



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**Dimensionamiento, instalación y
optimización de la instalación fotovoltaica
de un campamento de ocio juvenil**

Autor:

Brezmes Gutiérrez, Rubén

Tutor:

Domínguez Vázquez, José Antonio

Tecnología Electrónica

Valladolid, febrero 2025.

Resumen, palabras claves, abstract, keywords

Resumen

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo el dimensionamiento, instalación y optimización de una instalación fotovoltaica para un campamento de ocio juvenil. Se parte de una instalación obsoleta basada en un generador de combustión, con el propósito de sustituirla progresivamente por una solución de energía renovable que garantice autosuficiencia energética, sostenibilidad y reducción de costes.

El estudio se desarrolla en dos fases: en la primera, se analiza la instalación existente, se define el consumo energético y se implementa un sistema fotovoltaico inicial con almacenamiento en baterías. En la segunda fase, tras un periodo de evaluación, se optimiza la instalación mediante la ampliación de paneles solares y baterías, la sustitución de la bomba de agua por una electrobomba y la integración de un sistema de monitorización remota.

Los resultados obtenidos reflejan una mejora significativa en términos de eficiencia energética, reducción de emisiones, disminución de la contaminación acústica y autonomía operativa. Se ha logrado una instalación fiable, rentable y sostenible, con un impacto positivo tanto en la gestión del campamento como en la educación ambiental de sus participantes.

Palabras claves

Energía fotovoltaica, instalación solar, almacenamiento energético, sostenibilidad, eficiencia energética, electrificación rural, monitorización remota, campamento juvenil, autoconsumo, inversores solares, baterías de gel, dimensionamiento fotovoltaico, optimización energética, irradiancia solar.

Abstract

This Final Degree Project focuses on the sizing, installation, and optimization of a photovoltaic system for a youth recreational camp. The project starts with an outdated combustion-based generator system, aiming to progressively replace it with a renewable energy solution that ensures energy self-sufficiency, sustainability, and cost reduction.

The study is divided into two phases: the first phase involves analyzing the existing installation, defining energy consumption, and implementing an initial photovoltaic system with battery storage. In the second phase, after an evaluation period, the installation is optimized by expanding solar panels and batteries, replacing the water pump with an electric pump, and integrating a remote monitoring system.

The results demonstrate a significant improvement in energy efficiency, emission reduction, noise pollution mitigation, and operational autonomy. The final installation is reliable, cost-effective, and sustainable, positively impacting both camp management and participants' environmental education.

Keywords

Photovoltaic energy, solar installation, energy storage, sustainability, energy efficiency, rural electrification, remote monitoring, youth camp, self-consumption, solar inverters, gel batteries, photovoltaic sizing, energy optimization, solar irradiance.

Índice

Resumen, palabras claves, abstract, keywords.....	3
Resumen.....	3
Palabras claves	3
Abstract.....	4
Keywords	4
Índice.....	5
1. Introducción y objetivos.....	7
1.1. Explicación y justificación del proyecto	7
1.2. Objetivos del proyecto.....	7
2. Desarrollo del TFG.....	11
2.1. Evaluación y análisis de la instalación inicial	11
2.2. Primera modificación	15
2.2.1. Objetivos	15
2.2.2. Dimensionamiento de la instalación	15
2.2.3. Diseño de la instalación	18
Paso 1: Elección y justificación de los paneles fotovoltaicos	19
Paso 2: Elección y justificación de las baterías.	22
Paso 3: Elección y justificación del inversor.	26
2.2.4. Implementación, evaluación y conclusiones del primer año de pruebas. 29	
2.3. Segunda modificación	32
2.3.1. Análisis y sustitución de la bomba de agua	32
2.3.2. Implementación de sistema de monitorización de datos	34
2.3.3. Actualización del dimensionamiento	36
2.3.4. Rediseño de la instalación	38
2.3.5. Renovación del cableado en materia de seguridad	41
2.3.6. Estimación de generación y estado de las baterías	43
2.3.7. Análisis del funcionamiento de la instalación definitiva	45
Domingo 14/07/2024	49
Viernes 19/07/2024.....	50
Sábado 20/07/2024	51

Domingo 21/07/2024.....	52
Martes 23/07/2024.....	53
Jueves 25/07/2024.....	54
2.3.8. Conclusiones y apreciaciones	55
3. Conclusiones generales	57
3.1. Apreciaciones finales.....	57
3.2. Vías de mejoría.....	58
3.3. Repercusiones sociales, económicas, de seguridad y salud, ambientales	60
3.3.1. Repercusiones sociales	60
3.3.2. Repercusiones económicas.....	61
3.3.3. Repercusiones de seguridad y salud	62
3.3.4. Repercusiones ambientales	63
Bibliografía	65
Anexos	67

1. Introducción y objetivos

1.1. Explicación y justificación del proyecto

El principal objetivo de este proyecto es dimensionar la renovación de la instalación eléctrica de un campamento de ocio juvenil en forma de suministro fotovoltaico y estudiar las optimizaciones a implementar. Para ello, se establece el punto de partida en la actual instalación obsoleta, cuya obtención de energía está basada en un generador de combustión. Un punto intermedio que se quiere lograr es fundamentar la obtención de energía en una instalación fotovoltaica, aunque sin lograr la plena autosuficiencia de las energías renovables, pues se contará con el refuerzo del mencionado generador. Por último, se dará por finalizado el proyecto cuando se logre la total independencia por medio de la instalación fotovoltaica. Una de las principales limitaciones será la económica, por lo que será un factor a tener en cuenta en los puntos siguientes. A continuación, procedo a establecer los objetivos que fundamenten el proyecto y que nos permitan finalizar el mismo de manera exitosa.

1.2. Objetivos del proyecto

- Apostar por las energías renovables: Uno de los principales pilares de este proyecto es la implantación de energías renovables en un entorno en el que el medioambiente cobra una especial importancia. El hecho de apostar por las energías renovables nos permitirá contar con una energía mucho más limpia y menos dañina que la combustión. Además, al ser un campamento juvenil, el hecho de disponer de energía limpia, cómoda y accesible nos permitirá educar a los asistentes en cuanto a la importancia y ventajas de las energías renovables.
- Lograr disponibilidad energética durante las 24 horas del día: Otro de los inconvenientes de la actual instalación es que únicamente proporciona energía mientras el generador está funcionando, lo que implica que durante las horas diurnas no se podían emplear elementos de cocina eléctricos, no se podían cargar los distintos dispositivos electrónicos como teléfonos móviles o emisoras y no se disponía de iluminación en los distintos espacios. En caso de ser imprescindible el uso de la electricidad, es posible encender el generador, para momentos puntuales, pero en estos casos se producía una pérdida sustancial de energía, que era perjudicial para la instalación.

- **Ahorro económico:** Tal como se mencionó anteriormente uno de los factores más decisivos a la hora de tomar decisiones en el campamento es el económico. Aunque a priori, la sustitución de la instalación es un gasto considerable, en nuestro caso lo podemos enfocar como una inversión. El hecho que nos permite considerarla una inversión es que la vida útil de la instalación fotovoltaica es mucho más longeva y apenas precisa mantenimiento. Por el contrario, el generador requiere de mantenimientos y revisiones anuales, de las que habitualmente surgen reparaciones. Todo ello, sumado con el consumo de combustible, que anualmente supera los 200€, hace que a largo plazo la inversión en la instalación fotovoltaica sea muy rentable económicamente.
- **Conseguir independencia:** Otro de los problemas que presenta la actual instalación es el hecho de necesitar que una persona estuviera atenta a ir a arrancar el generador o ir a rellenar el depósito de combustible en caso de que se acabe durante su uso. Con la nueva instalación fotovoltaica se podrá prescindir de esa atención, pues se controlará en su totalidad desde el centro de control, que estará mucho más accesible que el propio generador, y en ningún momento necesitaremos ir hasta la instalación fotovoltaica.
- **Evitar contaminación acústica y lograr integración con el entorno:** Una de las características de los campamentos donde se va a aplicar la instalación es que siempre se realizan en entornos plenamente naturales. Con la actual instalación del generador de combustión generamos una contaminación acústica muy poco habitual en dichos ambientes que perjudica considerablemente al ecosistema, afectando a las distintas especies que habiten el entorno. También nos afecta a los usuarios del campamento, pues los ruidos emitidos pueden llegar a ser molestos e incluso afectar al desarrollo de juegos y actividades. Con la implantación de la instalación fotovoltaica se logrará un entorno mucho menos ruidoso, siendo esto beneficioso tanto para los usuario como para las distintas especies presentes.
- **Lograr un entorno seguro:** Otro de los factores más preocupantes con la actual instalación es el riesgo de incendios que presenta el hecho de contar con un motor de combustión en medio del campo, durante los meses de verano. Esto genera muchos impedimentos a la hora de seleccionar lugares para realizar el campamento, ya que lógicamente la normativa al respecto es muy estricta, y en los lugares en los que está permitido, era necesario tomar diferentes medidas de seguridad y cumplir distintos protocolos. Con la nueva instalación vamos a poder disponer de un mayor número de alternativas a la hora de elegir donde realizar los campamentos, sumado con una mayor flexibilidad a la hora de organizar su disposición, pues el riesgo de catástrofe es mucho menor y el reglamento es más permisivo.

- Dimensionamiento preciso y optimización para uso concreto: Otro de los objetivos sería el de realizar un dimensionamiento preciso, ya que el uso que va a recibir nuestra instalación es muy concreto. Este se va a limitar al mes de julio, en lugares de similar latitud, lo cual nos permite ajustar a la hora de la selección de los componentes de la instalación. Esto cobra vital importancia tanto en el plano económico como en los planos de optimización y rendimiento. Gracias a que el campamento se produce bajo unas condiciones solares propicias, podemos evitar realizar el típico sobredimensionamiento que se lleva a cabo en el diseño de instalaciones fotovoltaicas.
- Centralizar la instalación: En la actualidad, para la obtención de agua disponemos de una motobomba, que necesita ser sustituida. Aprovechando la sustitución, vamos a optar por la inclusión en la instalación de una electrobomba, de modo que funcionara con la energía obtenida por medio de la instalación fotovoltaica en lugar de con un motor de combustión. Esto propiciara que el riesgo de fallo se vea reducido, al depender todos los equipos de la instalación más fiable con la que contamos.
- Adaptar la instalación a la normativa actual: Otro de los problemas que nos podemos encontrar en la instalación actual es que debido a su antigüedad no está nada actualizada en materia de seguridad, lo cual puede suponer un problema por dos principales motivos. El primero de ellos, la seguridad en sí misma, ya que en caso de algún problema, la instalación no estaría preparada y podría suponer un riesgo para todos los usuarios. El segundo de los motivos sería en el plano administrativo, pues en caso de ser sometido a inspección técnica, resultaría defectuosa y podría suponer incluso la clausura del campamento.
- Lograr una vida útil de al menos 20 años: La inversión a realizar va a ser considerable, por lo que se espera que al menos tenga una vida útil de al menos 20 años. Ya que se cambia por completo la filosofía energética del campamento, se desea que la instalación perdure a largo plazo y se establezca en las futuras generaciones sin necesidad de gastos adicionales, más allá de gastos menores que se puedan realizar en materia de mantenimiento.
- Amortizar la instalación en menos de 10 años: Dado que la amortización de la instalación afecta al resto de partidas de los ejercicios presupuestarios en los que la amortización se lleva a cabo, se ha fijado como objetivo que esta sea amortizada en un periodo inferior a los 10 años. Esto se determina con la intención de que la afectación al presupuesto no sea muy notoria, en cuanto a la amortización anual, ni que afecte durante un periodo mayor al indicado ya que podría desencadenar en un descontrol económico.

2. Desarrollo del TFG

2.1. Evaluación y análisis de la instalación inicial

En primer lugar, de cara a la sustitución de la instalación eléctrica, la primera necesidad que surge es analizar a fondo la instalación disponible actualmente, para ser consciente de cuál es la realidad del punto de partida. También, por medio de este análisis se pueden determinar las necesidades y requisitos de la futura instalación, pues esta ha de tener como mínimo las mismas cualidades y funcionalidades que la actual.

En la actualidad, contamos como única fuente de energía con un generador de gasolina Benza E5000 de 3,9 kW y 4,8 KVa. Este generador es un generador monofásico que cuenta con un motor de combustión Subaru de 9 CV. Tiene un depósito de gasolina de 6 litros, que basado en su consumo de 3,3 l/h nos permite tenerle en funcionamiento a pleno rendimiento durante un periodo de alrededor de 1 hora y 45 minutos. Este generador está enfocado a un uso industrial, por lo que implica unas revisiones temporales para verificar su correcto funcionamiento.

A continuación, se detallan los distintos elementos que se conectan a la red eléctrica del campamento que suponen consumos al generador. Se incluye una explicación detallada de su uso, así como su enfoque, consumos y horas de funcionamiento diarias:

- Arcón frigorífico: Es un arcón que se emplea para mantener alimentos congelados. Es de vital importancia, ya que la alimentación del campamento se sustenta gracias a él. En la actualidad funciona durante las horas nocturnas que se enciende el generador y dos horas adicionales, que se enciende durante la mañana para lograr mantener la cadena de frío. Tiene un consumo de 100 W. Idealmente, debería de estar encendido durante al menos 12 horas, pero en la actualidad no se estaba llevando a cabo por la baja rentabilidad de encender el generador solo para ello.
- Cámara frigorífica: Esta cámara se complementa con el arcón a la hora de mantener los alimentos frescos, por lo que también tiene una alta importancia. De igual modo, en la actualidad apenas llega a 5 horas encendida, lo cual, aunque es suficiente, puede llegar a suponer algún problema en función de las temperaturas del entorno, ya que se podría romper la cadena de frío y dañar los alimentos. Al igual que para el arcón, el consumo de esta cámara es de 100 W y se desearía aumentar hasta las 12 horas el tiempo que dispone de alimentación.

