zonas de conflicto a día de hoy se cubre únicamente con grupos electrógenos. Así, en resumen, el objetivo del TFM se centrará en la implementación de un sistema solar fotovoltaico, que con ayuda de los grupos electrógenos abastezcan el consumo eléctrico de una base militar. Este hecho resulta de gran interés dado que en situaciones de emergencia, en las cuales no dispongan de combustible para los grupos electrógenos o de fallo en los grupos, dispongan de la instalación fotovoltaica, aprovisionada de baterías, para así poder cubrir la demanda eléctrica. Así, por motivos de seguridad, se estudia dicha opción, permitiendo cubrir el consumo eléctrico en situaciones de emergencia.

De esta manera se consigue aprovechar los recursos energéticos de la zona de manera integral para el abastecimiento energético de la instalación objeto de estudio. Así, la base militar se ubica en Malí (África), en Bamako. Desde 2013 se está desarrollando en Malí la misión militar EUTM-Malí. En ella, las Fuerzas Armadas Españolas se encargan de proporcionar entrenamiento militar y asesoramiento al Ejército maliense, así como ayuda en las cadenas de control, mando y logística, y gestión de recursos humanos y derecho internacional humanitario. A principios de este año 2018, España ha tomado el mando de la misión. El principal reto en este mandato es el desafío que supone el retorno de los yihadistas que han combatido en Siria e Irak. Por ello, el conflicto acontecido actualmente en la zona de Malí es el motivo de la elección de este emplazamiento.

En conclusión, el TFM tiene como objetivo instalar un sistema eléctrico, aislado de la red, constituido por grupos electrógenos y una instalación solar fotovoltaica.

II. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Para llevar a cabo un correcto dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica y los grupos electrógenos, aislado de la red eléctrica, es necesario realizar un estudio en detalle. Para ello, se tienen que recopilar datos del emplazamiento seleccionado en que se ubica la base militar de estudio, su consumo eléctrico en situación normal y de emergencia, las condiciones climatológicas, etc.

La base militar ubicada en Malí se caracteriza por presentar unas condiciones climatológicas favorables para la implementación del sistema solar fotovoltaico. Entre otros factores considerados, cabe destacar que la temperatura media en Bamako es 27,8 °C, la radiación solar en la zona es considerablemente elevada y la duración del día en el país apenas varía a lo largo del año.

La base militar se diseña para alojar a 40 militares en 28 módulos portátiles con una superficie de 40 o 20 m² según las necesidades de utilización. La demanda energética de la base viene dada por los equipos que debe disponer la Unidad para desempeñar correctamente su trabajo (iluminación, ordenadores, satélite de comunicación, frigoríficos, etc.), para la cual se debe distinguir dos situaciones. Por un lado, la situación normal, en la cual todos los equipos de la base militar están funcionando, de tal forma que se cubre el 100% de la demanda eléctrica mediante los grupos electrógenos y el sistema solar fotovoltaico. Y por otro lado, la situación de emergencia, provocada por fallo en los grupos electrógenos (fallo eléctrico/ no hay diésel), en la que únicamente están funcionando los equipos que deben funcionar de manera ininterrumpida, cuyo consumo se cubre gracias al sistema solar fotovoltaico.

Para dimensionar la instalación solar fotovoltaica se debe tener en cuenta las necesidades energéticas de la base militar, para así cubrir su consumo eléctrico. Y para ello, ha de realizarse un estudio de la demanda eléctrica. Asimismo, para poder cubrir la demanda eléctrica mediante módulos fotovoltaicos es importante reducir lo máximo posible el consumo, para que de esta forma resulte viable el proyecto. De esta manera, se ha tenido en cuenta el concepto de eficiencia energética, tan en auge hoy en día. Para ello, tanto los equipos como la iluminación se seleccionan cumpliendo este requisito. Se ha conseguido mediante iluminación de bajo consumo y leds, así como los equipos de ordenadores, televisiones o frigoríficos que cumplan con dichas especificaciones.

Se trata de un sistema aislado de la red eléctrica, por lo que la instalación eléctrica diseñada debe realizarse para satisfacer el 100% del consumo eléctrico. También se incluyen baterías de acumulación de tal forma que se pueda cubrir la demanda eléctrica cuando la climatología no sea la favorable.

De esta manera, con el consumo eléctrico estimado de la base militar y el estudio de la radiación solar en el emplazamiento de Malí, con sus cálculos oportunos, se lleva a cabo el diseño de la instalación solar fotovoltaica, seleccionando la opción más económica

que permita alcanzar la viabilidad del proyecto. El dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica tiene que realizarse teniendo en cuenta el mes más desfavorable, de tal forma que el sistema pueda funcionar de manera correcta sin que las condiciones climatológicas sean las adecuadas. Asimismo, se debe estudiar la selección de la proporción más adecuada de cada fuente de energía, teniendo en cuenta para ello las dos situaciones que se deben estudiar.

A partir de los resultados obtenidos, se calculan los costes totales de los equipos necesarios para satisfacer la demanda eléctrica de la base, tanto la instalación solar fotovoltaica como los grupos electrógenos. Asimismo, se lleva a cabo un análisis de rentabilidad, de tal forma que a priori se pueda conocer la viabilidad del proyecto, empleando para ello, un período de tiempo de 20 años, dado que los análisis de rentabilidad se estudian con pronósticos de futuro. En este caso, se debe tener en cuenta que la instalación solar y los grupos electrógenos implican una mayor seguridad en el suministro eléctrico. De este modo, se debe tener en cuenta que en Malí el suministro eléctrico sufre mayores cortes de electricidad que en España, lo que conlleva que prime la seguridad en el abastecimiento eléctrico frente a otros factores.

III. RESULTADOS.

Los costes de la instalación solar fotovoltaica y los grupos electrógenos, obtenidos a partir del diseño realizado, se muestran a continuación. En la elección de los equipos se considera que el coste sea lo más óptimo posible, y que el peso total de todos ellos y el volumen que ocupan sea el mínimo posible. Este último requisito resulta de gran relevancia, dado que se debe considerar el traslado en avión de todos los equipos desde España hasta Malí, donde se ubica la base militar. Por este motivo, entre todas las posibles opciones de elección de los equipos, en determinados casos se ha dado prioridad al peso y volumen frente al coste.

La instalación solar fotovoltaica está formada por los módulos fotovoltaicos y los reguladores de carga. Su coste total asciende a 67.417,80€.

Coste total módulos fotovoltaicos [€]	60.379,80
Coste total reguladores (solar) [€]	7.038,00
COSTE TOTAL (EQUIPOS) INSTALACIÓN SOLAR [€]	67.417,80

Peso total todos los módulos fotovoltaicos [kg]	351,00
Peso total todos los reguladores [kg]	20,40
PESO TOTAL (EQUIPOS) INSTALACIÓN SOLAR [kg]	371,40

Volumen/espacio que ocupan todos los módulos fotovoltaicos [m³]	0,461
Volumen/espacio que ocupan todos los reguladores [m³]	0,032
VOLUMEN TOTAL (EQUIPOS) INSTALACIÓN SOLAR [m³]	0,493

Asimismo, resultan necesarios las baterías e inversores, ya que las baterías son las encargadas de acumular la energía eléctrica que no está siendo utilizada en el momento, de tal forma que se asegure el abastecimiento de suministro eléctrico en la base militar en cualquier situación, y los inversores permiten la conversión de corriente continua en corriente alterna en los equipos que lo requieran. El coste total de las baterías e inversores es 75.150,42€.

Coste total baterías [€]	73.540,32
Coste total inversores [€]	1.610,10
COSTES (EQUIPOS) BATERÍAS+INVERSORES[€]	75.150,42

Peso total todas las baterías [kg]	11.524,00
Peso total todos los inversores [kg]	16,38
PESO TOTAL (EQUIPOS) BATERÍAS+INVERSORES [kg]	11.540,38

Volumen/espacio que ocupan todas las baterías [m³]	5,273
Volumen/espacio que ocupan todos los inversores [m³]	0,035
VOLUMEN TOTAL (EQUIPOS) BATERÍAS+INVERSORES [m³]	5,308

Y el coste total de los grupos electrógenos es 2.248,20€.

COSTE TOTAL GRUPOS ELECTRÓGENOS [€]	2.248,20
--	-----------------

PESO TOTAL GRUPOS ELECTRÓGENOS [€]	224,00
---	---------------

VOLUMEN TOTAL GRUPOS ELECTRÓGENOS [m³]	0,41
--	-------------

De esta forma, el coste total de la instalación solar fotovoltaica y los grupos electrógenos que abastecerán el consumo eléctrico de la base militar situada en Bamako,

Malí, asciende a 144.816,42€. Este coste no incluye cableado ni demás soportes auxiliares o mantenimiento.

COSTES TOTALES [€] INSTALACIÓN SOLAR +BAT./INV.	142.568,22
COSTES TOTALES [€] GRUPOS ELECTRÓGENOS	2.248,20
COSTES TOTALES [€] INSTALACIÓN	144.816,42

IV. CONCLUSIONES.

El estudio de rentabilidad que se realiza con los resultados obtenidos permite concluir que actualmente el proyecto no sería rentable en un período de 20 años. Cabe destacar que el coste se debe principalmente a las placas solares flexibles, las cuales se trata de una tecnología que se ha ido desarrollando en los últimos años, lo que conlleva que a día de hoy no sean las más baratas del mercado. Sin embargo, resultan necesarias para la instalación, ya que permiten un fácil traslado en avión por su reducido peso y volumen en comparación a otro tipo de placas solares fotovoltaicas. Asimismo, permiten la implementación en cualquier emplazamiento gracias a la flexibilidad que presentan. De igual manera, las baterías son el otro equipo del sistema que supone el precio principal de la instalación. A pesar de ello, son necesarias para permitir y asegurar el suministro eléctrico en la base militar en las situaciones requeridas. A pesar de la no rentabilidad del proyecto, éste se lleva a cabo por temas de seguridad en el suministro eléctrico, por lo se debería buscar otras posibles soluciones más baratas como alternativa, que cumplan como mínimo los mismos requisitos de seguridad.

Asimismo, los grupos electrógenos presentan un coste muy reducido en comparación al conjunto de la instalación solar fotovoltaica. Sin embargo, se desea incluir el sistema de renovable para asegurar la continuidad en el suministro eléctrico de la base militar en aquella situación de emergencia en la que resulte necesaria.

Finalmente, cabe destacar que las energías renovables tiene un papel cada vez más importante en el panorama eléctrico, lo que origina que se incluyan en la mayoría de los nuevos proyectos que se van realizando a día de hoy. Sin embargo, resulta de gran interés e importancia la inversión de los países en programas de I+D+i (investigación, desarrollo e innovación), de tal forma que se sigan mejorando las actuales tecnologías para conseguir instalaciones más eficientes, seguras y con una mayor rentabilidad, así como la investigación en nuevas alternativas que mejoren las presentes.

FEASIBILITY STUDY FOR THE IMPLEMENTATION OF A SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM SUPPLYING ELECTRICITY IN A MILITARY BASE IN CONFLICT AREA

ABSTRACT

I. INTRODUCTION.

Today, the energy situation is mainly due to the great exploitation of fossil fuels that has taken place throughout the twentieth century. However, these are non-renewable resources, which means they are not useful in the long term. Fossil fuels will have a near expiration date if they continue to be used as they have been, according to experts. Natural gas reserves are for six more decades, oil reserves for four decades, and coal for approximately 150 years. For this reason, the use of renewable energies has been increasing in recent years, and as a result, social awareness regarding the care and preservation of the planet has increased. In this way, renewable energies are beginning to cover some of the energy needs, as well as the use of electric vehicles and / or fuel cells as sustainable transport systems.

In recent years, the hole in the ozone layer has been considerably damaged due to the increase of greenhouse gases due to the excessive use of conventional energies. Thus, as a starting point, the Kyoto Protocol of the UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) was agreed in 1997, presenting as its main point the reduction of greenhouse gases in the atmosphere to reduce warming global. In the following years, the Horizon 2020 program and the COP21 held in Paris in 2015 stand out, among others, which continue to expand the agreements necessary to achieve the objectives to be achieved.

The Armed Forces must also evolve in the energy field. The use of new sources of energy should be encouraged, in such a way as to trigger, among other factors, a lower external dependence on fuel in missions abroad. For this reason, for some years now, new ways of obtaining energy have been investigated. In particular, the Spanish Armed Forces, together with the Ministry of Defense, have focused on different projects, some of them in the process of development. This point is of great relevance and interest in the project.

It should be noted the new improvements in photovoltaic solar technology, obtaining new products that make the photovoltaic installations become more optimal. Mainly it is worth mentioning the flexible cell, characterized by its easy assembly and being very light, which allows it to be transported and installed in any location.

However, in spite of all the advantages of renewable energies, today, they must be complemented with conventional energies. That is why, in this project, generators are used in such a way that energy consumption can be adequately met. These equipments allow the generation of electricity in those places where it is difficult to reach the electricity grid or the power supply cuts occur frequently.

With all this, new answers to the energy demand in the missions are offered, reducing the ecological impact in the area and achieving a progressive reduction in the use of fossil fuels. To carry it out in the field of the Army, acceptable environmental technological solutions must be adapted, which are economically feasible and which logistics can be carried out in conditions of safety and reliability.

The deployment of the Armed Forces in the different international missions is sometimes with the difficulty of guaranteeing the correct provisioning of supplies, seeking to achieve the autonomy and viability of the deployment of the military troops. In addition, the greater environmental awareness of society leads to the search for more sustainable management models and new innovative solutions that reduce the environmental impact and the ecological footprint in the locations where international missions are deployed. In this way, electricity generation is an indispensable resource that must respond to the needs of the troops. It must be precise of safe and reliable energy sources that are able to supply the energy demand of the operational needs. In the same way, it is necessary to guarantee the constant feeding of those equipment that can not interrupt its operation.

Likewise, a military base in a conflict zone covers its electricity demand thanks to the generators it has. On the one hand, the generator sets must be provided with fuel, which must be transferred to the base. However, emergency situations that may occur must be considered. In the event of a conflict in the vicinity and the base can not be fueled for groups (in many cases, the trucks that move the fuel are exploded by terrorist groups so that the base does not have provisions), and as a consequence, the demand can not be covered, then the solar photovoltaic system must be sized for similar situations, in such a way that it is capable of supplying the electrical consumption. Also, failures can occur in the groups, which would entail the use of the solar system, as in the previous case. In these situations, the electricity consumption that is to be covered would correspond to the electrical demand of first necessity, that is to say, that consumption that must be covered in an uninterrupted way, since supplying only the electrical energy with the photovoltaic installation would entail a dimensioning of large quantities . This could trigger a project that is not very viable due to the high cost, as well as space problems in the installation of solar panels. On the other hand, it is also necessary to consider non-emergency situations in the military base. In this case, the electricity demand would be covered both with the generators and with the energy provided by the photovoltaic installation.

Therefore, in relation to the international operations carried out by the Armed Forces, the electricity consumption of a military base in conflict zones is currently covered only by generators. Therefore, the objective of the TFM will focus on the implementation of a photovoltaic solar system, which with the help of the generators supply the electricity consumption of a military base. This fact is of great interest given that in emergency situations, in which they do not have fuel for the generator sets or failure in the groups, they have the photovoltaic installation, supplied with batteries, in order to cover the electricity demand. Thus, for safety reasons, this option is studied, allowing to cover the electricity consumption in these emergency situations.

In this way it is possible to take advantage of the energy resources of the area in an integral manner for the energy supply of the installation under study. Thus, the military base is located in Mali (Africa), in Bamako. Since 2013, the EUTM-Mali military mission is being developed in Mali. In it, the Spanish forces are responsible for providing military training and advice to the Malian Army, as well as assistance in the chains of control, command and logistics, and human resources management and international humanitarian law. At the beginning of this year 2018, Spain has taken command of the mission. The main challenge in this mandate is the challenge posed by the return of the jihadists who have fought in Syria and Iraq. Therefore, the conflict that is currently taking place in the Mali area is the reason for the choice of this site.

In conclusion, the project aims to install an electrical system, isolated from the network, consisting of generator sets and a photovoltaic solar installation.

II. METHODOLOGY.

To carry out a correct dimensioning of the photovoltaic solar installation and the generator sets, isolated from the electrical network, it is necessary to carry out a detailed study. For this, data must be collected from the selected location in which the military base of study is located, its electrical consumption in normal and emergency situations, weather conditions, etc.

The military base located in Mali is characterized by favorable weather conditions for the implementation of the photovoltaic solar system. Among other factors considered, it should be noted that the average temperature in Bamako is 27.8 ° C, solar radiation in the area is considerably high and the duration of the day in the country hardly varies throughout the year.

The military base is designed to accommodate 40 soldiers in 28 portable modules with an area of 40 or 20 m² according to the needs of use. The energy demand of the base is given by the equipment that the Unit must have to perform its work correctly (lighting, computers, communication satellite, refrigerators, etc.), for which two situations must be distinguished. On the one hand, the normal situation, in which all the equipment of the military base is working, in such a way that 100% of the electricity demand is

covered by the generators and the photovoltaic solar system. And on the other hand, the emergency situation, caused by failure in the generating sets (electrical failure / no diesel), in which only the equipment that must operate continuously, whose consumption is covered thanks to the solar photovoltaic system, is operating.

To dimension the photovoltaic solar installation, the energy needs of the military base must be taken into account, in order to cover its electricity consumption. And for this, a study of the electrical demand has to be carried out. Likewise, in order to cover the electricity demand through photovoltaic modules it is important to reduce consumption as much as possible, so that the project is viable. In this way, the concept of energy efficiency has been taken into account, which is on the rise today. For this, both the equipment and the lighting are selected fulfilling this requirement. It has been achieved by low energy lighting and LEDs, as well as computers, televisions or refrigerators that meet these specifications.

It is an isolated system of the electrical network, so the electrical installation designed to be performed to satisfy 100% of the electricity consumption. Accumulation batteries are also included in such a way that electric demand can be covered when the weather is not favorable.

In this way, with the estimated electricity consumption of the military base and the study of solar radiation at the Mali site, with its appropriate calculations, the design of the photovoltaic solar installation is carried out, selecting the most economical option that allows achieve the viability of the project. The dimensioning of the photovoltaic solar installation must be carried out taking into account the most unfavorable month, in such a way that the system can work correctly without the weather conditions being adequate. Likewise, the selection of the most appropriate proportion of each energy source should be studied, taking into account for this the two situations that should be studied.

Based on the results obtained, the total costs of the equipment necessary to satisfy the electricity demand of the base are obtained, both the solar photovoltaic installation and the generator sets. Likewise, an analysis of profitability is carried out, in such a way that the viability of the project can be known a priori, using a 20-year time period, since the profitability analyzes are studied with future forecasts. In this case, it must be taken into account that the solar installation and the generator sets imply greater security in the electricity supply. In this way, it must be taken into account that in Mali the electricity supply suffers greater power cuts than in Spain, which means that the security of the electricity supply prevails in the face of other factors.

III. RESULTS.

The costs of the photovoltaic solar installation and the generators, obtained from the design carried out, are shown below. In the choice of equipment, it is considered that

the cost is as optimal as possible, and that the total weight of all of them and the volume they occupy is the minimum possible. This last requirement is of great relevance, given that it is necessary to consider the transfer by plane of all the equipment from Spain to Mali, where the military base is located. For this reason, among all the possible options for choosing equipment, in finished cases priority has been given to weight and volume versus cost.

The photovoltaic solar installation consists of photovoltaic modules and charge regulators. Its total cost amounts to € 67,417.80.

Total cost photovoltaic modules [€]	60.379,80
Total cost regulators (solar) [€]	7.038,00
TOTAL COST (EQUIPMENT) SOLAR INSTALLATION [€]	67.417,80

Total weight all photovoltaic modules [kg]	351,00
Total weight all regulators [kg]	20,40
TOTAL WEIGHT (EQUIPMENT) SOLAR INSTALLATION [kg]	371,40

Volume / space occupied by all photovoltaic modules [m³]	0,461
Volume / space occupied by all regulators [m³]	0,032
TOTAL VOLUME (EQUIPMENT) SOLAR INSTALLATION [m³]	0,493

Also, batteries and inverters are necessary, since the batteries are in charge of accumulating the electrical energy that is not being used at the moment, in such a way as to ensure the supply of electricity supply in the military base in any situation, and the inverters allow the conversion of direct current into alternating current in the equipment that requires it. The total cost of batteries and inverters is € 75,150.42.

Total cost batteries [€]	73.540,32
Total cost inverters [€]	1.610,10
COSTS (EQUIPMENT) BATTERIES + INVERTERS [€]	75.150,42

Total weight all batteries [kg]	11.524,00
Total weight all inverters [kg]	16,38
TOTAL WEIGHT (EQUIPMENT) BATTERIES + INVERTERS [kg]	11.540,38

Volume / space occupied by all batteries [m³]	5,273
Volume / space occupied by all inverters [m³]	0,035
TOTAL VOLUME (EQUIPMENT) BATTERIES + INVERTERS [m³]	5,308

And the total cost of the generating sets is € 2,248.20.

TOTAL COST GENERATOR SET [€]	2.248,20
-------------------------------------	-----------------

WEIGHT TOTAL GENERATOR SET [€]	224,00
---------------------------------------	---------------

TOTAL VOLUME GENERATOR SET [m³]	0,41
---	-------------

In this way, the total cost of the photovoltaic solar installation and the generator sets that will supply the electricity consumption of the military base located in Bamako, Mali, amounts to € 144,816.42. This cost does not include wiring or other auxiliary supports or maintenance.

TOTAL COSTS [€] SOLAR INSTALLATION + BAT. / INV.	142.568,22
TOTAL COSTS [€] GENERATOR SET	2.248,20

TOTAL COSTS [€] INSTALLATION	144.816,42
-------------------------------------	-------------------

IV. CONCLUSIONS.

The profitability study carried out with the results obtained allows us to conclude that currently the project would not be profitable in a period of 20 years. It should be noted that the cost is mainly due to the flexible solar panels, which is a technology that has been developed in recent years, which means that today they are not the cheapest in the market. However, they are necessary for the installation, since they allow an easy transfer by plane due to their reduced weight and volume compared to other types of photovoltaic solar panels. Also, they allow the implementation in any location thanks to the flexibility they present. In the same way, batteries are the other system equipment that represents the main price of the installation. In spite of this, they are necessary to allow and ensure the electric supply in the military base in the required situations. Despite the non-profitability of the project, it is carried out for security issues in the electricity supply, so other possible cheaper solutions should be looked for as an alternative, that meet at least the same security requirements.

Also, the generators have a very low cost compared to the whole photovoltaic solar installation. However, it is desired to include the renewable system to ensure continuity in the electricity supply of the military base in the situation in which it is necessary.

Finally, it should be noted that renewable energy has an increasingly important role in the electricity landscape, which means that they are included in most of the new projects that are being carried out today. However, it is of great interest and importance that the countries invest in R + D + i programs (research, development and innovation), in such a way that current technologies continue to be improved in order to achieve more efficient, safer and more efficient facilities. greater profitability, as well as research into new alternatives that improve those present.

Contenido

CAPÍTULO 1- INTRODUCCIÓN.	29
CAPÍTULO 2- ESTADO DEL ARTE.	37
CAPÍTULO 3- ENERGÍAS RENOVABLES.	41
3.1. SITUACIÓN ENERGÉTICA. PERSPECTIVAS DE FUTURO.	41
3.1.1. Uso eficiente de la energía.	41
3.1.2. Fuentes de energía alternativa a combustibles fósiles.....	42
CAPÍTULO 4- ENERGÍA SOLAR.	45
4.1. INTRODUCCIÓN.	45
4.2. RADIACIÓN SOLAR.	46
4.3. COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR.	46
4.4. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.	49
4.4.1. Efecto fotovoltaico.	49
4.4.2. Tecnología fotovoltaica.....	51
CAPÍTULO 5- GRUPOS ELECTRÓGENOS.	61
CAPÍTULO 6- SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO/CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA.	67
6.1. SISTEMAS AISLADOS DE LA RED ELÉCTRICA.	67
6.2. SISTEMAS CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA.	70
CAPÍTULO 7- TRATAMIENTO DE DATOS METEOROLÓGICOS.	73
CAPÍTULO 8- MOTIVACIÓN.	75
8.1. ORIGEN DEL PROYECTO.	75
8.2. OBJETIVO DEL PROYECTO.	77
CAPÍTULO 9- CÁLCULOS INSTALACIÓN.	79
9.1. DESCRIPCIÓN DE LA BASE MILITAR.	79
9.1.1. EMPLAZAMIENTO.	79
9.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA BASE MILITAR.	84
9.3. ESTIMACIÓN DEMANDA ELÉCTRICA.	88
9.3.1. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN.....	89
9.3.2. HIPÓTESIS ADOPTADAS PARA EL CÁLCULO DEL CONSUMO.	89
9.3.3. POTENCIA INSTALADA Y CONSUMOS CONSIDERADOS.	90
9.3.4. CONSUMO ELÉCTRICO DIARIO, MENSUAL Y ANUAL.....	94

9.4. CÁLCULO DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS:	
RADIACIÓN SOLAR.	96
9.4.1. MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	96
<i>9.4.1.1. Cálculo de la radiación solar en la zona.</i>	<i>97</i>
<i>9.4.1.2. Elección del ángulo de inclinación y de la orientación de los paneles.</i>	<i>98</i>
<i>9.4.1.3. Factor de corrección k para superficies inclinadas.</i>	<i>99</i>
<i>9.4.1.4. Cálculo de HSP.....</i>	<i>100</i>
9.5. DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN SOLAR	
FOTOVOLTAICA.....	101
9.5.1. SITUACIÓN MÁS DESFAVORABLE.	102
9.5.2. ELECCIÓN DE LA PROPORCIÓN ABASTECIDA POR LA FOTOVOLTAICA Y LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS.	103
9.5.3. DIMENSIONAMIENTO INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA. .	107
<i>9.5.3.1. Elección de la tensión de funcionamiento de la instalación.....</i>	<i>107</i>
<i>9.5.3.2. Cálculo del consumo que cubre la instalación solar.....</i>	<i>109</i>
<i>9.5.3.3. Cálculo del número de módulos fotovoltaicos.....</i>	<i>112</i>
<i>9.5.3.4. Cálculo de los reguladores de carga de la instalación solar fotovoltaica.</i>	<i>115</i>
9.5.4. DIMENSIONAMIENTO BATERÍAS E INVERSORES.	118
<i>9.5.4.1. Baterías.</i>	<i>118</i>
<i>9.5.4.2. Inversores.....</i>	<i>122</i>
9.6. SELECCIÓN DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS.	124
CAPÍTULO 10- ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	127
10.1. COSTES DE LA INSTALACIÓN SOLAR.....	127
10.2. COSTES DE BATERÍAS E INVERSORES.....	129
10.3. COSTES DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS.....	132
10.4. COSTES TOTALES INSTALACIÓN.....	133
10.5. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA.....	134
10.6. CONCLUSIONES.	139
CAPÍTULO 11- REFERENCIAS. BIBLIOGRAFÍA.	141
CAPÍTULO 12- ANEXOS.....	145

ÍNDICE DE FIGURAS.

<i>Figura 1. Soldado de las Fuerzas Armadas.</i>	38
<i>Figura 2. Imagen GEEC.</i>	39
<i>Figura 3. Tecnología flexible fotovoltaica en una tienda de campaña.</i>	40
<i>Figura 4. Sistema solar fotovoltaico junto con grupos electrógenos.</i>	40
<i>Figura 5. Mapa mundial de energía solar.</i>	46
<i>Figura 6. Componentes radiación solar terrestre.</i>	47
<i>Figura 7. Representación radiación solar que se recibe.</i>	48
<i>Figura 8. Esquema efecto fotovoltaico.</i>	50
<i>Figura 9. Representación campo eléctrico.</i>	51
<i>Figura 10. Sección célula fotovoltaica.</i>	51
<i>Figura 11. Algunos módulos fotovoltaicos presentes en el mercado.</i>	52
<i>Figura 12. Panel solar de silicio monocristalino.</i>	53
<i>Figura 13. Panel solar de silicio policristalino.</i>	53
<i>Figura 14. Panel solar de silicio amorfo.</i>	53
<i>Figura 15. Celdas flexibles.</i>	54
<i>Figura 16. Célula fotovoltaica PERC.</i>	55
<i>Figura 17. Gráfica comparativa de rendimientos entre paneles monocristalinos, policristalinos y PERC. Fuente: SunFields Europe.</i>	56
<i>Figura 18. Curva V-I panel solar fotovoltaico.</i>	57
<i>Figura 19. Célula solar fabricada por Kunta Yoshikawa.</i>	58
<i>Figura 20. Placa solar plegable portátil.</i>	59
<i>Figura 21. Placa solar plegable flexible.</i>	60
<i>Figura 22. Depósito de combustible y grupo electrógeno de 143 kVA.</i>	63
<i>Figura 23. Grupos electrógenos de 6,5 kVA.</i>	63
<i>Figura 24. Sistema solar fotovoltaico aislado de la red eléctrica.</i>	69
<i>Figura 25. Sistema solar fotovoltaico-diésel aislado de la red eléctrica.</i>	70
<i>Figura 26. Sistema conectado a la red eléctrica.</i>	71
<i>Figura 27. Bamako, Malí. Fuente: Google Maps.</i>	79
<i>Figura 28. Bamako, Malí. Fuente: Google Maps.</i>	80
<i>Figura 29. Misión EUTM-Malí. Fuente: Estado Mayor de la Defensa.</i>	81
<i>Figura 30. Soldado español con un niño en Malí. Fuente: Ministerio de Defensa.</i>	82
<i>Figura 31. Atlas de radiación solar en África. Fuente: Global Solar Atlas.</i>	96
<i>Figura 32. Atlas de radiación solar en Mali. Fuente: Global Solar Atlas.</i>	97
<i>Figura 33. Instalación en tensión continua y alterna.</i>	108

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

<i>Gráfico 1. Temperatura máxima y mínima promedio diaria en Bamako. Fuente: Weather Spark.</i>	83
<i>Gráfico 2. Precipitaciones y nubosidad en Bamako. Fuente: Weather Spark.</i>	83
<i>Gráfico 3. Horas de luz natural y crepúsculo en Bamako. Fuente: Weather Spark.</i>	84

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Temperatura media, mínima y máxima mensual en Bamako. Fuente: Climate Data. .	83
Tabla 2. Utilización, unidades y superficie de los módulos de la base militar.	85
Tabla 3. Número de elementos, potencia nominal y tiempo de uso diario de los equipos en la situación normal.	86
Tabla 4. Número de elementos, potencia nominal y tiempo de uso diario de los equipos en la situación de emergencia.	87
Tabla 5. Consumos eléctricos de los equipos de la base militar en la situación normal.	92
Tabla 6. Consumos eléctricos de los equipos de la base militar en la situación de emergencia.	93
Tabla 7. Consumo eléctrico diario, mensual y anual de la base militar en la situación normal.	94
Tabla 8. Consumo eléctrico diario, mensual y anual de la base militar en la situación de emergencia.	95
Tabla 9. Energía en megajulios incidente en un metro cuadrado sobre plano horizontal en un día medio de cada mes. Irradiación H [MJ/m ²]. Fuente: web Las Energías Renovables (ver tablas en ANEXOS).	97
Tabla 10. Factor corrección k para superficies inclinadas. Fuente: Clean Energy Solar (Ver tablas en ANEXOS).	99
Tabla 11. Valores irradiación solar corregidos H' [MJ/m ²].	100
Tabla 12. Cálculo de HSP.	101
Tabla 13. Tabla comparativa de radiación solar y consumo en la base militar y elección del mes más desfavorable.	102
Tabla 14. Potencia instalada desglosada para cada situación.	104
Tabla 15. Proporción abastecida por cada fuente de energía en la situación normal.	105
Tabla 16. Proporción abastecida por cada fuente de energía en la situación de emergencia.	106
Tabla 17. Consumo mes de Julio.	109
Tabla 18. Consumo diario que abastece la solar en Julio.	109
Tabla 19. Pérdidas totales de la instalación solar fotovoltaica.	111
Tabla 20. Demanda que cubre la instalación solar.	112
Tabla 21. Módulo fotovoltaico seleccionado.	114
Tabla 22. Regulador de carga seleccionado.	117
Tabla 23. Consumo mes de Julio.	118
Tabla 24. Características de la batería seleccionada.	121
Tabla 25. Potencia de los equipos instalados en CA.	122
Tabla 26. Características del inversor seleccionado.	123
Tabla 27. Características del grupo electrógeno.	124
Tabla 28. Coste total instalación solar.	128
Tabla 29. Peso total instalación solar.	129
Tabla 30. Volumen total instalación solar.	129
Tabla 31. Coste total baterías e inversores.	131
Tabla 32. Peso total baterías e inversores.	132
Tabla 33. Volumen total baterías e inversores.	132
Tabla 34. Coste total grupos electrógenos.	133
Tabla 35. Costes totales instalación.	133
Tabla 36. Costes totales instalación de renovables.	134
Tabla 37. Inversión e impuestos.	136
Tabla 38. Generación instalación solar.	136
Tabla 39. VAN y TIR del proyecto.	137

ÍNDICE DE ECUACIONES.

