



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Eficiencia energética y sostenibilidad en
instalaciones militares

CAC D. Juan Carlos Millón Herranz

Director académico: Dr. D. Jorge González Chapela

Director militar: Teniente D. Gonzalo Gálvez Gallardo

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2026

Repositorio de la Universidad de Zaragoza – Zagan
<http://zagan.unizar.es>

FC-0707-03



Agradecimientos

Me gustaría agradecer en primer lugar al director académico de este trabajo de fin de grado el Dr. D. Jorge González Chapela, por su total disponibilidad, toda su dedicación y tiempo empleado en este trabajo. Además al director militar el teniente D. Gonzalo Gálvez Gallardo, por las facilidades dadas a la hora de realizar la tareas de investigación de este trabajo y su ayuda durante las prácticas externas. Seguidamente a todo el personal de la 2º batería del GACA I/93 por su acogida durante este periodo de prácticas. Y finalmente a aquellos que me han ayudado con la ejecución de la parte de investigación de este trabajo durante las prácticas externas, como es el personal de la USAC 'Los Rodeos', y principalmente al teniente D. Vicente Zornoza Auñón y al Capitán D. Aniceto Arévalo Ruiz, destinados en el COBRA 5, por su gran disponibilidad y apoyo, facilitando gran cantidad de información.



RESUMEN

La eficiencia energética y la sostenibilidad son un tema de rigurosa actualidad en la mayoría de instalaciones militares del Ejército de Tierra, puesto que en una gran cantidad de estos se han ejecutado, se están ejecutando actualmente o está previsto que se ejecuten obras relacionadas con la finalidad de mejora en estos dos aspectos. Todo esto motivado por el compromiso de las administraciones nacionales y europeas por impulsar la transición energética en las instalaciones de la administración pública. Lo que ha llevado a la existencia de fondos europeos que están fomentando la realización de este tipo de obras en los acuartelamientos del Ejército de Tierra, haciendo que represente una gran oportunidad para la renovación de las instalaciones, la mejora de la calidad de vida en los usuarios que viven en los acuartelamientos y de las condiciones de trabajo de todo el personal, una notable reducción de la contaminación provocada por los cuarteles además de una gran reducción de la factura energética de las instalaciones militares.

Debido a lo anterior esta memoria tiene como objetivo analizar las actuales medidas de mejora de la eficiencia energética y sostenibilidad aplicadas en los acuartelamientos del Ejército de Tierra, centrándose particularmente en el acuartelamiento 'Los Rodeos', además de otros acuartelamientos y de nuevas tendencias tecnológicas o medidas que no se estén aplicando actualmente pero representen una oportunidad de futura implantación. Para así poder realizar el objetivo principal, el cual es realizar una propuesta de línea de acción respecto a las medidas a tomar en los acuartelamientos.

La línea de acción propuesta en este trabajo agrupa las medidas en cuatro ámbitos de acción sobre los acuartelamientos, los cuales son: reducción del consumo energético, producción de agua caliente sanitaria y climatización, generación de energía eléctrica y consecución del 100% de autonomía mediante las baterías. Los resultados del análisis determinan las medidas de cada grupo y cuáles son los cuarteles que mejor encajan según su situación geográfica y otros aspectos a tener en cuenta.

En conclusión, los resultados de este Trabajo Fin de Grado cumplen con los objetivos presentados realizando un plan de acción general para los acuartelamientos del Ejército de Tierra en los próximos años, además este plan como se ha explicado anteriormente no es un plan común replicable en todos los cuarteles, sino que cada cuartel tendrá una o varias medidas a aplicar dependiendo del ámbito en el que se busque actuar.

PALABRAS CLAVE

Eficiencia energética; sostenibilidad; transición energética; acuartelamiento 'Los Rodeos'.



ABSTRACT

Energy efficiency and sustainability are hot topics at most Army military installations, as many of them have carried out, are currently carrying out, or are planning to carry out works aimed at improving these two aspects. This is motivated by the commitment of national and European administrations to promote the energy transition in public administration facilities. This has led to the creation of European funds that are promoting this type of work in Army barracks, representing a great opportunity for the renovation of facilities, improving the quality of life of users living in the barracks and the working conditions of all personnel, significantly reducing pollution caused by the barracks and greatly reducing the energy bill of military facilities.

In view of the above, this report aims to analyse the current measures to improve energy efficiency and sustainability applied in Army barracks, focusing particularly on the “Los Rodeos” barracks, as well as other barracks and new technological trends or measures that are not currently being applied but represent an opportunity for future implementation. This is in order to achieve the main objective, which is to propose a course of action regarding the measures to be taken in the barracks.

The course of action proposed in this work groups the measures into four areas of action on the barracks, which are: reduction of energy consumption, production of domestic hot water and air conditioning, generation of electrical energy and achievement of 100% autonomy through batteries. The results of the analysis determine the measures for each group and which barracks are best suited according to their geographical location and other aspects to be taken into account.

In conclusion, the results of this Final Degree Project meet the objectives set out by drawing up a general action plan for Army barracks in the coming years. Furthermore, as explained above, this plan is not a standard plan that can be replicated in all barracks, but rather each barracks will have one or more measures to implement depending on the area in which it seeks to act.

KEYWORDS

Energy efficiency; sustainability; energy transition; garrison ‘Los Rodeos’.



INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
INDICE DE CONTENIDO	IV
INDICE DE FIGURAS	VI
INDICE DE TABLAS	VIII
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS	IX
DECLARACIÓN DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	2
2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE.....	2
2.2. METODOLOGÍA.....	3
2.2.1. Revisión bibliográfica.....	3
2.2.2. Consulta de Normativa.....	3
2.2.3. Entrevistas.....	4
2.2.4. Estudio de casos.....	4
3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	4
3.1. Conceptos clave y tecnologías.....	4
3.2. Punto de partida: Normativa europea.....	5
3.3. Normativa y compromisos nacionales.....	6
3.4. Política energética del Ministerio de Defensa.....	6
3.5. Órganos encargados de su ejecución.....	6
3.6. Ámbito de estudio y aplicación.....	8
3.7. Proyecto “Actuaciones varias de mejora de la eficiencia energética en el acuartelamiento ‘Los Rodeos’” y demanda energética del acuartelamiento.....	9
4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS	11
4.1. Medidas del PMEE aplicadas en el acuartelamientos ‘Los Rodeos’.....	11
4.1.1. Paneles fotovoltaicos.....	11
4.1.2. Mejora envolvente térmica en alojamiento logístico de personal militar.....	17
4.1.3. Otras medidas en el acuartelamiento ‘Los Rodeos’.....	21
4.2. Medidas aplicadas en otros acuartelamientos del Ejército de Tierra.....	22
4.2.1. Instalación de aerotermia en el acuartelamiento ‘Puerto del Rosario’.....	22
4.2.2. Instalación de una red de calor y central de biomasa en la Base ‘Conde de Gazola’.....	24
4.3. Medidas innovadoras no aplicadas en los acuartelamientos del Ejército de Tierra.....	26
4.3.1. Geotermia.....	26



4.3.2.	Energía eólica a pequeña escala	28
4.3.3.	Sistema de baterías de litio de alto voltaje	30
4.4.	Comparación de medidas	31
4.5.	Propuesta final de línea de acción	36
5.	CONCLUSIONES	39
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
	ANEXO I: IMAGEN CARTEL ANUNCIO	45
	ANEXO II: TABLAS CONSUMO ENERGÉTICO E IRRADIANCIA ACUARTELAMIENTO LOS RODEOS	46
	ANEXO III: IMÁGENES ESTRUCTURAS PANELES FOTOVOLTAICOS	49
	ANEXO IV: OBRAS DE MEJORA DEL AISLAMIENTO TÉRMICO DEL EDIFICIO DE ALOJAMIENTO LOGÍSTICO DEL PERSONAL MILITAR	54
	ANEXO V: ENTREVISTA A ROBERTO GÓMEZ DE LA EMPRESA ELECTROSTOCKS.....	56
	ANEXO VI: MAPAS DE DATOS.....	57



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Las inversiones en energía basada en combustibles fósiles representaron menos de una séptima parte de las inversiones totales en energía en 2024. Fuente: [1].	1
Figura 2. Ejemplo de uso de aerotermia. Fuente: [15].	5
Figura 3. Organigrama de la Dirección de infraestructura del Ejército de Tierra y encuadramiento de las Comandancias de obras. Fuente: [20].	7
Figura 4. Distribución y área de responsabilidad de las COBRA. Fuente: [21].	8
Figura 5 . Distribución acuartelamiento 'Los Rodeos'. Fuente: Elaboración propia.	8
Figura 6. Curva consumo horario acuartelamiento 'Los Rodeos'. Fuente: [10].	10
Figura 7 . Demanda horaria tipo (kWh) en el Acuartelamiento 'Los Rodeos'. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del informe del PMEE.	11
Figura 8 . Zonas de instalación de paneles fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia.	12
Figura 9. Paneles fotovoltaicos instalados en el tinglado. Fuente: Elaboración propia.	13
Figura 10. Instalación eléctrica con los inversores del tinglado. Fuente: Elaboración propia.	13
Figura 11. Nuevo edificio en el que se han instalado paneles fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia.	13
Figura 12. Irradiancia global media diaria por horas W/m2 en los paneles del tinglado. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del informe del PMEE.	14
Figura 13. Irradiancia global media diaria por horas W/m2 en los paneles del edificio de oficinas y almacén. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del informe del PMEE.	14
Figura 14. Análisis producción-consumo mensual. Fuente: [10].	15
Figura 15. Balance anual energético. Fuente: [10].	17
Figura 16. Corte ventana serie IT-61 RPT "ITESAL". Fuente: [22].	18
Figura 17. Ventanas edificio alojamiento militar antes de ser cambiadas. Fuente: Elaboración propia.	18
Figura 18. Nuevas ventanas antes de ser instaladas. Fuente: Elaboración propia.	19
Figura 19. Nueva ventana instalada en nuevo edificio multiusos. Fuente: Elaboración propia.	19
Figura 20 . Detector de presencia autónomo instalado en zona común nuevo edificio multifunción. Fuente: Elaboración propia.	21
Figura 21 . Fococélula inhibidora instalada en zona común nuevo edificio multifunción. Fuente: Elaboración propia.	22
Figura 22 . Equipo de aerotermia para producción de ACS instalado en el acuartelamiento 'Puerto del Rosario'. Fuente: [30].	23
Figura 23 . Acumuladores ACS de capacidad 800/1000l instalado en el acuartelamiento 'Puerto del Rosario'. Fuente: [30].	24
Figura 24. Esquema contribución energía renovable sistema de aerotermia en el acuartelamiento 'Puerto del Rosario'. Fuente: [30].	24
Figura 25. Mapa biomasa forestal en España. Fuente: [34].	26
Figura 26. Mapa de recursos geotérmicos de baja temperatura y zonas de posibles aprovechamientos. Fuente: [37].	27



Figura 27. Mapa de recursos geotérmicos de media y alta temperatura y posibles sistemas geotérmicos estimulados. Fuente: [37] 27

Figura 28. Mapa eólico medio de Europa a una altura de 50 metros sobre la superficie. Fuente: [39]. 29

Figura 29. Aerogenerador E-60 HAWT de la empresa RYSE ENERGY – ENAIR. Fuente: [40]..... 29

Figura 30. Análisis DAFO-Sistema de paneles fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia. 31

Figura 31. Análisis DAFO-Mejora de la envolvente térmica. Fuente: Elaboración propia. . 32

Figura 32. Análisis DAFO-Medidas relacionadas con la iluminación de los acuartelamientos. Fuente: Elaboración propia..... 33

Figura 33. Análisis DAFO-Aerotermia. Fuente: Elaboración propia..... 33

Figura 34. Análisis DAFO-Central de Biomasa. Fuente: Elaboración propia..... 34

Figura 35. Análisis DAFO-Geotermia. Fuente: Elaboración propia. 35

Figura 36. Análisis DAFO-Energía eólica a pequeña escala. Fuente: Elaboración propia. 35

Figura 37. Análisis DAFO-Sistema de baterías. Fuente: Elaboración propia. 36



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Energía consumida a lo largo de un año por el acuartelamiento 'Los Rodeos'. Fuente: [10].	10
Tabla 2. Balance energético (kWh) de la instalación fotovoltaica. Fuente: [10].....	16
Tabla 3. Ahorro y pérdidas de tipos de ventana respecto a un tipo inicial. Fuente: [23]	20
Tabla 4. Rendimientos medios estacionales de referencia según la tecnología de la bomba de calor. Fuente: [38]	28
Tabla 5. Resumen propuesta para la reducción del consumo energético de los cuarteles. Fuente: Elaboración propia.	37
Tabla 6. Resumen propuesta para la producción de ACS y climatización. Fuente: Elaboración propia.	38
Tabla 7. Resumen propuesta para la generación de energía eléctrica. Fuente: Elaboración propia.....	38



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACS	Agua caliente sanitaria
AEMET	Agencia estatal de meteorología
AOWD 54	Modelo de bomba de calor
BAT 112	Sistema de baterías de litio de alto voltaje BAT 112 (GOODWE)
BBVA	Banco Bilbao Vizcaya Argentaria
BHELMA VI	Batallón de Helicópteros de Maniobra VI
BIEM II	Batallón de Intervención en Emergencias II
BLET	Base logística del Ejército de Tierra
CAC	Caballero alférez cadete
CECOM T5101	Centro de Comunicaciones T5101
CO2	Dióxido de carbono
COBRA	Comandancia de Obras
COVID-19	Enfermedad por coronavirus detectado en 2019
DAFO	Análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades
DHW	Domestic Hot Water (equivalente en inglés a ACS)
DIIN	Dirección de infraestructuras del Ejército de Tierra
D.	Don
Dr.	Doctor
EE. UU.	Estados Unidos de América
EGEC	European Geothermal Energy Council (Consejo Europeo de la Energía Geotérmica)
ET	Ejército de Tierra
ETID	Estrategia de tecnología e innovación para la defensa
EU	European Union (Unión Europea)
FV	Fotovoltaico
HU.18	Designación militar del helicóptero AB-212
HU.21	Designación militar del helicóptero Super Puma
IDAE	Instituto para la diversificación y ahorro de la energía
IGE	Inspección General del Ejército
LED	Light Emitting Diode (tecnología de iluminación tipo LED)
PNAEE	Plan Nacional de acción de eficiencia energética
PMEE	Proyecto de medidas de eficiencia energética "Actuaciones varias de mejora de la eficiencia energética en el acuartelamiento 'Los Rodeos'".
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System (herramienta de la UE para estimar irradiancia y producción fotovoltaica)
RACA 93	Regimiento de Artillería de Campaña nº 93
SCOPdhw	Seasonal Coefficient of Performance for Domestic Hot Water (coeficiente de rendimiento estacional para producción de ACS)
UE	Unión Europea
UIEN 'Rodeos'	Unidad de Intervención en Emergencias 'Rodeos' (destacamento de la UME)
UME	Unidad Militar de Emergencias



UNE-EN	Norma Española que adopta una norma europea
USAC 'Los Rodeos'	Unidad de Servicios del Acuartelamiento 'Los Rodeos'
WITD HP 800/1000L	Modelo de acumuladores de ACS Daitsu Aquatank WITD HP 800/1000L.



DECLARACIÓN DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

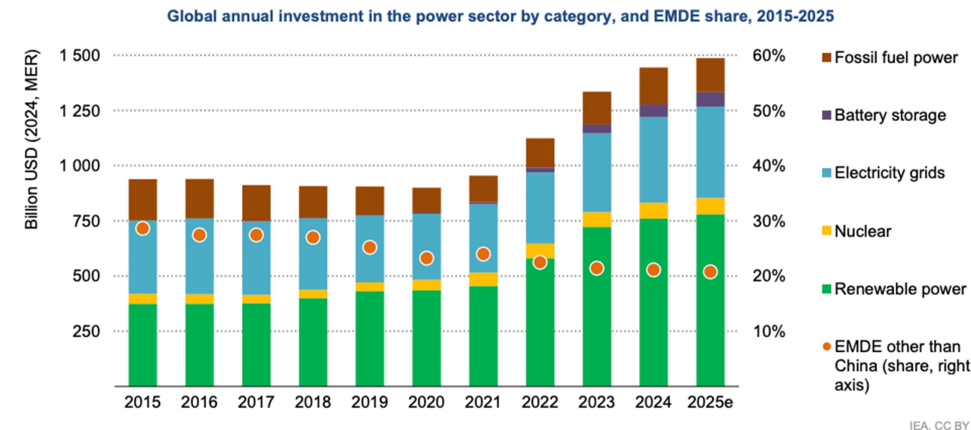
Se utilizó una inteligencia artificial para analizar leyes y normativas sacando sus puntos más importantes, generar ideas acerca de diferentes metodologías, resolución de dudas acerca de cálculos en proyectos, transcripción de datos numéricos y textos en fotografías a documentos, generación de plantillas de tablas y análisis, búsqueda de fuentes acerca de nuevas tecnologías y datos de rendimiento de tecnologías actuales, obtención de bibliografía de textos con dificultad para encontrar su autor o fuente y por último traducción de textos técnicos y documentos en inglés. El modelo empleado fue ChatGPT-4.0 desarrollado por OpenAI. Para garantizar la seguridad de la información, los datos sensibles fueron anonimizados antes de ser ingresados en el sistema.



1. INTRODUCCIÓN

La energía es uno de los factores más importantes de la actualidad y por la que la mayoría de países compiten, tanto por las materias primas que la producen, como por el desarrollo de nuevas tecnologías que maximicen su generación. Como se puede ver en la Figura 1 el mundo está aumentando la inversión en la energía renovable, ya que este tipo de energía hace a cualquier país más independiente energéticamente y que esté menos subordinado al mercado internacional de combustibles fósiles; además, en esta primera figura podemos observar cómo se está aumentando la inversión en esas nuevas tecnologías comentadas antes, al ver el caso de la inversión en baterías y como se está aumentando en los últimos años. Pero la energía es aún más importante para las Fuerzas Armadas (FAS) de un país, dado que sin esta es imposible el funcionamiento de unos ejércitos que cada vez están más avanzados tecnológicamente, lo que hace imprescindible esta energía, y que además ante una crisis energética produciría una gran pérdida de operatividad de las fuerzas, produciendo una situación de vulnerabilidad en la defensa del país. A todo esto se suma el aumento del precio de las materias primas, lo que hace que se encarezca el importe de esta energía, y que junto al elevado coste de las nuevas tecnologías, haga que mantener un Ejército de Tierra (ET) moderno y operativo cada día suponga un mayor esfuerzo económico del país. Todo esto hace que España se vea obligada a invertir en desarrollo de nuevas tecnologías que abaraten el coste de producción de esta energía, así como para maximizar su aprovechamiento, por eso mismo desde hace unos años se están destinando recursos a la sostenibilidad y transición energética dentro del ET, y sobre todo en las instalaciones militares como bases y acuartelamientos, lo que favorecerá la consecución de lo mencionado.

Total power investment grew 8% to USD 1.5 trillion in 2024



Investment in low-emissions power, grids and storage now represents nearly 90% of total power investment. However, the share of global investment going to EMDE continues to decline.

Notes: EMDE = emerging market and developing economies; MER = market exchange rates; 2025e = estimated values for 2025. Investment throughout is measured as ongoing capital spending on new and existing power capacity. Fossil fuel power includes unabated and abated power. Low-emissions generation = renewables, nuclear, and fossil fuels or non-renewables waste equipped with CCUS. Pumped hydro storage is included under renewables, not battery storage.

Figura 1. Las inversiones en energía basada en combustibles fósiles representaron menos de una séptima parte de las inversiones totales en energía en 2024. Fuente: [1].

Además de lo tratado anteriormente, es indispensable a día de hoy garantizar la independencia energética de nuestras bases militares, y esto se debe a eventos como apagones y más aún después del apagón general de España en abril del 2025, en el cual en algunas zonas de España tardó en volver la luz casi un día, lo que representa una gran vulnerabilidad en la seguridad de nuestros cuarteles, puesto que sistemas de vigilancia y seguridad no podían funcionar, dejando armerías y perímetros sin cubrir. También es cierto que muchas bases disponen de grupos electrógenos o pequeñas centrales eléctricas para estos casos, pero no garantizan una producción propia de electricidad durante un largo periodo de



tiempo y muchos acuartelamientos carecen de estas, es por esto que debemos ser capaces de hacer más independiente de la red eléctrica general el suministro eléctrico en instalaciones militares, y la transición energética es una gran oportunidad.

Asimismo las edificaciones de la Unión Europea (UE) consumen el 40% del consumo de energía total en la UE, y el 75% son ineficientes desde el punto de vista energético, incluidas las militares [2]. Es por esto que la sostenibilidad y la mejora de esta, en nuestros cuarteles, cobra verdadera importancia.

Las áreas de aplicación que son susceptibles de mejoras en las bases y acuartelamientos son esos sistemas de generación de energía como hemos tratado antes sobre todo en materia de eficiencia y sostenibilidad, y otros aspectos como climatización, agua, alumbrado, aislamiento, etc. Además podría ser también muy útil la implantación de sistemas de gestión energética para monitorizar y optimizar el consumo. Como acuartelamiento modelo se usará 'Los Rodeos' situado en San Cristóbal de la Laguna (Tenerife), al ser esta la Unidad en la que el autor de este trabajo realizó las prácticas externas curriculares.

En este trabajo se seguirá la siguiente estructura. El punto 2 'Objetivos y metodología' se subdividirá en 'Objetivos y alcance', dónde se hablará del objetivo principal de este trabajo y los pasos previos a tomar para llevar a este objetivo, y 'Metodología', que tratará acerca de los métodos usados para la realización de esta memoria. Posteriormente el punto 3 'Antecedentes y marco teórico', en el que primero se hablará de conceptos clave y tecnologías acerca del origen de esta temática, posteriormente se irá revisando toda la normativa que da lugar a todas las medidas que se están tomando en el Ministerio de Defensa, así como quién se encarga de ejecutarlas, además una descripción del caso de estudio del acuartelamiento 'Los Rodeos', pasando seguidamente a analizar el estado previo a las obras de mejora de la eficiencia energética en el acuartelamiento 'Los Rodeos', dónde se verán los sistemas e infraestructuras existentes y las medidas de eficiencia energética y sostenibilidad que se han estado aplicando anteriormente, además se tratará el proyecto que se está aplicando en el acuartelamiento y finalmente el consumo energético actual del citado cuartel. Después estará el punto 4 'Desarrollo: análisis y resultados', en el cual se seguirá la siguiente estructura, primero la medidas adoptadas en el acuartelamiento 'Los Rodeos', en el siguiente punto análisis de medidas aplicadas en otros cuarteles, en el cuál se verán medidas que no se están aplicando o implementando actualmente en 'Los Rodeos', después análisis de tendencias tecnológicas, explorando alternativas aún en desarrollo o que estén empezando a implementarse, posteriormente comparación de medidas, y como conclusión de este apartado 4 la propuesta de línea de acción. Y finalmente el punto 5 'Conclusiones' en el que se analizará si se ha cumplido o no el objetivos principal, como se han realizado esos pasos previos. Y se extraerán las conclusiones de estos pasos previos y objetivo final.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1. OBJETIVOS Y ALCANCE

Este trabajo de fin de grado tiene como objetivo principal realizar una propuesta de línea de acción general para los acuartelamientos del ET, en la cual se establezcan cuáles son las medidas a tomar que favorezcan la sostenibilidad y eficiencia energética, y en un horizonte a medio y largo plazo. Para lograr este fin se realizarán una serie de pasos previos que serán los siguientes:

- Revisar la normativa por la cual la administración pública está inmersa en un proceso de transición hacia la sostenibilidad y eficiencia energética en los edificios públicos y más concretamente en las instalaciones militares. Para ello se revisará desde normativa europea hasta órdenes e instrucciones del Ministerio Defensa, pasando por leyes y Reales Decretos.