- Iluminación de la cocina: Para la iluminación de este espacio se emplean cuatro tubos fluorescentes de 150 cm de longitud. El consumo de estos tubos es de 58 W por cada uno de ellos, lo cual implica un consumo de total de 232 W. La utilización que reciben es continua desde que oscurece durante la preparación de la cena hasta que se finaliza la cena, es decir durante entre 3 o 4 horas, en función del día. El uso de este espacio es muy acotado por lo que no se considera necesario valorar un mayor tiempo de uso. Estas luminarias, al igual que las que veremos a continuación para el almacén y el comedor, se consideran obsoletas, por lo que en la Primera modificación se trabajara en una posible sustitución.
- Iluminación del almacén: La iluminación de este espacio sigue una estructura idéntica a la de la cocina, con la diferencia en el enfoque de uso. En este caso en lugar de tener una utilización continua, recibe encendidos puntuales de poca duración. De cara a una posible mejora, se podría valorar disponer de luz continuada en este espacio durante al menos 2 horas para ser empleada como espacio de reunión.
- Iluminación del comedor: En este espacio se cuenta con tubos fluorescentes del mismo modelo que para la cocina y el almacén, con la diferencia que aquí se cuenta con un total de 10 fluorescentes, que implican un consumo de 580 W cuando están operativos. Estos fluorescentes se conectan cuando se comienza a cenar y se mantienen encendidos hasta finalizar las actividades nocturnas, lo cual se traduce en 3 horas de uso. De nuevo, al igual que para la cocina, no se considera necesario disponer de un mayor tiempo de alimentación, pues su uso es muy concreto y acotado en el tiempo.
- Iluminación de la zona de aseo: En esta zona, la iluminación consiste en dos focos de 50 W y un foco de 100 W, siendo todos ellos LEDs. En principio su uso contempla un encendido durante el periodo de fregado de los útiles de la cena, aunque cabe la posibilidad y está contemplado ciertos usos enfocados a la iluminación de las duchas si estas se hacen en condiciones de baja iluminación. De cara al cómputo de consumos, se pueden estimar 200 W durante una hora.
- Enchufes en la cocina: En la zona de la cocina, al margen de la iluminación, contamos con una serie de enchufes cuyo enfoque principal es la carga de dispositivos. De forma prioritaria se cargan las baterías de las emisoras utilizadas para comunicarse y cuando hay posibilidad se cargan los smartphones de los monitores. Bajo este uso, el rango de consumos es más variable y difícil de acotar, debido a que no siempre se cargan los mismos dispositivos, ni se emplean los mismos transformadores. Aun así, sería un aspecto a valorar un mayor tiempo de conexión para estos enchufes, aumentando así la capacidad de carga de dispositivos de la instalación, pues cada vez la demanda por parte de los usuarios es mayor. En estos

enchufes también se enchufan los distintos electrodomésticos de la cocina. En principio estos electrodomésticos no suponen un consumo excesivo, pues solo se utiliza una batidora eléctrica de 100W, el resto de los componentes son alimentados con gas butano. Adicionalmente, el uso de la batidora será en fragmentos pequeños de tiempo, por lo que no supondrá un consumo excesivo ya que nunca se enciende más de una hora, pero si ha de ser considerado a la hora de los consumos máximos. Este apartado es más difícil de obtener unos consumos promedios, pero se establecerán 150 W en las horas habituales de carga de móviles, que a su vez incluyen los periodos de preparación de las comidas.

Hora	Arcón frigorífico	Cámara frigorífica	Iluminación cocina	Iluminación almacén	Iluminación comedor	Iluminación zona de aseo	Enchufes cocina	Gasto total
0:00	100 Wh	100 Wh		232 Wh				432 Wh
1:00	100 Wh	100 Wh		232 Wh				432 Wh
2:00								0 Wh
3:00								0 Wh
4:00								0 Wh
5:00								0 Wh
6:00								0 Wh
7:00								0 Wh
8:00								0 Wh
9:00								0 Wh
10:00								0 Wh
11:00								0 Wh
12:00	100 Wh	100 Wh					150 Wh	350 Wh
13:00	100 Wh	100 Wh					150 Wh	350 Wh
14:00								0 Wh
15:00								0 Wh
16:00								0 Wh
17:00								0 Wh
18:00								0 Wh
19:00								0 Wh
20:00	100 Wh	100 Wh	232 Wh				150 Wh	582 Wh
21:00	100 Wh	100 Wh	232 Wh		580 Wh		150 Wh	1162 Wh
22:00	100 Wh	100 Wh	232 Wh		580 Wh	200 Wh	150 Wh	1362 Wh
23:00	100 Wh	100 Wh	232 Wh		580 Wh		150 Wh	1162 Wh
Consumo total	800 Wh/día	800 Wh/día	928 Wh/día	464 Wh/día	1740 Wh/día	200 Wh/día	900 Wh/día	5832 Wh/día

Figura 1. Desglose de consumos estimados de la situación de partida

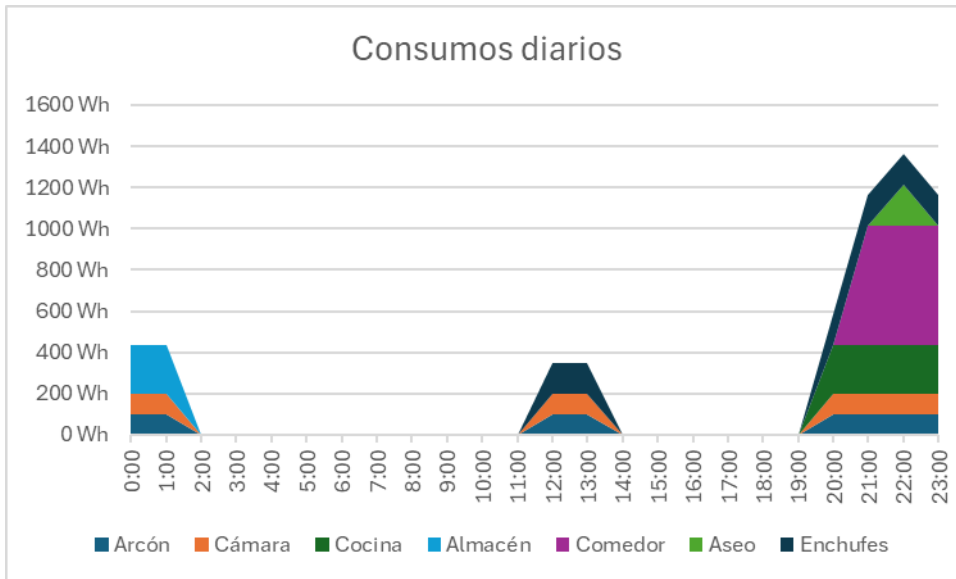


Figura 2. Consumos estimados de la situación de partida

Una vez descrita y conocida la instalación actual, en el siguiente apartado se procede al dimensionamiento de la futura instalación fotovoltaica. La instalación fotovoltaica ha de ser capaz de mantener o mejorar las funcionalidades de la actual instalación, de modo que basándonos en la actual instalación, se fijarán los requerimientos de la instalación fotovoltaica.

2.2. Primera modificación

2.2.1. Objetivos

Tras la descripción llevada a cabo en el punto anterior acerca de la actual instalación, en este punto se realizará el dimensionamiento de la nueva instalación a instalar.

Uno de los puntos sobre el que fijar la atención antes de dimensionar la instalación es el alto consumo que implican los tubos fluorescentes utilizados en la situación actual. Como medida de solución, se decide sustituir todos ellos por unos tubos leds de mayor potencia lumínica, pero de tan solo 17 W de consumo, que suponen un valor inferior a un tercio de los originales.

A continuación, se necesita realizar un análisis acerca de los consumos, usos y enfoques de los distintos componentes que se nutren de la energía suministrada, cuya información esta detallada en el punto anterior, de cara a hacer un dimensionamiento preciso de la instalación fotovoltaica.

El protocolo a seguir de cara a diseñar el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica es lograr que tu instalación sea capaz de producir tanta energía como demanden los dispositivos y usuarios. Por ello el primer paso será conocer con precisión cuanta energía es demandada de forma diaria en nuestro campamento:

2.2.2. Dimensionamiento de la instalación

De cara al cálculo de la energía consumida se van a recorrer los distintos elementos de la instalación comentados anteriormente y considerando sus consumos, se calculará el total de energía que demandará nuestra instalación para el correcto funcionamiento.

En primer lugar y antes de calcular consumos, se observa que la potencia consumida por los tubos fluorescentes de la cocina, almacén y comedor están muy fuera de la línea del resto de consumos por lo que se estudia un posible reemplazo de los mismos. Tras llevar a cabo un estudio de las distintas alternativas, se decide sustituir todos los tubos fluorescentes de 58 W por unos tubos leds equivalentes de 17 W. Es una sustitución que será muy rentable, pues la inversión no supera los 100€ y en términos de eficiencia son mucho más eficientes, ya que el nuevo consumo va a suponer una reducción del 70% con respecto al anterior consumo. Además, también se invierte en materia de seguridad, pues los tubos leds no contienen mercurio y son mucho más resistentes. Esto cobra mayor importancia si se tiene en cuenta que van a ser usados en el medioambiente y que van a ser transportados en un tráiler, al menos dos ocasiones al año, suponiendo estos viajes riesgos de ruptura.

Una vez, realizada la sustitución, se procede al análisis de los consumos. Para ello se procede a la elaboración de la siguiente tabla, en la que se incluyen los consumos estimados de cada uso contemplado en la instalación. En el margen derecho se incluyen los consumos totales de cada hora y en la parte inferior de la tabla el consumo que supone cada uso a lo largo del día. Por último, la celda inferior derecha hace alusión al total de consumo estimado a lo largo del día que está en torno a los 5,5 kWh.

Hora	Arcón frigorífico	Cámara frigorífica	Iluminación cocina	Iluminación almacén	Iluminación comedor	Iluminación zona de aseo	Enchufes cocina	Gasto total
0:00	100 Wh	100 Wh		68 Wh				268 Wh
1:00	100 Wh	100 Wh		68 Wh				268 Wh
2:00								0 Wh
3:00								0 Wh
4:00								0 Wh
5:00								0 Wh
6:00								0 Wh
7:00								0 Wh
8:00								0 Wh
9:00	100 Wh	100 Wh						200 Wh
10:00	100 Wh	100 Wh						200 Wh
11:00	100 Wh	100 Wh						200 Wh
12:00	100 Wh	100 Wh						200 Wh
13:00	100 Wh	100 Wh					150 Wh	350 Wh
14:00	100 Wh	100 Wh					150 Wh	350 Wh
15:00	100 Wh	100 Wh					150 Wh	350 Wh
16:00	100 Wh	100 Wh						200 Wh
17:00	100 Wh	100 Wh						200 Wh
18:00	100 Wh	100 Wh						200 Wh
19:00	100 Wh	100 Wh						200 Wh
20:00	100 Wh	100 Wh	68 Wh				150 Wh	418 Wh
21:00	100 Wh	100 Wh	68 Wh		170 Wh		150 Wh	588 Wh
22:00	100 Wh	100 Wh	68 Wh		170 Wh	200 Wh	150 Wh	788 Wh
23:00	100 Wh	100 Wh	68 Wh		170 Wh		150 Wh	588 Wh
Consumo total	1700 Wh/día	1700 Wh/día	272 Wh/día	136 Wh/día	510 Wh/día	200 Wh/día	1050 Wh/día	5568 Wh/día

Figura 3. Desglose de consumos estimados del primer año

También se disponen los datos en formato de una gráfica, de modo que sean más visuales y permitan percibir donde se consume el grueso de energía a lo largo del día.

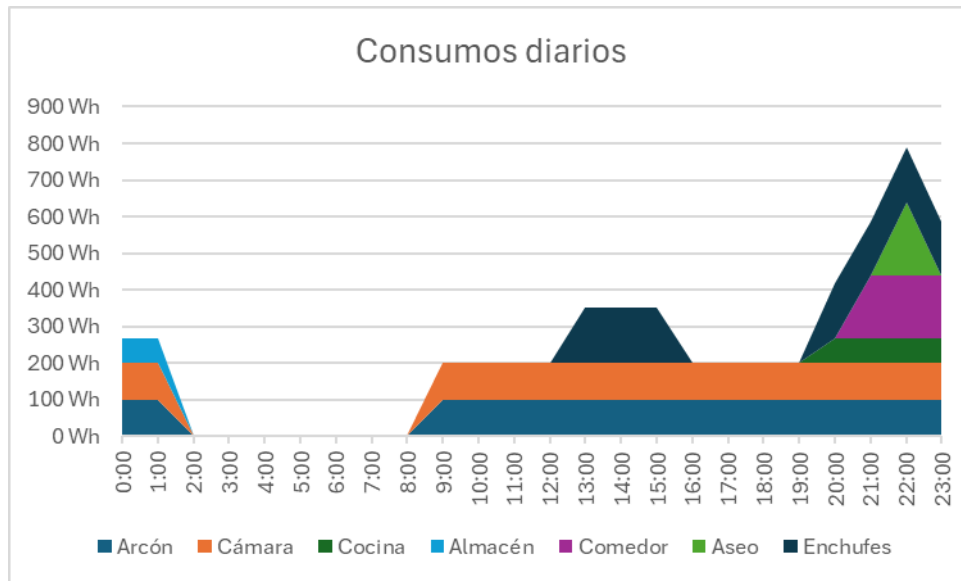


Figura 4. Consumos estimados para el primer año

Tal y como se puede apreciar, el consumo a lo largo del día se mantiene bastante constante pues dicho consumo está fundamentado en los refrigeradores, que su consumo es continuo a lo largo del día. A partir de las 20:00, el mencionado consumo se triplica, debido a la necesidad de iluminación en dichas horas.