<i>Ecuación 1. Componentes radiación solar terrestre.</i>	47
<i>Ecuación 2. Eficiencia módulo fotovoltaico.</i>	57
<i>Ecuación 3. Consumo total base militar.</i>	96
<i>Ecuación 4. Ángulo óptimo inclinación del panel solar.</i>	98
<i>Ecuación 5. Ángulo inclinación óptimo de la placa solar para la base militar.</i>	98
<i>Ecuación 6. Valor corregido de la irradiación solar por inclinación H' [MJ/m^2].</i>	99
<i>Ecuación 7. Cálculo de HSP.</i>	100
<i>Ecuación 8. Energía producida (Emódulo) por W_p instalado.</i>	101
<i>Ecuación 9. Energía máxima diaria de la base militar abastecida por la instalación solar fotovoltaica (sin considerar pérdidas totales).</i>	110
<i>Ecuación 10. Pérdidas totales asociadas.</i>	110
<i>Ecuación 11. Energía (consumo) máxima diaria de la base militar abastecida por la instalación solar fotovoltaica (considerando pérdidas totales).</i>	111
<i>Ecuación 12. Corriente total máxima de la base militar abastecida por la instalación solar fotovoltaica (considerando pérdidas totales).</i>	112
<i>Ecuación 13. Intensidad que suministra el módulo fotovoltaico.</i>	113
<i>Ecuación 14. Número de ramas.</i>	113
<i>Ecuación 15. Número de módulos en serie.</i>	113
<i>Ecuación 16. Número total de módulos fotovoltaicos.</i>	114
<i>Ecuación 17. Corriente de salida del campo fotovoltaico.</i>	116
<i>Ecuación 18. Corriente del regulador.</i>	116
<i>Ecuación 19. Número total de reguladores.</i>	116
<i>Ecuación 20. Número de ramas por regulador.</i>	118
<i>Ecuación 21. Capacidad de una batería.</i>	119
<i>Ecuación 22. Número de baterías en paralelo.</i>	120
<i>Ecuación 23. Número de baterías en serie.</i>	120
<i>Ecuación 24. Número total de baterías.</i>	121
<i>Ecuación 25. Potencia del inversor.</i>	122

CAPÍTULO 1- INTRODUCCIÓN.

Actualmente la situación energética viene dada principalmente por la gran explotación de los combustibles fósiles que se ha llevado a cabo a lo largo del siglo XX. Sin embargo, se trata de recursos no renovables, lo que desencadena que no sean de utilidad a largo plazo. Por este motivo, en los últimos años se está incrementando el uso de energías renovables, y gracias a ello ha aumentado la conciencia social respecto al cuidado y preservación del planeta.

Hoy en día, la demanda energética se abastece mayoritariamente con combustibles fósiles, originando una gran dependencia con los países productores. Asimismo, en el año 1973 aumenta el precio del petróleo, lo que comienza a ser también el desencadenante del uso de las energías renovables para los países importadores de petróleo, consiguiendo así disminuir el coste económico que supone tal dependencia. Del mismo modo, se promueve la construcción de centrales hidroeléctricas, nucleares, térmicas, etc.

En los últimos años se ha visto damnificado considerablemente el agujero de la capa de ozono debido al aumento de los gases de efecto invernadero a causa del uso excesivo de las energías convencionales. Así, se acuerda el Protocolo de Kioto del Convenio Marco sobre Cambio Climático de la ONU (UNFCCC) en el año 1997, presentando como principal punto la disminución de los gases de efecto invernadero a la atmósfera, por lo que se conseguiría reducir el calentamiento global. Los porcentajes a reducir son propios de cada país. El acuerdo fue firmado en Diciembre de 1997, entrando en vigor el 16 de febrero de 2005.

De esta manera, se debe conseguir reducir las emisiones de los seis gases de efecto invernadero: hexafluoruro de azufre (SF₆), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y óxido nitroso (N₂O), cuyos proporción de influencia son de aproximadamente 56.6% para el CO₂, 24% los CFC, 15% para el CH₄ y 6% en relación a NO_x.

Asimismo, entre las ventajas en el uso de las energías renovables se encuentra la disminución de las emisiones a la atmósfera desencadenantes de la combustión de los combustibles fósiles, siendo responsables del calentamiento global (CO₂) y de la lluvia

ácida (SO₂ y NO_x) y la no generación de residuos de difícil tratamiento, los cuales suponen a una elevada amenaza medioambiental.

La energía renovable se puede definir como la energía adquirida de fuentes naturales inagotables (solar, eólica, biomasa, hidráulica...) capaz de regenerarse por medios naturales. El uso de la energía renovable puede dar lugar a algún efecto negativo sobre el entorno, aunque estos se consideran de menor impacto si se compara con los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) o la energía nuclear. En resumen, se puede llegar a conseguir unas fuentes energéticas que contaminan menos y se renuevan de manera constante.

De este modo, en los últimos años los principales países desarrollados, entre los que cabe destacar la mayoría de los países de la Unión Europea y Estados Unidos, han centrado sus expectativas en la implementación de energías renovables como principio básico de abastecimiento energético, de tal forma que se consiga mejorar desde el punto de vista económico, ambiental y social.

Sin embargo, esta transición se debe llevar a cabo de una manera suave y gradual, surgiendo así el desarrollo sostenible, cuyos principales puntos son los siguientes:

- El progresivo uso de fuentes de energía renovable, dado que las fuentes fósiles que se utilizan actualmente se agotarán a lo largo de este siglo según los pronósticos.
- La explotación de las energías renovables para impulsar el autoabastecimiento, evitando así la construcción de grandes infraestructuras de generación y distribución para la energía eléctrica.
- La disminución de la demanda energética gracias a la mejora en el rendimiento de los dispositivos eléctricos, como lámparas, electrodomésticos, etc. De la misma manera, se debe concienciar a la sociedad acerca del ahorro energético, consiguiendo reducir lo máximo posible el consumo eléctrico que no sea necesario, evitando así los excesivos consumos. Es decir, poner en práctica las pautas de mejora en eficiencia energética.

Este proyecto tiene como objetivo estudiar la implantación de un sistema de energía solar fotovoltaica, que junto con grupos electrógenos, abastezcan de energía eléctrica una base militar. En caso de fallo de los grupos electrógenos, el sistema fotovoltaico debería ser capaz de suplir la demanda energética de la base.

➤ **COP 21**

En el año 2015 se celebró en la ciudad de París la COP21, perteneciente a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y la COP-MOP11 en relación al Protocolo de Kioto.

El marco internacional para el cambio climático tuvo sus comienzos en la cumbre celebrada en Río de Janeiro en 1992, en la cual se adoptó el Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (UNFCCC). Dicha convención tenía como principal objetivo establecer las concentraciones de gases de efecto invernadero evitando así el incipiente cambio climático. La UNFCCC entra con fuerza en el año 1994, con 195 países participantes.

En relación a la COP se celebran anualmente para revisar los objetivos principales. La primera COP que tuvo lugar fue en Berlín en 1995, y en 1993 en la COP3 se adoptó el Protocolo de Kyoto, en la COP 15 celebrada en Copenhague se llega a la conclusión de que no se alcanzó con éxito los objetivos impuestos en el Protocolo de Kyoto y en la COP17 en Durban se crea el Fondo Verde del Clima.

La COP21 que tuvo lugar en 2015 en París se trata de la conferencia con mayor repercusión de los últimos años y donde la participación de países fue la más elevada. Por primera vez en 20 años se llega a determinados acuerdos entre los países de la Unión Europea para alcanzar como objetivo mundial que se evite que la temperatura media global supere los 2°C. Entre los principales acuerdos de la convención se pueden distinguir:

- La temperatura media global no debe ascender de 2°C, y si se consigue adicionalmente alcanzar los 1,5°C.
- Reducción de las emisiones a medio y largo plazo.

- Cada cinco años los países deben presentar los resultados conseguidos para reducir las emisiones y las políticas implantadas para conseguirlo.
- Los países se debe enfrentar a un período de adaptación, por lo cual tienen que presentar los resultados y planificaciones para alcanzar los objetivos.
- Se dispone de 100.000 millones de dólares anuales a partir de 2020 para sentar el objetivo de reducción de emisiones. Asimismo, se incentiva a financiar voluntariamente a los países en desarrollo.
- El Acuerdo entró en vigor en el momento en que se llegó a la participación de un número de países que representaban un mínimo del 55% de las emisiones globales.

➤ **Horizonte 2020**

En el año 2011 los altos cargos de la Unión Europea pidieron a la Comisión Europea que reuniera todos los fondos de investigación e innovación en un único marco estratégico común. La Comisión inició el proceso para el cual participaron todas las partes interesadas, lo que condujo a Horizonte 2020.

Con una duración de siete años (2014 - 2020) y con un presupuesto de 77.000 millones de euros, Horizonte 2020 es el mayor programa de financiación de investigación e innovación de la UE.

En 2017, la Comisión Europea presentó el Programa para Horizonte 2020, abarcando los ejercicios presupuestarios 2018, 2019 y 2020. La inversión llevada a cabo para ello es de 30.000 millones de euros.

Unos de los objetivos del Horizonte 2020 es conseguir una energía segura, limpia y eficiente.

Para ello, se crea el programa *Energy Challenge*, diseñado para apoyar la transición a un sistema energético sostenible y competitivo, teniendo en cuenta los actuales desafíos, tales como la escasez de recursos, las crecientes necesidades energéticas y el cambio climático.



El Energy Challenge se estructura en torno a siete objetivos específicos y áreas de investigación:

- Reducir el consumo de energía y la huella de carbono.
- Suministro de electricidad de bajo costo y baja emisión de carbono.
- Combustibles alternativos y fuentes de energía móviles.
- Una red eléctrica europea única e inteligente.
- Nuevos conocimientos y tecnologías.
- Toma de decisiones sólidas y compromiso público.
- La adopción del mercado de la energía y la innovación de las TIC.

Se ha asignado un presupuesto de 5.931 millones de euros a la investigación de la energía no nuclear para el período 2014-2020. De esta cifra, se destinarán más de 200 millones de euros para apoyar las actividades del Instituto Europeo de Innovación y Tecnología.

➤ **Fuerzas Armadas Españolas**

Las Fuerzas Armadas vienen integradas por el Ejército de Tierra, la Armada y el Ejército del Aire. Asimismo, se encuentra la Guardia Real, la Unidad Militar de Emergencias y los Cuerpos Comunes, constituidas por los tres ejércitos.

Actualmente, el Ejército español se localiza en numerosas misiones fuera de nuestras fronteras. En 2017 un total de 3.093 integrantes de las Fuerzas Armadas y de la Guardia Civil estaban destinados en 19 operaciones, siendo Líbano con 1.070 militares y Afganistán con 1.290 militares, las de mayor magnitud.

Las misiones que hoy en día se están desarrollando en el extranjero, según el Departamento de Seguridad Nacional se presentan a continuación:

- Misiones con la Unión Europea
 - EUTM Malí (2013-presente): se centra en asesorar en temas de seguridad y adiestrar al Ejército Nacional de Malí.
 - EUTM RCA (2016-presente): adiestramiento de las Fuerzas Armadas del Gobierno de la República Centroafricana.
 - EUTM SOMALIA (2010-presente): adiestramiento de las Fuerzas Armadas de Somalia, junto con la ONU y la Unión Africana.
 - Operación Atalanta (2008-presente): lucha con la piratería en el océano Índico y protege los alimentos desplegados por la ONU.
 - EUFOR ALTHEA BOSNIA (2004-presente): asesora a las Fuerzas Armadas de Bosnia y Herzegovina.
 - EUNAVFOR MED-SOPHIA (2015-presente): lucha con el tráfico de personas en el mar Mediterráneo.
- Misiones con la OTAN. España tiene pertenencia en la OTAN desde el año 1982.
 - Sea Guardian (2016-presente): lucha con el terrorismo en el mar Mediterráneo.

- SNMG 1 / SNMG 2 / SNMCMG 2: unidades navales que se encuentran permanentemente en el momento que sea solicitada por la OTAN.
 - Policía Aérea del Báltico (2004-presente): protege el espacio aéreo de Estonia, Letonia y Lituania.
 - Enhanced Forward Presence (2017-presente): misión de presencia en la zona del mar Negro por la anexión de Crimea por parte de Rusia.
 - Active Fence (2015-presente): refuerza la defensa aérea de Turquía por la amenaza de misiles balísticos desde Siria.
 - RESOLUTE SUPPORT (2015-presente): adiestra y asesora las fuerzas de seguridad afganas.
- Misiones con la ONU
 - UNIFIL (2006-presente): mantenimiento por la paz entre Líbano e Israel.
 - ONU COLOMBIA (2016-presente): proceso de paz en Colombia.
 - Coalición contra el DAESH
 - INHERENT RESOLVE (2015-presente): adiestra las fuerzas iraquíes para la lucha con el Daesh.

Asimismo, también se llevan a cabo misiones de cooperación de seguridad hispano-francesa y de cooperación con Senegal y Cabo Verde.

En los últimos años destacan también misiones humanitarias, tales como Albania en 1999, Mozambique en marzo de 2000, República de Macedonia en 2001, Haití en 2004 o Indonesia en 2005. En el año 2015 destacan las labores de rescate que se ofreció en el terremoto de Nepal. También se desplegó un gran número de militares para la guerra de Irak entre 2003 y 2004.

En relación a los presupuestos destinados por el Ministerio de Defensa ascienden a 8.453 millones de euros.

CAPÍTULO 2- ESTADO DEL ARTE.

Los combustibles fósiles tendrán fecha de caducidad según los expertos si se siguen utilizando como hasta ahora. Las reservas de gas natural se tienen para seis décadas más, las de petróleo para cuatro décadas, y carbón para aproximadamente 150 años.

De este modo, debido al gran uso de los combustibles fósiles en los últimos años se ha generado una conciencia social por el cambio climático, debido a las emisiones de CO₂ provenientes de estos. Así, son las energías renovables las que están comenzando a cubrir algunas de las necesidades energéticas, así como el uso de vehículos eléctricos y/o de pilas de combustible como sistemas de transporte sostenibles.

Las Fuerzas Armadas también deben evolucionar en el ámbito energético. Se debe propiciar el uso de nuevas fuentes de energía, de tal forma que desencadene, entre otros factores, en una menor dependencia exterior de combustible en las misiones en el extranjero.

Este punto resulta de gran relevancia e interés en el TFM. Los grupos electrógenos se utilizan en aquellas misiones en el extranjero las cuales se encuentran aisladas, careciendo por tanto, de suministro eléctrico. El funcionamiento de los grupos viene dado por combustible diésel. El combustible se traslada desde el pueblo más cercano donde se encuentra la base militar. Sin embargo, en situaciones de conflicto los camiones que trasladan el diésel, en ocasiones son explosionados, de tal forma que dejan sin aprovisionamiento a la base. Esta situación origina que la demanda eléctrica sea abastecida durante pocos días haciendo uso de las reservas de combustible que dispongan, hasta nueva orden de aprovisionamiento. Por esta razón, el proyecto se centra en la implementación de nuevas fuentes energéticas.

Desde hace unos años, se está investigando nuevas formas de obtención de la energía. Particularmente, las Fuerzas Armadas Españolas se han centrado en diferentes proyectos, algunos de ellos, en vías de desarrollo. Un programa que lleva a cabo el Ministerio de Defensa es el encargado de realizar los estudios de investigación. Se pueden destacar numerosos programas de estudios.



Figura 1. Soldado de las Fuerzas Armadas.

➤ **Baterías ion-litio**

Un ejemplo es la fuente de alimentación que disponen los soldados españoles en el propio uniforme, desarrollado en 2010. Con ello consiguen optimizar las capacidades de comunicación, combate y autoprotección de los soldados, ya que son capaces de suministrar la energía eléctrica al sistema. De este modo, la fuente de energía son las baterías de ion-litio, con una duración media aproximadamente ocho horas.

➤ **Sistema Generador de Energía Eléctrica en el Calzado (GEEC)**

Se trata de un generador de energía eléctrica en el calzado, con el cual se consigue la energía suficiente para garantizar el correcto funcionamiento de todos los dispositivos electrónicos que ha de usar el combatiente durante la misión.

El sistema propuesto no necesita ninguna acción fuera de la actividad normal del combatiente. Dicha actividad comprende el caminar a mayor o menor celeridad, lo que conlleva que la carga sea mayor o menor. Al no ser continua el consumo de energía, esta debe almacenarse durante los periodos entre ciclos generadores. El almacenamiento debe ser lo más eficiente posible y la solución elegida será el resultado de un estudio de alternativas.

De este modo, el sistema generador aprovecha la energía como consecuencia del movimiento del combatiente.



Figura 2. Imagen GEEC.

El estado actual de la tecnología no permite disponer de generadores de pequeño volumen y masa capaces de extraer energía del movimiento natural de ser humano y suministrarla para reponer la energía eléctrica que los dispositivos electrónicos del combatiente van consumiendo, con unos niveles de potencia adecuados, por lo que este proyecto no puede llevarse a cabo a corto plazo.

➤ **Pila de hidrógeno**

Una pila de combustible es un dispositivo electroquímico, que a través de la reacción de un combustible (en este caso el hidrógeno) con un comburente (generalmente oxígeno) convierte directamente la energía química en energía eléctrica.

Con ello, se ha conseguido desarrollar un sistema generador de energía eléctrica basado en esta tecnología, y que es capaz de suministrar una potencia máxima de 40 W, en corriente continua, a una tensión fija de 25V. De esta manera se consigue producir energía eléctrica continuamente permitiendo recargas instantáneas reemplazando el cartucho de combustible.

➤ **Antecedentes en el Ejército de los EE.UU.**

Como ya se ha mencionado anteriormente, las energías renovables se incentivan cada vez más en el panorama actual. En relación a la energía solar fotovoltaica en el ámbito de las Fuerzas Armadas, se conoce la aplicación de esta tecnología en las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos. El proyecto se llevó a cabo en nueve bases ubicadas entre California y Nevada, en el año 2013. Asimismo, se ha desarrollado la mayor planta fotovoltaica en una base militar en el estado de Arizona, en Fort Huachuca en el año 2014.

Ya en el año 2010 el Ejército americano utilizó tiendas de campaña solares en Afganistán para abastecer todas las necesidades energéticas de las tropas, tal y como se puede observar en la *Figura 3*. Para ello, se hacía uso de la tecnología flexible fotovoltaica (FV), consiguiendo eliminar así el transporte de combustible y los ruidosos generadores en grandes cantidades.



Figura 3. Tecnología flexible fotovoltaica en una tienda de campaña.

➤ **Antecedentes del sistema: grupos electrógenos + solar fotovoltaica**

Actualmente se pueden encontrar algunos sistemas constituidos por grupos electrógenos y sistemas solares fotovoltaicos en España, como es el caso de una granja aislada de la red en Lleida. Cada vez son más frecuentes en nuestro país, dado que se consigue un suministro eléctrico continuo y mayor independencia económica en relación a los precios de la energía.

Este sistema se ha diseñado para cubrir más de la mitad del consumo con la energía solar fotovoltaica y el resto con los grupos electrógenos. Además, el uso de baterías permite la desconexión total de la red.



Figura 4. Sistema solar fotovoltaico junto con grupos electrógenos.

CAPÍTULO 3- ENERGÍAS RENOVABLES.

3.1. SITUACIÓN ENERGÉTICA. PERSPECTIVAS DE FUTURO.

La situación energética mundial muestra cierta incertidumbre frente a los que se llevarán en los próximos años. La creciente demanda energética, el cambio climático global y la subida del precio de los combustibles fósiles, debido en otros factores a las tensiones geopolíticas o las disminuciones en las reservas, son algunas de las causas de que situación energética actual.

Por este motivo, se están buscando algunas soluciones, como el uso eficiente de la energía y el desarrollo de fuentes de energía alternativas a los combustibles fósiles (principalmente las energías renovables).

3.1.1. Uso eficiente de la energía.

Los últimos años se ha caracterizado por un consumo irresponsable de la energía, que junto con el incremento global del consumo ha originado la reducción de las reservas de carbón, gas natural o petróleo.

Una posible solución debe basarse en un mejor aprovechamiento de los recursos, tales como el transporte desde la fuente al consumidor final, como las pérdidas ocasionadas en las transformaciones intermedias del proceso de obtención de la energía. Asimismo, resulta de importancia la optimización en el gasto energético del edificio, es decir, la mejora en el aislamiento.

Durante mucho tiempo el crecimiento económico de un país se ha relacionado con la energía, de tal forma que los países con mayor poder se han encargado de controlar el sector energético. Para ello, han centrado sus objetivos en modernizar su estructura energética para lograr la reducción del calentamiento global y la dependencia de los combustibles fósiles.

De esta manera, para los países que actualmente se encuentran en vías de desarrollo se tiene que incorporar un modelo energético sostenible desde el inicio de su

desarrollo, sin tener que implantar la etapa transitoria que han llevado a cabo los países desarrollados.

3.1.2. Fuentes de energía alternativa a combustibles fósiles.

Los últimos tiempos se han visto marcados por la creciente conciencia social en torno al cambio climático, siendo uno de los propósitos prioritarios en relación al medio ambiente. De este modo, se establece como objetivo principal el desarrollo de energías renovables como fuente de energía sostenible, de tal forma que puedan llegar a ser la solución al actual problema energético si se emplean de manera responsable.

➤ **Tipos de energías renovables**

A continuación, se muestran los tipos de energía renovable clasificados en relación a los modos de aprovechamiento de la energía a partir de los recursos naturales, como el viento, el agua, el sol o la materia orgánica. En este caso de estudio del proyecto, se hace uso de la energía solar fotovoltaica.

- ***E. Solar fotovoltaica:***

Se obtiene a partir de la radiación solar mediante una célula fotovoltaica. Cabe destacar como dato de interés, que algunos expertos afirman que la radiación solar cada año aporta a la Tierra la equivalencia al consumo energético mundial multiplicado por mil.

- ***E. Eólica:***

Se origina por la fuerza del viento y las corrientes de aire, de tal forma que las aspas accionan el eje central, que se está conectado al generador eléctrico.

Del mismo modo, se deben destacar como fuentes de energía renovable la energía solar térmica, la energía geotérmica, la energía mareomotriz, la biomasa y la energía hidráulica.

A pesar de ello, se tiene que destacar algunos inconvenientes de las energías renovables, lo que origina que puedan llegar a ser poco competitivas frente a las fuentes de energía convencionales:

- La variabilidad de la producción en función del clima.
- El elevado riesgo económico.
- El elevado coste de la producción.
- La aceptación pública puede llegar a ser escasa por falta de información.
- Gran impacto paisajístico.

Entre las principales desventajas destaca que la producción sea variable en función de la climatología, dado que consecuentemente la demanda energética puede llegar a no cubrirse. Por este motivo, resulta necesario instalar sistemas de almacenamiento de energía en aquellos sistemas de energías renovables aislados de la red eléctrica. Como solución se presenta los sistemas convencionales de baterías y los sistemas constituidos por tecnologías del hidrógeno, entre otros, tal y como se ha explicado anteriormente.

CAPÍTULO 4- ENERGÍA SOLAR.

4.1. INTRODUCCIÓN.

La energía solar tiene un papel fundamental en la actualidad por su carácter de autosuficiencia y respeto al medio ambiente.

La electricidad producida por la energía solar se lleva a cabo por la captación de la radiación solar que incide sobre la superficie de la Tierra mediante tecnologías como la fotovoltaica.

Los conceptos que se deben tener en cuenta en el proceso de captación de la energía se muestran a continuación:

- **Irradiancia solar (I):** potencia por unidad de superficie. Sus unidades son W/m^2 .
- **Irradiación o radiación solar (H):** energía solar que incide en unidad de superficie. Se calcula mediante la integración de la irradiancia por período de tiempo. Sus unidades son J/m^2 o kWh/m^2 .
- **Irradiación solar extraterrestre (H₀):** radiación incidente en una superficie horizontal en la zona externa de la atmósfera. Es variable con la latitud y la fecha.
- **Duración astronómica del día o fotoperíodo (n):** instante de tiempo de iluminación solar que equivale a la duración máxima del día.
- **Helofanía, brillo solar o insolación (n):** horas en que la energía solar directa alcanza o excede el valor umbral comprendido entre los valores de 120 y 210 W/m^2 . El clima, la localización geográfica, el tiempo y el tipo de banda que se usa para el registro son factores de los que depende dicho término.

4.2. RADIACIÓN SOLAR.

La radiación solar incide sobre la superficie terrestre, pero sólo un pequeño intervalo se alcanza de una manera efectiva. Sin embargo, a pesar de ello se obtiene una potencia de 10.000 veces mayor que la potencia obtenida por todas las fuentes de energía que el ser humano utiliza.

Hay que tener en cuenta que la variabilidad de la radiación solar en función del momento del día y del año, la latitud y las condiciones atmosféricas.

4.3. COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR.

➤ Radiación solar terrestre

La radiación solar incidente en la superficie terrestre es menor que aquella que se obtiene en el exterior de la atmósfera. Esto es debido a que la atmósfera refleja una parte de la radiación mientras que la otra se absorbe.

El valor medio es de unos 1000 W/m², aunque puede variar a lo largo del año en función de la climatología.

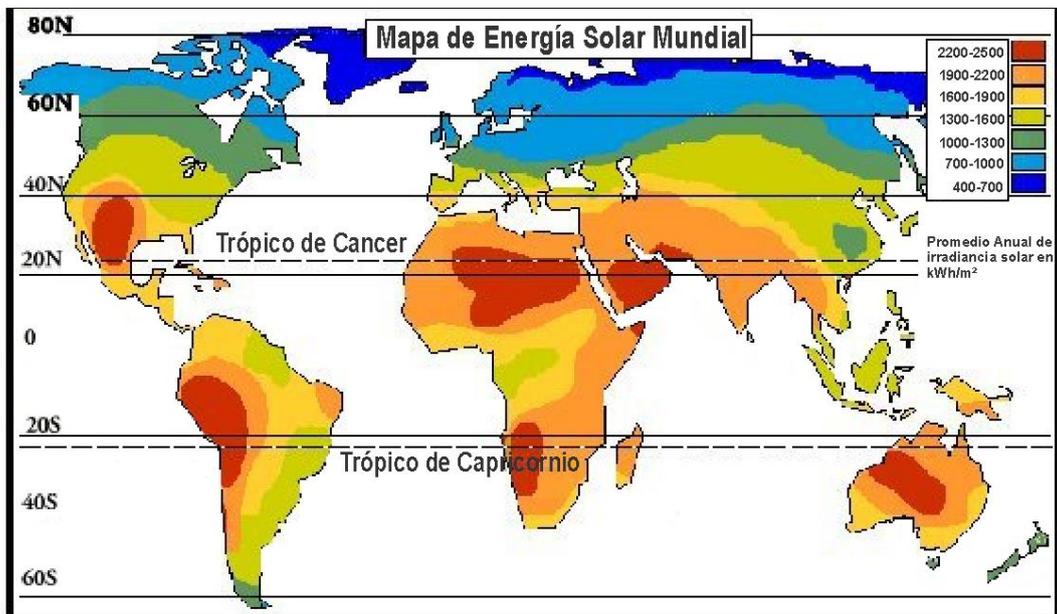


Figura 5. Mapa mundial de energía solar.

La radiación solar incidente en la superficie terrestre está constituida por la radiación difusa (Hd), directa (HD) y reflejada (Hr). La radiación global (HG) es el conjunto de estas.

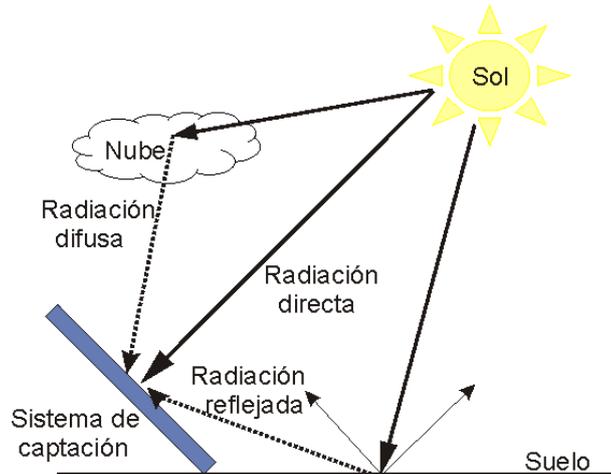


Figura 6. Componentes radiación solar terrestre.

$$HG = HD + Hd + Hr$$

Ecuación 1. Componentes radiación solar terrestre.

La radiación reflejada, directa y difusa que incide en la superficie viene dada en función de:

- La climatología, debido a la mayor o menor influencia en cada una de las componentes. Por ejemplo, en los días nublados la componente difusa es predominante frente a la directa.
- La inclinación de la superficie respecto a un plano horizontal, puesto que la radiación difusa máxima y la mínima radiación reflejada se consigue con un plano horizontal. Conforme se aumenta la inclinación, la radiación difusa disminuye y la componente reflejada se incrementa.

De esta manera, la inclinación más óptima para obtener una mayor radiación solar es con un ángulo de valor la latitud de la zona donde se sitúa el emplazamiento y con orientación hacia el sur. Así, con este valor de inclinación

se obtiene unas variaciones mínimas de energía solar a lo largo del año y con esta orientación se consigue captar la máxima radiación solar durante el día.

En la *Figura 7* se puede observar cómo se distribuye la radiación solar que recibe la superficie de la Tierra. Asimismo, se muestran las pérdidas de energía solar en la atmósfera debidas a la reflexión y absorción, en las que se desaprovecha una gran cantidad de energía reflejada y absorbida por la atmósfera.

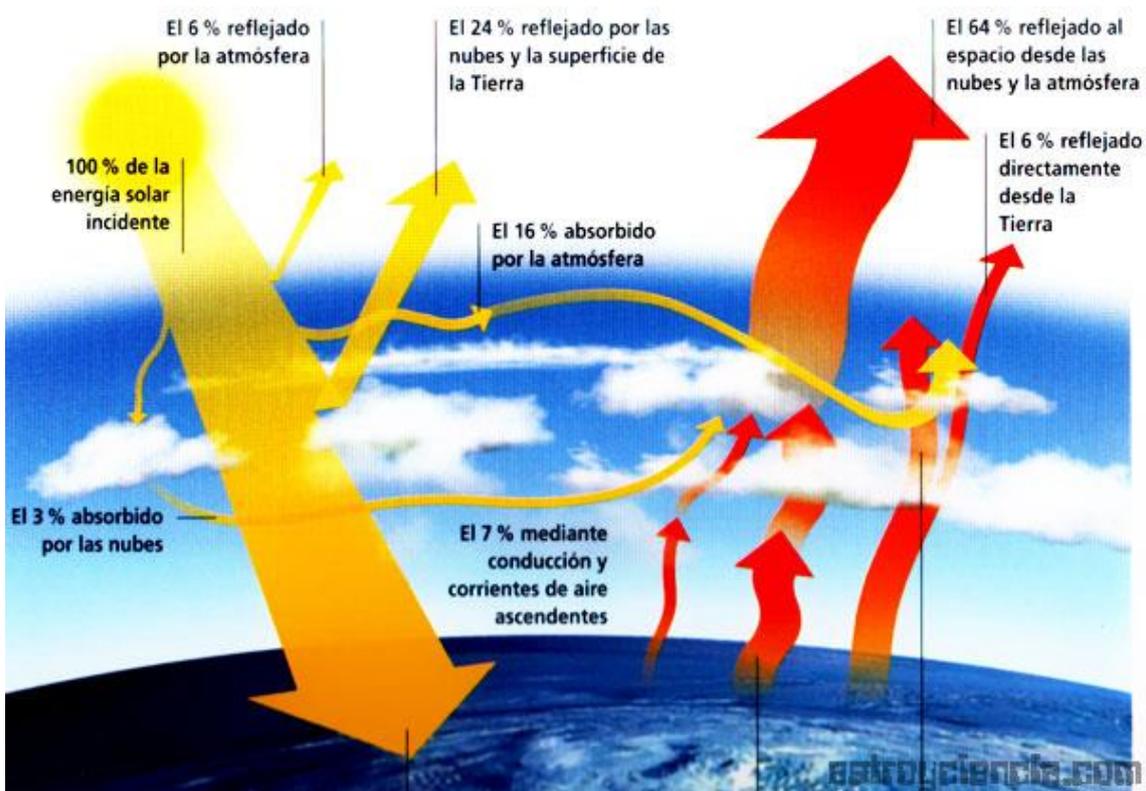


Figura 7. Representación radiación solar que se recibe.

De esta manera, la radiación solar permite a la sociedad beneficiarse de su función de calentamiento como de generación de electricidad, originando una tecnología que se conoce como energía solar fotovoltaica.

En los últimos años se ha aumentado considerablemente el número de instalaciones solares fotovoltaicas en la mayoría de los países, gracias a sus numerosas ventajas competitivas.

4.4. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

Hoy en día, la energía solar fotovoltaica tiene un papel fundamental en el ámbito tanto nacional como internacional.

Es una fuente de energía renovable inagotable con coste nulo, por lo que presenta numerosas ventajas:

- No necesita proceso de combustión como en el caso de los combustibles fósiles.
- Es una energía segura y limpia, puesto que no origina emisiones de gases de efecto invernadero.
- La instalación solar se caracteriza por ser rápida y sencilla.
- Se pueden reciclar los módulos solares.
- El ciclo de vida es superior a 25 años.
- Conlleva poco mantenimiento. Gracias a su fácil montaje no se requieren piezas en movimiento que puedan originar algún tipo de desgaste de material.
- La explotación de los combustibles fósiles se ve reducida.

4.4.1. Efecto fotovoltaico.

El efecto fotovoltaico viene dado por la transformación de la radiación solar en energía eléctrica, obteniendo así la energía solar fotovoltaica. Este proceso es debido a la interacción en los materiales semiconductores entre la radiación luminosa y los electrones.

Se produce en el instante en que los fotones de la luz solar inciden sobre una célula fotovoltaica., la cual está constituida mediante capas de semiconductores en la que los fotones son absorbidos, reflejados, o pasan a través de esta.

Los fotones absorbidos son los que generan electricidad, dado que la energía de este fotón se transfiere al electrón del átomo de la célula fotovoltaica. De esta manera, se genera un campo eléctrico, formando así la corriente del circuito eléctrico.