- Analizar las medidas que están siendo tomadas en el cuartel de 'Los Rodeos' así como la situación previa del mismo. Para ello se realizarán entrevistas al personal de infraestructuras de la Unidad de servicios del acuartelamiento, así como al capitán del Cuerpo de Ingenieros Politécnicos D. Aniceto Arévalo Ruiz, destinado en la Comandancia de Obras de Santa Cruz de Tenerife y responsable de las obras de sostenibilidad y eficiencia energética en el acuartelamiento 'Los Rodeos'.
- Recopilar y analizar medidas diferentes a las tomadas en el acuartelamiento 'Los Rodeos', que estén siendo o hayan sido aplicadas en otros cuarteles del ET. Para ello se revisará documentación obtenida a través del Servicio de Documentación del Ejército de Tierra.
- Investigar nuevas tecnologías y tendencias relacionadas con la sostenibilidad y eficiencia energética, para conocer la viabilidad de su implantación en nuestros acuartelamientos. Para ello también se usará información suministrada por el Servicio de Documentación, por el Capitán Arévalo acerca del acuartelamiento 'Puerto del Rosario' en Fuerteventura y por artículos de distintas fuentes. Además, se efectuará una entrevista con una empresa privada para conocer más sobre este tipo de innovaciones.
- Comparar las medidas que están siendo aplicadas en los acuartelamientos del ET o se haya concluido que son viables para implementarse en dichos acuartelamientos, además de identificar mejoras que puedan aplicarse en las citadas medidas.

Una vez realizados todos estos pasos se dispondrá de la información suficiente para hacer la propuesta de línea de acción general en el Ejército.

2.2. METODOLOGÍA

Para poder realizar este trabajo se van a emplear diferentes métodos, los cuales sobre todo serán de tipo cualitativo. Además la forma de tratar la información recopilada será realizar un análisis de la misma, y posteriormente una comparación con los resultados obtenidos de cada medida analizada.

2.2.1. Revisión bibliográfica

- Revisión bibliográfica de tecnologías actuales que se están instalando en los acuartelamientos y de futuras tendencias que puedan aplicarse, así como de medidas de sostenibilidad. Para ello en el caso de 'Los Rodeos' la información ha sido facilitada por la USAC y especialmente por el Capitán Arévalo del COBRA 5, y el resto de información proviene sobre todo del anteriormente citado Servicio de documentación del Ejército de Tierra, además en menor medida de búsquedas en bases de datos tal como *Web of Science* o el buscador del catálogo de la Universidad de Zaragoza Alcorze.

2.2.2. Consulta de Normativa

- Consulta de la normativa vigente tal como: la Directiva Europea 2012/27/UE de 25 de octubre [3], la Ley 7/2021, de Cambio Climático y Transición Energética [4], el Real Decreto 390/2021, de 1 de junio, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios [5], la Orden PCM/466/2022, de 25 de mayo, por la que se publica el acuerdo del Consejo de Ministros de 24 de mayo de 2022, por el que se aprueba el plan de medidas de ahorro y eficiencia energética de la Administración General del Estado y las entidades del sector público institucional estatal [6], la Instrucción 56/2011 de 3 de Agosto del Subsecretario de Defensa sobre la sostenibilidad Ambiental y eficiencia energética en el ámbito del Ministerio de Defensa [7], la política de gestión energética del Ministerio de Defensa [8], y por último



la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID) 2020 de la Secretaría de Estado de Defensa [9].

2.2.3. Entrevistas

- Entrevista al capitán del Cuerpo de Ingenieros Politécnicos D. Aniceto Arévalo Ruiz, y al teniente del mismo Cuerpo D. Vicente Zornoza Auñón, destinados en el COBRA 5 de Santa Cruz de Tenerife, y siendo el Capitán Arévalo responsable y director de las obras del proyecto “Actuaciones varias de mejora de la eficiencia energética en el acuartelamiento ‘Los Rodeos’” (o PMEE por brevedad) [10], el cual hizo el favor de enseñar y hablar personalmente de las obras in situ junto al Teniente Zornoza. Asimismo durante dicha visita la entrevista realizada fue de tipo no estructurada en la que se trataron temas de las obras visitadas, hablando de quien había motivado esta obra, qué medidas se estaban tomando y como se habían integrado estas nuevas tecnologías en el sistema eléctrico del acuartelamiento. Como también de otras tecnologías relacionadas con la eficiencia energética que se estuviesen empleando en otros acuartelamientos del Ejército, así como de posibles futuras tendencias que el ET pueda implementar en un futuro. Además se realizaron preguntas al personal de la USAC encargado de infraestructuras, en las que se facilitó el contacto con el COBRA 5 y se habló de los grupos electrógenos de emergencia del acuartelamiento los Rodeos.
- Entrevista a la empresa privada Grupo ElectroStocks para la obtención de información relativa a las nuevas tecnologías que aún están siendo estudiadas o comienzan a usarse en los últimos tiempos como son las nuevas baterías, para así poder estudiar la viabilidad de su implantación. Esta empresa fue junto con la que se planteó instalar baterías en el acuartelamiento ‘Los Rodeos’.

2.2.4. Estudio de casos

- Para el estudio de cada medida enfocada en la sostenibilidad y eficiencia energética que se trate en este trabajo, se realizará un análisis una a una, y después uno de tipo DAFO por cada una estas, reflejando sus debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades, para así facilitar la comparación entre ellas posteriormente. Se ha elegido este método de análisis debido a que no se puede realizar una comparación directa entre la diferentes medidas ya que pueden aplicarse varias a la vez y para cada cuartel habrá unos criterios diferentes para elegir qué medidas se adaptan mejor debido a las particularidades geográficas y climáticas de cada zona, por eso este método de análisis facilita ver sus puntos fuertes y débiles desde una perspectiva más conjunta.

3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

A día de hoy el ET está inmerso en una transformación hacia la sostenibilidad y eficiencia energética, realizando obras y modernizaciones en la mayoría de sus instalaciones, pero ¿qué es lo que ha iniciado todo este proceso? Y ¿cuáles son las indicaciones a seguir respecto a este tema? Para responder a estas y otras cuestiones, se va a exponer el marco teórico que sustenta todo este proceso. Además en este tercer apartado se tratará el estado previo a la ejecución de las obras enfocadas en la mejora de la eficiencia energética en el acuartelamiento ‘Los Rodeos’.

3.1. Conceptos clave y tecnologías.

Como conceptos clave tenemos la **eficiencia energética** que es la optimización del uso de la energía al realizar cualquier tarea, por tanto, se centra en la búsqueda de métodos y tecnologías que permitan obtener el mismo resultado utilizando menos recursos. Todo ello, implica la eficiencia en cuanto a la producción y distribución de la energía, así como el consumo en transporte, industria y uso doméstico, [11]. Un ejemplo de ello podría ser sustituir



iluminación convencional por iluminación de tipo LED, el cual tiene un mayor ahorro energético. Y la **sostenibilidad** es un enfoque integral para el uso y gestión responsable de los recursos energéticos con el objetivo de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, [12]. Para ello se pueden realizar diferentes acciones como el uso de energías renovables, una gestión eficiente del agua, la gestión de residuos o la construcción sostenible entre otras. Y además también es importante el concepto de **transición energética** que se define como el conjunto de cambios en los modelos de producción, distribución y consumo de energía para alcanzar una mayor sostenibilidad. El objetivo de este proceso es transformar el sistema energético actual cimentado en los combustibles fósiles en un modelo eléctrico basado en energías renovables y otras formas de reducción de emisiones, [13]. Como ejemplo claro tenemos el PMEE en el acuartelamiento ‘Los Rodeos’ que se describe después.

En cuanto a las tecnologías, en este apartado se van a tratar aquellas que posteriormente se vean en el cuarto apartado y que sean menos conocidas, a modo de explicación introductoria. En primer lugar tenemos la **aerothermia**: los sistemas que la usan están diseñados para aportar calefacción en invierno, refrigeración en verano y agua caliente todo el año extrayendo la energía ambiental contenida en el aire mediante un ciclo termodinámico con bombas de calor (véase la Figura 2). El potencial de las bombas de calor eléctricas es muy alto ya que son mucho más eficientes que las calderas convencionales, hasta el punto de ser considerada una energía renovable desde el punto de vista regulatorio, [14].

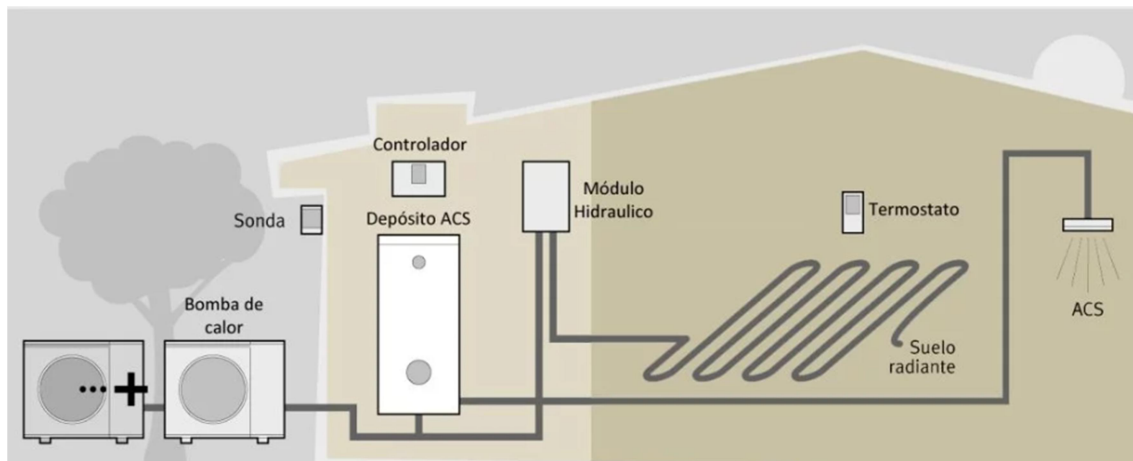


Figura 2. Ejemplo de uso de aerothermia. Fuente: [15].

En segundo lugar la **geothermia**, la energía geotérmica permite utilizar el calor del interior de la tierra para obtener electricidad, agua caliente y calefacción, ofreciendo una alternativa a los combustibles fósiles. El Consejo Europeo de la Energía Geotérmica (EGEC) la define como “la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie de la tierra”. Esta definición hace referencia al calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas, cualquiera que sea su temperatura, profundidad o procedencia. Se considera una energía renovable y limpia. El calor que proporciona es ilimitado y la temperatura del subsuelo es muy estable, lo que permite obtener rendimientos energéticos elevados, [15’].

3.2. Punto de partida: Normativa europea

Desde finales del siglo pasado e inicios de este, se empieza a impulsar la transición energética [16]. Desde el punto de vista europeo se usará la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo [3] como punto de partida. Como puntos más importantes de esta normativa tenemos el objetivo de ahorro de energía del 20% ya en el 2020, que obliga a que la Administración pública dé ejemplo renovando anualmente el 3% de la superficie útil de sus edificios para cumplir estándares de eficiencia, el impulso a la alta eficiencia energética sobre todo en redes de calefacción y refrigeración, y la contratación pública verde, y además



requiere a los Estados miembros elaborar Planes Nacionales de Acción de Eficiencia Energética (PNAEE) y elevar sus resultados anualmente. En resumen esta normativa es la base legal que obliga a las Administraciones públicas europeas a reducir el consumo energético, renovar edificaciones y aplicar criterios de eficiencia en compras y obras, incluyendo también las instalaciones militares.

3.3. Normativa y compromisos nacionales

En España tenemos diferente normativa relacionada con este tema, tal como la Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética [4] que fomenta el uso de energías renovables en climatización y como fuente de energía e impulsa la eficiencia energética en los edificios de la Administración pública, para así liderar con el ejemplo. Además también cabe destacar el Real Decreto 390/2021 [5], el cual establece la obligación de certificar la eficiencia energética de todos los edificios, incluidos los de uso militar, siempre que las condiciones de seguridad lo permitan, y de exhibir su calificación. Y por último la Orden PCM/466/2022, de 25 de mayo, por la que se publica el acuerdo del Consejo de Ministros de 24 de mayo de 2022, por el que se aprueba el plan de medidas de ahorro y eficiencia energética de la Administración General del Estado y las entidades del sector público institucional estatal [6], en la que se habla de ajustar las temperaturas de climatización en los edificios públicos para favorecer la eficiencia, la reducción de la iluminación en espacios no ocupados, y el fomento del consumo fotovoltaico en edificios de la Administración. Esta además es una de las medidas más importantes y sirve de incentivo a obras de aislamiento térmico y sustitución de equipos ineficientes, todo ello para fomentar el autoconsumo y reducir la dependencia energética en contextos de crisis. Resumidamente España traduce las obligaciones europeas a normativa nacional concreta, estableciendo criterios de temperatura, iluminación, aislamiento, certificación y autoconsumo que también afectan directamente a las instalaciones militares.

3.4. Política energética del Ministerio de Defensa

Ahora concretando más en el Ministerio de Defensa y sus políticas tenemos la Instrucción 56/2011 de 3 de agosto del Subsecretario de Defensa sobre la sostenibilidad Ambiental y eficiencia energética en el ámbito del Ministerio de Defensa [7] y su modificación 59/2014, en la que se marca el objetivo de reducir el 20% el consumo energético en cualquier instalación dependiente de Defensa. Además establece fomentar el uso de las energías renovables en las instalaciones, y asimismo aplicar tecnologías que reduzcan el consumo para llegar a ese objetivo del 20%, y por último la implantación de sistemas de gestión energética en los acuartelamientos. También está la política de gestión energética de la Subsecretaría de Defensa del año 2025 [8], en la que cabe destacar el compromiso de mejora continua del desempeño energético y el fomento del empleo en la medida de lo posible de las tecnologías renovables de producción de energía. Y finalmente la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa ETID 2020 de la Secretaría de Estado de Defensa [9]. En esta principalmente se habla del desarrollo de sistemas de generación eléctrica en instalaciones militares, priorizando el uso de energías renovables, y combinándolo con investigación en sistemas de almacenamiento de energía que permitan reducir la dependencia de combustible y mejorar la continuidad del suministro, así como la integración de sistemas más eficientes y compatibles con renovables (por ejemplo, geotermia, aerotermia). También se habla de investigación en sistemas de gestión y control de redes energéticas en instalaciones militares, junto con tecnologías para reducir el consumo energético en climatización (calefacción, refrigeración, ACS). Y enfocado en la construcción de nuevas edificaciones el estudio para hacerlos sostenibles e inteligentes, con materiales y diseños que optimicen el rendimiento energético. En conclusión el Ministerio de defensa enfoca su política energética en impulsar el uso de renovables y sistemas de gestión energética, reducir el consumo en cualquiera de sus instalaciones y garantizar un suministro energético sostenible y seguro es sus bases.

3.5. Órganos encargados de su ejecución



Los puntos anteriores son toda la normativa que marca la forma de actuar del ET respecto a la eficiencia y sostenibilidad en sus instalaciones, y los responsables de ejecutar las obras en las instalaciones es la Dirección de infraestructuras (DIIN), cuya misión es ser la encargada de realizar las actividades necesarias para mantener unas infraestructuras modernas y acordes con los tiempos, que permitan la mayor operatividad a las Unidades militares, Centros y Organismos alojados en sus Bases [17]. La DIIN se encuentra encuadrada en la Inspección General del Ejército (IGE), la cual tiene como cometido la dirección, gestión, administración, coordinación y control de las instalaciones del ET en toda la geografía Nacional [18]. Pero para llevar a cabo las obras de mejora de sostenibilidad y eficiencia la DIIN dispone de una serie de unidades por toda España que son las responsables de su ejecución, que son las Comandancias de Obras (COBRA), como podemos observar en la Figura 3. En total son 5, distribuidas según el mapa de la Figura 4, de los cuales además dependen destacamentos para poder dar un mejor servicio a sus áreas de responsabilidad, y en el caso de las obras de modernización en el acuartelamiento ‘Los Rodeos’ los encargados de estas son el COBRA 5 de Santa Cruz de Tenerife.

Además desde el 2021 el Ministerio de Defensa está invirtiendo 250 millones en 165 proyectos de eficiencia energética para instalaciones militares y la flota de vehículos eléctricos de las bases [19].



Figura 3. Organigrama de la Dirección de infraestructura del Ejército de Tierra y encuadramiento de las Comandancias de obras. Fuente: [20].

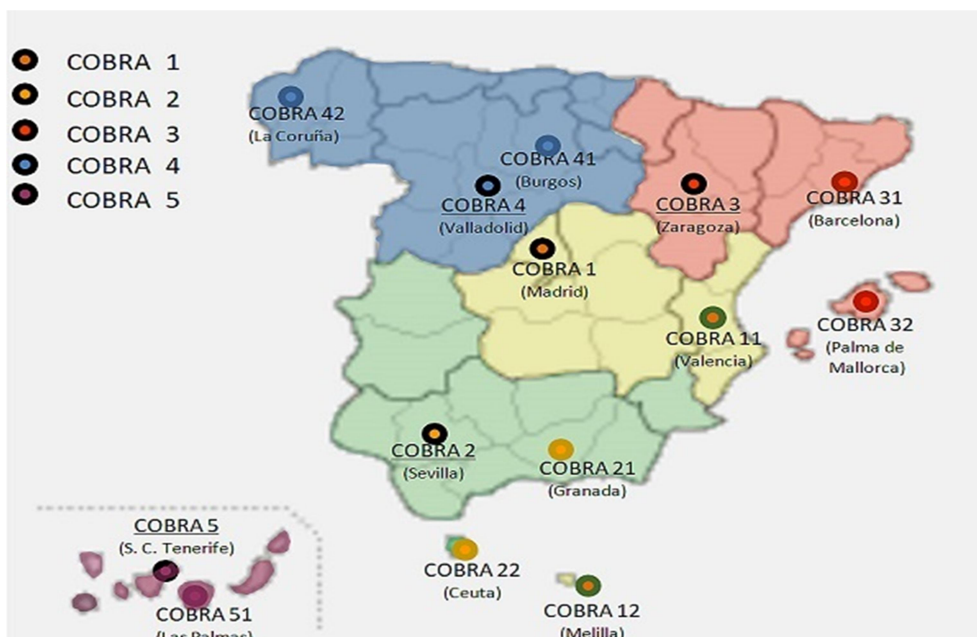




Figura 4. Distribución y área de responsabilidad de las COBRA. Fuente: [21].

3.6. Ámbito de estudio y aplicación

Como ya hemos mencionado anteriormente se usará como modelo el acuartelamiento 'Los Rodeos' para estudiar y analizar las medidas que se están tomando relacionadas con la sostenibilidad y la eficiencia energética, aparte de estudiar otras medidas no tomadas en este cuartel pero que también se estén aplicando en otros cuarteles. El cuartel de 'Los Rodeos' se encuentra situado en San Cristóbal de la Laguna (Tenerife) junto al aeropuerto de Tenerife Norte, anteriormente conocido también como 'Los Rodeos', y a 15 minutos en coche de la capital insular y provincial Santa Cruz de Tenerife. Entre las unidades establecidas en este cuartel se encuentran: i) la USAC 'Los Rodeos', cuyo cometido principal es el de proporcionar los servicios propios del acuartelamiento, así como el de llevar a cabo la gestión y el mantenimiento de los locales, infraestructuras y medios disponibles de uso común de todas las unidades del cuartel; ii) el CECOM T5101 encargado de las comunicaciones del cuartel; iii) el RACA 93, unidad principal del acuartelamiento y que es un regimiento de artillería encuadrado dentro de la Brigada 'Canarias' XVI, que se encarga de proporcionar apoyo de fuegos y defensa antiaérea a dicha brigada, y en el que a su vez se encuentra encuadrado un grupo de artillería de campaña y la plana mayor de mando del regimiento; iv) un destacamento del BIEM II de la UME denominado UIEN 'Rodeos'; y v) el BHELMA VI que actualmente opera los modelos de helicóptero Super Puma (HU.21) y el AB-212 (HU.18).

El acuartelamiento está dividido según se puede ver en la Figura 5, marcado por la línea naranja el recinto total, este se divide en dos por la carretera que pasa justo por el medio, dejando a un lado hacia el norte, el BHEMA VI marcado con la línea granate, y al otro marcado por la línea azul UIEN de la UME y por la amarilla la zona de mando y vida del acuartelamiento en la que se encuentran RACA 93, el CECOM y la USAC.



Figura 5. Distribución acuartelamiento 'Los Rodeos'. Fuente: Elaboración propia.



3.7. Proyecto “Actuaciones varias de mejora de la eficiencia energética en el acuartelamiento ‘Los Rodeos’” y demanda energética del acuartelamiento

Anteriormente al inicio de las actuaciones varias de mejora de la eficiencia energética, no había en el acuartelamiento ‘Los Rodeos’ ninguna medida o instalación específica relacionada con la sostenibilidad y eficiencia energética más allá de pequeñas medidas de concienciación de ahorro de agua y luz con pequeños carteles, los cuales apenas son visibles, al ser una medida tomada hace tiempo y que no se habían encargado de mantener renovando los carteles.

Como instalación energética, el cuartel se abastecía completamente a través de la red general eléctrica, de donde obtenía toda la energía a través de un transformador de red general, que distribuye a su vez a tres centros de transformación con la función de convertir la media tensión que les llega a baja para así distribuirlo a las tomas de luz de sus respectivas zonas, que son la zona de la UME, la zona de mando y vida, donde se encuentran la USAC y el RACA 93 y por último el BHELMA VI. Por cada una de estas zonas se encuentra un centro de transformación anteriormente mencionado. Asimismo junto a cada centro de transformación se encuentran los grupos electrógenos de emergencia, los cuales comienzan a funcionar siempre que cae el suministro general de la red eléctrica, estos además funcionan a base de combustible diesel.