Como se puede apreciar, entre las 2:00 y las 9:00 no se estima ningún consumo. Cabría la posibilidad de dejar tanto el arcón como la cámara encendidas durante la noche, pero por el momento, se planea mantenerlos apagados, ya que es el momento del día donde la temperatura es menor y el momento en el que se puede ahorrar la energía. No obstante, en el caso de tener margen energético, se optaría por mantener el arcón y la cámara encendidos.

Daily average temperature

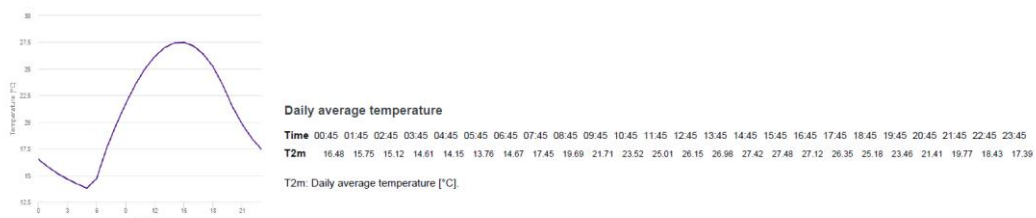


Figura 5. Perfil de temperatura en Herreros (Soria)

2.2.3. Diseño de la instalación

A continuación, se procede a dimensionar la instalación a realizar. En condiciones estándar de uso, se ha de diseñar teniendo en cuenta un gran sobredimensionamiento de la instalación, de cara a cumplir con las necesidades en los meses donde la generación de energía fotovoltaica es mucho menor. Sin embargo, para este caso que es un uso concreto en un campamento que siempre se lleva a cabo durante el mes de julio, se puede dimensionar de una forma mucho más ajustada, pues las condiciones de generación van a ser mucho similares en todos sus usos.

En primer lugar, el primer factor y el más relevante a la hora de la generación de la energía fotovoltaica es la irradiancia. Los datos de irradiancia que se empleen a lo largo de todo el diseño serán datos obtenidos del PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (PVGIS), que es una organización gestionada por la Unión Europea que almacena datos históricos de irradiancia de todo el mundo y permite realizar simulaciones concretas para las instalaciones una vez diseñadas. Los datos de irradiancia a analizar serán obtenidos teniendo en cuenta la inclinación ideal de los paneles para los meses de verano que es cuando se va a utilizar la instalación.

Para obtener la inclinación ideal, ha de conocerse la ubicación donde se van a realizar los campamentos, en este caso será en el municipio de Herreros, provincia de Soria. Los parámetros de latitud y longitud para el municipio son 41.817° , -2.714° respectivamente.

La fórmula empleada para obtener la inclinación ideal para los meses de verano es la siguiente:

$$\beta(^{\circ}) = \text{Latitud} \cdot 0,9 - 23,5$$

Se obtiene un valor de inclinación ideal para los meses de verano de 13° con respecto a la horizontal. Dicho valor concuerda con el obtenido por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) por medio de un método alternativo. El estudio del CSIC estaba enfocado en los datos de Barcelona, pero son válidos para Herreros, Soria, debido a que la latitud de ambos lugares es similar.

Conocido el valor de la inclinación ideal, obtengo los datos del PVGIS para dicha inclinación en el mes de julio en Herreros.

Daily average irradiance on fixed plane with slope 13° and azimuth 0°

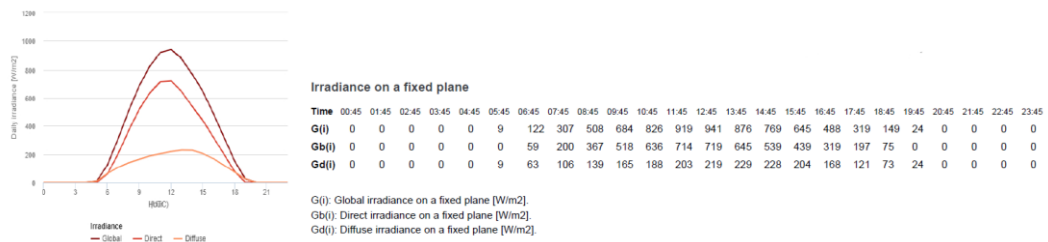


Figura 6. Perfil de irradiancia en Herreros (Soria)

Sumando los valores para todos los instantes del día, se obtiene que a lo largo de un día promedio del mes de julio se percibe una irradiancia total diaria de 7586 W/m²/día. Este dato queda refrendado con el atlas de radiación de la AEMET, donde sin tener en cuenta inclinaciones ideales se obtiene un valor de radiación total de 7,48 kW/m²/día

La potencia obtenida a lo largo del día se calcula con la siguiente formula, donde P (W) es la potencia obtenida, G (W/m²) es la irradiancia total, S (m²) es la superficie útil de los paneles solares y μ es el coeficiente de eficiencia del módulo fotovoltaico con valores habituales de entre 0,16 y 0,18:

$$P = G \cdot S \cdot \mu$$

Para obtener 5568 W, con los valores de irradiancia de los que se dispone y con un coeficiente de eficiencia de 0,18, se precisan 4,08 m² de paneles fotovoltaicos.

Paso 1: Elección y justificación de los paneles fotovoltaicos

Tras analizar el mercado y las distintas alternativas presentadas por los fabricantes, se opta por instalar unos paneles EM460-PH del fabricante Tensite. Son unos paneles de 460W de potencia máxima y 2,17 m². Se precisarían dos unidades de los paneles mencionados, para así tener una superficie útil de 4.34 m², lo cual nos permite estar ligeramente por encima de los valores requeridos. Además, según el fabricante el coeficiente de eficiencia del módulo es de 0,21, lo cual implica una mayor generación de energía que la prevista con los cálculos anteriores en los que se empleó un coeficiente de 0,18.

Datos Eléctricos STC EM460-PH

Tipo de módulo	460M Half cell Mono PERC
Máxima potencia (Wp)	460 Wp
Corriente de potencia máxima (I _{mp})	10,92 A
Voltaje de potencia máxima (V _{mp})	42,13 V
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	11,45 A
Voltaje de circuito abierto (V _{oc})	50,01 V
Eficiencia del módulo	21%
Fusible de serie máxima	20 A
Número de Diodos	3
Tolerancia positiva de potencia	0+3%
Condiciones de prueba estándar	1.000 W/m ² , 25 °C, AM 1.5
Voltaje máximo del sistema DC	1.500 V
Coefficiente de temperatura I _{sc}	0,044% / °C
Coefficiente de temperatura V _{oc}	-0,272% / °C
Coefficiente de temperatura P _{mp}	-0,350% / °C
Rango temperatura funcionamiento	-40°C / +85°C
Temperatura operación célula (TONC)	45°C ±2
Capacidad carga frontal del módulo	5.400 Pa IEC61215 (nieve)
Capacidad carga trasera del módulo	2.400 Pa IEC61215 (viento)

*Condiciones Estandar de Medida STC: Irradiación 1.000 W/m², espectro AM1.5, célula a 25°C.

Valores en condiciones TONC**

Potencia máxima TONC (P _{max})	347,75W
Voltaje de potencia máxima (V _{mp TONC})	39,60 V
Corriente de potencia máxima (I _{mp TONC})	8,78 A
Voltaje de circuito abierto (V _{oc TONC})	46,75 V
Corriente de cortocircuito (I _{sc TONC})	9,32 A

**Condiciones TONC: Irradiación de 800 W/m², AM1.5, temperatura ambiente 20 °C y viento de 1 m/s.

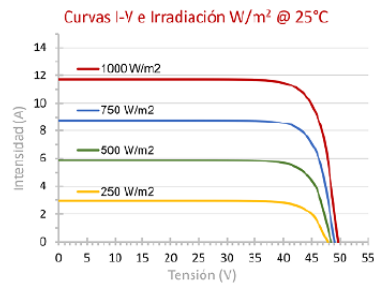
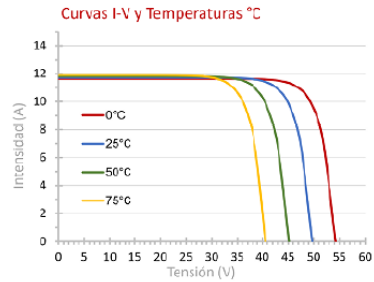
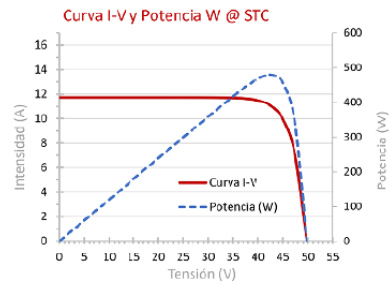


Figura 7. Características del panel EM460-PH

En las tablas anteriores se pueden ver las distintas características del panel elegido. Los datos arrojados en la primera gráfica de I-V y potencia son bajo una irradiancia de 1000 W/m² y una temperatura ambiente de 25°. La temperatura de esa medida sí que se coincide con el promedio de las temperaturas que nos encontramos en el perfil. Sin embargo, el valor de la irradiancia sería ciertamente irreal, pues el promedio de irradiancia en las 7 horas que suponen el grueso de generación fotovoltaica es de 808 W/m², por lo que cobra sentido fijarnos en los valores en condiciones TONC en lugar de en los valores de pico. Se determina que la potencia por panel durante las horas principales de generación de energía va a ser de 350 W.

También se puede apreciar la curva de I-V en función de la temperatura, aunque no se va a considerar ninguna variación condicionada a la temperatura, debido a que según el perfil de temperatura, en los que se produce generación de energía, la temperatura fluctúa entre 15° y 27°, lo cual permite tomar como referencia la curva correspondiente a 25° C.

En cuanto a la curva I-V condicionada por la irradiancia, se pueden apreciar los distintos valores de potencia obtenida en función de la temperatura. Tal y como se ha mencionado previamente, las 7 horas donde se produce el grueso de generación de energía se produce bajo una irradiancia promedio de 808 W/m², por lo que se obtendrán valores ligeramente superiores a los de la curva de 750 W/m².

Una vez completada la justificación de los paneles, se ha de considerar la influencia real de la temperatura en la generación de potencia de los mismos. Para ello hay dos vías de cálculo, la primera de ellas se basa en calcular el aumento de corriente de cortocircuito y la disminución de la tensión de circuito abierto, de la siguiente forma:

$$I_{sc,real} = I_{sc,nominal} \cdot [1 + \alpha_{Isc} \cdot (T_{real} - T_{nominal})]$$

$$V_{oc,real} = V_{oc,nominal} \cdot [1 + \beta_{Voc} \cdot (T_{real} - T_{nominal})]$$

Donde:

- T_{nominal}: 25°C
- α_{Isc}: +0.044%/°C
- β_{Voc}: -0.272%/°C

Como se puede apreciar, la temperatura tiene una influencia mínima sobre el aumento de intensidad, pero tiene una influencia considerable sobre la disminución de la tensión, por lo que se puede concluir que una alta temperatura tiene consecuencias perjudiciales para nuestra instalación. Una vez obtenidos los valores de intensidad y tensión, se puede obtener la potencia máxima como:

$$P_{mp} = FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}$$

Siendo FF el factor de forma correspondiente a los paneles, que normalmente varía entre 0.7 y 0.85 en paneles solares comerciales. Se calcula de la siguiente forma:

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

La otra opción que se puede aplicar, que es mucho más sencilla y directa en los cálculos es analizando como afecta la temperatura al rendimiento del panel en sí. Para ello se precisa el coeficiente de temperatura de máxima potencia (γ), que es un valor que provee el fabricante.

$$\eta_{real} = \eta_{nominal} \cdot [1 + \gamma \cdot (T_{real} - T_{nominal})]$$

De esta fórmula tenemos todos los datos menos el de la temperatura real, que se calcula de la siguiente forma:

$$T_{panel} = T_{amb} + \left(\frac{G}{800}\right) \cdot (TONC - 20)$$

Para una temperatura ambiente de 25°C (promedio durante las horas de generación en Herreros, Soria, en el mes de julio), una TONC de 45°C y unas condiciones estándar de prueba de 1000W/m² y 25°C, obtenemos:

$$T_{panel} = 27.5 + \left(\frac{1000}{800}\right) \cdot (45 - 20) = 56.25^{\circ}C$$

Con ese valor de temperatura, calculamos el valor del rendimiento real:

$$\eta_{real} = 0.21 \cdot [1 + (-0.0035) \cdot (56.25 - 25)] = 0.187$$

Con este valor de rendimiento y conocidos los metros cuadrados de paneles de los que disponemos, podemos calcular con mayor fidelidad la cantidad de potencia generada:

$$P = G \cdot S \cdot \mu = 7480 \cdot 4.34 \cdot 0.187 = 6070.62 \text{ W}$$

Con este dato de potencia, se verifica que los paneles elegidos generarán más potencia de la requerida, lo cual los confirma como una correcta elección.

