



Universidad
Zaragoza

Trabajo de Fin de Grado

Alternativas en la generación y suministro eléctrico para los
sistemas de mando y control del GACALEG

Autor

CAC. Francisco José Martín Sánchez

Directores

Cap. Gonzalo de la Plaza Hervías

Dra. María Isabel Fonts Amador

Centro Universitario de la Defensa - Academia General Militar

2017

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a todos los miembros del Grupo de Artillería de Campaña de la Legión por la ayuda recibida para poder realizar este proyecto. En especial, a todos los componentes de la batería de servicios de los que tanto he aprendido y disfrutado con ellos.

Así mismo, agradezco a la Dra. Isabel Fonts Amador y al Cap. Gonzalo de la Plaza Hervías su excepcional labor como directores académica y militar, respectivamente, siempre a mi disposición para aconsejarme y guiarme en el proyecto.

Por último, me gustaría mencionar a mis amigos David y Sergio, que junto con mi familia, han sido mi gran apoyo durante la realización de este proyecto.

RESUMEN

En este trabajo se propone una alternativa para el suministro eléctrico de los Sistemas de Mando y Control del Grupo de Artillería de Campaña II de la Legión (GACALEG II). En la introducción se establecen los objetivos y el alcance del proyecto, además de realizar una revisión de las condiciones climatológicas en la ubicación del GACALEG II y del estado del arte. En base a las condiciones climatológicas y a la revisión realizada, se toma la decisión de centrarse en las alternativas relacionadas con energías renovables y, en concreto, en un sistema híbrido compuesto por un grupo electrógeno, paneles solares y un aerogenerador. A continuación, se detallan los componentes del Sistema de Mando y control para poder establecer la demanda eléctrica del mismo, la cual deberá ser atendida por el sistema propuesto. El sistema propuesto se describe elemento a elemento, analizando sus ventajas e inconvenientes. Tras esto se realiza un estudio de viabilidad técnica, económica y medioambiental del sistema propuesto. Los resultados de estos estudios muestran que el sistema puede implementarse cumpliendo las necesidades tácticas, reduciendo el impacto medioambiental y ahorrando dinero a medio plazo. Finalmente, se exponen las conclusiones a las que se llega tras la finalización del proyecto y los trabajos futuros para que este sistema pudiera ser implementado en el GACALEG.

ABSTRACT

This project proposes an alternative for the electrical supply in Command and Control Systems of artillery battalion of the Legion. The objectives and the project scope are explained in the introduction, with a study of the weather and the location. Next, a review of the state of the art is presented. Thanks to this review, it is decided to focus on alternatives related to renewable energies, specifically, on a hybrid system which includes solar panels, a wind turbine and a generator. Then, the different components of the Command and Control Systems are detailed to set the electrical demand that must be attended by the hybrid system. The propose system and its elements are described and how they complement themselves. After that, a technical, economic and environmental study is carried out. The results show that the system may fulfil the technical requirements, reduce the negative environmental impact and also save money in medium term. Finally, the conclusion and the future lines are exposed in order to allow the system's implementation in the artillery battalion.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	2
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABLAS	4
LISTA DE ACRÓNIMOS	5
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	7
1.2. UBICACIÓN Y DATOS CLIMATOLÓGICOS.....	8
1.3. ESTADO DEL ARTE DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES	10
2. DEMANDA ELÉCTRICA DEL GRUPO	12
3. SISTEMA HÍBRIDO PROPUESTO	13
3.1. GRUPO ELECTRÓGENO.....	13
3.1.1. <i>Ventajas y desventajas de los Grupos electrógenos</i>	14
3.1.2. <i>Grupo electrógeno propuesto</i>	14
3.2. PANELES FOTOVOLTAICOS	14
3.2.1. <i>Ventajas y desventajas de los paneles fotovoltaicos</i>	15
3.2.2. <i>Paneles fotovoltaicos propuestos</i>	16
3.3. AEROGENERADORES	16
3.3.1. <i>Ventajas y desventajas de los aerogeneradores</i>	17
3.3.2. <i>Aerogenerador propuesto</i>	17
3.4. BATERÍAS RECARGABLES	18
3.5. CONTROLADOR DE CARGA.....	19
3.6. INVERSOR	20
3.7. FUNCIONAMIENTO COMBINADO	20
4. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD	21
4.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA.....	21
4.2. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL DE LA UNIDAD	22
4.3. ANÁLISIS DE RIESGOS	23
4.4. ANÁLISIS ECONÓMICO	28
4.5. ANÁLISIS DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	31
5. CONCLUSIONES, TRABAJOS FUTUROS Y VALORACION PERSONAL	32
5.1. PRINCIPALES CONCLUSIONES	32
5.2. TRABAJOS FUTUROS	33
5.3. VALORACIÓN PERSONAL.....	34
BIBLIOGRAFIA	35
ANEXO A: VISTAS DEL MATERIAL DE LA UNIDAD	37
ANEXO B: CLIMA	40
CLIMA DE ALMERÍA EN 2016	40
CLIMA EN OTROS LUGARES DE INTERÉS	45
ANEXO C: METODOLOGÍA PARA GESTIÓN DE RIESGOS	46
METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS DEL MINISTERIO DE DEFENSA.....	46
METODOLOGÍA AMFE	50

LISTA DE FIGURAS

SITUACIÓN DE LA BASE EN ALMERÍA [2]	8
CICLOS ANUALES MEDIOS EN ALMERÍA (1983-2005) [4]	9
IRRADIANCIA MEDIA GLOBAL (1983-2005) [4]	10
GRUPO ELECTRÓGENO DEL GACALEG	13
PANELES FOTOVOLTAICOS [9]	15
AEROGENERADORES [9]	16
BATERÍA RECARGABLE [9]	18
REGULADOR DE CARGA	19
INVERSOR	20
PRECIO MEDIO ACUMULADO EN 2017 EN ESPAÑA [15]	29
PRECIO MEDIO ACUMULADO ANUAL EN ESPAÑA [15]	29
BOCETO DE REMOLQUE INDEPENDIENTE	33
VISTAS DEL REMOLQUE [12]	37
VISTA LATERAL DEL ANÍBAL [13]	38
VISTA FRONTAL DEL ANÍBAL [13]	38
VISTAS DEL MAT 18.16 [18]	39
CLIMA DE FEBRERO 2016 DE ALMERÍA [19]	40
DE ARRIBA A ABAJO, GRÁFICOS RELATIVOS A LA TEMPERATURA, PRESIÓN BAROMÉTRICA, VELOCIDAD DEL VIENTO Y DIRECCIÓN DEL VIENTO EN FEBRERO DE 2016 [19]	41
CLIMA DE ABRIL DE 2016 DE ALMERÍA [19]	41
DE ARRIBA A ABAJO, GRÁFICOS RELATIVOS A LA TEMPERATURA, PRESIÓN BAROMÉTRICA, VELOCIDAD DEL VIENTO Y DIRECCIÓN DEL VIENTO EN ABRIL DE 2016 [19]	42
CLIMA DE JULIO DE 2016 DE ALMERÍA [19]	42
DE ARRIBA A ABAJO, GRÁFICOS RELATIVOS A LA TEMPERATURA, PRESIÓN BAROMÉTRICA, VELOCIDAD DEL VIENTO Y DIRECCIÓN DEL VIENTO DE JULIO DE 2016 [19]	43
CLIMA DE OCTUBRE DE 2016 DE ALMERÍA [19]	43
DE ARRIBA A ABAJO, GRÁFICOS RELATIVOS A LA TEMPERATURA, PRESIÓN BAROMÉTRICA, VELOCIDAD DEL VIENTO Y DIRECCIÓN DEL VIENTO EN OCTUBRE DE 2016 [19]	44
IRRADIANCIA DIRECTA MEDIA (1983-2005) [4]	44
ZONAS CLIMÁTICAS DE MALÍ [3]	45
MATRIZ DE ÍNDICE DE CRITICIDAD [23]	48

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE POTENCIA ELÉCTRICA EN EL FDC	12
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS	16
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL AEROGENERADOR	17
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÁSTIL	18
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS CONTROLADOR DE CARGA	19
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL INVERSOR	20
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL REMOLQUE [12]	22
TABLA 8. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ANÍBAL [13]	22
TABLA 9. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL GENERADOR DIÉSEL DG6000LE. [14]	23
TABLA 10. EVALUACIÓN RIESGOS EN DISEÑO	24
TABLA 11. EVALUACIÓN DE RIESGOS RELACIONADOS CON EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	25
TABLA 12. CLASES DE RIESGOS	26
TABLA 13. TABLA AMFE	27
TABLA 14. CONSUMO Y EMISIONES DEL ANÍBAL [13]	31
TABLA 15. PROBABILIDAD MATERIALIZACIÓN DEL RIESGO [21]	47
TABLA 16. IMPACTO DEL RIESGO [21]	47
TABLA 17. CLASIFICACIÓN DE LA GRAVEDAD DEL EFECTO [22]	51
TABLA 18. CLASIFICACIÓN DE PROBABILIDAD DE APARICIÓN [22]	51
TABLA 19. CLASIFICACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE DETECCIÓN [22]	52

LISTA DE ACRÓNIMOS

ACRÓNIMO	SIGNIFICADO
AMFE	Análisis modal de fallos y efectos
EUTM	<i>European union training mission</i> , misión de la Unión Europea de entrenamiento
FDC	<i>Fire director center</i> , centro director de fuegos
GACALEG	Grupo de artillería de campaña de la legión
GPS	<i>Global position system</i> , Sistema de posicionamiento global.
LED	<i>Light-emitting diode</i> , diodo emisor de luz.
NPR	Número de prioridad de riesgo
OTAN	Organización del Tratado Atlántico Norte
PEM	Pulso electromagnético
WIFI	<i>Wireless fidelity</i> , fidelidad inalámbrica

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia se ha demostrado que no solo la preparación, la disciplina o el número de soldados gana las batallas. Las legiones del antiguo imperio romano eran capaces de realizar duras marchas de más de 30 km diarios, cargando no solo con su equipo individual, sino que también portaban todo el material necesario para montar un campamento, que iban mejorando día a día. Los legionarios eran capaces de llevar con ellos todo lo necesario, no es de extrañar que esto ayudara a que su dominio se extendiera durante siglos. El ejército de Flandes se desplazó en su mayoría a través del Camino Español, una de las rutas logísticas más famosas de la historia, lo que permitió trasladar tropas y material a largo de 1000 km de forma segura [1].

La logística, si bien muchas veces olvidada, es vital para el mantenimiento de la operatividad de un ejército. El mando y el control sobre las unidades desplegadas es otro pilar básico en el orden de batalla. La importancia de los sistemas de mando y control se acrecienta si tenemos en cuenta que las tropas a las que se les manda están a kilómetros de distancia, especialmente en la artillería, donde entre los puestos de mando, las piezas de artillería, las unidades a las que apoyar y los objetivos a batir ni siquiera existe una línea de visión directa.

Por tanto, proteger estos sistemas es una prioridad y acabar con los del enemigo otra. Los puestos de mando suelen estar siempre bien enmascarados y ocultos tras las líneas de sus unidades, además de que van cambiando de posición eventualmente si es necesario. En consecuencia, la forma más sencilla de inutilizarlos es cortando las líneas de suministro.

En la actualidad, los ejércitos modernos utilizan todo tipo de aparatos electrónicos para coordinar sus acciones como radios, ordenadores o sistemas de posicionamiento global (GPS), entre otros. Estos aparatos necesitan grandes cantidades de energía para mantenerse operativos, lo que significa que se necesita un suministro constante. La energía necesaria se consigue actualmente casi de forma exclusiva mediante el uso de grupos electrógenos, los cuales necesitan de diésel para funcionar. La dependencia de una línea de suministros de este combustible es una gran debilidad que se debe corregir, ya que define las capacidades de los puestos de mando y en última instancia de las unidades al completo. Del mismo modo que el cerebro necesita riego sanguíneo, los sistemas de mando y control deben mantener su suministro eléctrico. Sin ello, los puestos de mando no podrán coordinar a las unidades para que sean efectivas, poniéndose en riesgo la misión.

La sustitución de este grupos electrógeno por un sistema que permitiera reducir la dependencia del suministro de combustible, permitiría a los puestos de mando obtener una mayor autonomía durante sus acciones, ya que podrían mantener sus sistemas operativos sin necesidad de un suministro continuo.

1.1. Objeto y alcance del proyecto

El proyecto consiste en la propuesta de una alternativa viable para el suministro eléctrico de los sistemas de mando y control del grupo de artillería de campaña de la legión (GACALEG), que se traduzca en una mayor autonomía por parte de los centros directores de fuegos (FDC) y a su vez una reducción del consumo de combustible. Para lograrlo se establecen los siguientes objetivos:

- Especificar las necesidades técnicas, energéticas y tácticas del grupo de artillería de campaña.
- Definir el sistema a implementar.
- Estudiar la viabilidad del sistema propuesto.

Este trabajo pretende abarcar la definición de un sistema híbrido como alternativa en el suministro eléctrico del grupo de artillería de la legión. Además, su implementación podrá extenderse a cualquier grupo de artillería de campaña del ejército de tierra que tenga una configuración similar.

El GACALEG está formado por tres baterías de artillería de campaña, una batería de artillería antiaérea, una batería de servicios y la plana mayor. Los sistemas de mando y control de cada batería se gestionan en los FDC. Los FDC suelen formar una suerte de campamentos circunstanciales, generalmente montados mediante los vehículos que tienen asignados. Estos vehículos varían mucho en función del grupo de artillería y de la unidad. En concreto, el grupo de artillería de campaña de la legión dispone de vehículos ligeros “Aníbal” con remolques y de vehículos pesados.

Como se ha comentado en la introducción, el suministro eléctrico viene dado por los grupos electrógenos que se encuentran en los remolques de los vehículos. Además, llevan consigo una cantidad de combustible determinada para mantener la operatividad durante el tiempo necesario, sin perjuicio de ser reabastecidos. Los grupos electrógenos son capaces de mantener todos los elementos de los sistemas de mando y control, siempre y cuando tengan combustible.

Actualmente, sin un suministro periódico de combustible los sistemas de mando y control no pueden funcionar, con lo que la capacidad de combate queda mermada. En definitiva, este trabajo propone una alternativa para fortalecer la situación actual para el suministro de los sistemas de mando y control, sustituyendo el grupo electrógeno actual por un sistema híbrido. La concienciación medioambiental adoptada por el ministerio de defensa es el motivo por el que en este trabajo se plantea un sistema híbrido basado en energías renovables como fuentes principales.

1.2. Ubicación y datos climatológicos

En este apartado se ha recogido la información referente tanto a la ubicación como a las condiciones climatológicas de Almería, como la irradiación o la velocidad del viento. Estos datos justifican el sistema híbrido como la mejor alternativa para el GACALEG, que incluso podría ser implementado en otras unidades de carácter similar en el futuro.

El GACALEG se encuentra situado en la base “Álvarez de Soto Mayor” ocupada por la brigada “Rey Alfonso XIII” II de la Legión a la que pertenece. Dicha base está localizada en la provincia de Almería, concretamente en el municipio de Viator, en las coordenadas 36°53'52.0"N 2°24'35.8"W.