El PMEE tiene como origen la solicitud de mejora del creciente deterioro de una serie de edificaciones en el acuartelamiento ‘Los Rodeos’, y a esto se le unió la existencia de los fondos europeos NextGenerationEU, por lo que se decidió encuadrar este proyecto dentro del plan de transición energética de la Administración General del Estado, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea. Inicialmente en el proyecto original estaba planificado sustituir los edificios deteriorados, cuya vida útil había terminado, por un edificio multiusos con almacén que cumpliera con la misión de las anteriores edificaciones, además de aulas y oficinas, e instalarle paneles fotovoltaicos para la generación de energía para el autoabastecimiento del acuartelamiento y disminuir de esta manera la dependencia y el consumo de otro tipo de fuentes de energía no renovables, dotando al acuartelamiento de unas instalaciones de generación fotovoltaica capaces de generar una potencia pico de alrededor de 180kW, las cuales estarán conectadas a la red general de abastecimiento del Acuartelamiento, sin verter a la Red exterior. Y una segunda actuación en un edificio de tipo hangar en la zona del BHELMA VI, cuyo objetivo era mejorar la envolvente térmica del edificio, mejorar la iluminación para disminuir el consumo e instalarle también paneles fotovoltaicos. Pero en una versión posterior modificada esto se cambia por la renovación de los tinglados del RACA 93 e instalación de paneles fotovoltaicos y también una mejora de la envolvente térmica del edificio de alojamientos de tropa del acuartelamiento. Este cambio se preguntó en la entrevista y visita al Capitán Arévalo, y este explicó que era debido a que se pensó que los paneles fotovoltaicos que estaba previsto instalar en el hangar podrían perjudicar la visibilidad a los helicópteros por reflejar los rayos solares, por lo que se optó finalmente por trasladar las actuaciones en este hangar al núcleo de vida y mando del acuartelamiento. La inversión total de este proyecto es de 2.260.786,95 €, y tiene un plazo de ejecución de 18 + 3 meses y a septiembre de 2025 se encuentra en su fase final. En las medidas que se traten en el punto 4 relacionadas con este PMEE se expondrán los datos más relevantes que vienen en su memoria, pero al venir sin una explicación detallada se procederán a explicar para facilitar su interpretación y comprensión de lo que suponen para el cuartel respecto a la eficiencia energética y sostenibilidad, para finalizar cada medida con una conclusión. Esta forma de actuar se realizará también con otras medidas aplicadas en otros cuarteles de las que se ha obtenido su información de otros proyectos oficiales.

Para finalizar este apartado y debido a que el acuartelamiento ‘Los Rodeos’ será el cuartel usado como modelo, se va a visualizar la demanda energética de dicho acuartelamiento, para ello se usaran los datos incluidos en el PMEE en el acuartelamiento ‘Los



Rodeos” [10], facilitado por el Capitán Arévalo durante la entrevista y visita a las obras en ejecución en ‘Los Rodeos’ del proyecto mencionado anteriormente, y el cual se puede ver la foto del su cartel anunciado en la Figura I.1 del Anexo I, y esos datos se explicarán para facilitar su comprensión.

A continuación, se va a visualizar la demanda energética del acuartelamiento ‘Los Rodeos’ a partir de los datos incluidos en el PMEE. A partir de los datos aportados por la propia USAC correspondientes al año 2020, se realiza en el documento del PMEE un análisis de la demanda energética en la totalidad del cuartel. Para ello se partió de una estimación de consumo en base a la infraestructura y equipamiento existente, estableciendo una curva de consumo en la cual se representa por cada hora qué porcentaje de energía se consume de la energía total usada en un día. Lo podemos observar en la Figura 6, como se ha mencionado antes para realizarla se han utilizado los datos de consumo diario durante todo el año 2020 obteniendo una media de consumo por horas que se plasma en este gráfico.

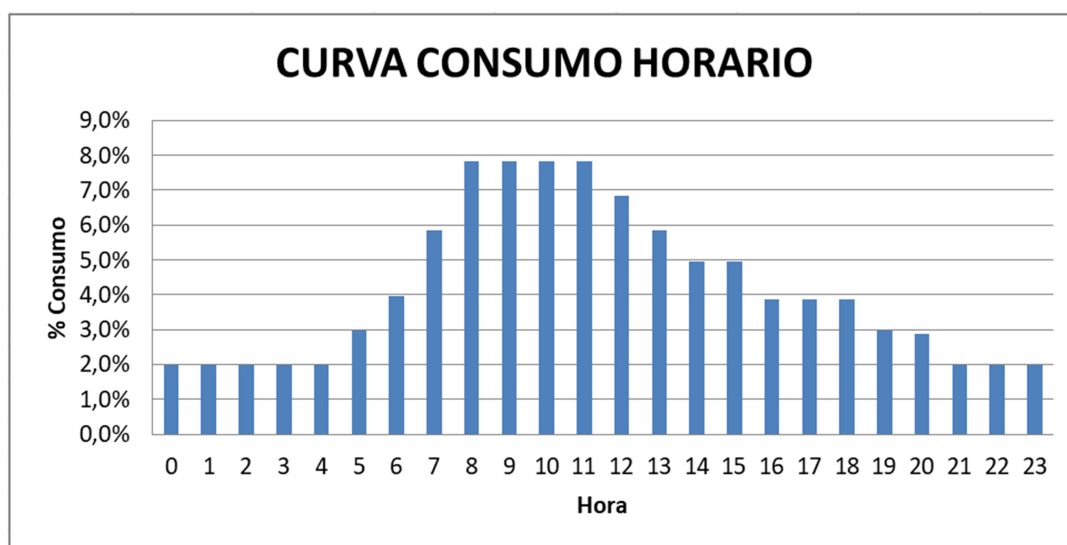


Figura 6. Curva consumo horario acuartelamiento ‘Los Rodeos’. Fuente: [10].

Como conclusiones se puede identificar como la mayor parte del consumo energético se produce en el horario laboral, desde las 7 a.m. y hasta las 4 p.m., en el cual el acuartelamiento recibe la mayor cantidad de personal y se produce la mayor actividad de un día, durante estas horas se consume el 61% de la energía que se usa en el cuartel durante todo un día. Este dato además es extrapolable a casi cualquier acuartelamiento del ET, ya que el horario de jornada laboral es prácticamente el mismo en todos los cuarteles.

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
kWh/mes	57.441,09	63.442,10	70.022,44	58.960,75	68.562,57	60.248,43
Días	31	29	31	30	31	30
kWh/día	1.852,94	2.187,66	2.258,79	1.965,36	2.211,70	2.008,28

	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
kWh/mes	59.462,67	57.837,55	54.181,31	53.574,33	58.485,01	59.474,51
Días	31	31	30	31	30	31
kWh/día	1.918,15	1.865,73	1.806,04	1.728,20	1.949,50	1.918,53

Tabla 1. Energía consumida a lo largo de un año por el acuartelamiento ‘Los Rodeos’. Fuente: [10].

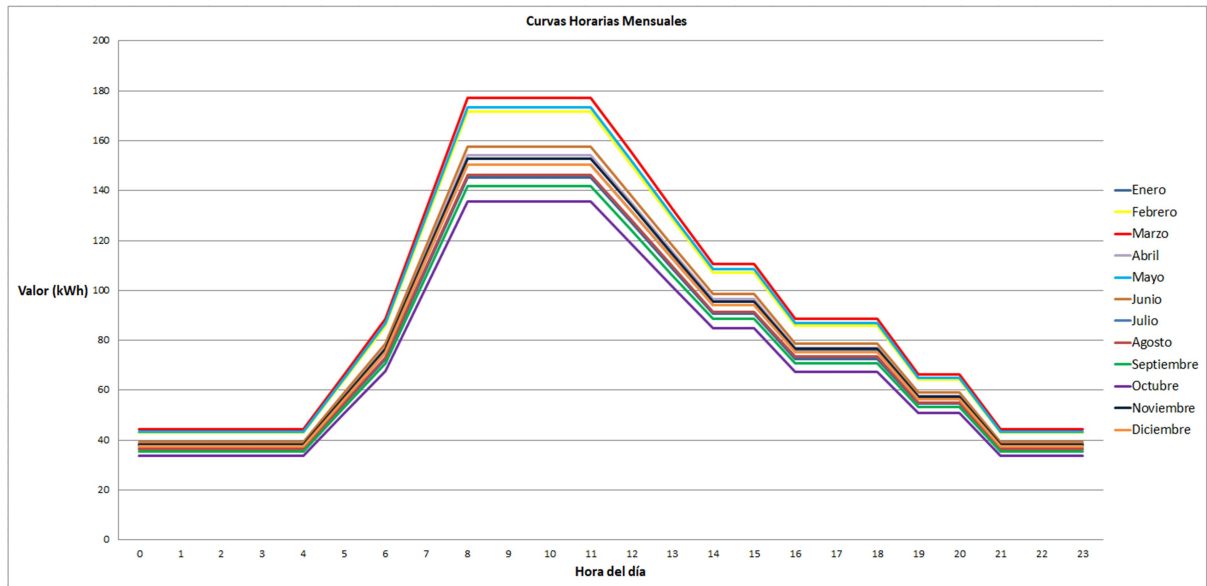


Figura 7 . Demanda horaria tipo (kWh) en el Acuartelamiento 'Los Rodeos'. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del informe del PMEE.

Además podemos observar en la Tabla 1 la energía consumida por mes en 'Los Rodeos', y se puede concluir que los meses con más consumo son entre febrero y junio, y que marzo es el mes con más consumo energético del año con 70.022,44 kWh/mes. Y con un consumo anual aproximadamente de 750.000 kWh. Posteriormente en la Figura 7 se puede comprobar como en las horas pico, en estos meses comentados anteriormente, el consumo es mayor, siendo entre las 8 y 11 a.m. de marzo cuando más energía se consume en todo el año. Y viendo más gráficamente como los meses que más se consume son febrero, marzo, y mayo y octubre el que menos. Siendo marzo un mes en el que hace efecto la inercia térmica acumulada de todo el invierno lo que provoca mayores niveles de consumo que al inicio del invierno, aunque sea en febrero las temperaturas más bajas, además este efecto se mantiene hasta mayo que comienza el buen tiempo y empiezan a subir significativamente las temperaturas, pero este año 2020 por el comienzo del confinamiento debido al COVID-19 abril es un mes en el que bajó el consumo.

En conclusión el cuartel tiene la mayor parte de su demanda energética en el horario laboral habitual, y durante el año los meses de más demanda son entre febrero y junio. Y es por todo esto que la COBRA encargada del PMEE en el acuartelamiento 'Los Rodeos' ha tomado la decisión de instalar placas solares que cubran parte de esta demanda energética, siendo ideales ya que las horas de producción de estas placas son las horas con luz solar, y dentro de estas horas se encuentran aquellas con mayor demanda energética. A continuación en el siguiente apartado analizaremos esta y otras medidas.

4. DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este apartado, se analizan las medidas que se están aplicando en el acuartelamiento 'Los Rodeos' recogidas en el PMEE, algunas medidas que también se están aplicando en otros acuartelamientos, y otras tecnologías innovadoras que el ET aún no está aplicando. Posteriormente se realizará una comparación y se finalizara este apartado 4 con la línea de acción final.

4.1. Medidas del PMEE aplicadas en el acuartelamientos 'Los Rodeos'

4.1.1. Paneles fotovoltaicos



Siguiendo lo proyectado se han instalado un total de 420 paneles fotovoltaicos con unas dimensiones de 1118.00 x 1730.00 x 30.00 mm (Anchura x Altura x Espesor), todos ellos se han instalado en la zona de mando y vida, pero en dos edificios diferentes como se puede ver en la Figura 8. El primero es un tinglado, remarcado en rojo en la figura, en el cual el RACA 93 aparca sus vehículos debajo. Además, se ha aprovechado para modernizarlo debido a su antigüedad y que ya presentaba varias incidencias. En total en este tinglado se han instalado 280 paneles fotovoltaicos del tipo mostrado en la Figura 9, además de dos inversores encargados de transformar la corriente continua generada por las placas a corriente alterna de baja tensión que será enviada al centro de transformación. Estos inversores se pueden visualizar en la Figura 10 y son los cuadros de color rojo aun envueltos por estar instalándose y señalados con una flecha también roja. El segundo conjunto de paneles se instaló en un edificio de nueva construcción (véase Figura 11), remarcada la zona en la que se ha construido en azul en la Figura 8, destinado a almacén para la USAC y el RACA 93, en cuyo techo se han instalado los paneles, y que también dispondrá de dos aulas y despachos. En este se han instalado 140 paneles fotovoltaicos y un inversor que actuarán de la misma forma que la instalación del tinglado. El Anexo III: "Imágenes estructuras paneles fotovoltaicos" proporciona más imágenes de estas estructuras.



Figura 8 . Zonas de instalación de paneles fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia.



Figura 9. Paneles fotovoltaicos instalados en el tinglado. Fuente: Elaboración propia.



Figura 10. Instalación eléctrica con los inversores del tinglado. Fuente: Elaboración propia.



Figura 11. Nuevo edificio en el que se han instalado paneles fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia.



En el PMEE se realiza un estudio de la producción energética de los paneles fotovoltaicos en el lugar que han sido situados. Para ello han empleado la aplicación PVGIS, la cual ha sido desarrollada por la Unión Europea, y que les ha permitido calcular la irradiación solar en la localización de los paneles. Para obtener esos datos de irradiancia (W/m^2) han debido incluir la orientación de los paneles y su inclinación, obteniendo datos que se pueden observar en el Anexo II y que son los que vienen en la memoria del PMEE y con los cuales posteriormente se han realizado las Figuras 12 y 13, en la cuáles se puede ver como no dan valores exactamente iguales pero muy parecidos, debido a la diferente inclinación según el techado en el que han sido instalados.

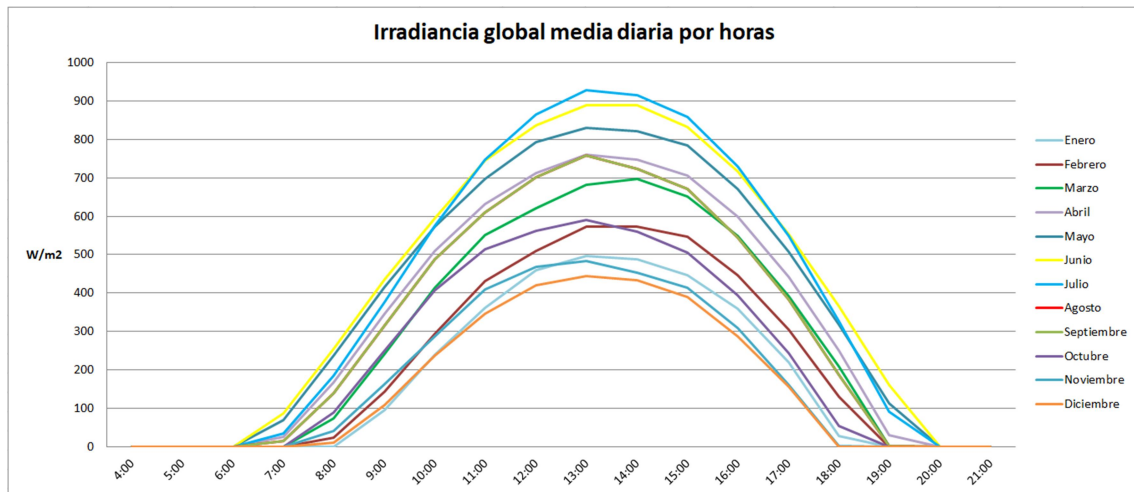


Figura 12. Irradiancia global media diaria por horas W/m^2 en los paneles del tinglado. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del informe del PMEE.

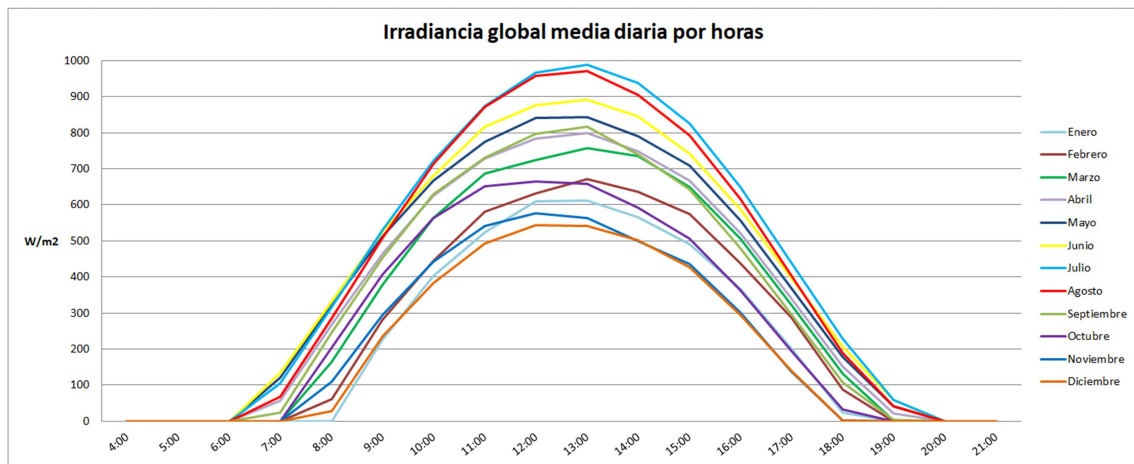


Figura 13. Irradiancia global media diaria por horas W/m^2 en los paneles del edificio de oficinas y almacén. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del informe del PMEE.

Una vez visto estos datos del PMEE y realizado estas gráficas se concluye que, sabemos que el 61% de la energía consumida en el cuartel se consume entre las 7 a.m. y las 4 p.m., siendo las horas pico de demanda energética entre las 8 y las 11 a.m.. Como podemos observar en las gráficas de irradiancia la producción solar prácticamente coincidiría con estas horas principales de consumo energético incluso alargándose hasta las 6 p.m., por lo que estos paneles solares serán perfectos para cubrir parte de esa demanda energética justo en el momento que es necesaria. Lo que sí que no coincidiría es el pico de producción energética, que se daría entre las 11 a.m. y las 3 p.m. dependiendo del mes del año, con el pico de demanda energética anteriormente mencionado, que habría sido lo ideal y supondrá una desventaja, pero aun así después veremos cómo se cumplirá con el mínimo de producción energética renovable del 30% estipulado para este tipo de proyectos.



Posteriormente volviendo a la memoria del PMEE se calcula la eficiencia de la instalación total de paneles fotovoltaicos, para ello tienen en cuenta la dependencia de la eficiencia con la temperatura, la eficiencia del cableado, pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad, pérdidas por errores en el seguimiento del punto de máxima potencia, la eficiencia energética de los inversores, y sumando todos estos posibles factores obtienen un resultado aproximado de pérdidas del 14%. Una vez obtenidas esas pérdidas, en la memoria del PMEE se presentan una serie de gráficas que vemos en la Figura 14, las cuales están encuadradas en el apartado de análisis de producción y consumo mensual, y muestran el balance energético mes a mes en un año, usando otra vez como referencia los datos del año 2020. En azul se observa la demanda energética por horas en kWh, y en naranja la energía producida por la instalación de paneles fotovoltaicos también en kWh por cada hora.

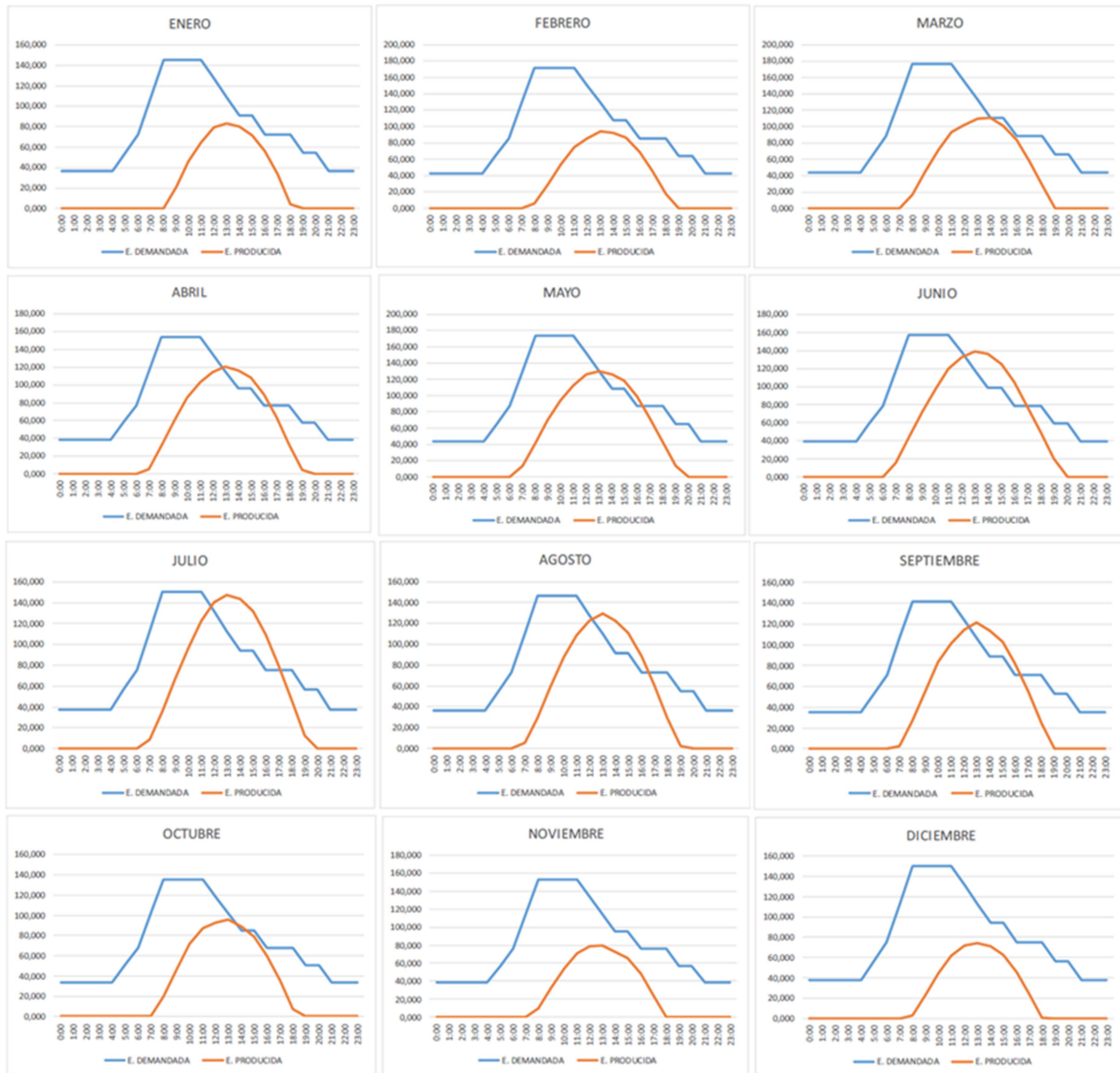


Figura 14. Análisis producción-consumo mensual. Fuente: [10].