Paso 2: Elección y justificación de las baterías.

En cuanto a las baterías, a primera operación es definir cuanta energía se quiere cubrir con las baterías. Para ello se presta atención a la tabla contenida en la Figura 3. Desglose de consumos estimados. Se toma la decisión de cubrir con las baterías a partir de las 20:00, donde la irradiancia baja, y hasta las 1:59, donde acaban los consumos nocturnos. A lo largo de este tiempo, se produce un consumo de 2,9 kWh. Se decide no aportar soporte con las baterías durante las horas diurnas, ya que en todo momento el consumo va a estar cubierto con la generación de energía producida en dicho instante.

Una vez estimada la autonomía que se precisa que aporten las baterías hay que prestar atención a tres principales factores como son la tecnología a emplear, la tensión de las baterías y la capacidad de las mismas.

Tipos de baterías: A continuación, se presentan las distintas tecnologías que se aplican actualmente a las baterías. Se hará hincapié en su enfoque y funcionalidades para el entorno de una instalación fotovoltaica.

- Las baterías de plomo-ácido tienen una profundidad de descarga limitada, generalmente alrededor del 50%, lo que significa que no deben descargarse completamente para evitar dañarlas. Las versiones abiertas de estas

baterías requieren mantenimiento periódico, como la reposición de agua destilada, y también necesitan ventilación adecuada. Existen dos tipos de baterías de plomo-acido como son las baterías de AGM y gel que son selladas, lo que elimina la necesidad de mantenimiento y las hace más seguras, aunque son más costosas que las baterías abiertas. La diferencia entre estas dos últimas, es que las de gel suelen ofrecer una vida útil más larga en aplicaciones de ciclo profundo, mientras que las AGM son preferibles para aplicaciones que requieren ciclos de descarga/recarga frecuentes, pero de menor profundidad. A su vez, las de gel son más costosas debido a su mayor tecnología y mejor rendimiento en ciclos profundos.

- Las baterías de litio, como las de tipo Li-ion o LiFePO₄, son la otra opción a tener en cuenta debido a su alta eficiencia, que puede alcanzar entre el 90% y el 95%. Estas baterías permiten una profundidad de descarga mayor, entre el 80% y el 90%, y requieren muy poco mantenimiento. Además, tienen una vida útil más larga, con más de 3,000 ciclos de carga y descarga, lo que las hace duraderas y confiables en el largo plazo. El contra de este tipo de baterías es el coste económico, pues puede llegar a ser 10 veces superior una AGM con los mismos parámetros.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado, se descartan las baterías de litio debido a su alto coste, ya que contamos con un presupuesto muy limitado. También se descartan las baterías convencionales de plomo-ácido por su baja eficiencia y sus requerimientos de mantenimiento. Una vez definidos todos los parámetros de las baterías, se tomará la decisión entre las baterías AGM y las de gel, en función de los costes definitivos.

Tensión de las baterías: Las configuraciones estándar para las instalaciones fotovoltaicas son a 12 V, 24 V o 48 V en función de las necesidades y características de uso.

Los sistemas a 12 V se emplearán en usos directos de corriente continua o en instalaciones de bajo tamaño. Son los sistemas más económicos posibles, aunque a su vez los menos eficientes. Como norma general, se recomienda su uso en instalaciones donde se precisa una autonomía inferior a 2 kWh.

Los sistemas de 24 V se emplean en instalaciones de tamaño intermedio, que precisas una mayor potencia que las anteriores, pero sin ser un tamaño excesivo como para justificar el gasto de una instalación de 48 V. Como norma general, se recomienda su uso en instalaciones donde se precisa una autonomía de entre 2 y 4 kWh.

Los sistemas de 48 V se emplean en instalaciones de gran tamaño. Se aplican generalmente en casas de gran tamaño o en aplicaciones de carácter industrial. Son el sistema más costoso, pero también el que permite mayores

consumos. Como generalidad, empiezan a ser rentables a partir de una autonomía de 4 kWh.

Hay que realizar consideraciones en función de otros factores como son:

- Distancia entre las baterías y el inversor: Cuanto más baja sea la tensión, mayor es la corriente que transcurre por los cables de conexionado, por lo que son necesarios cables de mayor sección, que acarrearán costes más altos. Adicionalmente, al utilizar instalaciones con corrientes muy altas, se producen mayores pérdidas por conducción. Como conclusión, en instalaciones donde la distancia es baja, se pueden usar sistemas de 12 o 24 V, sin embargo a partir de los 10 metros de cableado, es aconsejable utilizar sistemas de 48 V.
- Seguridad: Los sistemas de 12 y 24 V son mucho más seguros debido a que las tensiones bajo las que funcionan se consideran voltaje bajo. Los sistemas de 48 V conllevan un mayor riesgo de uso, ya que se consideran instalaciones de voltaje alto. Adicionalmente, implican una mayor frecuencia y complejidad a la hora de realizar los mantenimientos.

Teniendo en cuenta todo lo comentado anteriormente, se toma la decisión de utilizar una instalación de 24 V. La decisión se toma fundamentalmente por la autonomía que se precisa y se ve sustentada tanto en materia de seguridad como en cuanto a la distancia entre baterías e inversor, ya que esta va a ser inferior a un metro.

La solución más eficiente es montar dos baterías de 12 V en serie, de modo que tengamos un conjunto acumulador de 24 V.

Capacidad de las baterías:

A la hora de calcular la capacidad de las baterías hay que distinguir entre varios conceptos. En primer lugar hay que determinar el consumo necesario para la autonomía deseada, que como ya hemos comentado anteriormente es de 2,9 kWh. Es importante señalar que como se ha optado por utilizar baterías AGM o de gel se van a realizar los cálculos con una profundidad de descarga del 50%. Con los dos valores mencionados, ya se puede calcular lo conocido como capacidad útil:

$$Capacidad\ Util = \frac{Consumo\ diario}{Profundidad\ de\ descarga} = \frac{2900\ Wh}{0,5} = 5800\ Wh$$

Con el valor de la capacidad útil, se calcula la capacidad nominal de las baterías como:

$$Capacidad\ Nominal = \frac{Capacidad\ Util}{Voltaje\ del\ sistema} = \frac{5800\ Wh}{24\ V} = 241,6\ Ah$$

El valor obtenido para la capacidad nominal sería el valor de capacidad que debería tener el conjunto acumulador a instalar.

Elección de las baterías

En primer lugar, debido a las limitaciones económicas, se toma la decisión de funcionar con un conjunto acumulador de 24 V y 150 Ah, aun a sabiendas de que puede suponer que no se disponga de toda la autonomía que se desea. En caso de quedarse sin energía, se puede recurrir al generador de gasolina con el que se cuenta. No obstante, el primer año de funcionamiento, se considera un año de transición y de cara al segundo año se analizará el resultado y en vistas del mismo, la necesidad o no de realizar modificaciones en la instalación, como puede ser, una ampliación de potencia de generación o de almacenamiento.

En vistas de que se precisan dos baterías de 12 V y 150 Ah, se analiza el mercado tanto de las baterías AGM y de gel en busca de las mejores opciones. Las mejores opciones de estas características son del fabricante Tensite. Las características de funcionamiento de ambas opciones son muy similares, con la diferencia de que la batería de gel aporta un mayor número de ciclos de vida útil. También ha de ser tenido en cuenta que el gel funciona mejor ante ciclos profundos, que es lo que precisamos en esta instalación, mientras que las AGM funcionan mejor en ciclos cortos. Tenido en cuenta los factores anteriores, la decisión apunta a las baterías de gel, pero hay que comprobar que el factor económico no sea restrictivo en este caso. Siendo las de gel un 10% más costosas que las de AGM, se toma la decisión de afrontar ese sobrecoste ya que se considera que será rentable a largo plazo.

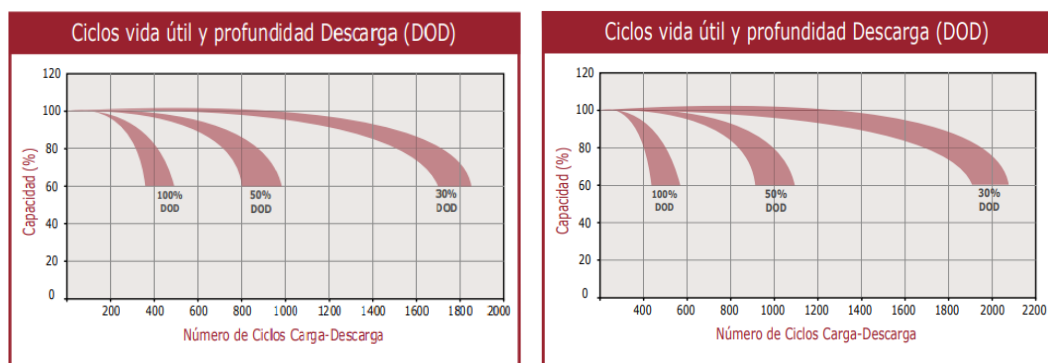


Figura 8. Ciclos de vida útil en baterías AGM (izquierda) y GEL (derecha)

Paso 3: Elección y justificación del inversor.

En el caso del inversor la elección ha de asegurarse que el inversor elegido cuente con las funcionalidades que se deseen implementar en la instalación por medio de este. En el caso de esta instalación, se desea que el inversor tenga capacidad de cargar las baterías desde los paneles solares o desde un generador de gasolina, es decir, que tenga carga de corriente continua y de corriente alterna.

Una vez establecidas las funcionalidades, la decisión está fundamentada en que el inversor permita a la instalación en los parámetros establecidos. Para ello, ha de prestarse atención y que el inversor incluya dentro de sus límites los siguientes valores de la instalación.

- Potencia de salida del inversor
- Corriente de carga desde los paneles solares
- Tensión en circuito abierto de la serie de paneles solares
- Potencia entrante desde el módulo de paneles solares
- Corriente de carga desde el generador de gasolina
- Voltaje predefinido para el sistema de baterías

Tras analizar las distintas posibilidades de inversores en el mercado se establece el inversor PV1800-3024 VPM (3KW) del fabricante MUST-SOLAR como la principal opción. A continuación se incluye su hoja de características sobre la que posteriormente, se verificaran los limites comentados anteriormente.

MODEL		PV18-1012 VPM	PV18-2024 VPM	PV18-3024 VPM	PV18-3048 VPM	PV18-4048 VPM	PV18-5048 VPM	
Default Battery System Voltage		12VDC	24VDC		48VDC			
INVERTER OUTPUT	Rated Power	1000VA / 1000W	2000VA / 2000W	3000VA / 3000W	3000VA / 3000W	4000VA / 4000W	5000VA / 5000W	
	Surge Power	2000VA	4000VA	6000VA	6000VA	8000VA	10000VA	
	Waveform	Pure sine wave						
	AC Voltage Regulation (Batt.Mode)	220VAC~240VAC(Setting)						
	Inverter Efficiency(Peak)	90%~93%						
	Transfer Time	10ms(UPS / VDE4105) / 20ms(APL)						
AC INPUT	Voltage	230VAC						
	Selectable Voltage Range	170~280VAC(UPS) / 90~280VAC(APL) / 184~253VAC(VDE)						
	Frequency Range	50Hz / 60Hz (Auto sensing)						
BATTERY	Normal voltage	12VDC	24VDC		48VDC			
	Floating Charge Voltage	13,7VDC	27,4VDC		54,8VDC			
	Overcharge Protection	15VDC	30VDC		60VDC			
SOLAR CHARGER & AC CHARGER	Maximum PV Array Open Circuit Voltage	105VDC	145VDC		145VDC			
	PV Array MPPT Voltage Range	15~105VDC	30~120VDC		60~130VDC			
	Standby Power Consumption	2W						
	Maximum PV Array Power	720W	1500W		4000W			
	Maximum Solar Charge Current	60A			80A			
	Maximum Efficiency	98%						
	Maximum AC Charge Current	10A or 20A	20A or 30A		60A			
Maximum Charge Current	70A	80A		140A				
MECHANICAL SPECIFICATIONS	Machine Dimensions (W*H*D)(mm)	224*337*98	290*342*125		297,5*468*125			
	Package Dimensions (W*H*D)(mm)	299*392*184	408*412*240		638*395*241			
	Net Weight(kg)	5	7,4		12			
	Gross Weight(kg)	5,5	9,5		13,5			
OTHER	Humidity	5% to 95% Relativ Humidity (Non-condensing)						
	Operating Temperature	0°C~50°C						
	Storage Temperature	-15°C -60°C						

Figura 9. Hoja de características del inversor

Una vez conocidas las características del inversor elegido, se pueden presentar en la siguiente tabla los valores que tiene la instalación y los que tiene el inversor en los factores limitantes:

	INSTALACION	INVERSOR
Potencia de salida del inversor	1200 W	3000 W
Tensión en circuito abierto de la serie de paneles solares	$46,75 \times 2 = 93,5$ V	145 V
Corriente de carga desde los paneles solares	10,92 A	60 A
Potencia entrante desde el módulo de paneles solares	920 W	1500 W
Corriente de carga desde el generador de gasolina	16 A	20 A
Voltaje predefinido para el sistema de baterías	24 V	24 V

Tal y como se muestra en la tabla anterior se puede ver que el inversor elegido cumple con las especificaciones de la instalación. Adicionalmente, se aprecia que tiene capacidad para si en un futuro se desea realizar una ampliación de la instalación, pues se podría añadir un panel solar adicional . También se pueden producir consumos mucho mayores de los que están previstos, por lo que no habría ningún tipo de limitación en ese aspecto.