El efecto fotovoltaico viene dado por la unión p-n en la célula, siendo el silicio cristalino el componente más empleado para fabricar estas células en la actualidad. Para ello, el tipo p se obtiene reemplazando en el diodo de silicio átomos de silicio por átomos de boro, por lo que los portadores de carga libres son positivos. Y en el caso del tipo n, el enlace se realiza con fósforo, siendo los portadores de carga negativos. De esta manera, la unión p-n se obtiene mediante una barra de tipo p con tipo n.

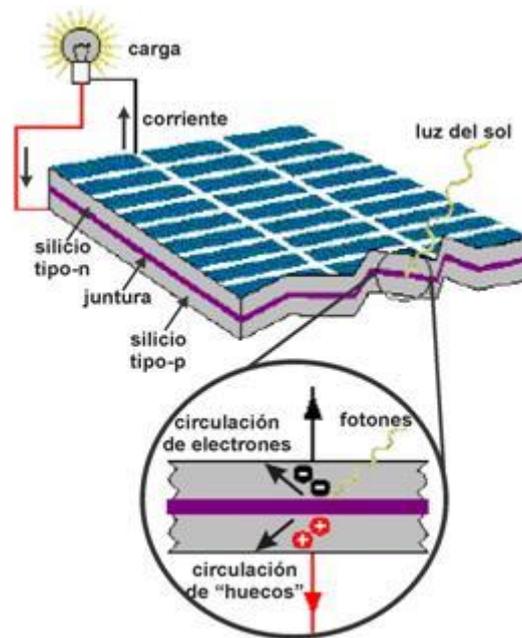


Figura 8. Esquema efecto fotovoltaico.

Con esta disposición se tiene a la derecha una franja sin huecos que origina un flujo hacia el lado derecho de cargas positivas, de tal forma que se produce un equilibrio. En el caso del material de tipo 'n' se crea un flujo hacia el lado izquierdo en el instante en que los electrones libres se muevan a la zona en la que no haya electrones libres. Así, se produce un exceso de cargas positivas a la derecha y de negativas a la izquierda. Este proceso es el que genera un campo eléctrico en el enlace de ambos materiales.

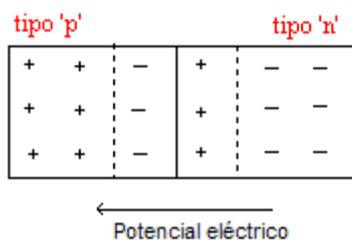


Figura 9. Representación campo eléctrico.

4.4.2. Tecnología fotovoltaica.

➤ Célula fotovoltaica.

En la célula fotovoltaica es donde se lleva a cabo la transformación de la radiación solar en corriente eléctrica.

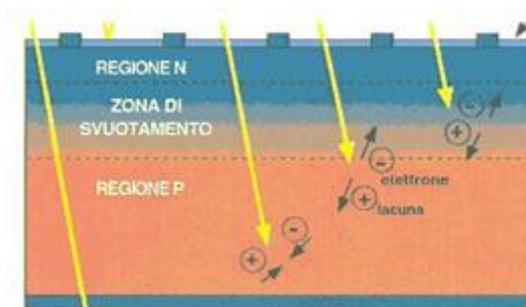


Figura 10. Sección célula fotovoltaica.

Las células solares fotovoltaicas se fabrican normalmente con los siguientes materiales: silicio mono-cristalino, con un rendimiento de hasta el 15%-17%, silicio poli-cristalino, hasta 12%-14 %, y silicio amorfo con rendimiento menor a 10%.

➤ Módulos fotovoltaicos.

Los módulos o paneles fotovoltaicos están formados por la unión de células solares fotovoltaicas, las cuales generan valores de tensión y corriente limitados, de manera independiente, si se compara con los requeridos en los aparatos convencionales. Por lo tanto, esta unión resulta necesaria.

Normalmente suelen estar compuestos por un conjunto de 36 células conectadas eléctricamente en serie, de tal forma que se obtiene un valor de tensión de 12 voltios (o en el caso de obtener 24 voltios, 72 células). Asimismo, la interconexión de las células

solares puede realizarse en serie o en paralelo en función de los niveles de tensión y corriente solicitados para la instalación.

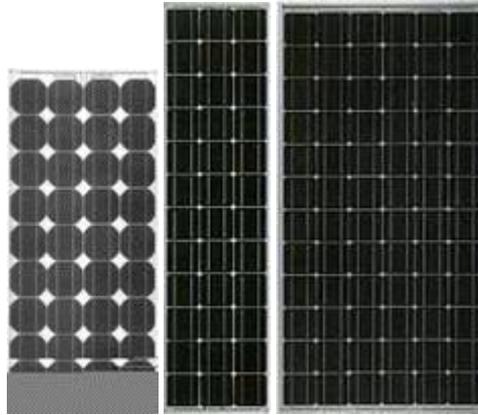


Figura 11. Algunos módulos fotovoltaicos presentes en el mercado.

El módulo solar fotovoltaico proporciona la energía necesaria gracias al efecto fotoeléctrico y la irradiación solar.

Tipos de tecnologías:

El año 2017 se sigue caracterizando por destacar tres tecnologías, las cuales se utilizan en el 90% de las instalaciones. Es el caso de los paneles solares monocristalinos, policristalinos y amorfos. Aunque en la actualidad, las células fotovoltaicas más usadas en los paneles rígidos convencionales son las formadas por la unión p-n de silicio monocristalino.

- *Silicio monocristalino*: muy buen semiconductor con una eficiencia del 14-18 %. Se caracterizan por ser los de mayor eficiencia de todas las tecnologías.



Figura 12. Panel solar de silicio monocristalino.

- *Silicio policristalino*: presenta una eficiencia que oscila entre el 11-15 %. Son células con menor coste que los monocristalinos, pero la menor eficiencia supone una desventaja.



Figura 13. Panel solar de silicio policristalino.

- *Silicio amorfo*: su eficiencia comprende un 6-8%. Estas células se caracterizan por ser las pioneras de capa fina en el mercado, pero con la reducción de precios de los paneles solares cristalinos provocaron que su implantación se realice en pocas ocasiones.

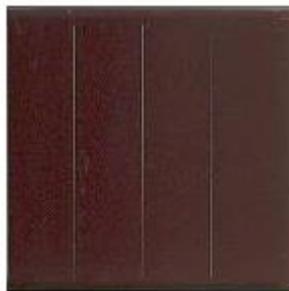


Figura 14. Panel solar de silicio amorfo.

Por lo tanto, las células de silicio monocristalino son las utilizadas en la mayoría de las instalaciones aisladas de la red eléctrica debido a su elevado rendimiento.

Sin embargo, se debe destacar las nuevas mejoras en esta tecnología, obteniendo nuevos productos que hacen que las instalaciones fotovoltaicas lleguen a ser más óptimas. Estas nuevas tecnologías se describen a continuación:

- *Celdas flexibles:*

Este tipo de celdas suponen un amplio abanico de posibilidades en el momento de seleccionar el tipo de panel solar que se desea instalar, en contraposición a los paneles rígidos tradicionales. Se pueden utilizar en mochilas, tiendas de campaña, etc. permitiendo cargar aparatos de pequeño consumo.

Además, se debe destacar la ligereza de estos módulos, por lo que resulta de facilidad mover la instalación donde requiera el consumidor, de tal forma que es capaz de generar energía eléctrica en cualquier emplazamiento.



Figura 15. Celdas flexibles.

- *Paneles con capas transparentes:*

Esta tecnología en vías de desarrollo se caracteriza por ser implementada en las ventanas mediante capas finas semi-transparentes, lo que facilita una mayor implementación en los edificios.

- *Celdas orgánicas:*

También en desarrollo, se trata de celdas que se pueden tejer en la ropa, siendo actualmente la celda Grätzel la de mayor interés en los laboratorios, de material simple semejante a la fotosíntesis.

- *Celdas de concentración:*

Se basan en la concentración de la luz mediante sistemas ópticos, de tal manera que se consiga tanto mejorar la eficiencia como reducir los costes. Hoy en día, esta tecnología supone un elevado coste de mantenimiento, aunque se haya conseguido mejorar el rendimiento.

- *Celdas PERC:*

Las celdas solares PERC están compuestas por una lámina en la cara posterior que induce una mayor captación de electrones y de la luz solar, por lo que consigue generar más electricidad, y por tanto una potencia mayor.



Figura 16. Célula fotovoltaica PERC.

Esta tecnología presenta un comportamiento mejor en zonas de poca luminosidad, como es el caso de los días con mayor nubosidad, en contraposición a los paneles tradicionales monocristalinos y policristalinos. Asimismo, la generación de calor es menor que los tradicionales, lo que hace que su rendimiento mejore en aquellas regiones con mayores temperaturas.

La *Figura 17* muestra una gráfica comparativa de los rendimientos de los módulos fotovoltaicos con células monocristalinas, policristalinas y PERC, siendo este último el que mejor eficiencia presenta, tal y como se ha explicado anteriormente:

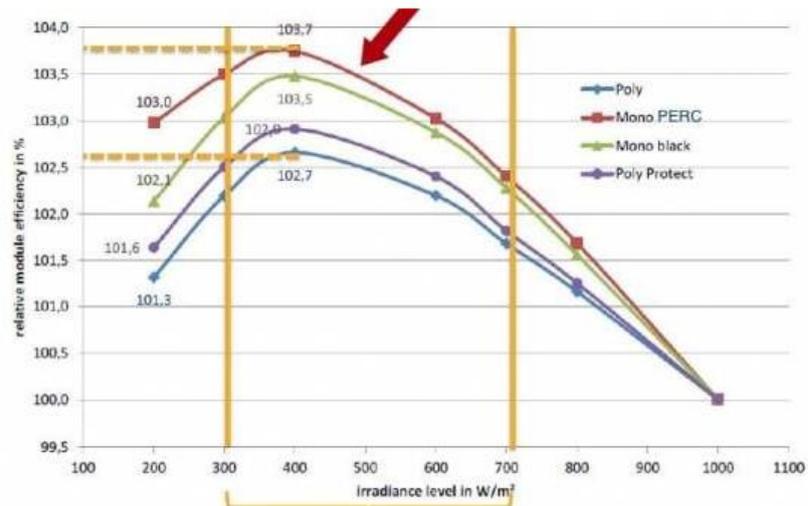


Figura 17. Gráfica comparativa de rendimientos entre paneles monocristalinos, policristalinos y PERC. Fuente: SunFields Europe.

Hoy en día, se sigue investigando fuertemente en nuevas tecnologías fotovoltaicas. Un ejemplo de ello son las celdas fotovoltaicas fabricadas con el mineral Perovskite. Este hecho supone una esperanza para los investigadores del sector, dado que se pretende llegar a alcanzar un 30% de eficiencia al menor precio posible.

Características eléctricas de un módulo fotovoltaico:

Las características eléctricas que se explican a continuación han de tenerse en cuenta para los cálculos, las cuales los fabricantes disponen en las hojas de características. La curva V-I presenta la relación entre la tensión del módulo y la corriente entregada.

- *Corriente nominal (A)*: intensidad del panel en el punto de trabajo.
- *Tensión nominal (Vn)*: valor de tensión del módulo, con valores de 12, 24 o 48 voltios.
- *Intensidad de cortocircuito (Isc)*: intensidad máxima que se adquiere en un cortocircuito entre los bornes del panel.

- *Tensión en circuito abierto (Voc)*: valor de tensión máximo en el caso en que entre los bornes del panel no circule corriente.
- *Corriente máxima (IM)*: intensidad en el punto de potencia máxima.
- *Tensión máxima (VM)*: tensión en el punto de potencia máxima, que suele ser del 80 % en circuito abierto.
- *Potencia máxima (PM)*: potencia máxima en el módulo.

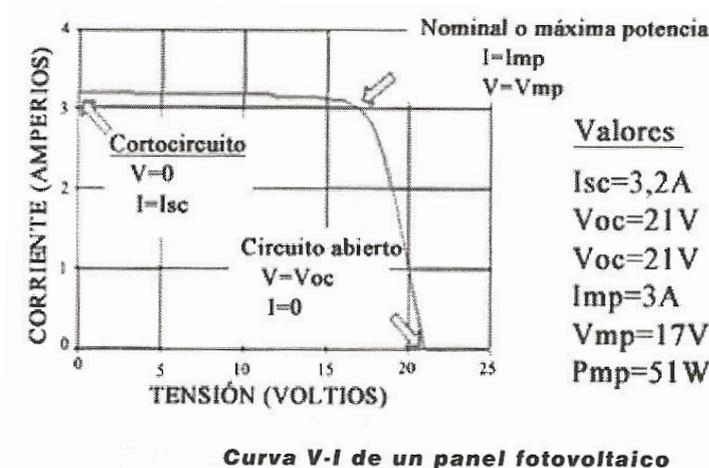


Figura 18. Curva V-I panel solar fotovoltaico.

Cuando sea necesario disponer de estos valores, el fabricante proporcionará los datos como se muestra en la figura, ya sea con la curva o los valores de la derecha.

Eficiencia del módulo fotovoltaico:

La eficiencia se obtiene como el cociente entre la potencia máxima (PM) y la potencia luminosa (PL) de la célula:

$$\eta = \frac{P_M}{P_L} = \frac{V_M \cdot I_M}{P_L}$$

Ecuación 2. Eficiencia módulo fotovoltaico.

Uno de los factores a mejorar en las células fotovoltaicas es incrementar la eficiencia, además de reducir los costes de producción.

Se han llegado a alcanzar eficiencias del 45% en los laboratorios, aunque a costes muy elevados. En el caso de celdas fabricadas con un único elemento se ha determinado que teóricamente se puede transformar un valor máximo de 33,7% de energía solar en energía eléctrica. Y si se combinan celdas de varias a capas o de concentración se puede llegar a una eficiencia mayor. Para las celdas de silicio, hasta ahora solamente se ha conseguido un máximo del 29%.

Un ejemplo de las nuevas mejoras en la eficiencia viene dada por la investigadora Kunta Yoshikawa. Ha creado una celda fabricada con materiales orgánicos que supera una eficiencia del 26%, la cual está compuesta por una estructura de dos capas, una de silicio monocristalino con otra de silicio amorfo.

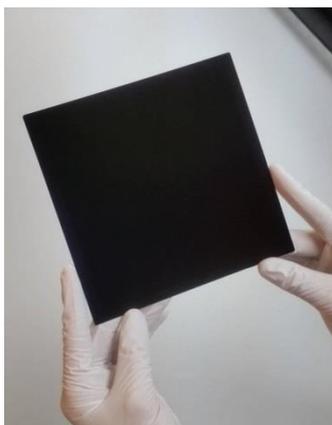


Figura 19. Célula solar fabricada por Kunta Yoshikawa.

Asimismo, se están investigando celdas constituidas por fosfuro de indio–galio–aluminio (AlGaInP), un material semiconductor que disminuye los defectos cristalinos en la estructura mejorando, por tanto, su eficiencia. Este tipo de células son las que se aplicarán en el futuro para desarrollar la energía solar fotovoltaica de concentración.

De este modo, se llega a la conclusión que para conseguir mejoras en la eficiencia de las células solares se deben juntar en una misma estructura varias células de distintos materiales semiconductores, obteniendo así la denominada célula solar multiunión, con las que se está alcanzando eficiencias del 45% aproximadamente.

Asimismo, en el momento de instalar los paneles solares se ha tener en cuenta algunas condiciones de aplicación para obtener el máximo rendimiento. En primer lugar, las placas se tienen que colocar a pleno sol, en los días despejados el rendimiento será de aproximadamente el 90%, en los días nublados se reducirá en torno al 30% y los días completamente lluvioso el rendimiento es casi nulo. Por último, cuanto más cerca del ecuador estén situados mejores resultados se obtendrán.

Nuevas placas solares fotovoltaicas en el mercado:

- *Placa solar plegable portátil:*

Este tipo de placas solares permiten ser utilizadas en instalaciones puntuales en cualquier emplazamiento. Es un producto que viene dado en formato portátil tipo maletín, siendo de fácil y rápido montaje, con sistemas que hacen que se pueda adaptar el panel en todo tipo de superficies e inclinarlo en el ángulo más adecuado para una mayor optimización.

De esta manera, se consigue obtener energía eléctrica mediante un módulo caracterizado por su fácil transporte, montaje y puesta en marcha, que permite instarlo y desmontarlo una vez haya llevado a cabo su función de abastecimiento.



Figura 20. Placa solar plegable portátil.

- *Placa solar plegable flexible:*

Las placas flexibles se caracterizan por poder instalarse en superficies curvadas. Además, como no disponen de cristal ni de marco de aluminio el peso es mucho menor al de los paneles tradicionales. Asimismo, las celdas utilizadas presentan una eficiencia de conversión en torno al 17% y están diseñados para soportar altas temperaturas y ser resistentes al agua.

Suelen estar fabricadas con células fotovoltaicas monocristalinas.

Estas placas destacan por su pequeño tamaño y su reducido peso frente a las convencionales, lo que permite instalarla en cualquier ubicación y trasladarla fácilmente. Asimismo, son las más adecuadas para el dimensionamiento, dado que se tiene que tener en cuenta el traslado en avión de los equipos desde España hasta el emplazamiento donde se ubica la base militar de estudio.

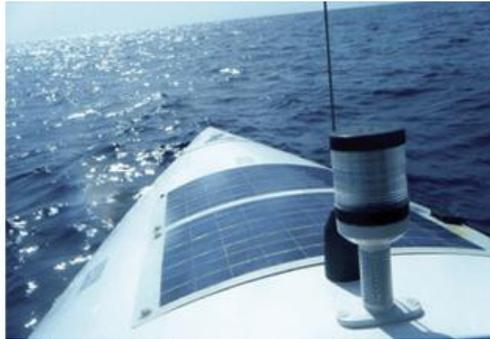


Figura 21. Placa solar plegable flexible.

CAPÍTULO 5- GRUPOS ELECTRÓGENOS.

Los grupos electrógenos son máquinas las cuales mueven el generador eléctrico a través del motor de combustión interna. Su uso se centra mayoritariamente en las zonas en que es difícil la llegada de la red eléctrica o los cortes en el suministro eléctrico ocurren con frecuencia. Asimismo, puede resultar obligatoria su instalación en determinados espacios con elevada influencia de personas, tales como hospitales, centros comerciales, cárceles, etc.

De este modo, una de las principales funciones de los grupos electrógenos se centra en la generación de electricidad en los lugares de difícil acceso al suministro eléctrico.

Los grupos electrógenos que se utilizan de manera continua, actuando como fuente de energía principal, generalmente se emplean en emplazamientos remotos o sitios donde no hay acceso a la red eléctrica, como operaciones mineras, sitios de construcción y barcos. En determinadas ocasiones, aunque haya acceso a la red eléctrica, puede ser más barato generar energía con un grupo electrógeno o se puede emplear en caso de fallo en el suministro eléctrico.

Asimismo, pueden emplearse como generadores de respaldo, que se encuentran generalmente inactivos en los sótanos de hospitales, instalaciones de comunicación y bases militares, etc. Sin embargo, en caso de fallo de la red eléctrica, son fundamentales para mantener las operaciones en dichas instalaciones. Se inician automáticamente en el momento en que se produce el corte de energía, de tal manera que se reduzca al máximo la cantidad de tiempo de inactividad de las instalaciones.

Un grupo electrógenos está compuesto por los siguientes elementos:

- **Motor:** es la fuente de energía mecánica para que se produzca el giro del alternador y así genere electricidad. Los dos tipos de motores que se pueden distinguir son los motores de gasolina y de gasoil (diésel). Habitualmente se utilizan los motores diésel por las mejores prestaciones mecánicas, económicas y ecológicas, por lo que será el tipo de motor utilizado en el proyecto de estudio.

- Regulación del motor: elemento mecánico encargado de mantener la velocidad constante del motor.
- Sistema eléctrico del motor: tiene una tensión de 12 V o 24 V e incluye los mecanismos de alarma en caso de fallo.
- Sistema de refrigeración: se puede utilizar aceite, agua o aire.
- Alternador: permite obtener la energía eléctrica a la salida.
- Depósito de combustible y bancada: se diseña con un acoplamiento del alternador y el motor el cual se sitúa sobre una bancada de acero, la cual incluye el depósito de combustible.
- Aislamiento de la vibración: muy útil para conseguir reducir las vibraciones que transmite el grupo motor-alternador.

Grupo electrógeno diésel:

Un generador diésel es la combinación de un motor diésel con un generador eléctrico para generar energía eléctrica. Generalmente está diseñado para funcionar con combustible diésel, pero algunos tipos están adaptados para otros combustibles o gas natural. Dependiendo del tamaño de los componentes, un generador diésel puede producir desde 8 kW como uso doméstico hasta 2000 kW para uso industrial. Además, este tipo de motores suelen quemar alrededor de un 30-50% menos de combustible que un motor de gasolina.

En el TFM se empleará este tipo de grupo, dado que es el más conveniente si se utiliza frecuentemente durante varias horas y con una potencia superior a 5kW.

Los motores diésel pueden funcionar con todo tipo de destilados del petróleo, desde gas natural, alcoholes, gasolina o gasoil hasta combustibles residuales más baratos, como biodiesel, aceite vegetal, grasas animales o glicerina.

En el caso de los grupos electrógenos que suelen emplearse en las Fuerzas Armadas, se caracterizan por utilizar como combustible diésel, con los cuales consiguen llegar a ubicaciones donde la obtención de energía es muy costosa económicamente o de medios de redes de distribución o de combustibles. Los tamaños de los diferentes grupos dependen del consumo eléctrico que se desee abastecer, por lo que se pueden encontrar tanto grupos de poco tamaño y peso como grandes grupos electrógenos. A continuación, se muestran diferentes tipos de grupos electrógenos diésel empleados en el Ejército español:



Figura 22. Depósito de combustible y grupo electrógeno de 143 kVA.



Figura 23. Grupos electrógenos de 6,5 kVA.

Otras opciones de combustible:

Los grupos electrógenos generalmente funcionan con combustible diésel, pero también se pueden usar otros combustibles.

- Gasolina: Los grupos electrógenos alimentados con gasolina son el segundo tipo de generador más utilizado. El generador de gasolina se puede comprar a un menor precio que los generadores diésel, cuyos componentes son más caros. Sin embargo, no son tan eficientes en el consumo de combustible como los generadores diésel.
- Gas natural: El gas natural se quema de manera más limpia que el diésel o la gasolina, por lo que conlleva un menor impacto negativo sobre el medio ambiente.
- Propano: El propano también se quema de forma más limpia que el diésel o la gasolina, pero un generador de propano puede consumir hasta tres veces más combustible que un generador diésel. Además, el propano es extremadamente inflamable, lo que hace que sea peligroso trabajar con él.

Entre los nuevos combustibles se pueden encontrar el hidrógeno, el biodiésel, la biomasa y el biogás.

- Hidrógeno

El grupo electrógeno de hidrógeno se caracteriza por aplicar el proceso de electrólisis, en el cual se produce una corriente eléctrica que fluye a través del agua. El hidrógeno no se almacena, por lo que continuamente se va llevando a cabo el proceso hasta generar la energía eléctrica. Las ventajas que presenta es la menor contaminación, con un 70% menos de emisión de gases perjudiciales para la atmósfera, como es el caso del CO₂.

- Biodiésel

El biodiésel emplea cultivos oleaginosos, aceites vegetales, grasas animales y aceite residual de alimentos como materia prima, por lo que frente a los combustibles tradicionales presenta también el menor impacto medioambiental, como es el caso del hidrógeno.

- Biomasa

Se trata de un combustible fácil de obtener y rentable. Es un combustible que procede de residuos naturales del monte, de la agricultura o de restos de madera. Por ello, se trata de un combustible seguro, barato, renovable y con menores emisiones. Según el proceso empleado para la obtención de la energía se distingue la gasificación y combustión.

- Biogas

Se utiliza el metano como fuente energética, tratándose por tanto de otra fuente ecológica, que sirve tanto para la generación de energía como la generación de calor.

Solución a posibles fallos en el grupo electrógeno:

Hoy en día se está aplicando la modalidad de “grupo de reserva”, de tal forma que permite el uso de ambos grupos según el tiempo requerido por el usuario. En caso de fallo de alguno de los grupos, el otro arranca automáticamente y es sustituido de manera rápida. De esta forma, se obtiene un suministro eléctrico que funciona ininterrumpidamente, se pueden llevar a cabo labores de mantenimiento sin interrupciones e incrementa la vida útil de los grupos. Para ello, resulta necesario un cuadro de conmutación programado para que se alterne cada grupo electrógeno, o en caso de fallo, envíe una señal de arranque al otro de reserva.

Se debe tener en cuenta que si únicamente se hace uso de un grupo electrógeno en zonas donde no se puede conectar la instalación a la red eléctrica y se solicita un suministro continuo puede resultar arriesgado si se origina algún fallo en el grupo y, por tanto, se pierda el suministro. Además, con un solo equipo se reduce la vida útil de este por el uso continuado, dado que se produce más desgaste.

CAPÍTULO 6- SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO/CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA.

El sistema solar fotovoltaico consigue transformar la energía solar en energía eléctrica gracias los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos de los que se compone el sistema.

Se debe diferenciar dos tipos de instalaciones:

- ❖ Instalaciones aisladas de la red eléctrica.
- ❖ Instalaciones conectadas a la red eléctrica.

Ambas instalaciones se distinguen en los elementos que constituyen la instalación, como son los módulos fotovoltaicos, el sistema de acondicionamiento de potencia y el sistema de adquisición de datos.

6.1. SISTEMAS AISLADOS DE LA RED ELÉCTRICA.

Este tipo de instalaciones se caracterizan por la conversión en energía eléctrica a partir de los recursos naturales en el mismo emplazamiento donde es demandada. Por lo tanto, no es necesario un sistema de distribución para transportar la energía que se genera hasta la zona de consumo.

Las instalaciones que se encuentran aisladas de la red eléctrica hacen que se pueda suministrar la energía eléctrica en aquellas zonas más alejadas de la red, ya sea alumbrado en lugares públicos, depuración de aguas o una base militar, como es el caso de este proyecto de estudio.

De esta manera, estos sistemas resulta una muy buena solución para los problemas de abastecimiento eléctrico en los emplazamientos de difícil acceso.

Para diseñar la instalación se debe tener en cuenta las necesidades energéticas de abastecimiento, lo que hace que se diferencie en mayor medida a los sistemas de producción de las compañías eléctricas.

Asimismo, debido al aislamiento del sistema se necesitan baterías en las que se almacene la energía eléctrica generada, y así poder disponer en cualquier instante de tiempo. De esta manera, en caso de situaciones climatológicas adversas también se podría abastecer el consumo eléctrico de la instalación.

Las baterías de almacenamiento son necesarias ya que los módulos fotovoltaicos sólo suministran energía en el caso en que la climatología sea favorable, es decir, durante el día que es cuando recibe la radiación solar. Hay que tener en cuenta, que puede suceder que por la tarde o por la noche, que coincide con las horas de poca o nula radiación solar, se produzca el mayor consumo eléctrico. Por lo tanto, resultaría importante disponer de las baterías para acumular la energía excedente en los instantes en los que se recibe la mayor radiación solar. De esta manera, la energía acumulada en la batería se empleará para abastecer el consumo eléctrico cuando la energía en ese instante sea escasa o nula.

Por ello, cuando se diseña la instalación se debe dimensionar de tal forma que se abastezca el consumo, y además acumule energía en las baterías.

Un sistema solar fotovoltaico aislado está formado por los siguientes elementos:

- **Módulos fotovoltaicos:** como ya se ha comentado anteriormente, la electricidad es generada gracias al efecto fotovoltaico.
- **Regulador de carga:** se encarga de desconectar los paneles solares del resto de los componentes de la instalación en aquellas situaciones que se lleguen a dañar los equipos. En el caso en que la climatología sea la favorable, de tal forma que los paneles solares generen más energía de la solicitada por la instalación, el regulador protegerá a la batería frente a esta sobrecarga.
- **Baterías de acumulación:** son las encargadas de almacenar la energía eléctrica los módulos fotovoltaicos han producido, y así abastecer el consumo en los momentos resulte necesario cubrir la demanda de la instalación. Como la generación varía en función de las condiciones atmosféricas de la zona, resulta esencial disponer de este dispositivo.

Las baterías son fuentes de tensión continua y están formadas por acumuladores recargables. Para el dimensionamiento de éstas se debe tener en cuenta que se garantice la alimentación de la carga. Además, al ser un sistema aislado, se debe cumplir que estos dispositivos presenten un número elevado de ciclos de carga y descarga, así como una vida útil larga.

- **Inversor:** su función es convertir la corriente continua, que viene de los paneles solares, las bombillas de bajo consumo o la batería, en corriente alterna, para el suministro del resto de la instalación. En determinadas ocasiones, el inversor no es necesario si las cargas se pueden alimentar en corriente, como es el caso de las bombillas de bajo consumo, empleadas en el proyecto de estudio.

La *Figura 24* muestra el proceso que se realiza en los sistemas fotovoltaicos aislados de la red. Las placas solares generan la energía eléctrica que se acumulará en las baterías o se utilizará al instante para abastecer la demanda. El regulador de carga y el inversor resultan necesarios para la alimentación de la carga. Y el grupo electrógeno se encargará de cubrir el consumo eléctrico que no sea abastecido por la solar.

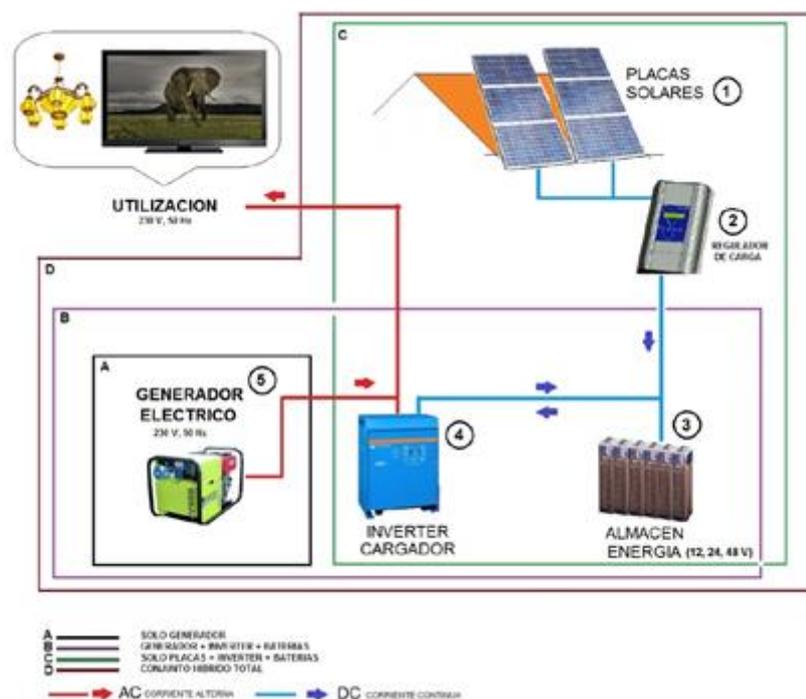


Figura 24. Sistema solar fotovoltaico aislado de la red eléctrica.

Se tiene que tener en cuenta que la principal desventaja de los sistemas aislados es que pueda ocurrir que no se cubra la demanda en caso de avería. Por este motivo, se incorpora el grupo electrógeno diésel en el proyecto, de tal manera, que además de cubrir parte de la demanda eléctrica, asegura la continuidad en el suministro. Asimismo, el conjunto del sistema fotovoltaico más generador diésel supone un mayor ahorro de combustible, así como una mejor estabilidad frente a las variaciones de la radiación solar, empleando así un sistema en el que se cubra aproximadamente un 50% del consumo con la energía solar y el otro 50% se genere gracias a los grupos electrógenos.

El grupo diésel concede una gran autonomía a la instalación aislada de la red, además de disminuir el tamaño necesario para las baterías.

De esta manera, los sistemas fotovoltaico-diésel resultan de mayor utilidad, ya que son los más óptimos para el abastecimiento de la instalación.



Figura 25. Sistema solar fotovoltaico-diésel aislado de la red eléctrica.

6.2. SISTEMAS CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA.

Los sistemas conectados a la red permiten el suministro eléctrico de una potencia elevada, de tal forma que únicamente no sea dependiente de las fuentes de energía renovables.

Además, las placas solares pueden instalarse mediante estructuras móviles que sigan el recorrido del sol, y de esta manera maximice la producción de la energía eléctrica.

La principal ventaja es que este tipo de sistemas no disponen de baterías de acumulación, dado que la energía sobrante es vertida a la red. Esto hace que los costes de la instalación disminuyan considerablemente debido al elevado precio de las baterías. En aquellos casos en los que los módulos fotovoltaicos no sean capaces de cubrir todo el consumo, será la red la encargada del abastecimiento eléctrico.

Asimismo, las instalaciones conectadas a red permiten disponer de un suministro continuo, a diferencia de los aislados de la red, en los cuales en caso de avería puede llegar a no ser cubierta la demanda en caso de no tener grupos electrógenos. Por consiguiente, resulta más fiable el sistema conectado a la red, en los casos en que sea posible disponer de esta.

La *Figura 26* muestra los dispositivos necesarios en los sistemas conectados a la red eléctrica. Las placas fotovoltaicas encargadas de generar la energía eléctrica, el inversor para la conversión a corriente alterna para cubrir la demanda o verter a la red y el contador de energía, que se encarga de registrar la energía que genera el sistema fotovoltaico durante el tiempo que funcione.



Figura 26. Sistema conectado a la red eléctrica.

CAPÍTULO 7- TRATAMIENTO DE DATOS METEOROLÓGICOS.

El dimensionamiento de la instalación debe realizarse teniendo en cuenta los datos meteorológicos del emplazamiento donde se ha decidido asentar la base militar. De esta manera, se lleva a cabo un estudio de la radiación solar de la zona de estudio, obteniendo los datos de las estaciones meteorológicas, tablas, atlas solares, bases de datos y modelos matemáticos.