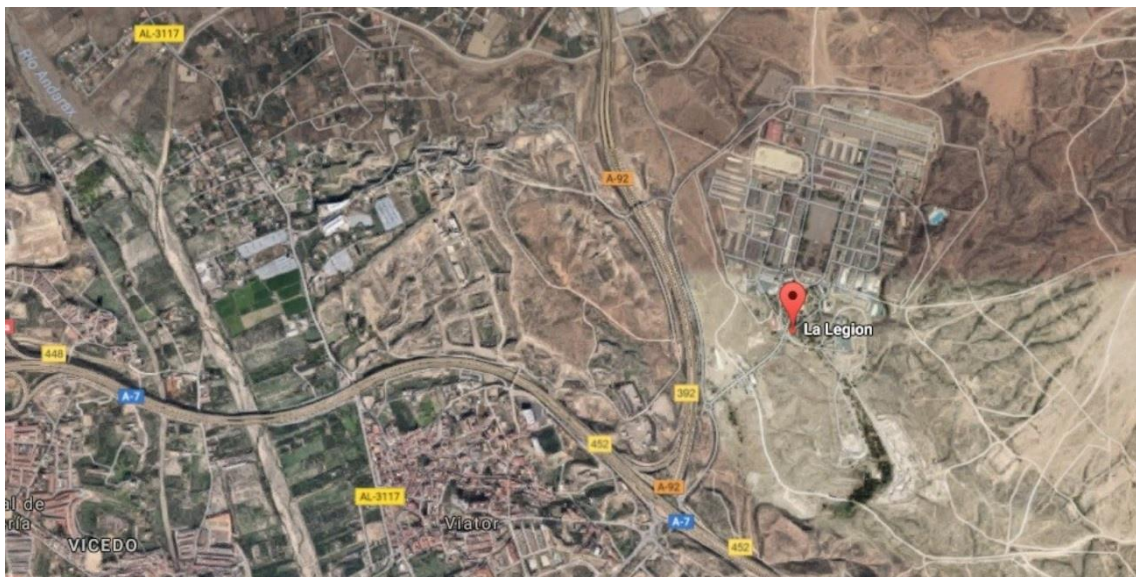


Figura 1. Situación de la base en Almería [2]

Cabe destacar que el sistema híbrido a implantar no sería solo apropiado para la provincia de Almería, sino que su uso también sería beneficioso para las maniobras que se realizan con frecuencia en el campo de maniobras de San Gregorio, el más grande de España, ya que su situación en Zaragoza lo hace ideal para aprovechar el viento originado en el valle del Ebro o el sol del periodo estival.

El sistema híbrido que se propone como alternativa puede ser ventajoso para las unidades en territorio nacional, pero también resultaría práctico en misiones en las que España se encuentra actualmente con unidades desplegadas. Por ejemplo, la misión de la Unión Europea de entrenamiento (EUTM) que tiene lugar en Mali o la misión de apoyo a Irak, donde los paneles solares serían muy provechosos. [3]

Con respecto a la ciudad de Almería, es considerada la ciudad más árida de Europa y una de las más áridas de la cuenca mediterránea. Posee un clima árido cálido, con precipitaciones muy escasas y una temperatura media anual de 19,1 °C. En el anexo B se detallan los datos climatológicos recogidos de los meses de febrero, abril, julio y octubre del 2016, para tener una referencia del clima durante las cuatro estaciones del año.

Estos datos muestran que el sistema híbrido dispondría de los recursos solar y eólico suficientes para obtener un alto rendimiento. Las velocidades del viento medias no bajan de 10 km/h (2,7 m/s) siendo 2-3 m/s la mínima velocidad para que los generadores actuales funcionen con buen rendimiento. Por otro lado, las máximas no superan los 90 km/h (25m/s), velocidad a la que los aerogeneradores se paran por seguridad.

En la Figura 2 se pueden ver los niveles de irradiancia históricos en la provincia, suficiente para que los paneles fotovoltaicos funcionen con un buen rendimiento y en la Figura 3 un mapa con la irradiancia global histórica de Almería [4].

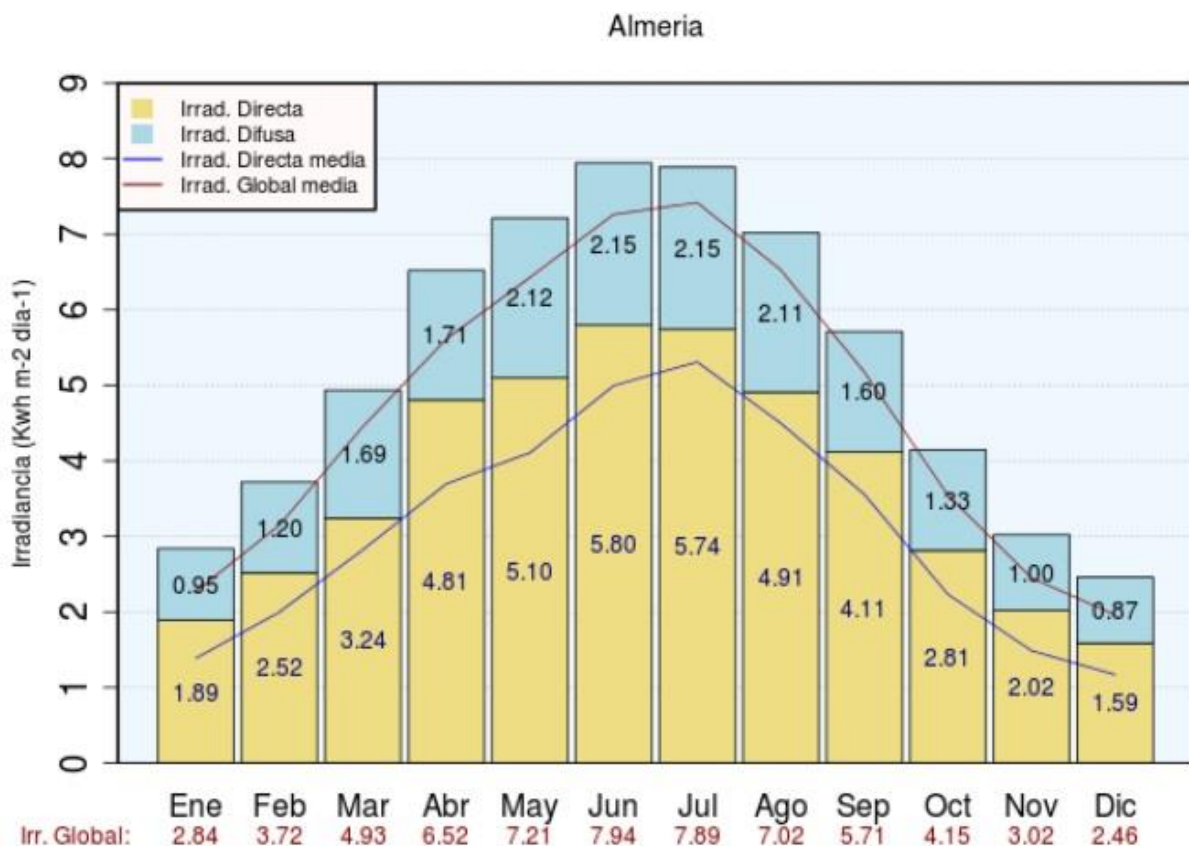


Figura 2. Ciclos anuales medios en Almería (1983-2005) [4]

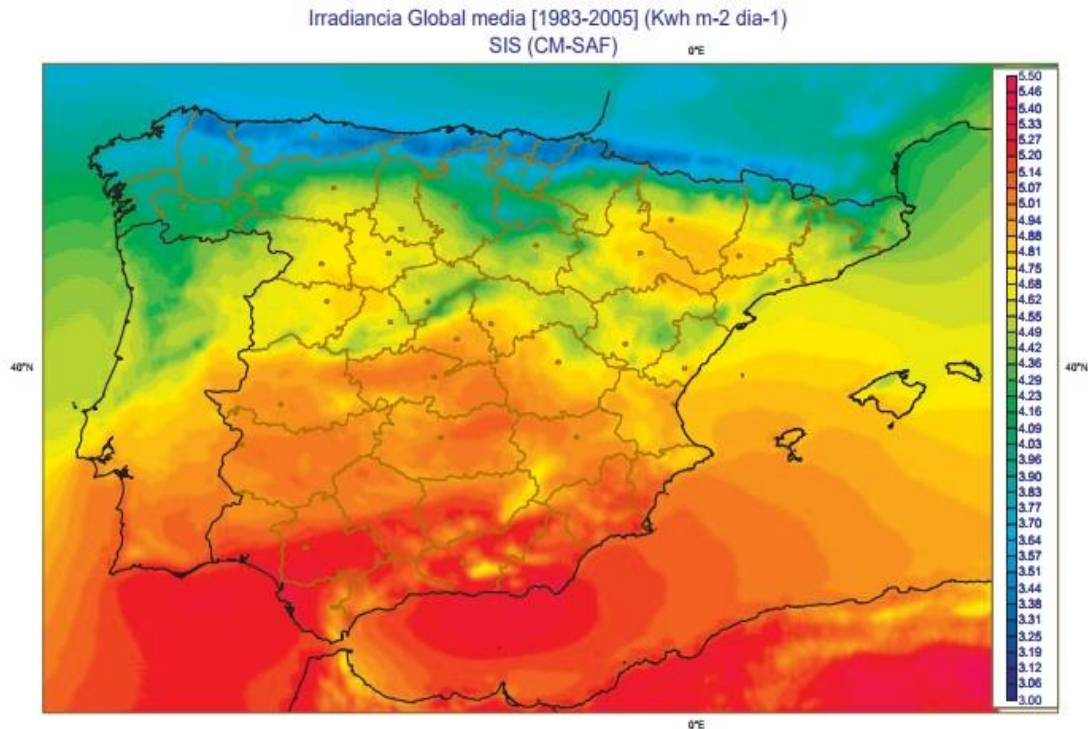


Figura 3. Irradancia media global (1983-2005) [4]

1.3. Estado del arte de las energías renovables

Dentro del amplio campo de las energías renovables, se pueden encontrar diferentes alternativas para la generación de energía eléctrica, así, nos encontramos paneles fotovoltaicos, que producen energía a partir de la luz solar, generadores hidroeléctricos, aerogeneradores o digestores anaeróbicos, entre otros. Todas estas alternativas son combinadas con sistemas tradicionales como grupos electrógenos o la propia red eléctrica de una ciudad para formar sistemas híbridos [5].

En general, todos los sistemas de generación y suministro eléctrico pretenden mejorarse para que sean más eficientes y más eficaces, es decir, para que produzcan la mayor cantidad de energía con los menores recursos posibles. Estos objetivos no son distintos a los que el ejército pueda necesitar, sin embargo, se deben tener en cuenta los requisitos técnicos y tácticos para que sean de verdadera utilidad para las unidades.

Por lo tanto, algunos sistemas existentes de energías renovables no son de aplicación para el ejército. Por ejemplo, cualquier tipo de sistema de energía hidráulica está fuera del estudio por la dificultad que presenta encontrar una zona con buenas condiciones para instalar dicho sistema. Las necesidades militares a la hora de elegir el despliegue del puesto de mando, y con él los sistemas de mando y control, tienen prioridad sobre la elección de la zona ideal para generar energía. A todo ello hay que sumarle el problema que puede resultar encontrar agua. Por los mismos motivos quedan descartados los sistemas para el aprovechamiento de la energía mareomotriz y geotérmica.

Los sistemas que aprovechan la biomasa para producir energía son una alternativa que está avanzando rápidamente en los últimos años. Cada vez es más común el uso de biodigestores en granjas, edificios industriales y viviendas aisladas. Aprovechar los residuos para producir energía es una gran ventaja, pero, una vez más, presenta una serie de inconvenientes tácticos al aplicarlos a un puesto de mando. Disponer de los residuos para transformarlos en energía, que generalmente provienen de la industria agrícola y forestal o de actividades relacionadas, conlleva el mismo problema que se pretende solucionar: La dependencia de una línea de suministro que les provea de recursos. Además, con la tecnología actual, se necesita gran cantidad de espacio para estos sistemas.

En consecuencia, quedan dos caminos posibles para formar un sistema híbrido: energía solar y energía eólica. La inversión en la investigación en los sistemas que aprovechan la energía solar ha permitido el desarrollo de los mismos, haciendo que cada día sean más eficientes. Por ellos los paneles fotovoltaicos serán objeto de estudio en este trabajo.

Otro campo muy desarrollado corresponde al de la energía eólica y concretamente, la energía minieólica. Ésta aprovecha los recursos eólicos con aerogeneradores de potencia inferior a los de tamaño normal, que por lo general, suelen presentar características muy útiles para el ejército, tales como su tamaño o su facilidad de instalación.

Se debe tener en cuenta que para poder utilizar estos sistemas se necesitan unas condiciones meteorológicas, radiación solar y viento adecuados, por lo que en el apartado anterior se ha realizado un estudio de las condiciones meteorológicas de la zona en las que el GACALEG opera.

Para finalizar el estado del arte de las energías renovables, los paneles fotovoltaicos y los aerogeneradores actuales presentan unas ventajas e inconvenientes que serán tratados en mayor profundidad en el apartado 3 de esta memoria. En base a las posibilidades e inconvenientes de estos sistemas, se propone que el sistema que se diseñará en este trabajo combine un grupo electrógeno, paneles fotovoltaicos y aerogeneradores.

2. DEMANDA ELÉCTRICA DEL GRUPO

En este apartado se realiza un estudio de la demanda eléctrica actual en el FDC, que permitirá establecer las características que debe tener el sistema para cumplir la demanda.

Para realizar una estimación de la demanda eléctrica fiable, antes es necesario conocer los aparatos eléctricos conectados en un FDC. Los FDCs en el grupo de artillería de campaña de la Legión se montan en la caja de los camiones MAT 18.16. Cuando se despliega, todos los elementos que conforman los sistemas de mando y control están dentro de estos camiones. Sin embargo, los grupos electrógenos suelen llevarse en remolques acoplados a los vehículos ligeros "Aníbal". Los aparatos que se conectan al grupo electrógeno son los siguientes:

- 2 ordenadores portátiles: Para el programa TALOS.
- 4 radios: dos para transmisión de datos y otras dos para voz.
- Antena WIFI: Conecta todos los dispositivos del sistema TALOS.
- Dos tubos LED para iluminación.

Estos serían los elementos básicos. No obstante, se pueden llevar otros elementos como un sistema de alimentación de emergencia, cargadores para Walkie-Talkies o iluminación extra. En la Tabla 1 se muestran los elementos del FDC junto con su consumo o potencia.

Tabla 1. Estimación de la demanda de potencia eléctrica en el FDC.

Elemento	Unidades	Potencia	Total potencia
Ordenador portátil	2	60 W	120 W
Antena WIFI	1	45 W	45 W
Tubos LED	2	36 W	72 W
Radios	4	50 W	200 W
TOTAL	-	-	437 W

El consumo medio del FDC es de 437 W. Por lo tanto, es necesario que todos los elementos del sistema híbrido puedan cubrir esta demanda por sí solos. De esta forma se puede hacer frente al consumo ante cualquier situación.

3. SISTEMA HÍBRIDO PROPUESTO

En este apartado se describen los componentes del sistema híbrido. Además, se explican las diferentes ventajas y desventajas que presentan, para dar una visión de cómo se complementan las características de cada uno para formar un sistema completo y eficiente que asegure el suministro eléctrico del grupo de artillería. Los elementos del sistema propuesto son equipos que ya se han utilizado por el ejército de tierra para el suministro eléctrico con resultados satisfactorios.