Otros de los factores a tener en cuenta a la hora de la elección del inversor en nuestro caso es la posibilidad de almacenamiento de los datos de generación y consumo de energía. En este caso, el inversor por el que optamos cuenta con memoria de almacenaje para dichos datos y con diversos protocolos de comunicación para su visualización.

También se valora, que este inversor tiene distintos modos de funcionamiento para según que baterías se utilizan, lo cual ayuda a gestionar el fondo de descarga de las baterías de gel empleadas, así como a lograr su máxima eficiencia a la hora de gestionar su velocidad de descarga.

Adicionalmente, se opta por un inversor de los denominados MPPT (Maximum Power Point Tracker). El fundamento de estos inversores es que realizan una función de seguimiento sobre la generación de energía de modo que siempre funcionen en el punto de máxima potencia. En el caso de nuestra instalación es de vital importancia, pues al ser una instalación con un enfoque concreto y sin sobredimensionamiento, se desea que siempre esté funcionando en el punto de máxima potencia, para no desperdiciar nada de la energía generada.

2.2.4. Implementación, evaluación y conclusiones del primer año de pruebas.

Una vez definida cual será la configuración de la instalación se produjo a la instalación para su uso el primer año. Tras los 20 días de uso, se llevó a cabo un análisis recopilando los puntos clave de la nueva instalación con respecto a la anterior. A priori, el funcionamiento este año fue un éxito, pues en ningún momento fue preciso encender el generador para alimentar la instalación, lo cual nos ha permitido ser una instalación independiente.

Con el fin de obtener los puntos clave del análisis se entrevistó a los monitores del campamento, con el objetivo de obtener las sensaciones de alguien ajeno al proyecto, así como la afectación que ha recibido su rutina de campamento. Los puntos que más destacaron fueron los siguientes:

- Ausencia de ruidos: Poder disfrutar del entorno del medioambiente sin la presencia de ningún ruido hace de la experiencia a vivir algo mucho más bonito. Adicionalmente, otro de los factores que han valorado enormemente los usuarios ha sido la presencia de una mayor variedad de fauna. Esto en principio se debe a que al no haber ruidos fuerte, los animales fueron ahuyentados en menor medida.
- Comodidad e independencia: Este ha sido el punto más repetido por todos los usuarios. Se ha ganado mucho bienestar por el simple hecho de que la instalación fotovoltaica es una instalación de funcionamiento continuado, sin mantenimiento diario. Anteriormente, con el generador de gasolina, había que ir a encender el generador y rellenar su depósito al menos dos veces por cada noche. También había que realizar viajes hasta la gasolinera para rellenar los bidones de gasolina, lo cual hacía perder mucho tiempo a los usuarios.
- Disponibilidad de energía durante el día: Otro de los factores a destacar ha sido el hecho de disponer de energía en todo momento durante el campamento. Esto ha beneficiado a la hora de tener más capacidad para cargar dispositivos, lo cual anteriormente era un problema severo. También lo han agradecido los cocineros a la hora de tener una mayor flexibilidad en la cocina, pues podían emplear distintos medios a la hora de cocinar.
- Frigoríficos siempre activos: Hilando con lo anterior, especialmente los cocineros han valorado y agradecido el hecho de tener los frigoríficos siempre conectados. Anteriormente, como tan solo estaban encendidos durante algunas horas, esto suponía que se desperdiciara parte de la comida por no conservarse en condiciones de garantía.
- Seguridad: Una de las sensaciones más generalizadas fue la de la mejoría en materia de seguridad. Esto ha sido tangible tanto por parte de los monitores, pues para ellos era más seguro no tener que estar

manipulando el generador ni utilizar gasolina, como por los agentes de medioambiente que acudieron a revisar el campamento. Los agentes de medioambiente destacaron la mejoría de la instalación en materia de emisiones y la disminución del riesgo de incendios

- Desconocimiento de la instalación: Una de las cosas que más han comentado los usuarios, es que anteriormente conocían como montar la instalación y su funcionamiento, debido a que llevaba siendo utilizada durante muchos años. En este caso, al ser una instalación novedosa, los usuarios no comprendían cuál era su funcionamiento, ni cual era la forma de montar la instalación.
- Días puntuales que por la noche no hubo suficiente autonomía: La principal queja recibida fue acerca de un par de noches, en las que la reunión se alargó hasta las 3 horas por lo que se produjo un mayor gasto de energía, que propició el corte energético antes de lo previsto. Esto era una posibilidad que se contemplaba a la hora de dimensionar las baterías, pues se optó por unas baterías que no cumplían con lo establecido. Sin embargo, fue un síntoma positivo que tan solo ocurriera en dos noches, a pesar de que en otras ocasiones también se empleó más energía de la prevista, ya que el funcionamiento de la instalación es más eficiente que el esperado.
- Posibilidad de educación y concienciación: Este punto fue sobre todo mencionado por los monitores de los grupos de edad a partir de los 16 años. Destacaron que muchos de los educandos se habían interesado por el funcionamiento tanto de la instalación como de la energía fotovoltaica en sí. Esto tiene más importancia de la que parece porque los mencionados educandos están en una fase de su vida en la que han de elegir su futuro, por lo que todos los conocimientos que puedan adquirir son positivos.

Una vez conocidas las impresiones acerca del primer año de funcionamiento, se establece la ruta a seguir a la hora de implementar mejoras que nos permitan cumplir todos los objetivos, para ello se deciden establecer los siguientes puntos de mejora:

- Con el fin de seguir mejorando el servicio de los frigoríficos, se desea que los frigoríficos estén encendidos durante las 24 horas del día en lugar de como han estado funcionando este primer año en el que realmente estaban encendidos durante 17 horas, esto precisará de una mayor generación de energía, así como de una mayor autonomía para el gasto nocturno. Para ello es necesario un redimensionamiento tanto de los paneles solares como de las baterías.
- Tomando como objetivo solucionar los días que falto autonomía, y tal y como se comentó a la hora de dimensionar las baterías, se realizará una

ampliación en las baterías, de modo que se aumente la capacidad, la autonomía nocturna.

- Por otro lado, mezclando las conclusiones obtenidas en los puntos de la ausencia de ruidos y comodidad e independencia y poniendo en valor la importancia que le dan todos los usuarios, se sustituirá al actual bomba de gasolina encargada de la obtención del agua por una electrobomba con la misma funcionalidad. En la Segunda modificación, se profundizará sobre este tema.
- En cuanto a la seguridad, siendo conscientes de que actualmente la instalación presenta una mejoría respecto al generador de combustión, se revisará la norma a aplicar, teniendo en cuenta que el cableado y distintos componentes tienen un tiempo, por lo que pueden estar desactualizados o no cumplir la norma.
- En cuanto al desconocimiento de la instalación y considerando que es importante que todo el mundo conozca su funcionamiento se plantea la posibilidad de elaborar un manual de instalación. A su vez, como se menciona que podría ser empleado como elemento de educación, también se toma la decisión recoger los datos de generación y consumo de la forma más eficiente posible, para generar así herramientas de educación. Esta monitorización de los datos también será útil, para verificar todos los cálculos realizados.

2.3. Segunda modificación

Tras definir en la Implementación, evaluación y conclusiones del primer año de pruebas la hoja de ruta a seguir durante el segundo año de desarrollo de la instalación, se decide dividir el trabajo de este año en cinco partes en las que se procederá a sustituir la actual motobomba por una electrobomba, a implementar algún método de monitorización de los datos del inversor, a rehacer la estimación de los consumos una vez llevada a cabo las actualizaciones esperadas y a redimensionar las baterías y los paneles, para dar cabida a las nuevas implementaciones.

2.3.1. Análisis y sustitución de la bomba de agua

En primer lugar y como objetivo prioritario, se marca la sustitución de la actual motobomba por una electrobomba, logrando así los distintos objetivos como es la centralización de la energía en una instalación y la eliminación de los ruidos generados por la misma.

Por contextualizar, esta bomba se encarga de captar agua de un río e impulsarla hasta unos bidones de 1000 litros desde los que posteriormente se suministra todo el agua no potable consumido a lo largo del día en el campamento. Dicho suministro de agua es muy importante ya que es indispensable para poder mantener la higiene personal de cada uno, fregar todos los platos y útiles de cocina, cocinar ciertos alimentos, regar las zonas comunes de la campa para evitar el polvo y usarlo en actividades acuáticas, que son muy frecuentes en verano.

Se estima que durante un día se consumen dos bidones de 1000 litros. Teniendo en cuenta que hay de media unos 75 participantes en el campamento, cada persona gasta 26,66 litros de promedio, lo cual está muy por debajo de la media europea.

De forma añadida, también hay que mencionar que es prioritario que la bomba elegida tenga un margen de funcionamiento en cuanto a la altura muy amplio, pues es necesario tener los bidones a una altura considerable, de modo que el agua tenga suficiente potencial para ser distribuido a los siguientes usos sin necesidad de ningún mecanismo de bombeo. En cuanto al caudal, no es imprescindible ninguna valor de funcionamiento, aunque en la medida de lo posible será valorado positivamente que sea alto, de modo que se reduzca el tiempo de llenado de los bidones.

Al igual, que para el resto de la instalación, en la elección de la nueva electrobomba también habrá que prestar especial atención a los consumos de la misma, pues la idea es ser autosuficientes con la instalación fotovoltaica. Otro de los factores a tener en cuenta, debido a las limitaciones económicas del proyecto, es el precio de la electrobomba elegida.

Una vez establecidos los condicionantes de la electrobomba y los factores a los que prestar atención, se realiza un estudio del mercado analizando las distintas alternativas. En el estudio se incluyen datos de altura máxima de impulsión, caudal máximo, coste, potencia y presión máxima. Atendiendo a esos valores, se elige la electrobomba BP 5000 del fabricante Kärcher. A continuación se incluyen los datos descritos por el fabricante:

Características técnicas

Código EAN		4054278915920
Máx. potencia del motor	W	650
Caudal máx.	l/h	< 5000
Altura de impulsión	m	máx. 40
Presión	bar	máx. 4
Altura de aspiración	m	8

Figura 10. Características electrobomba Kärcher BP 5000

Una vez conocidas sus características, a continuación se presenta su curva característica de funcionamiento, que analizaremos de cara a calcular el tiempo necesario de alimentación a la electrobomba para el llenado de un depósito de 1000 litros:

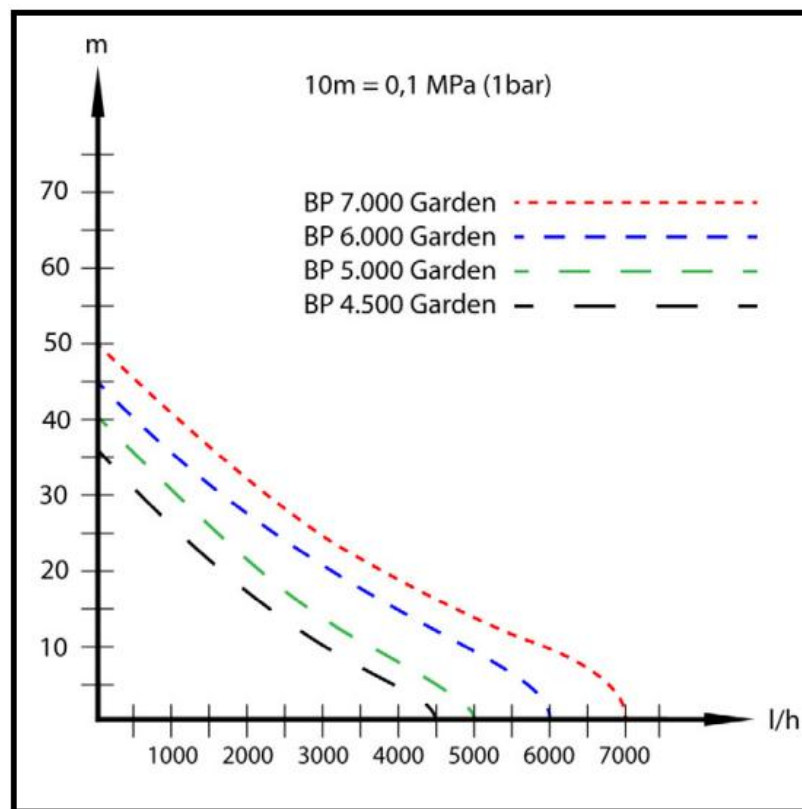


Figura 11. Curva característica Kärcher BP 5000

De cara al cálculo se estima que los bidones van a estar a una altura de 20 metros, analizando la curva verde que es la propia de nuestra electrobomba, se obtiene que para esos valores de altura de impulsión, la electrobomba aporta un caudal de en torno a 2000 l/h. Con estos valores se concluye que en alrededor de 30 minutos se realiza el llenado de uno de los bidones. Partiendo de la base de que la electrobomba funciona a una potencia de 650 W y ha de funcionar durante 30 minutos para el llenado de un bidón, se puede establecer que el llenado de un bidón supone un consumo de 325 Wh.

