



# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio e implementación de paneles fotovoltaicos en mochilas  
de logística para consumos de equipos auxiliares*

## Grado en Ingeniería Mecánica

**ALUMNO:** José Manuel García Paz

**DIRECTORES:** Víctor Alfonsín Pérez  
Rocío Maceiras Castro

**CURSO ACADÉMICO:** 2016-2017

Universida<sub>de</sub>Vigo





# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Estudio e implementación de paneles fotovoltaicos en mochilas  
de logística para consumos de equipos auxiliares*

**Grado en Ingeniería Mecánica**  
Intensificación en Tecnología Naval  
Infantería de Marina

Universida<sub>d</sub>eVigo



## **RESUMEN**

El objetivo del presente Trabajo Fin de Grado es el estudio y la implementación de paneles fotovoltaicos en la mochila logística utilizada por las unidades del Cuerpo de Infantería de Marina, con el fin de lograr una autosuficiencia energética para su uso en misiones. Esto podría proporcionar una ventaja táctica para el Infante de Marina y una reducción del número de baterías a transportar.

En primer lugar, se ha realizado el estudio de la demanda energética de los diferentes equipos electrónicos que tiene que transportar el Infante de Marina. A continuación, se han instalado una serie de paneles fotovoltaicos de tipo monocristalino en la mochila logística, con un sistema de adquisición de datos en la parte posterior de los paneles, para el registro de los valores de tensión e intensidad, a partir de los cuales se podría calcular la potencia y la energía generada.

El estudio de generación de energía se ha realizado durante las maniobras comunes de un Infante de Marina durante su adiestramiento en diferentes ubicaciones. Finalmente, con la energía obtenida se ha estudiado la posibilidad de alimentar los distintos equipos del Infante de Marina.

## **PALABRAS CLAVE**

Fotovoltaico, Batería, Mochila logística, Demanda Energética, Optrónicos



# **AGRADECIMIENTOS**

A mi esposa Begoña y mis hijos Aarón y Elsa por el apoyo continuo durante todos estos años.

A mis padres José Manuel y María del Carmen por todo el ánimo dado durante estos años.

A mis tutores Víctor y Roció por estar dándome continuos consejos, sin su apoyo este trabajo no hubiera sido posible este trabajo.





## CONTENIDO

Contenido .....	1
Índice de Figuras .....	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y Objetivos .....	7
1.1 Panorama Energético. ....	7
1.2 Energías Renovables .....	9
1.3 Energía Fotovoltaica .....	10
1.3.1 Radiación Solar.....	10
1.3.2 Efecto Fotoeléctrico .....	11
1.3.3 Tipos Paneles .....	13
1.3.4 Utilización de la energía eléctrica fotovoltaica .....	14
1.4 Planteamiento del Problema.....	16
1.4.1 Energía en el Ministerio de Defensa.....	16
1.4.2 Necesidad energética en operaciones. ....	17
1.4.3 Necesidad de energética del soldado de infantería .....	19
1.5 Justificación del Trabajo .....	20
1.6 Objetivos .....	20
2 Estado del Arte .....	21
2.1 Equipos Fotovoltaicos para Bases Permanentes o Semipermanentes.....	21
2.1.1 Energía Fotovoltaica en Bases Permanentes .....	21
2.1.2 Equipos Fotovoltaicos en Bases Semipermanentes.....	22
2.1.2.1 Sistemas de Mantenimiento de pequeñas unidades (SUSS) .....	22
2.1.2.2 Toldos plegables (Powershade).....	22
2.2 Equipos Fotovoltaicos Portátiles.....	23
2.2.1 Paneles MC-10.....	23
2.2.2 Paneles Solares Enrollables .....	24
2.2.3 Batería Conformable.....	25
3 Desarrollo del TFG.....	26
3.1 Consumo Soldado de Infantería.....	26
3.1.1 Equipos de Comunicaciones Portátiles.....	26
3.1.1.1 Familia PR4G .....	27
3.1.1.2 Equipos Harris .....	28
3.1.1.3 Consumo Equipos de Comunicaciones .....	29

3.1.2 Equipos Optrónicos .....	29
3.1.2.1 Visor Holográfico.....	29
3.1.2.2 Iluminador Infrarrojo.....	30
3.1.2.3 Linterna Táctica.....	30
3.1.2.4 Visor Nocturno PVS-14 .....	31
3.1.2.5 Visor Nocturno PVS-7B.....	31
3.1.2.6 Consumos equipos portátiles.....	32
3.1.3 Consumo Pequeñas Unidades de Infantería de Marina .....	32
3.2 Elementos del Sistema .....	33
3.2.1 Mochila Logística .....	33
3.2.2 Paneles Fotovoltaicos .....	33
3.2.3 Registro de Datos.....	33
3.2.3.1 Calculo de la potencia fotovoltaica generada.....	34
3.2.4 Sistema Completo .....	35
3.3 Energía Generada.....	35
3.3.1 Modo Estático .....	35
3.3.1.1 Pontevedra .....	36
3.3.1.2 Campo de adiestramiento del Teleno .....	39
3.3.1.3 Alimentación Equipos .....	41
3.3.2 Modo Dinámico .....	42
3.3.2.1 Pontevedra Escenario 1 .....	42
3.3.2.2 Pontevedra Escenario 2 .....	44
3.3.2.3 Pontevedra Escenario 3 .....	46
3.3.2.4 Teleno Escenario 1 .....	48
3.3.2.5 Teleno Escenario 2 .....	50
3.3.2.6 Alimentación Equipos .....	51
3.4 Escenarios Alternativos.....	53
4 Conclusiones y Líneas Futuras.....	55
4.1 Conclusiones .....	55
4.2 Líneas Futuras .....	56
5 Bibliografía.....	57
6 Anexo: Gráficas de Tensión e Intensidad.....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Consumo de combustible mundial año 2015 [1].....	7
Figura 1-2 Aportación de los gases de efecto invernadero al cambio climático en el mundo (a) y en España (b). .....	8
Figura 1-3: Evolución de la dependencia energética [8].....	10
Figura 1-4 Radiación solar [11].....	11
Figura 1-5 Efecto Fotoeléctrico.....	12
Figura 1-6 Bases e instalaciones Ejército Español [24] .....	16
Figura 1-7 Potencial teórico físico de energía renovable .....	18
Figura 1-8 Soldado de infantería [31] .....	19
Figura 1-9 panel fotovoltaico portátil [35].....	20
Figura 2-1 Tienda con paneles fotovoltaicos .....	21
Figura 2-2 Equipo SUSS .....	22
Figura 2-3 Toldo powershade.....	23
Figura 2-4 Paneles fotovoltaicos MC-10 en casco y mochila logística .....	23
Figura 2-5 Militar con panel fotovoltaico .....	24
Figura 2-6 Panel fotovoltaico enrollable [40] .....	24
Figura 2-7 Batería conformable .....	25
Figura 3-1 Radioteléfono PR4G 9200.....	27
Figura 3-2 PR4G 9100 .....	27
Figura 3-3 Harris RF-5800 [43] .....	28
Figura 3-4 Harris RF-7800S [44] .....	28
Figura 3-5 Visor Eotech .....	29
Figura 3-6 Iluminador ANPQ2A.....	30
Figura 3-7 Linterna táctica M3X.....	30
Figura 3-8 PVS14 acoplado en casco.....	31
Figura 3-9 Visor PVS-7B.....	31
Figura 3-10 Paneles fotovoltaicos .....	33
Figura 3-11 Easylog USB 3.....	34
Figura 3-12 Paneles Fotovoltaicos colocados en mochila logística.....	35
Figura 3-13 Irradiación solar provincia de Pontevedra [55] .....	36
Figura 3-14 Instalaciones Escuela Naval Militar [57].....	37
Figura 3-15 Radiación solar día 29.01.17 [56].....	37
Figura 3-16 Gráfica tensión e intensidad seta día 29.01.17 .....	37

Figura 3-17 Gráfica tensión e intensidad laterales día 29.01.17 .....	38
Figura 3-18 Graficas de Potencias de los paneles fotovoltaicos día 29.01.17 .....	38
Figura 3-19 Irradiación solar provincia de León [55] .....	39
Figura 3-20 Localización campamento del Teleno .....	40
Figura 3-21 Radiación solar 7.03.17 .....	40
Figura 3-22 Gráfica de las potencias de los paneles día 7.03.17.....	40
Figura 3-23 Dispositivos alimentados modo estático.....	41
Figura 3-24 Zona de asentamiento de los alumnos de Infantería de Marina [57].....	42
Figura 3-25 Radiación solar día 9.02.17 .....	43
Figura 3-26 Graficas de Potencias de los paneles fotovoltaicos día 9.02.17 .....	43
Figura 3-27 Recorrido patrulla reconocimiento [57] .....	44
Figura 3-28 Radiación solar día 16.02.17 .....	45
Figura 3-29 Graficas de Potencias de los paneles fotovoltaicos día 16.02.17 .....	45
Figura 3-30 Itinerario Patrulla Combate [57].....	46
Figura 3-31 Radiación solar día 23.02.17 .....	47
Figura 3-32 Gráficas de Potencias de los paneles fotovoltaicos día 23.02.17 .....	47
Figura 3-33 Zonas de asentamientos de los alumnos día 8.03.17 .....	48
Figura 3-34 Radiación solar día 8.03.17 .....	49
Figura 3-35 Graficas de Potencias de los paneles fotovoltaicos día 8.03.17 .....	49
Figura 3-36 Itinerario patrulla combate 9.03.17.....	50
Figura 3-37 Radiación solar día 9.03.17 .....	51
Figura 3-38 Gráficas de Potencias de los paneles fotovoltaicos día 9.03.17 .....	51
Figura 3-39 Dispositivos alimentados en modo dinámico .....	52
Figura 3-40 Irradiación solar mensual Herat, Mali, Somalia y Líbano [61].....	53
Figura 6-1 Gráfica tensión e intensidad seta día 7.03.17 .....	61
Figura 6-2 Gráfica tensión e intensidad laterales día 7.03.17 .....	61
Figura 6-3 Gráfica tensión e intensidad seta día 9.02.17 .....	62
Figura 6-4 Gráfica tensión e intensidad lateral día 9.02 17.....	62
Figura 6-5 Grafica tensión e intensidad seta día 16.02.17 .....	62
Figura 6-6 Grafica tensión e intensidad lateral día 16.02.17.....	63
Figura 6-7 Grafica tensión e intensidad seta día 23.02.17 .....	63
Figura 6-8 Grafica tensión e intensidad lateral día 23.02.17.....	63
Figura 6-9 Gráfica tensión e intensidad seta 8.03.17 .....	64
Figura 6-10 Gráfica tensión e intensidad lateral 8.03.17 .....	64
Figura 6-11 Grafica tensión e intensidad seta día 9.03.17 .....	64
Figura 6-12 Grafica tensión e intensidad lateral día 9.03.17.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Células monocristalinas, policristalinas y amorfa .....	13
Tabla 1-2 Comparación sistemas fotovoltaicos [18].....	14
Tabla 1-3 Tipos de Baterías.....	15
Tabla 3-1 Familia PR4G.....	27
Tabla 3-2 Equipos Harris de comunicaciones.....	28
Tabla 3-3 Consumo Wh Comunicaciones.....	29
Tabla 3-4 Consumo equipos electrónicos portátiles.....	32
Tabla 3-5 Consumos pequeñas unidades Infantería de Marina.....	32
Tabla 3-6 Meteorología del día 29.01.17 [56].....	36
Tabla 3-7 Meteorología día 7 de marzo [58].....	39
Tabla 3-8 Meteorología del día 9.02.17 [59].....	42
Tabla 3-9 Meteorología del día 16.02.17 [59].....	44
Tabla 3-10 Meteorología del día 23.02.17 [59].....	46
Tabla 3-11 Meteorología del día 8.03.17 .....	48
Tabla 3-12 Meteorología del día 9.03.17 .....	50
Tabla 3-13 Energía obtenida en diferentes ubicaciones .....	54



# 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## 1.1 Panorama Energético.

Los combustibles fósiles siguen siendo los combustibles más utilizados a nivel mundial, con un 80% del consumo actual. Estos tipos de combustibles, se formaron a partir de restos de organismos vivos y plantas que existieron hace millones de años. Estos restos, con el paso del tiempo se fueron depositando en diferentes capas de sedimento, y mediante la acción de diferentes reacciones químicas y debido a la presión ejercida por el peso de las diferentes capas de sedimentos, se produjo su transformación en los denominados combustibles fósiles.

Dentro de los combustibles fósiles, el petróleo es la fuente principal de energía consumida con un 31%, seguido del carbón con un 27% y el gas con un 22% (Figura 1-1) [1]. El consumo de este tipo de combustibles sigue en aumento, y debido, entre otros factores al aumento de la población mundial y a que los combustibles fósiles no tienen carácter renovable, las reservas de este recurso se están agotando. Con el objeto de paliar o disminuir este posible agotamiento se están realizando esfuerzos en la búsqueda de nuevos pozos petrolíferos, así como también se ha recurrido al uso de nuevas tecnologías de extracción, todo esto gracias a los recientes avances en el sector. Sin embargo y debido a que esto no conseguiría solucionar a priori el problema indefinidamente, y que junto a los riesgos y peligros medioambientales que son producidos durante su extracción, manipulación y utilización, se hace necesaria la búsqueda de una alternativa energética.

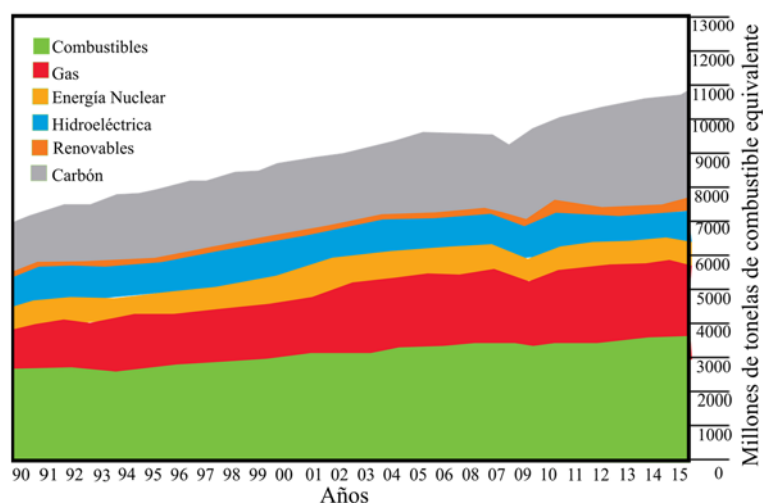


Figura 1-1 Consumo de combustible mundial año 2015 [1]

Por otra parte, este tipo de energía fósil también contribuye al aumento de gases de efecto invernadero y de otros tipos de agentes contaminantes tales como gases metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (NO<sub>2</sub>), perfluorocarbonos (PCF), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), hidrofluorocarbonos (HFC) [2]. Para luchar a nivel global contra todos estos inconvenientes, en el año 1997 en Kyoto, 187 países industrializados firmaron reducir las emisiones de gases que provocan el calentamiento global en un 5 %, entre los años de 2008 y 2012. En base a esto, la Unión Europea, se planteó los siguientes objetivos, permitiendo por tanto luchar contra el cambio climático, y cumplir así el Protocolo de Kyoto [3]:

- Reducir un 20% el consumo energético mediante una mayor eficiencia energética.
- Aumentar en un 20% la cuota procedente de energías renovables.
- Reducir el 20% la emisión de gases de efecto invernadero.

Debido a que los objetivos marcados por la Unión Europea para el año 2020 actualmente están casi cumplidos, la propia Unión Europea se está planteando unos nuevos objetivos para el 2030, en el denominado 40-27-27, y que son detallados a continuación [4]:

- Reducción del 40% en las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Aumentar en un 27% el uso de energías renovables, en el consumo total de energía a nivel de Unión Europea.
- Mejora de un 27% de eficiencia energética para 2030, comparándola con las proyecciones de consumo de energía en el futuro.

Para cumplir todos estos objetivos, los países desarrollados han comenzado a tomar medidas para el estudio e implantación de las energías de origen renovable. Con ello también se evitaría la dependencia de la exportación de combustibles desde otros países y además ayudaría a paliar el aumento del consumo de combustible global.

La energía renovable consiste en el aprovechamiento de recursos naturales tales como el sol, el viento, agua, residuos agrícolas y orgánicos. Este recurso podría incluso llegar a sustituir los combustibles fósiles y a la energía nuclear tanto para la generación de electricidad, como en aplicaciones térmicas y combustibles [5]. Además, cuenta con la ventaja de ser un recurso seguro, accesible para todos los países e inagotable.

Las energías renovables alcanzaron un valor del 9% en el consumo mundial en el año 2015 [1]. En España las energías renovables produjeron el 37,1% del consumo de electricidad durante el 2015 [6], y la previsión para el año 2020 en España, se prevé del 22,7% de energías renovables y de un 42,3% de generación de electricidad [7].

En la Figura 1-2 se puede apreciar las emisiones de los distintos tipos gases de tipo efecto invernadero así como su origen.

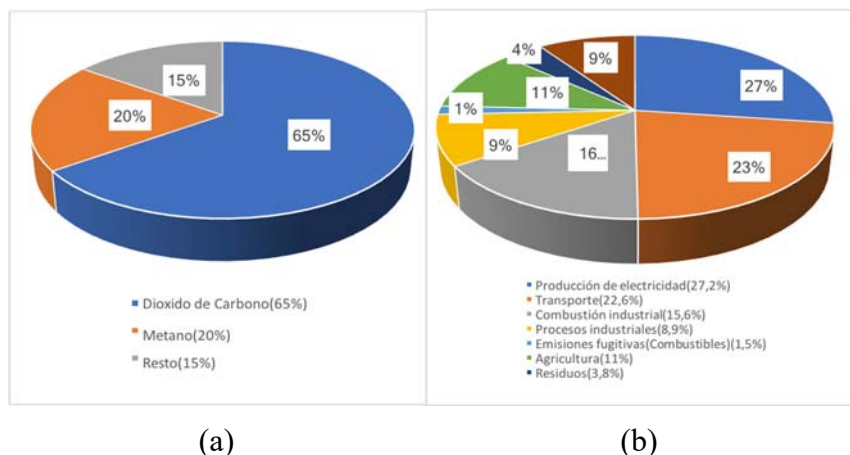


Figura 1-2 Aportación de los gases de efecto invernadero al cambio climático en el mundo (a) y en España (b).



## 1.2 Energías Renovables

Las energías renovables surgen de la necesidad de muchos países que no poseen recursos energéticos suficientes para poder satisfacer sus propios suministros y, por otra parte, de la necesidad de disminuir las emisiones de gases a la atmósfera (Protocolo Kyoto). En el caso de España las emisiones fueron del 80% en el año 2005 [7].

Existen diferentes tipos de energía renovables, que pueden ser utilizados para cubrir la demanda energética, y que serán detallados de forma resumida a continuación:

- Energía eólica: Utiliza la fuerza del viento para generar energía eléctrica. Para obtener esta fuente de energía, se utilizan los aerogeneradores, los cuales transforman la energía cinética que se genera desde sus aspas, en energía mecánica. En general, estos aerogeneradores suelen estar situados en zonas donde hay gran incidencia del viento, y colocados en torres de gran altura. La gran utilidad de los aerogeneradores es que se pueden colocar en cualquier tipo de terreno (firme o marino), y la agrupación de estos se denomina parques eólicos.
- Energía solar: Es la que llega a la tierra en forma de radiación electromagnética. La energía solar se puede utilizar de tres formas: como radiación fotovoltaica (conversión de la luz electromagnética en energía eléctrica), como sistema fototérmico (consiste en transformar la energía solar en energía térmica almacenada en un fluido), o como energía solar termoeléctrica (generando electricidad mediante las etapas de la transformación de la radiación solar en calor, y después transformando ese calor en electricidad usando ciclos termodinámicos).
- Energía mareomotriz: Se produce energía eléctrica, a partir del movimiento producido por las mareas, en su ascenso y descenso, que es debido a la acción gravitatoria de la Luna y el Sol. Este movimiento es aprovechado por turbinas, las cuales hacen mover un alternador que produce la energía eléctrica. Esta energía, obtenida de las mareas, se lleva a una central mareomotriz, donde finalmente se transforma en electricidad. Este sistema tiene una gran dependencia del tamaño de las mareas. Tiene el inconveniente de que su mantenimiento es muy costoso.
- Biomasa: Utiliza la materia orgánica para obtener energía. Es la energía que queda almacenada en las plantas por el proceso de la fotosíntesis, o incluso en los desechos de origen tanto vegetal como animal. Esta energía puede ser utilizada para obtener electricidad, calor, o biocombustibles líquidos. Es por tanto una energía barata, segura y eficiente, y ayuda a conservar el medioambiente.
- Energía hidráulica: Se obtiene energía eléctrica, utilizando para ello el agua almacenada en los embalses y ríos. Para ello se abren unas compuertas y se aprovecha la energía potencial que proviene de la caída del agua, transformándola en energía eléctrica. Este tipo de energía tiene una gran dependencia de las condiciones meteorológicas, y no es apropiada para zonas de gran sequía durante el año.
- Energía geotérmica: Es una energía que aprovecha el calor que se produce en el suelo para obtener agua caliente y calefacción. Se tiene en cuenta, que, a mayor profundidad, la temperatura va aumentando, y por tanto el flujo de calor desde el interior de la tierra hacia el exterior es mayor. A diferencia de otras energías renovables, no utiliza el calor del sol para producir energía, sino que aprovecha la diferencia de temperatura entre la superficie y el centro de la tierra.

Este tipo de energías son seguras, y se prevé un crecimiento bastante significativo para los próximos años. En la Figura 1-3, se puede apreciar dicho crecimiento y la disminución de los combustibles fósiles renovables en España. De esta misma gráfica se puede apreciar que el aumento más significativo tendría lugar para la energía fotovoltaica aproximadamente para el año 2100.

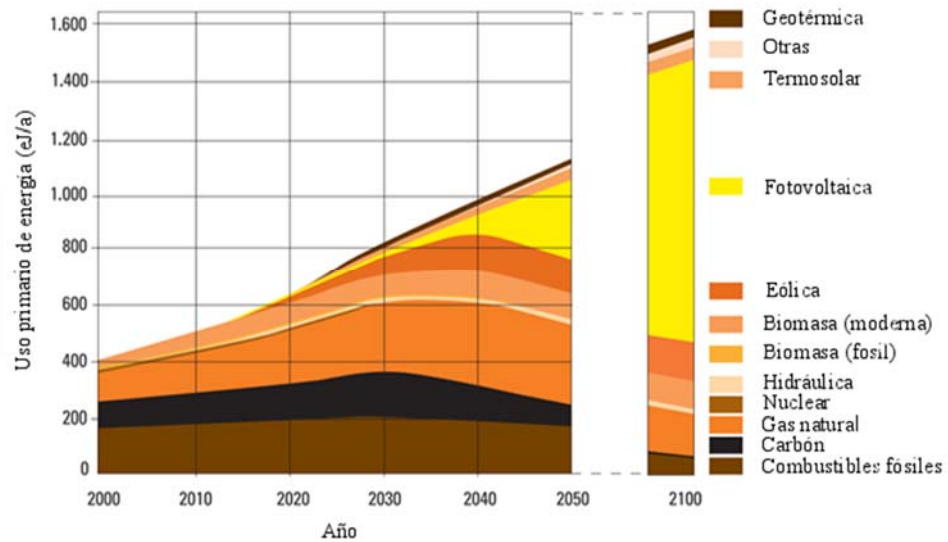


Figura 1-3: Evolución de la dependencia energética [8]

### 1.3 Energía Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica, fue desarrollada originalmente, para los satélites espaciales, con el fin de proporcionarles la energía que necesitaban para desarrollar sus misiones en el espacio. Desde entonces, esta ha estado en continuo crecimiento, y más concretamente desde el principio de la problemática ambiental y la escasez de recursos.