Como podemos observar en la Figura 14 la producción energética de los paneles fotovoltaicos no cubrirá la energía demandada la mayor parte del tiempo, salvo en algunas horas de los meses de primavera y verano cuando el sol es más fuerte, y por lo tanto se producirán unos excedentes energéticos, siendo julio el mes con mayor excedente energético. Dichos excedentes además no están permitidos volcarlos en la red general desde el cuartel para su aprovechamiento, por lo tanto el sistema dispone de un denominado Inyector Cero, cuya función es encargarse de cortar parte de la generación de los paneles fotovoltaicos, cuando estos producen más de lo que se está consumiendo en el cuartel. Aun así se puede



observar como durante todo el año sí que cubrirá una parte muy importante de la energía demandada todos los meses, dato que se precisa a continuación.

Posteriormente dentro del apartado de análisis de la producción se pasa al consumo total. En este apartado se muestran unos resultados obtenidos del balance energético de la instalación fotovoltaica (véase Tabla 2), que han sido obtenidos de la energía producida pero sin los excedentes de acogida de compensación, es decir toda esa energía que se podía haber producido pero como la demanda energética está cubierta no se procede a ello, y asimismo tomado como potencia nominal los 180,60 kW que produce la instalación fotovoltaica. En la tabla citada podemos observar los datos recogidos por mes con la energía producida, la demandada, la aprovechada, que es aquella que sí que ha sido consumida por todas las instalaciones del cuartel y ha sido generada por el sistema fotovoltaico, la requerida que es la energía que el cuartel tiene que obtener de la red general y la energía sobrante que es esa energía excedente explicada anteriormente, todos estos datos en kWh. Y finalmente en la parte inferior de la tabla la contribución fotovoltaica mensual que va desde el 25% de diciembre que es el dato más bajo de contribución energética, al 60% de julio que es el dato más grande, y siendo la contribución total anual del 42%.

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
DÍAS	31	29	31	30	31	30
E. PRODUCIDA (kWh)	16756,61	19013,73	25412,91	28095,03	32829,01	34005,12
E. DEMANDADA (kWh)	57441,09	63442,1	70022,44	58960,75	68562,57	60248,43
E. APROVECHADA (kWh)	16756,61	19013,73	25412,91	26627,45	31596,86	30664,51
E. REQUERIDA (kWh)	40684,47	44428,38	44609,53	32333,31	39665,71	29583,91
E. SOBRANTE (kWh)	0	0	0	1467,58	1232,15	3340,6
E. CONTRIBUIDA (%)	29%	30%	36%	48%	48%	56%

	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
DÍAS	31	31	30	31	30	31	
E. PRODUCIDA (kWh)	35431,94	29631,06	26564,25	21220,78	16067,39	14902,49	299930,3
E. DEMANDADA (kWh)	59462,67	57837,55	54181,31	53574,33	58485,01	59474,51	721692,75
E. APROVECHADA (kWh)	30160,82	26996,2	24604,65	21089,71	16067,39	14902,49	283893,33
E. REQUERIDA (kWh)	29301,85	30841,35	29576,67	32484,62	42417,62	44572,02	437799,43
E. SOBRANTE (kWh)	5271,11	2634,86	1959,6	131,07	0	0	16036,98
E. CONTRIBUIDA (%)	60%	51%	49%	40%	27%	25%	42%

Tabla 2. Balance energético (kWh) de la instalación fotovoltaica. Fuente: [10].

También es útil la Figura 15 en la cual se puede ver más visualmente la comparación entre la energía demandada y la energía producida por la instalación fotovoltaica.

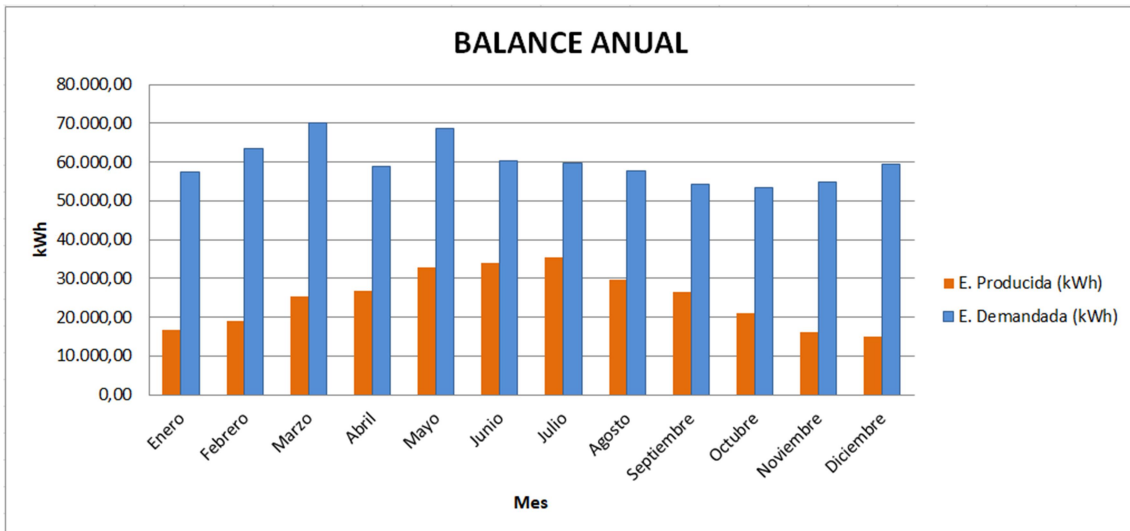


Figura 15. Balance anual energético. Fuente: [10].

Una vez explicado los datos que se dan en la memoria del PMEE podemos concluir que los paneles fotovoltaicos son muy buena opción para cualquier instalación del ET, puesto que pueden ser instalados en casi cualquier tejado de un edificio o tinglado, algo que abunda en todos los acuartelamientos del ET, y se puede hacer además aprovechando una renovación de dicho tinglado o nueva construcción de edificio como en el caso del acuartelamiento de 'Los Rodeos'. Y porque una instalación de este tipo como hemos visto en este caso puede garantizar un aporte energético medio del 42%, lo cual supone una gran ahorro para el Ministerio de Defensa, y que junto a otras medidas de eficiencia energética puede suponer aún un ahorro mayor. Pero también hay que tener presente el inconveniente de no poder generar toda la energía posible cuando se está superando a la demandada, algo que se debe estudiar cómo solucionar, ya que como hemos visto en los datos del análisis de la producción en el consumo total, la energía total generada serían unos 299.930,30 kWh y de esta es sobrante 16.063,98 kWh, es decir un 5,36% perdido, y que con una nueva alternativa que solucionase esto se podría llegar a tener un aprovechamiento del 100% de las capacidades de los paneles fotovoltaicos.

4.1.2. Mejora envolvente térmica en alojamiento logístico de personal militar

Según lo especificado por el PMEE esta actuación concreta tiene como objetivo la sustitución de las carpinterías en el edificio de alojamiento del personal militar destinado y que vive en el acuartelamiento, por unas carpinterías con mejor aislamiento, para mejorar la vida de los usuarios allí destinados. Para ello se procederá a la sustitución de las carpinterías existentes por nuevas carpinterías de PVC con rotura de puente térmico, es decir cambiar las ventanas y marcos de estas, y también pintado de la fachada.

Como establece el PMEE se instalarán ventanas de PVC, serie IT-61 RPT "ITESAL", como se puede observar en la Figura 16, con rotura de puente térmico, de diferentes dimensiones y sistemas de apertura, junta interior de estanqueidad, junta central de estanqueidad, según UNE-EN 14351-1; transmitancia térmica del marco: $U_{h,m}$ = desde 2,43 $W/(m^2K)$; espesor máximo del acristalamiento: 48 mm, con clasificación a la permeabilidad al aire clase 4, es decir el mayor nivel posible de permeabilidad según UNE-EN 12207, clasificación a la estanqueidad al agua clase E750, el cual es el nivel más alto de estanqueidad al agua según UNE-EN 12208, y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C5, también la máxima categoría posible según UNE-EN 12210, con premarco y con persiana, incluso sellador adhesivo y silicona neutra para sellado perimetral de las juntas exterior e



interior, entre la carpintería y la obra. Hasta aquí es lo que la memoria del PMEE trata sobre esta medida.

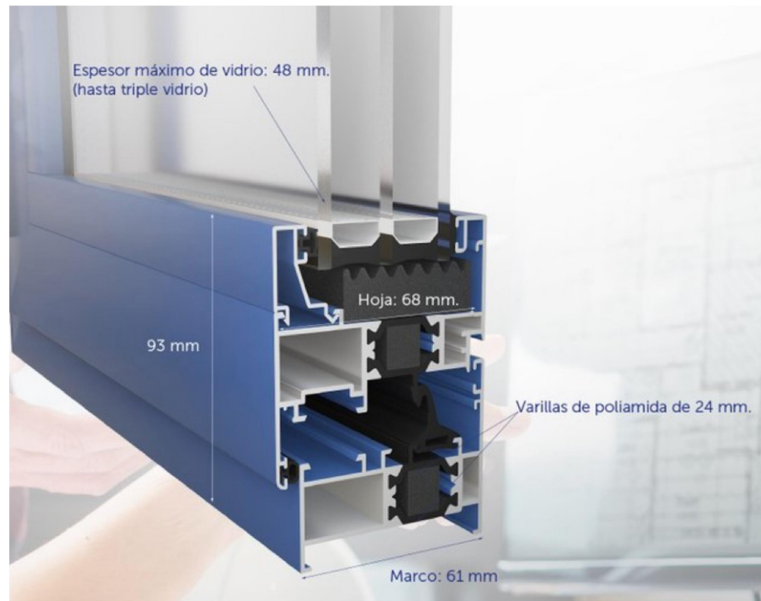


Figura 16. Corte ventana serie IT-61 RPT "ITESAL". Fuente: [22]

Asimismo, en la Figura 17 se puede ver cómo eran anteriormente las ventanas de este edificio, las cuales eran de un solo cristal, por lo tanto sin cámara de aire interior y con una carpintería metálica de peor calidad y ya anticuada. Y en la Figura 18 podemos observar el grosor a tamaño real de las nuevas ventanas antes de ser instaladas. En el Anexo IV se pueden visualizar imágenes de la instalación de las ventanas. Asimismo estas ventanas son las mismas que se están instalando en el nuevo edificio multiusos que también se le han instalado los paneles fotovoltaicos. En la Figura 19 se puede observar la ventana ya instalada y su grosor.



Figura 17. Ventanas edificio alojamiento militar antes de ser cambiadas. Fuente: Elaboración propia.



Figura 18. Nuevas ventanas antes de ser instaladas. Fuente: Elaboración propia.



Figura 19. Nueva ventana instalada en nuevo edificio multiusos. Fuente: Elaboración propia.



Pero ¿qué supone esta mejora del aislamiento en el ahorro energético del acuartelamiento? Pues como se puede ver en la Tabla 3, donde vemos diferentes tipos de ventanas y que ahorro energético tienen en función de su material y estructura, siendo el 100% de pérdida y el 0% de ahorro la situación de tipo 1. Las antiguas ventanas del edificio que eran metálicas de un único cristal serían el tipo 1 de la tabla, es decir vidrio monolítico y carpintería metálica, es decir representan un 0% de ahorro energético como situación inicial en ese edificio, mientras que las nuevas ventanas que son IT-61 RPT "ITESAL" con las certificaciones de permeabilidad al aire clase 4, clasificación a la estanqueidad al agua clase E750 y clasificación a la resistencia a la carga del viento clase C5, sería equivalente al tipo 10, es decir doble bajo emisivo de espesor 16 y carpintería metálica RPT, pudiendo ser incluso mejor por la certificaciones anteriormente mencionadas, por lo que significaría un ahorro mínimo del 63%, lo que es lo mismo, consigue reducir las pérdidas de calor a través del hueco en un 63%, o lo que también significa, conseguir que las pérdidas a través sólo sean el 37% de la energía que se perdía en la situación inicial (100%) del anterior tipo de ventanas, y por lo tanto en todo el edificio al estar siendo renovado todas las ventanas. Y además en el nuevo edificio multiusos se parte de esta situación inicial de ahorro de estas nuevas ventanas respecto a haberle instalado un tipo de ventana clásico de vidrio único y carpintería metálica.

Situación	Tipo de acristalamiento	Espesor cámara	Carpintería	Pérdidas (*)	Ahorro (**)
Inicial	Vidrio monolítico	-	Metálica	100%	0 %
1	Doble	6	Metálica	72%	28%
2	Doble	16	Metálica	67%	33%
3	Doble bajo emisivo	6	Metálica	61%	39%
4	Doble	6	Metálica RPT	60%	40%
5	Doble	16	Metálica RPT	54%	46%
6	Doble bajo emisivo	6	Metálica RPT	51%	49%
6	Doble	6	Madera	51%	49%
6	Doble	6	PVC	51%	49%
7	Doble bajo emisivo	16	Metálica	47%	53%
8	Doble	16	Madera	46%	54%
8	Doble	16	PVC	46%	54%
9	Doble bajo emisivo	6	Madera	40%	60%
10	Doble bajo emisivo	16	Metálica RPT	37%	63%
11	Doble bajo emisivo	16	Madera	28%	72%
12	Doble bajo emisivo	16	PVC	26%	74%

(*) % de pérdidas energéticas a través del cerramiento tomando como referencia (100%) la situación inicial

(**) % de ahorros (reducción de pérdidas energéticas) logrados a través del cerramiento respecto a la situación inicial

Tabla 3. Ahorro y pérdidas de tipos de ventana respecto a un tipo inicial. Fuente: [23]

En conclusión, esta medida aunque no vaya a suponer un ahorro enorme de energía en el acuartelamiento por ser solo dos edificios los que tengan este tipo de aislamiento, sí que va a suponer un pequeño ahorro importante, puesto que uno de los edificios sí que será utilizado las 24 horas del día, siete días de la semana, a diferencia del resto de edificios del acuartelamiento, puesto que es un alojamiento militar en el que vive gente y el resto de edificios solo se usa en horario laboral, y el nuevo edificio multiusos es bueno que ya venga con este tipo de aislamiento para que sea un edificio moderno y eficiente. Asimismo esta obra representa un primer paso para que en el futuro exista la posibilidad de cambiar el aislamiento del resto de edificios del acuartelamiento progresivamente, lo que sí significaría un ahorro grande e importante de energía. Y finalmente relacionado a si es necesario o no este tipo de



obras en un cuartel que está situado en las Islas Canarias dónde se supone que hace mejor tiempo, también hay que tener en cuenta la situación meteorológica de 'Los Rodeos' próximo a San Cristóbal de La Laguna, dónde en invierno se llega a temperaturas mínimas medias de entre 10°C y 10,7°C mensualmente [24], por lo que este tipo de obras de mejora del aislamiento sí que son necesarias. Además este tipo de medida esta se está implementado en otros cuarteles como en la Base 'General Morillo' en Pontevedra [25] y la Base 'Cid Campeador' en Castrillo del Val (Burgos) [26].

4.1.3. Otras medidas en el acuartelamiento 'Los Rodeos'

Una vez tratadas las dos principales medidas que se están implementando en el acuartelamiento bajo las actuaciones varias de mejora de la eficiencia energética, también es importante ver pequeñas medidas relacionadas que se están aplicando. Estas medidas se encuentran principalmente en el nuevo edificio multiusos, y en el PMEE no se les hace una identificación directa como medidas de eficiencia energética y sostenibilidad, sino que han sido identificadas durante la entrevista y visita de obras. La primera de ellas es la instalación de sensores de iluminación en las zonas comunes de este edificio, estos sensores que los podemos ver en las Figuras 20 y 21 tienen dos funciones, primero sensor de movimiento y denominado detector de presencia autónomo para captar cuando alguien pase por las zonas comunes y segundo sensor de luminosidad y denominado fotocélula inhibidora que sirve para saber cuánta luz exterior está entrando en esas zonas comunes, por lo que esas dos funciones operan conjuntamente, es decir si alguien pasa por una zona común el sensor de movimiento le detecta, y si el sensor de luminosidad detecta que esa zona está suficientemente iluminada no se procederá a encender la iluminación, y si es por ejemplo de noche y se detecta movimiento pero no luminosidad sí que se procederá a encender la iluminación.



*Figura 20 . Detector de presencia autónomo instalado en zona común nuevo edificio multifunción.
Fuente: Elaboración propia.*



Figura 21 . Fococélula inhibidora instalada en zona común nuevo edificio multifunción. Fuente: Elaboración propia.

Según la guía de sensores inalámbricos para ahorro energético en iluminación del programa federal de gestión de energía del Departamento de energía de los EE.UU. el ahorro energético que puede suponer este tipo de sensores en zonas comunes estilo pasillo respecto a su no instalación oscila entre un 30% y un 80% de ahorro [27]. Por lo tanto esta medida igual que antes se ha comentado con el aislamiento, supone un muy pequeño ahorro energético, incluso bastante más pequeño que en el caso de la mejora del aislamiento, ya que esta medida solo está presente en las zonas comunes de un nuevo edificio, pero si esta medida sienta precedente y comienza a implantarse en el resto del cuartel se podrían dar ahorros de entre el 10% y 90% de gasto en iluminación dependiendo del tipo de sala, con lo cual es una medida muy útil.

Y como segunda medida está el tipo de iluminación que se va a usar en este nuevo edificio multiusos ya que toda esta es de tipo LED, la cual es mucho más eficiente que la iluminación convencional, suponiendo un ahorro entre el 50% y el 95% respecto a otros tipos de iluminación dependiendo de cuál [28]. Este iluminación además tiene una ventaja que es que ya se fabrican en todos los modelos de casquillos tradicionales, por lo que se podría implementar este tipo de iluminación en las instalaciones existentes, pudiendo representar otro gran ahorro energético. Por lo que se podría decir que este tipo de iluminación LED es aún una pequeña medida que puede ser muy útil si en un futuro se comienza implementar en todo el cuartel, no solo en interiores sino también en exteriores como es el caso de algunos otros cuarteles como por ejemplo en la Base 'General Almirante' en Marines (Valencia), donde está llevando a cabo la sustitución de las antiguas farolas del alumbrado de las calles de la Base con nuevos cabezales de tipo LED, aumentando la capacidad de alumbrado y disminuyendo el consumo energético en un 74%, [29].

4.2. Medidas aplicadas en otros acuartelamientos del Ejército de Tierra

4.2.1. Instalación de aerotermia en el acuartelamiento 'Puerto del Rosario'

Una vez finalizadas las medidas adoptadas en 'Los Rodeos' se pasará a revisar otras medidas implementadas en otros acuartelamientos. En la entrevista con el Capitán Arévalo del COBRA 5, este definió las tres principales que el ET está realizando en sus acuartelamientos,



que son las ya tratadas fotovoltaica y mejora de aislamiento, y una tercera que es la implantación de sistemas de aerotermia. Es por eso que el Capitán facilitó otro proyecto en el que está involucrado y que está siendo ejecutado por el COBRA 5 en el acuartelamiento 'Puerto del Rosario' en la Isla de Fuerteventura, proyecto denominado 'Obras de mejora energética en el acuartelamiento 'Puerto del Rosario'' [30].

Este proyecto propone la renovación de los equipos de producción de agua caliente sanitaria (ACS) alojados en dos edificios del acuartelamiento ante el estado actual de esas instalaciones que están quedando obsoletas, y recurriendo a sistemas alternativos que fomenten el uso de energías renovables y de mayor eficiencia energética. La nueva instalación de producción de ACS se plantea como un sistema de aerotermia con bomba de calor que elevará la temperatura del agua hasta alcanzar la temperatura de consumo. Los dos edificios en los que serán implementadas estas medidas son: uno de ellos un alojamiento logístico militar con capacidad para 48 personas y que cuenta con 24 lavabos, 8 duchas y 4 fregaderos, y que contaba con una instalación solar térmica para calentar el agua; y un segundo edificio con alojamiento logísticos militar, vestuarios y oficinas que en total tiene que dar servicio a 310 personas y que cuenta con 67 lavabos, 76 duchas y 6 fregaderos. Por lo que se pretende sustituir la contribución solar por un sistema de aerotermia con bomba de calor que es más eficiente.

Los cálculos realizados en la memoria del proyecto y explicados es este párrafo establecen una contribución renovable mínima para ACS del 60% y unos valores de demanda de referencia por persona de 28 litros a 60 °C. Para el primer edificio se ha estimado un uso del 100% de los medios resultando en un consumo medio diario de 1344l/día por lo que se proyecta dos depósitos de 800 litros y una bomba de calor de aerotermia, y para el segundo edificio se considera una demanda de 76 duchas funcionando a la vez , a razón de 21l/ducha en hora punta y doble turno, resultando en un consumo de 3192 l que se cubrirán con 4 depósitos de 1000l que incluirán dos bombas de calor de aerotermia. Para cumplir estas necesidades se ha propuesto la adquisición del equipo de aerotermia para producción de ACS tipo multitarea de Daitsu Eurofred Monobloc 3D Smart AOWD 54 o equivalente con clasificación energética A++, se puede ver en la Figura 22 y los acumuladores ACS de Daitsu Aquatank WITD HP 800/1000L de Eurofred o equivalente visible en Figura 23.



Figura 22 . Equipo de aerotermia para producción de ACS instalado en el acuartelamiento 'Puerto del Rosario'. Fuente: [30].



Figura 23 . Acumuladores ACS de capacidad 800/1000l instalado en el acuartelamiento ‘Puerto del Rosario’. Fuente: [30].

Finalmente en el proyecto se establece un 62% de energía renovable, esto es así debido a que se calcula que la bomba de calor tendrá un consumo eléctrico de 9.318,54 kWh y una aportación renovable de 15.096,03 kWh, la cual es la parte de la energía térmica total que proviene de fuentes renovables más concretamente es captada del entorno por la bomba de calor, por lo que de la demanda total de energía, que es 24.414,57 kWh suma del consumo eléctrico y aportación renovable, un 62% es de origen renovable captado por el sistema y es usado para calentar el agua. Se pueden ver estos datos en la Figura 24 en la que también se menciona el SCOPdhw o Coeficiente de Rendimiento Estacional para la producción de ACS, que indica la eficiencia media de la bomba de calor y tiene un valor de 2,62, es decir por cada 1 kWh eléctrico consumido, entrega 2,62 kWh de energía térmica útil empleado en el calentamiento del agua.



Figura 24. Esquema contribución energía renovable sistema de aerotermia en el acuartelamiento ‘Puerto del Rosario’. Fuente: [30].