2.3.2. Implementación de sistema de monitorización de datos

Otra de las actualizaciones a realizar sería la inclusión de un sistema de monitorización de datos. Se quieren obtener datos de generación, consumo y carga de las baterías, por lo que habrá que garantizar que el sistema elegido cumpla con ello. Lo principal en este caso es analizar las posibilidades que nos ofrece el inversor de cara a la exportación de dichos datos.

Tras consultar el manual del inversor y distintos documentos del fabricante y contactar con ellos para consultarles las posibilidades existentes, hay dos principales opciones que se presentan a continuación:

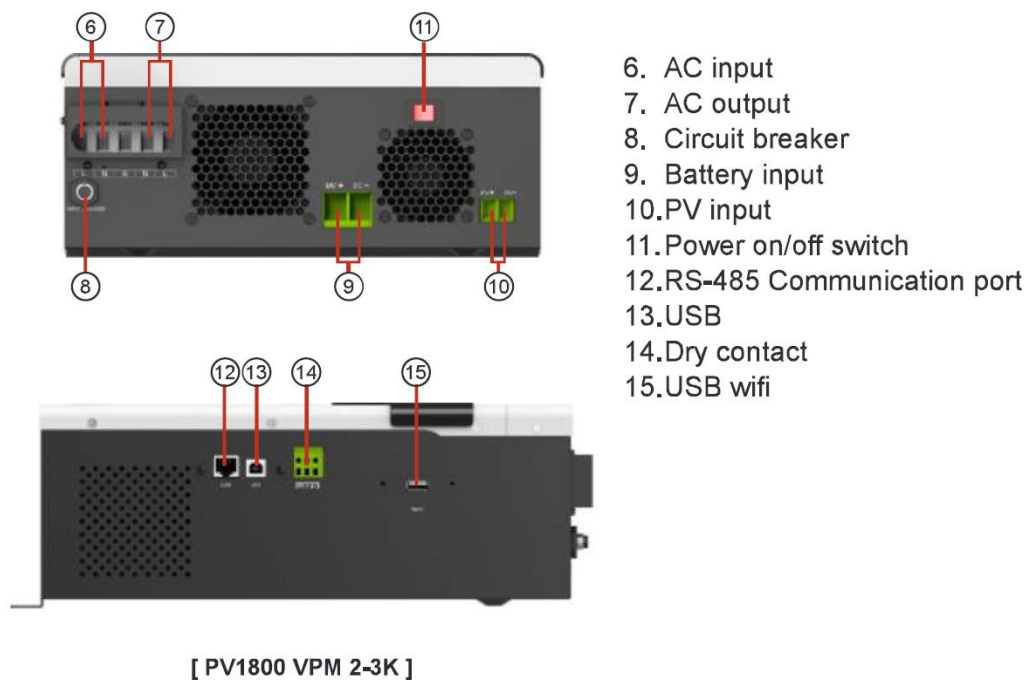


Figura 12. Puertos de conexión del inversor

- **OPCION 1: Monitorización local:** Esta es la opción más económica y sencilla de aplicar. Consiste en utilizar la salida del puerto 12 en la Figura 12. Puertos de conexión del inversor siguiendo el protocolo de comunicación RS-485. Conectando un ordenador a esa salida se

pueden volcar los datos al propio ordenador utilizando un software propio de la marca, diseñado en concreto para este dispositivo. Los datos son almacenados en local en el inversor hasta que se produce el volcado al ordenador. Como parte negativa, los datos se almacenan sin formato y cada dos horas, lo cual no permitía analizar con fidelidad el comportamiento real de la instalación. Otro de los inconvenientes es el hecho de tener que estar insitu para obtener los datos, pues podía implicar que no se pudieran obtener los datos durante una serie de días y estos fueran sobrescritos, lo cual acarrearía una pérdida de información.

- **OPCION 2: Monitorización remota:** La otra opción disponible sería implementar esta metodología de seguimiento remoto. Para ello se utilizará un emisor wifi producido por el fabricante que se conecta a la entrada 15 de la Figura 12. Puertos de conexión del inversor. Dicho emisor wifi se conecta con un router wifi externo de modo que transmite todos los datos de la instalación en todo momento a un servidor. Una vez la información se encuentra en el servidor, esta puede ser consultada desde cualquier smartphone con una aplicación global, es decir, no depende del fabricante. En dicha aplicación se pueden observar todos los parámetros de funcionamiento graficados. Cuenta con la ventaja de que los datos se están emitiendo constantemente, por lo que no hay ningún espacio temporal sin controlar. A su vez, desde la aplicación también se pueden configurar distintas opciones del inversor, que permiten controlarle o solventar ciertos contratiempos, a pesar de no poder acceder al inversor en dicho momento. Por el contrario, esta opción es ligeramente más costosa, pues el emisor wifi es un añadido a comprar para el inversor, aunque su coste es inferior a los 50 € por lo que no sería un factor limitante. También hay que valorar que para poder implementar esta opción se necesita una red wifi a la que conectarse, que en ese caso se solucionaría instalando un router conectado a una tarjeta SIM de la que obtendría la red. Hay que tener en cuenta que este router tiene un consumo muy bajo de 5 kWh.

Valorando ambas opciones, se toma la decisión de apostar por la monitorización remota, pues se considera altamente importante obtener los datos con una alta frecuencia de muestro. A su vez, se valora muy positivamente el hecho de tener capacidad de controlar el inversor a la distancia, pues no siempre habrá en el campamento alguien que lo domine. También tiene peso en esta decisión la capacidad de análisis que nos aporta la mencionada aplicación, como veremos en la Análisis del funcionamiento de la instalación definitiva. Por último, otro factor a considerar es el hecho de que la aplicación empleada en la opción remota no depende del fabricante del inversor, lo cual nos aporta una mayor seguridad a largo plazo.

2.3.3. Actualización del dimensionamiento

Con las nuevas implementaciones, se ha producido un incremento en los consumos que habrá que considerar a la hora de redimensionar la instalación de cara a acoger la ampliación desarrollada para este segundo año. También atendiendo a la evaluación del primer año se quieren hacer una mejora en la autonomía de los siguientes elementos:

- **Sistemas refrigeración:** Se desea que estén alimentadas las 24 horas del día para poder garantizar la correcta conservación de la comida. Esto implica un aumento de alrededor de 1,4 kWh en cuanto a los consumos. En este apartado se incluye tanto al arcón como a la cámara frigorífica.
- **Iluminación del almacén:** Con el fin de solventar los problemas mencionados por los monitores en los que en caso de alargarse la reunión diaria no hubo suficiente autonomía para la iluminación, se añaden otras dos horas previstas de consumo para estar cubiertos en todas las circunstancias. Esto supone un aumento en el consumo de 136 Wh.
- **Electrobomba:** Al ser una nueva incorporación ha de ser incluida en la estimación. Como bien se ha comentado anteriormente, va a suponer un aumento en el consumo de 650 Wh en total.
- **Router:** De igual modo, el router wifi empleado en la monitorización de datos ha de ser incluido en la estimación. Es un consumo muy bajo pues es de tan solo 120 Wh por día.

Una vez incluidos estos valores en el Excel anexo, se obtienen la siguiente tabla:

Hora	Arcón frigorífico	Cámara frigorífica	Iluminación cocina	Iluminación almacén	Iluminación comedor	Iluminación zona de aseo	Enchufes cocina	Electro-bomba	Router	Gasto total
0:00	100 Wh	100 Wh		68 Wh					5 Wh	273 Wh
1:00	100 Wh	100 Wh		68 Wh					5 Wh	273 Wh
2:00	100 Wh	100 Wh		68 Wh					5 Wh	273 Wh
3:00	100 Wh	100 Wh		68 Wh					5 Wh	273 Wh
4:00	100 Wh	100 Wh							5 Wh	205 Wh
5:00	100 Wh	100 Wh							5 Wh	205 Wh
6:00	100 Wh	100 Wh							5 Wh	205 Wh
7:00	100 Wh	100 Wh							5 Wh	205 Wh
8:00	100 Wh	100 Wh							5 Wh	205 Wh
9:00	100 Wh	100 Wh							5 Wh	205 Wh
10:00	100 Wh	100 Wh							5 Wh	205 Wh
11:00	100 Wh	100 Wh							5 Wh	205 Wh
12:00	100 Wh	100 Wh							5 Wh	205 Wh
13:00	100 Wh	100 Wh						325 Wh	5 Wh	530 Wh
14:00	100 Wh	100 Wh					150 Wh		5 Wh	355 Wh
15:00	100 Wh	100 Wh					150 Wh		5 Wh	355 Wh
16:00	100 Wh	100 Wh					150 Wh	325 Wh	5 Wh	680 Wh
17:00	100 Wh	100 Wh							5 Wh	205 Wh
18:00	100 Wh	100 Wh							5 Wh	205 Wh
19:00	100 Wh	100 Wh							5 Wh	205 Wh
20:00	100 Wh	100 Wh	68 Wh				150 Wh		5 Wh	423 Wh
21:00	100 Wh	100 Wh	68 Wh		170 Wh		150 Wh		5 Wh	593 Wh
22:00	100 Wh	100 Wh	68 Wh		170 Wh	200 Wh	150 Wh		5 Wh	793 Wh
23:00	100 Wh	100 Wh	68 Wh		170 Wh		150 Wh		5 Wh	593 Wh
Consumo total	2400 Wh/día	2400 Wh/día	272 Wh/día	272 Wh/día	510 Wh/día	200 Wh/día	1050 Wh/día	650 Wh/día	120 Wh/día	7874 Wh/día

Figura 13. Desglose de consumos estimados del segundo año

De nuevo, se presentan los valores en una gráfica diaria que nos permite visualizar en que momentos del día se producen los consumos estimados.

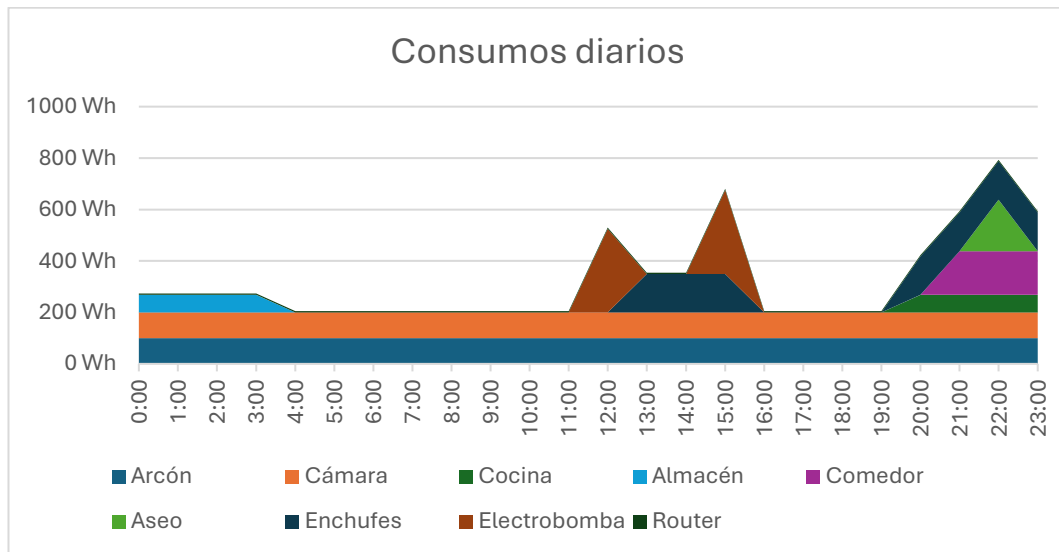


Figura 14. Consumos estimados para el segundo año

Como se puede apreciar en las dos figuras anteriores, el consumo estimado tras las actualizaciones es de casi 8 kWh al día. En comparación con los consumos del año anterior, el consumo estimado se ha visto incrementado en alrededor de 2,4 kWh. En cuanto a la autonomía nocturna, la previsión de este año estima una autonomía mínima de 4.4 kWh (consumos entre las 20:00 y las 7:59). En comparación con lo establecido el año anterior, se establece un aumento de 1,5 kWh.

2.3.4.Rediseño de la instalación

Una vez estimados los consumos que se esperan de cara a este año, se ha de redimensionar los paneles solares para cubrir con toda la generación de energía necesaria, de modo que se satisfaga la demanda. A su vez, se han de redimensionar las baterías, con la finalidad de cumplir con los requerimientos en materia de autonomía para este año.

De cara al dimensionamiento de los paneles solares la metodología a seguir va a ser la misma que en la Primera modificación. En primer lugar, hay que recordar que la instalación dispone de dos paneles solares EM460-PH, de 460 W de pico, una superficie útil de 2,17 m² y un coeficiente de eficiencia de 0,21. La irradiancia diaria según la Figura 6. Perfil de irradiancia en Herreros (Soria) es de 7586 W/m²/día. Calculando la potencia generada actualmente con la siguiente formula, se obtienen diariamente 6913,88 Wh:

$$P = G \cdot S \cdot \mu$$

Con los dos paneles actuales no se cubre toda la demanda requerida para este año, por lo que es necesario realizar una ampliación en este campo.