La estación meteorológica tiene como función recoger la información de la zona, y con ello obtener las tablas de datos o gráficos que se pondrán a disposición del usuario.

Los valores de las medidas tomadas son de humedad, presión atmosférica y temperatura. En el caso de que el usuario desee disponer de datos eólicos, se obtendrán la velocidad y la dirección del viento mediante anemómetros.

Es importante destacar que el país seleccionado para el TFM, Malí, se caracteriza por presentar un gran potencial solar. Esto es debido a la buena situación del país, cercano al ecuador de la Tierra, y sus favorables condiciones climatológicas.

CAPÍTULO 8- MOTIVACIÓN.

8.1. ORIGEN DEL PROYECTO.

El presente proyecto, titulado: “Viabilidad de la implantación de un sistema solar fotovoltaico para suministro eléctrico de una base militar en zona de conflicto”, tiene su origen en la actual problemática energética basada en un modelo insostenible. Para ello, se deben buscar soluciones, siendo el objetivo el uso de diversas fuentes energéticas, dado que hoy en día se sigue dependiendo fuertemente de los combustibles fósiles. De esta manera, una de las mejores alternativas a este problema es la energía renovable. Gracias a ella, se conseguirá reducir la dependencia de los países productores, y las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, cumpliendo con los compromisos adquiridos en la firma del Protocolo de Kioto y la COP21.

Se deben ofrecer nuevas respuestas a la demanda energética en las misiones, disminuyendo el impacto ecológico en la zona y logrando una progresiva reducción del uso de los combustibles fósiles. Para llevarlo a cabo en el ámbito del Ejército se deben adaptar soluciones tecnológicas medioambientales aceptables, que sean viables económicamente y que la logística pueda realizarse en condiciones de seguridad y fiabilidad.

El despliegue de las Fuerzas Armadas en las diferentes misiones internacionales se encuentra en ocasiones con la dificultad de garantizar el correcto aprovisionamiento de suministros, buscando conseguir la autonomía y viabilidad del despliegue de las tropas militares. Además, la mayor concienciación medioambiental de la sociedad lleva a la búsqueda de modelos de gestión más sostenibles y nuevas soluciones innovadoras que logren disminuir el impacto ambiental y la huella ecológica en los emplazamientos donde las misiones internacionales se despliegan. De esta manera, la generación eléctrica se trata de un recurso indispensable que debe responder a las necesidades de la tropa. Se debe precisar de fuentes de energía seguras y fiables que sean capaces de abastecer la demanda energética de las necesidades operacionales. Del mismo modo, se tiene que garantizar la alimentación constante de aquellos equipos que no puedan interrumpir su funcionamiento.

Asimismo, una base militar en zona de conflicto cubre su demanda eléctrica gracias a los grupos electrógenos de los que dispone. Por un lado, los grupos electrógenos deben estar provistos de combustible, que se ha de trasladar a la base. Sin embargo, se debe considerar las situaciones de emergencia que se pueden producir. En el caso de que se produzca un conflicto en las inmediaciones y la base no pueda ser aprovisionada de combustible para los grupos (en numerosas ocasiones, los camiones que trasladan el combustible son explosionados por los grupos terroristas para que la base no tenga provisiones), y como consecuencia, la demanda no pueda ser cubierta, entonces el sistema solar fotovoltaico deberá ser dimensionado para situaciones similares, de tal forma que sea capaz de suplir el consumo eléctrico. Asimismo, se pueden producir fallos en los grupos, lo que conllevaría el uso del sistema solar, como en el caso anterior. En estas situaciones, el consumo eléctrico que se desea cubrir correspondería a la demanda eléctrica de primera necesidad, es decir, aquel consumo que debe ser cubierto de manera ininterrumpida, dado que abastecer únicamente la energía eléctrica con la instalación fotovoltaica conllevaría un dimensionado de grandes magnitudes. Esto podría desencadenar en un proyecto poco viable por el elevado coste, así como problemas de espacio en la instalación de los paneles solares. Por otro lado, se tiene que considerar igualmente las situaciones de no emergencia en la base militar. En este caso, la demanda eléctrica se cubriría tanto con los grupos electrógenos como con la energía aportada por la instalación fotovoltaica.

Puesto que la energía generada se empleará para el propio autoconsumo de la base militar, será necesario instalar dispositivos para el almacenamiento de la energía que no se está utilizando.

8.2. OBJETIVO DEL PROYECTO.

El TFM a desarrollar se basa en la integración de un sistema solar fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica en una base militar en zona de conflicto.

En relación a las operaciones internacionales que desarrollan las Fuerzas Armadas, el consumo eléctrico de una base militar en zonas de conflicto se cubre únicamente con grupos electrógenos. Por ello, el objetivo del TFM se centrará en la implementación de un sistema solar fotovoltaico, que con ayuda de los grupos electrógenos abastezcan el consumo eléctrico de una base militar. Este hecho resulta de gran interés dado que en situaciones de emergencia, en las cuales no dispongan de combustible para los grupos electrógenos o de fallo en los grupos, dispongan de la instalación fotovoltaica, aprovisionada de baterías, para así poder cubrir la demanda eléctrica.

De esta manera, se consigue aprovechar los recursos energéticos de la zona de manera integral para el abastecimiento energético de la instalación objeto de estudio.

Por lo tanto, se debe seleccionar un emplazamiento adecuado en el que sea posible la instalación de un sistema solar fotovoltaico en la base militar, así como con unas condiciones climatológicas adecuadas para su buen funcionamiento. Asimismo, se debe calcular la demanda eléctrica que debe ser abastecida en la base militar, siendo primordial un estudio del consumo eléctrico que deber ser cubierto de manera ininterrumpida. Asimismo, deben ser seleccionados los grupos electrógenos, así como dimensionar la instalación solar fotovoltaica, acorde a las condiciones climatológicas de la zona y las especificaciones de demanda eléctrica que debe ser cubierta, diferenciando entre situaciones de emergencia y no emergencia. Finalmente, se llevará a cabo un estudio económico de viabilidad del proyecto objeto de estudio.

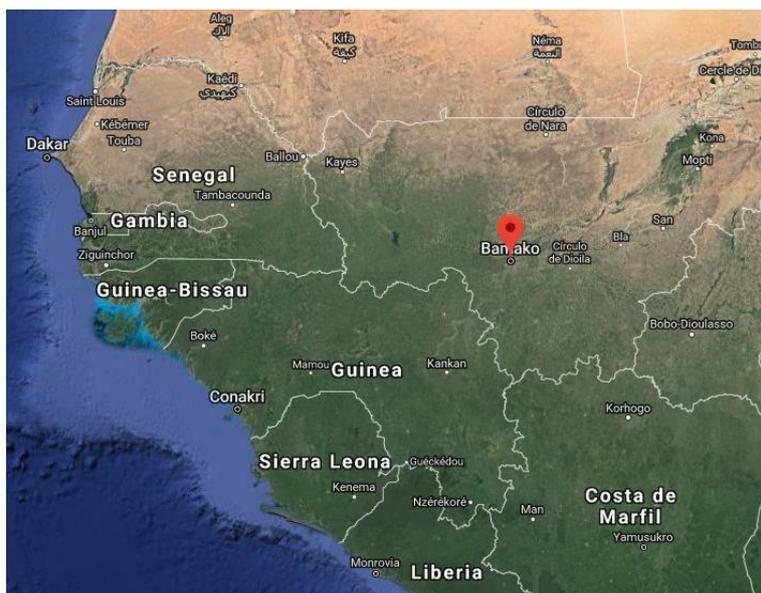


Figura 28. Bamako, Malí. Fuente: Google Maps.

Desde 2013 se está desarrollando en Malí la misión militar EUTM-Malí. En ella, las fuerzas españolas se encargan de proporcionar entrenamiento militar y asesoramiento al Ejército maliense, así como ayuda en las cadenas de control, mando y logística, y gestión de recursos humanos y derecho internacional humanitario. Gracias a ello, serán capaces de fortalecer su capacidad para contribuir a la defensa de su país y a la protección de su población frente la amenaza yihadista.

En 2012 comenzó el conflicto en el norte de Malí cuando los tuaregs, arropados por yihadistas, intentaron reconquistar el Azawad, logrando alcanzar más o menos el centro del país. Fueron los franceses quienes consiguieron frenar en cierta medida esta lucha y, a partir de ahí, la UE decidió establecer la misión para apoyar el ejército maliense y poder crear unidades operativas, que luego los malienses desplegarán para controlar toda la zona norte.

Este conflicto iniciado en 2012, con la rebelión de los tuareg, el posterior golpe de estado militar y el acceso de terroristas yihadistas en el país, fue el desencadenante de la crisis humanitaria, política y de seguridad de Malí, convirtiéndose en una zona de inestabilidad y de amenaza, tanto para el Sahel como Europa. Ante esta situación, los dirigentes malienses solicitaron ayuda a la ONU y la Unión Europea.

De esta manera, los países miembro de la Unión Europea acordaron realizar una misión para entrenar el ejército maliense, denominándose Operación EUTM-Malí.

Es importante destacar que en la misión llevada a cabo, los militares pertenecientes a la UE no participan en las actividades de combate realizadas por las fuerzas armadas malienses.



Figura 29. Misión EUTM-Malí. Fuente: Estado Mayor de la Defensa.

El 31 de enero de 2018, España ha asumido el mando de la misión coincidiendo con el momento más delicado, dado que el retorno de los yihadistas que han combatido en Siria e Irak han deteriorado la seguridad en la zona de conflicto, alcanzando con fuerza la zona centro, además de la zona de norte en la que ya actuaban. De esta manera, los militares españoles contribuyen a que Malí no sea presa del terrorismo yihadista, los movimientos criminales o la extensión de la inmigración ilegal. Gracias a ello se contribuye a que el país tenga un futuro mejor y, además se mejore nuestra propia seguridad.

Aunque el TFM se centra en el país de Malí, se debe destacar que la amenazas en la seguridad son globales hoy en día, por lo que las Fuerzas Armadas Españolas se encuentran desplegadas en muchos lugares, ya sea África, las aguas del Mediterráneo o el Índico, Afganistán, Líbano...



Figura 30. Soldado español con un niño en Malí. Fuente: Ministerio de Defensa.

El conflicto acontecido actualmente en la zona de Malí es el motivo de la elección de este emplazamiento. De esta forma, el TFM tiene como objetivo instalar un sistema eléctrico, aislado de la red, constituido por grupos electrógenos y una instalación solar fotovoltaica.

Hoy en día, las bases militares en zona de conflicto cubren su consumo eléctrico con los grupos electrógenos de los que dispone. Como se ha explicado anteriormente, los grupos electrógenos deben estar provistos de combustible, que se ha de trasladar a la base. Sin embargo, en numerosas ocasiones, los camiones que trasladan el combustible son explosionados por los grupos terroristas para que la base no tenga provisiones, de tal forma que la demanda no pueda ser cubierta. Por ello, por motivos de seguridad, se va a estudiar otra opción para cubrir el consumo eléctrico en estas situaciones de emergencia, como puede ser la implementación de un sistema solar fotovoltaico.

De esta manera, ya seleccionado el emplazamiento donde se ubica la base militar, a continuación se exponen datos climatológicos de interés en la zona. Con ellos se pretende estudiar si las condiciones meteorológicas son favorables para la implantación del sistema solar fotovoltaico.

La ciudad de Bamako presenta un clima tropical, en el que la mayoría de las precipitaciones se dan en verano. De hecho, la mayor parte de Malí presenta insignificantes precipitaciones, lo que supone que las sequías sean frecuentes.

La temperatura media en Bamako es 27,8 °C, siendo las temperaturas más elevadas en mayo, alrededor de 31,5 °C, y el mes más frío en diciembre con un promedio de 24,8 °C. A continuación, se muestran distintas gráficas relativas al clima de Bamako:

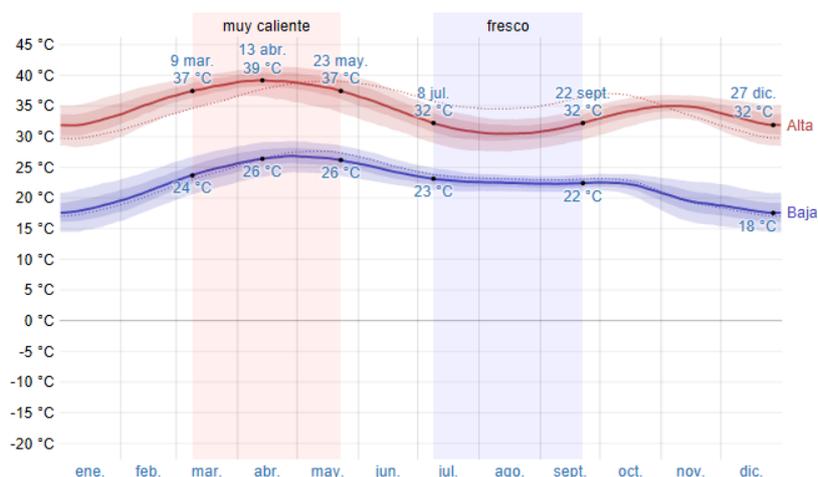


Gráfico 1. Temperatura máxima y mínima promedio diaria en Bamako. Fuente: Weather Spark.

	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 min. (°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	33.8

Tabla 1. Temperatura media, mínima y máxima mensual en Bamako. Fuente: Climate Data.

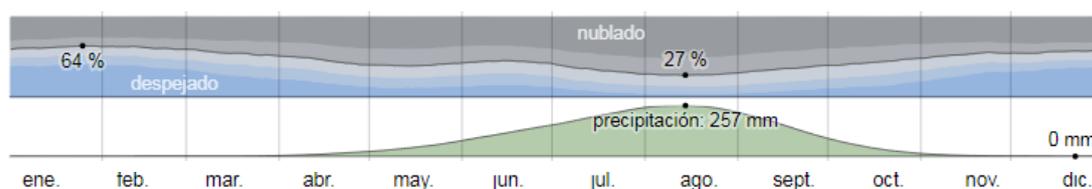


Gráfico 2. Precipitaciones y nubosidad en Bamako. Fuente: Weather Spark.

Asimismo, en relación a las horas de luz, la duración del día en Bamako no varía considerablemente a lo largo del año. Únicamente varía 52 minutos de las 12 horas en todo el año. En 2018, el día más corto se corresponde al 21 de diciembre, con 11 horas y 23 minutos de luz natural, y el día más largo el 21 de junio, con 12 horas y 52 minutos. La salida del sol más temprana se da a las 6:05 el 1 de junio, y la más tardía ocurre el 24 de enero a las 6:58, sólo 53 minutos más tarde. La puesta de sol más temprana se da a

las 18:02 el 19 de noviembre, y la más tardía es 59 minutos más tarde a las 19:02 el 10 de julio. El *Gráfico 3* muestra la duración de los días en Bamako:

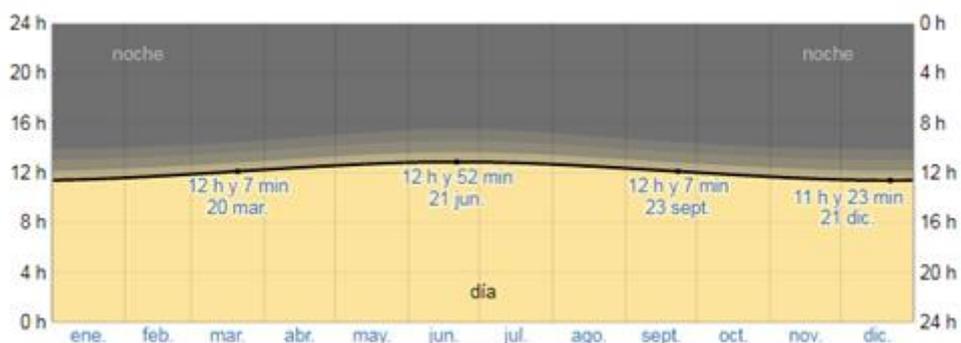


Gráfico 3. Horas de luz natural y crepúsculo en Bamako. Fuente: Weather Spark.

Todos estos datos serán de gran relevancia en el momento de considerar ciertas hipótesis en el dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica.

9.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA BASE MILITAR.

La base militar se diseña para alojar a 40 militares en 28 módulos portátiles con una superficie de 40 o 20 m² según las necesidades de utilización.

En la siguiente tabla se especifican los datos de superficie, unidades y utilización de cada módulo, siendo la superficie total de la base 280 m²:

Descripción	Unidades	Superficie (m ²)
Dormitorios	16	20
Comedor	2	40
Sala de reuniones	1	20
Oficinas	5	20
Almacén	2	20
Sala Lúdica	1	40
Aseos/Duchas	1	40
Cocina	1	40
Locutorio de Internet	1	20
Armero	1	5
Lavandería	1	10
Garita de entrada a la base	1	5

Tabla 2. Utilización, unidades y superficie de los módulos de la base militar.

El TFM tiene su origen en asegurar el abastecimiento del consumo eléctrico de la base para cualquier situación. Como ya se ha explicado anteriormente, una base militar cubre su demanda con grupos electrógenos, los cuales deben estar provistos de combustible, que se ha de trasladar a la base. Sin embargo, se debe considerar las situaciones de emergencia que se pueden producir. En numerosas ocasiones, los camiones que trasladan el combustible son explosionados por los grupos terroristas para que la base no tenga provisiones, y como consecuencia, la demanda no pueda ser cubierta. Es por este motivo por lo que se desea implementar un sistema solar fotovoltaico. En estas situaciones, el consumo eléctrico que se desea cubrir correspondería a la demanda eléctrica de primera necesidad, es decir, aquel consumo que debe ser cubierto de manera ininterrumpida, dado que abastecer únicamente la energía eléctrica con la instalación fotovoltaica conllevaría un dimensionado de grandes magnitudes. Esto podría desencadenar en un proyecto poco viable por el elevado coste, así como problemas de espacio en la instalación de los paneles solares. Por otro lado, se tiene que considerar igualmente las situaciones de no emergencia en la base militar. En este caso, la demanda eléctrica se cubriría tanto con los grupos electrógenos como con la energía aportada por la instalación fotovoltaica.

Es decir, se debe diferenciar entre dos situaciones. Por un lado, la situación normal, en la cual todos los equipos de la base militar están funcionando, de tal forma que se cubre el 100% de la demanda eléctrica mediante los grupos electrógenos y el sistema solar fotovoltaico. Y por otro lado, la situación de emergencia, provocada por fallo en los grupos electrógenos (fallo eléctrico/ no hay diésel), en la que únicamente están funcionando los equipos que deben funcionar de manera ininterrumpida, cuyo consumo se cubre gracias al sistema solar fotovoltaico.

De esta manera, en toda la base militar se dispone de los siguientes equipos eléctricos donde se especifica la carga eléctrica y su tiempo de utilización diario. Se corresponde a la situación normal:

➤ **Situación normal:**

Equipo	n° elementos (cantidad)	Potencia nominal[W] (1 unidad)	Tiempo de uso (1 unidad) [horas/día]
Iluminación 16 dormitorios	16	60	3,0
Iluminación 2 comedores	2	120	4,0
Iluminación 1 sala de reuniones	1	60	2,0
Iluminación 5 oficinas	5	60	10,0
Iluminación 2 almacenes	2	60	1,0
Iluminación 1 sala lúdica	1	120	3,0
Iluminación 1 aseos/duchas	1	120	2,0
Iluminación 1 cocina	1	120	4,0
Iluminación 1 locutorio de internet	1	60	2,0
Iluminación 1 lavandería	1	30	2,0
2 Televisiones	2	180	6,0
3 Frigoríficos	3	250	24,0
28 Ordenadores	28	100	10,0
Varios (equipos auxiliares)	-----	500	6,0
Lavandería (2 lavadoras comerciales)	2	1.000	2,0
Locutorio internet (5 ordenadores + router)	-----	510	2,0
Iluminación armería	1	200	0,5
Satélite para comunicaciones externas de la base	-----	2.500	24,0
Iluminación una garita de entrada a la base	1	100	24,0

Tabla 3. Número de elementos, potencia nominal y tiempo de uso diario de los equipos en la situación normal.

Hay que tener en cuenta las hipótesis tomadas en referencia al número de ordenadores que se utilizan y la iluminación.

En primer lugar, como número de ordenadores se toma un factor de utilización del 50%, dado que los 40 portátiles de los 40 militares no van a estar conectados todos a la vez (no hay 40 enchufes suficientes para ello), y para trabajo es suficiente con 8 ordenadores. De esta forma, se obtiene:

$$40 (\text{portátil/militar}) \cdot 50\% + 8(\text{trabajo}) = 28 \text{ ordenadores}$$

En relación a la situación de emergencia, los equipos que deben funcionar de manera ininterrumpida son los siguientes:

➤ **Situación de emergencia:**

Equipo	n° elementos (cantidad)	Potencia nominal[W] (1 unidad)	Tiempo de uso (1 unidad) [horas/día]
Iluminación 16 dormitorios	16	27	1,0
Iluminación 2 comedores	2	50	2,0
Iluminación 1 sala de reuniones	1	60	1,0
Iluminación 5 oficinas	5	7	9,0
Iluminación 2 almacenes	2	7	1,0
Iluminación 1 sala lúdica			
Iluminación 1 aseos/duchas	1	14	2,0
Iluminación 1 cocina	1	50	3,0
Iluminación 1 locutorio de internet			
Iluminación 1 lavandería			
2 Televisiones			
3 Frigoríficos	3	250	24,0
20 Ordenadores	20	100	8,0
Varios (equipos auxiliares)	-----	100	4,0
Lavandería (2 lavadoras comerciales)			
Locutorio internet (5 ordenadores + router)			
Iluminación armería	1	30	0,5
Satélite para comunicaciones externas de la base	-----	2.500	24,0
Iluminación una garita de entrada a la base	1	100	24,0

Tabla 4. Número de elementos, potencia nominal y tiempo de uso diario de los equipos en la situación de emergencia.

En esta situación de emergencia se elimina la sala lúdica, televisiones, lavandería y locutorio de internet, dado que se pueden prescindir de ellas.

Asimismo, el número de ordenadores que se tienen en cuenta en esta situación de emergencia viene dado por un factor de utilización del 35%. Además, también los ordenadores de trabajo se disminuyen de 8 a 6.

$$40 (\text{portátil/militar}) \cdot 35\% + 6(\text{trabajo}) = 20 \text{ ordenadores}$$

Se puede observar que dormitorios, comedores, ordenadores y equipos auxiliares se reduce tanto número de horas de uso al día como potencia (menos luces encendidas), puesto que no resultan las estancias con mayor importancia.

Almacenes, aseos/duchas, no reduce número de horas, aunque sí potencia.

En relación a la sala de reuniones se reduce solo 1 hora, dado que resulta esencial, y la potencia se mantiene, ya que es necesario el mismo nivel de iluminación en esta estancia.

La iluminación de las oficinas y la armería (no se reduce número de horas) no se reduce apenas el número de horas, aunque sí mucho la potencia, dado que se pretendería que la Unidad trabaje durante las horas de luz a ser posible (aprox. 12 horas de luz en Mali) y en la armería no es esencial tanta luz.

Los frigoríficos, el satélite para comunicaciones y la iluminación de la garita de entrada a la base no se pueden reducir ni número de horas ni potencia, dado que resultan esenciales en situaciones de emergencia.

En emergencia se tiene más en cuenta qué estancias solicitan estar más iluminadas y cuáles no hace falta tanto. En el caso de la situación normal, se lleva a cabo la misma iluminación, en relación a la superficie de cada estancia.

9.3. ESTIMACIÓN DEMANDA ELÉCTRICA.

Para dimensionar la instalación solar fotovoltaica se debe tener en cuenta las necesidades energéticas de la base militar, para así cubrir su consumo eléctrico.

Para ello, ha de realizarse un estudio de la demanda eléctrica, caracterizado por ser bastante complejo debido a la multitud de factores que intervienen diariamente. Por este motivo, se lleva a cabo una estimación, teniendo en cuenta algunas hipótesis detalladas más adelante. De esta manera, se obtiene una demanda eléctrica de la base militar la más cercano posible a la real.

9.3.1. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL CÁLCULO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN.

El proyecto tiene como objetivo el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico y la elección de los grupos electrógenos adecuados que suministren la energía eléctrica necesaria para abastecer el consumo máximo de la base militar.

Se trata de un sistema aislado de la red eléctrica, por lo que la instalación eléctrica diseñada de realizarse para satisfacer el 100% del consumo eléctrico. También se incluyen baterías de acumulación para poder abastecer la demanda eléctrica cuando la climatología no sea la favorable.

La demanda energética de la base viene dada por los equipos que debe disponer la Unidad para desempeñar correctamente su trabajo (iluminación, ordenadores, satélite de comunicación, frigoríficos, etc.)

Se deben tener en cuenta dos situaciones, tal y como se ha explicado anteriormente. Por un lado, la situación normal, en la cual todos los equipos de la base militar están funcionando, de tal forma que se cubre el 100% de la demanda eléctrica mediante los grupos electrógenos y el sistema solar fotovoltaico. Y por otro lado, la situación de emergencia, provocada por fallo en los grupos electrógenos (fallo eléctrico/ no hay diésel), en la que únicamente están funcionando los equipos que deben funcionar de manera ininterrumpida, cuyo consumo se cubre gracias al sistema solar fotovoltaico.

Atendiendo a los posibles errores de cálculo del consumo eléctrico se aplica un coeficiente de seguridad en la demanda energética, para así obtener un margen de en la estimación del consumo.

9.3.2. HIPÓTESIS ADOPTADAS PARA EL CÁLCULO DEL CONSUMO.

En la demanda eléctrica de la base militar pueden influir algunos temas en relación a la variación en el número de militares destinados en la base o la época del año.

En relación al número de militares se considera que no varía, dado que durante todo el año se supone el mismo número alojados en la base, de tal forma que van rotando las Unidades destinadas.

Asimismo, no se considera estación fría ni cálida ya que, como se podía observar en el *Gráfico 1* de temperatura, en Bamako durante todo el año las temperaturas se mantienen sin grandes variaciones, siendo además temperaturas elevadas. Asimismo, en el *Gráfico 3* correspondiente a las horas de luz, se aprecia que el número de horas de luz en Malí no varía considerablemente durante el año.

9.3.3. POTENCIA INSTALADA Y CONSUMOS CONSIDERADOS.

El consumo eléctrico de la base militar viene dado por los equipos necesarios para desempeñar el trabajo de los militares (iluminación, ordenadores, satélite de comunicación, frigoríficos, etc.).

Para poder cubrir la demanda eléctrica mediante módulos fotovoltaicos es importante reducir lo máximo posible el consumo, para que de esta forma resulte viable el proyecto. De esta manera, se ha tenido en cuenta el concepto de eficiencia energética, tan en auge hoy en día. Para ello, tanto los equipos como la iluminación se seleccionan cumpliendo este requisito. Se ha conseguido mediante iluminación de bajo consumo y leds, así como los equipos de ordenadores, televisiones o frigoríficos que cumplan con dichas especificaciones.

La tecnología led y bajo consumo suponen hoy en día la fuente de iluminación más ecológica y con mayor rentabilidad de entre todas las fuentes de luz. Las bombillas de bajo consumo permiten una alimentación de 12V corriente continua, aptas para instalaciones solares fotovoltaicas y baterías, lo que supone parte de ahorro en el inversor del sistema solar, al no requerir la transformación de corriente continua de la instalación solar a corriente alterna.

En el caso de la iluminación se tiene en cuenta que una bombilla led consume 3W para la iluminación de 1m^2 ($3\text{W}/\text{m}^2$), ofreciendo con ello buena luminosidad. Por ejemplo, la iluminación de un dormitorio (20m^2) es de $3\text{W}/\text{m}^2 \cdot 20\text{m}^2 = 60\text{W}$, donde

$60W/10W=5.45$, por lo que se han seleccionado 6 bombillas de 10W, 12V de bajo consumo.

Esta lámpara de 10W, 12V de bajo consumo sustituye a una bombilla incandescente de 75W (ahorro del 70%-80%), dado que $10W \cdot 70 = 700$ lúmenes (Lúmenes = $W \cdot 70$), luego es correcto porque sustituye a las bombillas incandescentes de 75W. Así, una bombilla led de 700 lúmenes consume 10W, y una incandescente consumiría 75W para dar la misma luminosidad. Asimismo, se emplean bombillas led de 7W, 12V, equivalentes a 50W de las incandescentes, y aptas para instalaciones solares, de tal forma que se eligen las bombillas según convenga la iluminación en cada módulo.

Por lo tanto, se tiene una adecuada iluminación en todas las estancias. Hay que destacar que la armería y la garita de entrada a la base tienen una iluminación mucho más elevada, ya que se trata de estancias donde se requiere una mayor luminosidad.

Y con respecto a la iluminación en la situación de emergencia, se tiene en cuenta qué estancias requieren estar más iluminadas y cuáles no hace falta tanto.

A continuación, la *Tabla 5* y la *Tabla 6* incluyen las potencias totales obtenidas de los equipos de la base militar, teniendo en cuenta las potencias de cada elemento en las dos situaciones, tal y como se mostraron en el apartado 9.2:

➤ **Situación normal:**

Equipo	nº elementos (cantidad)	Potencia nominal[W] (1 unidad)	Tiempo de uso (1 unidad) [horas/día]	kW*h/día (total)	Potencia total de los equipos instalados [kW]
Iluminación 16 dormitorios	16	60	3,0	2,88	0,960
Iluminación 2 comedores	2	120	4,0	0,96	0,240
Iluminación 1 sala de reuniones	1	60	2,0	0,12	0,060
Iluminación 5 oficinas	5	60	10,0	3,00	0,300
Iluminación 2 almacenes	2	60	1,0	0,12	0,120

Iluminación 1 sala lúdica	1	120	3,0	0,36	0,120
Iluminación 1 aseos/duchas	1	120	2,0	0,24	0,120
Iluminación 1 cocina	1	120	4,0	0,48	0,120
Iluminación 1 locutorio de internet	1	60	2,0	0,12	0,060
Iluminación 1 lavandería	1	30	2,0	0,06	0,030
2 Televisiones	2	180	6,0	2,16	0,360
3 Frigoríficos	3	250	24,0	18,00	0,750
28 Ordenadores	28	100	10,0	28,00	2,800
Varios (equipos auxiliares)	-----	500	6,0	3,00	0,500
Lavandería (2 lavadoras comerciales)	2	1.000	2,0	4,00	2,000
Locutorio internet (5 ordenadores + router)	-----	510	2,0	1,02	0,510
Iluminación armería	1	200	0,5	0,10	0,200
Satélite para comunicaciones externas de la base	-----	2.500	24,0	60,00	2,500
Iluminación una garita de entrada a la base	1	100	24,0	2,40	0,100

Tabla 5. Consumos eléctricos de los equipos de la base militar en la situación normal.

La potencia total de los equipos instalados en la situación normal es 11,850 kW.

➤ **Situación de emergencia:**

Equipo	nº elementos (cantidad)	Potencia nominal[W] (1 unidad)	Tiempo de uso (1 unidad) [horas/día]	kW*h/día (total)	Potencia total de los equipos instalados [kW]
Iluminación 16 dormitorios	16	27	1,0	0,43	0,432
Iluminación 2 comedores	2	50	2,0	0,20	0,100
Iluminación 1 sala de reuniones	1	60	1,0	0,06	0,060
Iluminación 5 oficinas	5	7	9,0	0,32	0,035
Iluminación 2 almacenes	2	7	1,0	0,01	0,014
Iluminación 1 sala					

lúdica					
Iluminación 1 aseos/duchas	1	14	2,0	0,03	0,014
Iluminación 1 cocina	1	50	3,0	0,15	0,050
Iluminación 1 locutorio de internet					
Iluminación 1 lavandería					
2 Televisiones					
3 Frigoríficos	3	250	24,0	18,00	0,750
20 Ordenadores	20	100	8,0	16,00	2,000
Varios (equipos auxiliares)	-----	100	4,0	0,40	0,100
Lavandería (2 lavadoras comerciales)					
Locutorio internet (5 ordenadores + router)					
Iluminación armería	1	30	0,5	0,02	0,030
Satélite para comunicaciones externas de la base	-----	2.500	24,0	60,00	2,500
Iluminación una garita de entrada a la base	1	100	24,0	2,40	0,100

Tabla 6. Consumos eléctricos de los equipos de la base militar en la situación de emergencia.

La potencia total de los equipos instalados en la situación de emergencia es 6,185 kW.

Como puede observarse, en las tablas aparecen los colores azul y naranja. Los equipos que se encuentran en color azul corresponden a consumos eléctricos en corriente alterna, mientras que los equipos de color naranja corresponden a la iluminación de bajo consumo en corriente continua, tal y como se ha explicado previamente.

En relación al cálculo del locutorio de internet se calcula teniendo en cuenta que la potencia de un ordenador es 100W y del router 10W, por lo que $100W \cdot 5 \text{ ordenadores} + 10W \text{ (router)} = 510W$.

9.3.4. CONSUMO ELÉCTRICO DIARIO, MENSUAL Y ANUAL.

La demanda eléctrica diaria, mensual y anual de la base militar se obtiene a partir de los datos obtenidos en la *Tabla 5* y *Tabla 6*. Para ello, se tiene en cuenta el número de elementos de cada equipo, la potencia nominal y las horas de uso al día. De esta manera, las siguientes tablas muestran los consumos descritos:

➤ **Situación normal:**

	Consumo diario [kW*h/día] Epot_max_diaria	nº días/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]	
Enero	153,92	31	4.771,58	
Febrero	153,92	28	4.309,81	
Marzo	153,92	31	4.771,58	
Abril	153,92	30	4.617,65	
Mayo	153,92	31	4.771,58	
Junio	153,92	30	4.617,65	
Julio	153,92	31	4.771,58	
Agosto	153,92	31	4.771,58	
Septiembre	153,92	30	4.617,65	
Octubre	153,92	31	4.771,58	
Noviembre	153,92	30	4.617,65	
Diciembre	153,92	31	4.771,58	
			56.181,45	Consumo total anual [kW*h]* CS

Tabla 7. Consumo eléctrico diario, mensual y anual de la base militar en la situación normal.