Su evolución siempre ha sido de forma paralela a la energía eólica. Mientras la energía eólica, se encarga de aprovechar las zonas con elevada velocidad de viento, la energía fotovoltaica permite aprovechar la radiación solar en ubicaciones donde este aprovechamiento eólico no es posible o no proporciona buenos resultados.

Los paneles fotovoltaicos cuentan con la ventaja de poder ser colocados en cualquier parte del mundo [9]. La energía fotovoltaica es una energía limpia y renovable; sin embargo, la cantidad de energía que aporta, sigue estando muy por debajo de otras fuentes de tipo convencional, si bien su utilización se encuentra en crecimiento. Sin embargo, debido a sus compromisos medioambientales, muchos países están adoptando este tipo de energía renovable.

La energía fotovoltaica tiene su origen en el efecto fotovoltaico o fotoeléctrico, a partir del cual se transforman los rayos procedentes del Sol en energía eléctrica. Para el aprovechamiento de esta radiación se necesitan materiales capaces de absorber fotones y emitir electrones. La potencia que se puede obtener de este tipo de energía, depende en gran medida de la temperatura a la que se encuentran las celdas, de la radiación incidente sobre ellas y de la resistencia de la carga.

#### 1.3.1 Radiación Solar

Para entender el funcionamiento de un panel fotovoltaico, es necesario conocer previamente el fenómeno de la radiación solar. La radiación solar es la radiación procedente de las reacciones nucleares producidas dentro del núcleo de Sol. Esta radiación solar penetra en la atmósfera, y se mezcla con los agentes externos que se encuentran en la superficie (aerosoles, vapor de agua, etc.).

La radiación solar no siempre es la misma al llegar a la superficie terrestre, ya que depende de diversos factores como son la temperatura, la nubosidad, hora del día, vegetación, etc.

Para el estudio de la incidencia de la radiación solar sobre cualquier superficie, previamente es necesaria su clasificación [10]:

- Radiación directa: En este tipo de radiación, es la recibida directamente desde el sol, sin haber difusión por parte de la atmósfera, es decir, no ha sido modificada. Tiene la característica, de que proyecta una sombra definida de objetos opacos.
- Radiación difusa: La radiación solar es modificada cuando penetra en la atmósfera, creándose dispersiones, originadas por las nubes, los aerosoles, y el aire. Por lo tanto, los rayos del sol dependen en gran medida de las condiciones climáticas. Al contrario de la radiación directa, no proyecta sombra sobre objetos opacos.
- Componente reflejada: Esta depende del factor de reflectancia que tenga la superficie donde se refleja, como puede ser un edificio, o los diferentes tipos de suelo que existen. Las superficies que reciben mayor radiación solar son las verticales.

La radiación global sería la suma de todas estas radiaciones. Por tanto, en un día soleado la radiación predominante es la radiación directa, pero un día que se encuentra nublado, la radiación que predomina es la difusa, tal y como se puede ver en la Figura 1-4.

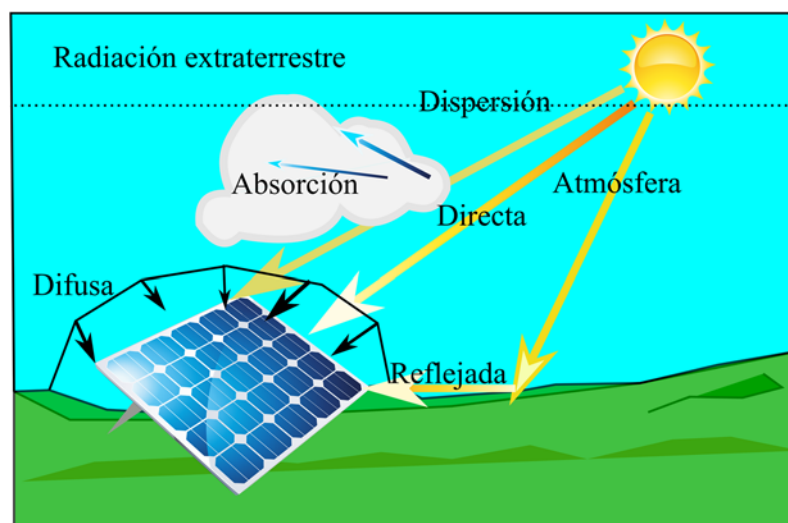


Figura 1-4 Radiación solar [11]

Para medir la intensidad que incide sobre una superficie se utiliza la irradiancia, que se define como la rapidez de incidencia de energía radiante sobre una superficie por unidad de área. Se mide en vatios por metro al cuadrado ( $W/m^2$ ) y se suele expresar con la letra  $G$ . La suma de todas las irradiancias que se transmiten durante un cierto tiempo, se denomina irradiación. Esta irradiación se mide en julios por metro al cuadrado ( $J/m^2$ ), multiplicado por el tiempo en que se haya aplicado.

### 1.3.2 Efecto Fotoeléctrico

Una vez conocido el fenómeno de radiación solar, se hace necesario conocer el mecanismo mediante el cual la radiación se convierte en energía eléctrica y que se conoce con el nombre de efecto fotoeléctrico.

En el esquema de la Figura 1-5 se puede apreciar como al incidir la luz sobre el cátodo (placa metal negativa), los electrones se dirigen hacia el ánodo (placa colectora positiva), se crea una diferencia de potencial entre el cátodo y el ánodo ( $AV$ ), y se produce por tanto una corriente de electrones.

Si el fotón es absorbido, parte de su energía es utilizada para liberar el electrón, y la energía sobrante es utilizada para dotar de energía cinética a la partícula libre.

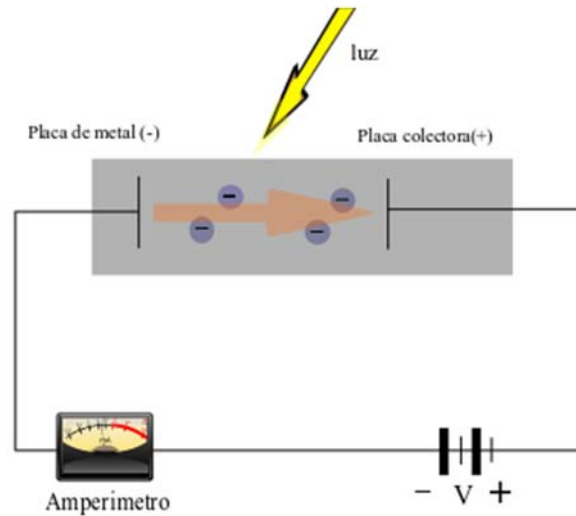


Figura 1-5 Efecto Fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico se puede encontrar en diferentes aspectos de la vida cotidiana: en detectores de movimiento, tóner de impresoras, alumbrado público, en relojes, en satélites, etc. [12]. Einstein describió que la radiación electromagnética está formada por partículas, a las que denominó fotones, y cuya energía es proporcional a la frecuencia de la onda que lleva asociada. Al incidir una onda sobre una superficie metálica, un electrón, el cual se encuentra en reposo, absorbe la energía de un fotón. La energía asociada a dicho fenómeno viene dada por la siguiente ecuación (Ec.1.1)

$$E = h \cdot \nu \quad \text{Ec. 1.1}$$

donde  $h$  es la constante de Planck, y que toma de valor  $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ , y  $\nu$  la frecuencia de la onda, en Hz.

También se debe tener en cuenta la función de trabajo  $W$ , por la cual, si la energía del fotón es mayor que la función de trabajo del electrón, entonces el electrón es arrancado del material. En la Ec. 1.2., se muestra la energía del fotón con respecto a la función de trabajo.

$$E = h \cdot \nu - W \quad \text{Ec. 1.2}$$

Por ejemplo, para el silicio, material comúnmente empleado en la construcción de paneles fotovoltaicos, la función de trabajo asume un valor de 4,85 eV [13]. Esta es la energía mínima que debería de tener el fotón para poder arrancar un electrón.

Por otra parte, también se debe tener en cuenta que la radiación electromagnética tiene un umbral de frecuencia, por debajo del cual no se produce el efecto fotoeléctrico. Por encima de este umbral, se emiten los electrones, y cuanto mayor es la intensidad mayor será el número de electrones emitidos. Cada material presentará una frecuencia umbral característica [14]. En este caso, la energía a partir de cual se emiten electrones, vendría definida por siguiente ecuación (Ec. 1.3):

$$E = h \cdot (\nu - \nu_0) \quad \text{Ec. 1.3}$$

donde  $\nu_0$ , es la frecuencia umbral, en la que por debajo de esta no se emiten electrones, debido a que la energía del fotón es demasiado baja. La frecuencia umbral del silicio es de  $1,17 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ .

### 1.3.3 Tipos Paneles

Para aprovechar la radiación solar y convertirla en energía eléctrica (efecto fotoeléctrico), se necesitan unos dispositivos específicos, que son los denominados paneles fotovoltaicos. Estos paneles están compuestos por células fotoeléctricas, también denominadas como celdas o células fotovoltaicas. Las células están formadas por dos láminas: un semiconductor del tipo n, y otro del tipo p. Suelen tener forma piramidal para aprovechar mejor la radiación electromagnética, ya que si fuera plana, parte de la radiación reflejada se perdería [15].

Las células o celdas fotovoltaicas están generalmente fabricadas con materiales semiconductores de silicio. El silicio es el segundo compuesto más abundante en la corteza terrestre, y tiene muy buenas propiedades a la hora de absorber fotones y emitir electrones. En el mercado existen tres tipos de células de silicio, cada una con unas características determinadas:

- **Células de silicio monocristalino:** Además de tener un alto grado de estructura cristalina (lingotes de silicio puros), posee una gran pureza, lo que puede llegar a ofrecer una mayor eficiencia. El proceso de fabricación es muy costoso, por las elevadas temperaturas a las que son sometidas. Su rendimiento oscila entre un 15 y un 18% aproximadamente.
- **Células de silicio policristalino:** En este caso el silicio sufre un proceso de fundición, donde se deja fraguar, después de ser introducido en un molde. Al ser un proceso de fabricación por fundición, los costes son menores que para las células monocristalinas; sin embargo, su eficiencia es menor que la de estas, debido a las imperfecciones que se producen en la estructura cristalina durante el proceso de fundición. Su rendimiento suele oscilar entre un 10 y un 14% aproximadamente.
- **Células de silicio amorfo:** Los paneles con este tipo de células son sencillos de montar y están fabricados por deposición de películas de vidrio. Su producción es sencilla en grandes cantidades y son ideales para aplicaciones de dimensiones grandes. Como contrapartida está su eficiencia, que es más baja que las anteriores. Su rendimiento suele estar por debajo del 10 %.


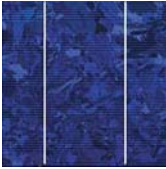

CÉLULAS	RENDIMIENTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
 MONOCRISTALINO	Fabricante: 24% Directo: 15 – 18%	Es típico azules homogéneos, se conectan las celdas individuales entre si	Obtención del silicio fundido dopado con boro
 POLICRISTALINO	Fabricante: 19 – 20% Directo: 12 – 14%	Estructura de la superficie de cristales y contiene diferentes tonos azules	La obtención es idéntica al monocristalino, pero es menor la fase de cristalización
 AMORFO	Fabricante: 16% Directo: < 10%	Color homogéneo (marrón), no existe conexión visible entre células.	Se deposita en forma de lámina delgada sobre sustrato de vidrio o plástico

Tabla 1-1 Células monocristalinas, policristalinas y amorfa

En la siguiente Tabla 1-1, se muestra una comparación de las diferentes células de silicio, donde se pueden observar los diferentes rendimientos de cada una de ellas, así como las características y el tipo de fabricación [16].

### 1.3.4 Utilización de la energía eléctrica fotovoltaica

La energía eléctrica generada tiene que tener una utilidad en la práctica, es necesario o bien almacenarla, o bien distribuirla a la red [17].

Los sistemas de generación fotovoltaica se componen de un conjunto de elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos, los cuales transforman la energía solar que se capta, en una energía utilizable para consumo. Existen tres tipos de sistemas, entre los que se encuentran [15]:

- Sistemas conectados a la red eléctrica: Estos sistemas obtienen la electricidad a partir de la radiación solar, para alimentar a la red eléctrica durante los periodos en los que se pueda obtener energía solar, mientras que en los periodos en los que no existe radiación solar, es la misma red eléctrica la que entrega la electricidad. Estos sistemas no necesitan sistemas de almacenamiento, como consecuencia de su conexión a la red eléctrica, pero no funcionan en caso de caída de la red eléctrica.
- Sistemas aislados de energía solar fotovoltaica: Estos sistemas no se encuentran conectados a la red eléctrica, por lo que necesitan de un sistema de almacenamiento, como por ejemplo un conjunto de baterías. Se suele utilizar en zonas aisladas, zonas habitadas donde no llega la red eléctrica, aplicaciones agrícolas y señalización. Estos sistemas pueden ser tanto centralizados (para varios usuarios), o descentralizados (único usuario). Además, en los lugares en los que se encuentre red eléctrica disponible, asegura el suministro eléctrico en caso de corte de la red eléctrica.

Las diferencias más significativas entre los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica y los sistemas aislados, se pueden observar en la siguiente tabla:

	CONECTADOS RED ELÉCTRICA	AISLADOS
Costes iniciales	Económico	Costoso debido al uso de baterías
Mantenimiento	Mínimo solo limpieza	Más costosa debido a baterías
Flexibilidad	No tiene problemas de sobreuso	No se puede gastar más de lo calculado
Dependencia	Depende del sistema eléctrico	Totalmente independiente
Implementación	Fácil	Más complicado

**Tabla 1-2 Comparación sistemas fotovoltaicos [18]**

También existe otro tipo de instalaciones tales como los sistemas híbridos, que se utilizan junto con otro tipo de energía renovable, como sería con aerogeneradores, biomasa, etc. Estos sistemas híbridos, son también una combinación de los sistemas conectados a la red eléctrica y los sistemas aislados, por lo que, en caso de fallo en el sistema de suministro de la red eléctrica, se seguiría manteniendo el suministro de energía por parte de las baterías del sistema.

La energía que es generada por los paneles fotovoltaicos, como norma general y como es objeto de este trabajo, suele ser almacenada. Una forma de almacenar dicha energía es comúnmente mediante el uso de baterías, por lo tanto va a ser necesario un conocimiento de estos tipos de dispositivos.

Las baterías son dispositivos electroquímicos que transforman la energía química en energía eléctrica mediante reacciones de oxidación-reducción.

Las baterías están compuestas por celdas electrolíticas, unidas ambas por un electrolito. Una de ellas está formada por el ánodo o electrodo positivo, y el otro sería el cátodo o electrodo negativo.

La reacción en la celda se produce por un flujo continuo de electrones dentro de la batería, siendo liberados en una celda, mientras que en la otra son absorbidos [19]. En el proceso de oxidación se produce la pérdida de estos electrones, mientras que en el de reducción se produce la ganancia de electrones [20].

En la actualidad, existen multitud de tecnologías de baterías, entre las que se encuentran las baterías de plomo ácido, níquel-cadmio, níquel-hidruro metálico, ion litio y polímero de litio [21]. En la Tabla 1-3, se hace mención a las más comunes, así como a los materiales empleados, y sus ventajas y desventajas respecto a las otras. Además de las diferencias del material del que están fabricados los electrodos, poseen otras diferencias como la relación peso-volumen, o el número de ciclos que soportan y que serán determinantes a la hora de elegir una tecnología u otra.

TIPO DE BATERÍA	MATERIAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Plomo ácido</b>	Electrodos de plomo en un electrolito de ácido sulfúrico	Son fáciles de fabricar y económicas	Para la cantidad de energía que son capaces de almacenar, el peso y volumen son muy elevados, ni son capaces de soportar sobrecargas, ni descargas profundas
<b>Níquel – Cadmio (Ni-Cd)</b>	Electrodos de cadmio en un electrolito de hidróxido de potasio	Admiten sobrecargas y descargas profundas, además de trabajar un buen rango de temperaturas y elevado número de ciclos	Para la cantidad de energía que son capaces de almacenar, el peso y volumen son elevados. Acusan mucho efecto memoria.
<b>Níquel – Hidruro metálico (Ni-MH)</b>	Ánodo de cadmio y de una aleación de hidruro metálico el cátodo	Mayor capacidad que níquel-cadmio	No trabaja bien en temperaturas frías, y el número de ciclos es bajo
<b>Ion – Litio (Li-ion)</b>	Ánodo de grafito y el cátodo es de óxido de cobalto, óxido de magnesio o trifilina	Uso en elementos portátiles, peso liviano, y elevada capacidad de almacenamiento en relación peso-volumen, tiene un factor de descarga bajo	No soportan las descargas completas, y los cambios de temperatura
<b>Polímero de Litio (Li-Po)</b>	Ánodo de grafito y el cátodo es de óxido de cobalto, óxido de magnesio o trifilina	Su relación peso-volumen mejora con respecto al Ion-Litio, además de su tasa de descarga. Peso liviano	No soportan las descargas profundas. Son muy costosas

**Tabla 1-3 Tipos de Baterías**

Uno de los factores importantes en una batería es la vida útil de esta. La vida útil va a depender de la profundidad de la descarga a la que es sometida en cada ciclo, cuanto mayor sea la profundidad de descarga, menor será su vida útil. Como valor orientativo, y con el fin de alargar la vida útil de una batería, estas no deben descargarse más del 80% de la capacidad nominal de esta. Si bien, este valor dependerá de la tecnología de la batería empleada y las recomendaciones del fabricante.

## 1.4 Planteamiento del Problema

En este apartado se tratará acerca del problema energético y medioambiental existente dentro del ámbito de Defensa. Además en este punto, también se analizarán las necesidades energéticas de las unidades en misiones, así como las correspondientes del soldado de Infantería de Marina.

### 1.4.1 Energía en el Ministerio de Defensa

Según se reconoce en la “Estrategia Nacional de Seguridad (2013), aprobada por el Consejo de Ministros el 31 de mayo de 2013 [22], el Ministerio de Defensa tiene entre una de sus misiones la de contribuir con España, frente a ataques contra las infraestructuras y redes de transporte intencionadas o como resultado de desastres naturales. En cuanto a dependencia energética se refiere, España es un país vulnerable, ya que depende de importaciones desde el exterior, siendo su demanda energética de más del 70% dependiente de estas importaciones [23].

Las acciones terroristas que ocurren en países productores de petróleo y gas, o en su transporte por vías marítimas a través de áreas donde se podrían producir ataques como el estrecho de Ormuz y el Canal de Suez, podrían afectar a la demanda energética de España. Por tanto y teniendo en cuenta el Artículo 8 de la Constitución Española que dicta:

*“Las Fuerzas Armadas, constituidas por el Ejército de Tierra, la Armada y el Ejército del Aire, tiene como misión principal, la de salvaguardar la soberanía e independencia de España, defender su integridad territorial y el ordenamiento constitucional”.*

Y por lo tanto, el salvaguardar el suministro energético de España, podría ser una de las misiones futuras encargadas por el Ministerio de Defensa a los Ejércitos de la Nación.

Por otra parte, para que el ejército pueda realizar las misiones que tiene encomendadas, el Ministerio de Defensa, cuenta con bases e instalaciones de los tres Ejércitos (Ejército de Tierra, la Armada y el Ejército del Aire) en varias zonas del territorio nacional, como se pueden ver en la Figura 1-6.

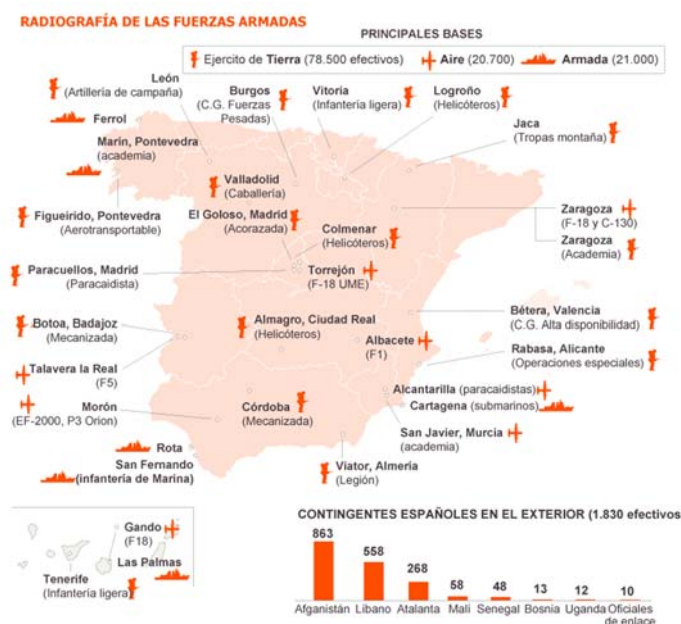


Figura 1-6 Bases e instalaciones Ejército Español [24]



Una parte del presupuesto de Defensa se utiliza para poder mantener y aportar combustibles, tanto a estas instalaciones, como a los vehículos, aeronaves y buques con los que cuenta el ejército español. Durante el año 2014, este presupuesto para combustibles fue de 668 millones de euros [25].

Los combustibles que son necesarios para el funcionamiento de todas estas instalaciones son los siguientes:

- Diésel naval destilado (OTAN F-76) para Bases Navales.
- Gasóleo clase B, para uso marítimo.
- Gasolina para aviación de grado 100/130 (OTAN F-18).
- Combustible JET-A1 (OTAN F-35).
- Combustible JP-8 (OTAN F-34).
- Gas propano.
- Gas butano.
- Gases licuados del petróleo.

Estos combustibles además de proporcionar energía a sus bases e instalaciones, también son necesarios para el despliegue del ejército, tanto en bases permanentes como FOB (Force Operation Base) y campamentos.

Por otra parte, desde el Ministerio de Defensa, en su área de medioambiente, quiere fomentar el ahorro de combustible, y para ello debe llevar a cabo una serie de medidas para mejorar el rendimiento energético de sus unidades.

El Ministerio de Defensa está desarrollando una serie de estrategias para llevar a cabo objetivos energéticos, dentro de su marco de Defensa. Entre las diferentes estrategias se encuentran: la gestión de la energía y el medioambiente, la búsqueda de fuentes de energía renovables y la reducción del uso de la energía para buscar la sostenibilidad [26]. La necesidad de una mejor eficiencia energética y el desarrollo de energías renovables dentro del ámbito militar, puede actuar sobre tres factores: la protección de vidas humanas, la reducción de los costes en operaciones y la libertad de acción por parte de las unidades. [27]

El Ministerio de Defensa intenta concienciar a sus unidades de la necesidad de la reducción global del combustible, y como afecta este al medioambiente. Se debe tener en cuenta que para ello, el mando militar es el responsable de todos los recursos energéticos en disposición de sus unidades para el adiestramiento de la fuerza. Y además se están realizando una serie de inversiones, con el fin de mejorar y modernizar los sistemas de generación de energía de las unidades, y con ello, también disminuir las emisiones de gases, tales como el CO<sub>2</sub>.

#### *1.4.2 Necesidad energética en operaciones.*

Durante las operaciones y los campamentos militares, se consumen grandes cantidades de combustibles fósiles, que se utilizan para la generación de energía eléctrica, para alimentar los equipos que se encuentran en los puestos de mando, y para poder efectuar el mando y control de cada una de las operaciones.

El liderazgo, la táctica y los equipos son piezas indispensables para realizar el mando y control. Para realizar estas tareas, se necesitan equipos electrónicos que lo apoyen. Pero debido a la aparición de nuevos equipos, la demanda energética va en aumento, en conjunción con el tiempo de duración de las operaciones. Por todo ello, es muy importante el estudio de la energía para las operaciones militares. Dichas operaciones, necesitan ser apoyadas por gran cantidad de energía [28].

Los principales principios para una mejora energética eficiente son la interoperabilidad, para poder adaptarse y operar sus equipos bajo cualquier circunstancia en el país en el que se encuentra desplegado, y la sostenibilidad. Cada campamento o base de una fuerza desplegada en una zona de operaciones varía en función de diversos factores:

- El clima de la zona donde se encuentra desplegada, ya que este puede variar desde zonas desérticas hasta zonas de bajas temperaturas (heladas).
- El tipo de operación que se está llevando a cabo.
- El tipo de unidad que realiza la misión, ya que pueden variar desde unidades mecanizadas hasta infantería a pie.