A la hora de realizar una ampliación en los paneles solares hay que tener en cuenta diversos factores en los paneles a implementar en comparación con los ya existentes:

- Los valores para la intensidad de cortocircuito (I_{sc}) y el voltaje de circuito abierto (V_{oc}) han de ser similares. Esto tiene justificación en términos de eficiencia debido a que la intensidad va a verse igualada al menor valor existente en la serie de paneles, por lo que se estaría desaprovechando la de los paneles de mayor corriente. En cuanto al voltaje, la justificación sería para evitar una descompensación en las distintas series de paneles. En nuestro caso, utilizando los valores en las condiciones TONC, se buscan valores cercanos a 9,32 A y 46,75 V, respectivamente.
- Al igual que se desea que los valores de intensidad y voltaje sean similares, como cabría esperar, esto también aplica para los valores de potencia de pico. En nuestro caso se han de buscar paneles cercanos a los 460 W.
- El factor más importante, ya que no solamente afecta a la eficiencia sino también a la seguridad sería la compatibilidad con el inversor. Para ello hay que atender a los valores de tensión, corriente y potencia. En nuestro caso, en cuanto al V_{oc} (TONC) el inversor tiene cabida para 51,5 V respecto a los 145 V totales. En cuanto a la I_{sc} (TONC) tiene cabida para 49,08 A respecto a los 60 A totales. En cuanto a la potencia tiene cabida para 580 W respecto a los 1500 W totales del inversor.

Una vez conocidos los valores a los que atender, aparecen dos opciones, como son añadir un panel de semejantes características en serie a los dos paneles ya existentes o conectar en paralelo una serie de paneles de semejantes características a los ya existentes. Debido a que la demanda de energía está cerca de estar cubierta y que el inversor es capaz de admitir un tercer panel conectado en serie, se opta por esa opción con el objetivo de abaratar costes. Tras analizar la disponibilidad de paneles, se opta por comprar el mismo modelo que los dos ya existentes, para que los parámetros mencionados sean iguales y lograr la mayor eficiencia posible.

En cuanto a las baterías, ya se mencionó en la Primera modificación, que en principio el primer año se iba a experimentar con niveles inferiores de autonomía que los calculados teóricamente. La instalación de prueba cuenta con dos baterías de 12 V y 150 Ah conectadas en serie que suponen un grupo acumulador de 24 V y 150 Ah.

De cara al primer año, se había planificado la autonomía empleando una profundidad de descarga del 50%, pero atendiendo a la Figura 8. Ciclos de vida útil en baterías AGM (izquierda) y GEL (derecha), se aprecia que se puede emplear una profundidad de descarga del 60% sin suponer esto un gran perjuicio a la instalación a largo plazo. Esto se debe a que la vida útil de la instalación se estima en unos 25 años, por lo que si cada año se realizan 15 ciclos completos de carga que es lo que duran los campamentos, a lo largo de todo este periodo se realizaran un total de 375 ciclos de carga. Con una profundidad del 60%, se estiman 800 ciclos de carga en correcto funcionamiento de las baterías, por lo que es perfectamente asumible.

Una vez determinada la profundidad de descarga se repetirán los cálculos realizados en Paso 2: Elección y justificación de las baterías. para obtener los valores del grupo acumulador que se necesita para cumplir con la autonomía requerida en la instalación actualizada. Como se ha mencionado previamente, la autonomía requerida por la instalación actualizada es de 4,3 kWh.

$$Capacidad\ Util = \frac{Consumo\ diario}{Profundidad\ de\ descarga} = \frac{4314\ Wh}{0,6} = 7190\ Wh$$

$$Capacidad\ Nominal = \frac{Capacidad\ Util}{Voltaje\ del\ sistema} = \frac{7190\ Wh}{24\ V} = 299,58\ Ah$$

Manteniendo la tensión en 24 V, se obtiene una capacidad nominal teórica de 299,58 Ah. Debido a ello se toma la decisión de incorporar al actual grupo acumulador una serie de dos baterías de iguales características a las actuales. Para cumplir con los requisitos teóricos de la instalación, esta nueva serie se va a conectar en paralelo, tal y como se puede apreciar en la siguiente imagen Figura 15. Conexionado de las baterías. De este modo se obtiene un grupo acumulador total de 24 V y 300 Ah, que cumple con las especificaciones requeridas por la instalación para tener la suficiente autonomía, para satisfacer toda la demanda de energía en los periodos de no generación energética.

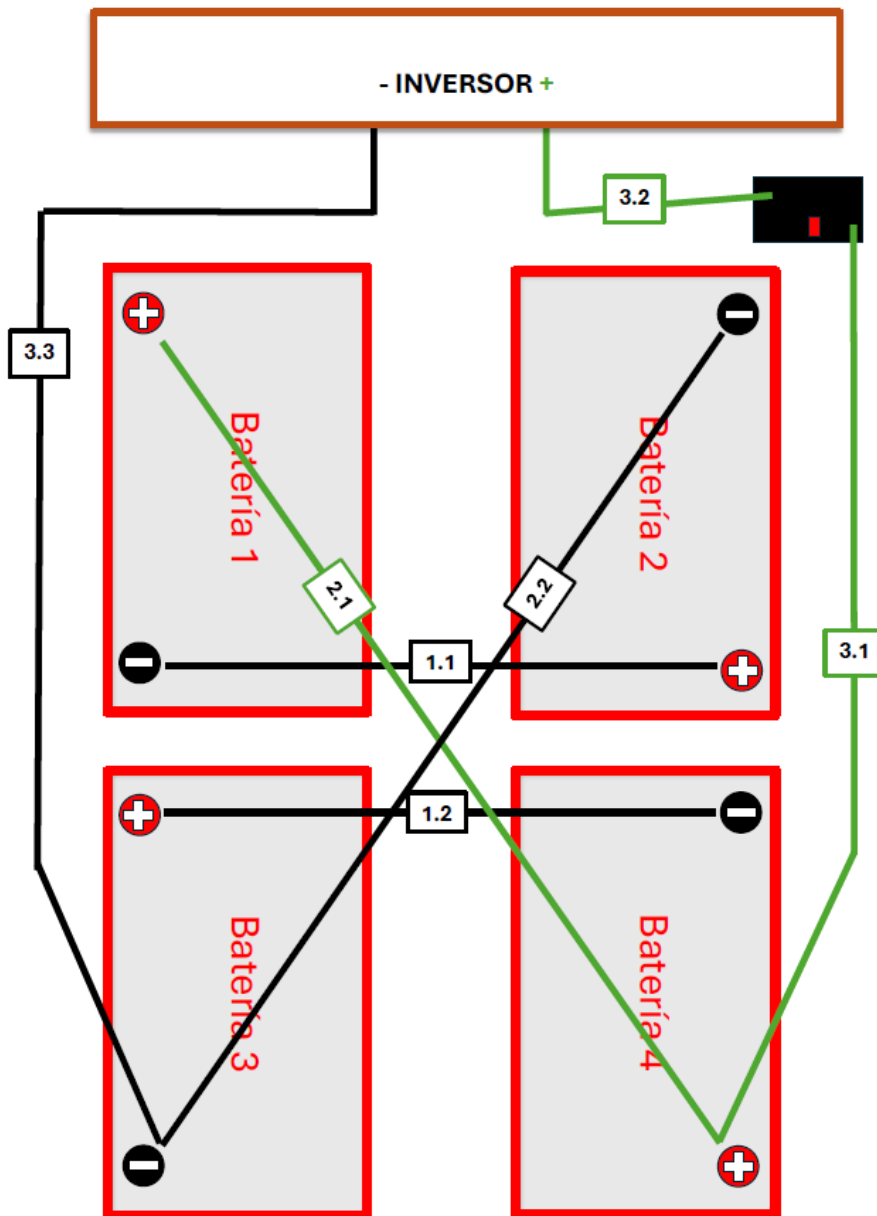


Figura 15. Conexionado de las baterías

2.3.5. Renovación del cableado en materia de seguridad

Este punto surge tras el análisis de la instalación llevado a cabo en la Implementación, evaluación y conclusiones del primer año de pruebas en el que fue detectado que el cableado y distintos componentes de la actual instalación tenían una antigüedad considerable y no cumplían su función con seguridad. El principal problema se detectó en el cableado, ya que por lo general eran cables de una sección muy estrecha que a priori no cumplen con el requerimiento de la norma.

La norma bajo la que se rige este campo es la IEC-60228 , a nivel internacional, y la UNE-20460, es la adaptación nacional de la misma. Tras el análisis de la norma para conductores de cobre, aplicando valores de corrección por la temperatura a la que se van a encontrar los cables y empleando valores conservadores a la hora de hacer los cálculos, se establece lo siguiente:

- Se emplearán cables monofásicos tripolares de 1,5 mm² de sección para corrientes inferiores a 10 A. Es decir, para líneas de hasta 2300 W.
- Se emplearán cables monofásicos tripolares de 2,5 mm² de sección para corrientes inferiores a 16 A. Es decir, para líneas de hasta 3680 W.
- Se empleará un cable unipolar de 16 mm² para la toma de tierra.

Una vez establecidos los usos enfocados a cada cable se ha de dimensionar el cableado que se necesita para la renovación completa del cableado.

En primer lugar, el cable que va desde el inversor hasta el cuadro eléctrico principal será de 2,5 mm² de sección, para estar cubiertos ante la salida máxima que puede dar el inversor que son 3000 W. Esto nos permitirá añadir bastantes elementos, aun sin estar previstos, como sería las herramientas de mano eléctricas que son empleada en momentos puntuales como el montaje del campamento. La distancia habitual entre el inversor y el cuadro eléctrico será inferior a 50 metros en toda circunstancia, sin embargo, se decide usar un cable de 50 metros en este caso, para aportar flexibilidad a la instalación.

A continuación, se ha de estimar la distancia habitual entre los distintos elementos y el cuadro eléctrico principal, para calcular la longitud de cable que precisa cada tramo. Al ser un campamento móvil, las distancias han de ser calculadas de forma conservadora, ya que éstas fluctúan en función de los años y hay que estar cubiertos para posibles variaciones en la instalación.

Uso	Distancia cable 1,5 mm² (metros)
Cuadro -> Iluminación Comedor	20 metros
Tramos internos del comedor	5 tramos de 4 m = 20 metros
Cuadro -> Iluminación cocina	2 metros
Cuadro -> Iluminación almacén	5 metros
Cuadro -> Arcón y frigorífico	3 metros
Cuadro -> Iluminación duchas	20 metros
Duchas -> Electrobomba	30 metros
Total	100 metros

En resumen, de cara a renovar todo el cableado de la instalación, serán necesarios 100 metros de cable de 1,5 mm² de sección y 50 metros de cable de 2,5 mm² de sección. Añadido a esto habrá de incluir en la instalación un cuadro eléctrico auxiliar en el que se incluirá un interruptor diferencial, un interruptor magnetotérmico, un enchufe al que se conectará el router wifi y el bornero de tierra, de este modo, se aislará la parte de la instalación dedicada a la generación de la parte de la instalación dedicada a el consumo. En el apartado Repercusiones económicas se detallarán los costes de esta renovación.

2.3.6. Estimación de generación y estado de las baterías

Una vez diseñada la instalación que se prevé será la definitiva, diseñada la ampliación e incorporadas las novedades, se puede realizar una estimación precisa de cuál será el funcionamiento de la instalación a lo largo de un día de campamento. Para ello, al Excel de consumos estimados, se añadirá un apartado de generación de energía basado en el perfil promedio de irradiancia de Herreros y un apartado de estado de las baterías, que ira acumulando el excedente de la generación de energía frente al consumo actual e ira consumiendo la energía demandada en momentos de no generación energética.