3.1. Grupo electrógeno

Desde su descubrimiento a finales del siglo XIX los motores de combustión interna han revolucionado el mundo. Estos motores son utilizados en multitud de situaciones, vehículos, maquinaria pesada, incluso para generar electricidad. El principio de un motor de combustión interna consiste en obtener energía mecánica a partir de la energía química del combustible que utilice. Si esta tecnología se combina con un generador eléctrico, entonces se puede transformar esa energía mecánica en eléctrica [6]. Un grupo electrógeno no es más que esta combinación. En la Figura 4, se ve el antiguo el grupo electrógeno del GACALEG como ejemplo.



Figura 4. Grupo electrógeno del GACALEG.

Los grupos electrógenos son ideales para cumplir con las necesidades del ejército, por lo que están presentes en todos los ejércitos modernos. Sin embargo, estos sistemas también tienen sus vulnerabilidades. En el sistema híbrido propuesto el grupo electrógeno funcionará como elemento auxiliar para los sistemas de energía renovable como más adelante se explicará en profundidad.

3.1.1. *Ventajas y desventajas de los Grupos electrógenos*

El grupo electrógeno que se utiliza actualmente es capaz de generar electricidad en cualquier momento y sin importar las circunstancias mientras tenga combustible, luego el suministro eléctrico está garantizado. Es un apoyo perfecto para los sistemas de energía renovables con los que se va a combinar. Además, el grupo electrógeno se puede colocar en cualquier parte, lo que supone una clara ventaja táctica. También puede camuflarse de manera relativamente fácil. Tienen un alto rendimiento, con un peso y un tamaño aceptable. Por último, el mantenimiento es sencillo.

Sin embargo, las desventajas de los grupos electrógenos son una de las causas de la proposición de un sistema híbrido como alternativa al suministro eléctrico. La desventaja principal de los grupos electrógenos es que necesitan de un suministro de combustible si quiere mantenerse el FDC operativo de manera indefinida. Como ya se ha explicado en la introducción de este proyecto es el gran problema a solucionar. No obstante, ésta no es la única vulnerabilidad de los grupos electrógenos. Por ejemplo, son ruidosos y presentan una firma térmica significativa. Al contrario que los paneles fotovoltaicos o los aerogeneradores, necesitan que un operario este pendiente del abastecimiento de combustible. Además, los grupos electrógenos entrañan ciertos riesgos derivados del uso de un combustible inflamable para su funcionamiento.

Por último, acorde con la concienciación medioambiental adoptada por el ministerio de defensa [7], es preciso comentar el impacto ambiental negativo que los grupos electrógenos producen. Este aspecto está analizado en el estudio sobre la viabilidad medioambiental recogido en el apartado 4.5 de esta memoria.

3.1.2. *Grupo electrógeno propuesto*

El grupo electrógeno que se utiliza actualmente en el GACALEG es el generador diésel DG6000LE, cuyas características técnicas vienen recogidas en el apartado 4.2 análisis del material de la unidad. En resumen, se trata de un generador de 5 kW de potencia eléctrica, 108 kg de peso, capacidad de 14 l y autonomía de 12 horas.

3.2. Paneles fotovoltaicos

La energía solar es una de las alternativas propuestas para abastecer los sistemas de mando y control del GACALEG. Esta energía se produce en el núcleo solar mediante la fusión de átomos de hidrógeno para formar helio. Parte de la masa durante esta fusión se transforma en energía, que llega a la tierra.

Para aprovechar este recurso, es necesario la implementación de paneles fotovoltaicos, que aprovechan los fotones de la luz solar que incide en los paneles para generar una corriente eléctrica.

La mayoría de los paneles fotovoltaicos comerciales están formados por silicio, y, a su vez, pueden ser monocristalinos o policristalinos, dependiendo de si están formados por un solo cristal de silicio o varios [8].

La diferencia fundamental radica en el rendimiento y el coste. Por un lado, los paneles monocristalinos presentan un rendimiento mayor, pero también su coste es mayor debido a la dificultad del proceso de fabricación. Por otro lado, los paneles policristalinos son más baratos, pero su rendimiento es menor. También se está investigando en paneles solares con forma de láminas delgadas y transparentes que pueden instalarse en superficies como tejados o ladrillos.



Figura 5. Paneles fotovoltaicos [9].

3.2.1. Ventajas y desventajas de los paneles fotovoltaicos

El uso de los paneles fotovoltaicos presenta una serie de ventajas útiles para el suministro eléctrico de los sistemas de mando y control del GACALEG. En primer lugar, utiliza una fuente inagotable de energía, lo que da a los puestos de mando mayor independencia energética, reduciendo la cantidad de reabastecimientos para seguir con la misión.

Se trata de un sistema sencillo y fácil de instalar con lo que se evita invertir mucho tiempo para su uso. No produce ruidos y los sistemas son modulares, con lo que se puede aumentar la potencia instalada en caso de ser necesario o adaptar el tamaño según las necesidades y las opciones. Los paneles son resistentes a condiciones climáticas extremas, tienen una vida larga y no requieren de un mantenimiento especial. Además, no produce ningún tipo de residuos ni de contaminación, por lo que ayudaría en el cumplimiento de los compromisos del Ministerio de Defensa sobre la protección del medioambiente. [5]

Sin embargo, los paneles fotovoltaicos también presentan inconvenientes. Los paneles dependen de las condiciones atmosféricas para funcionar con un rendimiento aceptable. Además, su rendimiento está condicionado a la orientación de los paneles, ya que deben estar orientados de forma que el ángulo de incidencia de los rayos solares debe ser lo más perpendicular posible al sistema y este ángulo varía a lo largo del día y de la estación del año. Aunque algunos de los sistemas permiten cambiar la orientación y la inclinación, evidentemente, no funcionan durante la noche ni en zonas donde no llegue la luz solar.

3.2.2. Paneles fotovoltaicos propuestos

Se proponen dos unidades de paneles AS-6P30-270 de la empresa Bornay, cuyas características¹ se muestran en la Tabla 2. Este modelo se ha escogido por ser capaz de cubrir la demanda con sólo dos unidades, ya que cada una de ellas tiene una potencia nominal de 270 W, y es el que presenta menor peso y dimensiones.

Tabla 2. Características técnicas de los paneles fotovoltaicos

Nº células	60
Tipo de células	Policristalinas
Tensión máxima de salida	1000 V
Potencia nominal	270 W
Tensión nominal	31,1 V
Tensión de circuito abierto	38,4 V
Corriente nominal	8,69 A
Corriente de cortocircuito	9,09 A
Dimensiones	1640x992x40 mm
Peso	18,5 kg
Conexión	caja de conexiones IP67- 3 diodos
Cable	Cable 4 mm ² - 900 mm
Conector	MC4 o compatible

3.3. Aerogeneradores

La energía eólica es una fuente de energía renovable que aprovecha el viento para generar electricidad. La forma más sencilla de obtenerla consiste en el uso de aerogeneradores, comúnmente conocidos como molinos de viento, que aprovechan la energía cinética de sus aspas en movimiento para obtener energía eléctrica. En España, la energía eólica es la segunda energía con mayor contribución para cubrir la demanda y es la cuarta del mundo en potencia instalada [10].



Figura 6. Aerogeneradores [9]

¹ Las características técnicas de todos los elementos del sistema híbrido provienen del catálogo de la empresa Bornay S.A. 2017

3.3.1. *Ventajas y desventajas de los aerogeneradores*

Los aerogeneradores se asemejan mucho a los paneles fotovoltaicos, ya que se sirven de una fuente de energía inagotable, son sencillos y fáciles de instalar, no dañan al medioambiente, pueden combinarse con otros sistemas, son silenciosos y además, estos no producen ninguna firma térmica [11]. Además, los aerogeneradores pueden funcionar tanto de día como de noche.

Las desventajas de los aerogeneradores también son similares a la de los paneles fotovoltaicos. Dependen de las condiciones atmosféricas para funcionar y su rendimiento está condicionado a la fuerza del viento y al lugar en que se despliegue. Aunque poco probable, las aspas podrían resultar peligrosas. Por último, necesitan un mantenimiento mayor que los paneles solares.

3.3.2. *Aerogenerador propuesto*

El aerogenerador que se propone es el aerogenerador Bee 800 de 24 V de la empresa Bornay. Este modelo ya se ha utilizado anteriormente en el ejército con resultados satisfactorios. Sus características técnicas vienen recogidas en la Tabla 3.

Tabla 3. Características técnicas del aerogenerador.

Número de hélices	5
Diámetro	1,75 m
Material	Nylon inyectado
Dirección de rotación	horario
Sistema de control	regulador electrónico
Potencia nominal	800W
Voltaje	24 V
RPM	500
Regulador	24V 35 A
Velocidad de viento para arranque	3,5 m/s
Velocidad de viento para potencia nominal	12 m/s
Máxima velocidad del viento	60 m/s
Peso aerogenerador	29 kg
Peso regulador	8 kg
Dimensiones	50x76x46 cm

La adquisición de un mástil de elevación es muy conveniente para mejorar el rendimiento del aerogenerador, ya que a mayor altura la velocidad del viento es mayor. Se ha escogido el mástil telescópico modelo Giant, versión Steady de la empresa Hispamast. Se ha decidido este modelo por sus características técnicas, que se especifican en la Tabla 4, de las que destacan su altura, capacidad de carga y el no necesitar arriostramiento.

Tabla 4. Características técnicas del mástil.

Nº de tubos	3
Diámetro tubo inferior	250 mm
Diámetro tubo superior	200 mm
Altura desplegada	4011 mm
Altura replegada	1785 mm
Carga máxima	270 kg
Tipo de base	fija no rotatoria
Velocidad máxima de viento	100 km/h con aerogenerador de 1,75 m de diámetro
Arriostramiento	No necesario

3.4. Baterías recargables

Las baterías recargables son uno de los elementos más importantes de este sistema, ya que son ellas las que permitirán almacenar la energía en momentos en que la generación de electricidad sea superior a la demanda. Las baterías transforman la energía química en eléctrica y viceversa. Las baterías almacenarán la energía obtenida de los sistemas de energía renovables para su uso cuando sea necesario.

En nuestro caso, al tratarse de un sistema híbrido aislado las baterías son esenciales. Por ejemplo, podemos almacenar energía producida por los paneles fotovoltaicos en las baterías y usarla cuando sea de noche. Se propone el uso de dos baterías de modelo MEBA 12-60 AGM monobloc de 12 V y 60 Ah.



Figura 7. Batería recargable [9]

3.5. Controlador de carga

El controlador de carga es el elemento encargado de administrar la carga y descarga de las baterías, actuando como regulador del sistema. Adicionalmente, protege a las baterías de la sobrecarga y la sobretensión, aumentando su tiempo de vida útil.



Figura 8. Regulador de carga.

El controlador de carga BlueSolar MPPT 150/70, cuyas características se detallan en la Tabla 5, es el que se propone utilizar en el sistema híbrido ya que es compatible con los paneles solares AS-6P30-270.

Tabla 5. Características técnicas controlador de carga.

Tensión nominal	12/24/36/48 V (Selección automática)
Corriente de carga nominal	70 A
Potencia max. entrada de los paneles solares	12V-1000W/24-2000W/36V-3000W/48-4000W.
Peso	4,2 kg
Dimensiones	350x160x135 mm

3.6. Inversor

Los paneles fotovoltaicos producen la energía como corriente continua, por lo que para poder almacenar la energía en las baterías es necesario transformarla. Los inversores se encargan de transformar la corriente continua en corriente alterna.



Figura 9. Inversor.

El inversor que se propone es el inversor Phoenix 24/3000 de la empresa Victron Energy, siendo compatible con todos los elementos del sistema. En la Tabla 6 se recogen las características técnicas de dicho inversor.

Tabla 6. Características técnicas del inversor.

Tensión entrada	19-33 V
Tensión de salida	120 v
Potencia de salida (25°C)	3000 W
Pico de potencia	6000W
Eficacia máxima	94 W
Consumo en vacío	20 W
Peso	18 Kg
Dimensiones	362x258x218 mm
Conexiones de la batería	4

3.7. Funcionamiento combinado

Tras el despliegue del sistema su funcionamiento será el siguiente:

- Si las condiciones atmosféricas son favorables para el uso tanto de los paneles fotovoltaicos como de los aerogeneradores, se pondrán en marcha ambos para cubrir la demanda y cargar las baterías.
- Si las condiciones atmosféricas son favorables para el uso de uno de los dos sistemas de energía renovables, es decir, los paneles fotovoltaicos o los aerogeneradores, se pondrá en marcha y se descargará la batería si no basta para cubrir la demanda.
- Ante la imposibilidad de desplegar los paneles y/o los aerogeneradores con un rendimiento aceptable, se pondrá en marcha el grupo electrógeno.

En definitiva, el sistema estará formado por un conjunto de elementos complementarios para suplir la demanda en cualquier situación. Los paneles y el aerogenerador serán la fuente principal con el objetivo de ahorrar baterías y combustible y el grupo electrógeno actuará como elemento auxiliar cuando la producción no sea suficiente o los otros elementos no se puedan desplegar. En una situación ideal, la energía generada por los distintos sistemas no solo cubre la demanda sino que también carga las baterías.

4. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD

El estudio de la viabilidad abarca todos los análisis con los que se pretende demostrar que el sistema híbrido propuesto es capaz de sustituir al grupo electrógeno actual. Para ello, en este apartado se describen las características técnicas que deben poseer el sistema y el material presente en la unidad. Además, se lleva a cabo un análisis de los posibles riesgos que podrían aparecer durante el diseño y el funcionamiento del sistema. Por último se realiza un análisis económico y del impacto medioambiental del sistema, comparándolo con el actual y demostrándose su mejoría.

4.1. Descripción técnica

Nos encontramos ante la necesidad de implementar un sistema con unas capacidades específicas que nos permitan alcanzar los objetivos propuestos del proyecto, para ello tiene que reunir las siguientes condiciones:

- Cubrir la demanda eléctrica necesaria para la operatividad del FDC.
- La Instalación debe ser sencilla para que no se necesite formación especial por los usuarios
- El montaje y desmontaje debe ser rápido para poder utilizar los aparatos eléctricos lo antes posibles
- La seguridad durante su uso tiene que estar garantizada
- El sistema tiene que estar rugerizado, es decir, ser resistente a los golpes, la suciedad y ser hermético.
- El sistema tiene que ser compatible con los aparatos eléctricos que se utilizan en el FDC.
- Es preciso que el sistema sea silencioso y los colores no sean llamativos para evitar ser descubiertos por el enemigo.
- El sistema tiene que mantenerse en funcionamiento durante 24 horas como mínimo.
- Los elementos de diferentes sistemas tienen que ser intercambiables, ya que en el caso de que se estropee un elemento se pueda sustituir fácilmente por otro
- El sistema no puede reducir la movilidad del FDC, por lo que no debe tener un peso o unas medidas demasiado grandes.

4.2. Descripción del material de la unidad

En este apartado se describen las características generales y técnicas de los vehículos y el material del FDC para conocer las capacidades actuales que tiene el grupo con las que se implementaría el sistema. En el anexo A se muestran fotografías de los mismos.