➤ **Situación de emergencia:**

	Consumo diario [kW*h/día] Epot_max_diaria	nº días/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]
Enero	119,35	31	3.699,95
Febrero	119,35	28	3.341,89
Marzo	119,35	31	3.699,95
Abril	119,35	30	3.580,60
Mayo	119,35	31	3.699,95

Junio	119,35	30	3.580,60	
Julio	119,35	31	3.699,95	
Agosto	119,35	31	3.699,95	
Septiembre	119,35	30	3.580,60	
Octubre	119,35	31	3.699,95	
Noviembre	119,35	30	3.580,60	
Diciembre	119,35	31	3.699,95	
			43.563,91	Consumo total anual [kW*h]* CS

Tabla 8. Consumo eléctrico diario, mensual y anual de la base militar en la situación de emergencia.

Se puede observar en las tablas, que los consumos mensuales apenas varían de un mes con respecto a otro, sino sólo que depende del número de días de cada mes. Esto es debido a que no se han considerado las hipótesis descritas en el apartado 9.3.2, cuyos motivos fueron explicados detalladamente.

Se ha considerado un margen de seguridad del 10% en los valores de la demanda.

El consumo total anual es 56.181,45 kWh en la situación normal y de 43.563,91 kWh para la situación de emergencia. Estos valores se calculan como la suma de los consumos mensuales, obtenidos de multiplicar el consumo diario y el número de días del mes correspondiente.

Se ha conseguido reducir un 23% el consumo de emergencia respecto del consumo normal. Es un porcentaje adecuado de reducción, sin ser posible uno mayor, dado que a la misión la Unidad intenta trasladar los mínimos equipos indispensables.

Asimismo, en el cálculo de los consumos eléctricos se tiene que considerar que la base militar funciona tanto con corriente alterna como con corriente continua (iluminación). Por lo tanto, el cálculo del consumo total tiene que tener en cuenta esta diferencia, ya que para la corriente alterna se tiene que considerar el rendimiento del inversor a utilizar en la instalación solar fotovoltaica, siendo éste del 90%. De esta manera, el consumo total para cada situación se ha obtenido como:

$$\text{Consumo total} = \text{consumo en c. c.} + \frac{\text{consumo en c. a.}}{\eta_{\text{inversor}}}$$

Ecuación 3. Consumo total base militar.

El apartado ANEXOS. incluye todos los cálculos de la demanda eléctrica de la base militar de manera más detallada.

9.4. CÁLCULO DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS: RADIACIÓN SOLAR.

9.4.1. MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR.

El diseño de la instalación solar fotovoltaica se realiza considerando el estudio de la radiación solar en el emplazamiento.

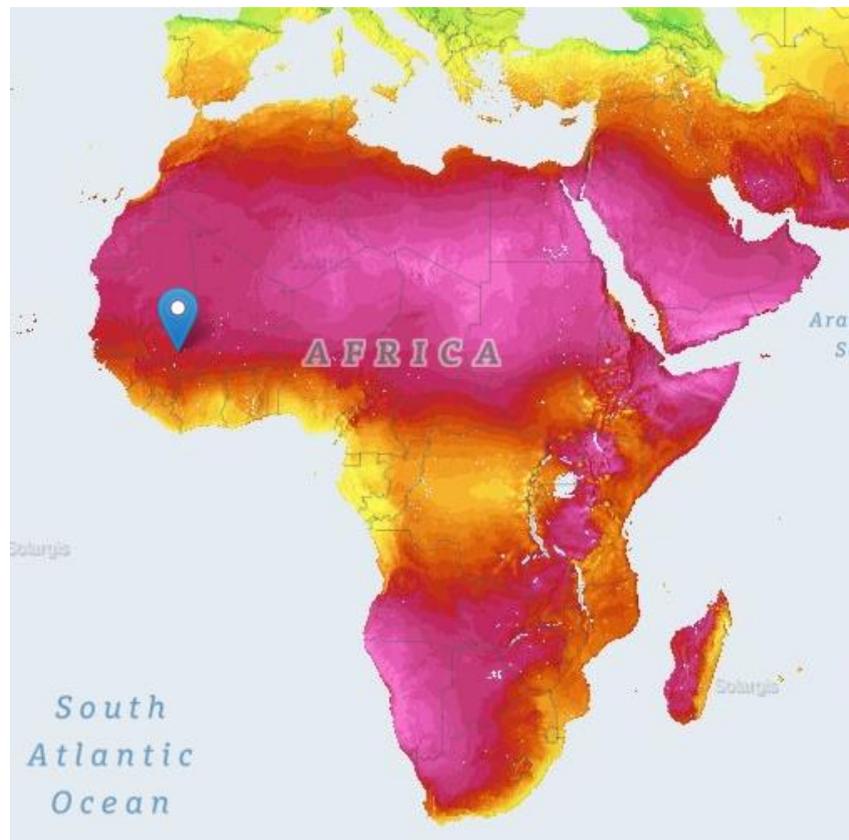


Figura 31. Atlas de radiación solar en África. Fuente: Global Solar Atlas.

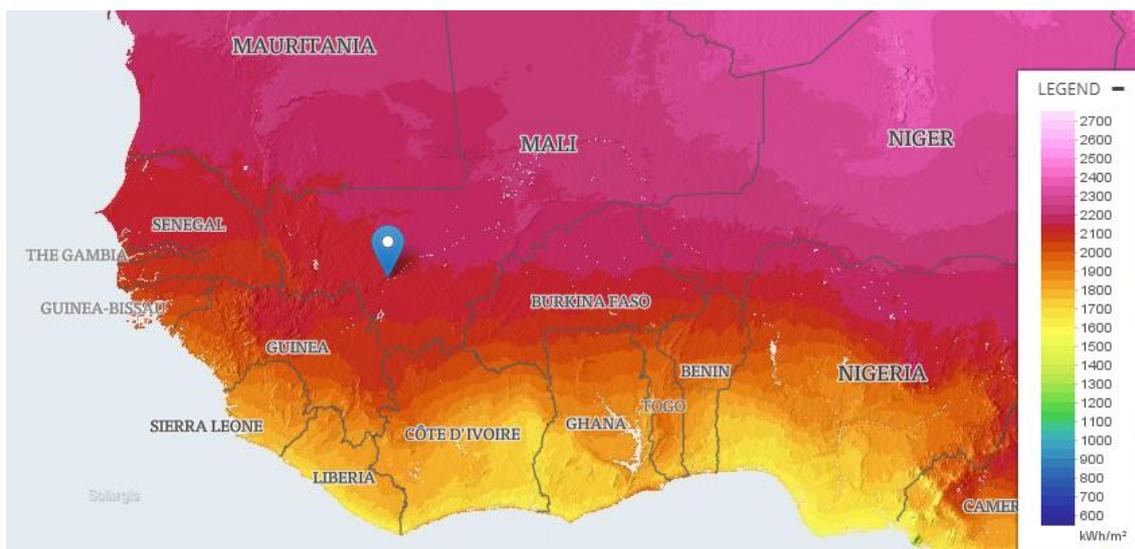


Figura 32. Atlas de radiación solar en Mali. Fuente: Global Solar Atlas.

9.4.1.1. Cálculo de la radiación solar en la zona.

El cálculo de la radiación solar en la región seleccionada se lleva cabo mediante las tablas de radiación solar en el país, obteniendo así la energía en megajulios (MJ) incidente en un metro cuadrado sobre la superficie horizontal en un día medio de cada mes (ver ANEXOS.).

La siguiente tabla proporciona los datos de dicha radiación solar sobre Malí:

Radiación solar sobre plano horizontal (MJ/m ² /día)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
18.07	21.10	22.90	23.54	22.86	21.89	19.84	19.37	20.12	20.16	19.66	17.93	20.63

Tabla 9. Energía en megajulios incidente en un metro cuadrado sobre plano horizontal en un día medio de cada mes. Irradiación H [MJ/m²]. Fuente: web Las Energías Renovables (ver tablas en ANEXOS.).

El dimensionamiento de la instalación solar se debe calcular en base al mes más desfavorables del año, es decir, el que recibe una menor radiación solar. Los dos meses son Enero y Diciembre. Posteriormente se debe calcular la irradiación solar corregida dada en función de la inclinación del panel solar a partir de estos datos.

9.4.1.2. Elección del ángulo de inclinación y de la orientación de los paneles.

La orientación del módulo fotovoltaico se corresponde al ángulo de desviación respecto al sur geográfico.

La mayor radiación solar se consigue con una orientación lo más óptima posible del panel, correspondiente a un ángulo de 0° , orientado al sur. Ésta hace que se alcance la máxima producción e igualdad entre mañana y tarde.

Habitualmente se seleccionan las siguientes orientaciones para los módulos:

- Orientación este: mayor producción en la mañana, $\alpha = -90^\circ$.
- Orientación oeste: mayor producción en la tarde, $\alpha = +90^\circ$.
- Orientación sur: consigue máxima producción e igualdad entre mañana y tarde, $\alpha = 0^\circ$.

Por lo tanto, la orientación que se elige es la orientación sur con $\alpha = 0^\circ$, puesto que se tiene en cuenta que la instalación funciona igual durante todo el día.

Por otro lado, el ángulo de inclinación β maximiza el ajuste que da entre la captación y la demanda energética. Se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$\beta_{\text{opt}} = 3,7 + 0,69 \cdot L$$

Ecuación 4. Ángulo óptimo inclinación del panel solar.

Siendo L la latitud de la zona donde se ubica la base militar, que se corresponde a $12,65^\circ$ (coordenadas geográficas de Bamako: $12,6454^\circ$ de latitud y $-7,9818^\circ$ de longitud y 350 m de altitud).

Por lo tanto, siendo la latitud de $12,65^\circ$, el ángulo de inclinación óptimo β se muestra a continuación:

$$\beta_{\text{opt}} = 3,7 + 0,69 \cdot L = 3,7 + 0,69 \cdot 12,65 = 12,4^\circ$$

Ecuación 5. Ángulo inclinación óptimo de la placa solar para la base militar.

Que redondeando al entero más próximo correspondiente a los datos de las tablas de radiación, se obtiene un ángulo de inclinación óptimo β_{opt} de 15° (ver ANEXOS.).

9.4.1.3. Factor de corrección k para superficies inclinadas.

Como el módulo fotovoltaico se debe encontrar inclinado un $\beta_{opt} = 15^\circ$, entonces se debe corregir la irradiación solar que se había obtenido de las tablas mediante un factor de corrección k, correspondiente a la región de Malí (ver apartado 9.4.1.1 y ANEXOS.).

Latitud = 13°

Inc	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.03	1.02	1.01	1	.98	.98	.98	1	1.01	1.03	1.04	1.04
10	1.06	1.04	1.02	.99	.96	.95	.96	.99	1.02	1.05	1.07	1.07
15	1.08	1.05	1.01	.97	.93	.92	.93	.97	1.02	1.07	1.1	1.1
20	1.1	1.06	1	.95	.9	.88	.9	.94	1.01	1.07	1.12	1.12
25	1.1	1.06	.99	.92	.86	.83	.85	.91	.99	1.08	1.13	1.13
30	1.1	1.05	.97	.88	.81	.78	.81	.88	.97	1.07	1.13	1.14
35	1.1	1.03	.94	.84	.76	.72	.75	.83	.94	1.05	1.13	1.14
40	1.09	1.01	.91	.79	.7	.66	.69	.78	.91	1.03	1.12	1.13
45	1.07	.98	.87	.74	.64	.6	.63	.73	.87	1.01	1.1	1.11
50	1.04	.95	.82	.68	.57	.53	.56	.67	.82	.97	1.07	1.09
55	1.01	.91	.77	.62	.5	.45	.49	.61	.77	.93	1.04	1.06
60	.97	.86	.71	.55	.43	.38	.42	.54	.71	.88	1	1.03
65	.92	.81	.65	.48	.35	.3	.34	.47	.65	.83	.96	.98
70	.87	.76	.59	.41	.27	.22	.26	.39	.58	.77	.91	.94
75	.82	.7	.52	.34	.19	.14	.18	.32	.51	.781	.85	.88
80	.76	.63	.45	.26	.11	.1	.1	.24	.44	.64	.79	.82
85	.7	.56	.38	.19	.1	.09	.09	.16	.36	.57	.72	.76
90	.63	.49	.31	.11	.09	.08	.08	.08	.28	.49	.65	.69

Tabla 10. Factor corrección k para superficies inclinadas. Fuente: Clean Energy Solar (Ver tablas en ANEXOS.).

De esta forma, teniendo en cuenta los datos de energía en megajulios incidentes sobre un metro cuadrado en un plano horizontal, así como el factor de corrección k, se aplica la ecuación siguiente:

$$H=K \cdot H'$$

Ecuación 6. Valor corregido de la irradiación solar por inclinación H' [MJ/m^2].

Los resultados de irradiación solar corregidos se pueden observar a continuación:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
Temperatura ambiente media durante las horas de sol [°C]	25,1	27,8	30,3	31,1	31,5	29	27,4	25,9	26,4	27,4	26,5	24,8	27,8
Energía [MJ] que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes. Irradiación H [MJ/m ²]	18,07	21,1	22,9	23,54	22,86	21,89	19,84	19,37	20,12	20,16	19,66	17,93	20,63
Factor de corrección k para superficies inclinadas. K (coeficiente corrector por inclinación del panel FV). Representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el Ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal. Para: Latitud= 13°, Inclinación (óptima)=15°	1,08	1,05	1,01	0,97	0,93	0,92	0,93	0,97	1,02	1,07	1,1	1,1	-----
H' [MJ/m ²] (valor corregido de irradiación por inclinación)= K*H	19,52	22,16	23,13	22,83	21,26	20,14	18,45	18,79	20,52	21,57	21,63	19,72	

Tabla 11. Valores irradiación solar corregidos H' [MJ/m²].

9.4.1.4. Cálculo de HSP.

Las horas de pico solar (HSP) se corresponden a las horas de irradiación diarias, que viene en función del mes y de la zona donde se ubica la base. Se calculan como:

$$HSP = \frac{1}{3,6} \cdot H' \cdot k' \cdot k''$$

Ecuación 7. Cálculo de HSP.

Siendo:

- k: coeficiente corrector por la inclinación del panel. Los valores obtenidos se encuentran en el apartado ANEXOS..
- k': coeficiente corrector por las variaciones climatológicas, y varía entre 0,75 y 1,20 según la región.
- k'': coeficiente corrector por la desviación del panel respecto al sur geográfico. Como se ha seleccionado un ángulo de 0°, entonces k''=1.
- H': valor corregido de la irradiación solar por inclinación.

Para obtener los cálculos se toma como valor de HSP el más pequeño del año, ya que la instalación se utiliza durante todo el año, por lo que se debe dimensionar para el caso más desfavorable.

H' [MJ/m ²] (valor corregido de irradiación por inclinación)= K*H (del mes más desfavorable, cuando se recibe menor irradiación)	19,5156	22,155	23,129	22,8338	21,2598	20,1388	18,4512	18,7889	20,5224	21,5712	21,626	19,723
K' (coeficiente corrector por efectos atmosféricos)= 0,75-1,20 en función de la zona	1	normalmente soleado										
K'' (coeficiente corrector por desviación del panel respecto al sur geográfico) K''=1,14-0,085*α (para 20°<α<70°)	1	módulo orientado al sur										
HSP [h] (horas solares pico)	5,4210	6,1542	6,4247	6,3427	5,9055	5,5941	5,1253	5,2191	5,7007	5,9920	6,0072	5,4786
Eproducida [Wh] = HSP[h] ; (Emódulo)	5,4210	6,1542	6,4247	6,3427	5,9055	5,5941	5,1253	5,2191	5,7007	5,9920	6,0072	5,4786

Tabla 12. Cálculo de HSP.

El diseño de la base militar se lleva a cabo para un uso anual. Por ello, el valor de HSP que se debe tomar tiene que ser para el mes más desfavorable, correspondiente a Julio con un valor de HSP=5,1253 [h]. Se toman como valores de k'=1, normalmente soleado, k''=1, con α=0° (módulo orientado al sur), y H'=18,4512 [MJ/m²].

Por lo tanto, la energía producida en el mes más desfavorable (julio) es:

$$E_{\text{producida}} [\text{Wh}] = \text{HSP} [\text{h}] = 5,1253 [\text{Wh}]$$

Ecuación 8. Energía producida (Emódulo) por Wp instalado.

9.5. DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.

Para el diseño de la instalación solar fotovoltaica se deben tener en cuenta los cálculos realizados previamente, tales como el consumo eléctrico de la base militar (apartado 9.3), basado en el diseño de ésta (apartado 9.2), así como el estudio de la radiación solar durante un año en el emplazamiento seleccionado (apartado 9.4).

Asimismo, el dimensionamiento de la instalación solar se ha llevado a cabo considerando las especificaciones técnicas de los equipos, los cuales están disponibles en los catálogos que proporcionan los fabricantes.

En el momento de dimensionar se ha seleccionado la opción más económica entre todas las disponibles que cumplían los requisitos necesarios. Para ello, se emplea la

herramienta en Excel, con la cual es posible realizar modificaciones de los parámetros para futuros diseños.

9.5.1. SITUACIÓN MÁS DESFAVORABLE.

El dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica tiene que realizarse teniendo en cuenta el mes más desfavorable, de tal forma que el sistema pueda funcionar de manera correcta sin que las condiciones climatológicas sean las adecuadas. Así, se considera tanto la radiación solar como el consumo de la base militar.

	Invierno		Primavera			Verano			Otoño			Invierno	
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Solar: Irradiación corregida [MJ/m ² ; H'	19,52	22,16	23,13	22,83	21,26	20,14	18,45	18,79	20,52	21,57	21,63	19,72	Marco (en rojo) los 2 meses más desfavorables (donde hay menos irradiación); Marco (en verde) los 2 meses más favorables (donde hay más irradiación)
Consumo mensual NORMAL [kW*h/mes]; (introduciendo el CS)	4.771,58	4.309,81	4.771,58	4.617,65	4.771,58	4.617,65	4.771,58	4.771,58	4.617,65	4.771,58	4.617,65	4.771,58	Marco (en rojo) los meses más desfavorables (donde hay más consumo); Marco (en verde) los meses más favorables (donde hay menos consumo)
Consumo mensual EMERGENCIA [kW*h/mes]; (introduciendo el CS)	3.699,95	3.341,89	3.699,95	3.580,60	3.699,95	3.580,60	3.699,95	3.699,95	3.580,60	3.699,95	3.580,60	3.699,95	Marco (en rojo) los meses más desfavorables (donde hay más consumo); Marco (en verde) los meses más favorables (donde hay menos consumo)
El mes más desfavorable es Julio ya que hay menos irradiación y el consumo es el mayor													

Tabla 13. Tabla comparativa de radiación solar y consumo en la base militar y elección del mes más desfavorable.

Tal y como puede observarse en la tabla, el mes de Julio es el mes más desfavorable. Esto es debido a que se corresponde al mes con la menor radiación solar y el consumo más elevado, tanto para la situación normal como la de emergencia. En este mes se tiene que asegurar el abastecimiento eléctrico, lo que puede conllevar un sobredimensionamiento en el resto de los meses.

De esta manera, se va a diseñar la instalación solar fotovoltaica para el mes de Julio, asegurando así la continuidad de suministro eléctrico durante de todo el año, aunque se trate de la situación más desfavorable.

9.5.2. ELECCIÓN DE LA PROPORCIÓN ABASTECIDA POR LA FOTOVOLTAICA Y LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS.

El dimensionamiento de la instalación eléctrica, tanto la solar fotovoltaica como los grupos electrógenos, debe realizarse en base a la selección de la proporción más adecuada de cada fuente de energía. De igual manera, el coste más óptimo será en función de la proporción seleccionada y de la selección adecuada de los equipos necesarios.

Se debe considerar las dos situaciones que se han ido describiendo anteriormente:

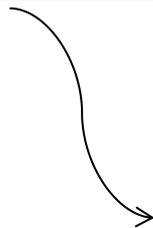
- **Situación normal:** es abastecida mediante la instalación solar fotovoltaica y los grupos electrógenos. La iluminación se considera un consumo en corriente continua, gracias a las bombillas de bajo consumo, con lo cual será abastecida por la solar, mientras que el resto de los equipos son en corriente alterna y se dimensionará para que sea abastecido tanto por los grupos electrógenos, como por la solar (incluyendo por tanto, un inversor).
- **Situación de emergencia:** este caso ocurre cuando no se puede disponer de los grupos electrógenos como fuente de energía, por lo que el consumo es abastecido únicamente con la solar. De igual modo, la iluminación al ser en corriente continua se abastece con la solar sin necesidad de un inversor (porque la solar es CC y la iluminación también), al contrario que los equipos que funcionan en corriente alterna que se deberá incluir el inversor.

Teniendo en cuenta estos requisitos, a continuación se procede a justificar qué proporción de solar y grupos electrógenos abastece cada fuente de energía en el momento de cubrir el consumo eléctrico de la base militar. Todos los valores de potencia obtenidos se pueden ver de manera más detallada en ANEXOS..

La potencia total de los equipos instalados en la situación normal es 11,850 kW, la cual se cubre con la solar y los grupos electrógenos. Y la potencia total de los equipos instalados en la situación de emergencia es 6,185 kW, que se abastece únicamente con la solar.

Por otro lado, la potencia total de la iluminación instalada (corriente continua) en la situación normal es 2,430 kW y en la situación de emergencia es 0,835 kW, las cuales se cubren con la solar (sin inversor). Y con respecto a la potencia total de los equipos instalados (corriente alterna) en la situación normal es 9,420 kW, que se abastece con grupos electrógenos y la solar (con inversor) y en la situación de emergencia es 5,35 kW, que se cubre con la solar (con inversor). A continuación, se muestra una tabla más explicativa de las potencias que deben ser cubiertas con cada fuente de energía:

	SISTEMA SOLAR	GRUPOS ELECTRÓGENOS+SOLAR	TOTAL INSTALADO
NORMAL (kW)	2,430	9,420	11,850
EMERGENCIA (kW)	6,185	-----	6,185



SIN INVERSOR Iluminación en CC	0,835
CON INVERSOR Equipos en CA	5,350

Tabla 14. Potencia instalada desglosada para cada situación.

Se debe tener en cuenta que el sistema solar mínimo a cubrir es el de emergencia, con 6,185 kW de potencia. Por lo tanto, la instalación solar se tiene que dimensionar para cubrir como mínimo 6,185 kW, por si se produjera la situación de emergencia poder suplir el consumo, siendo 0,835 kW dimensionados sin inversor, y 5,35 kW con inversor. Ahora bien, si se está en la situación normal, como mínimo con solar se tiene que cubrir 2,430 kW, correspondiente a la iluminación en CC, por lo que no haría falta inversor. Por lo tanto, sobrarían $6,185 - 2,430 = 3,755$ kW en la normal que también se podría abastecer con la solar.

De este modo, de los 9,420 kW de CA de la normal, 3,755 kW se cubrirían con la solar, por lo que $9,420 - 3,755 = 5,665$ kW son los que se cubrirían con los grupos electrógenos.

La *Tabla 15* muestra la proporción que debe ser cubierta por cada fuente de energía en la situación normal, según lo explicado:

SITUACIÓN NORMAL			
		kW	%
SISTEMA SOLAR		6,185	52,19
GRUPOS ELECTRÓGENOS		5,665	47,81
Total Normal		11,850	100
	SIN INVERSOR Iluminación en CC	2,430	
	CON INVERSOR Equipos en CA	3,755	
	Total	6,185	

Tabla 15. Proporción abastecida por cada fuente de energía en la situación normal.

Por lo tanto, la situación normal se cubre el 52,19% con el sistema solar fotovoltaico y el 47,81% con los grupos electrógenos.

Y en el caso de la situación de emergencia no se requiere tal discusión, dado que el 100% de la potencia instalada se cubre con el sistema solar fotovoltaico, tal y como se observa en la *Tabla 16*:

SITUACIÓN EMERGENCIA			
		kW	%
SISTEMA SOLAR		6,185	100
GRUPOS ELECTRÓGENOS		-----	-----
Total Emergencia		6,185	100
	SIN INVERSOR Iluminación en CC	0,835	
	CON INVERSOR Equipos en CA	5,350	
	Total	6,185	

Tabla 16. Proporción abastecida por cada fuente de energía en la situación de emergencia.

Se puede observar en las Tabla 15 y Tabla 16 que la potencia de los equipos en CA que debe incluir un inversor, en la situación normal se corresponde a 3,755 kW, mientras que en la de emergencia a 5,350 kW. Por lo tanto, en el momento de dimensionar el inversor debe ser diseñado para la mayor potencia, aunque suponga un sobredimensionamiento en la situación normal.

En resumen, el dimensionamiento de la instalación eléctrica se realizará de la siguiente manera:

- **Situación normal:** 11,850 kW. 52,19% solar (6,185 kW) + 47,81% grupos electrógenos (5,665 kW)
 - CC: 2,430 kW
 - CA: 9,420 kW

Finalmente, el dimensionamiento será de 6,185 kW con la solar fotovoltaica, de los cuales:

- Sin inversor (CC): 2,430 kW (iluminación)
- Con inversor (CA): 3,755 kW (satélite de comunicaciones (2,5 kW) + varios equipos auxiliares (0,5 kW) o locutorio de internet (0,51 kW) + frigoríficos (0,75 kW))

➤ **Situación de emergencia:** 6,185 kW. 100% solar

- CC: 0,835 kW
- CA: 5,350 kW

Finalmente, el dimensionamiento será de 6,185 kW con la solar fotovoltaica, de los cuales:

- Sin inversor (CC): 0,835 kW (iluminación)
- Con inversor (CA): 5,350 kW (todos los equipos que hay en CA)

El ahorro del inversor para la potencia de la iluminación supondrá una reducción en coste, peso y volumen para el traslado en avión de todos los equipos desde España a Malí.

9.5.3. DIMENSIONAMIENTO INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.

9.5.3.1. Elección de la tensión de funcionamiento de la instalación.

La potencia total de los equipos instalados en la situación normal es de 11,850 kW (apartado 9.3.3 y ANEXOS.), en el cual se abastece el 52,19% con el sistema solar fotovoltaico, correspondiente a una potencia de 6,185 kW (apartado 9.5.2).

Las instalaciones fotovoltaicas pueden funcionar a tensiones de 12V, 24V, 48V y 120V. En este caso, se tiene la iluminación funcionando con corriente continua mediante iluminación de bajo consumo. Esta iluminación se da en corriente continua y 12V. La corriente continua permite el ahorro del inversor para esa potencia, y para los 12V se decide tomar como tensión de funcionamiento de la instalación también 12V, y de esta manera se ahorra el convertidor de tensión dc/dc para pasar de los 12V de la luminaria a otra tensión diferente de la instalación. Por ello, siguiendo este requisito, la elección de la tensión de los módulos fotovoltaicos, los reguladores y las baterías también vendrá dada con la condición de una tensión de 12V, y así lograr un coste más óptimo.

De esta manera, se tiene una instalación en tensión continua a 12V y alterna a 230V y 50Hz correspondiente a los equipos.

Como puede observarse en la *Figura 33*, para los consumos en continua no se necesita ningún aparato propio adicional para ello. En el caso de que todos los equipos hubieran sido en alterna resultaría necesario incluir los módulos fotovoltaicos, el regulador de carga, las baterías y los inversores. Y si todo hubiera sido en continua, los módulos fotovoltaicos, el regulador de carga y las baterías (sin inversores). Como en este caso se tiene alterna y continua, entonces es necesario disponer de los módulos fotovoltaicos, el regulador de carga, las baterías y los inversores para aquellos equipos que funcionen en alterna.

Los consumos en alterna se conectan al inversor y de ahí al regulador. Y los consumos en continua directamente se conectan al regulador.

Por lo tanto, el regulador de carga se dimensiona para el conjunto de alterna y continua (ya que el regulador es propio de los módulos fotovoltaicos), las baterías también se diseñan para el conjunto de alterna y continua y el inversor solo para alterna, y para continua no necesito nada adicional a dimensionar.



Figura 33. Instalación en tensión continua y alterna.

9.5.3.2. Cálculo del consumo que cubre la instalación solar.

La instalación debe diseñarse para el mes más desfavorable, correspondiente a Julio (apartado 9.5.1). Asimismo, se suponen 4 días de autonomía (de la instalación con baja o nula insolación) dado que, tal y como se observó en el *Gráfico 2*, Julio se trata del más desfavorable para el cual se está dimensionando, y se encuentra más de la mitad del tiempo nublado.

De esta manera, con el consumo mensual del mes de Julio de la base militar (apartado 9.3.4):

Sin introducir el CS			
	Consumo diario [kW*h/día] Epot_max_diaria	nºdías/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]
Julio	139,93	31	4.337,80

Tabla 17. Consumo mes de Julio.

El sistema solar fotovoltaico cubre el 52,19% del consumo eléctrico de la base militar, por lo tanto:

Consumo diario que cubre la solar; Potencia máxima diaria de la instalación solar		
meses	Epot_max_diaria [kW*h/día] abastecido por la solar	Epot_max_diaria [W*h/día]
Julio	73,03	73.028,89

Tabla 18. Consumo diario que abastece la solar en Julio.

Tal y como se observa en la tabla, la energía máxima diaria que abastece la solar es 73.028,89 Wh/día.

Asimismo, se emplea un margen de seguridad (CS) del 10%. Con ello, se obtiene la energía máxima diaria de la base militar abastecida por la instalación solar fotovoltaica:

$$E_T = E_{\max_diaria} = CS \cdot E_{\text{inst_max}} = 110\% \cdot E_{\text{inst_max}} = 80.331,78 \text{ [W}\cdot\text{h /día]}$$

$$CS = 100\% + MS$$

$$MS = 10\%$$

Ecuación 9. Energía máxima diaria de la base militar abastecida por la instalación solar fotovoltaica (sin considerar pérdidas totales).

Posteriormente, se halla la energía máxima diaria que tiene que cubrir el sistema solar, por lo que las pérdidas de la instalación se deben incluir:

- Ka: por la autodescarga diaria de las baterías y oscila entre 0,001 y 0,020, aunque se toma por defecto 0.5%.
- Kb: a causa del rendimiento de la batería con un intervalo entre 0 y 0,2, tomando para este caso 5%.
- Kc: debidas al rendimiento del inversor, con un valor de 0-0,4. Sin embargo, por defecto se selecciona entre 5%-20%.
- Kr: a causa del rendimiento del regulador, tomando el 10%.
- Kv: debidas al efecto Joule, las caídas de tensión, etc. presenta in intervalo 0 a 0,2. En este caso se toma el 10%.

Las pérdidas totales de la instalación solar se calculan mediante de la siguiente forma:

$$K_T = (1 - K_b - K_c - K_R - K_v) \cdot \left(1 - K_a \cdot \frac{D_{\text{aut}}}{P_d}\right)$$

Ecuación 10. Pérdidas totales asociadas.

Siendo cada parámetro:

- Pd: asociada a la profundidad de descarga de las baterías, la cual es dato proporcionado por el fabricante en el catálogo. Se toma el valor de 60% o 70%, siendo en este caso de 77%, dato de catálogo.
- D_{aut}: número de días de autonomía de la instalación con baja o nula insolación. Cuando hay amplios períodos de nubosidad, se consideran 6 o 7 días de autonomía. En el caso contrario, se toman 4 o 5 días de autonomía.
- Kt: asociado a las pérdidas totales de la instalación solar.

Ka	0,50%
Kb	5%
Kc	10%
Kr	10%
Kv	10%
Daut	4
Pd	77%
Kt (pérdidas totales asociadas a la instalación)	0,633117

Tabla 19. Pérdidas totales de la instalación solar fotovoltaica.

Así, considerando las pérdidas totales, la instalación solar abastece la siguiente energía (consumo) máxima diaria:

$$E_{\max} = \frac{E_T}{k_T} = 126.883,01 \text{ [W} \cdot \text{h/día]}$$

Ecuación 11. Energía (consumo) máxima diaria de la base militar abastecida por la instalación solar fotovoltaica (considerando pérdidas totales).

Que como se puede comprobar, cubre el consumo diario con CS de emergencia, que son 119,35 kWh/día. Por lo tanto, en la situación de emergencia se estaría abasteciendo la demanda de la base militar, tal y como se desea. Por lo tanto, la proporción de solar de 52,19% cubre la potencia de emergencia y el consumo diario, así

como lo que se desea de potencia de la situación normal, que es lo mismo que la de emergencia (6,185 kW) y el consumo correspondiente de la normal.

De igual manera, la corriente total máxima de la base militar abastece la solar se calcula como:

$$C_{T_max} = \frac{E_{max}}{V_{nom(instalacion)}} = \frac{126.883,01}{12} = 10.573,58 \text{ [A} \cdot \text{h/día]}$$

Ecuación 12. Corriente total máxima de la base militar abastecida por la instalación solar fotovoltaica (considerando pérdidas totales).

Donde V_{nom} se corresponde a la tensión nominal de la instalación.

La *Tabla 20* muestra los valores calculados:

		Consumo máximo diario del sistema solar	Consumo máximo diario del sistema solar (considerando las pérdidas)	Corriente máxima diaria de la instalación (considerando las pérdidas)
meses	Einst_max [W*h/día]	E_max diaria = CS*Einst_max [W*h/día]	E_max = E_max_diaria/Kt [W*h/día]	Ct_max =E_max/Vnom_inst [A*h/día]
Julio	73.028,89	80.331,78	126.883,01	10.573,58

Tabla 20. Demanda que cubre la instalación solar.