Las unidades que pueden desplegar desde una división hasta un subgrupo táctico, pueden variar bastante sus necesidades energéticas. Cuando una unidad tiene que desplegar, deberá tener en cuenta los recursos que se encuentran disponibles en el área donde va a estar desplegado.

Para desarrollar esos despliegues, se necesitan fuentes de energía, las cuales deben ser seguras y sobre todo fiables, para poder alimentar la demanda energética requerida. Es por ello, que antes de un despliegue, se debe tener en cuenta durante la fase de planeamiento, los recursos energéticos con los que se puede contar. Es por ello que se deberán tener en cuenta tanto el principio de previsión como el de equilibrio [29]:

- Principio de previsión: en el que todo planeamiento que sea logístico deberá tener una previsión de recursos necesarios, y los procedimientos para la obtención de estos.
- Principio de equilibrio: toda actividad militar, se deberá planear manteniendo el equilibrio que se debe tener entre las necesidades y los recursos de los que se dispone.

Muchas veces, estos recursos se pueden obtener directamente de la red del país o zona donde se encuentre realizando la operación, o siendo apoyado logísticamente por camiones que transportan el combustible desde unas áreas a otras. Pero se debe tener en cuenta, además del coste del transporte del combustible, que estos pueden ser un objetivo del enemigo, ya que serán conocedores de la necesidad de ese combustible para alimentar eléctricamente la base. Hay unidades, como el cuerpo de Infantería de Marina que, durante la realización de las operaciones anfibas, solo pueden ser abastecidos por los buques de la Armada. Pero al igual que otras unidades, también debe tener en cuenta la necesidad de obtener recursos de otros medios diferentes a los buques de proyección de la Armada.

Teniendo en cuenta las diferentes fuentes de energía que se podrían obtener en una zona de operaciones, dependiendo de la ubicación territorial en que se encuentren, se podría obtener energía tanto del viento, como del sol o la biomasa. Pero lo que, si es seguro, es que la más abundante y la que siempre se puede encontrar, es la energía solar [30].

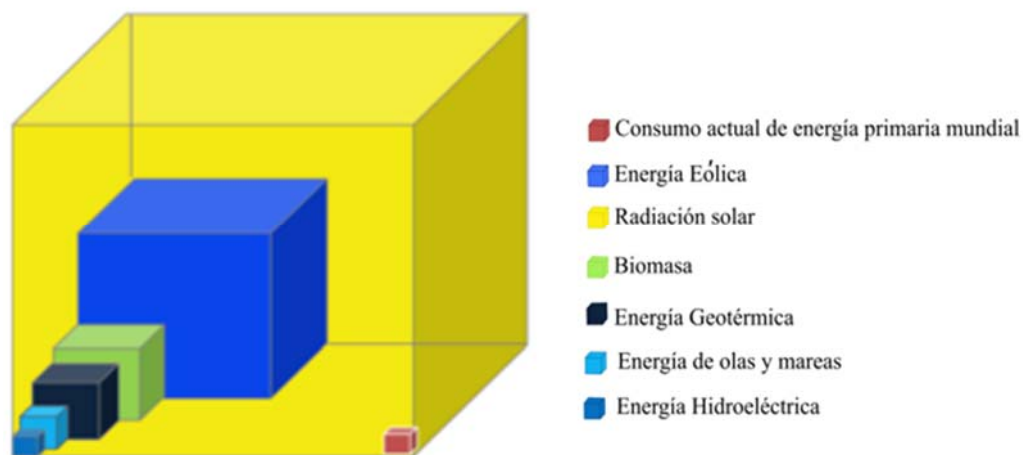


Figura 1-7 Potencial teórico físico de energía renovable

La energía solar podría proporcionar en algunos escenarios esta energía, sobre todo cuando es muy difícil o imposible proporcionarla por el apoyo logístico de las unidades. Por ello, la mayoría de los países están intentando buscar innovadoras técnicas para el aprovechamiento de esta fuente de energía en las misiones. La generación solar *in situ*, evita la dependencia de centrales eléctricas remotas y de los combustibles fósiles

Mantener un sistema que produzca energía solar, con un sistema de baterías de almacenamiento y un generador puede ser la solución que buscan los ejércitos de todo el mundo para poder operar durante periodos de tiempo prolongados sin dependencia de los recursos.

#### *1.4.3 Necesidad de energética del soldado de infantería*

Dentro de las aplicaciones de la energía solar en operaciones, un ámbito más concreto de aplicación, sería el aprovechamiento de este tipo de energía por parte del soldado de infantería. Las pequeñas unidades o unidades del tipo de operaciones especiales, cuando necesitan moverse desde su campamento base para realizar alguna de las diferentes misiones que se les pueden encomendar, como por ejemplo localización y detección de cualquier tipo de objetivos.

Para ello, tiene que hacer uso de diferentes tipos de sistemas electrónicos, y, por lo tanto, también tiene que utilizar diferentes tipos de baterías. Esto le produce una enorme carga física, ya que la quinta parte del peso que transporta son baterías para recargar esos equipos. La mayoría de los equipos son muy importantes para poder mantener las comunicaciones con la unidad superior, y poder enviar con ello la información necesaria para realizar su misión. Por lo tanto, va a influir en la operatividad del soldado.



**Figura 1-8 Soldado de infantería [31]**

Para aligerar la carga que debe transportar, se están estudiando la utilización de diversos sistemas fotovoltaicos, los cuales, a la vez de generar la energía necesaria para cargar los diferentes equipos, en función de las necesidades del combatiente [32]. Para ello deberá tenerse en cuenta, que debe conseguir la máxima eficiencia de sus equipos electrónicos, sin perder la capacidad de obtener sus objetivos, que es la misión. Por todo ello se deben buscar soluciones que traten de mejorar el rendimiento tanto físico, como operativo del soldado. Se buscan soluciones que sean energéticamente sostenibles.

Se están desarrollando estudios para utilizar sistemas solares portátiles [33]. Estas células son más ligeras y tienen un espesor reducido, y pueden en algunos casos ser flexibles. Estas células se pueden colocar en las mochilas de los soldados, en el casco o incluso en los uniformes, con el fin de captar la radiación solar.

Se han realizado estudios, con sensores situados en varios puntos del uniforme, y en diferentes áreas geográficas, para estudiar las zonas donde el panel fotovoltaico estaría mejor situado para captar mejor la radiación solar [34].



Figura 1-9 panel fotovoltaico portátil [35]

## 1.5 Justificación del Trabajo

Aunque en la mayoría de las operaciones militares se utilizan medios mecanizados y aéreos, el soldado sigue siendo de vital importancia para la mayoría de estas. Los medios humanos pueden proporcionar información, de diversos lugares los cuales pueden ser intransitables tanto para vehículos, como ocultos para la observación aérea. Por lo tanto, el soldado sigue siendo la fuente más importante de información tanto para la localización, detección de objetivos, como para la señalización de estos. Pero el rango de operatividad, y la maniobrabilidad del soldado, se encuentra restringido por el peso y el volumen que porta para cada una de sus misiones. Esta carga puede llegar a pesar entre los 50 y 75 kilogramos. Casi el 25% de este peso, proviene de la gran cantidad de baterías que debe portar para satisfacer las necesidades de energía de los equipos que porta. Muchos de ellos utilizarán diferentes tipos de baterías. Todo ello se traduce en un aumento más que significativo del estrés físico [34].

Por ello sería de gran utilidad que el soldado pudiera disminuir parte de ese peso, utilizando algunos sistemas de obtención de energía. La utilización de paneles fotovoltaicos colocados en la mochila logística, se presenta como una alternativa para la obtención de esa energía necesaria para el funcionamiento de los equipos, con la correspondiente reducción considerable de peso, y que es el objetivo en el que se centra este trabajo.

## 1.6 Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es el estudio de la posible implementación de un sistema fotovoltaico en la mochila logística del alumno de Infantería de Marina de la E.N.M.

Para la consecución de este objetivo se han planteado los siguientes objetivos secundarios:

- Estudiar las necesidades energéticas de los dispositivos electrónicos de un soldado de Infantería de Marina.
- Instalación de paneles fotovoltaicos en la mochila logística y de dispositivos de adquisición de datos (tensión e intensidad).
- Cálculo de la energía generada por los paneles fotovoltaicos en distintas ubicaciones geográficas y en condiciones de operación de un soldado de Infantería de Marina.
- Estudio de la aplicación de la energía fotovoltaica generada para un posible suministro energético de los equipos electrónicos auxiliares.

## 2 ESTADO DEL ARTE

La energía fotovoltaica se encuentra ya presente en el ejército, ya sea a nivel mundial como en el ejército español, si bien su presencia en ellos tiene poca relevancia. Dentro de los diferentes ejércitos, el que más posibilidades tiene de utilización es el ejército de tierra. Se podrían plantear dos posibles escenarios, uno referente a las bases permanentes o semipermanentes, donde se trataría de una generación estacionaria, y otra referida a aplicaciones móviles.

### 2.1 Equipos Fotovoltaicos para Bases Permanentes o Semipermanentes.

En este apartado se muestran las diferentes instalaciones fotovoltaicas utilizadas tanto en bases permanentes como en bases semipermanentes en el ejército. Las primeras equipan tiendas con paneles fotovoltaicos en la estructura de las tiendas, mientras que en las semipermanentes esta tecnología se implementa mediante el uso de toldos plegables y en sistemas de mantenimiento de pequeñas unidades. Todos ellos serán descritos a continuación en los siguientes subapartados.

#### 2.1.1 Energía Fotovoltaica en Bases Permanentes

Actualmente se han desarrollado diversos estudios acerca de la utilización de paneles fotovoltaicos, tanto en bases permanentes, como semipermanentes. El Ejército de los Estados Unidos de América, está haciendo pruebas en un tipo de tiendas. Estas pueden ser utilizadas como puesto de mando en operaciones o como zonas de descanso para los soldados que se encuentren desplegados.

Este programa es denominado como “Sistemas Avanzados de Eficiencia Energética basados en contingencias y otras aplicaciones (Figura 2-1).



Figura 2-1 Tienda con paneles fotovoltaicos

Con este sistema se espera obtener una reducción de energía de un 50%, consiguiendo una reducción de unos 40 kWh de energía en un despliegue de 150 personas. [36]. Este tipo de tiendas tienen unas dimensiones de 9,75 metros de largo por 6,1 metros de ancho, y se pueden adaptar a diferentes tipos de terrenos. Se han desarrollado para que sean resistentes al fuego, al moho y además sean duraderas.

Todas las tiendas están equipadas con un aislamiento térmico y además poseen sombras solares, las cuales reducen la carga solar que sufre la tienda y la acumulación de calor dentro de estas. Las tiendas, además, están equipadas con los correspondientes módulos fotovoltaicos, los sistemas de control, convertidores y las correspondientes baterías para almacenar la energía generada.

### 2.1.2 Equipos Fotovoltaicos en Bases Semipermanentes

Cuando el despliegue de una unidad tiene una duración corta como las bases semipermanentes, los sistemas utilizados en las bases permanentes (tiendas fotovoltaicas) no son viables, ya que la logística no suele permitir. Sin embargo, existen sistemas que permiten la instalación de determinados sistemas fotovoltaicos en determinados casos. Existen principalmente dos: los sistemas de mantenimiento de pequeñas unidades y los toldos plegables.

#### 2.1.2.1 Sistemas de Mantenimiento de pequeñas unidades (SUSS)

Los sistemas SUSS (Sistemas de Mantenimiento de pequeñas unidades), están diseñados como pequeños centros de operaciones, para pequeñas unidades del tipo compañía. Su diseño, ayuda a mejorar la calidad de vida de unidades, y además son adecuados en caso de necesidad para misiones humanitarias y de socorro (desastres y áreas de difícil acceso). Su uso es utilizado para aquellas unidades que se encuentran en continuo movimiento, en el que la necesidad de montar y desmontar los puestos de mando, en diferentes emplazamientos, debe realizarse lo más rápidamente posible.

El sistema SUSS se compone de un generador, unidades de control ambiental para la refrigeración y la calefacción, paneles solares y un sistema de almacenamiento energético (Figura 2-2). Estos sistemas son capaces de mantener una unidad sin ningún tipo de reabastecimiento por un periodo de 72 horas. El SUSS es energéticamente muy eficiente, y puede emplearse en cualquier tipo de clima atmosférico en un rango de temperaturas que va desde 5 a los 40°C. Los paneles solares y las baterías reducen el consumo de combustible de la unidad [37].



Figura 2-2 Equipo SUSS

#### 2.1.2.2 Toldos plegables (Powershade)

El denominado comúnmente como “Powershade” es un toldo plegable y portátil formado por paneles fotovoltaicos (Figura 2-3). Además, es versátil y puede ser utilizado para una gran variedad de tareas (Protección unidad contra agentes atmosféricos). Se pueden ubicar tanto en tiendas de puestos de mando como para vehículos y personal.

Este toldo puede ser montado y desmontado en 2 minutos aproximadamente y los paneles están fabricados de un tejido ligero, capaz de absorber la humedad de la intemperie. Existen toldos que pueden entregar desde 1,8 kW, 3,6 kW a 5,4 kW de potencia eléctrica [35]



Figura 2-3 Toldo powershade

## 2.2 Equipos Fotovoltaicos Portátiles

Las aplicaciones móviles fotovoltaicas también están presentes en el ejército, aunque en menor medida, si bien se muestran como un campo nuevo de aplicación, gracias a la posibilidad de proporcionar una autosuficiencia energética, con la consiguiente ventaja operativa en misiones. Dos ejemplos claros serían de estos los paneles MC-10 y los paneles solares enrollables.

### 2.2.1 Paneles MC-10

Los paneles MC-10 son paneles solares construidos de cristales finos de arseniuro de galio. Estas células son flexibles, ligeras y eficientes, y además pueden alimentar a toda clase de equipos electrónicos. Esta ligereza y flexibilidad le permite ser ajustado perfectamente a una mochila logística o incluso a un casco de un soldado de infantería.

Bajo unas buenas condiciones de intensa luz solar, esta tecnología ubicada en una mochila podría ser capaz de entregar hasta 10 W de potencia (Figura 2-4 derecha), mientras que si ubicamos esta tecnología en un casco de combate de un soldado (Figura 2-4 izquierda), podría llegar a generar hasta 7 W de energía eléctrica [33].



Figura 2-4 Paneles fotovoltaicos MC-10 en casco y mochila logística

Los paneles solares del tipo MC-10, suelen ser ligeros y fáciles de transportar. Estos sistemas se pueden desplegar en cuestión de segundos. Los dispositivos electrónicos que suele transportar el militar, podrían ser alimentados con la energía con este tipo de panel fotovoltaico. Existen diferentes modelos, que son capaces de generar una energía de entre 30 hasta 400 Wh al día. La cantidad de energía que es capaz de entregar depende además de la temperatura de funcionamiento, que suele oscilar entre  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El peso también depende del tipo de panel y del tamaño de este, pero suele oscilar entre los 1,5

kilogramos a los 6 kilogramos, que son los que entregarían mayor potencia. Con la energía proporcionada con estos paneles se podría recargar un ordenador portátil. [35]

Existe en el ejército americano un sistema denominado REPPS (Rucksack Enhanced Portable Power3 System), o sistema de energía portátil mejorado para la mochila. Este es un sistema que contiene paneles solares flexibles, y conectores, que pesa unos 4,5 kilogramos y que es capaz de recargar cualquier tipo de baterías de 5 a 6 horas. El sistema utiliza un panel solar de 62 vatios de potencia [38].



**Figura 2-5 Militar con panel fotovoltaico**

### 2.2.2 Paneles Solares Enrollables

Esta clase de paneles fotovoltaicos, son paneles que se pueden enrollar como si fuera un tubo para almacenamiento y transporte. Al ser unos paneles de uso portátil, se caracterizan por ser ligeros y flexibles. Para su uso, son fabricados por capas, con lo que se evitan tener que realizar conexiones manuales. Las células fotovoltaicas son de tipo amorfo, y son libres de metales pesados dañinos, como sería el cadmio, el cual es utilizado en otras tecnologías. Son de fácil almacenaje en mochilas y bolsillos, y de fácil uso, solo necesita ser desplegado (Figura 2-6). Pueden conectarse en serie o en paralelo, para aumentar la potencia de salida o la del voltaje.

Este tipo de panel fotovoltaico, tiene un funcionamiento correcto en condiciones de sombra parcial. Existen paneles de todo tipo, de 5,10 y 20 vatios. Los cuales le proporcionan una salida de 15,4 voltios, el cual es apropiado para cargar todo tipo de baterías. Su peso aproximado es de 1 kilogramos, pero este también depende del tamaño de este. Puede cargar desde un ordenador portátil, sistemas GPS, sistemas de purificación de agua, además de funcionar con diferentes ambientes cálidos, como en días nublados [39].



**Figura 2-6 Panel fotovoltaico enrollable [40]**



### 2.2.3 *Batería Conformable*

El soldado de infantería transporta una gran cantidad de equipos alimentados con baterías. Con el objeto de unificar dichos sistemas, existe un tipo de baterías común para todos ellos, denominado batería” conformable”. Este tipo de batería permite eliminar en mayor medida todas las baterías que transporta el soldado en la mochila logística. Esta batería es flexible, y como se aprecia en la Figura 2-7, se puede ser colocada tanto en la mochila del soldado, como en su chaleco táctico,



**Figura 2-7 Batería conformable**

Para el uso de esta batería por cada uno de los equipos electrónicos, se utilizan diferentes tipos de conectores, además pueden ser recargados desde corriente alterna. Son adecuadas para usar con los equipos REPPS [38].

## 3 DESARROLLO DEL TFG

Con el desarrollo de este TFG se intenta reducir la cantidad de baterías que transporta un soldado de infantería para alimentar los diferentes equipos de los que disponen habitualmente, con el fin de buscar una posible autosuficiencia energética, todo ello mediante el empleo para ello de paneles fotovoltaicos.

El primer paso es conocer los diferentes dispositivos electrónicos utilizados por los Infantes de Marina, y sus necesidades energéticas. Segundo paso realiza el estudio de la energía obtenida por diferentes paneles fotovoltaicos portátiles colocados en la mochila logística de infantería de marina durante diferentes ejercicios realizados. Todo ello con el fin de obtener datos para la posible implantación de una batería conformable, que reduciría el peso a transportar por parte del soldado.

### 3.1 Consumo Soldado de Infantería

El soldado de Infantería de Marina utiliza diferentes tipos de equipos de comunicaciones para el Mando y Control. Además, dispone de equipos optrónicos: visor holográfico, iluminador infrarrojo, linterna táctica y visores nocturnos. Todos estos equipos son útiles para la realización de las diferentes misiones que les puedan ser asignadas. Cada equipo tendrá asociado un tipo de consumo energético en función de sus características y un tiempo de utilización. Estos equipos generalmente son alimentados con baterías y/o pilas.

#### 3.1.1 Equipos de Comunicaciones Portátiles

El Cuerpo de Infantería de Marina utiliza diferentes tipos de comunicaciones para poder establecer el Mando y Control. Dentro de los sistemas de comunicaciones, se pueden encontrar los sistemas de comunicaciones portátiles, que podrían ser alimentados por las baterías conformables.

Existen varios sistemas de comunicaciones portátiles en el cuerpo de Infantería de Marina, la familia PR4G y los equipos Harris. Ambos son los equipos más utilizados para el Mando y Control, y cuyo uso dependerá de la frecuencia de uso para la ejecución de sus misiones.

Concretamente, en este apartado se describirán los equipos de comunicaciones que son transportados en las mochilas logísticas de un Infante de Marina. Estos equipos son utilizados por entidades que pueden ir desde compañía (compuesto por tres secciones de fusiles de 33 Infantes de Marina cada sección), hasta equipos de fuego (compuesto por 5 Infantes de Marina) [41]. Durante la descripción de estos equipos, se tendrá especialmente en cuenta la demanda energética de cada uno de los equipos.

### 3.1.1.1 Familia PR4G

La misión principal del sistema de comunicaciones PR4G, es la de proporcionar a las unidades un sistema de Mando y Control (utilizado por un mando, para controlar el movimiento de su unidad, transmitirle órdenes y la información necesaria para el cumplimiento de su misión). Estos equipos de comunicaciones de origen francés, y comercializados por la empresa AMPER en España, dotan a las unidades de unas comunicaciones protegidas y seguras, tanto de voz como de datos [42]. Operan en la banda VHF, y han sustituido a los antiguos equipos de comunicaciones AN/PRC77 que operaban en la misma banda. Son principalmente dos, el PR4G 9200 (Figura 3-1), que es un radioteléfono y es de mayor tamaño, y el PR4G-9200 (Figura 3-2) que es de menor tamaño y más fácil de transportar.



Figura 3-1 Radioteléfono PR4G 9200



Figura 3-2 PR4G 9100

La gama de frecuencias en las que operan los equipos de comunicaciones PR4G van desde 30 a 80 MHz (2.320 canales) y son capaces de transferir datos a 38.400 bit/s. Estos equipos permiten realizar llamadas selectivas, transmisiones de alertas, solicitud de autenticación, borrado de claves de emergencia, solicitud de test de enlace y llamada prioritaria. Además, la seguridad que le ofrece al equipo es mediante modulación digital y saltos de frecuencia. Pueden trabajar entre un rango de temperaturas de entre los -40 °C hasta los 70 °C. El alcance máximo de este equipo es de 10 km y puede ser alimentado por una batería de litio, o una batería recargable. En la Tabla 3-1 se pueden ver las características de los dos modelos portátiles, donde la potencia media del equipo PR4G 9200 es muy superior de la del 9100 [43].

EQUIPO	PESO	POTENCIA MEDIA	TENSIÓN NOMINAL	MODOS TRABAJO	INTENSIDAD	POTENCIA
PR4G 9200	7 kg	18,61 W	14,4 V	Modo Espera	0,385 A	5,54 W
				Modo transmisión	2,2 A	31,68 W
PR4G 9100	3,4 kg	5,21 W	7 V	Modo Espera	0,33 A	2,31 W
				Modo transmisión	1,16 A	8,12 W

Tabla 3-1 Familia PR4G

### 3.1.1.2 Equipos Harris

El cuerpo de infantería de marina utiliza dos equipos de comunicaciones portátiles de la familia Harris, el Harris RF-5800 y el Harris RF-7800S.

El Harris RF-5800 (Figura 3-3) es un sistema compacto, puede trabajar tanto en HF como VHF en frecuencias desde 30 MHz hasta 2 GHz. Este sistema ofrece una red de voz y de datos encriptados de alta velocidad. El sistema utiliza sintonización automática de antena, establecimiento automático de enlace (ALE), lleva un receptor incorporado de GPS para poder conocer la posición del sistema en todo momento por la unidad superior y además posee un teclado y una pantalla de control. El teclado puede desacoplarse del sistema, para su utilización por control remoto.



Figura 3-3 Harris RF-5800 [43]



Figura 3-4 Harris RF-7800S [44]

Por otra parte, el equipo de comunicaciones Harris RF-7800S es ligero y compacto, como se puede observar en la imagen (Figura 3-4), y es utilizado por unidades de pequeña entidad para comunicaciones interpersonales. Tiene diferentes funcionalidades, puede trabajar en modo simplex o dúplex, encontrándose a la escucha un número elevado de oyentes en la red. Posee un receptor GPS, para el control y seguimiento de las unidades, además de la integración de voz y datos. Este equipo, puede ser recargado por un sistema de baterías Li-ion, pero también puede recargarse con baterías comerciales del tipo AA. Trabaja en la banda de frecuencias de 350 a 450 MHz. Posee un alcance máximo de 2 km en terreno abierto y 800 m en terreno edificado [44]. En la Tabla 3-2 se pueden ver las principales características de los equipos Harris utilizados por los Infantes de Marina, siendo la potencia media del RF-5800 muy superior al del equipo RF-7800S.