Remolque de carga útil

Se trata de un vehículo remolcable carrozado con una caja abierta metálica tipo “MONOBLOC”, equipada con arillos para soportar toldo. El bastidor del remolque está dotado de un eje con ruedas, dispositivos de enganche, amortiguación de frenado e iluminación. Este remolque es el utilizado para transportar el grupo electrógeno. Sus dimensiones generales se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Características técnicas del remolque [12]

Longitud total	2770 mm
Anchura total	1470 mm
Altura total	1250 mm
Altura libre del suelo	350 mm
Angulo de salida trasero	mayor de 30°
Angulo de salida delantero	mayor de 15°
Vía	1270 mm
Tara	375 kg
Carga	250 kg
Total	625 kg

Vehículo ligero “Aníbal”

Se trata de un vehículo ligero todoterreno carrozado con techo de lona, capaz de transportar personal y material en su caja trasera. Además, es capaz de remolcar por lo que se utiliza para transportar el remolque de carga útil. Sus características técnicas se enumeran en la Tabla 8.

Tabla 8. Características técnicas Aníbal [13]

Longitud total	4826 mm
Anchura total	1750 mm
Altura total	2050 mm
Ancho de vía delantera y trasera	1486 mm
Distancia al suelo	200 mm
Ángulo de entrada	50°
Ángulo de salida	30°
Ángulo rampa	29°
Pendiente máxima	45°
Masa máxima admisible	3300 kg
Carga máxima	800 kg
Peso máximo remolcable	Sin freno auxiliar: 750 kg Con freno auxiliar: 3000 kg
Tara en orden de marcha	2250 kg
Número de asientos	2+5
Capacidad depósito	100 litros

DG6000LE Generador Diésel 5 kW Monofásico ITCPower

El generador diésel DG6000LE se utiliza como sustituto del antiguo generador, llevándose en el remolque de 250 kg. Las características de este generador están recogidas en la Tabla 9. Este generador es capaz de cubrir toda la demanda del sistema, pero como ya se ha comentado anteriormente, presenta serios inconvenientes como la dependencia de un suministro de diésel o su firma térmica.

Tabla 9. Características técnicas del generador diésel DG6000LE. [14]

Motor	4 tiempos
Chasis	32 mm
Voltaje	230 V
Potencia nominal	5 kW
Potencia máxima	5.5 kW
Salida DC	12 V
Cilindrada	418 CC.
Capacidad de combustible	14 L
Autonomía	12 h
Nivel sonoro	77.5 dBA a 7 m
Dimensiones	720x480x600 mm
Peso	108 kg.

4.3. Análisis de riesgos

Los riesgos son eventos que si se producen pueden afectar de forma positiva o negativa al sistema propuesto. En este apartado se han analizado los riesgos más importantes que pudieran afectar negativamente a este proyecto siguiendo la metodología para la gestión de riesgos del Ministerio de Defensa recogida en el anexo C. Esta metodología comprende los siguientes pasos:

Identificación de los riesgos: Para ello, se ha entrevistado a los responsables del suministro eléctrico en el grupo de artillería sobre los sucesos y problemas más recurrentes durante el abastecimiento con el sistema actual y los que podrían suceder con el sistema a implementar.

Análisis, clasificación, valoración y priorización de riesgos: Los riesgos se han clasificado en riesgos en el diseño o en el funcionamiento del sistema. Los criterios a seguir para definir la probabilidad de que cada riesgo identificado se materialice vienen recogido en el anexo C. Los criterios para definir el impacto también están recogidos en el mismo anexo. El impacto de los riesgos puede suceder en tres dimensiones del programa: costes, plazos y requisitos. Sin embargo en este apartado se analizarán los riesgos que afecten al diseño o la calidad del sistema, ya que esta propuesta no contempla la implementación del mismo. Además, se ha utilizado el impacto en los requisitos para obtener el nivel de criticidad. El nivel de criticidad establece la prioridad de atención de los riesgos de forma decreciente.

Definición, planificación, y seguimiento de acciones de mitigación o contingencia: El objetivo de la gestión de riesgos consiste en eliminar o al menos reducir el impacto de los riesgos en caso de que aparezcan, por lo que es necesario definir el plan de contingencia. Las medidas del plan de contingencia están adjuntas a cada riesgo en las Tablas 10 y 11.

Cabe destacar que se ha adaptado la metodología para maximizar su efectividad. Se han añadido planes de contingencia para todos los riesgos independientemente de su clasificación, evitando asumirse. Además, todas las medidas son efectivas para poder mitigar con éxito los riesgos que se plantean. En la Tabla 10 se muestran los posibles riesgos en el diseño, mientras que en la Tabla 11 se recogen los riesgos relacionados con el funcionamiento del sistema.

Tabla 10. Evaluación riesgos en diseño

Descripción riesgo	Causa del riesgo	Impacto (1-5)	Probabilidad (1-5)	Nivel	Efectos riesgo	Medida
Inutilización de todo el sistema	Ataque PEM	5	2	10	Pérdida del suministro eléctrico	Proteger las baterías frente a ataques PEM
Capacidad de generación eléctrica insuficiente	Demanda mayor de la esperada	5	3	15	Pérdida de los sistemas de mando y control	Instalar placas y aerogeneradores adicionales
Las baterías no se cargan	Problemas en el diseño	4	1	4	No se puede almacenar energía	Conectar los generadores directamente a los sistemas de mando y control
Entra agua en los circuitos	No es estanco	5	3	15	Posibles daños internos en el sistema	Estanque izar
Dificultades montaje	El tamaño de las placas y los aerogeneradores es inadecuado	3	3	8	El FDC tarda más en desplegarse	Buen estudio de los acoples
Calentamiento del sistema	El sistema no tiene buena refrigeración	5	2	10	Desgaste de los elementos del sistema	Añadir ventiladores
El remolque vuelca con poca pendiente	Mala distribución del peso	5	2	8	Los elementos del sistema podrían estropearse	Estudio de la distribución del peso en el remolque
Interrupción del suministro	Mala sincronización entre los sistemas	5	2	10	Disminuye la capacidad de trabajo conjunto	Realizar pruebas de sincronización
Necesidad de mayor distancia entre el sistema híbrido y el puesto de mando	Huella térmica	2	4	8	No cumple los requisitos tácticos	Adquirir cables de conexión de mayor longitud
Fallo en la conexión con los sistemas de mando y control	Conexiones incompatibles	5	3	15	Pérdida de los sistemas de mando y control	Incluir adaptadores

Tabla 11. Evaluación de riesgos relacionados con el funcionamiento del sistema.

Descripción riesgo	Causa del riesgo	Impacto (1-5)	Probabilidad (1-5)	Nivel criticidad	Efectos riesgo	Medida
Falta de preparación de los usuarios	Insuficiencia de instrucción	1	4	4	El FDC tarda más en desplegarse	Más horas de instrucción
Fallo aerogeneradores	Problemas en el giro de las aspas	3	2	6	Pérdida de un elemento principal	Revisiones periódicas para evitar fallos mecánicos
El sistema se incendia	Mal funcionamiento eléctrico	4	2	8	Pérdida del suministro eléctrico	Instalar una toma de tierra
El mástil se queda atascado	Se estropea el elevador	4	1	4	No se puede elevar el aerogenerador	Colocar el aerogenerador en el suelo
Fallo de los paneles fotovoltaicos	Polvo acumulado	4	2	8	Pérdida de un elemento principal	Llevar material de limpieza
Picos de tensión	Mal funcionamiento del sistema	4	3	12	Se pueden estropear los aparatos conectados	Instalar un sistema de alimentación de emergencia
El grupo electrógeno no arranca	No funciona el dispositivo de arranque eléctrico	3	4	12	Pérdida del suministro para los sistemas	Añadir arranque mecánico
Sobrecarga del grupo electrógeno	Fallo del disyuntor	4	2	8	Fallo del grupo electrógeno	Implementar parada de emergencia
Exposición a los gases del grupo electrógeno	Mala combustión	3	1	3	Puede perjudicar la salud de los usuarios	Instalar un tubo de escape
Necesidad de alimentación extra(baterías)	Aumento del consumo previsto	3	4	12	Aumenta la inversión	Añadir baterías portátiles

Tabla 12. Clases de riesgos

Clase riesgo	Nr
Alto	3
Medio	12
Bajo	5
Total:	20

Riesgos de nivel alto: Los riesgos de mayor nivel deben evitarse con máxima prioridad ya que suponen el fracaso del proyecto. La inutilización del sistema, la entrada de agua en los circuitos y la incompatibilidad con los sistemas de mando y control pertenecen a esta clase

Riesgos de nivel medio: Son riesgos que presentan una ocurrencia o un impacto bajos. Sin embargo, se deben mantener controlados con un plan de contingencia. La aparición de varios riesgos de este nivel puede poner en peligro el éxito del proyecto.

Riesgos de nivel bajo: Se caracterizan por tener una ocurrencia y un impacto bajo. Además, las medidas para evitarlos suelen ser de corto plazo y sencillos. En caso de no poder solucionarse, cabe la posibilidad de asumirlos.

Este método de análisis de riesgos es muy útil para dar a conocer los riesgos de mayor prioridad. Sin embargo, se puede mejorar el análisis si a este método lo combinamos con un análisis modal de fallos y efectos. Esta herramienta de calidad se utiliza para identificar los fallos de un producto en su fase de diseño o en el proceso de fabricación. En este caso, se ha aplicado la metodología del análisis modal de fallos y efectos (AMFE) para los riesgos identificados anteriormente.

Esta metodología utiliza como base el modo de fallo, es decir, una descripción de los problemas que pueden aparecer provocando que el proyecto fracase. Además, el método AMFE clasifica los modos de fallo según el número de prioridad de riesgo (NPR), una variable que se obtiene al multiplicar el impacto, la probabilidad de que el riesgo se materialice y la dificultad de detección. En el anexo C se encuentran las tablas con detalles sobre la aplicación de la metodología AMFE. Los resultados de aplicar el método AMFE vienen recogidos en la Tabla 13.

Tabla 13. Tabla AMFE.

ID	Descripción riesgo	Causa del riesgo	Impacto (1-10)	Probabilidad (1-10)	Detección (1-10)	NPR
1	Inutilización de todo el sistema	Ataque PEM	10	4	8	320
2	Capacidad de generación eléctrica insuficiente	Demanda mayor de la esperada	10	6	6	360
3	Las baterías no se cargan	Problemas en el diseño	8	2	3	48
4	Entra agua en los circuitos	No es estanco	10	6	4	240
5	Dificultades montaje	el tamaño de las placas y los aerogeneradores es inadecuado	6	6	2	72
6	Calentamiento del sistema	El sistema no tiene buena refrigeración	10	4	2	80
7	El remolque vuelca con poca pendiente	Mala distribución del peso	10	4	2	80
8	Interrupción del suministro	Mala sincronización entre los sistemas	10	4	3	120
9	Necesidad de mayor distancia entre el sistema híbrido y el puesto de mando	Huella térmica	4	8	2	64
10	Fallo en la conexión con los sistemas de mando y control	Conexiones incompatibles	10	6	2	120
11	Falta de preparación de los usuarios	Insuficiencia de instrucción	2	8	2	32
12	Fallo aerogeneradores	Problemas en el giro de las aspas	6	4	3	72
13	El sistema se incendia	Mal funcionamiento eléctrico	8	4	6	96
14	El mástil se queda atascado	Se estropea el elevador	8	2	2	32
15	Fallo de los paneles fotovoltaicos	Polvo acumulado	8	4	1	32
16	Picos de tensión	Mal funcionamiento del sistema	8	6	6	288
17	El grupo electrógeno no arranca	No funciona el dispositivo de arranque eléctrico	6	8	2	96
18	Sobrecarga del grupo electrógeno	Fallo del disyuntor	8	4	2	64
19	Exposición a los gases del grupo electrógeno	Mala combustión	6	2	1	12
20	Necesidad de alimentación extra(baterías)	Aumento del consumo previsto	6	8	3	144

Mediante el uso del método AMFE se han detectado 7 riesgos que superan el 100 en NPR, por lo que son riesgos que se deben priorizar y controlar para que el sistema propuesto funcione correctamente. Dentro de estos riesgos se encuentran aquellos que pertenecen a la clase de riesgo de nivel alto con el análisis anterior. Además, riesgos que en dicho análisis pertenecían a un nivel de prioridad medio han sido señalados por este método por su dificultad de detección. Por ejemplo, el riesgo de que aparezcan picos de tensión no provocaría el fallo de todo el sistema necesariamente, pero su dificultad de detectar hace que tenga un número de prioridad alto. Aquellos riesgos con nivel inferior a 100, quedan en un segundo plano, lo cual no significa que no se tengan en cuenta.

Las conclusiones que se pueden sacar del análisis de riesgos realizado son evidentes. Los riesgos que afectan a la cobertura de la demanda, impidiendo al sistema cumplir su misión, son los que deben tener mayor prioridad. En consecuencia, en los dos análisis realizados, han coincidido los tres riesgos de alto nivel como preferentes. Evitar que se materialicen dichos riesgos es vital para la implementación exitosa del sistema híbrido. Las medidas de contingencia deben estar preparadas para aplicarse en caso de ser necesario y el seguimiento de los riesgos debe ser prioritario.

Adicionalmente, se debe tener un seguimiento especial para aquellos riesgos con NPR superior a 100 y con nivel medio, ya que aunque tengan un impacto u ocurrencia bajos su dificultad de detección hace que puedan poner en riesgo el éxito del proyecto.

4.4. Análisis económico

Para conocer los beneficios que supone la adquisición del sistema híbrido para el grupo de artillería hay que tener en cuenta el coste de todos los elementos que lo componen, así como el ahorro en combustible gracias al sistema. Por ello, en este apartado se realiza un análisis del periodo de amortización.

Para este análisis se deben tener en cuenta una serie de condiciones. En función de las diferencias en las horas de instrucción, en las actividades semanales del GACALEG o las maniobras de la unidad que dependen del presupuesto y las directrices de los cuadros de mandos para el nivel de instrucción que se pretende alcanzar, no se puede estimar con exactitud el uso anual de un grupo electrógeno.

Por ello, se realiza el análisis para un FDC que realice instrucción cuatro días a la semana, dejando el quinto para mantenimiento. La instrucción dura 7 de las 8 horas de jornada laboral estándar. Los días en los que no se realiza instrucción (por vacaciones del personal, desfiles u otras actividades) se compensan con los días de maniobras, en los que el grupo está en funcionamiento las 24 horas. En resumen, el grupo electrógeno funciona 7 horas cada día, cuatro días a la semana durante un año completo lo que da un total de 1456 horas de uso. El generador actual tiene una capacidad de 14 litros y una autonomía de 12 horas, por lo que consume 1,167 l/h de diésel. Esto significa que necesitará 1669,2 litros de diésel para su funcionamiento durante todo un año.

Por otro lado, el coste por litro de diésel depende de multitud de factores, desde el valor del petróleo crudo y su refinación hasta los impuestos de cada país en hidrocarburos. En las Figuras 10 y 11 se pueden ver los precios de diferentes tipos de combustibles por litro en los últimos años, así como en los últimos meses.

Como se puede observar, la variabilidad en el precio del combustible es otra desventaja en el uso del grupo electrógeno frente a un sistema híbrido. Además, el precio aumentará conforme las reservas mundiales de petróleo vayan disminuyendo. Para este análisis se ha utilizado los datos del gasóleo tipo A, que es el utilizado para los grupos electrógenos y el precio medio acumulado del último año, 1,112 € por litro. En definitiva, con el valor actual el gasto en combustible asciende a 1889,45 € anuales en combustible [15].