En conclusión la aerotermia aunque es menos conocida y está empezando a usarse y además a primera vista no parece una fuente renovable es capaz de suministrar 2,6 veces la energía que utiliza para funcionar en forma de energía renovable, por lo tanto es una medida excelente que podría aplicarse en los acuartelamientos del Ejército para sustituir los sistemas de calentamiento de agua convencionales los cuales son mucho más ineficientes.

4.2.2. Instalación de una red de calor y central de biomasa en la Base ‘Conde de Gazola’

La Base ‘Conde de Gazola’ se encuentra en Ferral del Bernesga (León), y en ella se está desarrollando el “Proyecto de intervención en mejora de eficiencia energética y la envolvente térmica mediante actuaciones sobre diferentes edificios e infraestructuras” [31] en el cual se está realizando la instalación de una central de Biomasa. Este proyecto ha sido desarrollado



por personal de la COBRA nº 4 de Valladolid y supone la total renovación del sistema de calefacción y agua de la Base. Tiene como objetivo unificar en una central las 46 calderas de propano y gasóleo que existían previamente en la Base, procediendo a la generación térmica de forma centralizada y así proveer calor y servicio de agua caliente a los edificios que integran la base. De esta forma, se redundará en la eficiencia tanto de funcionamiento como de mantenimiento de la instalación. Además de esta medida este proyecto también implica la mejora del aislamiento y la sustitución de iluminación por otra más eficiente, todo esto permitirá un aporte de energía renovable de al menos el 30%.

El sistema de la central se compone de dos calderas de biomasa con astillas de 2 y 1,4 MW respectivamente. Esta instalación trabajará contra 3 depósitos de inercia de 20.000 l para evitar los arranques innecesarios en las calderas y hacer más eficiente la instalación. Asimismo como apoyo tendremos la instalación de gas, con dos calderas de 500kW que solo actuarán en dos casos: en periodos de una demanda excesiva o en caso de averías y mantenimientos. Desde los depósitos se distribuirá a todo el cuartel garantizando una temperatura de 80°C, cada edificio tendrá su propia subestación de intercambio y desde ahí irá a los colectores de reparto para dar servicio a la calefacción y ACS. En el proyecto se realiza un estudio de consumo del acuartelamiento y junto con la capacidad de la nueva central de biomasa se establece que en el mes de mayor consumo obtendremos 3h de consumo superior al que nos aportan los equipos de la central, que se solucionará ampliando el rango de funcionamiento de las calderas y haciendo una acumulación mayor de agua en cada una de las subestaciones. La potencia actual que consiguen las 46 calderas es de 7.090,5 kilovatios, con la nueva instalación se dispondrá con 3400 kW que serán más que suficientes para la instalación propuesta. También se realiza un cálculo de emisiones estableciendo una media de 1432,97 toneladas de CO₂ al año y pasando con la nueva central a balance neutro, es decir el CO₂ que libera la central al producir energía es el mismo que las plantas de las que proceden las astillas absorbieron previamente durante su crecimiento, por lo tanto se produce una reducción notable de emisiones. Por último en el proyecto se establece un ahorro anual del 74% de lo que anteriormente se gastaba en combustible, y un plazo de 12 años para la amortización de la inversión, a partir del cual se empezará a notar el retorno de la inversión, [31] [32] [33].

Una vez revisado este proyecto se concluye que este nuevo sistema permite alcanzar a la Base los máximos estándares de eficiencia energética y sostenibilidad requeridos a las instalaciones actuales, con unos niveles de ahorro muy elevados y una reducción de emisiones de CO₂ que lo lleva a balance neutro. Pero en este tipo de centrales también habría que tener en cuenta el suministro de la biomasa y su transporte logístico, ya que hay partes del territorio nacional donde es más fácil conseguir este tipo de combustible y otras donde al no disponer de tanto, la carga logística y la dificultad de distribución podría ser mayor. En el mapa de la Figura 25 podemos comprobar esto, señalando como zonas con mayores ventajas la costa atlántica norte de la península, Navarra y la zona norte de Castilla y León. En definitiva este proyecto supone la primera red de calor implantada en un recinto del ET, que se estima sirva de referencia para futuras implantaciones.

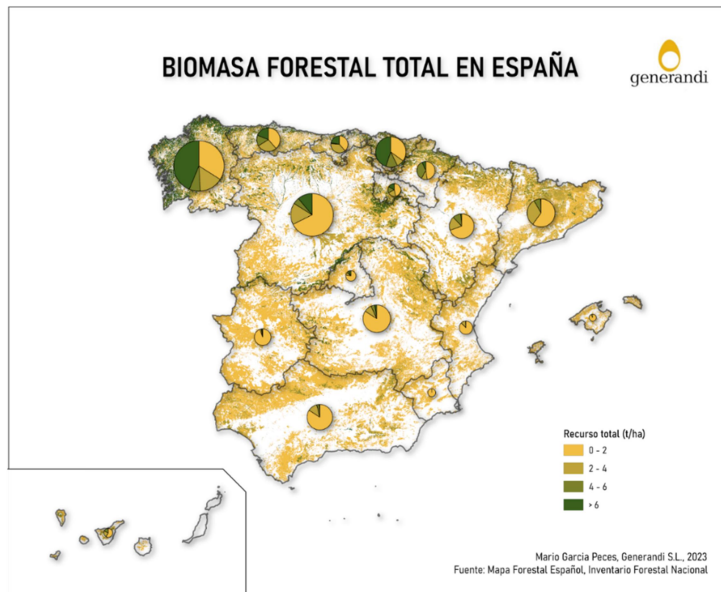


Figura 25. Mapa biomasa forestal en España. Fuente: [34]

4.3. Medidas innovadoras no aplicadas en los acuartelamientos del Ejército de Tierra

4.3.1. Geotermia

Actualmente no hay ningún acuartelamiento del ET que haya instalado geotermia, pero ya se está estudiando su implantación en la nueva Base logística en Córdoba [35]. Los recursos geotérmicos se clasifican en cuatro tipos: de alta temperatura (superiores a 150°C), de media temperatura (entre 100 y 150°C) estos dos se aprovechan principalmente para la producción de electricidad y también para usos térmicos directos. Los recursos geotérmicos de baja temperatura (entre 30 y 100°C) se aprovechan solo para usos térmicos en sistemas de climatización y ACS, estos pueden usarse directamente o mediante bombas de calor. Y por último los recursos geotérmicos de muy baja temperatura (inferiores a 25-30°C), corresponden a la energía térmica almacenada en aguas subterráneas y en el subsuelo poco profundo, su aplicación son los usos térmicos siempre mediante bombas de calor a sistemas de calefacción, refrigeración y ACS, [36]. Debido a esto según el emplazamiento de la instalación militar podrá usar un tipo u otro de geotermia, aunque casi siempre se podrían usar los recursos térmicos de muy baja temperatura mediante bombas de calor. Pero para ello en la Figuras 26 y 27 se pueden observar la distribución según el tipo de recurso en España.



CAC Juan Carlos Millón Herranz

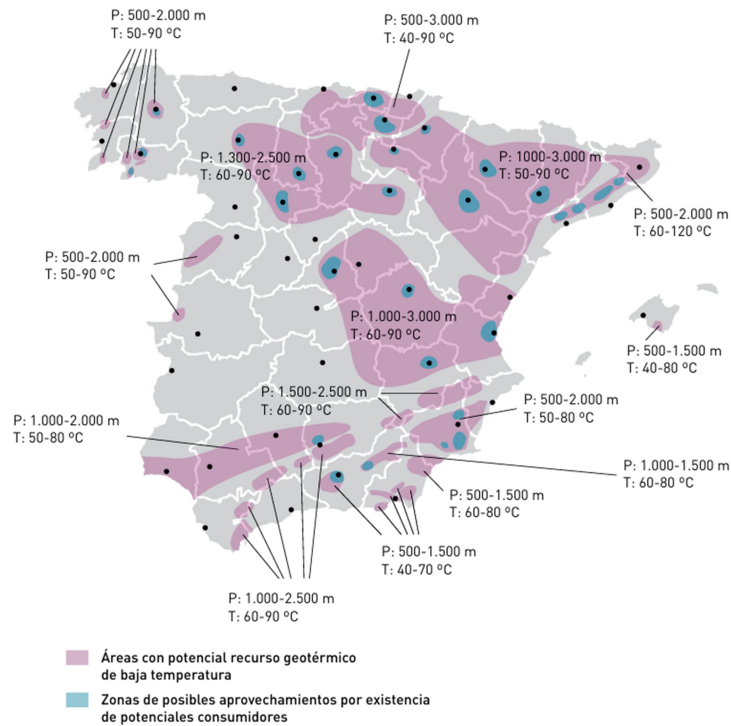


Figura 26. Mapa de recursos geotérmicos de baja temperatura y zonas de posibles aprovechamientos. Fuente: [37]

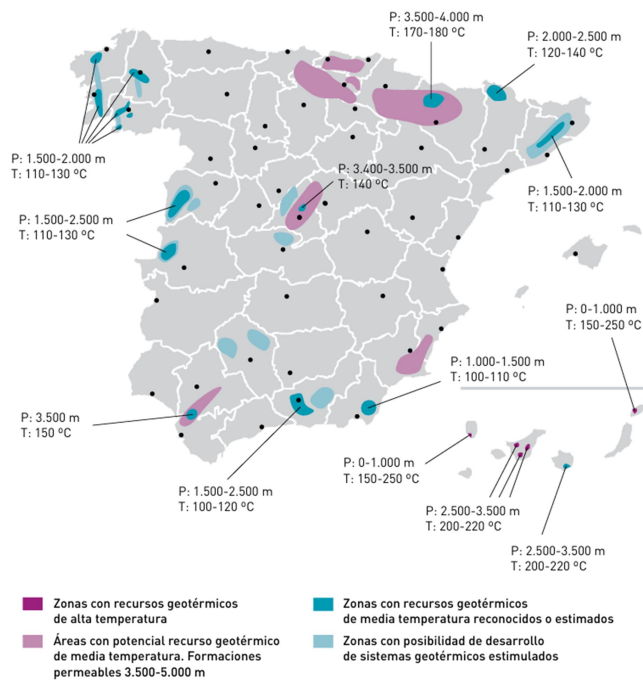


Figura 27. Mapa de recursos geotérmicos de media y alta temperatura y posibles sistemas geotérmicos estimulados. Fuente: [37]

Como podemos ver hay bastantes zonas en España con recursos geotérmicos de baja temperatura, los cuales se podrían usar directamente o mediante bombas de calor en sistemas de calefacción, refrigeración y ACS, que diesen servicios a cuarteles en esas zonas. Mientras que los recursos de media y alta temperatura son más escasos y podría usarse en pocas instalaciones militares aunque una zona de ellas es Madrid donde hay gran cantidad de acuartelamientos. Estos últimos recursos sí que podrían usarse para la producción de electricidad y también para usos térmicos directos.



Pero ¿qué podría aportar el uso de geotermia puesto que su uso mayoritario sería en calefacción y ACS, y para lo cual el Ejército ya está usando la aerotermia? Pues usando el coeficiente de rendimiento estacional ya explicado en el apartado 4.5 y en el cual se dijo que en la geotermia instalada en el acuartelamiento 'Puerto del Rosario' tenía un valor de 2.62, podemos ver una comparación entre estas dos tecnologías de energía renovables según el Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE) en la Tabla 4.

Tecnología de la Bomba de Calor	Calefacción	ACS
Aerotermia	3,73	2,71
Geotermia	4,81	3,40
Hidrotermia	4,50	--

Tabla 4. Rendimientos medios estacionales de referencia según la tecnología de la bomba de calor. Fuente: [38]

Esta tabla deja bastante claro que basándose en los rendimientos estacionales cuando se usa bomba de calor la Geotermia es bastante más eficiente que la aerotermia, y además como se puede ver el coeficiente de la aerotermia para el ACS es un valor muy parecido al obtenido para el acuartelamiento 'Puerto del Rosario' por lo tanto la información aportada parece bastante veraz. Asimismo, en ese mismo documento cifra la eficiencia de los sistemas térmicos de referencia según el combustible desplazado por las bombas de calor, dando un valor del 100% a las que usan electricidad, un 89% a las que usan gasóleo, 260% a las que usan aerotermia y 340% a las que usan geotermia [38], estos dos últimos valores coincidiendo con ese coeficiente de rendimiento medio estacional.

En conclusión la geotermia representa una tecnología con mucho potencial puesto que ofrece muy buenos porcentajes de eficiencia, las bombas de calor geotérmicas podrían ser capaces de suministrar hasta 3,4 veces la energía que utiliza para funcionar en forma de energía renovable por lo que debería estudiarse su implantación sobre todo en esas zonas de España que tienen recursos geotérmicos mínimo de tipo baja temperatura.

4.3.2. Energía eólica a pequeña escala

A día de hoy la energía eólica a pequeña escala o minieólica no forma parte de la instalación energética de ningún acuartelamiento del ET y tampoco hay planes conocidos sobre una futura implantación de esta tecnología en los citados acuartelamientos. Pero esta tecnología podría ser la próxima tecnología renovable que comience a instalarse en los cuarteles.

Actualmente es España el límite de la energía eólica de pequeña potencia es 100 kW, pero con varios aerogeneradores de este rango de potencia sería suficiente para cubrir con una parte importante de la demanda energética de un cuartel. Además también habría que tener en cuenta que zonas del territorio nacional tienen el suficiente viento como para que este tipo de turbinas de pequeño tamaño funcionen, y por tanto en que cuarteles sería posible instalarlo. En la Figura 28 podemos visualizar esto.

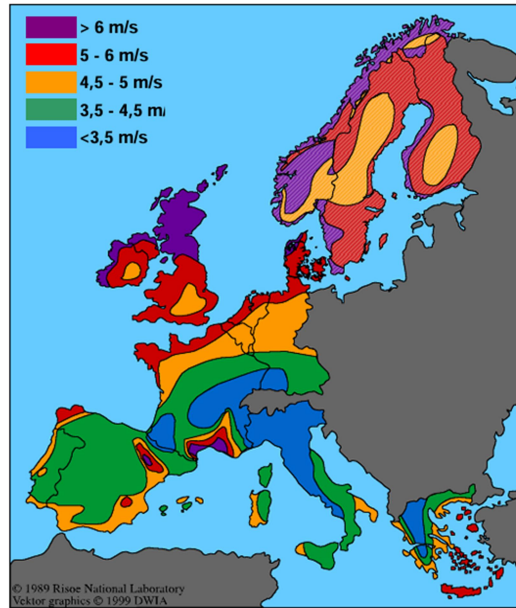


Figura 28. Mapa eólico medio de Europa a una altura de 50 metros sobre la superficie. Fuente: [39].

Como se puede observar hay zonas que esta energía eólica sería más eficiente como es el caso de la cuenca del Ebro y la costa de Galicia, otras zonas con valores menores como la cuenca mediterránea y la costa atlántica andaluza y finalmente el resto del territorio peninsular donde los valores se quedarían en torno a los 4 m/s y esta instalación de energía eólica podría ser menos rentable.

Para ver el impacto real que puede tener esta medida usaremos un modelo real de aerogenerador de pequeña escala y los datos de viento y demanda energética en el acuartelamiento 'Los Rodeos'. El modelo elegido como ejemplo, por la facilidad de encontrar sus especificaciones, es el E-60 HAWT (véase Figura 29) de la empresa RYSE ENERGY – ENAIR. Este aerogenerador tiene una potencia máxima de 70 kW y potencia nominal de 60 kW, dispone de tres palas que son las que le mueven con la fuerza del viento, un peso de 6 toneladas, y se puede instalar a diferentes alturas de entre 18 y 36 metros, además este aerogenerador comienza a generar energía con tan solo una velocidad del viento de 2m/s y sigue produciendo hasta los 30 m/s, [40].



Figura 29. Aerogenerador E-60 HAWT de la empresa RYSE ENERGY – ENAIR. Fuente: [40].



En cuanto a la velocidad del viento para la zona del acuartelamiento 'Los Rodeos' en el "Análisis del viento y la niebla en el aeropuerto de los rodeos (Tenerife). Cambios y tendencias" [41] se establece que estacionalmente a principios del invierno (diciembre) el viento del NO posee una velocidad media cercana a los 5,5 m/s, en enero comienza a aumentar hasta situarse en torno a los 6,25 m/s en marzo. Durante la primavera se mantiene alrededor de los 7 m/s, incrementándose por encima de ese valor durante todo el verano, incluso superando los 8,3 m/s en julio, siendo este mes el más ventoso. Con la llegada del otoño comienza a descender paulatinamente la velocidad del viento del NW hasta llegar a ser de 5,5 m/s en noviembre, siendo la media anual alrededor de 6,9 m/s en esta dirección NW que es en la que el viento va más fuerte. Yendo a los datos de producción energética estimada del modelo E-60 HAWT establece que para una velocidad del viento de 7m/s se conseguiría una producción energética anual de 221.466 kWh, en el caso de 'Los Rodeos' un poco menos al ser la cifra real de 6,9 m/s, pero se usará 7 m/s para redondear. Sabiendo que la demanda anual del acuartelamiento es de 721.692,75 kWh y la requerida después de la instalación de los paneles fotovoltaicos es de 437799,43 kWh por lo que la instalación de este generador supondría el aporte energético de un 31% de la energía demandada y de un 51% de la energía requerida después del aporte fotovoltaico, y esto solo sería con un aerogenerador de 70 kW de potencia, lo que abriría la puerta a instalar varios aerogeneradores de un tamaño menor. Y además habría que tener en cuenta que la ley indica que toda instalación debe separarse del edificio de viviendas más cercano en una distancia de 1,2 veces su altura [42]. Finalmente esto es solo un ejemplo en el que se ha usado en acuartelamiento 'Los Rodeos' al disponer de sus datos de demanda energética y viento, ya que habría que tener en cuenta otros factores como la distancia de seguridad mencionada o si se dispone de espacio suficiente en los terrenos del cuartel, lo cual no debería suponer ningún inconveniente para una gran parte de los cuarteles al disponer mínimo de pequeños campos de maniobras en sus alrededores.

En conclusión, la energía eólica a pequeña escala es una fuente de energía renovable que a día de hoy, ya ofrece diversas posibilidades y se encuentra en un estado de bastante desarrollo, representando una gran oportunidad para complementar las medidas de eficiencia energética y sostenibilidad que ya se están aplicando en los cuarteles, pudiendo hacer que se cubra parte de la demanda energética de estos que aún no ha sido cubierta con las nuevas medidas. Y sobre todo representa una oportunidad para aquellos cuarteles que están situados en las zonas con más viento del territorio nacional.

4.3.3. Sistema de baterías de litio de alto voltaje

Para analizar esta medida y la posibilidad de su instalación se ha realizado una entrevista, la cual se puede ver en el Anexo V, a Roberto Gómez de la empresa ElectroStocks. De dicha entrevista se destaca que Roberto Gómez indica que instalando baterías junto con una ampliación de la planta fotovoltaica sería posible conseguir el 100% de independencia de la red eléctrica pudiendo además reducir el número de grupos electrógenos de emergencia para dejarlos como sistemas auxiliares secundarios a diferencia de ahora que son los sistemas auxiliares principales para casos de emergencia. Además explica que la misión de las baterías sería tener capacidad de acumular energía excedente no consumida por el cuartel y que este fuese autónomo la máxima cantidad de horas, pero que dependería de los consumos de cada base. Asimismo, cuando se le pregunta acerca de la rentabilidad de esta medida, indica que para él se busca más la independencia que la rentabilidad, y la autosuficiencia del acuartelamiento respecto a la red eléctrica.

Además explica que las baterías estándares con las que trabajan tienen una capacidad de 112 kWh y necesita un espacio de 3X1 metros y facilita los documentos técnicos de la batería. En ellos se especifica que el sistema de baterías de litio de alto voltaje BAT 112 con una capacidad de 112.6kWh admite conexiones en paralelo de hasta 4 clústeres armarios, lo que permite configuraciones flexibles y una expansión hasta 450.4kWh por inversor para satisfacer mayores demandas de almacenamiento de energía. Tiene un peso menor de 1400 kg y unas dimensiones de 1055 x 2000 x 1055 (ancho x alto x profundo mm) [43]. Usando los datos de la



Tabla 2 del apartado 4.2 veremos si este tipo de baterías pueden resultar útiles a día de hoy, como referencia se tomará el mes de julio, mes con una energía sobrante de 5271,11 kWh, es decir energía que podría producir los paneles fotovoltaicos y no produce por estar la demanda cubierta en ese momento, y una energía requerida de 29313,85 kWh, es decir energía que toma de la red general al no ser aportada por los paneles fotovoltaicos, si pasamos esos datos a día por día daría unos valores de 170 kWh de energía sobrante diaria y 945.61 kWh energía requerida diaria en el mes de julio. Por lo que con dos baterías que sumasen 225,2 kWh se cubriría el excedente diario que producen los paneles fotovoltaicos y que cubriría un 38% de la energía requerida diaria del mes de julio. Elevando el porcentaje de energía contribuida de un 60% al 75,2%, y representando el aporte de las baterías un 15,2 % de la energía demandada en julio. En conclusión esta es una muy buena medida para que complemente a otras medidas de energía renovable como los paneles fotovoltaicos, pero para que sea útil como hemos visto en el mes de julio que es el de mayor excedente, la cantidad de energía excedente debe ser similar, ya que actualmente hay 5 meses de año que estos paneles fotovoltaicos no producen energía sobrante y hay meses que la energía requerida es un 50% mayor, por lo que primero sería necesario aumentar los niveles de producción, ya sea con más paneles o con otro tipo de energía renovable como la eólica, para que todos los meses existan excedentes pero sin cubrir la demanda total para que esta sea cubierta con el uso de baterías, que abriría la puerta a instalarse un número de estas mayor al ejemplo debido a que habría más cantidad de energía sobrante y así conseguir un aporte mayor.

4.4. Comparación de medidas

En este apartado se realizará una comparación de las medidas tratadas mediante la realización de un análisis de tipo DAFO de cada medida, en orden de sacar sus debilidades y ventajas para conocer que opción es mejor para cada tipo de acuartelamiento.