EQUIPO	PESO	POTENCIA MEDIA	TENSIÓN NOMINAL	INTENSIDAD	POTENCIA
Harris RF-5800	4,7 kg	9 W	14,4 V	15 A	9 W
Harris RF-7800S	300 g	1 W	5 V	4,8 A	2 W, 1 W y 0,25 W

Tabla 3-2 Equipos Harris de comunicaciones

### 3.1.1.3 Consumo Equipos de Comunicaciones

Para conocer el consumo de un equipo de comunicaciones, se debe tener en cuenta que estos son imprescindibles para el sistema de Mando y Control de la unidad. El Mando y Control es la forma en que un mando puede dar órdenes y recibir información de una unidad que se encuentre realizando algún cometido fuera de su unidad. Por ello, se comprende que el uso de estos equipos será de 24 horas continuadas. Teniéndose en cuenta esto, se realizó el cálculo de la energía necesaria para poder alimentar estos equipos durante todo este periodo de tiempo.

En la Tabla 3-3, se puede ver la energía necesaria para la utilización de los equipos de comunicaciones de la familia PR4G y Harris. En ella se puede apreciar la energía necesaria por día de estos equipos, siendo la de los equipos PR4G-9200 y Harris RF-5800 los que mayor cantidad de energía necesitan. Este dato es de esperar, debido al mayor tamaño de estos equipos y a la longitud en la que emite. Mientras que los equipos PR4G-9100 y Harris RF-7800 son equipos portátiles de menor potencia, y por lo tanto su consumo debe ser menor.

EQUIPO	TIEMPO TRABAJO	ENERGÍA NECESARIA	ENERGÍA /DÍA
PR4G 9200	24 h	10,77 Wh	258,48 Wh/día
PR4G 9100	24 h	3,47 Wh	83,28 Wh/día
Harris RF-5800	24 h	9 Wh	216 Wh/día
Harris RF-7800S	24 h	1 Wh	24 Wh/día

Tabla 3-3 Consumo Wh Comunicaciones

### 3.1.2 Equipos Optrónicos

Además de los equipos de comunicaciones que deben portar los soldados para facilitar el Mando y Control, las unidades de Infantería de Marina utilizan varios equipos electrónicos de uso individual, y que también tienen la necesidad de un aporte energético para su uso.

#### 3.1.2.1 Visor Holográfico

El cuerpo de Infantería de Marina, equipa a sus soldados con visor holográfico, el Eotech HWS 552 (Figura 3-5). Este visor permite al infante una rapidez y versatilidad a la hora de apuntar a los objetivos, ya que este instrumento es compatible con el uso de visores ópticos para visión nocturna [45].



Figura 3-5 Visor Eotech

El holográfico es un elemento compacto, mide 13 cm, es ligero y tiene un peso de 326 g. Este puede ir colocado tanto en la parte superior de un del fusil o incluso en el de una ametralladora ligera. La duración de la batería oscila entre las 1000 horas si se equipa baterías de litio, o de 600 horas cuando lleva dos pilas de 1,5 V del tipo AA.

### 3.1.2.2 Iluminador Infrarrojo

El iluminador infrarrojo ANPQ-2<sup>a</sup> (Figura 3-6), es un dispositivo utilizado por las unidades para realizar la puntería sobre un objetivo mediante un láser infrarrojo, y para la señalización de blancos a otras unidades. La luz infrarroja que emite este tipo de dispositivos, solo puede ser detectada, a través de gafas de visión nocturna.



**Figura 3-6 Iluminador ANPQ2A**

Este dispositivo puede ser utilizado tanto para apuntar el arma como para la señalización de objetivos. Tiene dos campos de trabajo, un haz estrecho para apuntar y otro haz mayor (linterna) que sirve para iluminar un área. Su alcance máximo es de 10 km, y su diseño es compacto, lo cual le proporciona una gran versatilidad.

Para su uso, utiliza dos pilas del tipo AA de 1,5V, lo que le proporciona 8 horas de trabajo continuado. Su temperatura de funcionamiento, oscila de entre -32 °C a los 51 °C [46].

### 3.1.2.3 Linterna Táctica

El cuerpo de Infantería de Marina utiliza para sus misiones la linterna táctica M3X (Figura 3-7). Este dispositivo proporciona una gran iluminación de objetivos. Se utiliza principalmente durante las operaciones de limpieza de habitaciones, durante registros, o en situaciones de combate en población.



**Figura 3-7 Linterna táctica M3X**

La linterna M3X, lleva incorporada una bombilla de Xenón de gran luminosidad. El encendido de la linterna, se puede realizar con un pulsador desde la propia linterna o desde un control remoto. Este control remoto permite a la linterna la posibilidad de acoplarse al fusil, mediante un anclaje especial que permite montar las anillas de un visor de transporte (regleta picatinny).

Para su funcionamiento, la linterna utiliza dos baterías de litio CR123 de 3V cada una, las cuales proporcionan una autonomía máxima de 1 hora [47].

#### 3.1.2.4 Visor Nocturno PVS-14

El PVS-14, es un visor nocturno de tipo monocular, que puede ser empleado para la visión tanto con el ojo izquierdo, como con el derecho. Es ligero, con un peso de 380 g, y puede ser utilizado tanto de forma manual como integrado en el casco como un monóculo (Figura 3-8). Para acoplarlo al casco se utiliza un accesorio craneal. También puede ir directamente colocado sobre el fusil con una regleta picatinny. Cuando se coloca sobre el fusil, puede ser utilizado simultáneamente con el visor holográfico y el iluminador infrarrojo.



**Figura 3-8 PVS14 acoplado en casco**

El sistema de funcionamiento del visor PVS-14 actúa incrementando la luz residual, siendo por tanto necesario para su funcionamiento que exista un mínimo de luz residual. Como complemento, en caso de no existir luz residual, el propio visor posee una linterna infrarroja.

Existen dos modelos con sistema de sistemas de alimentación distintos. El PVS-14 utiliza dos pilas del tipo AA. El voltaje requerido para el funcionamiento con este último es de 2,8 a 3V. La autonomía de funcionamiento con estas baterías es de 50 horas aproximadamente [48].

#### 3.1.2.5 Visor Nocturno PVS-7B

El visor nocturno PVS-7B es un visor monocular (Figura 3-9), cuya diferencia con el PVS-14, es que utiliza mira ocular independiente para cada ojo, pero la salida sigue siendo monocular. Al igual que el PVS-14 sigue siendo un visor ligero y compacto, cuyo peso es de 680 gramos.

La utilización de este tipo de visor es integrado en el casco o con un sistema craneal. Es muy utilizado por conductores militares para la conducción nocturna. Su funcionamiento es sencillo y posee un control automático de brillo. Es resistente a la inmersión, hasta 30 metros de profundidad.



**Figura 3-9 Visor PVS-7B**

El sistema posee un iluminador infrarrojo, para en el caso de que no exista luz residual. El visor posee un visor de 1X, que nos proporciona un campo de visión de 40 grados. Pero además de le pueden acoplar otras lentes, de 3X, 4X y 5X. Trabaja a temperaturas que oscilan entre -51 °C y 49 °C. Su funcionamiento al igual que el PVS-14 es mediante el uso de una sola batería del tipo A de 1,5 V, que le permite una autonomía de 40 horas trabajo continuado [49].

### 3.1.2.6 Consumos equipos portátiles

Para el cálculo de los tiempos de trabajo de los equipos optoelectrónicos portátiles, se debe tener en cuenta, que, al contrario de los equipos de comunicaciones, estos no son necesarios para el Mando y Control. Por lo tanto, no va a ser necesario que estén en funcionamiento durante las 24 horas como ocurría con el caso de los equipos de comunicaciones.

Por otra parte, los visores nocturnos y las linternas tácticas, son únicamente necesarios para el caso de visibilidad reducida, y por lo que su tiempo de funcionamiento es menor durante el día. En la siguiente tabla (Tabla 3-4), se puede observar la energía estimada para la utilización de los equipos oprtrónicos. Este cálculo se ha realizado en función del número de horas que se podrían llegar a utilizar, todo ello en base a la experiencia.

EQUIPO	AUTONOMÍA	HORAS DE TRABAJO/DÍA	ENERGÍA NECESARIA Wh	ENERGÍA/DÍA
Visor Holográfico Eotech HWS 552	1 hora	4 horas	6 Wh	24 Wh/día
Iluminador Infrarrojo ANPQ2A	6 horas	2 horas	6 Wh	12 Wh/día
Linterna Táctica M3X	600 horas	0,5 horas	8,4 Wh	4,2 Wh/día
Visor Nocturno PVS-14	50 horas	3 horas	3 Wh	9 Wh/día
Visor Nocturno PVS-7B	40 horas	3 horas	3 Wh	9 Wh/día

Tabla 3-4 Consumo equipos electrónicos portátiles

### 3.1.3 Consumo Pequeñas Unidades de Infantería de Marina

Las unidades de Infantería de Marina pueden ser desplegadas tanto como pelotón, que es la unidad básica de la Infantería de Marina con entidad mínima capaz de maniobrar, que está compuesto de 11 Infantes de Marina [50]. Además del pelotón, hay otras unidades como la sección de fusiles, compuesta por 33 soldados de infantería [41].

En la Tabla 3-5 se puede observar el consumo de las unidades de pequeña entidad de la infantería de marina, pelotón y sección en Wh. Estos consumos son la suma de toda la energía necesaria para alimentar la totalidad de los equipos auxiliares que transportan pequeñas unidades.

UNIDAD	EQUIPOS OPTRONICOS	EQUIPOS COMUNICACIONES	CONSUMOS TOTALES
Pelotón (11)	17,14 Wh	425,04 Wh	442,18 Wh
Sección (33)	51,42 Wh	1174,56 Wh	1326,54 Wh

Tabla 3-5 Consumos pequeñas unidades Infantería de Marina



## 3.2 Elementos del Sistema

En este apartado se va a estudiar la implementación de paneles fotovoltaicos en una mochila logística utilizada por los Infantes de Marina. El objetivo de estos paneles será intentar cubrir los consumos anteriormente citados de los equipos de comunicaciones y optrónicos.

### 3.2.1 Mochila Logística

La mochila logística usada para las misiones del cuerpo infantería de marina es fabricada por la empresa Altus. Las mochilas están fabricadas con un tejido cuadrille e impermeable, con el fin de evitar que haya algún tipo de contacto entre el agua del mar y los equipos que se encuentren en el interior.

La capacidad de carga que posee una mochila de estas características es de 79 litros, lo cual es suficiente para llevar además de los diferentes equipos electrónicos, el equipamiento individual (tienda, el saco de dormir, ropa de abrigo y las raciones de comida). Posee además varios bolsillos laterales y uno superior, algunas hebillas del tipo clics para colocar material en el exterior de la mochila.

### 3.2.2 Paneles Fotovoltaicos

Para el aporte energético del sistema aquí planteado se han decidido instalar paneles fotovoltaicos del tipo monocristalino en la mochila. Se ha utilizado este tipo de panel porque este tipo de células proporcionan un mayor rendimiento que otro tipo de tecnologías.

Para la realización de este trabajo se han instalado dos paneles fotovoltaicos de 470 g de peso y de 15 cm de ancho por 15 cm de largo, en la parte superior de la mochila logística. Estos paneles vienen ya unidos de fábrica, como se puede ver en la Figura 3-10, y pueden llegar a obtener con unas buenas condiciones de radiación ( $1000 \text{ W/m}^2$ ), hasta una potencia de 7 W.

Para los laterales de la mochila logística, se han instalado cuatro paneles fotovoltaicos, conectados en paralelo. Estos paneles tienen un peso 210 g de peso y una longitud 12 cm de ancho por 10 cm de largo, y pueden proporcionar cada lateral (dos paneles) un máximo de 3,5 W, por lo que, con los cuatro paneles, se podría obtener un máximo de 7 W.



Figura 3-10 Paneles fotovoltaicos

### 3.2.3 Registro de Datos.

Para la obtención de datos, se ha insertado en la parte posterior de los paneles fotovoltaicos un sistema de adquisición de datos (Easylog USB3), con el cual se obtienen datos de tensión.

Las mediciones que se pueden tomar con este tipo de dispositivo pueden ser desde cada 15 segundos, hasta cada minuto. Los datos obtenidos, son más tarde descargados en un ordenador, con un software específico [51]. Para la obtención de los datos, se han colocado dos registradores de datos, uno para obtener los datos de tensiones para la parte superior de la mochila, y otro para obtener las tensiones de los laterales.

La colocación de este dispositivo ha sido en la parte trasera de los paneles fotovoltaicos, conectando los polos de cada placa al registrador de datos, tal y como se puede observar en la Figura 3-11.



Figura 3-11 Easylog USB 3

### 3.2.3.1 Cálculo de la potencia fotovoltaica generada

Para la toma de datos experimentales, han sido tomados en diferentes lugares de la provincia de Pontevedra. Para ello se tuvo en cuenta los datos meteorológicos y la irradiación de esos días de la página de meteogalicia. Teniéndose en cuenta la temperatura ambiente y la radiación efectiva, podremos calcular la potencia fotovoltaica generada en los paneles, en un periodo de tiempo.

Para ello, debemos tener en cuenta, que los paneles fotovoltaicos colocados en la parte superior de la mochila logística (seta), nos pueden proporcionar un máximo de 7 W, que es un dato que nos ha proporcionado el fabricante en las instrucciones. Y los otros cuatro paneles, los cuales van colocados en los laterales de la mochila, nos pueden proporcionar 7 W entre los cuatro paneles. Con todo ello, el máximo de potencia que podríamos obtener con estos seis paneles, sería de 14 W, con buenas condiciones de radiación solar y temperatura en condiciones estándar (1000 W/m<sup>2</sup>).

El registrador de datos, proporciona medidas de voltaje tanto de la parte superior de la mochila, como de los laterales (ya que para la toma de datos se han utilizado dos dispositivos). Para poder calcular la intensidad, y la potencia que nos proporcionan los paneles fotovoltaicos, se ha colocado una resistencia de 10 Ohmios en la entrada del registrador de datos, lo que nos permite a partir del dato obtenido en el dispositivo, poder conocer tanto la intensidad, como la potencia generada.

Para el cálculo de la intensidad se ha utilizado la ley de ohm, la cual nos va proporcionar la relación existente entre la intensidad, el voltaje y la resistencia existente en el circuito. Cuando en un circuito se mantiene constante una resistencia, como es el caso de nuestro circuito con los paneles fotovoltaicos, la corriente del circuito es directamente proporcional a la tensión [52]. La ley de ohm la tenemos relacionada en la ecuación (Ec 3.1), siendo V la tensión en voltios, I la intensidad en amperios, y R la resistencia en ohmios, que lleva el circuito.

$$V = R \cdot I \quad \text{Ec 3.1}$$

A partir del cálculo de la intensidad, podemos calcular también la potencia, definida como la cantidad de energía eléctrica que es transportada o consumida en un tiempo determinado. Es normalmente determinado por el valor de la tensión, la intensidad o una resistencia constante. Se debe tener en cuenta para estos casos, que un aumento de tensión, produce un aumento de la intensidad, y por lo tanto de la potencia.

Este cálculo se puede realizar a partir de la ecuación (Ec 3.2):

$$P = V \cdot I = R \cdot I^2 \quad \text{Ec 3.2}$$

Ya con los datos obtenidos anteriormente, podemos sacar la energía que se obtienen de la suma de ambos paneles en vatios-hora.

### 3.2.4 Sistema Completo

La ubicación de los paneles fotovoltaicos en la mochila logística, se ha realizado considerando que la colocación de estos no debe impedir que el soldado pueda acceder al interior de la misma. Es necesario que los paneles no estorben a la hora de sacar cualquier objeto, ni en la apertura de cualquiera de sus bolsillos exteriores.

Los paneles fotovoltaicos tienen en su parte posterior unas hebillas que pueden ajustarse en la parte superior de la mochila, mientras que en su parte posterior tienen unas pinzas tipo tirantes que se pueden soltar rápidamente. El registrador de datos (Figura 3-11) se encuentra en la parte posterior de los paneles.



Figura 3-12 Paneles Fotovoltaicos colocados en mochila logística

## 3.3 Energía Generada

En los siguientes apartados se va a realizar el estudio de las gráficas de los datos obtenidos por el registrador de datos, durante las salidas efectuadas por los alumnos de la Escuela Naval Militar durante el periodo del 1 de febrero al 10 de marzo del 2017. El estudio se ha realizado en zonas de la provincia de Pontevedra y el campo de adiestramiento del Teleno (León). Los datos se tomaron teniendo en cuenta para el estudio dos modos de trabajo: estático y dinámico.

### 3.3.1 Modo Estático

En este apartado, se realiza el estudio de los datos obtenidos por los paneles fotovoltaicos con la mochila en una posición estática durante las horas en que se realizaron los ejercicios de adiestramiento de los alumnos de Infantería de Marina.

Este podría ser un caso hipotético de un equipo de reconocimiento para recopilar información del enemigo. Estos equipos se insertan en una posición enemiga y envían información sobre instalaciones y movimiento de personal, por lo que se podría dejar la mochila en una posición estática para obtener una generación de energía que permita alimentar algunos de los dispositivos electrónicos equipados. Además, esta energía también podría ser utilizada para depurar agua [53].

### 3.3.1.1 Pontevedra

La provincia de Pontevedra se encuentra situada al noroeste de España, en la Comunidad Autónoma de Galicia. Esta se encuentra situada en longitud 42,38 y latitud -8,66.

Su temperatura media en invierno es de 8,3 °C, y en verano de 19,9 °C [54]. La irradiación solar en la provincia de Pontevedra oscila entre la más baja de 1,6 kWh/m<sup>2</sup> y la más alta de 7,2 kWh/m<sup>2</sup>, como se puede ver en la Figura 3-13.

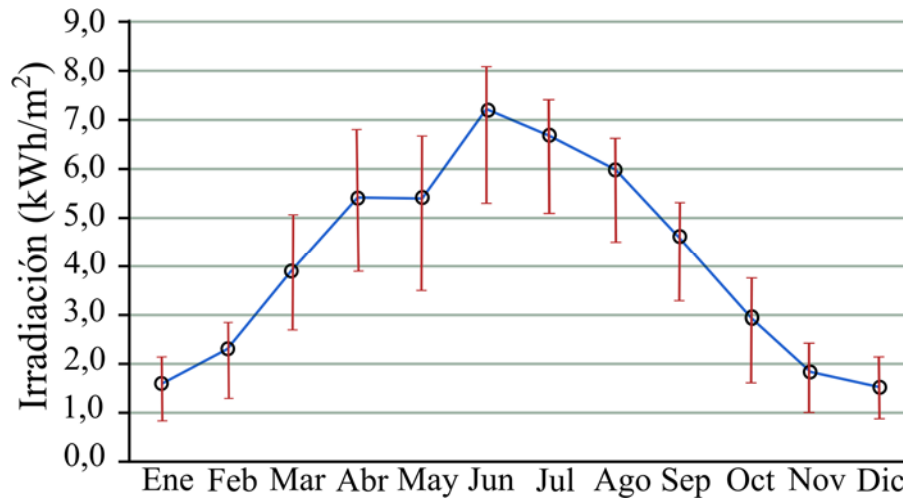


Figura 3-13 Irradiación solar provincia de Pontevedra [55]

Los datos en modo estático fueron tomados el día 29 del mes de enero, en las instalaciones de la Escuela Naval Militar en Marín. El día amaneció con chubascos y una temperatura que iba desde los 11 °C de mínima a 14 °C de máxima. En la Tabla 3-6 se recogen las condiciones meteorológicas a lo largo de ese día.

	MAÑANA	TARDE	NOCHE
CIELO			
VIENTO			
PROBABILIDAD LLUVIA	90 %	40 %	40 %
TEMPERATURA	11 °C	14 °C	11 °C

Tabla 3-6 Meteorología del día 29.01.17 [56]

El lugar donde se tomaron los datos, fue cerca de la pista de obstáculos, lugar libre de edificios, con poca vegetación y sin árboles, tal y como se puede apreciar en la Figura 3-14. Esto favorecerá que la radiación emitida no tenga ningún tipo de interferencia, más que las nubes.



Figura 3-14 Instalaciones Escuela Naval Militar [57]

En la Figura 3-15 se puede apreciar la radiación solar del día 29 de enero según datos de Meteoclimatic [56], en la que la radiación más alta fue de  $150 \text{ W/m}^2$  a las 14:30 horas, horario en el que se estaba realizando la toma de datos. La radiación solar emitida durante ese día, fue de una media de  $50 \text{ W/m}^2$  durante las horas en la que se registraron los datos de potencia de los paneles fotovoltaicos.

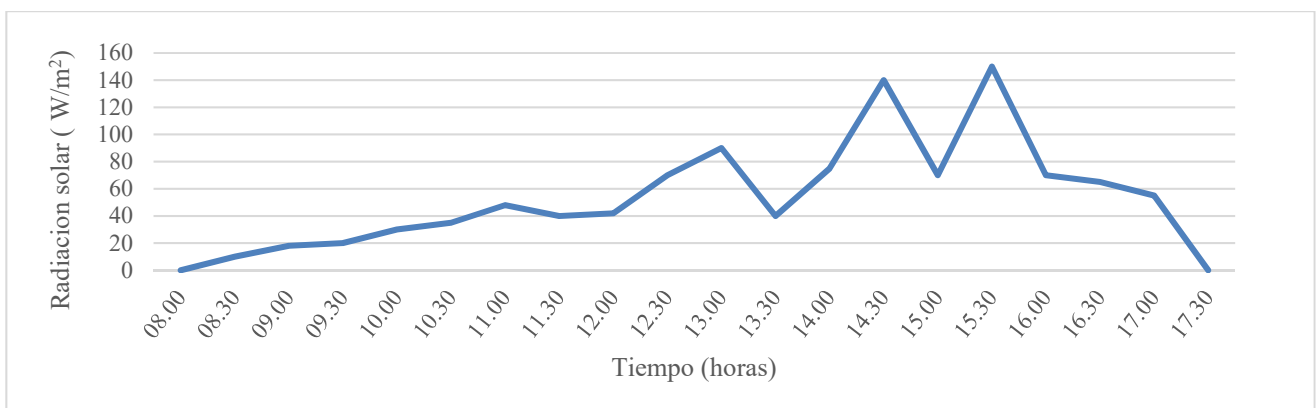


Figura 3-15 Radiación solar día 29.01.17 [56]

En primer lugar, se extrajo la información de tensión de los paneles de la parte superior de la mochila (seta). A partir de estos datos se calculan los valores de intensidad asociados. Dichos resultados se presentan en la Figura 3-16.