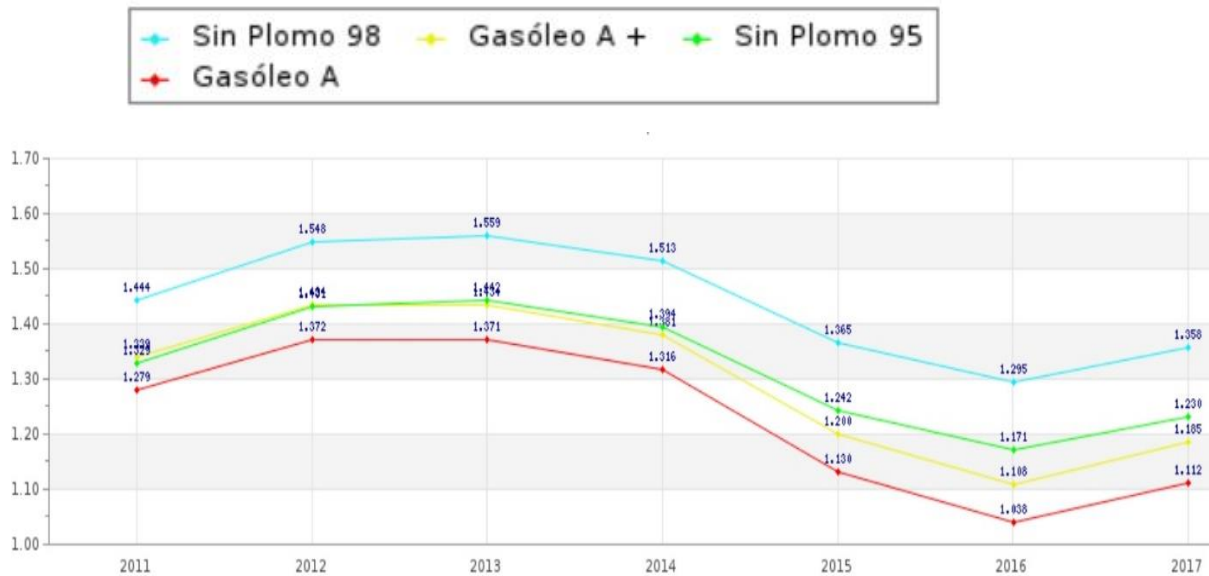


Figura 10. Precio medio acumulado anual en España [15]

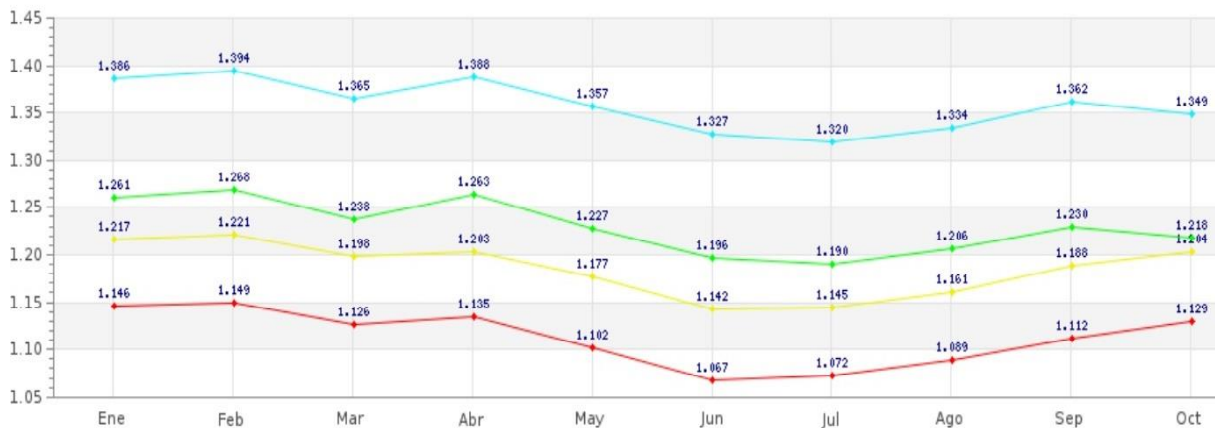


Figura 11. Precio medio acumulado en 2017 en España [15]

A continuación, se calcula el tiempo necesario para pagar la adquisición de los elementos del sistema y que comience a generar beneficios por el ahorro en diésel que supone. Los costes² de cada elemento a adquirir son los siguientes:

- Coste total paneles: 364 €
- Coste aerogenerador: 3350 €
- Coste de controlador de carga: 550 €
- Coste del inversor: 1269 €
- Coste total baterías: 228 €
- Coste mástil: 2000 €

Cabe destacar que no se incluye el gasto de adquisición del grupo electrógeno, ya que es material que la unidad posee. En total, el coste del sistema híbrido ascendería 7761 € para un FDC. La siguiente fórmula se utiliza para obtener la amortización del sistema, donde los ingresos es el gasto de combustible que se ahorra con la implementación del sistema.

Amortización= coste del bien/ingresos= 7761€/1889,45 €= 4,1 años.

En cuatro años, un mes y 6 días ya se habría amortizado el coste de adquisición del sistema, por lo que a partir del cuarto año se empezaría a ahorrar dinero en combustible.

Las baterías son el elemento del sistema que menor vida útil tiene, en torno a 7-10 años, por lo que se puede utilizar el dinero ahorrado para adquirir nuevas. Se puede realizar una previsión anual de la cantidad que ahorrar teniendo en cuenta la vida útil de cada elemento.

- Cantidad a ahorrar total paneles: 364 €/30 años= 12,14 €/año
- Cantidad a ahorrar aerogenerador: 3350 €/ 20 años=167,5 €/año
- Cantidad a ahorrar de controlador de carga: 550 €/ 15 años=36,7 €/año
- Cantidad a ahorrar del inversor: 1269 €/15 años=84,6 €/año
- Cantidad a ahorrar baterías: 228€/ 7 años=32,57 €/año
- Cantidad a ahorrar mástil: 2000€/ 10 años= 200 €/año
- Cantidad total: 533,51 €/año

Para mantener indefinidamente el sistema sustituyendo los elementos cuando termina su vida útil es necesario ahorrar 531,51€ anuales, esto supone que el sistema se amortizaría en 4 años 4 meses y 17 días y podría mantenerse indefinidamente con lo que se seguiría ahorrando 1355,94 € todos los años tras la amortización.

Este ahorro proviene de la sustitución de este sistema para un FDC. Sin embargo, el GACALEG cuenta con 4 FDCs, uno por cada batería y uno a nivel grupo. Esto significa que para su implementación en todo el grupo la inversión inicial ascendería a 31044 € y la cantidad a ahorrar por año para el mantenimiento 2134,04€. Por otro lado la cantidad de diésel consumida también se multiplica, siendo de 7557,8 € el gasto en combustible ahorrado. Evidentemente, el periodo de amortización sería el mismo.

² Los precios de adquisición de todos los elementos y la vida útil provienen de las tarifas de precios 2017 de la empresa Bornay S.A.

Como conclusión de este apartado, en menos de cinco años el sistema híbrido se habría amortizado y comenzaría a otorgar beneficios, que pueden ser destinados a otras áreas en las que el grupo necesite mejorar. Si bien es cierto que existen diferentes variables como el precio del combustible, el riesgo de que se estropee un elemento o en que en algún momento se necesite utilizar el grupo electrógeno del sistema híbrido, a largo plazo el sistema híbrido supone un ahorro para el GACALEG.

4.5. Análisis del impacto medioambiental

La concienciación medioambiental por parte del ejército lleva años materializándose en proyectos y adaptaciones en sus procedimientos con el objetivo de contribuir a la reducción de la huella ecológica de nuestro país. [16] En este apartado se calculan las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que producen los litros de gasoil consumidos por el grupo electrógeno para el funcionamiento de los sistemas de mando y control de un FDC durante 24 horas ininterrumpidas.

Como ya se comentó en el apartado anterior, el generador actual consume 1,167 l/h de diésel, que teniendo en cuenta la densidad del diésel (0,832 kg/l) equivalen a 0,971 kg/h. El contenido en masa de carbono típico del diésel es de 86,7%, teniendo en cuenta que la combustión será completa o prácticamente completa y que por tanto todo el carbono se convierte en CO₂, la cantidad de CO₂ que se emitirá cuando el grupo electrógeno funcione será de 3,9 kg de CO₂ por hora de funcionamiento.

Además, los vehículos también contribuyen a la huella que deja el grupo de artillería. Por ejemplo, en la Tabla 14 podemos ver el consumo y las emisiones del vehículo Aníbal en función del terreno por el que se circula. Hay que puntualizar que este consumo variará en función de la carga que llevemos, así como de los factores meteorológicos o la pendiente existente.

Tabla 14. Consumo y emisiones del Aníbal [13]

TERRENO	CONSUMO(litros/100 Km)	EMISIONES CO ₂ (gr/km)
Urbano	11,2	292
Extra-Urbano	8,2	215
Combinado	9,3	243

Actualmente, sustituir los vehículos resulta técnica y económicamente inviable, por lo que la implementación del sistema híbrido es la manera más factible de reducir los niveles de contaminación generados. El sistema híbrido sería capaz de funcionar sin necesidad de utilizar el grupo electrógeno gracias a los paneles solares y al aerogenerador, incluso en condiciones adversas se podrían mantener los sistemas de mando y control activos con las baterías hasta que éstas se agotasen. Como ya se detalló anteriormente en esta memoria, tanto los paneles solares como el aerogenerador no producen ningún tipo de contaminación. La implementación del sistema híbrido supondría una mejora sustancial en el impacto medioambiental que se genera para mantener los sistemas de mando y control del grupo operativos.

Por último, se debe tener en cuenta la materia particulada que generan los grupos electrógenos en la combustión del diésel y que es perjudicial para la salud. Mediante el uso del sistema híbrido se disminuye la exposición de los soldados encargados del grupo electrógeno a esta materia particulada [17].

5. CONCLUSIONES, TRABAJOS FUTUROS Y VALORACION PERSONAL

5.1. Principales conclusiones

Un ejército llega tan lejos como lo hacen sus suministros. Se puede decir que el abastecimiento de los ejércitos modernos ha cobrado aún más importancia por la complejidad de la maquinaria y los aparatos que utilizan, así como el combustible que precisan. La maniobrabilidad y la eficacia de un ejército están íntimamente relacionadas con la capacidad de abastecimiento. Por tanto, el ejército del futuro debe ser capaz de autoabastecerse allá donde se despliegue.

La mejor opción a corto y medio plazo es utilizar un sistema híbrido como se demuestra en este TFG. La implementación de este sistema supone avances significativos en el apartado táctico. En primer lugar, en la autonomía del grupo de artillería, cuya autonomía aumentará al reducirse la dependencia. En segundo lugar, en la seguridad para la operatividad de los sistemas de mando y control, puesto que los sistemas podrán mantenerse en funcionamiento aunque estén aislados.

Además, el sistema propuesto presenta ventajas en otros aspectos. Por un lado, un notable ahorro en combustible, y en consecuencia, un capital que se libera para invertir en otros proyectos o productos. La economía de medios, es uno de los preceptos de nuestro ejército. Implementar este sistema supone una mejora de eficiencia, que se puede maximizar si se incluye en todo el ejército.

Por otro lado, se reduce el impacto medioambiental causado por el grupo de artillería. Esto podría parecer un objetivo secundario, pero proteger el medioambiente es una forma de proteger nuestro país, dejando un mundo más limpio para las generaciones futuras. Así mismo, también se mejora la imagen del ejército de tierra, porque su compromiso con la defensa del medioambiente fortalece los lazos con una ciudadanía cada vez más preocupada con este tema.

En conclusión, la implementación de un sistema híbrido como el propuesto es la mejor alternativa para la generación y el suministro eléctrico de los sistemas de mando y control del grupo de artillería de campaña de la legión, que a su vez, puede ser gradualmente adaptado a otras unidades del ejército, obteniéndose un ejército más eficaz y mejor preparado para enfrentarse a cualquier situación.

5.2. Trabajos futuros

Para implementar el sistema propuesto de manera exitosa se deben seguir una serie de pasos. En este apartado se plantean de forma teórica la posible implementación en el FDC. Para ello primero habría que diseñar como sería físicamente el sistema, dando detalles tales como donde se transportaría o como estarían conectados los diferentes elementos. A continuación, se presentan dos posibles vías para su implementación:

Sistema híbrido en remolque independiente. Todos los componentes del sistema estarían unidos a un remolque independiente que podrían transportar los vehículos del FDC. Este remolque portaría las placas solares en su techo, con la posibilidad de inclinarlas y darles orientación. El mástil y el aerogenerador estarían integrados en el remolque de forma que solo hubiera que desplegarlo. En su interior, los elementos más sensibles junto al grupo electrógeno estarían protegidos. Diseñar y producir un remolque así tendría la desventaja de aumentar el coste de la implementación.



Figura 10. Boceto de remolque independiente

El sistema híbrido se transporta con los medios existentes. Los componentes estarían separados, transportándose en el remolque de carga, el camión y el vehículo ligero. El sistema tendría que poder conectar los elementos con facilidad. Las placas solares y el aerogenerador con el mástil serían transportados por el camión, incluyéndose la posibilidad de que el aerogenerador esté ya acoplado al camión, de la misma forma que posee un acople para la antena WIFI. A parte de lo acoples, no sería necesario ningún extra, con el consiguiente ahorro.

La elección dependería principalmente del presupuesto del que se dispusiese. Una vez elegido y aprobado el diseño por la Subdelegación General de Adquisiciones de Armamento y Material, se tendría que lanzar una licitación pública para que una empresa externa creara el sistema siguiendo los requisitos que se han establecido. Antes de implementar el sistema en todo el GACALEG, se debería crear un prototipo que permitiera observar los errores de funcionamiento y las dificultades de implementación.

Posteriormente, se procedería a probar el sistema bajo diferentes condiciones en el campo de maniobras, con lo que se verificaría el cumplimiento de los requisitos tácticos y de los objetivos propuestos.

El siguiente hito consistiría en dar un pequeño curso de formación sobre el uso del sistema a los responsables de cada uno, que podría impartirlo la empresa ganadora del concurso. De esta forma, se aseguraría el manejo correcto del sistema y su mantenimiento básico, que no tendría que estar externalizado. Una vez superadas las pruebas e impartidos los cursos de formación para los usuarios, se adquirirían el resto de sistemas para adaptar todos los FDCs.

La adaptación en todos los grupos de artillería de campaña del ejército supondría el inicio de una serie de mejoras en el suministro eléctrico con el que se obtendría un ejército más eficaz, con mejores capacidades y adaptado a su tiempo.

5.3. Valoración personal

Durante la realización de este proyecto he aprendido mucho más de lo que en un primer momento imaginaba. El trabajo de fin de grado ha supuesto el mayor de los retos académicos al que me he enfrentado. La realización de este TFG me ha permitido utilizar los conocimientos adquiridos durante el grado y ponerlos en práctica en una situación real, ante un problema específico a solucionar.

Este trabajo me ha hecho evolucionar como alumno, como ingeniero y como persona. Como alumno, ya que con él he adquirido nuevos conocimientos y he repasado los que ya tenía. Como ingeniero, porque he tenido que enfrentarme a un problema a resolver lejos del aula, reuniendo información, entrevistando expertos y realizando análisis para obtener resultados y conclusiones. Y por último, también he evolucionado como persona, he conocido a muchas personas que me han ayudado a darle el enfoque que necesitaba, he tenido que relacionarme y buscar soluciones ante los problemas que iban apareciendo.