El diseño que se está es por consumo de corriente, en lugar de potencia de pico. Esto es debido a que se trata de la hipótesis más desfavorable.

9.5.3.3. Cálculo del número de módulos fotovoltaicos.

Con el consumo de la instalación, de valor $Ct_max= 10.573,58 \text{ [A} \cdot \text{h/día]}$ (apartado 9.5.3.2) se obtiene el número de módulos fotovoltaicos.

En primer lugar, la corriente que suministra el módulo fotovoltaico se obtiene como:

$$E_{\text{módulo}} = \eta_{\text{módulo}} \cdot I_{\text{módulo}} \cdot \text{HPS}$$

Ecuación 13. Intensidad que suministra el módulo fotovoltaico.

Siendo cada término:

- $E_{\text{módulo}}$ [A·h /día]: energía generada en un día por la placa solar.
- $\eta_{\text{módulo}}$: rendimiento de la placa solar, con un valor que oscila entre el 85% y 95%. Los cálculos se realizan con un valor del 90%, dato de fabricante seleccionado.
- $I_{\text{módulo}}$ [A]: asociada a la corriente de pico del panel solar.
- HSP [h]: correspondiente a las horas de pico solar, con un valor de HSP= 5,1250 [h], obtenidas en el apartado 9.4.1.4.

Con el consumo total que cubre el sistema solar (C_{T_max} [Ah/día]) y la corriente generada por el módulo ($E_{\text{módulo}}$ [Ah/día]) se obtiene el número de ramas, es decir, el número de módulos en paralelo:

$$n^{\circ}_{\text{mod_paralelo}} = N_{\text{mp}} \geq \frac{C_{T_max}}{E_{\text{módulo}}}$$

Ecuación 14. Número de ramas.

De la misma manera, se obtiene el número de módulos en serie como:

$$n^{\circ}_{\text{mod_serie}} = N_{\text{ms}} \geq \frac{V_{\text{sistema}}}{V_{\text{módulo}}}$$

Ecuación 15. Número de módulos en serie.

Donde:

- V_{sistema} [V]: se corresponde a la tensión la instalación solar, cuyo valor se halla en el apartado de baterías, tomando $V_{\text{sistema}} = V_{\text{bancobaterías}} = V_{\text{valida_inst_solar}} = V_{\text{valida_inst_eólica}} = 12\text{V}$.
- $V_{\text{módulo}}$ [V]: tensión de la placa solar.

Por lo tanto, el número total de módulos fotovoltaicos que son necesarios en la instalación solar fotovoltaica a dimensionar se calcula como:

$$N_{Tm} = N_{mp} \cdot N_{ms}$$

Ecuación 16. Número total de módulos fotovoltaicos.

La *Tabla 21* muestra el módulo fotovoltaico seleccionado, teniendo en cuenta la mejor opción entre todas las opciones estudiadas (ANEXOS.). En la elección del módulo se considera que el coste sea lo más óptimo posible, y que el peso total de todos los módulos y el volumen que ocupan sea el mínimo posible. Este último requisito resulta de gran relevancia, dado que se debe considerar el traslado en avión de todos los equipos desde España hasta Malí, donde se ubica la base militar.

Características del módulo fotovoltaico		
Tipo (modelo)	AutoSolar	Mono
Tensión (nominal) modulo; tensión máxima: Vmod [V]	12	
Pnominal/Pmax_salida [W]=[Wp]	150	
Imax_módulo [A]	12,50	
Rendimiento del módulo: ηmod=85%-90%	0,85	
Longitud del panel [mm]	1.460	
Anchura del panel[mm]	540	
Grosor del panel [mm]	3	
Peso del panel [kg]	1,8	
Precio módulo [€]	309,64	
Nmp	195	
Nms	1	
Número total de módulos	195	
Coste total módulos fotovoltaicos [€]	60.379,80	
Peso total todos los módulos [kg]	351,00	
Volumen/espacio que ocupan todos los módulos [m³]	0,46	

Tabla 21. Módulo fotovoltaico seleccionado.

Se debe considerar que en el estudio de qué módulo fotovoltaico seleccionar, entre las opciones estaban la placa solar plegable portátil y la placa solar flexible. Las placas solares portátiles no permiten conexión en paralelo, dado que no disponen de conectores MC4. Por lo tanto, sólo era posible el uso de un maletín para la instalación, siendo los más elevados de 300W aproximadamente, lo que hacía que no fuera posible su uso en el dimensionamiento por no cubrir la totalidad de la potencia. Por ello, se seleccionan placas solares flexibles, las cuales sí permiten el conexión en paralelo de varias placas (disponen de conector MC4). De este modo, los módulos fotovoltaicos son placas solares flexibles. Además, resultan mejores que las portátiles, dado que pesan y ocupan menos que las portátiles, es decir, el peso y el volumen es menor, lo que facilita el traslado en avión.

Tal y como se puede observar, la instalación solar fotovoltaica estará formada por 195 placas solares flexibles monocristalino de marca AutoSolar, conectadas en paralelo. La instalación tiene una tensión nominal de 12V y las placas solares también una tensión de 12V, por lo que para conseguir la tensión de la instalación los módulos deben conectarse en paralelo. Para poder conectar en paralelo las placas, los paneles deben estar provistos de conectores en Y MC4 dobles, disponibles en las placas solares flexibles.

La tensión nominal de cada placa solar es de 12V y la potencia nominal 150W.

El coste total de los módulos fotovoltaicos es 60.379,80€, el peso total de 351 kg y el espacio que ocupan es de 0,46 m³. No se trata del módulo más barato, pero dada la poca diferencia con otras opciones también factibles se ha dado prioridad al peso y volumen frente al coste.

El apartado ANEXOS. incluye todos los cálculos que se han realizado.

9.5.3.4. Cálculo de los reguladores de carga de la instalación solar fotovoltaica.

Los reguladores de carga se sitúan en serie con los módulos fotovoltaicos, de tal forma son los paneles solares los que proporcionan la corriente.

El margen de seguridad (MS) que se emplea es de 25%, y así no se trabaja en el límite de la corriente máxima del regulador, la cual se calcula como:

$$I_{\text{campo fotovoltaico}} = I_{\text{max_modulo}} \cdot n^{\circ} \text{ ramas}$$

Ecuación 17. Corriente de salida del campo fotovoltaico.

Donde:

- $I_{\text{campo fotovoltaico}}$ [A]: corriente de salida del campo fotovoltaico.
- $I_{\text{max_modulo}}$ [A]: máxima corriente soportada por cada placa solar.
- $n^{\circ} \text{ ramas} = n^{\circ} \text{ módulos en paralelo} = n^{\circ}_{\text{paralelo_panel}} = Nmp$

De esta manera, la intensidad del regulador se halla como:

$$I_{\text{regulador}} \geq 1.25 \cdot I_{\text{campo fotovoltaico}}$$

Ecuación 18. Corriente del regulador.

En base a los cálculos realizados previamente se obtiene una intensidad del regulador de 3.046,88 A (ver ANEXOS.).

El número de reguladores que resultan necesarios en la instalación se obtienen de la siguiente manera:

$$n^{\circ} \text{ reguladores} \geq \frac{I_{\text{regulador}}}{I_{\text{reg}}}$$

Ecuación 19. Número total de reguladores.

Siendo,

- $I_{\text{regulador}}$ [A]: intensidad del regulador de carga hallado previamente.
- I_{reg} : dato de la intensidad del regulador proporcionada en el catálogo por el fabricante.

De esta forma, la *Tabla 22* muestra el regulador de carga seleccionado, en función de los requisitos que debe cumplir:

Características del regulador de carga		
Fabricante	Victron Energy	BlueSolar PWM Light
Tensión nominal: Vn[V]	12	
Corriente máxima: Imax[A]	30	
IP	20	
Longitud del regulador [mm]	70,0	
Anchura del regulador[mm]	133,0	
Grosor del regulador [mm]	33,5	
Peso del regulador [kg]	0,20	
Precio regulador [€]	69,00	
Número total de reguladores	102	
Coste total reguladores (solar) [€]	7.038,00	
Peso total todos los reguladores [kg]	20,40	
Volumen/espacio que ocupan todos los reguladores [m³]	0,0318	

Tabla 22. Regulador de carga seleccionado.

De la misma forma que para los módulos fotovoltaicos se ha tenido en cuenta el peso y volumen que ocupan los reguladores para el traslado en avión, así como el coste más óptimo de entre todas las opciones estudiadas.

La instalación solar fotovoltaica estará constituida por 102 reguladores de carga, de marca Victron Energy. La tensión nominal es 12V, ya que para debe encontrarse a la misma tensión que las placas solares y las baterías, y la intensidad máxima es 30A.

El coste total de los reguladores de carga es 7.038,00€, el peso total es 20,40 kg y el espacio que ocupan es 0,0318 m³.

Con respecto al número de ramas por regulador que deben conectarse a los módulos fotovoltaicos, se obtienen lo siguiente:

$$n^{\circ} = \frac{N_{mp}}{N_{total-reguladores}} = \frac{195}{102} = 1,91 \rightarrow \text{es decir, } 2$$

Ecuación 20. Número de ramas por regulador.

Por lo tanto, son necesarios 2 ramas de módulos fotovoltaicos conectadas a cada regulador.

9.5.4. DIMENSIONAMIENTO BATERÍAS E INVERSORES.

9.5.4.1. Baterías.

Al igual que para el dimensionamiento de la instalación solar, se debe diseñar para el mes más desfavorable, que es Julio (apartado 9.5.1).

Aplicando el mismo razonamiento que para la instalación solar fotovoltaica, el diseño de las baterías encargadas de almacenar la energía en exceso de la solar se halla de la siguiente forma.

El consumo eléctrico para el mes de Julio de la base militar (apartado 9.3.4) es:

Sin introducir el CS			
	Consumo diario [kW*h/día] Epot_max_diaria	nºdías/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]
Julio	139,93	31	4.337,80

Tabla 23. Consumo mes de Julio.

La máxima energía que abastece la instalación solar es de (apartado 9.5.3.2):

$$E_{\text{inst}_{\text{máxima}}} = E_{\text{pot}_{\text{max}_{\text{diaria}}}} = 73.028,89 \text{ [W} \cdot \text{h /día]}$$

Y aplicando el margen de seguridad (CS) del 10%, entonces la máxima energía diaria de la base militar cubierta por la instalación solar es (apartado 9.5.3.2):

$$E_T = E_{\text{max}_{\text{diaria}}} = \text{CS} \cdot E_{\text{inst}_{\text{max}}} = 110\% \cdot E_{\text{inst}_{\text{max}}} = 80.331,78 \text{ [W} \cdot \text{h /día]}$$

$$\text{CS} = 100\% + \text{MS}$$

$$MS = 10\%$$

Asimismo, las pérdidas totales asociadas a la instalación solar (apartado 9.5.3.2) es 0,6331.

De igual manera que en el anterior apartado se obtiene una energía máxima diaria abastecida por la instalación solar de 126.883,01 Wh/día y el consumo total de la base abastecida por la instalación de 10.573,58 Ah/día (apartado 9.5.3.2).

La tensión de las baterías es de 12V, la misma que la tensión de la instalación solar fotovoltaica.

Las baterías que se emplean son las estacionarias Monobloc porque está formada por un solo bloque, por lo que no es necesario asociarlas para obtener los 12V. Y dentro de las monobloc, las de tipo AGM, ya que apenas requieren mantenimiento, tienen un reducido coste y son capaces de estar largos períodos de tiempo cargadas.

La elección de la batería debe realizarse en función de la capacidad, que se halla como:

$$C_{\text{batería}} \geq \frac{C_{T_{\text{max}}} \cdot D_{\text{autonomía}}}{P_d}$$

Ecuación 21. Capacidad de una batería.

Siendo cada parámetro:

- $C_{\text{batería}}$ [A·h]: se corresponde a la capacidad de la batería.
- $C_{T \text{ max}}$ [A·h /día]: consumo que la instalación solar tiene que abastecer.
- $D_{\text{autonomía}}$: número de días de autonomía de la instalación solar cuando hay baja o nula insolación. Para largos períodos de nubosidad se toman 6 o 7 días de autonomía. Y en caso contrario 4 o 5 días de autonomía.
- P_d : asociada a la profundidad de descarga de las baterías. Se corresponde a un valor del 77%, dato de catálogo.

A continuación, se procede a hallar el número de baterías en paralelo, con lo cual se mantiene la tensión e incrementa la capacidad total.

$$n^{\circ}_{\text{paralelo_batería}} \geq \frac{C_{\text{batería}}}{C_{\text{nominal}}}$$

Ecuación 22. Número de baterías en paralelo.

Donde los parámetros,

- $C_{\text{batería}}$: capacidad de la batería, obtenida en la *Ecuación 21*.
- $C_{\text{nominal}} = C_{100}$, proporcionado en el catálogo por el fabricante.

En relación a las baterías en serie se mantiene la capacidad y se incrementa la tensión, y se obtiene de la siguiente manera:

$$n^{\circ}_{\text{serie_batería}} \geq \frac{V_{\text{batería}}}{V_{\text{nominal_batería}}}$$

Ecuación 23. Número de baterías en serie.

- $V_{\text{batería}}$: tensión de la instalación, con valor de 12V con justificación en el apartado 9.5.3.1.
- $V_{\text{nominal_batería}}$: se corresponde a un valor de 12V.

Así, el número total de las baterías se calcula como:

$$N_{\text{tb}} = N_{\text{bp}} \cdot N_{\text{bs}}$$

Ecuación 24. Número total de baterías.

De esta manera, la batería que se ha seleccionado se muestra en la *Tabla 24*. Para su elección se ha estudiado la opción más económica, de menor peso y espacio que ocupan, dado que son los requisitos para el traslado en avión. En ANEXOS. se muestran los estudios que se han llevado a cabo para las diferentes opciones:

Características de la batería					
Fabricante	Tipo	Modelo	POWER	Monoblock AGM	-----
Capacidad nominal Cn [A*h].Dato del fabricante.	Cn=C(10)				
	Cn_sist.fotovoltaicos=C(100)			320	
Tensión nominal de la batería: Vnom_batería [V]				12	
Profundidad de descarga: Pd. Dato del fabricante (si no es dato: 60% o 70%; instalaciones fotovoltaicas hasta un 80%)				77%	
Longitud de la batería [mm]				520	
Anchura de la batería [mm]				268	
Grosor de la batería [mm]				220	
Peso de la batería [kg]				67,0	
Precio batería [€]				427,56	
Nbp				172	
Nbs				1	
Número total de baterías				172	
Coste total baterías [€]				73.540,32	
Peso total baterías [kg]				11.524,00	
Volumen/espacio que ocupan todas las baterías [m³]				5,27	

Tabla 24. Características de la batería seleccionada.

La instalación solar estará constituida por un total de 172 baterías, del fabricante POWER. La tensión de la batería es de 12V, de tal forma que coincide la misma tensión en la instalación, los módulos fotovoltaicos y los reguladores de carga. Y la capacidad (C100) de 320 Ah.

El coste total de las baterías es 73.540,32€, el peso total es muy grande debido a al elevado peso de las baterías en general, así como el espacio que ocupan, en comparación con el resto de equipos de la instalación solar.

9.5.4.2. Inversores.

Los inversores son los equipos de la instalación solar fotovoltaica encargados de transformar la corriente continua en corriente alterna. Se debe seleccionar el inversor en función del valor de la potencia de salida, la cual tiene que ser inmediatamente superior al consumo de corriente alterna de la instalación. Asimismo, se elige un inversor de onda pura porque la instalación tiene aparatos de motor como los frigoríficos, las lavadoras y el satélite comunicaciones.

La potencia total de los equipos instalados en la instalación en CA, para la cual se debe dimensionar el inversor, es (ver apartado 9.3.3):

$P_{\text{consumo(CA)}}$. Potencia total de los equipos instalados en CA $[W]=\sum(n^{\circ}\text{equipos}*P_{\text{equipo}})$	5.350,0
--	---------

Tabla 25. Potencia de los equipos instalados en CA.

Se debe cubrir la potencia de los equipos en CA de la instalación solar. En la normal se tienen que cubrir con el inversor 3,755 kW y en la de emergencia 5,350 kW. Por lo tanto, se dimensiona para cubrir los 5,350 kW, y sea capaz de abastecer toda la potencia en la situación de emergencia, aunque esto suponga sobredimensionar para la situación normal. La potencia del inversor se calcula como:

$$P_{\text{inversor}} \geq \frac{P_{\text{consumo (CA)}}}{\eta_{\text{INV}}} = \frac{P_{\text{consumo (CA)}}}{1 - kc} = \frac{5.350,0}{1 - 0,1} = 5.944,4 \text{ W} = 5,94 \text{ kW}$$

Ecuación 25. Potencia del inversor.

Siendo los parámetros correspondientes:

- P_{inversor} : asociada a la potencia del inversor.
- $P_{\text{consumo (CA)}}$: potencia de los consumos en corriente alterna.
- η_{INV} : se corresponde al rendimiento del inversor, con $k_c = 10\%$, como se especifica previamente en el apartado 9.5.3.2.

La tensión de entrada al inversor se toma igual que la tensión de la instalación, los módulos, los reguladores y las baterías. Así, el inversor que se debe elegir debe ser de tensión de entrada 12 V y tensión de salida 230 V.

De esta manera, el inversor que se selecciona se muestra en la *Tabla 26*:

Características del inversor			
Fabricante/Tipo/Modelo	Schneider Xantrex	Onda senoidal pura	PROwatt SW 2000i
Potencia nominal [W]	2.000		
Tensión nominal de entrada: $V_{n_ent} = V_{cc}$ [V]	12		
Tensión nominal de salida: $V_{n_sal} = V_{ca} = V_{rms}$ [V]	230		
Frecuencia de salida [Hz]	50		
Rendimiento del inversor: $\eta_{inv} = 1 - K_c$	90%		
Longitud del inversor [mm]	418		
Anchura del inversor [mm]	240		
Grosor del inversor [mm]	115		
Peso del inversor [kg]	5,46		
Precio inversor [€]	536,70		
Nº total de inversores	3		
Precio total inversores [€]	1.610,10		
Peso total inversores [kg]	16,38		
Volumen/espacio que ocupan todos los inversores [m³]	0,035		

Tabla 26. Características del inversor seleccionado.

La instalación estará constituida sólo por 3 inversores, de la marca Schneider Xantrex. El coste total es 1.610,10€, con un peso total de 16,38 kg y ocupa 0,035 m³, siendo la mejor opción entre todas las posibles (ver ANEXOS.).

9.6. SELECCIÓN DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS.

Los grupos electrógenos deben cubrir la proporción del 47,81% de la potencia total de 11,850 kW correspondiente a la situación normal. Esto supone que los grupos deben abastecer 5,665 kW. En la situación de emergencia no se cubre nada con los grupos electrógenos, dado que es aquel caso en que la demanda se abastece con la instalación solar por el no posible aprovisionamiento de los grupos electrógenos.

La opción que se selecciona es aquella en la que el grupo cubra la potencia necesaria. La *Tabla 27* muestra el grupo electrógeno seleccionado de entre todas las posibles opciones (ver ANEXOS.):

Características del grupo electrógeno						
Fabricante	Modelo	Combustible	ITC	Power	DG7800LE	Diésel
Pnominal [kW]			6			
Tensión nominal de salida: Vn_sal=Vca [V]			230			
Longitud del grupo electrógeno [mm]			720			
Anchura del grupo electrógeno[mm]			480			
Altura del grupo electrógeno [mm]			600			
Peso del grupo electrógeno [kg]			112,0			
Precio grupo electrógeno [€]			1.124,10			
Número total de grupos electrógenos			2			
Coste total grupos electrógenos [€]			2.248,20			
Peso total grupos electrógenos [kg]			224,00			
Volumen/espacio que ocupan todos los grupos electrógenos[m³]			0,41			

Tabla 27. Características del grupo electrógeno.

Se incluyen 2 grupos electrógenos en la instalación, de tal forma que se disponga de uno de emergencia que siempre hay que tener, y con ello, además sería un total de 12

kW, de tal forma que se cubre la potencia total de la instalación de 11,850 kW para cualquier imprevisto.

El grupo electrógeno seleccionado es de la marca ITCPower, de tipo diésel y con una potencia nominal de 6 kW.

El coste total de los grupos electrógenos asciende a 2.248,20€, un peso total de 224 kg y un volumen de 0,41 m³.

CAPÍTULO 10- ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

10.1. COSTES DE LA INSTALACIÓN SOLAR.

La instalación solar fotovoltaica está formada por los módulos fotovoltaicos y los reguladores de carga, obtenidos en el apartado 9.5.3:

Características del módulo fotovoltaico		
Tipo (modelo)	AutoSolar	Mono
Tensión (nominal) modulo; tensión máxima: V_{mod} [V]	12	
$P_{nominal}/P_{max_salida}$ [W]=[Wp]	150	
$I_{max_módulo}$ [A]	12,50	
Rendimiento del módulo: $\eta_{mod}=85\%-90\%$	0,85	
Longitud del panel [mm]	1.460	
Anchura del panel [mm]	540	
Grosor del panel [mm]	3	
Peso del panel [kg]	1,8	
Precio módulo [€]	309,64	
N_{mp}	195	
N_{ms}	1	
Número total de módulos	195	
Coste total módulos fotovoltaicos [€]	60.379,80	
Peso total todos los módulos [kg]	351,00	
Volumen/espacio que ocupan todos los módulos [m³]	0,46	

Características del regulador de carga		
Fabricante	Victron Energy	BlueSolar PWM Light
Tensión nominal: V_n [V]	12	
Corriente máxima: I_{max} [A]	30	
IP	20	

Longitud del regulador [mm]	70,0
Anchura del regulador [mm]	133,0
Grosor del regulador [mm]	33,5
Peso del regulador [kg]	0,20
Precio regulador [€]	69,00
Número total de reguladores	102
Coste total reguladores (solar) [€]	7.038,00
Peso total todos los reguladores [kg]	20,40
Volumen/espacio que ocupan todos los reguladores [m³]	0,0318

El coste total de los equipos de la instalación solar es:

Coste total módulos fotovoltaicos [€]	60.379,80
Coste total reguladores (solar) [€]	7.038,00
COSTE TOTAL (EQUIPOS) INSTALACIÓN SOLAR [€]	67.417,80

Tabla 28. Coste total instalación solar.

Asimismo, se muestra el peso y espacio total que ocupan los equipos de la instalación solar, requisito fundamental para el traslado en avión:

Peso total todos los módulos fotovoltaicos [kg]	351,00
Peso total todos los reguladores [kg]	20,40
PESO TOTAL (EQUIPOS) INSTALACIÓN SOLAR [kg]	371,40

Tabla 29. Peso total instalación solar.

Volumen/espacio que ocupan todos los módulos fotovoltaicos [m³]	0,461
Volumen/espacio que ocupan todos los reguladores [m³]	0,032
VOLUMEN TOTAL (EQUIPOS) INSTALACIÓN SOLAR [m³]	0,493

Tabla 30. Volumen total instalación solar.

10.2. COSTES DE BATERÍAS E INVERSORES.

Las baterías e inversores que se han elegido para la base militar se pueden observar a continuación, según lo obtenido en el apartado 9.5.4:

Características de la batería				
Fabricante	Tipo	Modelo	POWER	Monoblock AGM -----
Capacidad nominal Cn [A*h].Dato del fabricante.	Cn=C(10)			
	Cn_sist.fotovoltaicos=C(100)		320	
Tensión nominal de la batería: Vnom_batería [V]			12	
Profundidad de descarga: Pd. Dato del fabricante (si no es dato: 60% o 70%; instalaciones fotovoltaicas hasta un 80%)			77%	
Longitud de la batería [mm]			520	
Anchura de la batería [mm]			268	
Grosor de la batería [mm]			220	
Peso de la batería [kg]			67,0	
Precio batería [€]			427,56	
Nbp			172	
Nbs			1	
Número total de baterías			172	
Coste total baterías [€]			73.540,32	
Peso total baterías [kg]			11.524,00	
Volumen/espacio que ocupan todas las baterías [m³]			5,27	

Características del inversor			
Fabricante/Tipo/Modelo	Schneider Xantrex	Onda senoidal pura	PROwatt SW 2000i
Potencia nominal [W]	2.000		
Tensión nominal de entrada: Vn_ent=Vcc [V]	12		
Tensión nominal de salida: Vn_sal=Vca=Vrms [V]	230		
Frecuencia de salida [Hz]	50		
Rendimiento del inversor: $\eta_{inv}=1-Kc$	90%		
Longitud del inversor [mm]	418		
Anchura del inversor [mm]	240		

Grosor del inversor [mm]	115
Peso del inversor [kg]	5,46
Precio inversor [€]	536,70
Nº total de inversores	3
Precio total inversores [€]	1.610,10
Peso total inversores [kg]	16,38
Volumen/espacio que ocupan todos los inversores [m³]	0,035

Por lo tanto, el coste total de las baterías e inversores es:

Coste total baterías [€]	73.540,32
Coste total inversores [€]	1.610,10
COSTES (EQUIPOS) BATERÍAS+INVERSORES[€]	75.150,42

Tabla 31. Coste total baterías e inversores.

El peso y espacio total que ocupan es:

Peso total todas las baterías [kg]	11.524,00
Peso total todos los inversores [kg]	16,38

PESO TOTAL (EQUIPOS) BATERÍAS+INVERSORES [kg]	11.540,38
--	------------------

Tabla 32. Peso total baterías e inversores.

Volumen/espacio que ocupan todas las baterías [m³]	5,273
Volumen/espacio que ocupan todos los inversores [m³]	0,035
VOLUMEN TOTAL (EQUIPOS) BATERÍAS+INVERSORES [m³]	5,308

Tabla 33. Volumen total baterías e inversores.

10.3. COSTES DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS.

El grupo electrógeno seleccionado se muestra a continuación, según lo justificado en el apartado 9.6:

Características del grupo electrógeno						
Fabricante	Modelo	Combustible	ITC	Power	DG7800LE	Diésel
Pnominal [kW]			6			
Tensión nominal de salida: Vn_sal=Vca [V]			230			
Longitud del grupo electrógeno [mm]			720			
Anchura del grupo electrógeno[mm]			480			
Altura del grupo electrógeno [mm]			600			
Peso del grupo electrógeno [kg]			112,0			
Precio grupo electrógeno [€]			1.124,10			
Número total de grupos electrógenos			2			
Coste total grupos electrógenos [€]			2.248,20			
Peso total grupos electrógenos [kg]			224,00			

Volumen/espacio que ocupan todos los grupos electrógenos[m³]	0,41
--	-------------

El coste total de los grupos electrógenos es:

COSTE TOTAL GRUPOS ELECTRÓGENOS [€]	2.248,20
--	-----------------

Tabla 34. Coste total grupos electrógenos.

10.4. COSTES TOTALES INSTALACIÓN.

El coste total de la instalación es la suma de los costes totales de la instalación solar junto con las baterías e inversores y el coste total de los grupos electrógenos:

COSTES TOTALES [€] INSTALACIÓN SOLAR +BAT./INV.	142.568,22
COSTES TOTALES [€] GRUPOS ELECTRÓGENOS	2.248,20

COSTES TOTALES [€] INSTALACIÓN	144.816,42
---------------------------------------	-------------------

Tabla 35. Costes totales instalación.

Por lo tanto, el coste total de la instalación solar fotovoltaica y los grupos electrógenos que abastecerán el consumo eléctrico de la base militar situada en Bamako, Malí, asciende a 144.816,42€.

10.5. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA.

La instalación solar fotovoltaica, los grupos electrógenos y las baterías e inversores engloban el coste total del sistema que permite el abastecimiento del suministro eléctrico de la base militar en Malí:

COSTES TOTALES [€] INSTALACIÓN SOLAR +BAT./INV.	142.568,22
--	-------------------

Tabla 36. Costes totales instalación de renovables.

El coste total de la instalación de renovables viene dado por el coste de los equipos que se necesitan, sin incluir cableado ni demás soportes auxiliares o mantenimiento.

Por lo tanto, los cálculos económicos se realizan para conocer los costes que supone la instalación de un sistema solar fotovoltaico para cubrir el consumo eléctrico de la base militar.

Una instalación aislada de la red eléctrica podría suponer un ahorro por no conectarse a red, tal y como se va a estudiar a continuación. Asimismo, la instalación solar y los grupos electrógenos implican una mayor seguridad en el suministro, como se ha ido explicando a lo largo del proyecto. De este modo, se debe tener en cuenta que en Malí el suministro eléctrico sufre mayores cortes de electricidad que en España, lo que conlleva que prime la seguridad en el abastecimiento eléctrico frente a otros factores. Además, tal y como se puede observar en los cálculos de viabilidad que se muestran más adelante, el precio de la electricidad en Malí (51,40 €/MWh) no es tan bajo como para que pudiera salir excesivamente rentable la conexión a red.

De esta manera, la instalación supone invertir a largo plazo obteniendo beneficios en un futuro cercano, y ayudando al incremento en la seguridad de suministro eléctrico en las bases militares en zonas de conflicto con difícil acceso a la red eléctrica de la zona.

Por lo tanto, se va realizar un análisis de rentabilidad, de tal forma que a priori se pueda conocer la viabilidad del proyecto. Para ello, se dispone del coste total de la instalación de renovable, estando constituida por los costes de la instalación solar fotovoltaica, las baterías de almacenamiento y los inversores.

El período que se emplea para el estudio es de 20 años, dado que los análisis de rentabilidad se estudian con pronósticos de futuro.

$$\text{Inversión} = CD + CI = C_{\text{equipos}} = 3.451.000\text{€}$$

Siendo CD los costes directos correspondientes a los equipos, obra civil,... y CI los costes indirectos por posibles contingencias o supervisión e ingeniería.

Los parámetros necesarios para el estudio de rentabilidad son VAN y TIR, los cuales se explican a continuación:

➤ **VAN (valor actual neto)**

Dicho parámetro calcula el valor actual del número de flujos de caja en los que se desea invertir en un futuro.

El proyecto es rentable cuando el VAN es mayor que cero, no rentable con un VAN menor que cero, y si se da el caso de que es cero, se trata de un proyecto que no obtiene ni gastos ni beneficios, es decir, se obtienen los recursos justos para que se pueda recuperar la inversión.

➤ **TIR (tasa interna de rentabilidad)**

En este caso se trata del coste más elevado de capital que se puede emplear en la instalación para el cual se pueda recuperar la inversión utilizada.

El proyecto es rentable cuando el TIR sea mayor que el interés, de tal forma que el VAN sería mayor que cero.

Los valores empleados para el cálculo de viabilidad se muestran a continuación:

inversión	142,56822	k€
% financiado	0%	%
años	12	
interés	5,5%	%
Imp sociedades	25,0%	%
Inflación	1,40%	%
Increment Pool	3%	%

Tabla 37. Inversión e impuestos.

η_{mod}	0,85
Pmod [Wp] de 1 módulo	150
HSP	5,125
Emod [W*h/día]	653,4375
nº total de módulos	195
Ettotal [W*h/día] de todos los módulos	127.420,31
Ettotal [W*h/año] de todos los módulos	46.508.414
Generación solar = Ettotal [MW*h/año] de todos los módulos	46,508

Tabla 38. Generación instalación solar.

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Acum
Gen	MWh	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	46,5084	
Precio Pool	€/ MWh	51,40	52,94	54,53	56,17	57,85	59,59	61,37	63,22	65,11	67,07	69,08	71,15	73,28	75,48	77,75	80,08	82,48	84,96	87,51	90,13		
Ingresos gen	k€	2,4	2,5	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	4,0	4,1	4,2		
Marg bruto	k€	2,4	2,5	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	4,0	4,1	4,2		
Amort	k€	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	142,6
BAIT	k€	-9,0	-8,9	-8,9	-8,8	-8,7	-8,6	-8,6	-8,5	-8,4	-8,3	-8,2	-8,1	-2,3	3,5	3,6	3,7	3,8	4,0	4,1	4,2		
Res finanz	k€	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BAT	k€	-9,0	-8,9	-8,9	-8,8	-8,7	-8,6	-8,6	-8,5	-8,4	-8,3	-8,2	-8,1	-2,3	3,5	3,6	3,7	3,8	4,0	4,1	4,2		
Impuestos	k€	-2,3	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0	-0,6	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0		-19,6
BN	k€	-6,8	-6,7	-6,7	-6,6	-6,5	-6,5	-6,4	-6,3	-6,3	-6,2	-6,1	-6,1	-1,7	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1		
Amort	k€	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	142,6
Desemb	k€	142,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	142,6
CF	k€	-142,6	4,6	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,1	5,1	5,2	5,3	5,3	4,0	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	-58,8
CF Acum	k€	-143	-138	-133	-128	-124	-119	-114	-109	-104	-99	-94	-88	-83	-79	-76	-74	-71	-68	-65	-62	-59	

VAN	-69
TIR	-5,0%

Tabla 39. VAN y TIR del proyecto.

Se puede observar en los cálculos que se obtiene un VAN menor que cero, por lo que actualmente el proyecto no sería rentable en un período de 20 años. Esto es debido al elevado precio que todavía presenta las placas solares flexibles empleadas, las cuales se están desarrollando en los últimos años. Sin embargo, en primer lugar, los precios van disminuyendo cada año conforme se desarrollan las placas solares con mejores materiales y más baratos. Y en segundo, lugar no se trata de un VAN demasiado negativo, por lo que la pérdida de beneficio no resultaría tan notable, teniendo en cuenta que el objetivo del presente proyecto es la importancia de la seguridad en el suministro eléctrico de la base militar frente a otros factores.

Asimismo, se debe destacar que los cálculos llevados a cabo no tienen en cuenta ayudas económicas, es decir, se supone que el Ministerio de Defensa es quien se encarga del pago de la instalación, sin tener en cuenta posibles ayudas de empresas externas.