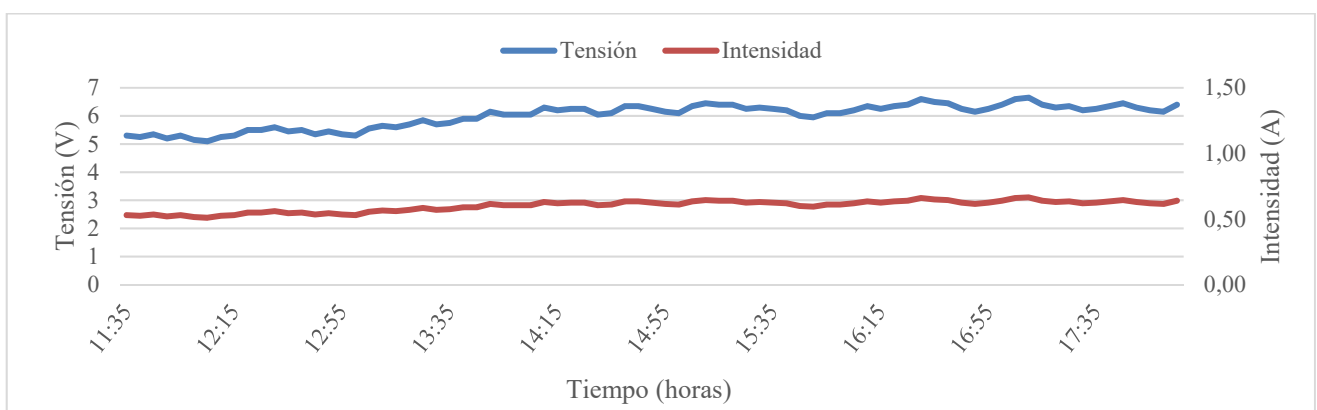
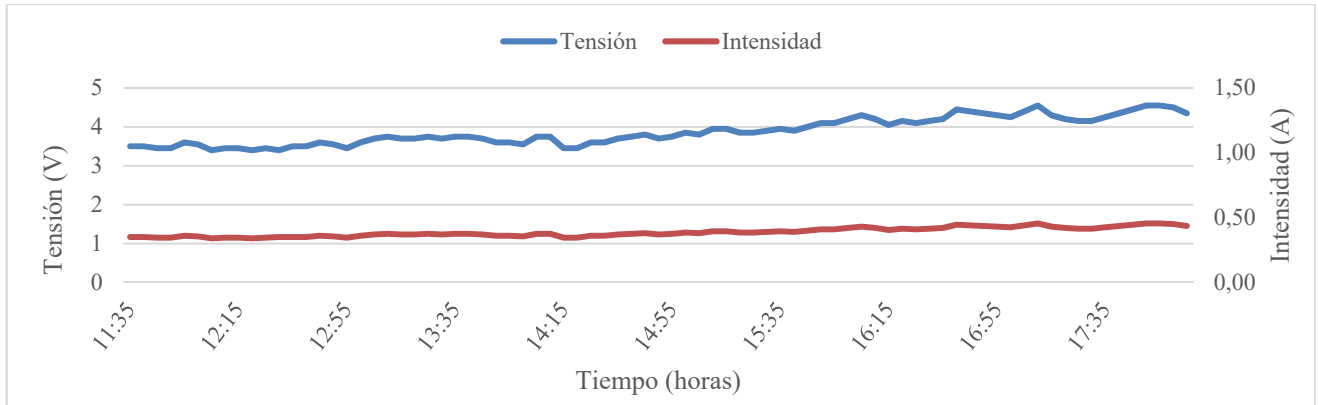


Figura 3-16 Gráfica tensión e intensidad seta día 29.01.17

La grafica se presenta la tensión en voltios, y la intensidad en amperios, ambas con respecto al tiempo en horas. Como se puede observar, la media de la tensión que se obtiene en la seta fue de 5,9 voltios, mientras que la intensidad de corriente media fue de 0,6 amperios.

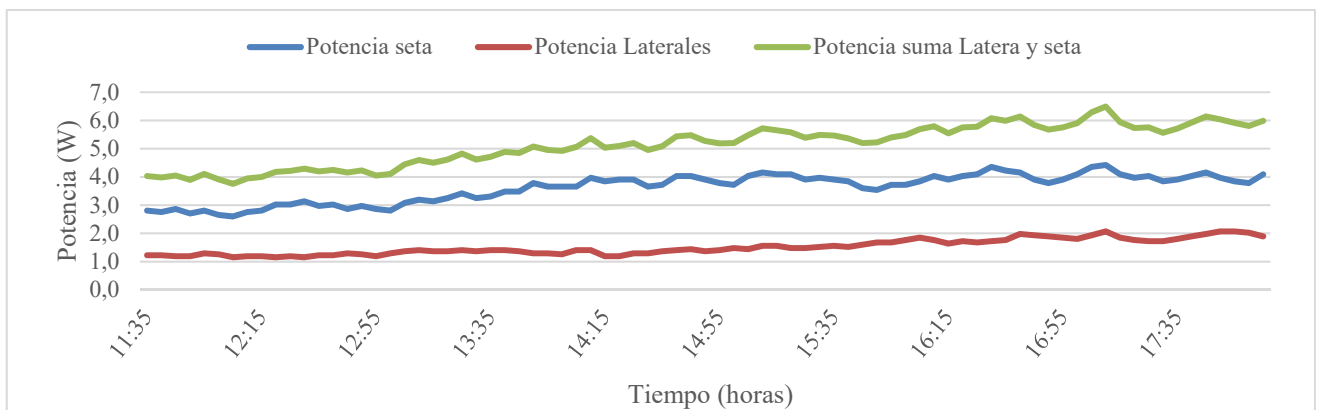
Para el caso de los paneles laterales, se obtuvieron también los datos de tensión e intensidad (Figura 3-17). Muestra una tensión media de 3,9 voltios, mientras que la intensidad media fue de 0,4 amperios.



**Figura 3-17 Gráfica tensión e intensidad laterales día 29.01.17**

Por lo tanto, observando ambas gráficas, se puede apreciar que los paneles de la seta obtienen mayor tensión y una mayor intensidad. Esto es debido a que los rayos solares, inciden con mayor de facilidad en los paneles fotovoltaicos colocados en la parte superior de la mochila.

Teniendo en cuenta la tensión y la intensidad de los paneles, se pueden obtener los valores de la potencia generada por cada uno de los paneles (lateral y seta), así como la potencia total generada por ambos (Figura 3-18).



**Figura 3-18 Graficas de Potencias de los paneles fotovoltaicos día 29.01.17**

En la figura se puede apreciar que la mayor potencia generada ha sido en la parte superior de la mochila, con un valor de potencia media de 3,6 W, mientras que para el caso de los laterales la potencia media es de 1,5 W.

Además, con respecto a la energía, hemos obtenido que los paneles nos podrían proporcionar en las 6 horas de toma de datos, de 30,6 Wh con estas condiciones de temperatura.

Con esta generación de energía se podría alimentar un equipo de comunicaciones Harris RF-7800S y cualquiera de los dispositivos optrónicos durante un día. En caso de querer alimentar un equipo de comunicaciones PR4G-9200, sólo se podría proporcionar energía para una autonomía de tres horas.

### 3.3.1.2 Campo de adiestramiento del Teleno

El campo de adiestramiento del Teleno se encuentra en la Comunidad Autónoma de Castilla y León, en la Provincia de León. Está situado en longitud 42,4 y latitud -6,2. Su temperatura media oscila entre los 3,4 °C en invierno, y los 19,9 °C en verano. La irradiación solar para la provincia de León oscila entre 1,8 kWh/m<sup>2</sup> y 7,8 kWh/m<sup>2</sup>, como se puede ver en la Figura 3-19.

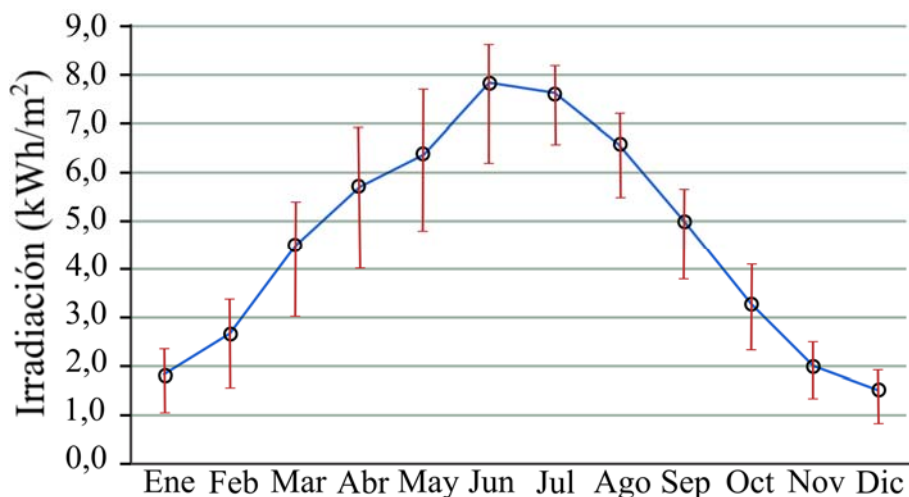


Figura 3-19 Irradiación solar provincia de León [55]

Los datos en modo estático se tomaron el día 7 de marzo, durante el campamento realizado por los alumnos de Infantería de Marina en el campo de adiestramiento del Teleno. El día amaneció ligeramente nublado, si bien a lo largo de la mañana el día fue abriendo. Las rachas de vientos eran fuertes y procedentes del suroeste, tal y como se puede apreciar en Tabla 3-7.

	MAÑANA	TARDE	NOCHE
CIELO			
VIENTO			
PROBABILIDAD LLUVIA	5 %	0 %	0 %
TEMPERATURA	8 °C	16 °C	6 °C

Tabla 3-7 Meteorología día 7 de marzo [58]

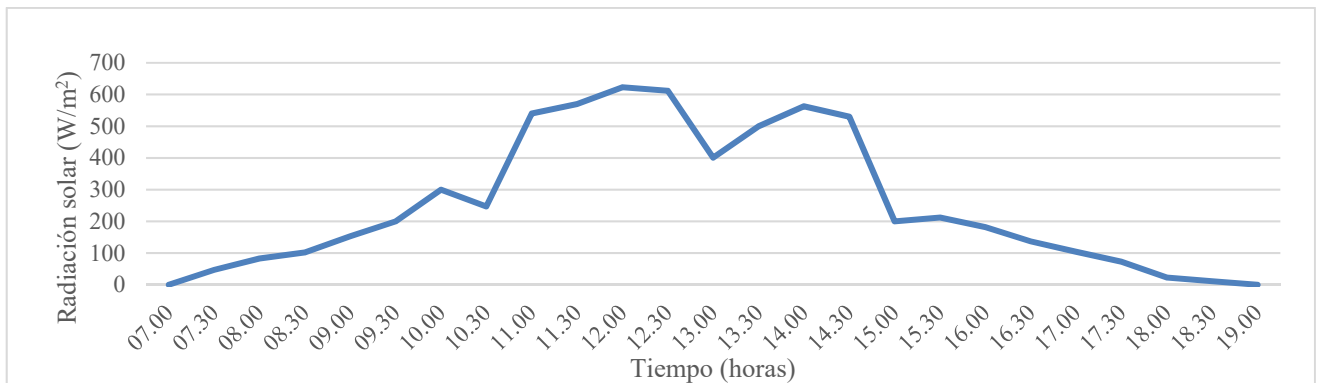
Para la toma de datos, se situó la mochila en el campamento situado en las proximidades de la localidad de Quintanilla de Somoza, en la provincia de León.

En la Figura 3-20 se puede observar el emplazamiento de la mochila mediante una vista aérea. La zona del campamento es un terreno sin árboles y sin vegetación, lo que favoreció la toma de datos sin obstáculos.



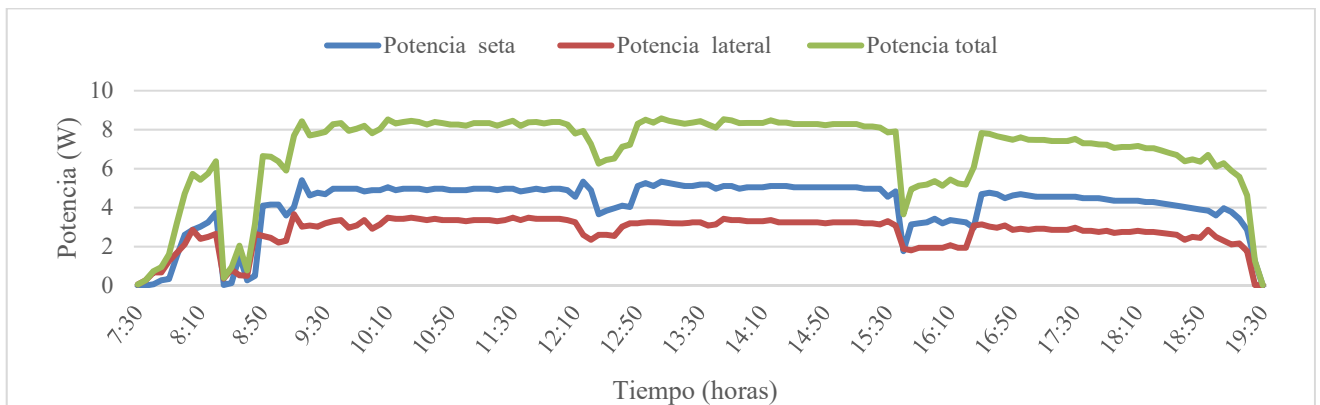
**Figura 3-20 Localización campamento del Teleno**

La radiación solar media durante el día 7 de marzo fue de 278 W/m<sup>2</sup>, y la radiación solar más alta se produjo a las 12:00 horas con un valor de 623 W/m<sup>2</sup>. En la Figura 3-21 se puede apreciar la variación de radiación a lo largo de este día.



**Figura 3-21 Radiación solar 7.03.17**

En la figura se puede apreciar la potencia obtenida tanto para el caso de los paneles fotovoltaicos situados en los laterales como en la seta, así como la potencia total obtenida para el día objeto de estudio.



**Figura 3-22 Gráfica de las potencias de los paneles día 7.03.17**



En los anexos (Figura 6-1 y Figura 6-2), se pueden encontrar las tensiones e intensidades asociadas para el cálculo dicha potencia.

Con respecto a la potencia media, en los paneles situados en la seta se ha obtenido un valor de 4,14 W, mientras que en los laterales esta ha sido de 2,75 W. Durante las 13 horas de radiación solar se obtuvo una generación de energía total de 89,57 Wh.

Con la energía generada, se podrían alimentar todos los equipos oprónicos durante un día. También se podría alimentar durante un día los equipos de comunicaciones de PR4G 9100 y Harris RF-7800S, mientras que los equipos PR4G 9200 y el Harris RF-5800 tendrían energía durante 8 horas

### 3.3.1.3 Alimentación Equipos

Los resultados obtenidos situando la mochila logística en modo estático han proporcionado una energía de 30,6 Wh en la provincia de Pontevedra, y de 89,6 Wh en el caso del Teleno. Debido a que la media de radiación solar ha sido mayor en el Teleno que en Pontevedra, se podrían recargar más equipos con la energía obtenida en el Teleno. Por lo tanto, la climatología de la zona influye a la hora de obtener energía en los paneles fotovoltaicos.

La Figura 3-23 muestra el resumen de los valores de energía obtenida con los paneles en el modo estático. En ella se recogen también los dispositivos electrónicos transportados por el Infante de Marina que podrían ser alimentados con dicha energía, así como los tiempos de utilización. Se puede observar que tanto el Harris RF-7800S como los equipos oprónicos tendrían energía durante 1 día en ambos escenarios, mientras que el resto de equipos disponen de energía durante más tiempo de uso en el Teleno. Esto es debido fundamentalmente a la diferente ubicación y condiciones meteorológicas.

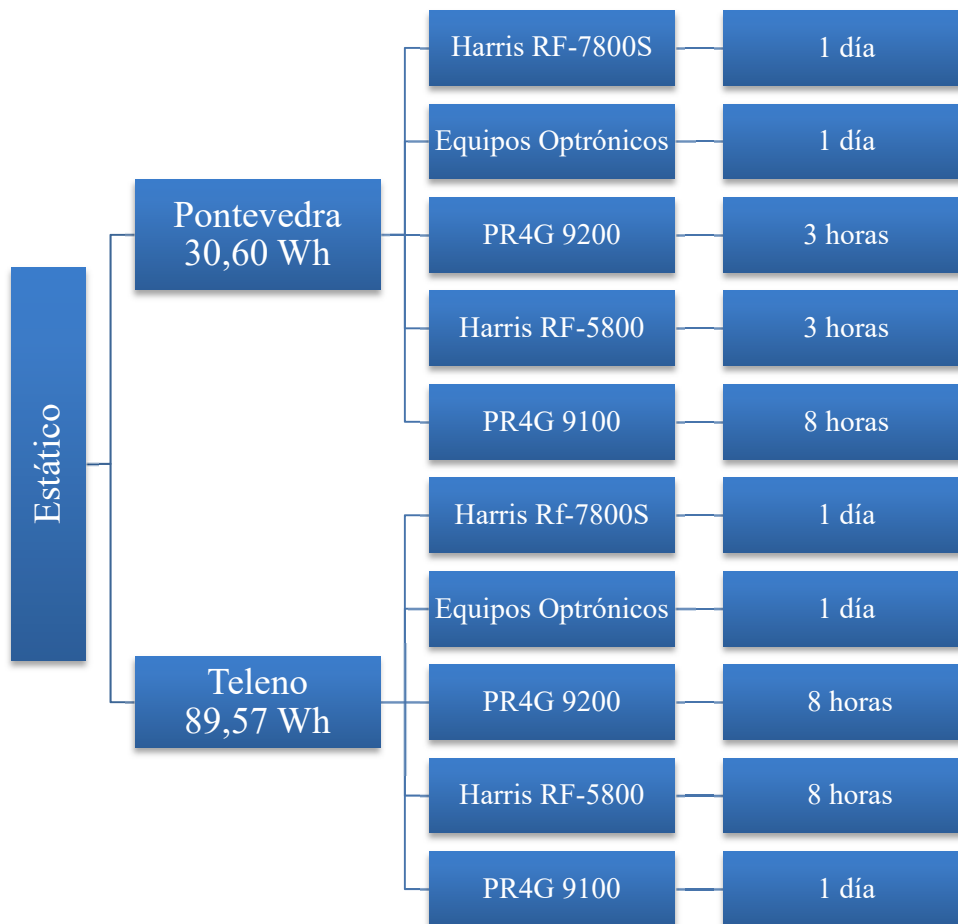


Figura 3-23 Dispositivos alimentados modo estático

### 3.3.2 Modo Dinámico

En este apartado, se va a realizar el estudio de la energía obtenida por los paneles fotovoltaicos, situando la mochila logística en diferentes posiciones, realizando para ello el movimiento a pie o en vehículo desde una posición a otra. Durante el movimiento desde una posición a otra pueden influir algunos factores como las sombras producidas por los árboles y la vegetación. También influye si el movimiento es realizado por el Infante helitransportado o en vehículo.

#### 3.3.2.1 Pontevedra Escenario 1

El muestreo realizado el día 9 del mes de febrero, se tomaron los datos durante la salida realizada por los alumnos en las proximidades de la base militar General Morillo en Figueirido. El día amaneció nublado, y permaneció del mismo modo durante el transcurso de los ejercicios efectuados por los alumnos de Infantería de Marina. La temperatura del día 9 alcanzó un mínimo de 4 °C, y una máxima de 11 °C. Toda esta información se puede apreciar en la Tabla 3-8.







	MAÑANA	TARDE	NOCHE
CIELO			
VIENTO			
PROBABILIDAD LLUVIA	5 %	60 %	80 %
TEMPERATURA	4 °C	11 °C	4 °C

Tabla 3-8 Meteorología del día 9.02.17 [59]

La toma de datos se efectuó tanto en movimiento como en estático, y se realizó en zonas próximas al municipio de Figueirido. En esa zona de ejercicios no se encontraban arboles altos ni vegetación espesa, lo que beneficia la obtención de la radiación solar.



Figura 3-24 Zona de asentamiento de los alumnos de Infantería de Marina [57]

En la Figura 3-24 se pueden apreciar las coordenadas de las dos zonas donde se asentaron los alumnos de Infantería de Marina. Los ejercicios realizados por los alumnos de Infantería de Marina fue el asentamiento de Morteros de 81 mm en dos posiciones diferentes [60].

La radiación solar emitida durante el día se puede apreciar en la Figura 3-25, obteniendo una media 191,7 W/m<sup>2</sup>, y una radiación máxima a las 15:30 horas de 500 W/m<sup>2</sup>.

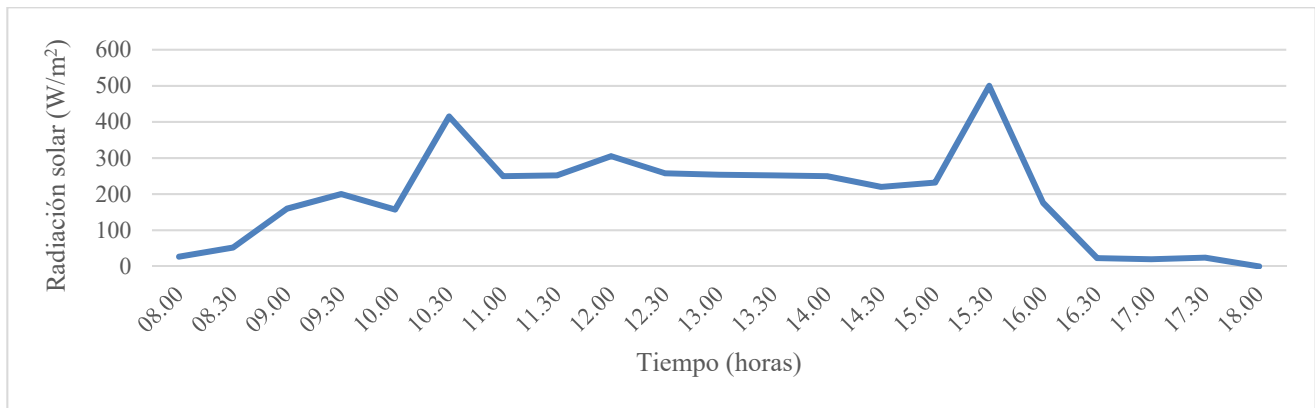


Figura 3-25 Radiación solar día 9.02.17

Con los datos obtenidos de tensión e intensidad de ambos paneles fotovoltaicos (anexos Figura 6-3 y Figura 6-4) se obtuvo la potencia fotovoltaica generada por cada uno de los elementos (seta y laterales), y por lo tanto la potencia total generada para el periodo de maniobras en Pontevedra. En la Figura 3-26, se pueden observar los valores de potencia obtenida por unidad de tiempo, tanto en los paneles como el valor total.

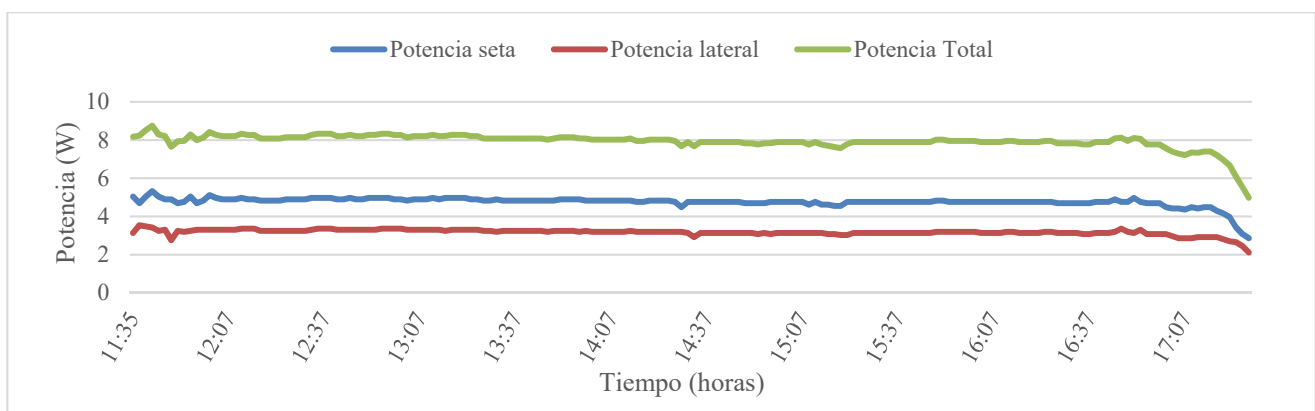


Figura 3-26 Graficas de Potencias de los paneles fotovoltaicos día 9.02.17

En los paneles colocados en la seta se obtuvo una potencia media de 4,76 W, mientras que los paneles laterales una potencia media de 3,17 W.

Con respecto a la energía proporcionada por los paneles con estas condiciones de radiación y temperatura, se obtendría en el tiempo en que se tomaron los datos, que fueron de 6 horas, una energía de 47,58 Wh. Con la energía que se ha obtenido, se podrían alimentar casi todos los dispositivos optrónicos. Alimentar durante un día a todos los dispositivos optrónicos, supondría una energía de 58,2 Wh. En los equipos de comunicaciones, se podría alimentar un equipo Harris RF-7800S durante un día completo, un equipo PR4G 9100 durante 13 horas, un equipo Harris RF-5800 durante 5 horas y PR4G 9200 por un periodo de 4 horas.