- Sistema de paneles fotovoltaicos

Análisis DAFO – Sistema de paneles fotovoltaicos

	INTERNAS	EXTERNAS
NEGATIVAS	D Debilidades <ul style="list-style-type: none"> • Limitación de instalación por estructuras antiguas o cubiertas no aptas. • Incapacidad actual de verter excedentes a la red. • Ausencia actual de sistemas de almacenamiento, provocando pérdidas de la energía producida. • Necesidad de mantenimiento regular para mantener niveles de productividad. • No coincidencia de los picos de producción con los picos de demanda. 	A Amenazas <ul style="list-style-type: none"> • Evolución tecnológica rápida, riesgo de obsolescencia. • Lentitud de tramitación de proyectos para su instalación. • Condiciones meteorológicas extremas (calor excesivo, polvo sahariano...) • Dependencia de la luz solar, rendimiento desigual dependiendo de la situación geográfica • Aumento de costes de componentes fotovoltaicos.
	F Fortalezas <ul style="list-style-type: none"> • Amplias superficies de cubiertas y tinglados disponibles en la mayoría de acuartelamientos para ubicar paneles. • Alta coincidencia de la demanda energética de los cuarteles y la producción solar. • Reducción directa de la energía demandada de la red en torno al 30-50%. • Vida útil prolongada (25-30 años). • Integración sencilla con el sistema eléctrico y otras medidas de eficiencia. • Contribución visible a los objetivos de sostenibilidad. 	O Oportunidades <ul style="list-style-type: none"> • Financiación procedente de fondos europeos. • Clima favorable en gran parte del territorio español, con alta irradiancia media anual. • Oportunidad de estandarizar instalaciones en todos los acuartelamientos, reduciendo así costes. • Posibilidad de incorporar baterías o sistemas híbridos. • Alto interés de la AGE de implantar medidas de eficiencia energética como esta.
POSITIVAS		

Figura 30. Análisis DAFO-Sistema de paneles fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia.

A destacar de este sistema entre sus debilidades más importantes están la necesidad de estructuras capaces de sostener estos paneles, algo que se podría solucionar como en ‘Los Rodeos’ aprovechando para reformar las estructuras existentes y así modernizar las infraestructuras, y la incapacidad de hacer un uso útil de los excedentes de producción, relacionada además con la no coincidencia de los picos de producción con los picos de demanda. Una opción que solucionaría ambas sería el uso de baterías. Respecto a las



amenazas, la lentitud de tramitación de proyectos puede provocar que algunos cuarteles se queden descolgados de aquellos que ya tienen medidas de eficiencia energética y la dependencia de la luz solar puede provocar que en algunos cuarteles sea necesario una mayor cantidad de paneles fotovoltaicos para seguir cubriendo una parte importante de la demanda energética. Las fortalezas más relevantes son la gran cantidad de edificios y tinglados en los cuarteles que aumentarían las posibilidades de que alguno de ellos pueda albergar los paneles, la coincidencia de la demanda energética con la producción solar y la gran reducción de energía demandada por el cuartel. Y por último respecto a las oportunidades destacan la financiación europea a este tipo de proyectos que lo hace extensible al resto de cuarteles y medidas de este tipo, el clima favorable en casi cualquier parte del territorio nacional, y la oportunidad de estandarizar instalaciones que abarate los costes de obtención del material necesario.

- Mejora de la envolvente térmica

Análisis DAFO – Mejora de la envolvente térmica

	INTERNAS	EXTERNAS
NEGATIVAS	<p>D Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impacto limitado sobre el total del consumo energético del acuartelamiento, al aplicarse a día de hoy como norma general en edificios de alojamientos. • No genera energía renovable, solo reduce pérdidas • Inversión inicial significativa para el ahorro energético moderado que representa. 	<p>A Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mal uso de los usuarios al dejar ventanas abiertas puede producir que no sirva de nada. • Menor ahorro energético para acuartelamientos con climas cálidos. • Riesgo de ejecución deficiente si no se asegura control técnico o supervisión adecuada durante la instalación (reduciendo el ahorro energético). • Posible falta de continuidad de realización de proyectos, que impediría extender la medida al resto de edificios.
POSITIVAS	<p>F Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción del 63 % de las pérdidas térmicas a través de las ventanas disminuyendo el consumo de climatización. • Bajo mantenimiento y alta durabilidad. • Contribuye directamente a mejorar las condiciones de vida del personal destinado en el alojamiento • Compatibilidad con edificios existentes, sin necesidad de grandes reformas estructurales. 	<p>O Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Medida replicable para el resto de edificios del acuartelamiento o de otros cuarteles. • Disponibilidad de financiación europea. • Reducción de emisiones indirectas de CO₂ de las instalaciones del Ejército al disminuir la demanda energética de climatización. • Revalorización y modernización del parque edificatorio militar.

Figura 31. Análisis DAFO-Mejora de la envolvente térmica. Fuente: Elaboración propia.

La mejora de la envolvente térmica tiene como debilidades más importantes un impacto limitado sobre el ahorro energético del acuartelamiento, ya que las bases que han implementado estas medidas solo lo han hecho en algunos edificios. Respecto a las amenazas las más importantes son el mal uso de los usuarios que puede provocar la inutilidad del aislamiento y la menor efectividad para acuartelamientos donde hay climas cálidos. Como fortalezas tenemos una reducción del 63% de las pérdidas térmicas en los edificios que se aplica, mejora de las condiciones de vida de los usuarios y que es una medida aplicable a casi cualquier edificio existente. Y como oportunidades más relevantes están que es una medida replicable en cualquier cuartel del Ejército y como en otras medidas la existencia de financiación europea.

- Medidas relacionadas con la iluminación de los acuartelamientos



Análisis DAFO – Medidas relacionadas con la iluminación de los acuartelamientos

	INTERNAS	EXTERNAS
NEGATIVAS	<p>D Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inversión inicial que puede ser significativa si se sustituyen luminarias en todo el acuartelamiento a la vez. • Dependencia de la calidad de los sensores y de su correcta calibración, lo que afecta al rendimiento real. • Escasa contribución a la autonomía energética, ya que la medida solo reduce el consumo eléctrico, no lo genera. 	<p>A Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de mala aceptación inicial si los sensores generan apagados inesperados o molestias al personal. • Falta de seguimiento o mantenimiento posterior, que puede provocar fallos de sensores o pérdida de eficiencia. • Limitaciones de ejecución proyectos que retrasen la expansión del sistema a todos los edificios.
POSITIVAS	<p>F Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción sustancial del consumo energético en iluminación, gracias a la combinación de luminarias LED y sensores de presencia y luminosidad. • Instalación rápida y poco invasiva, sin afectar la operatividad del acuartelamiento. • Vida útil prolongada de los equipos LED (hasta 100.000 h) y reducción del mantenimiento por fallos o sustituciones. • La instalación de sensores es una medida automatizada que no depende de la ejecución o no del usuario. 	<p>O Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Madurez y abaratamiento de la tecnología LED y de sensores, con amplia disponibilidad en el mercado. • Fácil replicabilidad en todos los acuartelamientos. • Posibilidad de financiación a través de programas públicos de eficiencia energética.

Figura 32. Análisis DAFO-Medidas relacionadas con la iluminación de los acuartelamientos. Fuente: Elaboración propia.

En este DAFO se analizan conjuntamente las medidas relacionadas con la iluminación, es decir la instalación de sensores e iluminación LED. En cuanto las debilidades destacan que la inversión puede ser significativa si se aplican las medidas en todo el cuartel a la vez y la dependencia de una buena calidad y calibración de los sensores. Como amenazas reseñables está el riesgo de una mala aceptación inicial si los sensores no funcionan correctamente, la desregulación de los sensores por falta de mantenimiento y una falta de proyectos para aplicar estas medidas en la totalidad de un cuartel. Ya en el apartado de fortalezas las más importantes son la reducción sustancial del consumo energético con la combinación de estas dos medidas, la instalación rápida y que los sensores automatizan de tal forma que no hay dependencia de la ejecución por parte del usuario o no. Y por último de la oportunidades destaca que la tecnología LED está suficientemente desarrollada y que esta medida se puede reproducir fácilmente en todos los acuartelamientos.

- Aerotermia

Análisis DAFO – Aerotermia

	INTERNAS	EXTERNAS
NEGATIVAS	<p>D Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento dependiente de la temperatura exterior: menor eficiencia en climas fríos o muy húmedos. • Necesidad de espacio interior para acumuladores y bombas de calor. • Mantenimiento técnico especializado (revisiones periódicas de refrigerante y compresores). 	<p>A Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Competencia de tecnologías más eficientes (geotermia, híbridas, biomasa). • Necesidad de técnicos cualificados en mantenimiento. • Climas extremadamente cálidos o fríos pueden requerir apoyo auxiliar. • Variabilidad del coste eléctrico, que puede afectar al ahorro económico esperado.
POSITIVAS	<p>F Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta eficiencia energética: el sistema puede suministrar hasta 2,6 veces más energía térmica de la que consume en electricidad. • Contribución renovable significativa (= 60–65 %) al aprovechar la energía ambiental del aire. • Reducción directa de consumo de combustibles fósiles y de emisiones de CO₂. • Sustituye sistemas solares térmicos o calderas obsoletas, mejorando la fiabilidad y el rendimiento. • Tecnología madura y reconocida como renovable. 	<p>O Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integración sinérgica con otras medidas renovables, especialmente paneles fotovoltaicos y sistemas de baterías. • Posibilidad de replicación en todo el parque de acuartelamientos, adaptando la potencia según necesidades. • Mejora de la autosuficiencia energética y la resiliencia operativa de las bases militares. • Subvenciones y financiación disponibles (fondos europeos).

Figura 33. Análisis DAFO-Aerotermia. Fuente: Elaboración propia.



Respecto a la aerotermia en sus debilidades más importantes están el rendimiento dependiente de la temperatura exterior, haciendo que con climas muy fríos tenga menor eficiencia y un mantenimiento técnico especializado. Como amenazas destacan la competencia de tecnologías más eficientes y la dependencia del coste eléctrico. Sus fortalezas reseñables son su alta eficiencia energética y su contribución renovable significativa y que representa una reducción directa del consumo de combustibles fósiles. Y en cuanto a sus oportunidades destacan su capacidad de integración con renovables y la posibilidad de replicación de esta medida en todos los cuarteles.

- Central de biomasa.

Análisis DAFO – Central de Biomasa

	INTERNAS	EXTERNAS
NEGATIVAS	<p>D Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elevada inversión inicial, con un periodo de amortización estimado en 12 años. • Dependencia de un suministro constante de biomasa de calidad, que requiere logística y almacenamiento adecuados. • Generación de residuos sólidos (cenizas) que deben gestionarse correctamente. 	<p>A Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Volatilidad en el precio o disponibilidad de la biomasa, especialmente en épocas de alta demanda. • Riesgos logísticos o de suministro en bases aisladas o alejadas de centros de producción forestal. • Riesgo de obsolescencia de equipos o de falta de técnicos especializados en mantenimiento de calderas de biomasa industriales.
POSITIVAS	<p>F Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sustitución integral de sistemas térmicos dispersos por una central unificada de biomasa, aumentando la eficiencia operativa y reduciendo el mantenimiento. • Uso de biomasa local (astilla) como combustible renovable y autóctono, con balance neutro de emisiones de CO₂. • Importante reducción del gasto económico anual (= 74 % de ahorro en combustible respecto a la situación inicial). • Sistema híbrido y seguro, con respaldo mediante calderas de gas de 500 kW para picos de demanda o mantenimiento. 	<p>O Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de replicación en otras bases con sistemas térmicos antiguos (propano o gasóleo), aprovechando economías de escala. • Disponibilidad de ayudas y subvenciones nacionales y europeas. • Fomento de empleo local y aprovechamiento de recursos forestales en zonas rurales cercanas a los acuartelamientos. • Posibilidad de reducción drástica de emisiones si se aplica a nivel Ejército.

Figura 34. Análisis DAFO-Central de Biomasa. Fuente: Elaboración propia.

La central de biomasa como medida de eficiencia energética presenta unas debilidades reseñables como son la elevada inversión inicial (periodo de amortización de 12 años en la base ‘Base Conde de Gazola’), la dependencia del suministro de biomasa y la generación de residuos. En cuanto a las amenazas destacan la volatilidad en el precio y los riesgos de suministro en algunas zonas de España. Respecto las fortalezas destacan la sustitución del sistema anterior por una central más eficiente y facilitando su mantenimiento, la reducción de emisiones y el importante ahorro económico. Por último las oportunidades más importantes son la posibilidad de replicación en otras bases y la posibilidad de la reducción drástica de emisiones si se aplica a nivel Ejército.

- Geotermia



Análisis DAFO – Geotermia

	INTERNAS	EXTERNAS
NEGATIVAS	<p>D Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> Alta inversión inicial, especialmente por la perforación del terreno y la instalación del circuito geotérmico. Requiere estudios previos de viabilidad geológica y geotécnica, lo que eleva los costes y plazos. No apta en todos los terrenos o zonas, dependiendo de la conductividad térmica del subsuelo. Dependencia de energía eléctrica para el funcionamiento de las bombas de calor. 	<p>A Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> Escasez de empresas especializadas en geotermia a gran escala en el sector público. Posibles dificultades de mantenimiento al ser muy especializado. Riesgo de sobrecostes o retrasos derivados de imprevistos geológicos. Fluctuaciones en los precios de la electricidad, que afectan al ahorro económico neto del sistema.
POSITIVAS	<p>F Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> Máxima eficiencia energética entre las bombas de calor, con un rendimiento medio estacional (COP) de hasta 3,4, superior a la aerotermia (≈2,6). Aprovechamiento de un recurso renovable constante y predecible, independiente de las condiciones climáticas, con suministro estable durante todo el año. Reducción drástica del consumo de combustibles fósiles y de las emisiones de CO₂ asociadas. Vida útil elevada de los intercambiadores geotérmicos (superior a 25 años). 	<p>O Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> Amplia disponibilidad de recursos geotérmicos de baja temperatura en gran parte del territorio nacional. Posibilidad de combinar geotermia con energía solar o biomasa, creando sistemas híbridos de alta eficiencia. Acceso a financiación europea y nacional para proyectos de energías renovables.

Figura 35. Análisis DAFO-Geotermia. Fuente: Elaboración propia.

La geotermia tiene como debilidades destacables la necesidad de alta inversión inicial, la necesidad de estudios previos para su implantación y que no es apta para todos los terrenos. Las amenazas más relevantes son la escasez de empresas especializadas en la geotermia y la posibilidad de dificultades en su mantenimiento. Como fortalezas reseñables su gran eficiencia energética de hasta 3,4 de rendimiento medio estacional, superior al de la aerotermia, que es una medida renovable constante, independiente y con suministro estable todo el año y que produce una reducción drástica del consumo de combustibles fósiles. Y las oportunidades más importantes son la amplia disponibilidad de recursos geotérmicos en gran parte del territorio nacional y la posibilidad de combinar esta medida con otras fuentes de energía renovable.

- Energía eólica a pequeña escala

Análisis DAFO – Energía eólica a pequeña escala

	INTERNAS	EXTERNAS
NEGATIVAS	<p>D Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> Producción intermitente y dependiente del régimen de vientos locales. Necesidad de estudios previos de viento y emplazamiento (altura, obstáculos, turbulencias). Nivel sonoro y posibles vibraciones, que pueden limitar su ubicación. 	<p>A Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> Menor eficiencia en zonas interiores o de baja velocidad media de viento. Competencia de otras tecnologías más consolidadas (solar + baterías) con menor coste y complejidad. Riesgo de daños por fenómenos meteorológicos extremos (rachas fuertes o tormentas). Falta de experiencia previa del Ejército en este tipo de tecnología.
POSITIVAS	<p>F Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> Aprovechamiento de un recurso natural disponible y complementario a la energía solar. Posibilidad de generación eléctrica especialmente durante las horas nocturnas o en días nublados, mejorando la estabilidad del suministro renovable. Instalación modular y escalable, pudiendo combinar varios aerogeneradores de hasta 100 kW para cubrir una parte importante de la demanda de un cuartel. Sin emisiones durante su funcionamiento. 	<p>O Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> Potencial elevado en zonas del territorio con recurso eólico alto, como la cuenca del Ebro, Galicia y zonas costeras atlánticas o mediterráneas. Existencia de fabricantes nacionales de minieólica, lo que facilita el suministro y mantenimiento. Aplicabilidad a acuartelamientos aislados o en territorios insulares. Posibilidad de integración con sistemas fotovoltaicos y de almacenamiento para dar total autonomía a los cuarteles. Acceso a ayudas públicas y fondos europeos.

Figura 36. Análisis DAFO-Energía eólica a pequeña escala. Fuente: Elaboración propia.



Respecto a la energía eólica a pequeña escala sus debilidades más importantes son la producción intermitente dependiente del régimen de viento y necesidad de estudios previos para su emplazamiento que dependiendo de las características del cuartel podría descartar su instalación (falta de espacio, proximidad de viviendas...). Las amenazas más reseñables son las zonas con menores eficiencias, riesgos de daños por fenómenos meteorológicos y la falta de experiencia previa en acuartelamientos del Ejército. Como fortalezas destacables están el aprovechamiento de un recurso disponible y complementario a la energía solar, la posibilidad de generación en diferentes horas a la generación de la solar e posibilidad de instalación modular modificable según las necesidades. Por último respecto a las oportunidades, las más importantes son el potencial elevado en determinadas zonas del territorio nacional, existencia de industria nacional y la posibilidad de integración junto con energía sola y baterías.

- Sistema de baterías

Análisis DAFO – Sistema de baterías

	INTERNAS	EXTERNAS
NEGATIVAS	<p>D Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dependencia de la producción de excedente de la energía renovable del cuartel. • Elevado coste inicial de inversión. • Requiere de espacio destinado exclusivamente a estas. • Necesidad de infraestructura eléctrica adicional. • Mantenimiento especializado y sustitución de partes de la batería con el tiempo. 	<p>A Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evolución tecnológica acelerada que puede producir obsolescencia. • Riesgos de seguridad y normativos. • Existencia de prioridad de cubrir más partes de la demanda con más fuentes renovables antes de usar las baterías. • Dependencia de la cadena suministro internacional (escasez de baterías) • Lentitud administrativa en la aprobación de proyectos
POSITIVAS	<p>F Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la independencia energética respecto a la red eléctrica, alcanzando potencialmente la autosuficiencia. • Optimización del uso de energía renovable, al permitir almacenar el excedente diario no consumido. • Sistema modular y escalable, que permite ampliar la capacidad fácilmente. • Reducción de picos de demanda y posibilidad de estabilizar la red interna del acuartelamiento. • Integración sencilla con instalaciones fotovoltaicas ya existentes y futuras ampliaciones. 	<p>O Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rápida evolución tecnológica para su adquisición en un futuro. • Disponibilidad de ayudas y subvenciones públicas. • Complementariedad con otras fuentes renovables. • Reducción de la necesidad de grupos electrógenos como fuente principal en caso de emergencia.

Figura 37. Análisis DAFO-Sistema de baterías. Fuente: Elaboración propia.

De este sistema se puede destacar como debilidades, la dependencia de la producción de excedente de la energía renovable de cada cuartel, ya que actualmente al no haber instaladas en los cuarteles una gran cantidad de fuentes de energías renovables los excedentes son aún muy bajos, y el elevado coste actual de inversión. En cuanto a las amenazas a día de hoy es una tecnología en la que se está avanzando mucho y lo que se pueda adquirir en estos momentos puede quedar obsoleto en muy poco tiempo, destacar también la actual escasez de baterías y que a día de hoy es una prioridad seguir cubriendo más demanda con más renovables o de distinto tipo y las baterías serían útiles para una vez ejecutado esto conseguir el 100% de autonomía. Como fortalezas más relevantes están el aumento de la independencia respecto a la red general, la optimización del uso de energía renovable y su sistema modular de fácil integración con energías renovables. Y respecto a las oportunidades, tenemos sobretodo la rápida evolución tecnológica a la hora de adquirirlo en un futuro.

4.5. Propuesta final de línea de acción

Una vez conocidos los puntos fuertes y débiles de cada medida se procederá a proponer una línea de acción para los acuartelamientos del ET, la cual no podrá ser común y general a todos los cuarteles, puesto que cada uno de estos tiene sus propias particularidades.

Para comenzar se clasificarán las medidas según su utilidad, distinguiendo cuatro tipos: de generación de energía eléctrica, de reducción del consumo, de producción de ACS y



climatización y de consecución del 100% de autonomía mediante las baterías. En cuanto a la generación de energía eléctrica tenemos principalmente dos medidas que son los paneles fotovoltaicos y la energía eólica, y además la geotermia que también podría ser usada para la generación de energía eléctrica en unas pocas zonas de España. Con estas medidas se procedería a sustituir el suministro eléctrico de la red general dando autonomía energética a los acuartelamientos. Autonomía que se puede llegar a conseguir al 100% con el siguiente tipo de medida y para la que se usaría las baterías. El siguiente tipo de medidas es el enfocado a reducir el consumo energético de los acuartelamientos y se trataría de la mejora de la envolvente térmica y las medidas relacionadas con la iluminación, estas además deberían aplicarse en todos los cuarteles sin importar sus particularidades. Y por último las medidas enfocadas a la producción de ACS y climatización de los cuarteles, que serían la central de biomasa, geotermia y aerotermia, estas medidas producirán además un ahorro energético enorme.

Una vez agrupadas las medidas según su utilidad se procederá a explicar la propuesta de su uso. Hay que tener en cuenta que no es posible aplicar todo este tipo de medidas a la vez y que es un proceso progresivo y por fases, con el objetivo de que este tipo de medidas de eficiencia energética y sostenibilidad vayan llegando poco a poco a los cuarteles y puedan ganar progresivamente mayor autonomía energética. En primer lugar se tratarán las medidas enfocadas a reducir el consumo energético de los cuarteles, visualizando primero la Tabla 5 en la cual se resume esquemáticamente, para posteriormente seguir con su explicación.

Medida	Zonas de cuarteles donde mejor encaja	Motivo técnico principal
Mejora de la envolvente térmica	1-Prioridad alta: Mitad norte peninsular, Cuenca y Guadalajara 2-Prioridad media: Cataluña costera, Zaragoza, Madrid, Extremadura, Castilla-La Mancha (excepto Cuenca/Guadalajara), Baleares. 3-Prioridad baja: Levante, Andalucía, Murcia, Canarias, Ceuta y Melilla.	Mayor demanda de instalaciones bien aisladas a medida que subimos hacia el norte debido a climas más fríos y húmedos; los edificios con pérdidas térmicas son un mayor inconveniente en estas zonas.
Medidas de iluminación (LED + sensores)	Todos los cuarteles, priorizando los del norte de España.	En el norte hay menos horas solares anuales por lo tanto más horas de iluminación artificial.

Tabla 5. Resumen propuesta para la reducción del consumo energético de los cuarteles. Fuente: *Elaboración propia.*

La mejora de la envolvente térmica es una medida que debería ser aplicada en todos los cuarteles. Para ello se procederá a establecer un orden de preferencia según su situación geográfica y sus temperaturas medias. En primer lugar de preferencia se encuentran los cuarteles situados en la mitad norte de la Península Ibérica, incluyendo los acuartelamientos que puedan existir en las provincias de Cuenca y Guadalajara, y excluyendo de esta primera preferencia y pasando al segundo lugar de preferencia la zona de la costa Catalana y la provincia de Zaragoza, segundo lugar de preferencia que se completaría con los cuarteles de Extremadura, Madrid, Islas Baleares y el resto de Castilla-La Mancha, y en último lugar de preferencia los cuarteles situados en las zonas restantes coincidentes con el levante y sur de España. Además esta medida debería ser aplicada en todas las edificaciones que son usadas constantemente por usuarios, siendo prioritario su instalación en los alojamientos militares y en segundo lugar los edificios de oficinas y vestuarios. La segunda medida de este tipo que es la relacionada con la iluminación, medida que debería ser aplicada también en todos los cuarteles por su aporte al ahorro energético y debería priorizarse su implantación de norte a sur de España, debido al mayor uso de la iluminación en el norte de España por tener menos horas solares al año.