10.6. CONCLUSIONES.

Con los resultados obtenidos se presentan las siguientes conclusiones:

- El coste de la instalación solar fotovoltaica y los grupos electrógenos asciende a 144.816,42€, por lo que se considera un precio no demasiado elevado, dado que se trata de un sistema capaz de abastecer el suministro eléctrico de la base militar mediante energía renovable. Cabe destacar que el coste se debe principalmente a las placas solares flexibles, las cuales se trata de una tecnología que se ha ido desarrollando en los últimos años, lo que conlleva que a día de hoy no sean las más baratas del mercado. Sin embargo, resultan necesarias para la instalación, ya que permiten un fácil traslado en avión por su reducido peso y volumen en comparación a otro tipo de placas solares fotovoltaicas. Asimismo, permiten la implementación en cualquier emplazamiento gracias a la flexibilidad que presentan. De igual manera, las baterías son el otro equipo del sistema que supone el precio principal de la instalación. A pesar de ello, son necesarias para permitir y asegurar el suministro eléctrico en la base militar en aquellas situaciones necesarias.
- Los grupos electrógenos presentan un coste muy reducido en comparación al conjunto de la instalación solar fotovoltaica. Sin embargo, tal y como se ha ido explicando a lo largo del proyecto, se desea incluir el sistema de renovable para asegurar la continuidad en el suministro eléctrico de la base militar en Malí, aislada de la red eléctrica. De esta forma, en la situación de emergencia, que es aquella en la que se produce fallo en los grupos electrógenos o no se dispone de diésel, por causas externas a la base militar, como puede ser el caso de camiones explosionados por los grupos terroristas de la zona, como ya se ha ido mencionando en las explicaciones previas, entonces es la instalación de renovable la que se encarga del abastecimiento eléctrico.
- El estudio de viabilidad ha resultado no rentable para un período de 20 años. Sin embargo, el proyecto realizado se lleva cabo por temas de seguridad en el suministro eléctrico, por lo se debería buscar otras posibles soluciones más baratas como alternativa, que cumplan como mínimo los mismos requisitos de seguridad.
- Actualmente las energías renovables tiene un papel cada vez más importante en el panorama eléctrico, lo que origina que se incluyan en la mayoría de los nuevos proyectos que se van realizando a día de hoy. Además, los sectores públicos dan

mayor importancia a esta forma de abastecimiento energético para dar ejemplo al resto de la sociedad. De este modo, se logra una mayor independencia energética y se reduce el consumo de los combustibles fósiles, consiguiendo que su uso disminuya paulatinamente.

Todo ello se ha ido consiguiendo gracias a los acuerdos que se están llevando a cabo en los últimos años entre los países participantes. Destacan el Horizonte 2020, cuyo objetivo es conseguir una energía segura, limpia y eficiente. Asimismo, tal y como se ha mencionado anteriormente, la COP21, celebrada en 2015 en París, fue el acuerdo con mayor número de países participantes, que hacía un llamamiento para reducir la emisión de los gases de efecto invernadero, principalmente el CO₂.

Por todo ello, cabe destacar que resulta de gran interés e importancia la inversión de los países en programas de I+D+i (investigación, desarrollo e innovación), de tal forma que se sigan mejorando las actuales tecnologías para conseguir instalaciones más eficientes, seguras y con una mayor rentabilidad, así como la investigación en nuevas alternativas que mejoren las presentes.

CAPÍTULO 11- REFERENCIAS. BIBLIOGRAFÍA.

[MARA18] Instituto Tecnológico “La Marañosa”.

[SEAD18] SEADA (Segundo Escuadrón de Apoyo al Despliegue Aéreo).

[GUT18] Instituto Universitario General Gutiérrez Mellado de Estudios sobre la Paz, la Seguridad y la Defensa. “*X Jornadas de Estudios de Seguridad*”.

[IDAE18] Instituto para la diversificación y ahorro de energía.

[PAR10] Miguel Pareja Aparicio. “*Energía solar fotovoltaica. Nuevas energías. Cálculo de una instalación aislada*”. Segunda edición. Editorial: marcombo. Año publicación: 2010.

[MEND11] Javier María Méndez y Rafael Cuervo García. “*Energía solar fotovoltaica*”. Séptima edición. Editorial: Bureau Veritas. Año publicación: 2011.

[DEF18] Revista Española de Defensa. “*España, al mando de la misión europea en Malí*”. Nº 347. Año publicación: Febrero de 2018.

[EJE17] Revista Ejército. “*Una brigada multinacional plenamente europea*”. Nº 921. Año publicación: Diciembre de 2017.

[REY07] Francisco Rey, Laurence Thieux y Jesús A. Núñez Villaverde. “*Fuerzas Armadas y acción humanitaria: Debates y propuestas*”. Primera edición. Fundación Carolina CeALCI e Instituto de Estudios sobre Conflictos y Acción Humanitaria. Año publicación: 2007.

[SCHE00] Hermann Scheer. “*Economía solar global: Estrategias para la modernidad ecológica*”. Primera edición. Editorial: Galaxia Gutenberg. Año publicación: 2000.

[GARC10] José María García Alonso. “*La base industrial de la defensa en España*”. Ministerio de Defensa. Año publicación: 2010.

[DEF17] Anuario de la Defensa e Industria en España 2017. Grupo Edefa. Año publicación: 2017.

[MID18] Ministerio de Defensa.

- [EMAD18] Estado Mayor de la Defensa. “*EUTM-Mali*”.
- [ABC18] ABC. “*España asume el mando de la misión europea en Malí para frenar el yihadismo*”. Fecha de publicación: Enero 2018.
- [TVE16] RTVE. “*FAS-Misión en Mali*”. Fecha de publicación: Febrero 2016.
- [MIAM18] Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medioambiente.
- [COP15] Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. COP21 París.
- [HOR11] Programa Horizonte 2020.
- [RD09] Real Decreto-Ley RDL 6/2009
- [CONF18] El Confidencial Digital. “*El ambicioso proyecto de Defensa del ‘Combatiente del Futuro’ está olvidado en un cajón*”. Fecha de publicación: Enero 2017.
- [ENER15] Revista Las Energías Renovables. “*Fotovoltaica, baterías y diésel para una granja de Lleida aislada de la red*”. Fecha de publicación: Septiembre 2015.
- [SFEF18] SunFields Europe. “*Tipos de paneles solares fotovoltaicos*”. Fecha de publicación: Enero 2018.
- [SFEP18] SunFields Europe. “*Nuevas células PERC para paneles solares de alto rendimiento*”. Fecha de publicación: Marzo 2018.
- [PAI17] El País. “*Creada la célula solar más eficiente hasta el momento*”. Fecha de publicación: Marzo 2017.
- [CADS17] Cadena Ser. “*Duplican la eficacia de los paneles solares*”. Fecha de publicación: Enero 2017.
- [CERT17] Certificados Energéticos. “*¿Qué tipo de paneles fotovoltaicos son los más eficientes y rentables?*”. Fecha de publicación: Mayo 2017.
- [DAM18] Damia Solar.
- [MIN18] Minnesota State University. “*Generator Set*”.

[INM13] Grupos electrógenos Inmesol. “*Aplicaciones de los grupos electrógenos*”. Fecha de publicación: Febrero 2013.

[INM18] Grupos electrógenos Inmesol. “*Máxima fiabilidad en el suministro eléctrico donde no existe la red eléctrica o es muy débil*”. Fecha de publicación: Noviembre 2017.

[INGE16] Revista Ingeniería Eléctrica. “*Baterías para grupos electrógenos*”. Nº 313. Fecha de publicación: Septiembre 2016.

[SDMO18] Kohler Sdmo. “*Grupo eléctrico + baterías + paneles solares*”.

[HIM18] Himoina. “*Grupos electrógenos Himoina para la integración con sistemas fotovoltaicos*”.

[LUM17] luminiscencia LED. “*Cuántos Watios necesitas para iluminar una habitación*”. Fecha de publicación: Abril 2017.

[LED17] Led Box News. “*Tabla de equivalencias LED*”. Fecha de publicación: Enero 2017.

[LEV17] LedViled. “*Equivalencia luces Led y bombillas incandescentes*”. Fecha de publicación: Mayo 2017.

[AUT18] AutoSolar.

[WETH18] WeatherSpark. “*El clima promedio en Bamako Mali*”.

[CLIM18] Climate-Data.org. “*Clima Bamako*”.

[ENR18] La web de las Energías Renovables. “*Radiación solar Bamako*”.

[CLE18] Clean Energy Solar.

[GLOB18] Global Solar Atlas.

[MERK18] Merkasol.

[VIAS18] Viasolar Energy SunPower.

[ECOF18] Ecofener.

[MON18] Monsolar.

[MOSA18] MOSA Energía.

[NAI17] Naija Tech Guide. *“New electricity tariff & cost Abuja Distribution Company in Nigeria”*.

[BUSS15] Business Tech. *“Electricity prices: South Africa vs the world”*.

[SCA18] Scaling Solar.

CAPÍTULO 12- ANEXOS.

ANEXOS

Contenido

ANEXO 1.	9.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA BASE MILITAR.....	3
ANEXO 2.	9.3.3. POTENCIA INSTALADA Y CONSUMOS CONSIDERADOS.....	5
ANEXO 3.	9.3.4. CONSUMO ELÉCTRICO DIARIO, MENSUAL Y ANUAL.	9
ANEXO 4.	9.4.1. MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	15
ANEXO 5.	9.5.1. SITUACIÓN MÁS DESFAVORABLE.	19
ANEXO 6.	9.5.2. ELECCIÓN DE LA PROPORCIÓN ABASTECIDA POR LA FOTOVOLTAICA Y LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS.....	21
ANEXO 7.	9.5.3. DIMENSIONAMIENTO INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA. 23	
ANEXO 8.	9.5.4. DIMENSIONAMIENTO BATERÍAS E INVERSORES.....	33
ANEXO 9.	9.6. SELECCIÓN DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS.	41
ANEXO 10.	RESUMEN DE LOS RESULTADOS.	43

ANEXO 1. 9.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA BASE MILITAR.

La base militar se diseña para alojar a 40 militares en 28 módulos portátiles con una superficie de 40 o 20 m² según las necesidades de utilización.

En la siguiente tabla se especifican los datos de superficie, unidades y utilización de cada módulo, siendo la superficie total de la base 280 m²:

Descripción	Unidades	Superficie (m ²)
Dormitorios	16	20
Comedor	2	40
Sala de reuniones	1	20
Oficinas	5	20
Almacén	2	20
Sala Lúdica	1	40
Aseos/Duchas	1	40
Cocina	1	40
Locutorio de Internet	1	20
Armero	1	5
Lavandería	1	10
Garita de entrada a la base	1	5

A continuación, se muestran los equipos que dispone la base militar en los dos casos de estudio: situación normal y situación de emergencia.

➤ Situación normal:

Equipo	nº elementos (cantidad)	Potencia nominal[W] (1 unidad)	Tiempo de uso (1 unidad) [horas/día]
Iluminación 16 dormitorios	16	60	3,0
Iluminación 2 comedores	2	120	4,0
Iluminación 1 sala de reuniones	1	60	2,0
Iluminación 5 oficinas	5	60	10,0
Iluminación 2 almacenes	2	60	1,0
Iluminación 1 sala lúdica	1	120	3,0
Iluminación 1 aseos/duchas	1	120	2,0
Iluminación 1 cocina	1	120	4,0
Iluminación 1 locutorio de internet	1	60	2,0
Iluminación 1 lavandería	1	30	2,0
2 Televisiones	2	180	6,0

3 Frigoríficos	3	250	24,0
28 Ordenadores	28	100	10,0
Varios (equipos auxiliares)	-----	500	6,0
Lavandería (2 lavadoras comerciales)	2	1.000	2,0
Locutorio internet (5 ordenadores + router)	-----	510	2,0
Iluminación armería	1	200	0,5
Satélite para comunicaciones externas de la base	-----	2.500	24,0
Iluminación una garita de entrada a la base	1	100	24,0

➤ **Situación de emergencia:**

Equipo	nº elementos (cantidad)	Potencia nominal[W] (1 unidad)	Tiempo de uso (1 unidad) [horas/día]
Iluminación 16 dormitorios	16	27	1,0
Iluminación 2 comedores	2	50	2,0
Iluminación 1 sala de reuniones	1	60	1,0
Iluminación 5 oficinas	5	7	9,0
Iluminación 2 almacenes	2	7	1,0
Iluminación 1 sala lúdica			
Iluminación 1 aseos/duchas	1	14	2,0
Iluminación 1 cocina	1	50	3,0
Iluminación 1 locutorio de internet			
Iluminación 1 lavandería			
2 Televisiones			
3 Frigoríficos	3	250	24,0
20 Ordenadores	20	100	8,0
Varios (equipos auxiliares)	-----	100	4,0
Lavandería (2 lavadoras comerciales)			
Locutorio internet (5 ordenadores + router)			
Iluminación armería	1	30	0,5
Satélite para comunicaciones externas de la base	-----	2.500	24,0
Iluminación una garita de entrada a la base	1	100	24,0

Los equipos coloreados se corresponden a aquellos equipos de los que se prescinde en la situación de emergencia.

ANEXO 2. 9.3.3. POTENCIA INSTALADA Y CONSUMOS CONSIDERADOS.

El consumo eléctrico de la base militar viene dado por los equipos necesarios para desempeñar el trabajo de los militares (iluminación, ordenadores, satélite de comunicación, frigoríficos, etc.).

A continuación, se incluyen las potencias totales obtenidas de los equipos de la base militar, teniendo en cuenta las potencias de cada elemento en las dos situaciones. Se calcula el consumo eléctrico [kWh/día] de los equipos como:

$$\text{Consumo eléctrico} = n^{\circ} \text{ elementos} \cdot P [W] \cdot T \text{ uso [h/día]}/1000$$

Donde,

- n° elementos: se corresponde al número de equipos de cada uno.
- P [W]: es la potencia nominal de cada equipo.
- T uso [h/día]: se corresponde al tiempo de uso del equipo en el día.

Asimismo, en el cálculo de los consumos eléctricos se tiene que considerar que la base militar funciona tanto con corriente alterna (azul) como con corriente continua (naranja-iluminación). Por lo tanto, el cálculo del consumo total tiene que tener en cuenta esta diferencia, ya que para la corriente alterna se tiene que considerar el rendimiento del inversor a utilizar en la instalación solar fotovoltaica, siendo éste del 90%. De esta manera, el consumo total para cada situación se ha obtenido como:

$$\text{Consumo total} = \text{consumo en c. c.} + \frac{\text{consumo en c. a.}}{\eta_{\text{inversor}}}$$

➤ Situación normal:

Equipo	n° elementos (cantidad)	Potencia nominal [W] (1 unidad)	Tiempo de uso (1 unidad) [horas/día]	kW*h/día (total)	Potencia total de los equipos instalados [kW]
Iluminación 16 dormitorios	16	60	3,0	2,88	0,960
Iluminación 2 comedores	2	120	4,0	0,96	0,240

Iluminación 1 sala de reuniones	1	60	2,0	0,12	0,060
Iluminación 5 oficinas	5	60	10,0	3,00	0,300
Iluminación 2 almacenes	2	60	1,0	0,12	0,120
Iluminación 1 sala lúdica	1	120	3,0	0,36	0,120
Iluminación 1 aseos/duchas	1	120	2,0	0,24	0,120
Iluminación 1 cocina	1	120	4,0	0,48	0,120
Iluminación 1 locutorio de internet	1	60	2,0	0,12	0,060
Iluminación 1 lavandería	1	30	2,0	0,06	0,030
2 Televisiones	2	180	6,0	2,16	0,360
3 Frigoríficos	3	250	24,0	18,00	0,750
28 Ordenadores	28	100	10,0	28,00	2,800
Varios (equipos auxiliares)	-----	500	6,0	3,00	0,500
Lavandería (2 lavadoras comerciales)	2	1.000	2,0	4,00	2,000
Locutorio internet (5 ordenadores + router)	-----	510	2,0	1,02	0,510
Iluminación armería	1	200	0,5	0,10	0,200
Satélite para comunicaciones externas de la base	-----	2.500	24,0	60,00	2,500
Iluminación una garita de entrada a la base	1	100	24,0	2,40	0,100

COEFICIENTE SEGURIDAD (CS)		suma [kW*h/día]	139,93	11,850
10%	110%	suma*cs [kW*h/día]	153,92	

➤ **Situación de emergencia:**

Equipo	nº elementos (cantidad)	Potencia nominal [W] (1 unidad)	Tiempo de uso (1 unidad) [horas/día]	kW*h/día (total)	Potencia total de los equipos instalados [kW]
Iluminación 16 dormitorios	16	27	1,0	0,43	0,432
Iluminación 2 comedores	2	50	2,0	0,20	0,100

Iluminación 1 sala de reuniones	1	60	1,0	0,06	0,060
Iluminación 5 oficinas	5	7	9,0	0,32	0,035
Iluminación 2 almacenes	2	7	1,0	0,01	0,014
Iluminación 1 sala lúdica					
Iluminación 1 aseos/duchas	1	14	2,0	0,03	0,014
Iluminación 1 cocina	1	50	3,0	0,15	0,050
Iluminación 1 locutorio de internet					
Iluminación 1 lavandería					
2 Televisiones					
3 Frigoríficos	3	250	24,0	18,00	0,750
20 Ordenadores	20	100	8,0	16,00	2,000
Varios (equipos auxiliares)	-----	100	4,0	0,40	0,100
Lavandería (2 lavadoras comerciales)					
Locutorio internet (5 ordenadores + router)					
Iluminación armería	1	30	0,5	0,02	0,030
Satélite para comunicaciones externas de la base	-----	2.500	24,0	60,00	2,500
Iluminación una garita de entrada a la base	1	100	24,0	2,40	0,100
COEFICIENTE SEGURIDAD (CS)			suma [kW*h/día]	108,50	6,185
10%	110%	suma*cs [kW*h/día]	119,35		

ANEXO 3. 9.3.4. CONSUMO ELÉCTRICO DIARIO, MENSUAL Y ANUAL.

La demanda eléctrica diaria, mensual y anual de la base militar se obtiene a partir de la potencia de los equipos disponibles en la base militar.

➤ **Situación normal:**

SITUACIÓN NORMAL- equipos en CC					
Sin introducir el CS					
Hipótesis aplicada		Consumo diario [Kw*h/día] Epot_max_diaria	nºdías/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]	
Estación	Temporada				
Enero		10,84	31	336,04	
Febrero		10,84	28	303,52	
Marzo		10,84	31	336,04	
Abril		10,84	30	325,20	
Mayo		10,84	31	336,04	
Junio		10,84	30	325,20	
Julio		10,84	31	336,04	
Agosto		10,84	31	336,04	
Septiembre		10,84	30	325,20	
Octubre		10,84	31	336,04	
Noviembre		10,84	30	325,20	
Diciembre		10,84	31	336,04	
				3.956,60	Consumo total anual [kW*h]
				4.352,26	Consumo total anual [kW*h]* CS (el CS=110% , siempre)

Introduciendo el CS					
Hipótesis aplicada		Consumo diario [Kw*h/día] Epot_max_diaria	nºdías/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]	
Estación	Temporada				
Enero		11,92	31	369,64	
Febrero		11,92	28	333,87	
Marzo		11,92	31	369,64	
Abril		11,92	30	357,72	
Mayo		11,92	31	369,64	
Junio		11,92	30	357,72	
Julio		11,92	31	369,64	
Agosto		11,92	31	369,64	
Septiembre		11,92	30	357,72	
Octubre		11,92	31	369,64	
Noviembre		11,92	30	357,72	
Diciembre		11,92	31	369,64	
				4.352,26	Consumo total anual [kW*h]* CS
				3.956,60	Consumo total anual [kW*h] (el CS=110% , siempre)

SITUACIÓN NORMAL- equipos en CA

Sin introducir el CS					
Hipótesis aplicada		Consumo diario [Kw*h/día] Epot_max_diaria	nºdías/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]	
Estación	Temporada				
Enero		116,18	31	3.601,58	
Febrero		116,18	28	3.253,04	
Marzo		116,18	31	3.601,58	
Abril		116,18	30	3.485,40	
Mayo		116,18	31	3.601,58	
Junio		116,18	30	3.485,40	
Julio		116,18	31	3.601,58	
Agosto		116,18	31	3.601,58	
Septiembre		116,18	30	3.485,40	
Octubre		116,18	31	3.601,58	
Noviembre		116,18	30	3.485,40	
Diciembre		116,18	31	3.601,58	
				42.405,70	Consumo total anual [kW*h]
				46.646,27	Consumo total anual [kW*h]* CS (el CS=110% , siempre)

Introduciendo el CS					
Hipótesis aplicada		Consumo diario [Kw*h/día] Epot_max_diaria	nºdías/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]	
Estación	Temporada				
Enero		127,80	31	3.961,74	
Febrero		127,80	28	3.578,34	
Marzo		127,80	31	3.961,74	
Abril		127,80	30	3.833,94	
Mayo		127,80	31	3.961,74	
Junio		127,80	30	3.833,94	
Julio		127,80	31	3.961,74	
Agosto		127,80	31	3.961,74	
Septiembre		127,80	30	3.833,94	
Octubre		127,80	31	3.961,74	
Noviembre		127,80	30	3.833,94	
Diciembre		127,80	31	3.961,74	
				46.646,27	Consumo total anual [kW*h]* CS
				42.405,70	Consumo total anual [kW*h] (el CS=110% , siempre)

SITUACIÓN NORMAL- CC+CA

Sin introducir el CS					
Hipótesis aplicada		Consumo diario [Kw*h/día] Epot_max_diaria	nºdías/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]	
Estación	Temporada				
Enero		139,93	31	4.337,80	
Febrero		139,93	28	3.918,01	
Marzo		139,93	31	4.337,80	
Abril		139,93	30	4.197,87	
Mayo		139,93	31	4.337,80	
Junio		139,93	30	4.197,87	
Julio		139,93	31	4.337,80	
Agosto		139,93	31	4.337,80	
Septiembre		139,93	30	4.197,87	
Octubre		139,93	31	4.337,80	
Noviembre		139,93	30	4.197,87	
Diciembre		139,93	31	4.337,80	
				51.074,04	Consumo total anual [kW*h]
				56.181,45	Consumo total anual [kW*h]* CS (el CS=110% , siempre)

Introduciendo el CS

	Consumo diario [kW*h/día] Epot_max_diaria	n° días/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]
Enero	153,92	31	4.771,58
Febrero	153,92	28	4.309,81
Marzo	153,92	31	4.771,58
Abril	153,92	30	4.617,65
Mayo	153,92	31	4.771,58
Junio	153,92	30	4.617,65
Julio	153,92	31	4.771,58
Agosto	153,92	31	4.771,58
Septiembre	153,92	30	4.617,65
Octubre	153,92	31	4.771,58
Noviembre	153,92	30	4.617,65
Diciembre	153,92	31	4.771,58
			56.181,45

**Consumo total anual
[kW*h]* CS**

Situación NORMAL: Potencia total de los equipos instalados [kW]	11,850
--	---------------

➤ **Situación de emergencia:**

SITUACIÓN EMERGENCIA- equipos en CC					
Sin introducir el CS					
Hipótesis aplicada		Consumo diario [Kw*h/día] Epot_max_diaria	nºdías/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]	
Estación	Temporada				
Enero		3,61	31	112,03	
Febrero		3,61	28	101,19	
Marzo		3,61	31	112,03	
Abril		3,61	30	108,42	
Mayo		3,61	31	112,03	
Junio		3,61	30	108,42	
Julio		3,61	31	112,03	
Agosto		3,61	31	112,03	
Septiembre		3,61	30	108,42	
Octubre		3,61	31	112,03	
Noviembre		3,61	30	108,42	
Diciembre		3,61	31	112,03	
				1.319,11	Consumo total anual [kW*h]
				1.451,02	Consumo total anual [kW*h]* CS (el CS=110% , siempre)

Introduciendo el CS					
Hipótesis aplicada		Consumo diario [Kw*h/día] Epot_max_diaria	nºdías/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]	
Estación	Temporada				
Enero		3,98	31	123,24	
Febrero		3,98	28	111,31	
Marzo		3,98	31	123,24	
Abril		3,98	30	119,26	
Mayo		3,98	31	123,24	
Junio		3,98	30	119,26	
Julio		3,98	31	123,24	
Agosto		3,98	31	123,24	
Septiembre		3,98	30	119,26	
Octubre		3,98	31	123,24	
Noviembre		3,98	30	119,26	
Diciembre		3,98	31	123,24	
				1.451,02	Consumo total anual [kW*h]* CS
				1.319,11	Consumo total anual [kW*h] (el CS=110% , siempre)

SITUACIÓN EMERGENCIA- equipos en CA					
Sin introducir el CS					
Hipótesis aplicada		Consumo diario [Kw*h/día] Epot_max_diaria	nºdías/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]	
Estación	Temporada				
Enero		94,40	31	2.926,40	
Febrero		94,40	28	2.643,20	
Marzo		94,40	31	2.926,40	
Abril		94,40	30	2.832,00	
Mayo		94,40	31	2.926,40	
Junio		94,40	30	2.832,00	
Julio		94,40	31	2.926,40	
Agosto		94,40	31	2.926,40	
Septiembre		94,40	30	2.832,00	
Octubre		94,40	31	2.926,40	
Noviembre		94,40	30	2.832,00	
Diciembre		94,40	31	2.926,40	
				34.456,00	Consumo total anual [kW*h]
				37.901,60	Consumo total anual [kW*h]* CS (el CS=110% , siempre)

Introduciendo el CS					
Hipótesis aplicada		Consumo diario [Kw*h/día] Epot_max_diaria	nºdías/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]	
Estación	Temporada				
Enero		103,84	31	3.219,04	
Febrero		103,84	28	2.907,52	
Marzo		103,84	31	3.219,04	
Abril		103,84	30	3.115,20	
Mayo		103,84	31	3.219,04	
Junio		103,84	30	3.115,20	
Julio		103,84	31	3.219,04	
Agosto		103,84	31	3.219,04	
Septiembre		103,84	30	3.115,20	
Octubre		103,84	31	3.219,04	
Noviembre		103,84	30	3.115,20	
Diciembre		103,84	31	3.219,04	
				37.901,60	Consumo total anual [kW*h]* CS
				34.456,00	Consumo total anual [kW*h] (el CS=110% , siempre)

SITUACIÓN EMERGENCIA- CC+CA					
Sin introducir el CS					
Hipótesis aplicada		Consumo diario [Kw*h/día] Epot_max_diaria	nºdías/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]	
Estación	Temporada				
Enero		108,50	31	3.363,59	
Febrero		108,50	28	3.038,08	
Marzo		108,50	31	3.363,59	
Abril		108,50	30	3.255,09	
Mayo		108,50	31	3.363,59	
Junio		108,50	30	3.255,09	
Julio		108,50	31	3.363,59	
Agosto		108,50	31	3.363,59	
Septiembre		108,50	30	3.255,09	
Octubre		108,50	31	3.363,59	
Noviembre		108,50	30	3.255,09	
Diciembre		108,50	31	3.363,59	
				39.603,55	Consumo total anual [kW*h]
				43.563,91	Consumo total anual [kW*h]* CS (el CS=110% , siempre)

Introduciendo el CS			
	Consumo diario [kW*h/día] Epot_max_diaria	nºdías/mes	Consumo mensual [kW*h/mes]
Enero	119,35	31	3.699,95
Febrero	119,35	28	3.341,89
Marzo	119,35	31	3.699,95
Abril	119,35	30	3.580,60
Mayo	119,35	31	3.699,95
Junio	119,35	30	3.580,60
Julio	119,35	31	3.699,95
Agosto	119,35	31	3.699,95
Septiembre	119,35	30	3.580,60
Octubre	119,35	31	3.699,95
Noviembre	119,35	30	3.580,60
Diciembre	119,35	31	3.699,95

43.563,91

**Consumo total anual
[kW*h]* CS**

**Situación EMERGENCIA:
Potencia total de los equipos
instalados [kW]**

6,185

SE HA CONSEGUIDO REDUCIR EL CONSUMO UN 23% EN LA SITUACIÓN DE EMERGENCIA

77,54
22,46

%consumo emergencia respecto al 100% del consumo normal
% reducción

ANEXO 4. 9.4.1. MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR.

CÁLCULOS DE LA RADIACIÓN SOLAR (EMPLAZAMIENTO)

Campos a rellenar

Bamako, Mali

		Entero más próximo observando tablas radiación
Altitud [m]	350	-----
Latitud [°]	12,65	13
Temperatura mínima histórica [°C]	16,1	-----

Orientación e inclinación de las placas

Orientación α [°]	0	módulos orientados al sur, utilización todo el año	
Inclinación óptima β_{opt} [°]	12,4	→ Observando en tablas de radiación, observo que el entero "más próximo" es: →	15

Orientados hacia el sur porque Mali está por encima del Ecuador

Como está a la mitad de 10 y 15, elijo el superior, ya que se aproxima un poco más a la latitud del emplazamiento. NOTA: para un uso anual se suele tender a escoger un valor aproximado a la latitud, para que haya una mejor captación en invierno respecto al verano.

15° sería la inclinación óptima para disponer las placas

Tablas Radiación														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año	
Temperatura ambiente media durante las horas de sol [°C]	25,1	27,8	30,3	31,1	31,5	29	27,4	25,9	26,4	27,4	26,5	24,8	27,8	
Energía [MJ] que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes. Irradiación H [MJ/m²]	18,07	21,1	22,9	23,54	22,86	21,89	19,84	19,37	20,12	20,16	19,66	17,93	20,63	
Factor de corrección k para superficies inclinadas. K (coeficiente corrector por inclinación del panel FV). Representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el Ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal. Para: Latitud= 13°, Inclinación (óptima)=15°	1,08	1,05	1,01	0,97	0,93	0,92	0,93	0,97	1,02	1,07	1,1	1,1	-----	
H' [MJ/m²] (valor corregido de irradiación por inclinación)= K*H	19,52	22,16	23,13	22,83	21,26	20,14	18,45	18,79	20,52	21,57	21,63	19,72		

Marcado (en rojo) los 2 meses más desfavorables (donde hay menos)

Marcado (en naranja) el más desfavorable de los 2 (donde hay menos) → valor elegido

H' [MJ/m²] (valor corregido de irradiación por inclinación)= K*H (del mes más desfavorable, cuando se recibe menor irradiación)	18,45	
K' (coeficiente corrector por efectos atmosféricos) = 0,75-1,20 en función de la zona	1	normalmente soleado
K'' (coeficiente corrector por desviación del panel respecto al sur geográfico) K''=1,14-0,085*α (para 20°<α<70°)	1	módulo orientado al sur

HSP [h] (horas solares pico)	5,1250
---	---------------

1kW*h=3,6 MJ

del mes más desfavorable (cuando se recibe menor irradiación H'→menos HSP). Su valor puede variar desde 3 a 7 horas diarias, dependiendo del mes y lugar de la instalación.

Eproducida [W*h] = HSP[h] (Emódulo)	5,1250
--	---------------

Energía producida por Wp (vatio pico) instalado del mes más desfavorable (cuando se recibe menor irradiación H'). Su valor puede variar desde 3 a 7 horas diarias, dependiendo del mes y lugar de la instalación. Eproducida gracias a la irradiación.

H' [MJ/m²] (valor corregido de irradiación por inclinación)= K*H (del mes más desfavorable, cuando se recibe menor irradiación)	19,5156	22,155	23,129	22,8338	21,2598	20,1388	18,4512	18,7889	20,5224	21,5712	21,626	19,723
K' (coeficiente corrector por efectos atmosféricos)= 0,75-1,20 en función de la zona	1	normalmente soleado										
K'' (coeficiente corrector por desviación del panel respecto al sur geográfico) K''=1,14-0,085*α (para 20°<α<70°)	1	módulo orientado al sur										
HSP [h] (horas solares pico)	5,4210	6,1542	6,4247	6,3427	5,9055	5,5941	5,1253	5,2191	5,7007	5,9920	6,0072	5,4786
Eproducida [W*h] = HSP[h] ; (Emódulo)	5,4210	6,1542	6,4247	6,3427	5,9055	5,5941	5,1253	5,2191	5,7007	5,9920	6,0072	5,4786

ANEXO 5. 9.5.1. SITUACIÓN MÁS DESFAVORABLE.

	Invierno		Primavera			Verano			Otoño			Invierno	
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Solar: Irradiación corregida [MJ/m ²] ; H'	19,52	22,16	23,13	22,83	21,26	20,14	18,45	18,79	20,52	21,57	21,63	19,72	Marco (en rojo) los 2 meses más desfavorables (donde hay menos irradiación); Marco (en verde) los 2 meses más favorables (donde hay más irradiación)
Consumo mensual NORMAL [kW*h/mes]; (introduciendo el CS)	4.771,58	4.309,81	4.771,58	4.617,65	4.771,58	4.617,65	4.771,58	4.771,58	4.617,65	4.771,58	4.617,65	4.771,58	Marco (en rojo) los meses más desfavorables (donde hay más consumo); Marco (en verde) los meses más favorables (donde hay menos consumo)
Consumo mensual EMERGENCIA [kW*h/mes]; (introduciendo el CS)	3.699,95	3.341,89	3.699,95	3.580,60	3.699,95	3.580,60	3.699,95	3.699,95	3.580,60	3.699,95	3.580,60	3.699,95	Marco (en rojo) los meses más desfavorables (donde hay más consumo); Marco (en verde) los meses más favorables (donde hay menos consumo)

El mes más desfavorable es Julio ya que hay menos irradiación y el consumo es el mayor

ANEXO 6. 9.5.2. ELECCIÓN DE LA PROPORCIÓN ABASTECIDA POR LA FOTOVOLTAICA Y LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS.