### 3.3.2.2 Pontevedra Escenario 2

Los siguientes datos se tomaron el día 16 de febrero durante la ejecución de un ejercicio de patrullas (movimiento realizado por pequeñas unidades militar, o para reconocimiento de objetivos o para la destrucción de estos) [50]. El día estuvo soleado, con una temperatura máxima de 20 °C (Tabla 3-9).







	MAÑANA	TARDE	NOCHE
CIELO			
VIENTO			
PROBABILIDAD LLUVIA	5 %	5 %	5 %
TEMPERATURA	10 °C	20 °C	12 °C

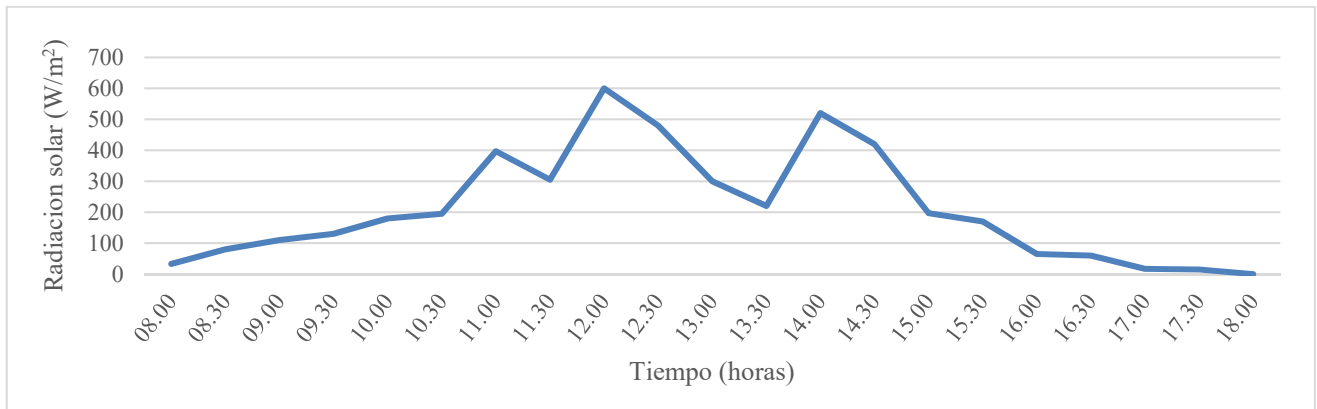
Tabla 3-9 Meteorología del día 16.02.17 [59]

La zona en la que se tomaron los datos fue en las proximidades de Cangas, es una zona de abundante vegetación, con árboles de gran altura, lo que dificulta la toma de datos de radiación. La distancia recorrida durante la patrulla fue de 9 km. En la Figura 3-27 se puede apreciar el recorrido realizado durante la patrulla.



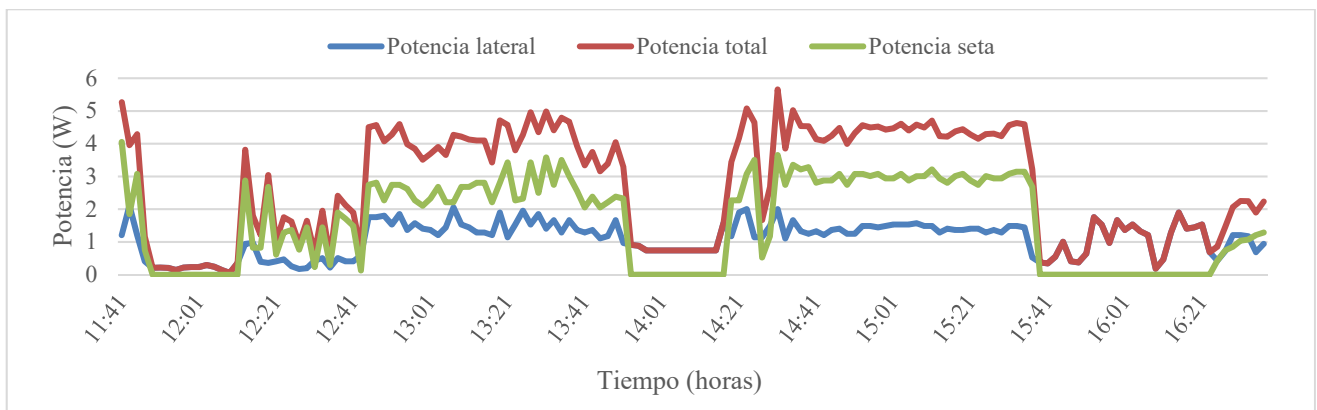
Figura 3-27 Recorrido patrulla reconocimiento [57]

Este día se obtuvo una radiación media de  $224,5 \text{ W/m}^2$ , existiendo dos picos principales de radiación solar:  $600 \text{ W/m}^2$  a las 12.00 horas, y de  $500 \text{ W/m}^2$  a las 14:00 horas. En la Figura 3-28 se puede observar la radiación de este día en función del tiempo.



**Figura 3-28 Radiación solar día 16.02.17**

Con los datos obtenidos de ambos paneles de tensión e intensidad (Anexos Figura 6-5 y Figura 6-6) y mediante ley de Ohm, se obtiene la potencia generada por ambos paneles (laterales y la seta), y por tanto la potencia total. En la gráfica Figura 3-29 se pueden observar el descenso de la potencia en tres franjas horarias. Estos descensos son debidos al movimiento de los alumnos desde la Escuela Naval Militar a la zona de ejercicios a las 11:51 horas y el regreso a las 15:41 horas. El descenso producido a las 14:00 fue debido al movimiento de la patrulla por una zona de árboles donde apenas había radiación solar.



**Figura 3-29 Graficas de Potencias de los paneles fotovoltaicos día 16.02.17**

En la gráfica de la Figura 3-29 se puede observar que la potencia obtenida en los paneles de la seta ha sido mayor que la de los paneles colocados en los laterales. La potencia media de los paneles laterales ha sido de  $1,09 \text{ W}$ , mientras lo de la seta ha sido  $1,61 \text{ W}$ . Con la radiación solar emitida durante el día 16 de febrero, y teniendo en cuenta los movimientos helitransportados, en las 6 horas que duró el ejercicio se obtendría una producción de energía de  $16,2 \text{ Wh}$ .

Con esta energía, se podrían alimentar los equipos optrónicos individualmente, excepto el visor holográfico, que necesita una energía de  $6 \text{ Wh}$ , por lo que solo se podría alimentar durante 2 horas y 30 minutos. Con respecto a las comunicaciones, con esta energía se podría alimentar un Harris RF-7800S durante 16 horas, un Harris RF-5800 durante 1 hora y un PR4G-9100 durante 4 horas.

### 3.3.2.3 Pontevedra Escenario 3

Los siguientes datos fueron tomados el día 23 de febrero en la realización de un ejercicio de patrulla de combate, que son operaciones cuya finalidad es la de la destrucción del enemigo y sus medios [50].

El día estuvo soleado (Tabla 3-10), con una temperatura máxima de 18 °C en el periodo de tiempo en el que se realizó el ejercicio de adiestramiento.







	MAÑANA	TARDE	NOCHE
CIELO			
VIENTO			
PROBABILIDAD LLUVIA	5 %	20 %	15 %
TEMPERATURA	6 °C	18 °C	9 °C

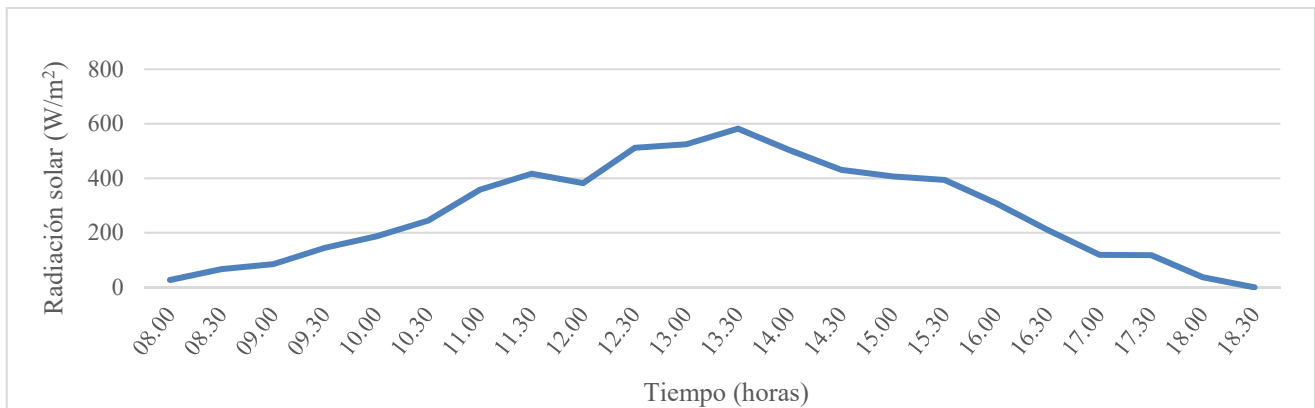
Tabla 3-10 Meteorología del día 23.02.17 [59]

La zona donde se tomaron los datos, fue en las proximidades de Pontecandelas. Se trataba de una zona de árboles de gran altura, aunque con vegetación poco abundante. En la Figura 3-30 se puede apreciar el itinerario realizado por la patrulla de combate con un recorrido aproximado de 11 km.



Figura 3-30 Itinerario Patrulla Combate [57]

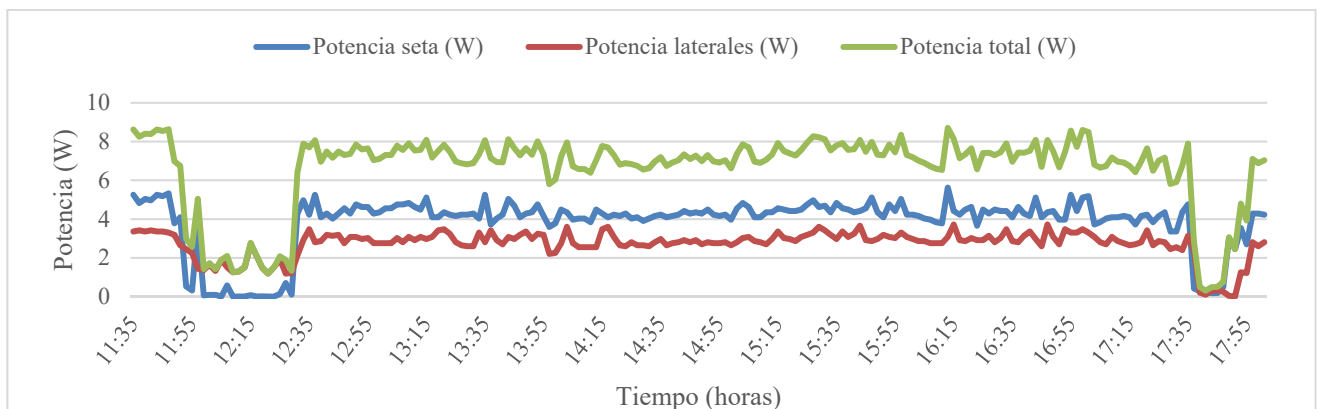
La radiación media fue de 288 W/m<sup>2</sup>, obteniéndose un máximo a las 13.30 hora de 587 W/m<sup>2</sup>. Los datos de radiación de este día se pueden observar en la Figura 3-31.



**Figura 3-31 Radiación solar día 23.02.17**

En la Figura 3-32 se puede apreciar la gráfica de la potencia obtenida durante la realización de la patrulla.

La potencia obtenida en el panel superior sigue siendo mayor que en los paneles laterales. Como se puede apreciar al igual que en los datos tomados el día 16 de febrero, la disminución en el movimiento hacia la zona de ejercicios en vehículos en las franjas horarias de 11:50 y 17:35 horas.









**Figura 3-32 Gráficas de Potencias de los paneles fotovoltaicos día 23.02.17**

La potencia media obtenida en los paneles colocados en la parte superior fue de 3,81 W, mientras que en los laterales de 2,72 W. La energía total durante la realización de la patrulla fue de 39,18 Wh.

Con esta energía se podría alimentar además de los equipos optrónicos, el equipo de comunicaciones Harris Rf-7800S por el periodo de un día, el PR4G 9100 durante 11 horas, y los equipos PR4G 9200 y Harris RF-5800 durante 3 horas.

### 3.3.2.4 Teleno Escenario 1

El día 8 de marzo fue muy soleado con una temperatura máxima de 22 °C en el horario de tarde. El parte meteorológico correspondiente a este día puede apreciarse en la Tabla 3-11. Como se puede observar resultó ser un día muy favorable para la obtención de energía fotovoltaica.

	MAÑANA	TARDE	NOCHE
CIELO			
VIENTO			
PROBABILIDAD LLUVIA	5 %	0 %	0 %
TEMPERATURA	10 °C	22 °C	3 °C

**Tabla 3-11 Meteorología del día 8.03.17**

Durante este día los alumnos de Infantería realizaron ejercicios de cambios de posición. En la Figura 3-33 se puede apreciar las posiciones ocupadas por los alumnos.

La posición de coordenadas 29T 724958-4690965 fue ocupada durante el periodo de la mañana, mientras durante el periodo de la tarde, se trasladaron a la posición de coordenadas 29T 722108-4692760. Las posiciones eran de árboles bajos y escasa vegetación.



**Figura 3-33 Zonas de asentamientos de los alumnos día 8.03.17**



La radiación solar media del día 8 de marzo fue de 269,6 W/m<sup>2</sup>, llegando a un máximo a las 12:30 horas de 703 W/m<sup>2</sup> (Figura 3-34).

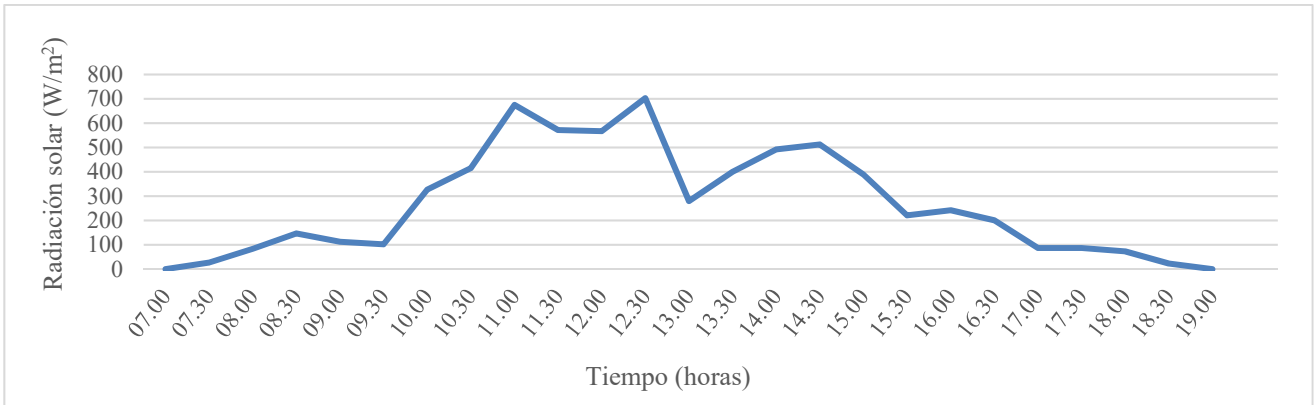


Figura 3-34 Radiación solar día 8.03.17

En la Figura 3-35 se puede apreciar la gráfica de las potencias obtenidas durante el ejercicio de cambio de posición durante el día 8 de marzo.

En los anexos (Figura 6-9 y Figura 6-10) se pueden encontrar los valores de intensidad y tensión asociados a estas potencias, y que permitieron el cálculo de este parámetro.

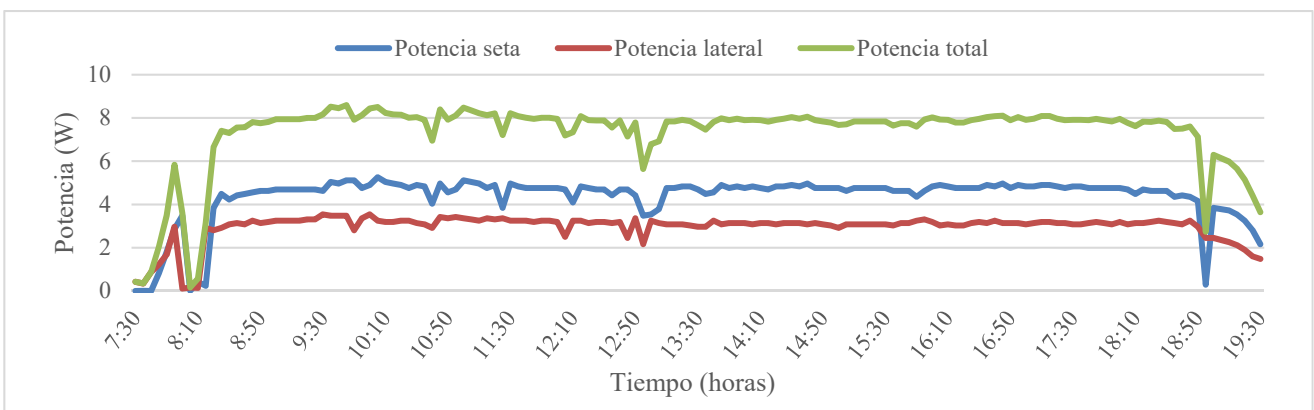


Figura 3-35 Graficas de Potencias de los paneles fotovoltaicos día 8.03.17







La potencia media de los paneles de la seta fue de 4,34 W, mientras que en los laterales fue de 2,95 W. Por lo tanto, durante las 13 horas de radiación solar, se obtuvo una energía de 94,77 Wh.

Con esta energía, se podría alimentar durante un día todos los equipos optrónicos, además de poder alimentar a la vez el equipo de comunicaciones Harris RF-7800S.

Además, se podría alimentar con esta energía el equipo PR4G 9100. Mientras que los equipos de comunicaciones PR4G 9200 se podrían alimentar durante 9 horas y el equipo Harris RF-5800 durante 10 horas.

### 3.3.2.5 Teleno Escenario 2

Los siguientes datos fueron tomados durante el tercer día de adiestramiento (9 de marzo), los alumnos de Infantería de Marina realizaron un ejercicio de patrulla de combate. El día fue soleado, con un viento procedente del suroeste que fue en aumento. La temperatura máxima fue de 20 °C en la tarde, siendo la mínima de 4 °C, como se puede apreciar en la Tabla 3-12.

	MAÑANA	TARDE	NOCHE
CIELO			
VIENTO			
PROBABILIDAD LLUVIA	5 %	0 °C	0 °C
TEMPERATURA	8 °C	20 °C	4 °C

**Tabla 3-12 Meteorología del día 9.03.17**

El ejercicio de patrulla de combate que realizaron los alumnos de Infantería de Marina comenzó en la posición de coordenadas geográficas 29T 729155-4699928, y a continuación siguieron un itinerario hacia la posición del objetivo que debían atacar, en coordenadas geográficas 29T 721921-4694447, como se puede apreciar en la Figura 3-36. La vegetación durante el itinerario era escasa, lo que facilito la toma de datos.



**Figura 3-36 Itinerario patrulla combate 9.03.17**

En la Figura 3-37 se puede apreciar la gráfica de la radiación solar del día 9 de marzo en el campo de adiestramiento del Teleno, siendo la radiación media de 307 W/m<sup>2</sup>. La radiación máxima de 735 W/m<sup>2</sup> fue a las 11:30 horas.

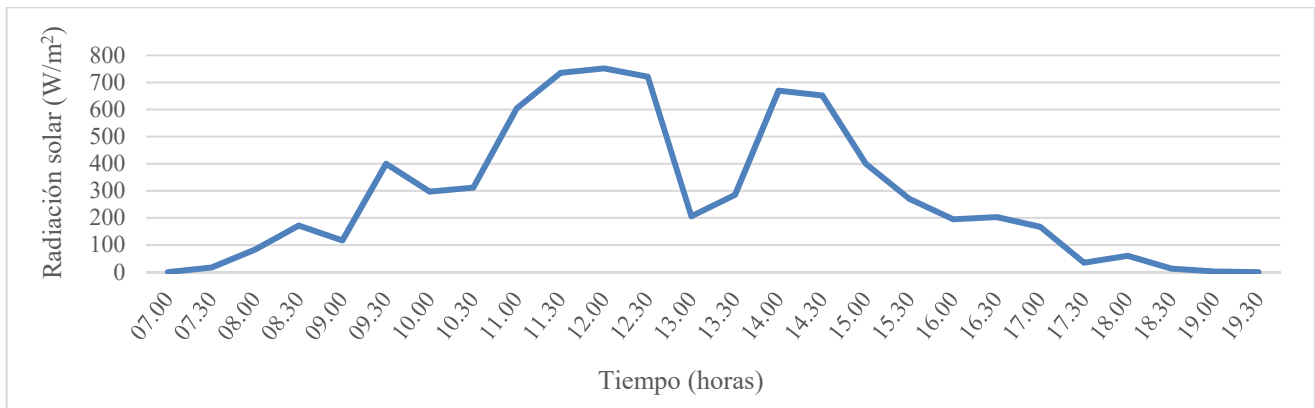


Figura 3-37 Radiación solar día 9.03.17

Para el cálculo de las potencias de los paneles de la seta y laterales, se tuvieron en cuenta las tensiones e intensidades de esta (anexo Figura 6-11 y Figura 6-12). En la Figura 3-38 se pueden apreciar las potencias de la seta, lateral y total obtenidas el día 9 de marzo. La potencia media obtenida en los paneles de la seta fue de 3,95 W, y la de los laterales fue de 2,67 W. Por lo tanto, en las 13 horas radiación solar se obtuvo una generación de energía de 86,06 Wh.

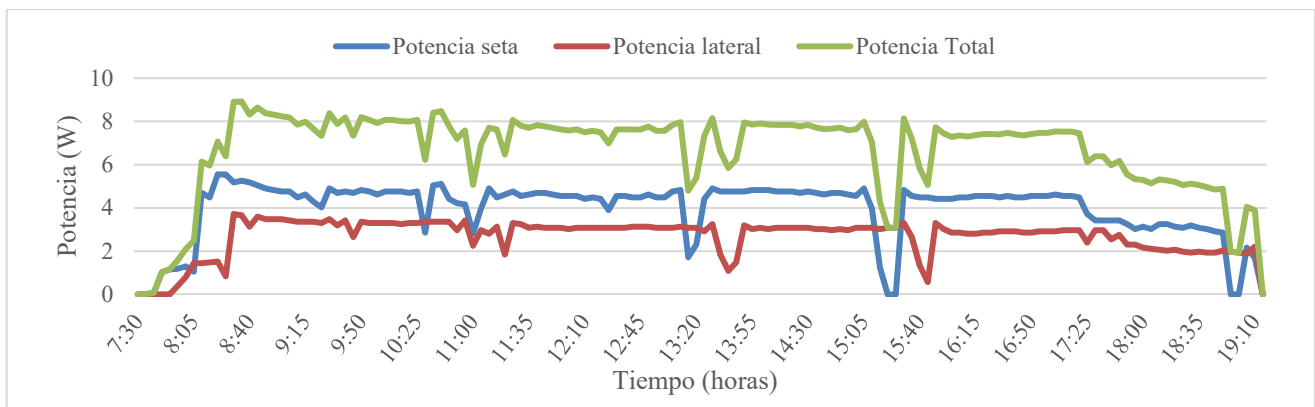


Figura 3-38 Gráficas de Potencias de los paneles fotovoltaicos día 9.03.17

Durante el ejercicio realizado por los alumnos del cuerpo de Infantería de Marina el día 9 de marzo, se obtuvo una generación de energía de 86,06 Wh. Con esta energía se podría recargar los equipos optrónicos o el equipo de comunicaciones Harris RF-7800S o PR4G 9100 durante un día. El equipo de comunicaciones PR4G 9200 durante 8 horas y el equipo Harris RF-5800 durante 9 horas.