Todo ello ha sido la última pieza de un puzle que lleva formándose durante cuatro años y de la que ya se va diferenciando la imagen de un ingeniero en organización industrial. Por otro lado, he aprendido que el final de mi formación no es sino el comienzo de otra, puesto que el aprendizaje está implícito en cada nuevo proyecto y en cada nuevo problema a resolver. Gracias al trabajo de fin de grado, he aprendido que puedo enfrentarme a cualquier problema que se me presente con voluntad y esfuerzo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Segura García, J. Palau Cuñat, F. Martínez Laínez, M. del carmen Vidaller Salillas, *El camino español, la huella de los tercios en Europa*. Madrid, 2014.
- [2] “Almería, Google Maps.” Disponible:
<https://www.google.es/maps/place/Almería/@36.894091,-2.4318825,14z/data=!4m5!3m4!1s0xd7a9e00ecccf2c1:0x8d9da01f8ebc485e18m2!3d36.834047!4d-2.4637136>. [Acceso: 15-Sep-2017].
- [3] Estado Mayor de la Defensa, “Manual de Área de Malí,” 2012.
- [4] J. M. Sáncho Ávila, J. Riesco Martín, C. Jiménez Alonso, M. Sánchez de Cos Escuin, J. Montero Cadalso, M. López Bartolomé, “Atlas de Radiación Solar en España,” 2012.
- [5] MadriSolar, “Guía de la Energía Solar,” 26, vol. 7, Madrid, p. 66, 2006.
- [6] Tecnicscapris, “Grupos electrógenos,” Disponible:
<https://www.tecnicscapri.com/es/grupos-electrogenos-preguntas-frecuentes/>. [Acceso: 23-Sep-2017].
- [7] Ministerio de Defensa, “Defensa invertirá 71,30 millones de euros para proteger y mejorar su patrimonio natural,” 2007. Disponible:
http://www.defensa.gob.es/gabinete/notasPrensa/2007/02/notaPrensa_721.html. [Acceso: 22-Sep-2017].
- [8] Jefatura de Adiestramiento y Doctrina Logística, “Estudio sobre las aplicaciones de la energía solar para equipos militares,” 2009.
- [9] “Imágenes Pixabay,” 2017. Disponible: <https://pixabay.com/es/>. [Acceso: 23-Oct-2017].
- [10] Instituto para la organización y ahorro de Energía, “Resumen del Plan de Energías Renovables 2011-2020,” 2011.
- [11] Comercio y turismo departamento de industria, “La energía eólica. ventajas e inconvenientes,” 2007.
- [12] Rigual SA, “Manual de usuario de remolque,” Huesca, 2004.
- [13] Santa Ana motor, “Manual usuario Vehículo ligero anibal,” Jaén, 2004.
- [14] ITC POWER, “Manual de usuario del grupo electrógeno,” 2015.
- [15] “Evolución e Histórico del precio de la gasolina, precio diesel y carburantes en general,” 2017. Disponible:
<http://www.dieselogasolina.com/Estadisticas/Historico>. [Acceso: 20-Oct-2017].
- [16] A. Ceballos Escalera, I. Anadón Fernández, C. Casal Fornos, A. Magariños Compaired, “Fuerzas Armadas y Medio Ambiente,” 2007.
- [17] F. para la salud Geoambiental, “Material particulado,” 2017. Disponible:
<http://www.saludgeoambiental.org/material-particulado>. [Acceso: 06-Oct-2017].
- [18] URO S.A., “Manual De Usuario MAT. 18.16,” vol. 1, no. 858. pp. 1–34, 2006.
- [19] Weather Underground, “Weather History & Data Archive.” Disponible:
[https://www.wunderground.com/history/index.html?error=AMBIGUOUS&query=somalia&day=13&month=9&year=2017&finalday=\(null\)&finalmonth=\(null\)&finalyear=\(null\)](https://www.wunderground.com/history/index.html?error=AMBIGUOUS&query=somalia&day=13&month=9&year=2017&finalday=(null)&finalmonth=(null)&finalyear=(null)). [Acceso: 04-Oct-2017].

- [20] Centro de Inteligencia de las Fuerzas Armadas, “Manual de área Afganistán,” vol. 11, p. 13, 2010.
- [21] Ministerio de defensa, “BOD, Anexo II: Metodología para gestión de riesgos,” 2012.
- [22] R. Acero, J. Pastor, J. Sancho, M. Torralba, *Ingeniería de la Calidad*, 2nd ed. Zaragoza, 2014.

ANEXO A: Vistas del material de la unidad

En este anexo se encuentran las vistas del material del grupo de artillería de campaña de la legión usados para el transporte, entre otros elementos, de los grupos electrógenos. Estas vistas dan una idea de las capacidades actuales y las posibilidades de implementación del sistema. En primer lugar, se encuentran las vistas del remolque de carga útil donde actualmente se transporta el grupo electrógeno. En segundo lugar, el vehículo ligero Aníbal que arrastra el remolque anterior. Por último, el camión MAT 18.16 donde se monta el FDC de cada batería.

Remolque de carga útil

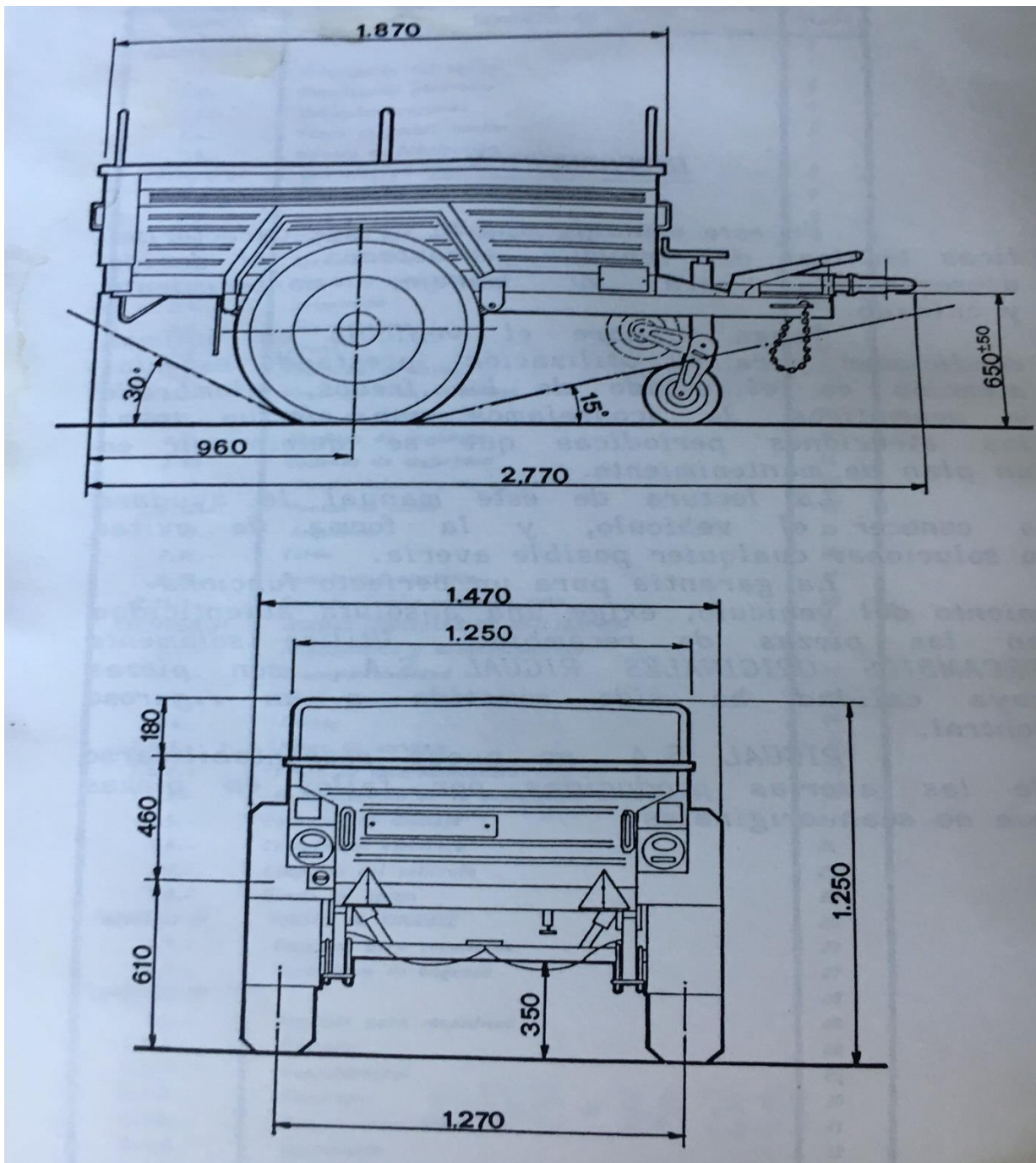


Figura 11. Vistas del remolque [12]

Vehículo ligero Aníbal

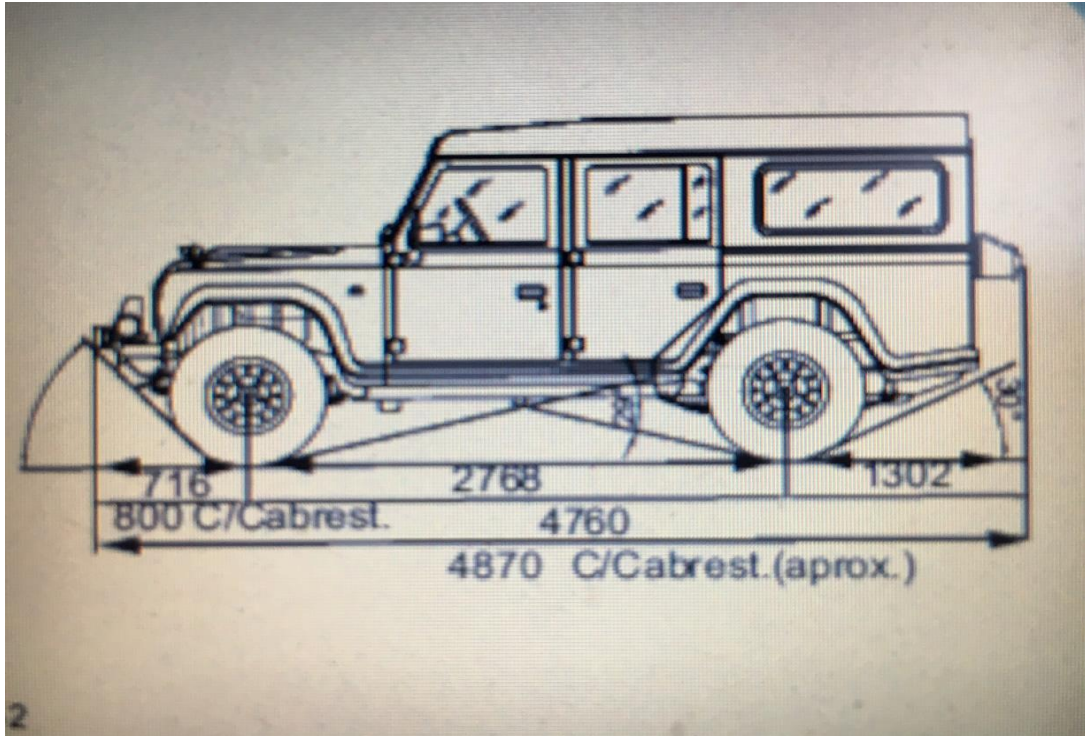


Figura 12. Vista lateral del Aníbal [13]

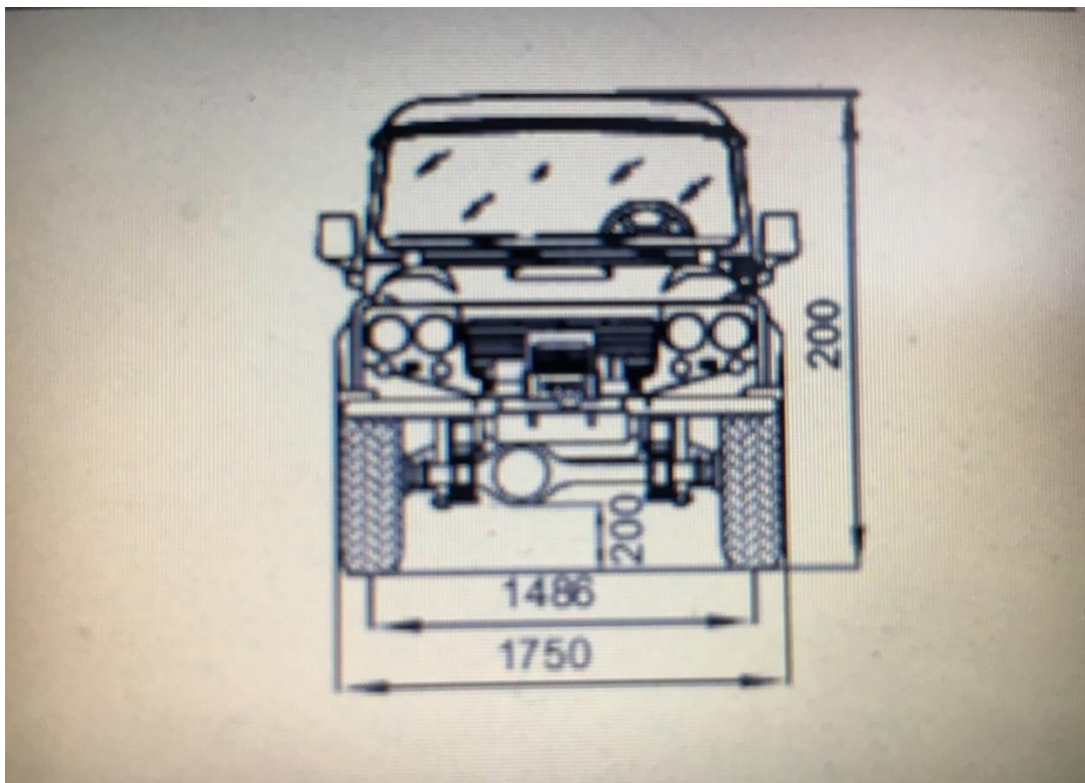


Figura 13. Vista frontal del Aníbal [13]