A continuación trataremos las medidas enfocadas a la producción de ACS y climatización de los cuarteles, para ello primero se visualizará la Tabla 6 en la que viene la propuesta esquematizada y a continuación se desarrollará su explicación.



Medida	Zonas de cuarteles donde mejor encaja	Motivo técnico principal
Central de biomasa	Costa atlántica norte (Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco), Navarra, Norte de Castilla y León (León, Palencia, Burgos y Soria).	Alta disponibilidad de biomasa local además de climas fríos, por lo tanto mayor rendimiento y menor coste logístico.
Geotermia	Valladolid, Madrid, La Rioja, Aragón, Cataluña, Cuenca, Guadalajara.	Zonas con recurso geotérmico útil y climas fríos donde la geotermia es altamente eficiente.
Aeroterminia	Andalucía, Murcia, Comunidad Valenciana, Canarias, Baleares, Ceuta y Melilla.	Mayor eficiencia de la aeroterminia en climas cálidos y templados; menor coste que la geotermia.
Aeroterminia o Biomasa (estudio específico)	Zamora, Salamanca, Ávila y Segovia	Clima frío pero sin recurso geotérmico por lo que se requiere análisis de coste entre biomasa y aeroterminia.

Tabla 6. Resumen propuesta para la producción de ACS y climatización. Fuente: Elaboración propia.

Para decidir la línea de acción en este aspecto es importante tener en cuenta que la aeroterminia es más eficiente en climas más cálidos, la disponibilidad de la biomasa y las zonas con mayores recursos geotérmicos. Es por lo anterior que nos decantaremos por la biomasa en los cuarteles de la costa atlántica norte de la península, Navarra y la zona norte de Castilla y León zonas con mayor disponibilidad de estos recursos y climas más fríos. Por la geotermia en zonas con también climas fríos como Valladolid, Madrid, La Rioja, Aragón, Cataluña, Guadalajara y Cuenca y que son zonas con recursos geotérmicos. Y por la aeroterminia en el sur, levante e islas debido a la eficiencia de la aeroterminia en climas cálidos frente al gran coste de inversión inicial de la geotermia, y las zonas restantes que son las tres provincias del sur de Castilla y León y Zamora las cuales no disponen de recursos geotérmicos y tienen clima frío se debería hacer un estudio particular sobre si sale más rentable instalar aeroterminia aunque sea menos eficiente o la biomasa y cubrir los gastos logísticos de su transporte hasta estas zonas. Además en el caso particular de los cuarteles de la provincia de Valladolid sería útil hacer otro estudio para saber si es más rentable la geotermia, por estar en una zona buena para este recurso, o también la biomasa.

Posteriormente se tratará la propuesta respecto a la generación de energía eléctrica comenzando por la tabla esquematizada número 7.

Medida	Zonas de cuarteles donde mejor encaja	Motivo técnico principal
Energía eólica a pequeña escala mayoritaria y Energía fotovoltaica complementaria	Costa gallega y cuenca del Ebro.	Son las zonas con mayores velocidades de viento a nivel nacional e irradiancia suficiente
Energía FV mayoritaria y eólica complementaria	Levante, costa sur, cuenca del Guadalquivir, Islas Canarias y Baleares, Ceuta, Melilla.	Mucho sol y viento moderado.
Energía FV predominante con pocos puntos eólicos	Interior peninsular, costa cantábrica, Huesca, Cataluña.	Irradiancia suficientemente buena y zonas con menores vientos del territorio.

Tabla 7. Resumen propuesta para la generación de energía eléctrica. Fuente: Elaboración propia.

Relacionado con esta medida hay que tener en cuenta que lo ideal es combinar dos métodos de generación, determinar cuáles son las zonas con mayor viento, ya vistas en el apartado 4.3.2, y que la eficiencia de los paneles fotovoltaicos es mayor cuanto más al sur de España se encuentren. Por esto mismo en esta memoria se propone que en los acuartelamientos de las zonas de la costa gallega y la cuenca del Ebro se use mayoritariamente producción eólica a pequeña escala junto con una pequeña parte de producción por paneles fotovoltaicos, debido a sus altas velocidades eólicas. Que en las zonas de la costa sur, levante, cuenca del Guadalquivir, islas, Ceuta y Melilla se combinen la generación eólica y la solar con un mayor porcentaje de esta última (en torno a un 70-80% solar y 20-30% eólica). Y en el resto del territorio nacional que coincide con el interior península, costa cantábrica, Huesca y Cataluña los acuartelamientos instalen mayoritariamente energía solar, debido a que aun en el caso de las zonas de menor irradiancia estos valores siguen siendo buenos para la producción de energía solar y estas zonas interiores son las de vientos más débiles (90-95% solar y 5-10% eólica), salvo en casos puntuales de



acuartelamientos que dispongan de mucho viento y no se pueda ver en reflejado en los mapas de datos. Además como hemos mencionado antes al ser una instalación progresiva y que conllevará bastante tiempo, se ganará la ventaja de que en el momento de aplicar el último método, que es el de conseguir el 100% de autonomía mediante las baterías, esta tecnología habrá sido desarrollada aún más, por lo que lo más probable es que ya no exista el riesgo de que lo instalado se quede obsoleto en poco tiempo. Por lo tanto esta medida se comenzaría a instalar una vez los acuartelamientos haya conseguido unos altos porcentajes autoabastecimiento energético, ayudando a estos a llegar a prácticamente el 100% de autonomía al disponer energía en reserva en los momentos que no haya producción renovable, aun así en los cuarteles no debería dejar de tener la opción de abastecerse de la red general para cuando haya algún tipo de incidencias. Los mapas de datos adicionales de irradiancia, temperatura media, horas solares anuales se pueden visualizar en el Anexo VI.

En conclusión esta es la línea de acción propuesta para los acuartelamientos del ET, que permitirá combinar un progresivo aumento de la autonomía energética con otro progresivo descenso de la demanda, debido a las medidas tratadas anteriormente. Además hay que tener en cuenta el posible desarrollo tecnológico no solo de las baterías, que puede hacer posible en un futuro nuevas opciones o materiales y tecnologías más eficientes.

5. CONCLUSIONES

Una vez realizado en esta memoria el objetivo principal de realizar una propuesta de línea de acción general para los acuartelamientos del ET, especificado en el apartado 2.1, hay que tener en cuenta que en este apartado también se establecen una serie de pasos previos hasta llegar a lograr ese objetivo final. Repasando esos pasos tomados hasta este punto, se inició una revisión de la normativa que impulsan este tipo de actuaciones enmarcadas en un proceso de transición hacia la sostenibilidad y eficiencia energética, a continuación, se comenzó a analizar la primeras medidas relacionadas con la eficiencia y la sostenibilidad, que son las aplicadas en el acuartelamiento 'Los Rodeos', para continuar con otras medidas que están siendo aplicadas en diferentes acuartelamientos del ET, y finalizar esta parte de análisis de medidas con futuras tendencias y tecnologías que aún no han sido implantadas en ningún cuartel del Ejército, para continuar con la comparación de las distintas medidas mediante un análisis DAFO de cada una, que ha permitido mostrar los puntos fuertes y débiles de cada una, para sobretodo saber en qué cuartel encajan mejor o serían menos útiles que otras.

Una de la primeras conclusiones y más importantes, como se ha visto a la hora de hacer una propuesta de línea de acción general para los acuartelamientos del ET, es que no es posible hacer una común replicable para todos estos, sino que debido a las particularidades de cada uno, es decir su climatología, situación geográfica, sus conexiones logísticas, su tipo de suelo, etcétera, tendrán una serie de medidas que combinadas serán la actuación ideal para que se avance en materia de sostenibilidad y eficiencia energética. Además una vez vistas todas las medidas y las consecuencias que suponen para el acuartelamiento en el que se instalan se puede concluir que su aplicación no debe estar solamente justificada por el cumplimiento de la normativa que obliga a tomar este tipo de medidas, sino que su ejecución realmente implica una gran cantidad de ventajas ya comprobadas como son la mejora de la eficiencia energética de los cuarteles lo cual supone un menor gasto económico para el Ejército en electricidad, gas y combustibles, y da autonomía y seguridad energética a los cuarteles respecto a la red eléctrica general, lo cual es indispensable para mejorar la operatividad y disponibilidad de las instalaciones militares encargadas de la defensa de España. Una mejora de la comodidad y bienestar de los usuarios de las bases, ya sea por la mejora en los sistemas de ACS mayoritariamente anticuados y con fallos en la mayoría de acuartelamientos, la mejora del aislamiento de los alojamientos militares proporcionando mayor confort o la mejora de la iluminación. La reducción de emisiones de gases de tipo invernadero como CO₂ lo cual es beneficioso para el medioambiente y da una buena imagen de las FAS ya que muestra compromiso en actuar contra el cambio climático y mejorar su impacto ambiental.



Asimismo, volviendo a la aplicación de las medidas, es indispensable conocer la situación actual de este tipo de proyectos, la cual es que se están ejecutando varios de estos en diferentes acuartelamientos, sobretodo impulsado por los fondos europeos NextGenerationEU, el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y el Plan de transición energética de la Administración General del Estado, pero que en muchos otros aún no se ha comenzado a aplicar algunas de estas medidas y dónde se aplican estos proyectos su ejecución suele demorarse y durar varios años. Por lo que se puede concluir que cuando se ha diseñado la línea de acción, se ha tenido en cuenta que la aplicación de las medidas será muy progresiva y por diferentes fases dentro de cada acuartelamiento, ya que hay que garantizar que este tipo de medidas vayan llegando a todos los cuarteles al mismo tiempo, y esto dificulta que a día de hoy se consiga que un cuartel llegue al 100% de autonomía energética o de medidas de eficacia y sostenibilidad aplicadas. Pero esto puede suponer una gran ventaja ya que mientras se van cubriendo partes de la demanda energética con medidas de este tipo por todos los acuartelamientos, da tiempo a que otras medidas como la baterías, que está destinadas específicamente a conseguir ese 100% de autonomía energética, se desarrollen aún más al no ser una tecnología aún madura y desarrollada.

Otra ventaja a destacar es que la gran complementariedad de todo este tipo de medidas que se ha visto en esta memoria, haciendo que los objetivos se consigan de una forma más sencilla, y que haya una gran cantidad de formas de aplicar estas medidas, produciendo que no haya dos cuarteles exactamente iguales en el tipo y cantidad de estas medidas aplicadas. También se ha visto que estas medidas implican una gran inversión inicial y que el plazo de amortización puede estar en torno a los 12-13 años, pero que los beneficios y ahorros que traen hacen que valga la pena y más aún después de estar fomentado por fondos europeos. Asimismo, se ha visto que otro aspecto que es una ventaja a la hora de realizar estos proyectos es que también permite modernizar instalaciones existentes en los acuartelamientos, tal como edificaciones o tinglados, otro punto más a su favor y del cual se puede obtener un beneficio mayor. En definitiva, se ha cumplido el objetivo principal de proponer una línea de acción para el ET en materia de eficiencia energética y sostenibilidad en sus instalaciones, la cual además muestra que su ejecución nos daría una gran cantidad de beneficios y ventajas sobre todo relacionadas con la autonomía energética y el ahorro económico, haciendo que su aplicación merezca la pena y mucho para que se destinen una cantidad de los esfuerzos en este fin.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] News letters The Energy, 'Las inversiones en energía basada en combustibles fósiles representaron menos de una séptima parte de las inversiones totales en energía en 2024', [Imagen]. [Consultado el 17-09-2025]. Disponible en: <https://newsletters.theenergy.co/posts/the-good-and-the-bad-news-on-clean-energy>
- [2] M. Garzón Juan, "La eficiencia energética en la base Gabriel de castilla (Antártida)", Memorial del arma de ingenieros, Núm. 107, pp. 7-24, julio 2021.
- [3] Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea, (25, oct. 2012), Directiva Europea 2012/27/UE, relativa a la eficiencia energética, [Internet]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf>
- [4] Jefatura del Estado, (21, may. 2021), Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, [Internet]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-8447
- [5] Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática, (3, jun. 2021), Real Decreto 390/2021, de 1 de junio, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, [Internet]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2021-9176>
- [6] Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática, (26, may. 2022), Orden PCM/466/2022, de 25 de mayo, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 24 de mayo de 2022, por el que se aprueba el plan de medidas de ahorro y eficiencia energética de la Administración General del Estado y las entidades del sector público institucional estatal, [Internet]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-8563
- [7] Ministerio de Defensa, (9, ago. 2011), la Instrucción 56/2011 de 3 de Agosto del Subsecretario de Defensa sobre la sostenibilidad Ambiental y eficiencia energética en el ámbito del Ministerio de Defensa, [Internet]. Disponible en: https://www.defensa.gob.es/medioambiente/Galerias/formacion/ficheros/Instruccion_56_2011.pdf
- [8] Subsecretaría de Defensa, (jun. 2025), Política de gestión energética.
- [9] Ministerio de Defensa, (dic. 2020), la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa ETID 2020 de la Secretaría de Estado de Defensa, [Internet]. Disponible en: [Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa ETID - 2020](https://www.defensa.gob.es/medioambiente/Galerias/formacion/ficheros/Estrategia_de_Tecnologia_e_Innovacion_para_la_Defensa_ETID_-_2020.pdf)
- [10] P. Lázaro Zamacola, 'Proyecto modificado "MDEF074" actuaciones varias de mejora de la eficiencia energética en el acuartelamiento 'Los Rodeos'', Comandancia de obras nº 5, octubre 2024.
- [11] Universidad Europea, "Eficiencia energética: qué es, ventajas y aplicaciones | Blog UE". [Internet]. [Consultado el 19 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://universidadeuropea.com/blog/eficiencia-energetica/>
- [12] EficienciaNow, "Sostenibilidad Energética: Un Enfoque para un Futuro Sostenible". [Internet]. [Consultado el 19 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://eficiencianow.com/sostenibilidad-energetica/sostenibilidad-energetica-para-un-futuro-sostenible/>
- [13] Iberdrola. '¿Qué es la transición energética?'. [Internet] [Consultado el 1 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/transicion-energetica>
- [14] Iberdrola. 'Aerotermia: ventajas, beneficios y aplicaciones'. [Internet] [Consultado el 15 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-aerotermia-y-bombas-de-calor>



- [15] Tecnigrado. "Aerotermia: Qué es y cómo funciona. [Internet] [Consultado el 18 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://www.tecnigrado.com/aerotermia-que-es/>
- [15] Iberdrola. 'Geotermia: qué es, cómo funciona y cuáles son sus ventajas'. Energía Geotérmica-Iberdrola. [Internet] [Consultado el 24 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-empresa/energias-renovables/energia-geotermica>
- [16] J. Revuelta, "Transición energética: entender el pasado para prever mejor el futuro". [Internet], El Periódico de la Energía. [Consultado el 28 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/transicion-energetica-entender-el-pasado-para-prever-mejor-el-futuro/>
- [17] Contenido - Ejército de Tierra. Dirección de infraestructura. [Internet] [Consultado el 21 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Madrid/diin/>
- [18] Contenido - Ejército de Tierra. Inspección General del Ejército. [Internet] [Consultado el 21 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Barcelona/ige/>
- [19] Ejército Del Aire, "Las Fuerzas Armadas invierten para ser eficientes energéticamente". [Internet]. [Consultado el 21 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://ejercitodelaireydelespacio.defensa.gob.es/EA/bacsi/noticias/bacsilarazon.html#gsc.tab=0>
- [20] Contenido - Ejército de Tierra. Dirección de infraestructura. [Internet] [Consultado el 28 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Madrid/diin/Organizacion/index.html>
- [21] Contenido - Ejército de Tierra. Dirección de infraestructura. [Internet] [Consultado el 28 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Madrid/diin/Localizacion/index.html>
- [22] Facebook-Itesal ventanas. [Imagen]. [Consultado el 20 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://www.facebook.com/photo/?fbid=1130409529088162&set=a.131380245657767>
- [23] Asociación Nacional de Industriales Aislantes e IDAE, 'Soluciones de acristalamiento y cerramiento acristalado', (feb. 2019), [Internet]. Disponible en: [Soluciones de acristalamiento y cerramiento acristalado](#)
- [24] Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España, "Valores climatológicos normales: Tenerife Norte Aeropuerto - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España". [Internet]. [Consultado el 21 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=C447A&k=coo>
- [25] Contenido - Ejército de Tierra. Mejoramiento de la eficiencia energética en los edificios de alojamientos en la Base «General Morillo» (Pontevedra), (14, dic, 2023) [Intranet] [Consultado el 21 de octubre de 2025]. Disponible en: http://intra.mdef.es/portal/intradef/Ministerio de Defensa/Ejercito de Tierra - _UCO/UCO/Subhome/Noticias/UCO:162?ContenidoDestacado uco 22 rcidContenido=09003a9980f02116&ContenidoDestacado uco 22 rc_portletAccion=com.mdef.intranet.portlets.contenidos.action.DetalleContenidoAction& state=maximized#:~:text=EFICIENCIA&text=ENERG%3%89TICA
- [26] Contenido - Ejército de Tierra. Finalización de la obra de mejora de eficiencia energética y la envolvente térmica sobre diferentes edificios e infraestructuras en la Base «Cid Campeador»(21, nov, 2023) [Intranet] [Consultado el 21 de octubre de 2025]. Disponible en: http://intra.mdef.es/portal/intradef/Ministerio de Defensa/Ejercito de Tierra - _UCO/UCO/Subhome/Noticias/UCO:357?ContenidoDestacado uco 22 rcidContenido=09003a9980ef3344&ContenidoDestacado uco 22 rc_portletAccion=com.mdef.intranet.portlets.contenidos.action.DetalleContenidoAction& state=maximized#:~:text=EFICIENCIA&text=ENERG%3%89TICA



- [27] Departamento de energía de los EE.UU. “Guía de sensores inalámbricos para ahorro energético en iluminación”, Programa federal de gestión de energía. [Internet] [Consultado el 21 de octubre de 2025]. Disponible en: [Wireless Occupancy Sensors for Lighting Controls: An Applications Guide for Federal Facility Managers](#)
- [28] I-DE Grupo Iberdrola. ‘Bombillas LED y otros tipos de bombillas de bajo consumo: ¿Cuáles son con las que consumen menos y más se ahorra?’. [Internet] [Consultado el 21 de octubre de 2025]. Disponible en: [¿Ahorro más con bombillas LED o con otras de bajo consumo? | i-DE - Grupo Iberdrola](#)
- [29] Contenido - Ejército de Tierra. La Base General Almirante aumenta la eficiencia energética con la instalación de farolas LED, (07, jun, 2021). [Intranet] [Consultado el 21 de octubre de 2025]. Disponible en: http://intra.mdef.es/portal/intradef/Ministerio de Defensa/Ejercito de Tierra - UCO/UCO/Noticias/Noticias/UCO:1234?renderizacionContenidos_uco_22_2idContenido=09003a9980c903ff&renderizacionContenidos_uco_22_2_portletAccion=com.mdef.intranet.portlets_contenidos.action.DetalleContenidoAction& state=maximized#:~:text=EFICIENCIA&text=ENERG%c3%89TICA
- [30] A. Arévalo Ruiz, “Proyecto modificado MDEF008. Obras de mejora energética en el Acto. ‘Puerto del Rosario’ TC 501-08/22”, Comandancia de obras nº 5, julio 2024.
- [31] J. M. GARCÍA DE MATEOS MORENO-ARRONES, “Proyecto de intervención en mejora de eficiencia energética y la envolvente térmica mediante actuaciones sobre diferentes edificios e infraestructuras”, Comandancia de obras nº 4, Plataforma de contratación del sector público. Julio 2023.
- [32] Contenido - Ejército de Tierra. Intervención en mejora de eficiencia energética y la envolvente térmica mediante actuaciones sobre diferentes edificios e infraestructuras en la base ‘Conde Gazola’ en León, (20, jun, 2023). [Intranet] [Consultado el 23 de octubre de 2025]. Disponible en: http://intra.mdef.es/portal/intradef/Ministerio de Defensa/Ejercito de Tierra - UCO/UCO/Subhome/Noticias/UCO:357?ContenidoDestacado_uco_22_rcidContenido=09003a9980e95568&ContenidoDestacado_uco_22_rc_portletAccion=com.mdef.intranet.portlets_contenidos.action.DetalleContenidoAction& state=maximized#:~:text=EFICIENCIA&text=ENERG%c3%89TICA
- [33] A. Calvo. “Defensa gastará 8 millones para calentar la base Conde de Gazola”. Diario de León. [Internet] [Consultado el 23 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://www.diariodeleon.es/leon/231003/1045618/defensa-gastara-8-millones-calentar-base-conde-gazola.html>
- [34] Generandi. “Producción de Biomasa en España: Una Oportunidad de Crecimiento - Generandi”. Generandi. [Internet] [Consultado el 28 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://generandi.com/es/produccion-biomasa-espana/>
- [35] P. Cobos. “Innovación cordobesa para la BLET con la climatización de Geointegral”. Diario Córdoba. [Internet] [Consultado el 24 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://www.diariocordoba.com/cordoba-ciudad/2025/10/20/ceco-detecta-interes-empresas-cordoba-122801664.html>
- [36] Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. “Geotermia | Idae”. Inicio | IDAE. [Internet] [Consultado el 24 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/geotermia?.html>
- [37] Tecnología y recursos de la tierra, S.A. “Evaluación del potencial de energía geotérmica”. IDEA. [Internet] [Consultado el 24 de octubre de 2025]. Disponible en: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e9_geotermia_A_db72b0ac.pdf
- [38] Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. “Metodología de cálculo de ahorro de energía final en el ámbito de la directiva de eficiencia energética instalación de bombas de calor”, Inicio | IDAE. [Internet] [Consultado el 24 de octubre de 2025]. Disponible en:



https://www.idae.es/sites/default/files/estudios_informes_y_estadisticas/Metodologia_IDAE_reporte_ahorros_art-8_DEE_Bombas_de_calor.pdf

[39] W. Hulshorst. “Manual Práctico de evaluación de una instalación de energía eólica a pequeña escala”. Leonardo ENERGY. [Internet] [Consultado el 25 de octubre de 2025]. Disponible en:

[google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjT56fz_7-QAxXY8LsIHbS4GtwQFnoECCMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.kimerius.com%2Fapp%2Fdownload%2F5780377038%2FManual%2Bpr%25C3%25A1ctico%2Benerg%25C3%25ADa%2Be%25C3%25B3lica.pdf&usq=AOvVaw0kxUGOdFuFYC8DK_g9zxYj&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjT56fz_7-QAxXY8LsIHbS4GtwQFnoECCMQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.kimerius.com%2Fapp%2Fdownload%2F5780377038%2FManual%2Bpr%25C3%25A1ctico%2Benerg%25C3%25ADa%2Be%25C3%25B3lica.pdf&usq=AOvVaw0kxUGOdFuFYC8DK_g9zxYj&opi=89978449)

[40] RYSE ENERGY – ENAIR. Especificaciones de rendimiento básicas del E-60 HAWT. Aerogeneradores medianos - RYSE ENERGY. [Internet] [Consultado el 25 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://www.ryse.energy/small-wind-turbines/60kw-wind-turbine>

[41] V. M. Romeo, M. V. Marzol. “Análisis del viento y la niebla en el aeropuerto de los rodeos (Tenerife). Cambios y tendencias”. Universidad de La Laguna. [Internet] [Consultado el 25 de octubre de 2025]. Disponible en: https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/16184/Analisis_del_viento_y_la_niebla_en_el_aeropuerto_Tenerife_Norte_-_Los_Rodeos_.pdf?sequence=1

[42] BBVA. “Energía minieólica: una alternativa para el pequeño consumidor”. BBVA NOTICIAS. [Internet] [Consultado el 25 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/energia-minieolica-una-alternativa-para-el-pequeno-consumidor/>

[43] GOODWE. Serie BAT 112 Sistema de baterías C&I | 112.6kWh. emea.goodwe.com.