### 3.3.2.6 Alimentación Equipos

Al igual que en el modo estático, se ha obtenido una mayor cantidad de energía en el campo de adiestramiento del Teleno que en Pontevedra debido a la mayor radiación solar. La menor energía obtenida ha sido de 16,2 Wh en Pontevedra, mientras que la producción máxima de energía obtenida fue de 94,77 Wh en el Teleno.

La Figura 3-23 muestra el resumen de los valores de energía obtenida con los paneles en el modo dinámico. En ella se recogen también los dispositivos electrónicos transportados por el Infante de Marina que podrían ser alimentados con dicha energía, así como los tiempos de utilización. Se puede observar que los equipos optrónicos tendrían energía durante 1 día en todos los escenarios, excepto en el escenario 2 de Pontevedra (16,20 Wh), que tendrían energía durante 1 día para cada equipo optrónico pero trabajando de manera individual. Esto es debido a la poca generación de energía obtenida en esa medición. El equipo de comunicaciones Harris RF-7800S tendría energía para un día en todos los escenarios, excepto en el escenario 2 de Pontevedra que tendría energía para 16 horas.

El resto de equipos de comunicaciones disponen de energía durante más tiempo de uso en el Teleno que en Pontevedra, esto es debido fundamentalmente a la diferente ubicación y condiciones meteorológicas. Por lo tanto, el equipo en modo dinámico se encuentra lo suficientemente válido para suplir las baterías transportadas en la mochila.

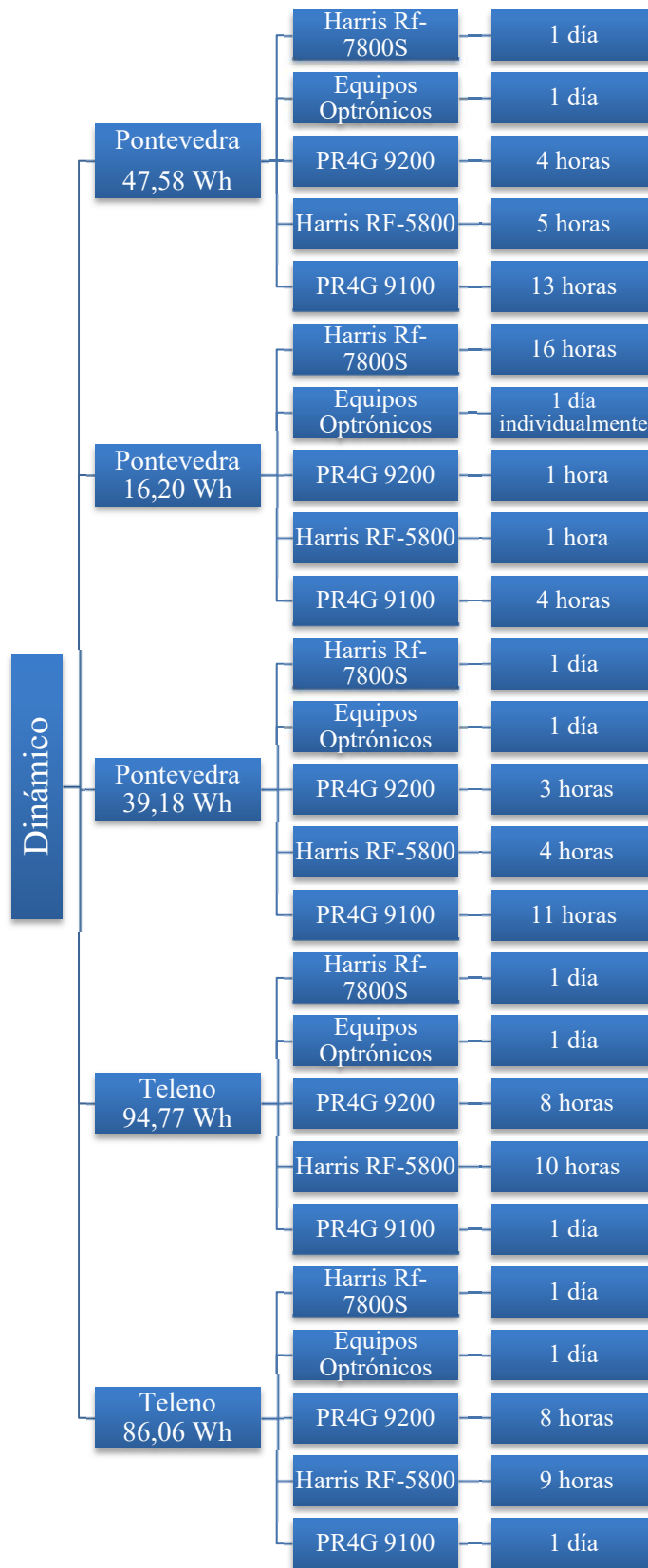


Figura 3-39 Dispositivos alimentados en modo dinámico

### 3.4 Escenarios Alternativos

Con el objetivo de estudiar la viabilidad de utilizar la mochila logística con paneles fotovoltaicos en otros escenarios donde se suelen desarrollar actividades militares, se ha realizado un pequeño estudio adicional de la radiación solar en los países que existen bases permanentes.

A partir de los datos de radiación de estos países se ha podido estimar la cantidad de energía que se produciría durante el uso de la mochila en dichos emplazamientos.

Para dicho cálculo se han utilizado los datos de irradiación que se muestran en la Figura 3-40 [61]. En ella se puede observar que en los países del continente africano como Mali y Somalia la irradiación es prácticamente constante durante todo el año, con lo que el uso de la mochila logística sería independiente de la época del año en la que se utilice. Por otra parte, en países como Afganistán y el Líbano, los niveles de irradiación son similares a los obtenidos en Pontevedra o el Teleno.

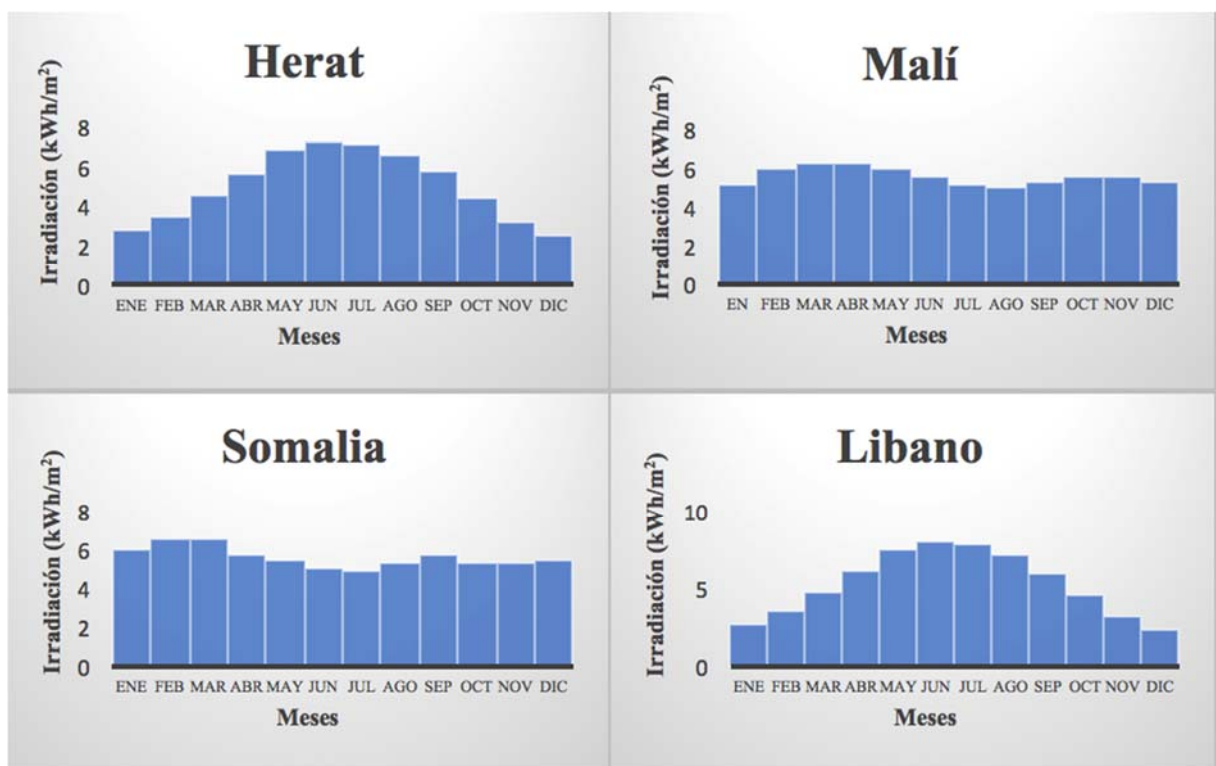


Figura 3-40 Irradiación solar mensual Herat, Mali, Somalia y Líbano [61]

En la Tabla 3-13 se puede observar la estimación de energía que se obtendría en estos países, así como las horas de funcionamiento de los equipos auxiliares utilizados por los militares.

En dicha tabla se puede observar que en Malí se podría obtener una generación de 93,88 Wh, mientras que en Somalia de 94,95 Wh, con lo que se podría alimentar durante un día todos los equipos optrónicos. Con respecto a los equipos de comunicaciones, el PR4G 9100 y el Harris RF-7800 tendrían energía durante un día, mientras que el PR4G 9200 tendría energía durante 8 horas, y el Harris Rf-5800 durante 10 horas.

En países como Afganistán y el Líbano, la generación de energía que se podría obtener, sería de 82,44 Wh y 88,5 Wh, respectivamente. Al igual que en el caso anterior, se podrían alimentar todos los equipos optrónicos durante un día. Con respecto a los equipos de comunicaciones, el Harris RF-7800S tendría energía durante un día, mientras que el PR4G 9100 tendría energía durante 1 día en el Líbano y 23 horas en Herat.

El equipo de comunicaciones PR4G 9200 tendría energía durante 8 horas en Herat y 9 horas en el Líbano, mientras que la autonomía del equipo Harris RF-5800 sería de 7 horas en Herat y 9 horas en el Líbano.

UBICACIÓN	IRRADIACIÓN SOLAR ANUAL	ENERGÍA OBTENIDA	EQUIPOS AUXILIARES	TIEMPO DE TRABAJO
TELENO	4,6 kWh/m <sup>2</sup>	77,40 Wh	PR4G 9200 PR4G 9100 Harris RF-5800 Harris RF-7800S Equipos Optrónicos	7 horas 22 horas 8 horas 1 día 1 día
HERAT (AFGANISTÁN)	4,98 kWh/m <sup>2</sup>	82,44 Wh	PR4G 9200 PR4G 9100 Harris RF-5800 Harris RF-7800S Equipos Optrónicos	7 horas 23 horas 9 horas 1 día 1 día
KOULIKORO (MALÍ)	5,58 kWh/m <sup>2</sup>	93,88 Wh	PR4G 9200 PR4G 9100 Harris RF-5800 Harris RF-7800S Equipos Optrónicos	8 horas 1 día 10 horas 1 día 1 día
SOMALIA	5,59 kWh/m <sup>2</sup>	94,95 Wh	PR4G 9200 PR4G 9100 Harris RF-5800 Harris RF-7800S Equipos Optrónicos	8 horas 1 día 10 horas 1 día 1 día
LIBANO	5,26 kWh/m <sup>2</sup>	88,5 Wh	PR4G 9200 PR4G 9100 Harris RF-5800 Harris RF-7800S Equipos Optrónicos	8 horas 1 día 9 horas 1 día 1 día

**Tabla 3-13 Energía obtenida en diferentes ubicaciones**

Por tanto, sería adecuado y recomendable el uso de los paneles fotovoltaicos en estas diferentes ubicaciones para suplir las baterías transportadas por la mochila, y alimentar así los diferentes dispositivos electrónicos.

## 4 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 4.1 Conclusiones

En el presente Trabajo Fin de Grado se propuso el estudio de la viabilidad de la implementación de paneles fotovoltaicos en la mochila logística del soldado de Infantería de Marina para alimentar equipos auxiliares.

En primer lugar, se han identificado las necesidades energéticas de los diferentes dispositivos electrónicos utilizados por los Infantes de Marina en sus misiones. Seguidamente, se ha implementado en la mochila logística unos paneles fotovoltaicos para alimentar dichos equipos, uno en la seta (7 W) y uno en cada lateral (2x3,5 W). Finalmente, se han registrado los datos de tensión e intensidad fotovoltaica y a partir de ellos se ha calculado la potencia y la energía producida por los mismos.

Con el fin de obtener datos de energía lo más fiable posible, las mediciones han sido llevadas a cabo en distintos escenarios (Pontevedra y Teleno) y en dos modos de operación: estático y dinámico. En modo estático se obtuvo una cantidad de energía promedio de 60 Wh, mientras que en modo dinámico la energía promedio obtenida fue 57 Wh. Con estos valores de energía se ha determinado que equipos pueden ser alimentados y su autonomía, obteniéndose que todos los equipos optrónicos pueden ser alimentados con esta energía, mientras que, dependiendo del equipo de comunicaciones utilizado, podría ser alimentado durante varias horas para su funcionamiento.

Por tanto, en función de los resultados obtenidos se puede decir que es posible alimentar la mayor parte de los equipos durante un periodo de tiempo lo suficientemente amplio. De la totalidad de la energía generada, el 70% procede de los paneles ubicados en la seta mientras que el 30% restante proviene de los paneles laterales. Este resultado permite concluir que la utilización de los paneles laterales ofrece unos resultados aceptables con lo que se recomienda su utilización, ya que el incremento de peso es mínimo en comparación con las ventajas que aporta.

Finalmente, se han extrapolado los datos obtenidos a otro tipo de escenarios donde se encuentran desplegadas unidades de las Fuerzas Armadas Española con el fin de analizar la viabilidad de la utilización de esta mochila, tanto por los equipos de Infantería de Marina como por el Ejército de Tierra. En función del estudio realizado se puede decir que el uso de la mochila en estos escenarios aportaría más autonomía a los equipos en comparación con los resultados obtenidos en el Teleno.

Como conclusión, se ha demostrado la viabilidad de la implementación de paneles fotovoltaicos en la mochila logística para la alimentación de equipos optrónicos, y para los equipos de comunicación, y por lo tanto, los objetivos de este trabajo se han alcanzado de manera positiva.

## **4.2 Líneas Futuras**

Como líneas futuras del presente proyecto se plantean tres estudios. El primero de ellos sería el estudio de los paneles fotovoltaicos en los cascos de combate utilizados por las Fuerzas Armadas, para alimentación de equipos optrónicos y equipos de comunicaciones interpersonal.

Por otro lado, se plantea la implantación de paneles fotovoltaicos en vehículos militares para alimentación de equipos auxiliares usados por el personal militar que se encuentra en el interior del vehículo.

Finalmente, se propone la investigación de la colocación de células fotovoltaicas en el uniforme de los soldados, realizando la simulación de las zonas del uniforme que podrían recibir mayor radiación, para la carga de una batería conformable en el uniforme.



## 5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Taylor, «Still living in a fossil fuel world,» 2010.
- [2] Naciones Unidas, «Protocolo de Kyoto de la convención del marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.1998,» [En línea].
- [3] Comisión Europea., «Acción de la UE contra el cambio climático,» Publication.Europa.eu, Bruselas, 2008.
- [4] C. Banet, «sustainableenergylaw.blogspot,» Catherine Banet, 24 10 2014. [En línea]. Available: <http://sustainableenergylaw.blogspot.com.es/2014/10/40272715-by-2030-european-council.html>. [Último acceso: 16 enero 2017].
- [5] P. Ramos Castellanos, Energías y medio ambiente, Universidad de Salamanca, 2005.
- [6] Energías Renovables. Periodismo de las energías limpias., 2017. [En línea]. Available: [www.energias-renovables.com/panorama/las-renovables-produjeron-en-espana-en-2015-20151230](http://www.energias-renovables.com/panorama/las-renovables-produjeron-en-espana-en-2015-20151230) . [Último acceso: 13 Enero 2017].
- [7] J. Roldan Virola, Energias Renovables, Praninfo, 2012.
- [8] J. D. B. Xavier García Casals, «Renovables 2050».
- [9] J. Alonso, A. Fernández, C. Jiménez, A. Lecuona, F. Mallado, J. Plaza, V. Ramos y G. Sala,, ««Energía Solar Fotovoltaica,» Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, Madrid, 2002,» 2002.
- [10] G. Santamaría, A. Castejón, instalaciones solares fotovoltaicas, editex, 2010.
- [11] OPEXenergy Operación y Mantenimiento S.L., «Opexenergy,» Opexenergy, [En línea]. Available: [http://opex-energy.com/en/fotovoltaica/funcionamiento\\_fotovoltaica.html](http://opex-energy.com/en/fotovoltaica/funcionamiento_fotovoltaica.html) (Ultima visita 22 Enero 2017). [Último acceso: 18 enero 2017].
- [12] M.A. Rodriguez-meza; J. L. Cervantes-Cota, «El efecto fotoelectrico,» Universidad Autonoma del Estado de Mexico, Toluca,Mexico, 2006.
- [13] vaxasoftware, [En línea]. Available: [http://www.vaxasoftware.com/doc\\_edu/qui/w\\_efe.pdf](http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/w_efe.pdf). [Último acceso: 19 enero 2017].
- [14] A. B. Meinel, M. P. Meinel, Aplicaciones de la energía solar, Reverte, 1982.

- [15] SIMEC CHILE SRL, «unglobalcompact,» 2003. [En línea]. Available: <https://www.unglobalcompact.org/>. [Último acceso: 14 ENERO 2017].
- [16] Universidad de Jaen, «TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE LA CÉLULA SOLAR,» Universidad de Jaen, 2007.
- [17] Universidad Carlos II de Madrid, «Lesgislación Fotovoltaica,» Universidad Carlos II de Madrid, 2015.
- [18] CEMAER (Centro de estudios de medioambiente y energía renovables), «CEMAER,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.cemaer.org/tipos-de-sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica/>. [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [19] C. Valenzuela Calahorro, Química General. Introducción a la Química Teórica, Salamanca: Universidad de Salamanca, 1995.
- [20] M.R. Fernandez; , J.A. Fidalgo, Química General, Leon: Everest, 1998.
- [21] D. Linden, Handbook of Batteries, McGraw-Hill, 1995.
- [22] Gobierno de España. Presidencia del Gobierno., «Estrategia de Seguridad Nacional,» Departamento de Seguridad Nacional, Madrid, 2013.
- [23] Ministerio de Defensa, Documento 58, Madrid: M. Defensa, 2016.
- [24] Ministerio de Defensa. Gobierno de España, «Radiografía de las Fuerzas Armadas,» Ministerio de Defensa, Madrid, 2017.
- [25] «elperiodicodelaenergia.com,» [En línea]. Available: <http://elperiodicodelaenergia.com/el-ejercito-espanol-se-gasta-al-ano-668-millones-de-euros-en-combustibles/> ( ultima entrada 14 Enero 2017).
- [26] Gobierno de España. Ministerio de Defensa, «Energía en la EDA(European Defence Agency),» 2017.
- [27] C. Garcia-Guiu Lopez, «Introducción a la producción y suministro de energía eléctrica en campamentos militares.Problemática y retos,» Ejército de Tierra, 2016.
- [28] El impacto de las tecnologías y la forma de hacer la guerra, Ministerio de Defensa.
- [29] Concepto del apoyo logístico del material, Armada Española.
- [30] P. Solanilla Aplaza, A. Ponce, «Energías Renovables Desplegables: Hacia las misiones sostenibles,» Instituto Español de Estudios de Defensa., Madrid, 2011.
- [31] Askthetrainer, «askthetrainer,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.askthetrainer.com/image-files/american-soldier.jpg>. [Último acceso: 27 Enero 2017].
- [32] A. Versprille, «Military Tests Energy Generating Backpack,» National Defense, 2015.
- [33] J. Sisto, «Soldiers of the future will generate their own power,» NSRDEC Public Affairs, 2014.
- [34] J. Kacprzyk, N. Pina, Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, vol. springer, 2012.
- [35] Powerfilmsolar, 2017. [En línea]. Available: <http://www.powerfilmsolar.com> . [Último acceso: 19 Enero 2017].
- [36] A. Foran, «NSRDEC Deploys energy-efficient tents testing,» 2013.

- [37] J. Benson, «Natick designs, evaluates Small Unit Sustainment System,» 2016.
- [38] D. Bathmann, «Army deploys innovative battery-recharging kit,» RDECOM CERDEC Public Affairs, 2010.
- [39] Energy Technologies, Inc, «Tacticalsolar,» 2017. [En línea]. Available: [www.tacticalsolar.com/rugged\\_solar\\_panels\\_rollable.php](http://www.tacticalsolar.com/rugged_solar_panels_rollable.php). [Último acceso: 19 Enero 2017].
- [40] Thin film solar, «Thin film solar,» 2017. [En línea]. Available: [https://wn.com/thin\\_film\\_solar](https://wn.com/thin_film_solar). [Último acceso: 3 Febrero 2017].
- [41] Junta Tactica de la Infanteria de Marina, La compañía y la seccion de fusiles de la infanteria de marina (RIM 06-004), Madrid, 2010.
- [42] THALES, «Thalesgroup,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/defence/pr4g-fstnet-product-family>. [Último acceso: 36 Enero 2017].
- [43] Ministerio de Defensa, «Ejército de Tierra,» 2017. [En línea]. Available: [www.ejercito.mde.es/unidades/Vizcaya/ri145/Organizacion/materiales/index.html\\_1910061518.html](http://www.ejercito.mde.es/unidades/Vizcaya/ri145/Organizacion/materiales/index.html_1910061518.html). [Último acceso: 25 Enero 2017].
- [44] Armada Española, «Pliego de Prescripciones Técnica Radiso persona RF-7800S,» Armada Española, Madrid, 2014.
- [45] eotechinc, 2017. [En línea]. Available: [www.eotechinc.com/holographic-weapon-sights/model-518](http://www.eotechinc.com/holographic-weapon-sights/model-518). [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [46] RLT Milenium S.A.C, «RLT,» 2017. [En línea]. Available: [http://www.rltmilenium.com/Productos/Defensa/Visores/Laser/peq\\_2.html](http://www.rltmilenium.com/Productos/Defensa/Visores/Laser/peq_2.html). [Último acceso: 17 Enero 2017].
- [47] L3 Technologies, «L3 Warrior Systems,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.insighttechnology.com/index.htm>. [Último acceso: 20 Enero 2017].
- [48] NordAtlantic USA, «NordAtlantic USA,» US Government, 2017. [En línea]. Available: <http://gpssignal.com/nvmonoculars.htm>. [Último acceso: Febrero 18 2017].
- [49] nivisys, 2017. [En línea]. Available: [http://www.nivisys.com/en/uploads/PVS-7\\_Brochure\\_SPA.pdf](http://www.nivisys.com/en/uploads/PVS-7_Brochure_SPA.pdf). [Último acceso: 23 Enero 2017].
- [50] Junta de Reglas de la Infanteria de Marina, El peloton de Fusiles de Infanteria de Marina RIM 06-005, Madrid, 1997.
- [51] Lascar Electronics, 2017. [En línea]. Available: [www.lascarelectronics.com](http://www.lascarelectronics.com). [Último acceso: 18 Febrero 2017].
- [52] R. J. Fowler, ELECTRICIDAD. Principios y Aplicaciones, Barcelona: Reverte S.A, 1994.
- [53] P. Amezcua Fernández, «Diseño de un sistema portable de desalinización de agua de supervivencia marina para consumo humano mediante energía solar fotovoltaica mediante ósmosis inversa,» Centro Universitario de la Defensa. Universidad de Vigo, Marin, 2015.
- [54] Agencia Estatal de Meteorología, «www.aemet.es,» 2017. [En línea]. Available: [www.aemet.es](http://www.aemet.es). [Último acceso: 4 Febrero 2017].