Camión MAT 18.16

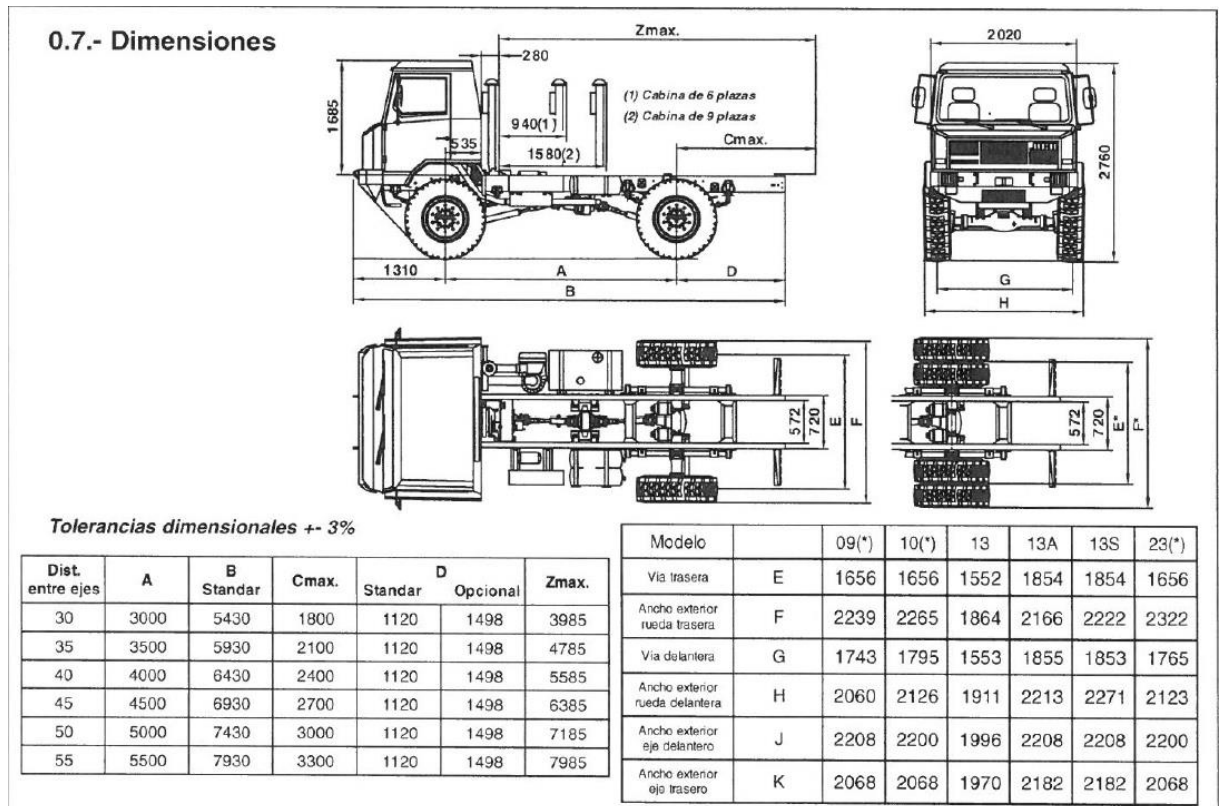


Figura 14. Vistas del MAT 18.16 [18]

ANEXO B: Clima

Clima de Almería en 2016

En este anexo se recogen los datos climatológicos recogidos de los meses de febrero, abril, julio y octubre del 2016, para tener una referencia del clima durante las cuatro estaciones del año. Las siguientes tablas y gráficos muestran los datos climatológicos relativos a la provincia de Almería en 2016. [19] La velocidad del viento la irradiancia son los datos de mayor importancia, sin embargo, las temperaturas y las precipitaciones de la zona en el año también son datos relevantes, ya que ayudan a comprender las condiciones a las que el sistema se puede ver expuesto, y en consecuencia podría ser necesario aplicar medidas o diseñar el sistema con unas especificaciones que permitan el funcionamiento del sistema. Según los datos, el sistema no tendría que enfrentarse a condiciones adversas extremas por lo que no necesitaría medidas especiales.

	Max	Avg	Min	Sum
Temperature				
Temperatura máxima	21 ° C	18 ° C	14 ° C	
Temperatura media	17 ° C	14 ° C	10 ° C	
Temperatura mínima	13 ° C	10 ° C	6 ° C	
Degree Days				
Grados día de calefacción (base 65)	14	8	2	226
Cooling Degree Days (base 65)	0	0	0	0
Growing Degree Days (base 50)	13	7	0	203
Punto de rocío				
Punto de rocío	17 ° C	7 ° C	-8 ° C	
Precipitación				
Precipitación	3.0 mm	0.1 mm	0.0 mm	3.55 mm
Snowdepth	-	-	-	-
Viento				
Viento	74 km/h	18 km/h	0 km/h	
Gust Viento	103 km/h	56 km/h	24 km/h	
Presión al nivel del mar				
Presión al nivel del mar	1035 hPa	1019 hPa	998 hPa	

Figura 15. Clima de febrero 2016 de Almería [19]

Monthly Weather History Graph

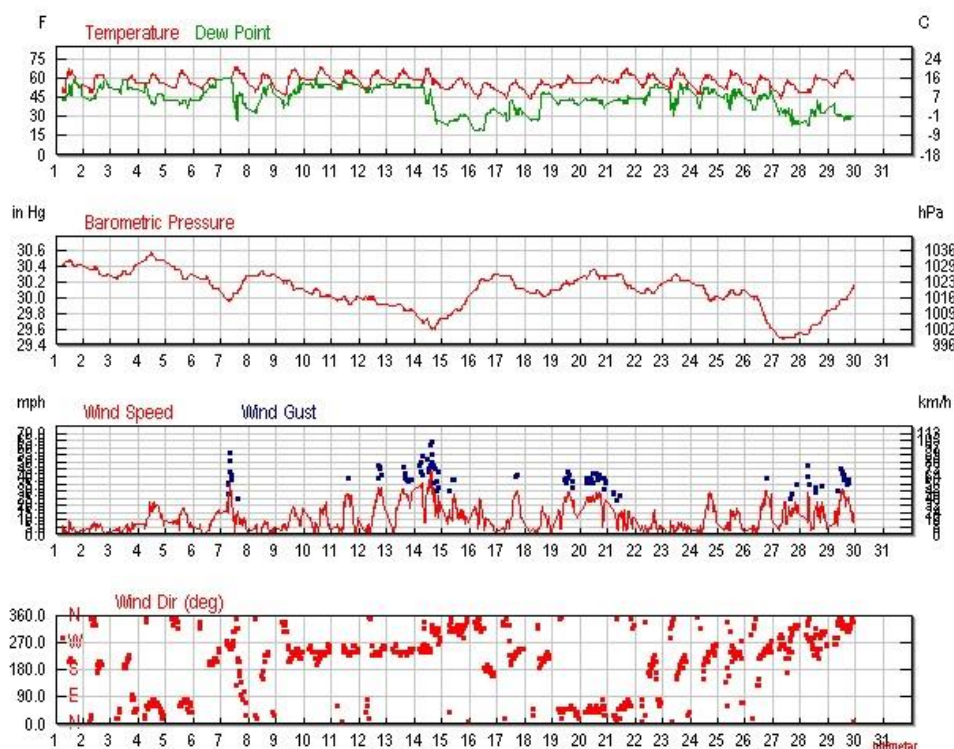


Figura 16. De arriba a abajo, gráficos relativos a la temperatura, presión barométrica, velocidad del viento y dirección del viento en febrero de 2016 [19]

	Max	Avg	Min	Sum
Temperature				
Temperatura máxima	25 ° C	20 ° C	18 ° C	
Temperatura media	20 ° C	17 ° C	13 ° C	
Temperatura mínima	17 ° C	13 ° C	9 ° C	
Degree Days				
Grados día de calefacción (base 65)	8	3	0	99
Cooling Degree Days (base 65)	4	0	0	11
Growing Degree Days (base 50)	18	12	6	357
Punto de rocío				
Punto de rocío	16 ° C	11 ° C	-6 ° C	
Precipitación				
Precipitación	7.1 mm	0.4 mm	0.0 mm	10.92 mm
Snowdepth	-	-	-	-
Viento				
Viento	58 km/h	15 km/h	0 km/h	
Gust Viento	77 km/h	55 km/h	27 km/h	
Presión al nivel del mar				
Presión al nivel del mar	1023 hPa	1013 hPa	1000 hPa	

Figura 17. Clima de Abril de 2016 de Almería [19]

Monthly Weather History Graph

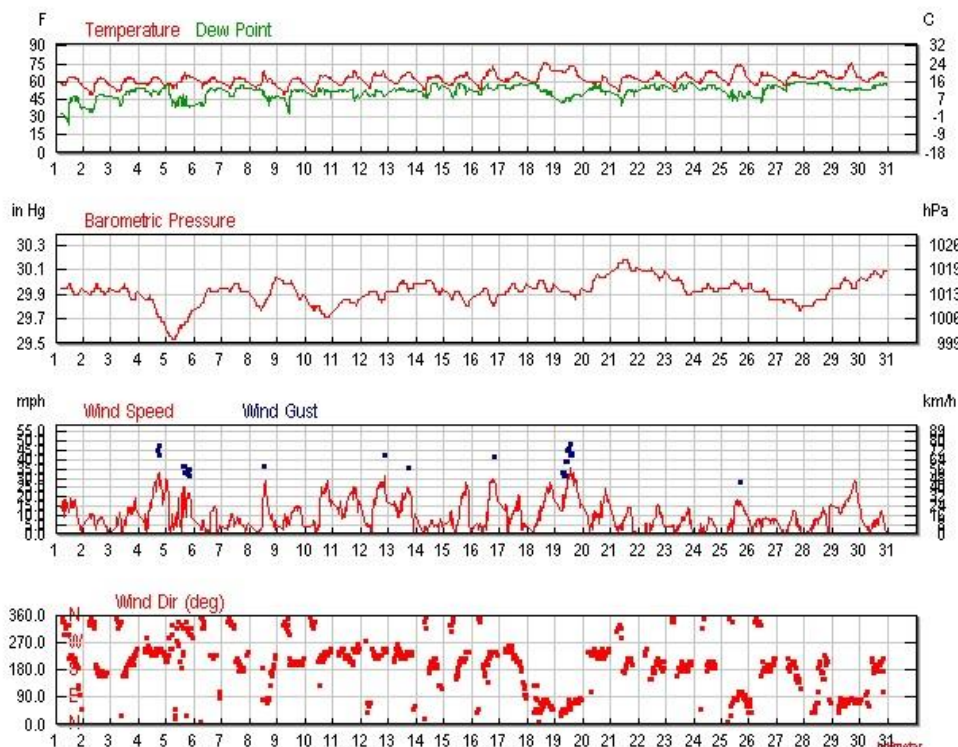


Figura 18. De arriba a abajo, gráficos relativos a la temperatura, presión barométrica, velocidad del viento y dirección del viento en Abril de 2016 [19]

	Max	Avg	Min	Sum
Temperature				
Temperatura máxima	38 ° C	32 ° C	26 ° C	
Temperatura media	32 ° C	28 ° C	24 ° C	
Temperatura mínima	27 ° C	23 ° C	22 ° C	
Degree Days				
Grados día de calefacción (base 65)	0	0	0	0
Cooling Degree Days (base 65)	24	17	10	527
Growing Degree Days (base 50)	40	32	25	999
Punto de rocío				
Punto de rocío	24 ° C	18 ° C	7 ° C	
Precipitación				
Precipitación	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.00 mm
Snowdepth	-	-	-	-
Viento				
Viento	61 km/h	15 km/h	0 km/h	
Gust Viento	82 km/h	48 km/h	29 km/h	
Presión al nivel del mar				
Presión al nivel del mar	1021 hPa	1016 hPa	1010 hPa	

Figura 19. Clima de Julio de 2016 de Almería [19]

Monthly Weather History Graph

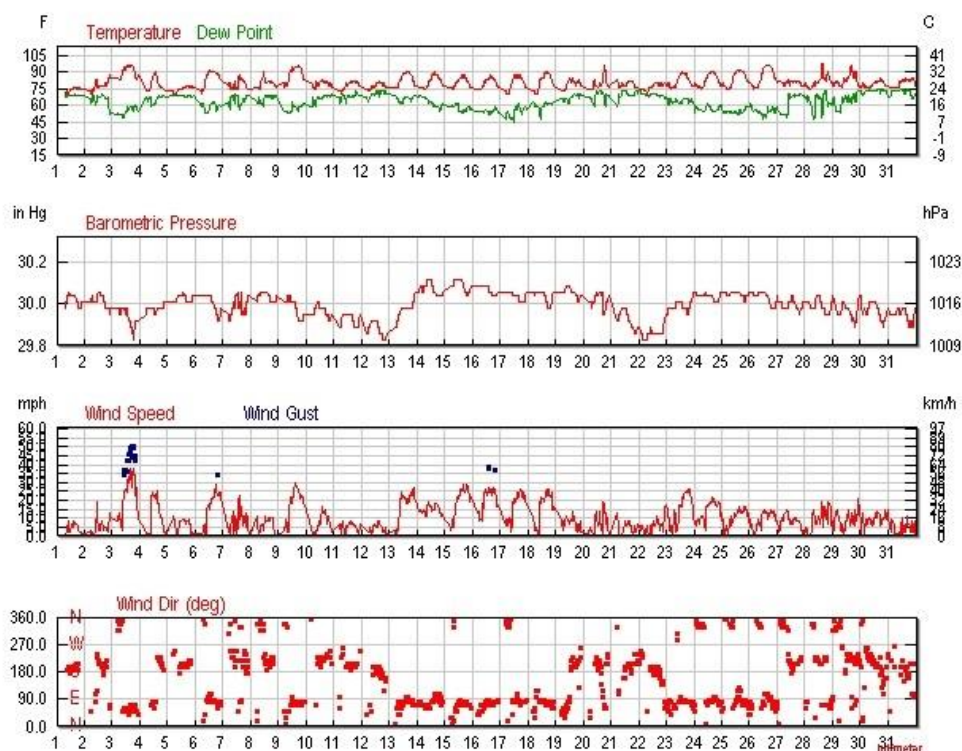


Figura 20. De arriba a abajo, gráficos relativos a la temperatura, presión barométrica, velocidad del viento y dirección del viento de julio de 2016 [19]

	Max	Avg	Min	Sum
Temperature				
Temperatura máxima	31 ° C	26 ° C	21 ° C	
Temperatura media	27 ° C	22 ° C	19 ° C	
Temperatura mínima	22 ° C	18 ° C	14 ° C	
Degree Days				
Grados día de calefacción (base 65)	0	0	0	0
Cooling Degree Days (base 65)	15	7	1	216
Growing Degree Days (base 50)	30	22	16	678
Punto de rocío				
Punto de rocío	21 ° C	16 ° C	6 ° C	
Precipitación				
Precipitación	2.0 mm	0.1 mm	0.0 mm	3.55 mm
Snowdepth	-	-	-	-
Viento				
Viento	85 km/h	10 km/h	0 km/h	
Gust Viento	42 km/h	42 km/h	42 km/h	
Presión al nivel del mar				
Presión al nivel del mar	1030 hPa	1016 hPa	1001 hPa	

Figura 21. Clima de Octubre de 2016 de Almería [19]

Monthly Weather History Graph

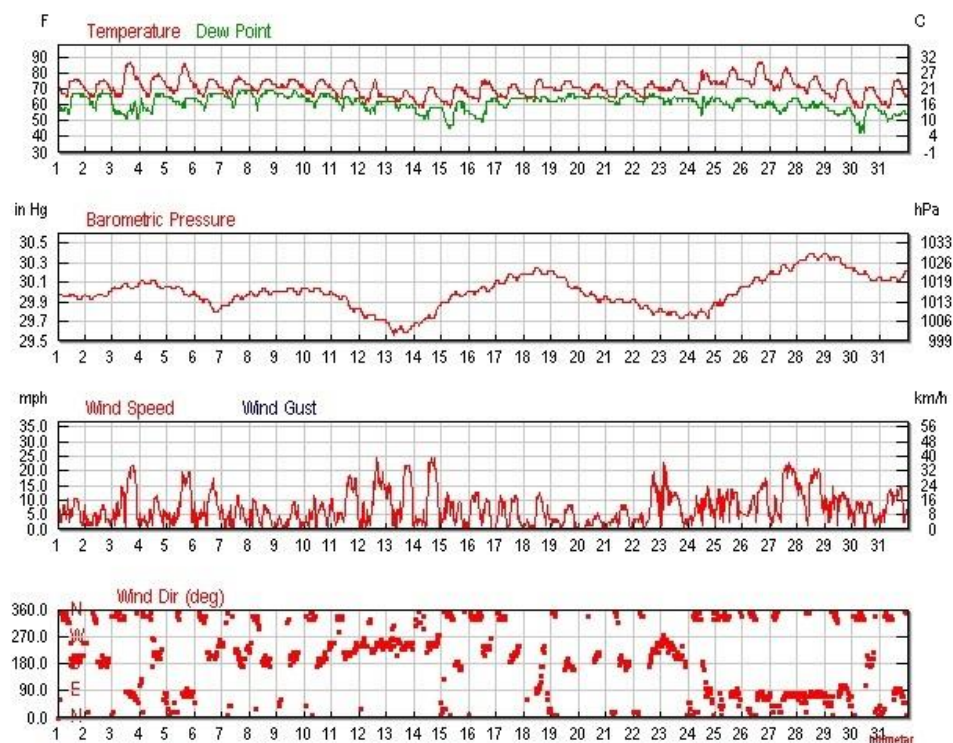


Figura 22. De arriba a abajo, gráficos relativos a la temperatura, presión barométrica, velocidad del viento y dirección del viento en Octubre de 2016 [19]