Situación NORMAL: Potencia total de los equipos instalados [kW]	11,850	SOLAR+GRUPOS ELECTRÓGENOS
Situación EMERGENCIA: Potencia total de los equipos instalados [kW]	6,185	SOLAR

SOLAR	Situación NORMAL: Potencia total de la iluminación instalada (CC) [kW]	2,430
SOLAR	Situación EMERGENCIA: Potencia total de la iluminación instalada (CC) [kW]	0,835

Situación NORMAL: Potencia total de los equipos instalados (CA) [kW]	9,420	GRUPOS ELECTRÓGENOS+SOLAR (con inversor)
Situación EMERGENCIA: Potencia total de los equipos instalados (CA) [kW]	5,350	SOLAR (con inversor)

	SISTEMA SOLAR	GRUPOS ELECTRÓGENOS+SOLAR	TOTAL INSTALADO
NORMAL (kW)	2,430	9,420	11,850
EMERGENCIA (kW)	6,185	-----	6,185
	SIN INVERSOR Iluminación en CC	0,835	
	CON INVERSOR Equipos en CA	5,350	

SITUACIÓN NORMAL

		kW	%
SISTEMA SOLAR		6,185	52,19
GRUPOS ELECTRÓGENOS		5,665	47,81
Total Normal		11,850	100
	SIN INVERSOR Iluminación en CC	2,430	
	CON INVERSOR Equipos en CA	3,755	
	Total	6,185	

SITUACIÓN EMERGENCIA

		kW	%
SISTEMA SOLAR		6,185	100
GRUPOS ELECTRÓGENOS		-----	-----
Total Emergencia		6,185	100
	SIN INVERSOR Iluminación en CC	0,835	
	CON INVERSOR Equipos en CA	5,350	
	Total	6,185	

ANEXO 7. 9.5.3. DIMENSIONAMIENTO INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.

CÁLCULOS DE LA INSTALACIÓN SOLAR + COSTES SOLAR

Campos a rellenar

HSP [h] (horas solares pico)	5,1250	
Eproducida [W*h] = HSP[h] (Emódulo)	5,1250	Energía producida por Wp (vatio pico) instalado del mes más desfavorable (cuando se recibe menor irradiación H').

Días de autonomía (Daut)	4
-----------------------------	---

Sistemas solares domésticos: 3-5 días de autonomía. En zonas de baja irradiación solar o donde pueden darse períodos largos de días nublados: 6-7 días de autonomía.

PROPORCIÓN SOLAR (respecto al consumo total)	52,19%
---	--------

La solar abastece el 52,19% del consumo de la base militar.

POTENCIA MÁXIMA DE LA INSTALACIÓN SOLAR. CONSUMO DE LA INSTALACIÓN SOLAR.

Diseño para el mes más desfavorable: JULIO

Consumo diario abastecido por la solar (ver hoja de consumo, sin aplicar el CS; lo multiplico por la proporción solar); Potencia máxima diaria de la instalación solar		
meses	Epot_max_diaria [kW*h/día] abastecido por la solar	Epot_max_diaria [W*h/día]
Julio	73,03	73.028,89

Potencia de la instalación solar	Potencia total de los equipos instalados [W]	6.184,5
----------------------------------	--	---------

	Potencia total de los equipos instalados [kW]	6,185
--	--	-------

Vsistema= V_nominal_ instalación: Vnom_inst [V]	12
--	----

meses	Einst_max [W*h/día]	Consumo máximo diario que va a consumir la instalación Emax_diaria = CS*Einst_max [W*h/día]	Consumo máximo diario que va a consumir la instalación (considerando las pérdidas del sistema) Emax = Emax_diaria/Kt [W*h/día]	Corriente máxima diaria que va a consumir la instalación (considerando las pérdidas del sistema) Ct_max =Emax/Vnom_inst [A*h/día]
Julio	73.028,89	80.331,78	126.883,01	10.573,58

CS	110%
-----------	------

Ka (pérdidas debido a la autodescarga diaria de las baterías; <i>suele ser dato catálogo</i>)	0,50%
Kb (pérdidas debido al rendimiento de la batería)	5%
Kc (pérdidas debido al rendimiento del convertidor utilizado)	10%
Kr (pérdidas debido al rendimiento del regulador utilizado)	10%
Kv (pérdidas varias:efecto Joule,caídas de tensión...)	10%
Daut (días de autonomía de la instalación con baja o nula insolación)	4
Pd (profundidad de descarga de la batería; suele ser dato del catálogo)	77%
Kt (pérdidas totales asociadas a la instalación)	0,633117

CÁLCULO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

Corriente que suministra el módulo fotovoltaico.

Características del módulo														
Tipo (modelo)			Tensión (nominal) modulo; tensión máxima: Vmod [V]	Pnominal/Pmax_salida [W]=[Wp]	I _{max_módulo} [A] ;(se utiliza para: Emodulo (→Nmp, regulador)	Rendimiento del módulo: η _{mod} =85%- 90%	Longitud del panel [mm]	Anchura del panel[mm]	Superficie del panel [m ²]	Grosor del panel [mm]	Precio módulo [€]	E _{mod} [A*h/día]	Peso del panel [kg]	Volumen del panel [cm ³]
CE	Mono	-----	12	50	4,17	0,85	660	503	0,33	2,0	82,28	18,15	2,06	663,96
SunPower	Mono	-----	12	50	4,17	0,85	560	580	0,32	3,0	176,48	18,15	0,93	974,40
Sunload	Mono	-----	12	60	5,00	0,85	905	570	0,52	2,5	240,00	21,78	2,34	1.289,63
CE	Mono	-----	12	100	8,33	0,85	1.220	500	0,61	2,0	151,47	36,30	3,75	1.220,00
Ecosolar	Mono	-----	12	100	8,33	0,85	1.220	500	0,61	20,0	194,00	36,30	3,75	12.200,00
Lensun	Mono	-----	12	100	8,33	0,85	1.100	570	0,63	2,5	314,60	36,30	2,71	1.567,50
SunPower	Mono	-----	12	110	9,17	0,85	1.070	540	0,58	3,0	209,99	39,93	3,00	1.733,40
MeSolar	Mono	-----	12	110	9,17	0,85	1.070	540	0,58	3,0	299,00	39,93	2,18	1.733,40
EcoSolar	Mono	-----	12	130	10,83	0,85	1.500	675	1,01	20,0	235,00	47,19	6,00	20.250,00
ViaSolar	Mono	-----	12	130	10,83	0,85	1.375	680	0,94	3,0	277,99	47,19	3,00	2.805,00
EcoSolar	Mono	-----	12	140	11,67	0,85	1.500	675	1,01	20,0	237,00	50,82	6,00	20.250,00
ViaSolar	Mono	-----	12	145	12,08	0,85	1.530	680	1,04	3,0	449,99	52,64	3,00	3.121,20
EcoSolar	Mono	-----	12	150	12,50	0,85	1.500	670	1,01	20,0	239,00	54,45	6,00	20.100,00
AutoSolar	Mono	-----	12	150	12,50	0,85	1.460	540	0,79	3,0	309,64	54,45	1,80	2.365,20
SunPower	Mono	-----	12	150	12,50	0,85	1.460	540	0,79	3,0	284,99	54,45	4,00	2.365,20
Activesol	Poli	-----	12	150	12,50	0,85	1.555	708	1,10	2,0	305,00	54,45	2,31	2.201,88
MS	Mono	-----	12	150	12,50	0,85	1.500	675	1,01	2,0	199,00	54,45	5,30	2.025,00
OEM	Mono	SH-N200W	12	200	16,67	0,85	1.435	800	1,15	3,0	360,00	72,60	3,50	3.444,00
OEM	Mono	SH-N250W	12	250	20,83	0,85	1.810	800	1,45	3	410,00	90,76	5,00	4.344,00

E _{producida} [W*h] = HSP[h] (E _{módulo})	5,13	Energía producida por Wp (vatio pico) instalado del mes más desfavorable (cuando se recibe menor irradiación H').
---	------	---

Número de módulos fotovoltaicos

Tabla con Nmp,Nms calculados (no son números enteros)					Número de módulos en paralelo	Número de módulos en serie	Número total de módulos	Peso del panel [kg]	Volumen del panel [cm ³]
meses	Hipótesis	Modelo			Nmp >=	Nms >=	Ntm		
Julio		CE	Mono	-----	582,53	1,00	582,53	2,06	663,96
		SunPower	Mono	-----	582,53	1,00	582,53	0,93	974,40
		Sunload	Mono	-----	485,44	1,00	485,44	2,34	1.289,63
		CE	Mono	-----	291,27	1,00	291,27	3,75	1.220,00
		Ecosolar	Mono	-----	291,27	1,00	291,27	3,75	12.200,00
		Lensun	Mono	-----	291,27	1,00	291,27	2,71	1.567,50
		SunPower	Mono	-----	264,79	1,00	264,79	3,00	1.733,40
		MeSolar	Mono	-----	264,79	1,00	264,79	2,18	1.733,40
		EcoSolar	Mono	-----	224,05	1,00	224,05	6,00	20.250,00
		ViaSolar	Mono	-----	224,05	1,00	224,05	3,00	2.805,00
		Ecosolar	Mono	-----	208,05	1,00	208,05	6,00	20.250,00
		ViaSolar	Mono	-----	200,87	1,00	200,87	3,00	3.121,20
		EcoSolar	Mono	-----	194,18	1,00	194,18	6,00	20.100,00
		AutoSolar	Mono	-----	194,18	1,00	194,18	1,80	2.365,20
		SunPower	Mono	-----	194,18	1,00	194,18	4,00	2.365,20
		Activesol	Poli	-----	194,18	1,00	194,18	2,31	2.201,88
		MS	Mono	-----	194,18	1,00	194,18	5,30	2.025,00
OEM	Mono	SH-N200W	145,63	1,00	145,63	3,50	3.444,00		
OEM	Mono	SH-N250W	116,51	1,00	116,51	5,00	4.344,00		

Para traslado en avión

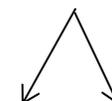


Tabla OK (con Nmp, Nms números enteros)					Número de módulos en paralelo	Número de módulos en serie	Número total de módulos	Precio Total Módulos Fotov. [€]	Superficie ocupada por todos los módulos [m^2]	Peso total todos los módulos [kg]	Volumen/es pacio que ocupan todos los módulos [m^3]
meses	Hipótesis	Modelo			Nmp	Nms	Ntm				
Julio		CE	Mono	-----	583	1	583	47.969,24	193,54	1.200,98	0,39
		SunPower	Mono	-----	583	1	583	102.887,84	189,36	542,19	0,57
		Sunload	Mono	-----	486	1	486	116.640,00	250,70	1.137,24	0,63
		CE	Mono	-----	292	1	292	44.229,24	178,12	1.095,00	0,36
		Ecosolar	Mono	-----	292	1	292	56.648,00	178,12	1.095,00	3,56
		Lensun	Mono	-----	292	1	292	91.863,20	183,08	791,32	0,46
		SunPower	Mono	-----	265	1	265	55.647,35	153,12	795,00	0,46
		MeSolar	Mono	-----	265	1	265	79.235,00	153,12	577,70	0,46
		EcoSolar	Mono	-----	225	1	225	52.875,00	227,81	1.350,00	4,56
		ViaSolar	Mono	-----	225	1	225	62.547,75	210,38	675,00	0,63
		Ecosolar	Mono	-----	209	1	209	49.533,00	211,61	1.254,00	4,23
		ViaSolar	Mono	-----	201	1	201	90.447,99	209,12	603,00	0,63
		EcoSolar	Mono	-----	195	1	195	46.605,00	195,98	1.170,00	3,92
		AutoSolar	Mono	-----	195	1	195	60.379,80	153,74	351,00	0,46
		SunPower	Mono	-----	195	1	195	55.573,05	153,74	780,00	0,46
		Activesol	Poli	-----	195	1	195	59.475,00	214,68	450,45	0,43
MS	Mono	-----	195	1	195	38.805,00	197,44	1.033,50	0,39		
OEM	Mono	SH-N200W	146	1	146	52.560,00	167,61	511,00	0,50		
OEM	Mono	SH-N250W	117	1	117	47.970,00	169,42	585,00	0,51		

(1ºmin) Descartada porque aunque es el precio más bajo, el peso es de los más elevados.

38.805,00 (1º min) 351,00 0,36

(2º min) Esta opción se descarta porque el nº de módulos y el peso es muy elevado.

44.229,24 (2º min) 450,45 0,39

46.605,00 (3º min) 511,00 0,39

(3º min) Esta opción se descarta porque el peso y volumen es muy elevado.

116.640,00 (max) 1.350,00 4,56

Se elige la opción coloreada porque aunque el precio no es de los de menor coste, el peso es el más bajo y de los que menos superficie y espacio ocupan.

Características del módulo fotovoltaico		
Tipo (modelo)	AutoSolar	Mono
Tensión (nominal) modulo; tensión máxima: Vmod [V]	12	
Pnominal/Pmax_salida [W]=[Wp]	150	
Imax_módulo [A]	12,50	
Rendimiento del módulo: $\eta_{mod}=85\%-90\%$	0,85	
Longitud del panel [mm]	1.460	
Anchura del panel[mm]	540	
Grosor del panel [mm]	3	
Peso del panel [kg]	1,8	
Precio módulo [€]	309,64	
Nmp	195	
Nms	1	
Número total de módulos	195	
Coste total módulos fotovoltaicos [€]	60.379,80	
Peso total todos los módulos [kg]	351,00	
Volumen/espacio que ocupan todos los módulos [m^3]	0,46	

CÁLCULO DEL REGULADOR (DE CARGA) DE LA INSTALACIÓN SOLAR.

Corriente necesaria para el regulador (según módulos fotovoltaicos elegidos).

meses	Iregulador [A] >=	Iconsumo [A]
Julio	3.046,88	515,37625

Como no se conoce Isc
(corriente en cortocircuito
del módulo fotovoltaico),
se elige la I_{max}_modulo

Depende de la I_{max} del módulo y el nºmódulos en paralelo

Número de reguladores.

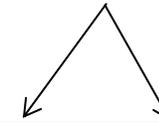
Vsistema= V_nominal_ instalación: Vnom_inst [V]	12
--	----

No se conectan nunca reguladores en serie. Por
ello, escojo reguladores que tengan de tensión 12
V

Características del regulador												
Fabricante (modelo)		Tensión nominal/Tensión máxima: Vn[V]; Tensión del sistema		IP (protección)	Corriente máxima: I _{max} [A]	Dimensiones [mm]	Precio [€]	Peso del regulador [kg]	Longitud del regulador [mm]	Anchura del regulador [mm]	Grosor del regulador [mm]	Volumen del regulador [cm ³]
Victron Energy	BlueSolar PWM Light	12/24	12	20	30	70x133x33,5	69,00	0,20	70,00	133,00	33,50	311,89
TF	BlueSolar Pwm-Pro	12/24	12	30	30	200x100x57	109,90	0,50	200,00	100,00	57,00	1.140,00
TF	LCD CX40	12/24	12	30	40	92x93x38	139,00	0,18	92,00	93,00	38,00	325,13
Steca	Tarom 4545	12/24	12	31	45	218x134x65	309,00	0,80	218,00	134,00	65,00	1.898,78
Morningstar	Tristar TS 45	12/48	12	30	45	260x127x71	209,00	1,60	260,00	127,00	71,00	2.344,42
Leo20	50A Basico	12/24	12	20	50	300x200x63	353,71	1,90	300,00	200,00	63,00	3.780,00
Xantrex	C60	12/24	12	30	60	254x127x63,5	136,99	1,40	254,00	127,00	63,50	2.048,38
EPSolar	VS6048BN	12/24	12	30	60	205x174x64	284,99	1,50	205,00	174,00	64,00	2.282,88
Morningstar	Tristar TS 60	12/48	12	30	60	260x127x71	259,00	1,60	260,00	127,00	71,00	2.344,42
Steca	Tarom 2070	12/24	12	65	70	330x330x190	1.219,00	10,00	330,00	330,00	190,00	20.691,00

meses	Fabricante (modelo)		Número de reguladores >=
Julio	Victron Energy	BlueSolar PWM Light	101,56
	TF	BlueSolar Pwm-Pro	101,56
	TF	LCD CX40	76,17
	Steca	Tarom 4545	67,71
	Morningstar	Tristar TS 45	67,71
	Leo20	50A Basico	60,94
	Xantrex	C60	50,78
	EPSolar	VS6048BN	50,78
	Morningstar	Tristar TS 60	50,78
	Steca	Tarom 2070	43,53

Para traslado en avión



meses	Fabricante (modelo)		Número de reguladores	Precio Total reguladores [€]	Peso total todos los reguladores [kg]	Volumen/espacio que ocupan todos los reguladores [m^3]
Julio	Victron Energy	BlueSolar PWM Light	102	7.038,00	20,40	0,0318
	TF	BlueSolar Pwm-Pro	102	11.209,80	51,00	0,1163
	TF	LCD CX40	77	10.703,00	13,86	0,0250
	Steca	Tarom 4545	68	21.012,00	54,40	0,1291
	Morningstar	Tristar TS 45	68	14.212,00	108,80	0,1594
	Leo20	50A Basico	61	21.576,31	115,90	0,2306
	Xantrex	C60	51	6.986,49	71,40	0,1045
	EPSolar	VS6048BN	51	14.534,49	76,50	0,1164
	Morningstar	Tristar TS 60	51	13.209,00	81,60	0,1196
Steca	Tarom 2070	44	53.636,00	440,00	0,9104	

(1º min) 6.986,49 13,86 0,0250
 (2º min) 7.038,00 20,40 0,0318
 (3º min) 10.703,00 51,00 0,1045

Se elige la opción coloreada porque aunque el nº reguladores es el más elevado, el precio total, el peso total y el espacio que ocupan el conjunto de todos los reguladores es el menor.

Características del regulador		
Fabricante	Victron Energy	BlueSolar PWM Light
Tensión nominal: Vn[V]	12	
Corriente máxima: I _{max} [A]	30	
IP	20	
Longitud del regulador [mm]	70,0	
Anchura del regulador[mm]	133,0	
Grosor del regulador [mm]	33,5	
Peso del regulador [kg]	0,20	
Precio regulador [€]	69,00	
Número total de reguladores	102	
Coste total reguladores (solar) [€]	7.038,00	
Peso total todos los reguladores [kg]	20,40	
Volumen/espacio que ocupan todos los reguladores [m³]	0,0318	

Número de ramas (de los módulos fotovoltaicos) conectadas a cada regulador.

nº ramas por regulador	1,91
------------------------	------

COSTES (EQUIPOS) INSTALACIÓN SOLAR.						
Coste total módulos fotovoltaicos [€]	60.379,80		Peso total todos los módulos fotovoltaicos [kg]	351,00	Volumen/espacio que ocupan todos los módulos fotovoltaicos [m³]	0,461
Coste total reguladores (solar) [€]	7.038,00		Peso total todos los reguladores [kg]	20,40	Volumen/espacio que ocupan todos los reguladores [m³]	0,032
COSTE TOTAL (EQUIPOS) INSTALACIÓN SOLAR [€]	67.417,80		PESO TOTAL (EQUIPOS) INSTALACIÓN SOLAR [kg]	371,40	VOLUMEN TOTAL (EQUIPOS) INSTALACIÓN SOLAR [m³]	0,493

ANEXO 8. 9.5.4. DIMENSIONAMIENTO BATERÍAS E INVERSORES.

DIMENSIONAMIENTO BATERÍA-INVERSOR (instalación solar)

Campos a rellenar

Días de autonomía (Daut)	4
--------------------------	---

POTENCIA (TOTAL) MÁXIMA DE LA INSTALACIÓN SOLAR. CONSUMO (TOTAL) DE LA INSTALACIÓN SOLAR.

Consumo diario (ver hoja de dim.solar2+costes solar, sin aplicar el CS); **Potencia máxima diaria de la instalación solar**

meses	Epot_max_diaria [kW*h/día]	Epot_max_diaria [W*h/día]
Julio	73,03	73.028,89

Potencia total de los equipos instalados (Solar) [W]	6.184,5
Potencia total de los equipos instalados (Solar) [kW]	6,185

Vsistema= V_nominal_ instalación: Vnom_inst [V]	12
---	----

Vinstalación=Vbatería=Vsolar

Consumo máximo diario que va a consumir la instalación
Consumo máximo diario que va a consumir la instalación (considerando las pérdidas del sistema)
Corriente máxima diaria que va a consumir la instalación (considerando las pérdidas del sistema)

meses	Einst_max [W*h/día]	E _{max} _diaria = CS*Einst_max [W*h/día]	E _{max} = E _{max} _diaria/Kt [W*h/día]	C _t _max =E _{max} /Vnom_inst [A*h/día]
Julio	73.028,89	80.331,78	126.883,01	10.573,58

CS	110%
----	------

Kt (pérdidas totales asociadas a la instalación)	0,633117
--	----------

CÁLCULO DE LA BATERÍA (DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN).

Capacidad de la batería (acumulador).

meses	Cbatería[A*h] >=
Julio	54.927,71

Características de la batería										
Tipo (modelo)		Capacidad nominal Cn [A*h] .Dato del fabricante.	Tensión nominal de la batería: Vnom_batería [V]	Profundidad de descarga: Pd. Dato del fabricante (si no es dato: 60% o 70%; instalaciones fotovoltaicas hasta un 80%); Pd_max	Precio batería [€]	Peso batería [kg]	Longitud de la batería [mm]	Anchura de la batería [mm]	Grosor de la batería [mm]	Volumen batería [cm ³]
Fabricante	Tipo	Cn_sist.fotovoltaico s=C(100)								
Saclima	Monoblock AGM	145	12	77%	220,00	34,00	406	173	210	14749,98
POWER	Monoblock AGM	190	12	77%	285,86	43,00	486	170	244	20159,28
Leoch	Monoblock AGM	190	12	70%	302,00	43,50	485	170	240	19788,00
MHB	Monoblock AGM	250	12	75%	375,00	58,00	523	240	224	28116,48
U-Power	Monoblock AGM	250	12	70%	355,00	57,30	555	125	320	22200,00
Leoch	Monoblock AGM	250	12	70%	425,00	62,50	522	240	224	28062,72
Victron	Monoblock AGM	250	12	70%	505,00	60,00	546	125	323	22044,75
Trojan	Monoblock AGM	254	12	70%	630,00	76,00	521	269	233	32654,72
POWER	Monoblock AGM	260	12	77%	353,40	57,90	522	240	219	27436,32

POWER	Monoblock AGM	320	12	77%	427,56	67,00	520	268	220	30659,20
-------	---------------	-----	----	-----	--------	-------	-----	-----	-----	----------

Número de baterías (acumuladores).

Tabla con Nbp,Nbs calculados (no son números enteros)			Número de baterías en paralelo	Número de baterías en serie	Número total de baterías
meses	Tipo (modelo)		Nbp >=	Nbs >=	Ntb
	Fabricante	Tipo			
Julio	Saclima	Monoblock AGM	378,81	1,00	378,81
	POWER	Monoblock AGM	289,09	1,00	289,09
	Leoch	Monoblock AGM	289,09	1,00	289,09
	MHB	Monoblock AGM	219,71	1,00	219,71
	U-Power	Monoblock AGM	219,71	1,00	219,71
	Leoch	Monoblock AGM	219,71	1,00	219,71
	Victron	Monoblock AGM	219,71	1,00	219,71
	Trojan	Monoblock AGM	216,25	1,00	216,25
	POWER	Monoblock AGM	211,26	1,00	211,26
	POWER	Monoblock AGM	171,65	1,00	171,65

Tabla OK (con Nbp,Nbs números enteros)				Número de baterías en paralelo	Número de baterías en serie	Número total de baterías	Precio Total Baterías [€]	Peso total todas las baterías [kg]	Volumen/es pacio que ocupan todas las baterías [m^3]
meses	Tipo (modelo)								
	Fabricante	Tipo	Modelo	Nbp	Nbs	Ntb			
Julio	Saclima	Monoblock AGM	-----	379	1	379	83.380,00	12886,00	5,59
	POWER	Monoblock AGM	-----	290	1	290	82.899,40	12470,00	5,85
	Leoch	Monoblock AGM	-----	290	1	290	87.580,00	12615,00	5,74
	MHB	Monoblock AGM	-----	220	1	220	82.500,00	12760,00	6,19
	U-Power	Monoblock AGM	-----	220	1	220	78.100,00	12606,00	4,88
	Leoch	Monoblock AGM	-----	220	1	220	93.500,00	13750,00	6,17
	Victron	Monoblock AGM	-----	220	1	220	111.100,00	13200,00	4,85
	Trojan	Monoblock AGM	-----	217	1	217	136.710,00	16492,00	7,09
	POWER	Monoblock AGM	-----	212	1	212	74.920,80	12274,80	5,82
	POWER	Monoblock AGM	-----	172	1	172	73.540,32	11524,00	5,27

Se elige la opción coloreada porque es la que tiene coste, peso y nº baterías menor y volumen de las que menor.

- (1º min) 73.540,32 11.524,00 4,85
- (2º min) 74.920,80 12.274,80 4,88
- (3º min) 78.100,00 12.470,00 5,27

Características de la batería					
Fabricante	Tipo	Modelo	POWER	Monoblock AGM	-----
Capacidad nominal Cn [A*h].Dato del fabricante.		Cn=C(10)	320		
		Cn_sist.fotovoltaicos=C(100)			
Tensión nominal de la batería: Vnom_batería [V]			12		
Profundidad de descarga: Pd. Dato del fabricante (si no es dato: 60% o 70%; instalaciones fotovoltaicas hasta un 80%)			77%		
Longitud de la batería [mm]			520		
Anchura de la batería [mm]			268		
Grosor de la batería [mm]			220		
Peso de la batería [kg]			67,0		
Precio batería [€]			427,56		
Nbp			172		
Nbs			1		
Número total de baterías			172		
Coste total baterías [€]			73.540,32		
Peso total baterías [€]			11.524,00		
Volumen/espacio que ocupan todas las baterías [m^3]			5,27		

CÁLCULO DEL INVERSOR (CONVERTIDOR). INSTALACIÓN AISLADA DE RED.

Consumo en corriente alterna (CA) →

Necesito un convertidor (inversor CC/CA)

Pconsumo(ca).Potencia total de los equipos instalados en CA [W]=∑(nºequipos*Pequipo)	5.350,0
Pinversor >=Pconsumo_ca/ηinv ;peor caso (todos los equipos conectados) → elijo el inmediato superior	5.944,4

Se debe cubrir la potencia de los equipos en CA de la instalación solar. En la situación normal son 3,755 kW y en emergencia 5,35 kW. Por lo tanto, se dimensiona para los 5,35 kW

Como no existe 1 inversor que tenga una potencia inmediatamente superior a lo calculado, tengo que asociar varios inversores en paralelo (nº máximo aprox.4 inversores).

Características del convertidor.																												
Fabricante	Tipo	Modelo	Pinversor: Potencia nominal [V*A]	Pinversor: Potencia nominal [W];supongo cos(fi)=1 (-> VA=W)	Tensión nominal de entrada: Vn_ent=Vcc [V] (ver arriba)	Tensión nominal de salida: Vn_sal=Vca=Vrms [V]	Frecuencia de salida [Hz]	Rendimiento del inversor: ηinv=1-Kc; (Ver hoja dim.solar)	Precio inversor [€]	Número de inversores en paralelo: Nip >=	Número de inversores en paralelo	Precio total inversores [€]	Peso inversor [kg]	Longitud del inversor [mm]	Anchura del inversor [mm]	Grosor del inversor [mm]	Volumen inversor [cm³]	Peso total todos los inversores [kg]	Volumen/es pacio que ocupan todos los inversores [m³]									
Schneider Xantrex	Onda senoidal pura	PROwatt SW 1400i	1.400	1.400	12	230	50	90%	368,28	4,25	5	1.841,40	4,64	369	240	115	10184,4	23,20	0,051									
Victron Phoenix	Onda senoidal pura	C12/2000	1.600	1.600	12	230	50	90%	894,21	3,72	4	3.576,84	12	520	255	125	16575	48,00	0,066									
Schneider Xantrex	Onda senoidal pura	PROwatt SW 2000i	2.000	2.000	12	230	50	90%	536,70	2,97	3	1.610,10	5,46	418	240	115	11536,8	16,38	0,035									
Victron Phoenix	Onda senoidal pura	C12/3000	2.200	2.200	12	230	50	90%	1.270,50	2,70	3	3.811,50	18	362	258	218	20360,33	54,00	0,061									
TBS	Onda senoidal pura	-----	2.600	2.600	12	230	50	90%	1.249,00	2,29	3	3.747,00	18,5	431	370	132	21050,04	55,50	0,063									

Se elige la opción coloreada porque es el que presenta coste, peso, volumen y nº inversores menor.

1.610,10 (1º min)

1.841,40 (2º min)

16,38 0,035

23,20 0,051

Características del convertidor.			
Fabricante/Tipo/Modelo	Schneider Xantrex	Onda senoidal pura	PROwatt SW 2000i
Potencia nominal [W]	2.000		
Tensión nominal de entrada: Vn_ent=Vcc [V]	12		
Tensión nominal de salida: Vn_sal=Vca=Vrms [V]	230		
Frecuencia de salida [Hz]	50		
Rendimiento del inversor: $\eta_{inv}=1-Kc$	90%		
Longitud del inversor [mm]	418		
Anchura del inversor [mm]	240		
Grosor del inversor [mm]	115		
Peso del inversor [kg]	5,46		
Precio inversor [€]	536,70		
Nº total de inversores	3		
Precio total inversores [€]	1.610,10		
Peso total inversores [€]	16,38		
Volumen/espacio que ocupan todos los inversores [m³]	0,035		

COSTES (EQUIPOS) BATERÍAS+INVERSORES.

Coste total baterías [€]	73.540,32	Peso total todas las baterías [kg]	11.524,00	Volumen/espacio que ocupan todas las baterías [m³]	5,273
Coste total inversores [€]	1.610,10	Peso total todos los inversores [kg]	16,38	Volumen/espacio que ocupan todos los inversores [m³]	0,035
COSTES (EQUIPOS) BATERÍAS+INVERSORES [€]	75.150,42	PESO TOTAL (EQUIPOS) BATERÍAS+INVERSORES [KG]	11.540,38	VOLUMEN TOTAL (EQUIPOS) BATERÍAS+INVERSORES [m³]	5,308

ANEXO 9. 9.6. SELECCIÓN DE LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS.

Los grupos electrógenos deben cubrir la proporción del 47,81% de la potencia total de 11,850 kW correspondiente a la situación normal. Esto supone que los grupos deben abastecer 5,665 kW. En la situación de emergencia no se cubre nada con los grupos electrógenos, dado que es aquel caso en que la demanda se abastece con la instalación solar por el no posible aprovisionamiento de los grupos electrógenos.

Potencia total de los equipos instalados (Grupos electrógenos) [kW]	5,665
--	-------

Caraterísticas del grupo electrógeno										
Tipo (modelo)			Pnominal [kW]	Tensión nominal de salida: Vn_sal=Vca [V]	Longitud del grupo electrógeno [mm]	Anchura del grupo electrógeno [mm]	Altura del grupo electrógeno [mm]	Precio grupo electrógeno [€]	Peso del grupo electrógeno [kg]	Volumen del grupo electrógeno [m ³]
Varan Motors	UP186	Diesel	4	230	955	575	865	1.076,00	155,0	0,475
ITCPower	NT6100XE	Diesel	5	230	720	480	600	770,00	108,0	0,207
ITCPower	DG7800LE	Diesel	6	230	720	480	600	1.124,10	112,0	0,207
ITCPower	DG12000XSE	Diesel	9	230	1360	650	980	4.675,50	318,0	0,866

Se elige la opción coloreada porque cubre la potencia necesaria. Se incluyen 2 grupos electrógenos en la instalación, de tal forma que se disponga de uno de emergencia que siempre hay que tener, y con ello, además sería un total de 12 kW que cubre la potencia total de la instalación de 11,85 kW por cualquier imprevisto.

Características del grupo electrógeno					
Fabricante	Modelo	Combustible	ITCPower	DG7800LE	Diesel
Pnominal [kW]			6		
Tensión nominal de salida: Vn_sal=Vca [V]			230		
Longitud del grupo electrógeno [mm]			720		
Anchura del grupo electrógeno [mm]			480		
Altura del grupo electrógeno [mm]			600		
Peso del grupo electrógeno [kg]			112,0		
Precio grupo electrógeno [€]			1.124,10		
Número total de grupos electrógenos			2		
Coste total grupos electrógenos [€]			2.248,20		
Peso total grupos electrógenos [€]			224,00		
Volumen/espacio que ocupan todos los grupos electrógenos [m³]			0,41		

COSTES (EQUIPOS) GRUPOS ELECTRÓGENOS

Coste total grupos electrógenos [€]	2.248,20
--	-----------------

ANEXO 10. RESUMEN DE LOS RESULTADOS.

COSTE TOTAL INSTALACIÓN SOLAR

COSTES (EQUIPOS) INSTALACIÓN SOLAR.

Coste total módulos fotovoltaicos [€]	60.379,80
Coste total reguladores (solar) [€]	7.038,00
COSTE TOTAL (EQUIPOS) INSTALACIÓN SOLAR [€]	67.417,80

COSTES (EQUIPOS) BATERÍAS+INVERSORES.

Coste total baterías [€]	73.540,32
Coste total inversores [€]	1.610,10
COSTES (EQUIPOS) BATERÍAS+INVERSORES[€]	75.150,42

COSTE TOTAL GRUPOS ELECTRÓGENOS

COSTES (EQUIPOS) GRUPOS ELECTRÓGENOS [€]	2.248,20
---	-----------------

COSTES (EQUIPOS) TOTAL.

COSTES TOTALES [€] INSTALACIÓN SOLAR +BAT./INV.	142.568,22
COSTES TOTALES [€] GRUPOS ELECTRÓGENOS	2.248,20
COSTES TOTALES [€] INSTALACIÓN	144.816,42