- [55] Adrase (Acceso de datos de radiación en España), 2017. [En línea]. Available: [www.adrase.com/acceso-a-los-mapas/mapa-zona-peninsula.html](http://www.adrase.com/acceso-a-los-mapas/mapa-zona-peninsula.html). [Último acceso: 24 Enero 2017].
- [56] Meteoclimatic, 2017. [En línea]. Available: <http://www.meteoclimatic.net>. [Último acceso: 3 Febrero 2017].
- [57] Instituto Geografico Nacional, «Iberpix,» 2017. [En línea]. Available: <http://contenido.ign.es/iberpix2/visor/>. [Último acceso: 1 Marzo 2017].
- [58] Agencia Estatal de Meteorología, «AEMET,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/municipios/astorga-id24008>. [Último acceso: 7 marzo 2017].
- [59] Meteogalicia, 2017. [En línea]. Available: [www.meteogalicia.gal](http://www.meteogalicia.gal). [Último acceso: 3 Febrero 2017].
- [60] Ministerio de Defensa., «Ejercito de Tierra,» Ejercito de Tierra, 2012. [En línea]. Available: [http://www.ejercito.mde.es/unidades/Gerona/rczm\\_arapiles62/Organizacion/materiales/index.html\\_1910061517.html](http://www.ejercito.mde.es/unidades/Gerona/rczm_arapiles62/Organizacion/materiales/index.html_1910061517.html). [Último acceso: 8 Marzo 2017].
- [61] Solar Electricity Handbook, «Solar Irradiance,» Greenstream, 2017. [En línea]. Available: <http://solarelectricityhandbook.com/solar-irradiance.html>. [Último acceso: 16 Marzo 2017].

## 6 ANEXO: GRÁFICAS DE TENSIÓN E INTENSIDAD

En el anexo se van a incluir todas las gráficas correspondientes a la tensión e intensidad del modo estático y dinámico.

### I. GRÁFICAS MODO ESTÁTICO TELENO.

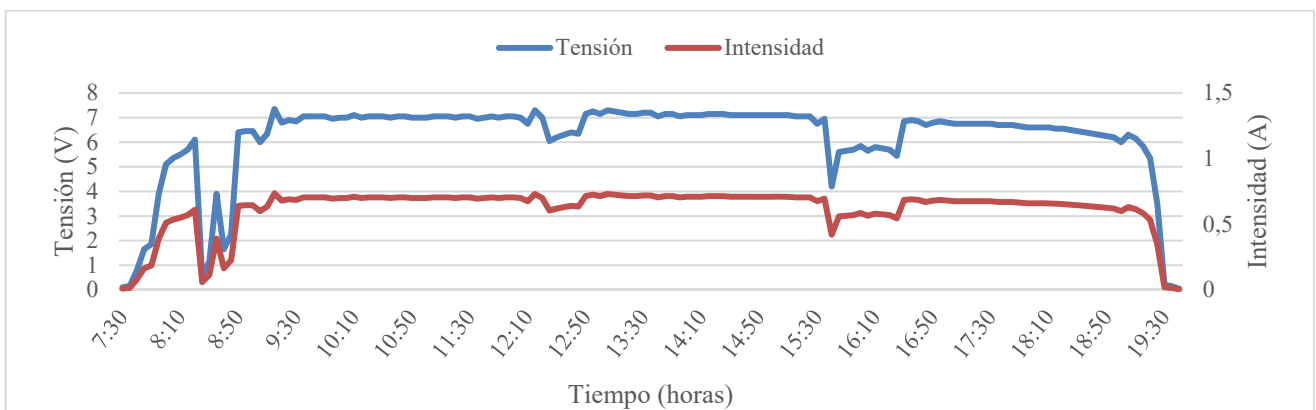


Figura 6-1 Gráfica tensión e intensidad seta día 7.03.17

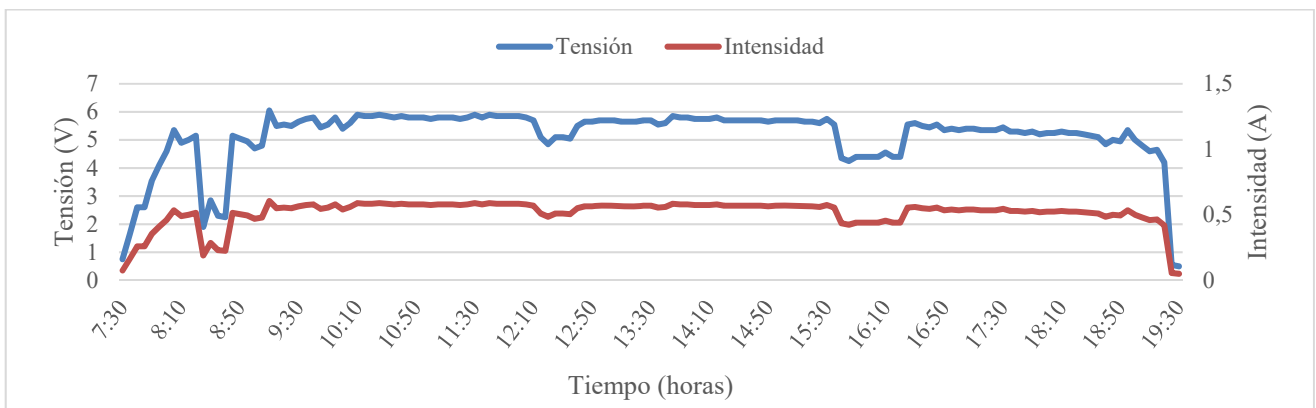


Figura 6-2 Gráfica tensión e intensidad laterales día 7.03.17

II. GRÁFICAS MODO DINÁMICO PONTEVEDRA ESCENARIO 1.

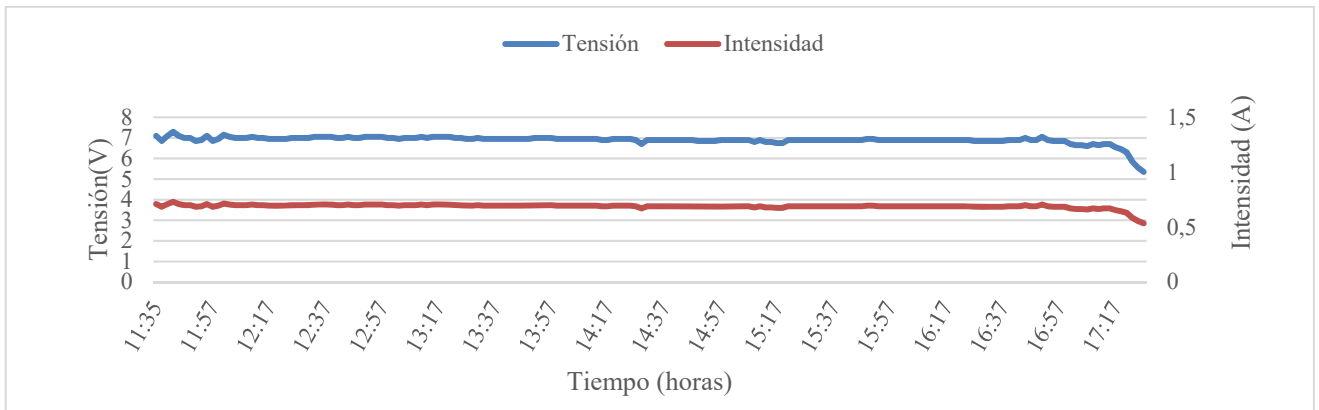


Figura 6-3 Gráfica tensión e intensidad seta día 9.02.17

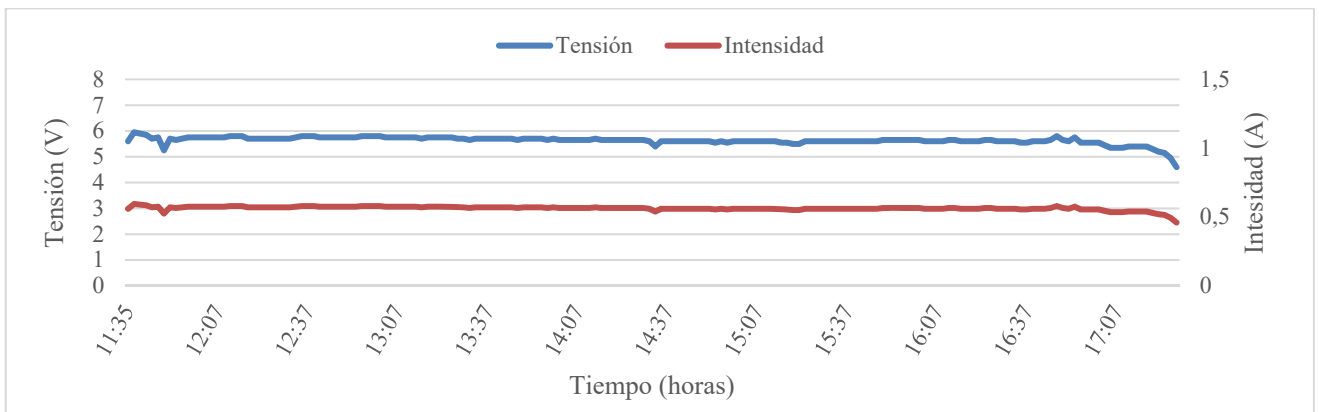


Figura 6-4 Gráfica tensión e intensidad lateral día 9.02.17

III. GRÁFICAS MODO DINÁMICO PONTEVEDRA ESCENARIO 2.

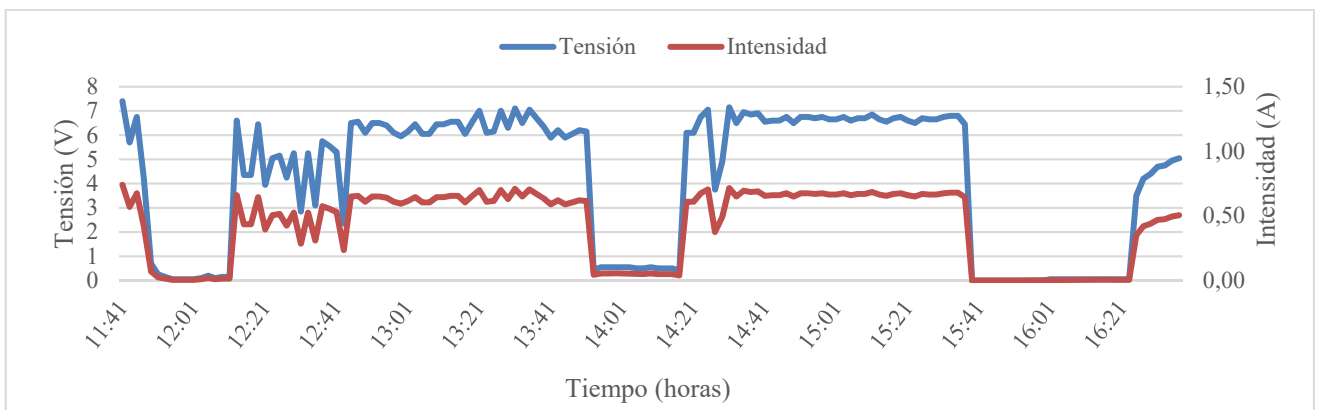


Figura 6-5 Gráfica tensión e intensidad seta día 16.02.17

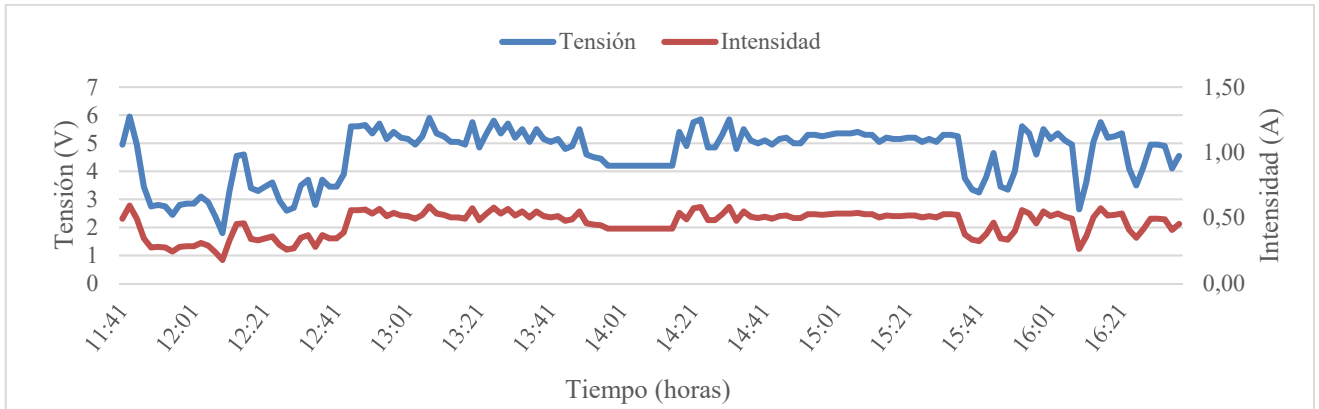


Figura 6-6 Grafica tensión e intensidad lateral día 16.02.17

IV. GRÁFICAS MODO DINÁMICO PONTEVEDRA ESCENARIO 3.

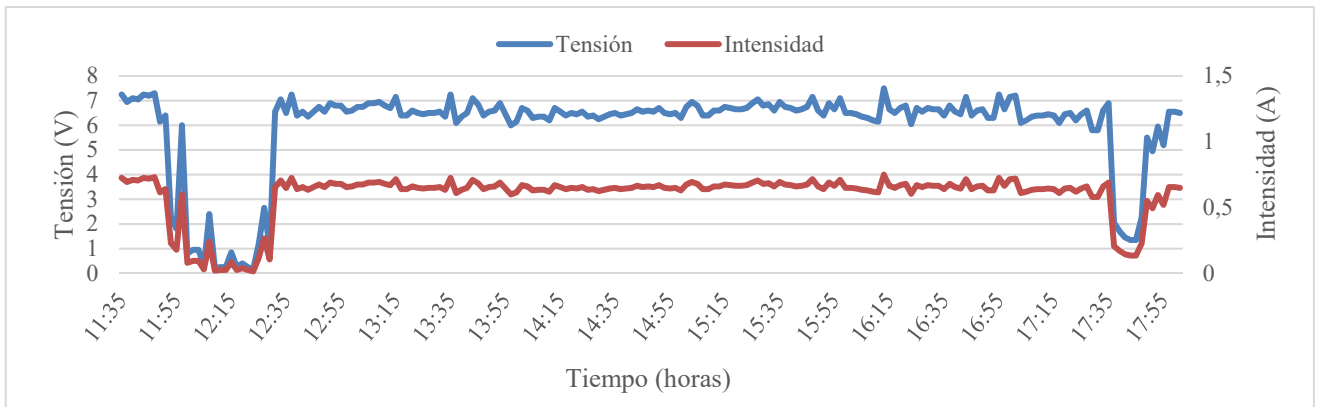


Figura 6-7 Grafica tensión e intensidad seta día 23.02.17

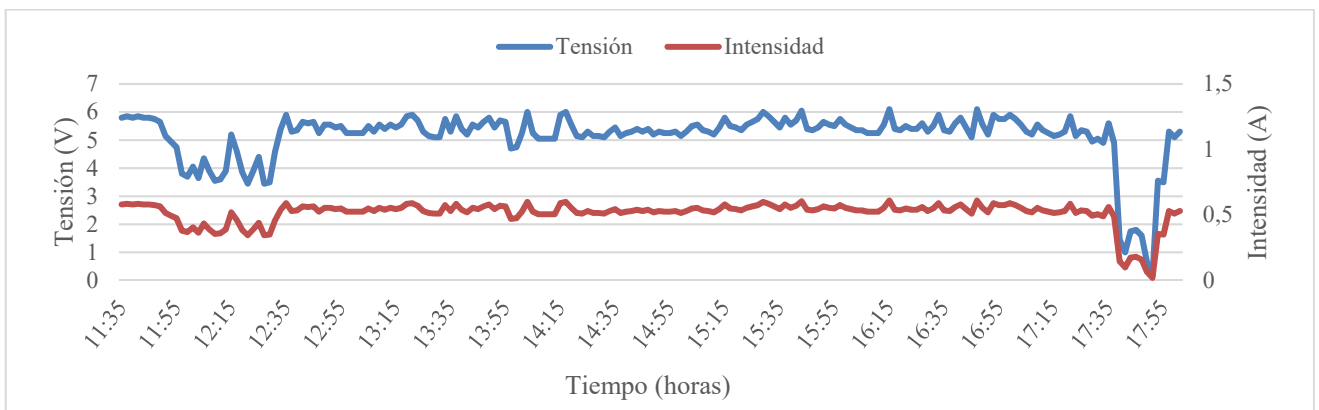


Figura 6-8 Grafica tensión e intensidad lateral día 23.02.17

V. GRÁFICAS MODO DINÁMICO TELENO ESCENARIO 1.

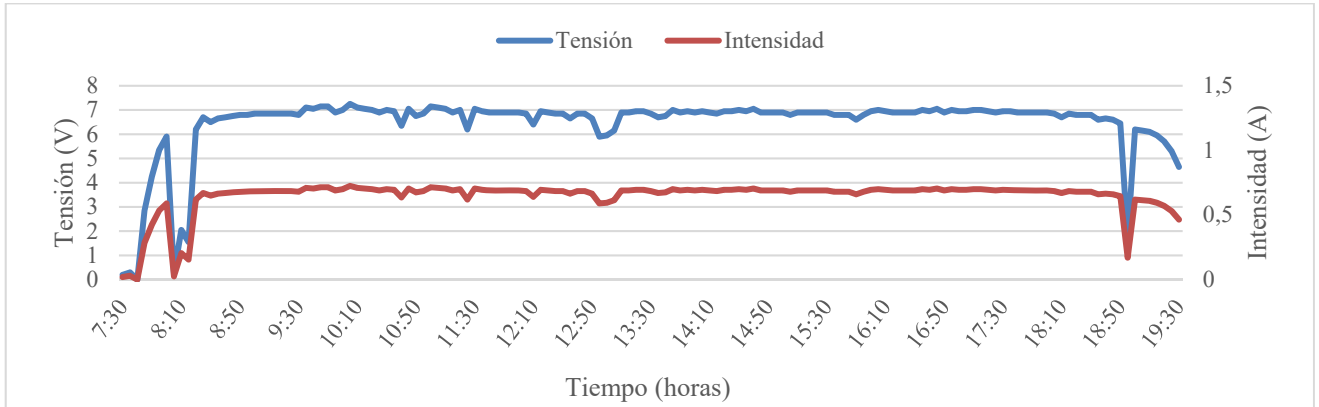


Figura 6-9 Gráfica tensión e intensidad seta 8.03.17

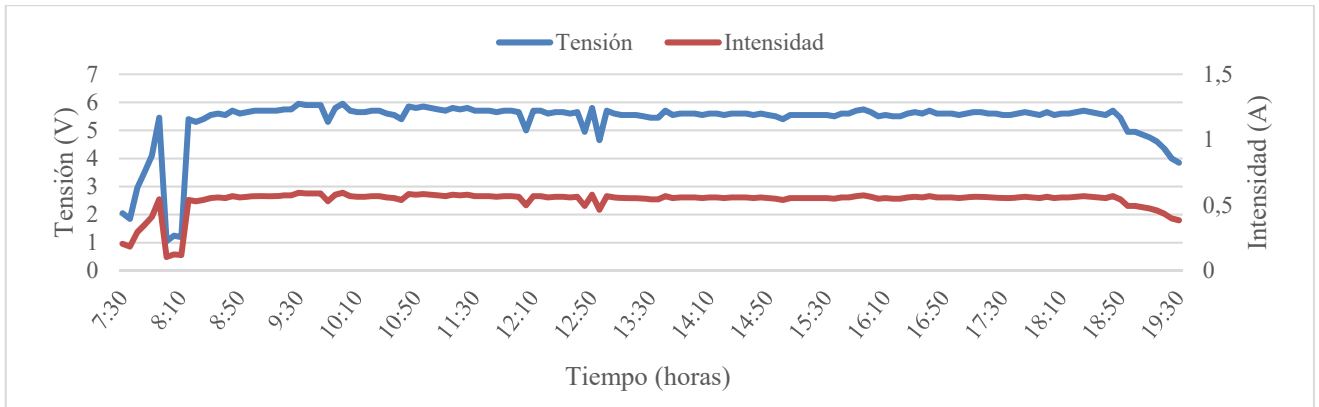


Figura 6-10 Gráfica tensión e intensidad lateral 8.03.17

VI. GRÁFICAS MODO DINÁMICO TELENO ESCENARIO 2.

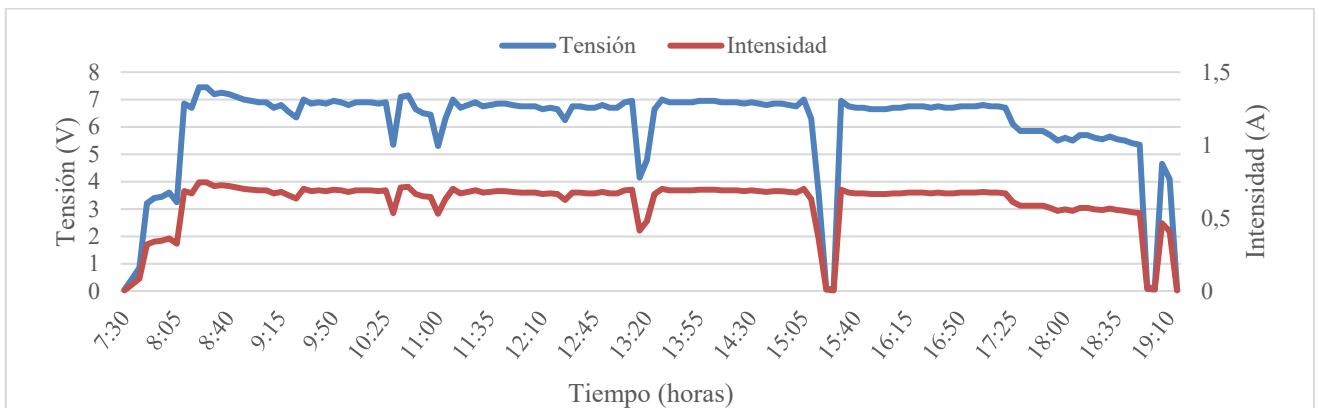


Figura 6-11 Gráfica tensión e intensidad seta día 9.03.17



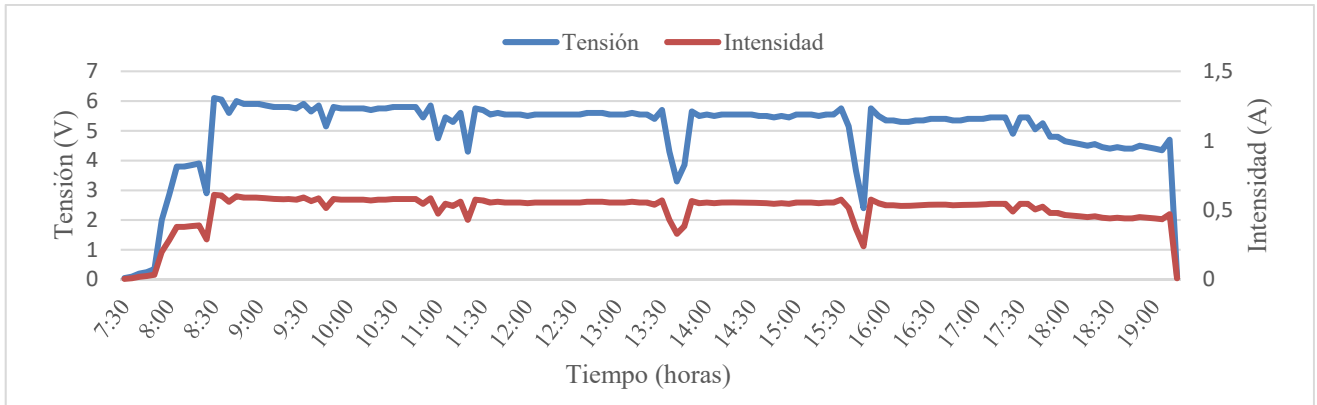


Figura 6-12 Grafica tensión e intensidad lateral día 9.03.17