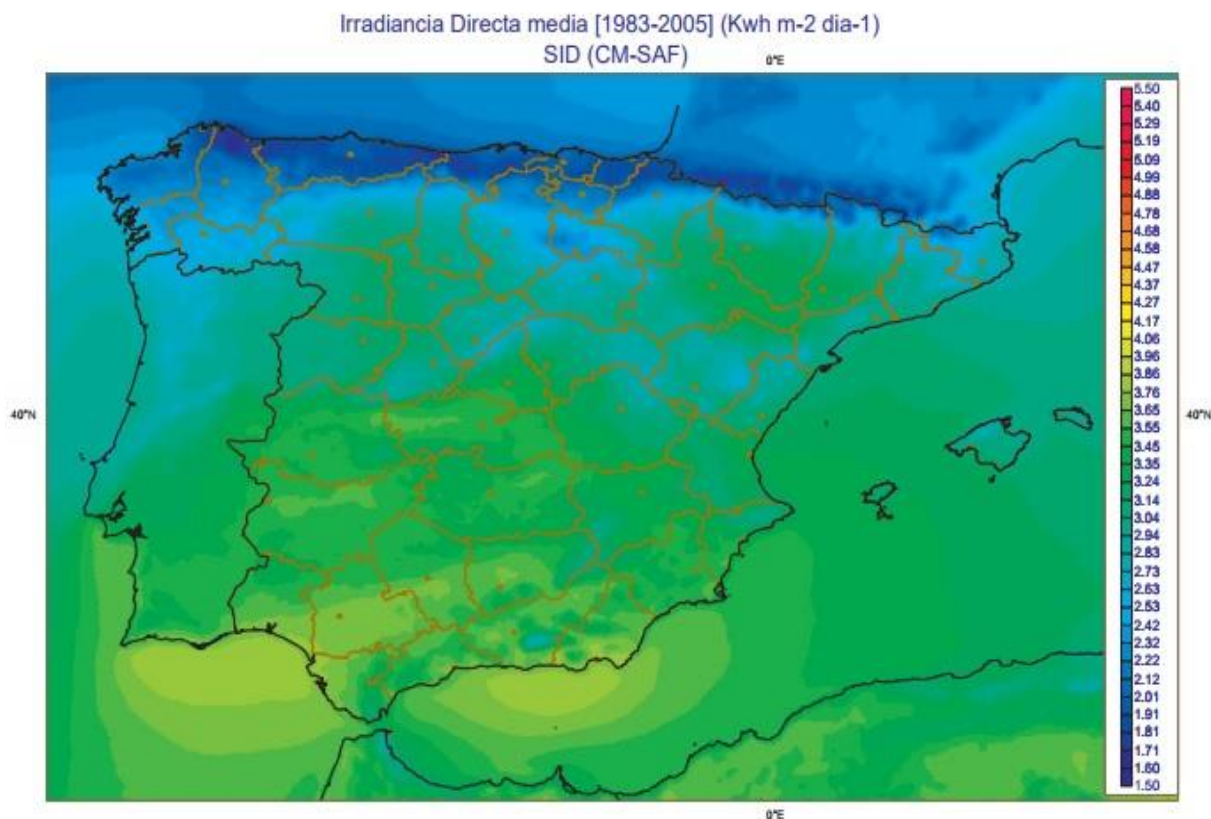


Figura 23. Irradiancia directa media (1983-2005) [4]

Clima en otros lugares de interés

Malí

Esta caracterizado por ser un país de gran tamaño en el que existe tres climas diferentes, desértico, saheliano y tropical. En la figura 26, se muestra en qué zonas de Malí se da cada uno de los tres tipos de climas existentes.



Figura 24. Zonas climáticas de Malí [3]

El ejército español posee actualmente tropas desplegadas en este país dentro de la misión EUTM en Malí, cuyo objetivo es formar al ejército maliense para que pueda hacer frente a las organizaciones terroristas y dar estabilidad en la zona. Si en algún momento fuera necesario el despliegue de un contingente mayor, el sistema híbrido podría resultar muy útil, dados los climas del país.

Del mismo modo, el sistema híbrido también puede usarse en los despliegues de Iraq y Afganistán, donde el clima permite un alto rendimiento de los paneles fotovoltaicos [20].

ANEXO C: Metodología para gestión de riesgos

El anexo C recoge las metodologías utilizadas en la gestión de riesgos de este trabajo, con los pasos a seguir en cada una y los criterios a seguir. Se debe tener en cuenta que se ha realizado una adaptación de las metodologías de este anexo, por las condiciones especiales del proyecto. La metodología de gestión de riesgos del Ministerio de Defensa [21] y la metodología AMFE [22].

Metodología para la gestión de riesgos del Ministerio de Defensa

La gestión de los riesgos que surgen a lo largo de la vida de un programa se concretará en un Plan de Gestión de Riesgos para cuya elaboración y constante actualización se acometerán las siguientes actuaciones:

1. Identificación de riesgos

La identificación de riesgos se llevará a cabo por cualquier persona involucrada en el programa, como especialistas en las distintas materias que integran el mismo y concedores de los potenciales riesgos que pudieran ir surgiendo. La Oficina de Programa, bajo la dirección del Jefe de Programa, actuará como centro de coordinación, recibiendo del conjunto de agentes involucrados en el programa la identificación de los posibles riesgos y evaluando la conveniencia de introducir éstos en el Plan de Gestión de Riesgos del Programa.

2. Análisis, clasificación, valoración y priorización de riesgos

El análisis, clasificación, valoración y priorización de riesgos deben ser llevados a cabo de forma conjunta por un grupo reducido de personas para limitar, en la medida de lo posible, el nivel de subjetividad que implica este proceso y asegurar la correcta aplicación de la metodología y criterios de valoración establecidos.

Los riesgos se clasificarán por áreas. La definición de estas áreas responderá a criterios tales como las fases del programa o las fuentes de riesgo. Como criterio general se considerarán las siguientes Áreas de Riesgo: Gestión, Costes, Diseño y Requisitos, I+D y Desarrollos, Producción, Recursos, Calidad y Pruebas, y Logística.

La probabilidad de que cada riesgo identificado pueda materializarse se valorará tomando como referencia los criterios recogidos en la Tabla 15.

Tabla 15. Probabilidad materialización del riesgo [21]

Probabilidad de que el riesgo se materialice			
Nivel	Frecuencia de ocurrencia	Probabilidad	Definición
1	Muy baja	Del orden del 10%	El riesgo se materializará sólo bajo suposiciones extremadamente pesimistas
2	Baja	Del orden del 30%	El riesgo se materializará sólo bajo suposiciones pesimistas
3	Media	Del orden del 50%	El riesgo se materializará bajo suposiciones normales
4	Alta	Del orden del 70%	El riesgo se materializará sólo bajo suposiciones optimistas
5	Muy alta	Del orden del 90%	El riesgo se materializará prácticamente con toda certeza

El impacto que potencialmente puede suponer el riesgo, en caso de materializarse, sobre las tres dimensiones del programa: costes, plazos y requisitos, se valorará tomando como referencia los criterios recogidos en la Tabla 16.

Tabla 16. Impacto del riesgo [21]

Impacto del riesgo				
Nivel	Clasificación	Coste	Plazo	Requisitos
1	Muy bajo	Sin impacto	Mínimo	Mínimo o sin consecuencias en los requisitos técnicos
2	Bajo	<1%	<5%	Mínima reducción en los requisitos técnicos
3	Medio	<5%	<10%	Moderada reducción en los requisitos técnicos
4	Alto	<25%	<25%	Degradación significativa de los requisitos técnicos
5	Muy alto	Mayor o igual a 25%	Mayor o igual a 25%	Severa Degradación significativa de los requisitos técnicos

Los porcentajes reflejados en la tabla anterior serán calculados tomando las siguientes referencias:

Coste: La referencia a considerar será la suma de las partes del contrato cuyo coste está sujeto a riesgo, es decir, cuyo importe puede variar desde el punto de vista del Ministerio de Defensa, como son, por ejemplo: partidas abiertas, seguros, revisiones de precios, gastos de viajes, etc. No se deberá considerar el conjunto del presupuesto ya que éste suele contener partidas a precio cerrado que no están sujetas a riesgo desde el punto de vista del Ministerio de Defensa.

Plazo: La referencia para estimar el impacto en plazo será el periodo de tiempo que resta para la finalización del programa.

El nivel de impacto de los distintos riesgos identificados podrá variar a lo largo de la vida del programa en función de la variación que puedan experimentar las referencias tenidas en cuenta para la valoración de dicho impacto.

Una vez estimados tanto la probabilidad como el impacto sobre cada una de las tres dimensiones del programa: plazos, costes y requisitos, se procederá a calcular el nivel de criticidad de cada riesgo empleando la siguiente fórmula:

Nivel de Criticidad (NC) = Nivel Probabilidad x MAX (Nivel Impacto Plazos, Nivel Impacto Costes, Nivel Impacto Requisitos)

Donde la función MAX indica el máximo impacto dentro de las tres dimensiones consideradas.

Una vez establecido el nivel de criticidad de cada riesgo, éste será ubicado dentro de la siguiente matriz:

Probabilidad	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
		1	2	3	4	5
		Impacto				

Se considerarán:

Figura 25. Matriz de índice de criticidad [23]

- Riesgos bajos aquellos cuyo índice de criticidad sea: 1, 2, 3, 4, o 6.
- Riesgos Medios aquellos cuyo índice de criticidad sea: 5, 8, 9, 10 o 12
- Riesgos Altos aquellos cuyo índice de criticidad sea: 15,16,20 o 25

Los riesgos se priorizarán en función de su índice de criticidad de forma decreciente.

3. Definición, planificación y seguimiento de acciones de mitigación o contingencia

Una vez efectuada la valoración de cada riesgo se deberá proceder a la definición, planificación y seguimiento de las acciones de mitigación o contingencia que se estimen oportunas siguiendo los siguientes criterios generales:

- Riesgos Bajos: Realizar un seguimiento o asumirlos.
- Riesgos Medios: Realizar un seguimiento más exhaustivo para evitar que pasen a la zona de Riesgos Altos, definiendo un plan de mitigación en aquellos casos en los que el Jefe de Programa lo estime oportuno.
- Riesgos Altos: Requieren obligatoriamente un plan de acción, mitigación o contingencia, y su coste y plazo debe ser tenido en cuenta en la gestión del programa.

El objetivo de la gestión de riesgos es su eliminación o bien la reducción de su impacto hasta hacerlo asumible en el caso de que el coste asociado a su eliminación sea superior a los beneficios que ésta aporta. En este caso, el Jefe de Programa podrá gestionar los riesgos con otro tipo de acciones (seguimiento, asunción del riesgo, etc.) cuando considere que los planes de mitigación o contingencia tienen un coste asociado demasiado elevado.

La efectividad de los planes de mitigación se valorará de acuerdo a los siguientes criterios:

- Poco efectivo: Cuando un riesgo se mantenga dentro de la misma zona.
- Efectivo: Cuando un riesgo pase de la zona de Riesgos Altos a la de Riesgos Medios.
- Muy efectivo: Cuando un riesgo pase de la zona de Riesgos Medios o Altos a la zona de Riesgos Bajos.

El Jefe de Programa podrá adaptar la metodología de gestión de riesgos a las particularidades de su programa para maximizar la efectividad de la misma.

Metodología AMFE

EL método de análisis modal de fallos y efectos es una herramienta de calidad que se utiliza para conocer los “modos de fallo” o los posibles fallos que puede tener un nuevo producto, diseño o proceso. Posteriormente se clasifican los modos de fallos en función de su prioridad y se buscan soluciones. Los pasos del método son los siguientes:

1. Definir el objetivo real de estudio. Puede ser desde satisfacer al cliente hasta identificar los modos de fallo con consecuencias importantes.
2. Identificar las funciones del proceso. Incluir las funciones de cada uno de los componentes del sistema, además de las interconexiones existentes entre ellos.
3. Determinar los modos potenciales de fallo. Un modo de fallo significa que un elemento no satisface o no funciona de acuerdo a las especificaciones o con lo que se espera con él.
4. Especificar los efectos potenciales del fallo. Se establece la repercusión del modo de fallo en el sistema.
5. Determinar las causas potenciales de fallo. Se define como el indicio de una debilidad del diseño o proceso cuya consecuencia es el modo de fallo.
6. Identificar los sistemas de control actuales. Se deben reflejar todos los controles existentes para prevenir las causas de fallo. En caso de ser necesario deben ser modificados.
7. Determinar los índices de evaluación. Gravedad, ocurrencia y detección.
8. Calcular el número de prioridad de riesgo.
9. Describir las acciones correctivas.
10. Definir responsabilidades.
11. Establecer seguimiento de las acciones correctivas.
12. Calcular el nuevo número de prioridad de riesgo.

La metodología AMFE se puede aplicar tanto para diseños como para procesos o sistemas. Cabe destacar que algunos pasos de la metodología como definición de responsables o el seguimiento de acciones correctivas no se han podido realizar en el análisis de la memoria ya que se trata de una propuesta de implementación.

En las tablas 17, 18 y 19 podemos encontrar las tablas de valoraciones de gravedad, ocurrencia y detección que han sido utilizadas en el análisis de la memoria.

Tabla 17. Clasificación de la gravedad del efecto [22]

GRAVEDAD DEL EFECTO (G)	CRITERIO	VALOR
MUY BAJA (Repercusiones imperceptibles)	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
BAJA (Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles)	El tipo de fallo origina un ligero inconveniente al usuario o cliente. Probablemente, éste observará un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable.	2-3
MODERADA (Defectos de relativa importancia)	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción al cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema.	4-6
ALTA	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
MUY ALTA	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta al funcionamiento de seguridad del producto o proceso, y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves, corresponde a un 10.	9-10

Tabla 18. Clasificación de probabilidad de aparición [22]

PROBABILIDAD DE APARICIÓN (O)	CRITERIO	VALOR
MUY BAJA	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
BAJA	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
MODERADA	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente o sistema.	4-6
ALTA	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o procesos previos que han fallado.	7-8
MUY ALTA	Fallo casi inevitable.	9-10

Tabla 19. Clasificación de la probabilidad de detección [22]

PROBABILIDAD DE DETECCIÓN (D)	CRITERIO	VALOR
MUY ALTA	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
ALTA	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
MODERADA	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente y se detecte en los últimos estadios de la producción	4-6
BAJA	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
MUY BAJA	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final.	9-10