[44] Divulgameteo. “Nubosidad y radiación solar en la Península Ibérica entre 1950 y 2050. De las evidencias observacionales a las simulaciones climáticas”. Divulgameteo. [Internet] [Consultado el 27 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://www.divulgameteo.es/Nubosidad-y-radiacion-solar-en-la-Peninsula-Iberica-entre-1950-y-2050-De-las-evidencias-observacionales-a-las-simulaciones-climaticas/>

[45] Instituto geográfico nacional. “Clima”. Atlas Nacional de España. [Internet] [Consultado el 27 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://atlasnacional.ign.es/wane/Clima>

[46] Milhaud. “Horas de sol al año en España (2020)”. Mapas Milhaud - Una colección de mapas. Accedido el 11 de noviembre de 2025. [Internet] [Consultado el 27 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://mapasmilhaud.com/mapas-geograficos/horas-de-sol-al-ano-en-espana-2020/>



Anexo I: Imagen cartel anuncio



Figura I.1. Cartel anuncio obras del PMEE en el acuartelamiento 'Los Rodeos'. Fuente: Elaboración propia.



Anexo II: Tablas consumo energético e irradiancia acuartelamiento los Rodeos

Demanda horaria tipo (kWh) en el Acuartelamiento 'Los Rodeos':

HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
0	36,332	42,895	44,290	38,536	43,367	39,378
1	36,332	42,895	44,290	38,536	43,367	39,378
2	36,332	42,895	44,290	38,536	43,367	39,378
3	36,332	42,895	44,290	38,536	43,367	39,378
4	36,332	42,895	44,290	38,536	43,367	39,378
5	54,498	64,343	66,435	57,805	65,050	59,067
6	72,664	85,791	88,580	77,073	86,733	78,756
7	108,996	128,686	132,870	115,609	130,100	118,134
8	145,328	171,581	177,160	154,146	173,466	157,512
9	145,328	171,581	177,160	154,146	173,466	157,512
10	145,328	171,581	177,160	154,146	173,466	157,512
11	145,328	171,581	177,160	154,146	173,466	157,512
12	127,162	150,133	155,015	134,878	151,783	137,823
13	108,996	128,686	132,870	115,609	130,100	118,134
14	90,830	107,238	110,725	96,341	108,416	98,445
15	90,830	107,238	110,725	96,341	108,416	98,445
16	72,664	85,791	88,580	77,073	86,733	78,756
17	72,664	85,791	88,580	77,073	86,733	78,756
18	72,664	85,791	88,580	77,073	86,733	78,756
19	54,498	64,343	66,435	57,805	65,050	59,067
20	54,498	64,343	66,435	57,805	65,050	59,067
21	36,332	42,895	44,290	38,536	43,367	39,378
22	36,332	42,895	44,290	38,536	43,367	39,378
23	36,332	42,895	44,290	38,536	43,367	39,378

HORA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
0	37,611	36,583	35,413	33,886	38,225	37,618
1	37,611	36,583	35,413	33,886	38,225	37,618
2	37,611	36,583	35,413	33,886	38,225	37,618
3	37,611	36,583	35,413	33,886	38,225	37,618
4	37,611	36,583	35,413	33,886	38,225	37,618
5	56,416	54,874	53,119	50,830	57,338	56,427
6	75,222	73,166	70,825	67,773	76,451	75,237
7	112,832	109,749	106,238	101,659	114,676	112,855
8	150,443	146,332	141,650	135,545	152,902	150,473
9	150,443	146,332	141,650	135,545	152,902	150,473
10	150,443	146,332	141,650	135,545	152,902	150,473
11	150,443	146,332	141,650	135,545	152,902	150,473
12	131,638	128,040	123,944	118,602	133,789	131,664
13	112,832	109,749	106,238	101,659	114,676	112,855
14	94,027	91,457	88,532	84,716	95,564	94,046
15	94,027	91,457	88,532	84,716	95,564	94,046
16	75,222	73,166	70,825	67,773	76,451	75,237
17	75,222	73,166	70,825	67,773	76,451	75,237
18	75,222	73,166	70,825	67,773	76,451	75,237
19	56,416	54,874	53,119	50,830	57,338	56,427
20	56,416	54,874	53,119	50,830	57,338	56,427
21	37,611	36,583	35,413	33,886	38,225	37,618
22	37,611	36,583	35,413	33,886	38,225	37,618
23	37,611	36,583	35,413	33,886	38,225	37,618

Tabla II.1. Demanda horaria tipo (kWh) en el Acuartelamiento 'Los Rodeos'. Fuente: [10].



Irradiancia global media diaria por horas W/m2 en los paneles del edificio de oficinas y almacén:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7:00	0,00	0,00	0,00	55,32	120,77	133,20
8:00	0,00	61,56	165,22	267,96	323,30	332,32
9:00	225,90	280,39	377,56	465,39	513,41	525,72
10:00	403,10	445,48	564,20	625,82	667,30	680,87
11:00	524,24	581,45	687,63	729,58	775,29	816,34
12:00	609,25	631,26	724,12	784,44	841,79	876,54
13:00	612,98	671,33	757,00	798,95	843,62	891,20
14:00	566,17	636,71	735,31	748,35	791,65	845,74
15:00	490,52	575,24	649,43	666,53	708,98	742,42
16:00	368,14	436,99	507,28	521,64	557,13	587,45
17:00	201,70	268,91	322,86	341,48	369,69	399,07
18:00	24,17	87,10	131,06	151,47	178,59	207,05
19:00	0,00	0,00	1,12	20,50	41,38	57,27
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7:00	104,52	67,73	23,94	0,00	0,00	0,00
8:00	317,14	284,99	246,95	203,48	108,50	26,74
9:00	530,93	507,50	452,39	406,18	294,57	235,45
10:00	723,29	713,66	629,00	564,11	441,55	383,85
11:00	875,29	872,99	730,88	650,89	541,59	492,04
12:00	967,71	958,17	796,65	664,26	577,11	544,70
13:00	988,28	972,68	818,02	658,64	563,32	541,24
14:00	938,32	905,15	740,65	592,72	499,11	501,32
15:00	825,13	792,82	643,78	505,34	435,07	427,03
16:00	650,43	616,66	480,62	363,88	301,85	293,91
17:00	440,81	403,72	295,94	194,84	137,26	141,08
18:00	227,60	188,32	108,18	31,69	0,82	0,56
19:00	58,02	40,38	2,76	0,00	0,00	0,00
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla II.2. Irradiancia global media diaria por horas W/m2 en los paneles del tinglado. Fuente: [10].



Irradiancia global media diaria por horas W/m² en los paneles del tinglado:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7:00	0,00	0,00	0,00	25,88	69,94	86,62
8:00	0,00	22,70	73,66	167,93	237,23	255,42
9:00	94,69	144,30	241,47	347,24	414,89	435,47
10:00	238,34	294,15	413,64	508,93	572,49	595,55
11:00	360,44	431,48	551,00	630,97	697,72	745,70
12:00	459,41	508,94	620,32	711,52	792,30	836,63
13:00	496,74	572,36	681,22	759,90	831,22	889,78
14:00	488,86	573,12	696,82	748,40	821,34	889,68
15:00	446,17	546,54	652,07	706,77	784,09	832,83
16:00	358,74	445,54	549,35	598,62	670,83	717,90
17:00	219,92	305,71	392,73	441,99	507,61	552,35
18:00	28,06	129,72	208,21	249,61	317,20	366,87
19:00	0,00	0,00	1,14	30,46	113,09	161,35
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7:00	33,97	14,07	14,07	0,00	0,00	0,00
8:00	185,49	139,46	139,46	89,16	41,06	10,36
9:00	377,58	316,38	316,38	250,83	164,11	107,57
10:00	574,29	488,81	488,81	406,32	298,68	237,41
11:00	746,53	610,71	610,71	514,74	410,47	347,28
12:00	865,53	702,15	702,15	562,69	468,57	419,32
13:00	927,60	757,37	757,37	590,35	484,17	445,00
14:00	914,58	724,18	724,18	560,02	452,23	434,12
15:00	858,46	670,65	670,65	505,89	414,55	390,18
16:00	730,75	544,83	544,83	394,74	309,75	287,32
17:00	547,90	382,23	382,23	243,66	161,94	155,49
18:00	327,37	187,10	187,10	54,57	0,83	0,57
19:00	91,06	2,82	2,82	0,00	0,00	0,00
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla II.3. Irradiancia global media diaria por horas W/m² en los paneles del edificio de oficinas y almacén. Fuente: [10].



Anexo III: Imágenes estructuras paneles fotovoltaicos

Tinglado:



Figura III.1. Paneles fotovoltaicos en el tinglado. Fuente: Elaboración propia.



Figura III.2. Vista general tinglado y paneles fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia.



Figura III.3. Diferente vista de paneles fotovoltaicos en el tinglado. Fuente: Elaboración propia.



Figura III.4. Interior de tinglado. Fuente: Elaboración propia.



Edificio multifunción de almacén aulas y despachos:



Figura III.5. Edificio multiusos zona aulas y despachos. Fuente: Elaboración propia.



Figura III.6. Diferente vista edificio multiusos zona aulas y despachos. Fuente: Elaboración propia.



Figura III.7. Edificio multiusos zona almacén. Fuente: Elaboración propia.



Figura III.8. Edificio multiusos vista zona almacén. Fuente: Elaboración propia.



Figura III.9. Vista lateral edificio multiusos. Fuente: Elaboración propia.

Inversor edificio multiusos:



Figura III.10. Inversor edificio multiusos. Fuente: Elaboración propia.



Anexo IV: Obras de mejora del aislamiento térmico del edificio de alojamiento logístico del personal militar

Instalación nuevas ventanas en el edificio:



Figura IV.1. Instalación nuevas ventanas edificio alojamiento. Fuente: Elaboración propia.



Figura IV.2. Vista general edificio alojamiento. Fuente: Elaboración propia.



Figura IV.3. Nuevas ventanas edificio alojamiento. Fuente: Elaboración propia.



Figura IV.4. Instalación nuevas ventanas parte trasera edificio alojamiento. Fuente: Elaboración propia.



Anexo V: Entrevista a Roberto Gómez de la empresa ElectroStocks

Esta entrevista ha sido realizada a Roberto Gómez de la empresa ElectroStocks, contacto facilitado por el Capitán Arévalo debido a que ha sido la empresa que ha proporcionado el material para la instalación fotovoltaica y junto con quien se planteó la posibilidad de instalar baterías.

P-¿Ha sido su empresa la encargada de la instalación de los paneles fotovoltaicos en el acuartelamiento 'Los Rodeos'?

R-No, nosotros ayudamos a la ingeniería y somos distribuidores del material.

P-¿Cree usted que sería útil la instalación de baterías en dicho acuartelamiento?

R-Excelente pregunta, una vez analicemos la producción y los consumos, sería la mejor opción, y de ser necesario ampliar las plantas existentes para conseguir el 100% de independencia de red eléctrica y dejar solo los grupos como sistemas auxiliares secundarios.

P-¿Servirían para almacenar la energía excedente de los paneles fotovoltaicos para poder gastarla en otro momento, o sería para guardar energía de la red general y usarla en caso de apagón y poder sustituir así los grupos electrógenos? Si la misión fuese otra diferente y pudiese indicarla.

R-La idea es dejar los grupos como sistemas de soporte auxiliar pero la idea es tener capacidad de acumular y ser autónomos la máxima cantidad de horas. Dependiendo de los consumos de cada base.

P-¿Cómo sería la instalación de estas baterías y cuanto espacio sería necesario para que le fuesen útiles a cualquier cuartel?

R-Disponemos de varios fabricantes, pero aproximadamente una batería son 112kwh y necesita 3x1m.

P-¿Cuánta energía serían capaces de almacenar?

R-Como comenté anteriormente, 112kwh es lo que se está estandarizando.

P-¿Sería rentable esta instalación para el acuartelamiento?

R-El tiempo de amortización se podrá calcular una vez tengamos todos los datos, más que buscar la rentabilidad estamos buscando la independencia y la autosuficiencia del acuartelamiento respecto a la red eléctrica.

P-Y por último ¿creo usted que el Ejército debería comenzar a instalar esta tecnología en sus cuarteles en el marco de la mejora de la eficiencia energética y sostenibilidad de estos?

R-Totalmente, al igual que en su día se apostó por sistemas de grupos para evitar fallos en los acuartelamientos, creo que sería necesario la instalación bien calculada de las plantas fotovoltaicas necesarias para la independencia de los cuarteles de las islas.



Anexo VI: Mapas de datos

- Mapa de irradiancia en España:

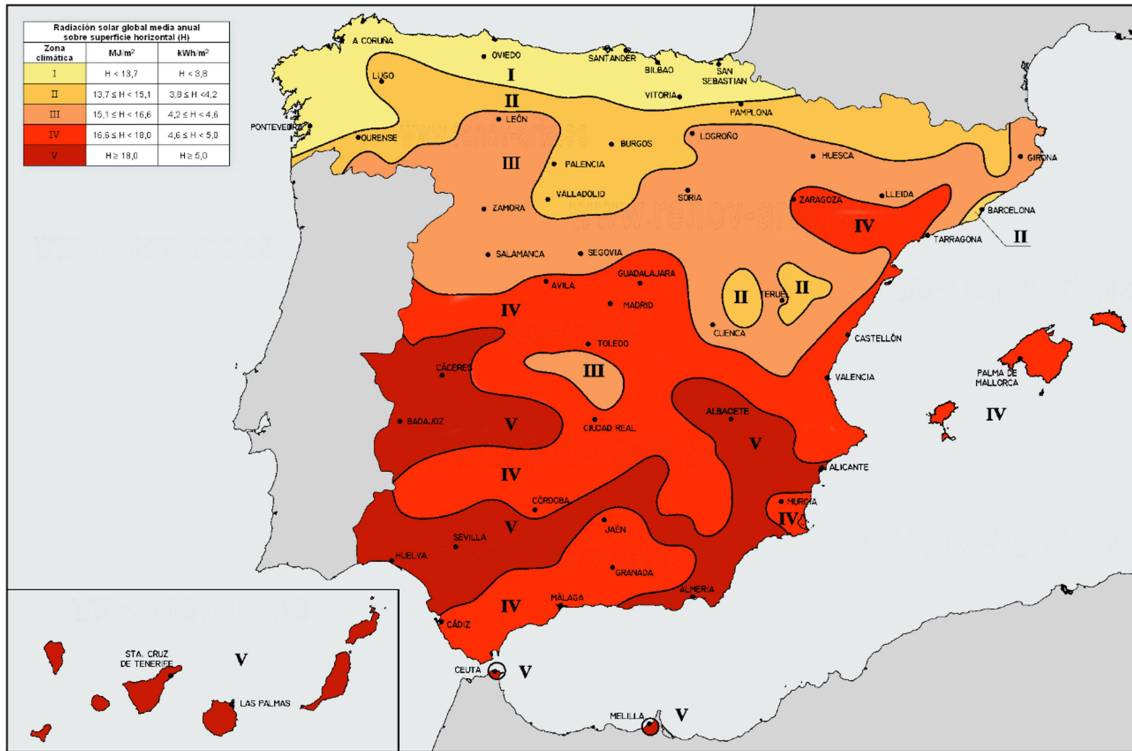


Figura VI.1. Mapa irradiancia España. Fuente: [44].

- Mapa de temperatura media anual es España:

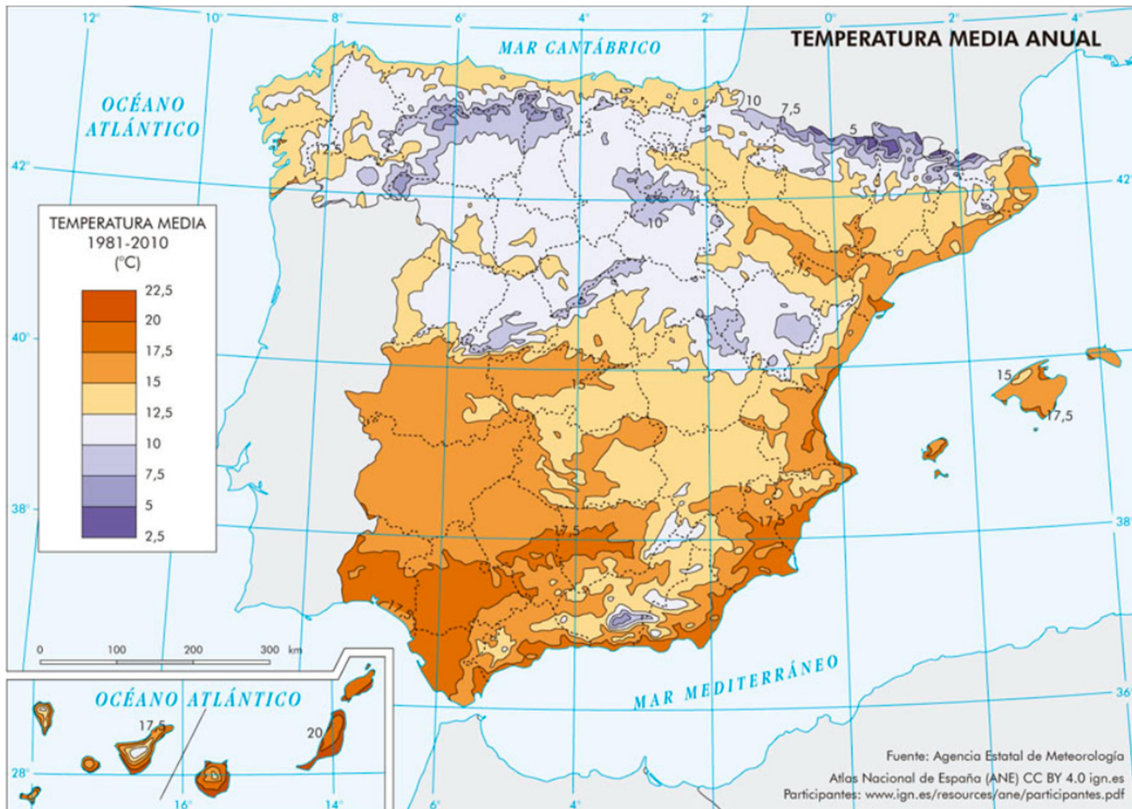


Figura VI.2. Mapa de temperatura media anual es España. Fuente: [45].



- Mapa horas solares en España:

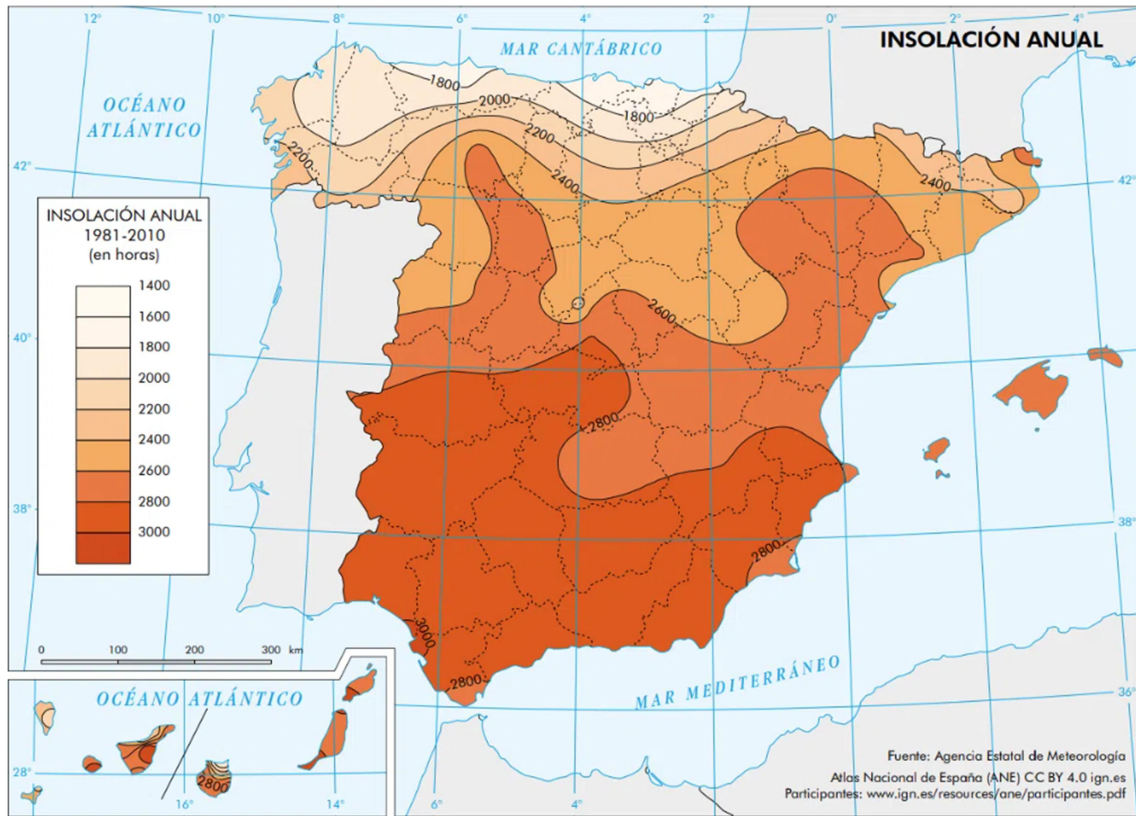


Figura VI.3. Mapa horas solares en España. Fuente: [46].