En primer lugar, se presenta la generación de energía por horas, esto será de especial utilidad más adelante pues nos permitirá vislumbrar en que momentos del día la energía sobrante no se está almacenando por falta de capacidad, lo cual nos permite tener electricidad gratis durante cierto intervalo horario. Para este cálculo de energía se han tenido en cuenta la presencia de tres paneles EM-460PH conectados en serie, teniendo cada uno de los paneles una superficie útil de 2,17 m², un coeficiente de eficiencia de 0,21 y los valores de la irradiancia obtenidos de la Figura 6. Perfil de irradiancia en Herreros (Soria):

Hora	Irradiancia	Energía generada	Energía consumida	Balance energético
0:00	0 W/m ²	0 Wh	273 Wh	-273 Wh
1:00	0 W/m ²	0 Wh	273 Wh	-273 Wh
2:00	0 W/m ²	0 Wh	273 Wh	-273 Wh
3:00	0 W/m ²	0 Wh	273 Wh	-273 Wh
4:00	0 W/m ²	0 Wh	205 Wh	-205 Wh
5:00	0 W/m ²	0 Wh	205 Wh	-205 Wh
6:00	9 W/m ²	12 Wh	205 Wh	-193 Wh
7:00	122 W/m ²	167 Wh	205 Wh	-38 Wh
8:00	307 W/m ²	420 Wh	205 Wh	215 Wh
9:00	508 W/m ²	694 Wh	205 Wh	489 Wh
10:00	684 W/m ²	935 Wh	205 Wh	730 Wh
11:00	826 W/m ²	1129 Wh	205 Wh	924 Wh
12:00	919 W/m ²	1256 Wh	530 Wh	726 Wh
13:00	941 W/m ²	1286 Wh	355 Wh	931 Wh
14:00	876 W/m ²	1198 Wh	355 Wh	843 Wh
15:00	769 W/m ²	1051 Wh	680 Wh	371 Wh
16:00	645 W/m ²	882 Wh	205 Wh	677 Wh
17:00	488 W/m ²	667 Wh	205 Wh	462 Wh
18:00	319 W/m ²	436 Wh	205 Wh	231 Wh
19:00	149 W/m ²	204 Wh	205 Wh	-1 Wh
20:00	24 W/m ²	33 Wh	423 Wh	-390 Wh
21:00	0 W/m ²	0 Wh	593 Wh	-593 Wh
22:00	0 W/m ²	0 Wh	793 Wh	-793 Wh
23:00	0 W/m ²	0 Wh	593 Wh	-593 Wh
Total	7586 W/m²/día	10371 Wh/día	7874 Wh/día	2497 Wh/día

Figura 16. Generación horaria de energía

Una vez determinada la energía generada y consumida por la instalación para cada franja horaria, se puede realizar un balance energético en el cual se aprecia si en ese tramo horario se ha producido o consumido más energía.

Conocidos los balances por tramo horario, se puede determinar en qué momentos del día se están cargando las baterías y en qué momentos del día se está consumiendo energía de las mismas. A su vez también se permite aproximar cual será la autonomía que pueden aportar las baterías en ese instante y el porcentaje de carga que tienen respecto a su total capacidad.

DIA 1				DIA 2				DIA 3			
Hora	Balance energético	Energía almacenada	% Batería	Hora	Balance energético	Energía almacenada	% Batería	Hora	Balance energético	Energía almacenada	% Batería
0:00				0:00	-273 Wh	4430 Wh	62%	0:00	-273 Wh	4531 Wh	63%
1:00				1:00	-273 Wh	4157 Wh	58%	1:00	-273 Wh	4258 Wh	59%
2:00				2:00	-273 Wh	3884 Wh	54%	2:00	-273 Wh	3985 Wh	55%
3:00				3:00	-273 Wh	3611 Wh	50%	3:00	-273 Wh	3712 Wh	52%
4:00				4:00	-205 Wh	3406 Wh	47%	4:00	-205 Wh	3507 Wh	49%
5:00				5:00	-205 Wh	3201 Wh	44%	5:00	-205 Wh	3302 Wh	46%
6:00				6:00	-194 Wh	3007 Wh	42%	6:00	-194 Wh	3108 Wh	43%
7:00				7:00	-56 Wh	2951 Wh	41%	7:00	-56 Wh	3051 Wh	42%
8:00				8:00	169 Wh	3119 Wh	43%	8:00	169 Wh	3220 Wh	45%
9:00				9:00	413 Wh	3533 Wh	49%	9:00	413 Wh	3633 Wh	50%
10:00				10:00	628 Wh	4160 Wh	58%	10:00	628 Wh	4261 Wh	59%
11:00				11:00	801 Wh	4961 Wh	69%	11:00	801 Wh	5061 Wh	70%
12:00	589 Wh	4189 Wh	58%	12:00	589 Wh	5550 Wh	77%	12:00	589 Wh	5650 Wh	78%
13:00	791 Wh	4979 Wh	69%	13:00	791 Wh	6340 Wh	88%	13:00	791 Wh	6441 Wh	89%
14:00	711 Wh	5691 Wh	79%	14:00	711 Wh	7052 Wh	98%	14:00	711 Wh	7152 Wh	99%
15:00	256 Wh	5947 Wh	83%	15:00	256 Wh	7200 Wh	100%	15:00	256 Wh	7200 Wh	100%
16:00	580 Wh	6527 Wh	91%	16:00	580 Wh	7200 Wh	100%	16:00	580 Wh	7200 Wh	100%
17:00	389 Wh	6916 Wh	96%	17:00	389 Wh	7200 Wh	100%	17:00	389 Wh	7200 Wh	100%
18:00	183 Wh	7100 Wh	99%	18:00	183 Wh	7200 Wh	100%	18:00	183 Wh	7200 Wh	100%
19:00	-24 Wh	7076 Wh	98%	19:00	-24 Wh	7176 Wh	100%	19:00	-24 Wh	7176 Wh	100%
20:00	-394 Wh	6682 Wh	93%	20:00	-394 Wh	6783 Wh	94%	20:00	-394 Wh	6783 Wh	94%
21:00	-593 Wh	6089 Wh	85%	21:00	-593 Wh	6190 Wh	86%	21:00	-593 Wh	6190 Wh	86%
22:00	-793 Wh	5296 Wh	74%	22:00	-793 Wh	5397 Wh	75%	22:00	-793 Wh	5397 Wh	75%
23:00	-593 Wh	4703 Wh	65%	23:00	-593 Wh	4804 Wh	67%	23:00	-593 Wh	4804 Wh	67%
Total	1103 Wh/día			Total	1361 Wh/día			Total	1361 Wh/día		

Figura 17. Evolución horaria del estado de las baterías

Para poder hacer una evolución realista, se ha incluido la evolución de tres días consecutivos. El primero de los días es el día en que se realiza el montaje de la instalación, por lo que se considera que las baterías inician con un 50% de carga. En un margen de 6 horas las baterías ya alcanzan su máxima capacidad, por lo que el primer día sin tenerlo a pleno funcionamiento las baterías se encuentran al máximo en el momento previo a afrontar la noche.

Como se puede observar, las baterías al finalizar la noche se encuentran con un 43% de carga, esto supone que no llega a alcanzar el valor límite que hemos marcado para la instalación de 60% de profundidad de descarga, por lo que el dimensionamiento ha sido correcto.

De cara a los días en los que la instalación se encuentra funcionando durante las 24 horas, se aprecia como en torno a las 14:00 las baterías ya han alcanzado su máximo, por lo que se puede realizar cualquier consumo adicional no contemplado en el dimensionamiento durante las siguientes 5 horas ya que estamos en un periodo de energía “gratis” donde dichos consumos adicionales no repercutirían en la autonomía de la instalación. Este excedente de energía

que se menciona sería de 2,5 kWh. De igual modo al afrontar la noche con las baterías al máximo, se amanece con más de un 40% de autonomía disponible, por lo que se valida el dimensionamiento de la instalación.

Posteriormente, en la Análisis del funcionamiento de la instalación definitiva, se analizarán datos reales de todos los días de funcionamiento con el objetivo de validar esta simulación.

2.3.7. Análisis del funcionamiento de la instalación definitiva

Una vez implementadas todas las novedades mencionadas en la Segunda modificación y en la Renovación del cableado en materia de seguridad, se ha llevado a cabo el campamento tal y como estaba previsto. En este punto y gracias a la monitorización implementada se puede realizar un análisis con un enfoque mucho más técnico que en la Implementación, evaluación y conclusiones del primer año de pruebas.

El campamento se ha llevado a cabo sin ningún sobresalto en cuanto a lo que la parte eléctrica corresponde. En todo momento se han cubierto todas las demandas de los usuarios y de la propia instalación.

Los usuarios que tras el primer año de prueba dieron pautas de cara a la mejoría de la instalación han comentado que este año se ha notado una mejoría en todos los puntos que ellos mencionaron como objetivos de mejora, por lo que sus sensaciones respecto al uso han sido correctas.

En cuanto a la meteorología, tal y como cabría esperar se han cumplido tanto la Figura 5. Perfil de temperatura en Herreros (Soria) como la Figura 6. Perfil de irradiancia en Herreros (Soria). La mayoría de los días han sido días soleados, en su totalidad a excepción algunos breves periodos con presencia de nubes e incluso algunos chubascos.

Esto se puede apreciar en el informe que realiza la AEMET de forma mensual, en el que analiza la variación de las temperaturas y las precipitaciones a lo largo del mes con respecto a los promedios acumulados. A nivel nacional, el mes de julio de 2024 ha sido el sexto mes de julio más cálido desde el inicio de la recopilación de datos, en 1961. A su vez, en cuanto a las precipitaciones ha sido el décimo mes de julio más seco desde 1961. Es por ello por lo que se puede cerciorar la estabilidad meteorológica, lo cual nos garantiza buenas condiciones de generación energética. A continuación, se insertan los mapas que presentan las variaciones comentadas en función de la ubicación. La ubicación de Herreros, se indica en dichos mapas para facilitar su apreciación.



Figura 18. Anomalías de temperatura en julio de 2024

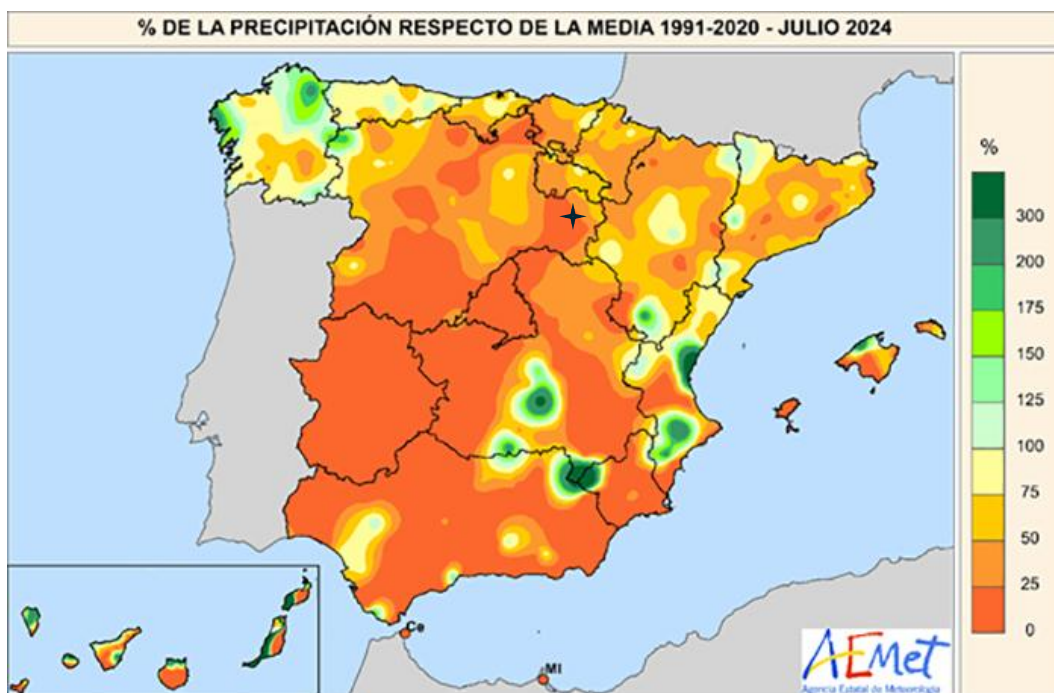


Figura 19. Porcentaje de precipitación respecto a la media en julio de 2024

Más allá de los datos transversales de todo el mes, la AEMET declaró una ola de calor entre los días 23 y 31 de julio y considera unos periodos cálidos (que no alcanzan los parámetros necesarios para ser una ola de calor) entre los días 18 y 20.

De cara a comprender los datos anteriores, se van a emplear los datos obtenidos en el observatorio de la AEMET de Vinuesa, Soria, para analizar el día a día con mayor precisión. Se elige este observatorio por encontrarse a tan solo 8 kilómetros en línea recta de la ubicación del campamento.

Día	13/07/2024	14/07/2024	15/07/2024	16/07/2024	17/07/2024	18/07/2024	19/07/2024
Tª Mínima	7,7 °C	11,0 °C	10,6 °C	8,3 °C	11,0 °C	13,0 °C	12,4 °C
Tª Máxima	27,1 °C	28,4 °C	24,8 °C	27,1 °C	30,4 °C	31,9 °C	32,1 °C
Día	20/07/2024	21/07/2024	22/07/2024	23/07/2024	25/07/2024	26/07/2024	27/07/2024
Tª Mínima	12,1 °C	12,2 °C	6,1 °C	11,5 °C	15,1 °C	14,8 °C	14,7 °C
Tª Máxima	29,1 °C	22,2 °C	30,0 °C	33,6 °C	33,2 °C	33,1 °C	32,6 °C

Figura 20. Temperatura mínima y máxima por días

A pesar, de tener todos los días condiciones correctas para la generación, se podrán apreciar variaciones tanto en los valores de generación como en los valores de consumo. Es por ello, que a continuación se analizarán todos los días del campamento, para poder apreciar cómo afecta el entorno a una instalación fotovoltaica. Por lo general, los parámetros de los días son ciertamente similares, como se puede apreciar en la Figura 21. Temperaturas registradas en Vinuesa en julio de 2024, por lo que se presentaran graficas de dos días promedio (14 y 20), un día frio (21) y tres días cálidos (19, 23 y 25). Una vez presentadas las gráficas, en el apartado

Conclusiones y apreciaciones se comentarán todas las casuísticas que se aprecien en los distintos días.

Temperaturas registradas en Vinuesa.

Gráfica de evolución de **temperaturas** (media, máxima y mínima) en julio de 2024.

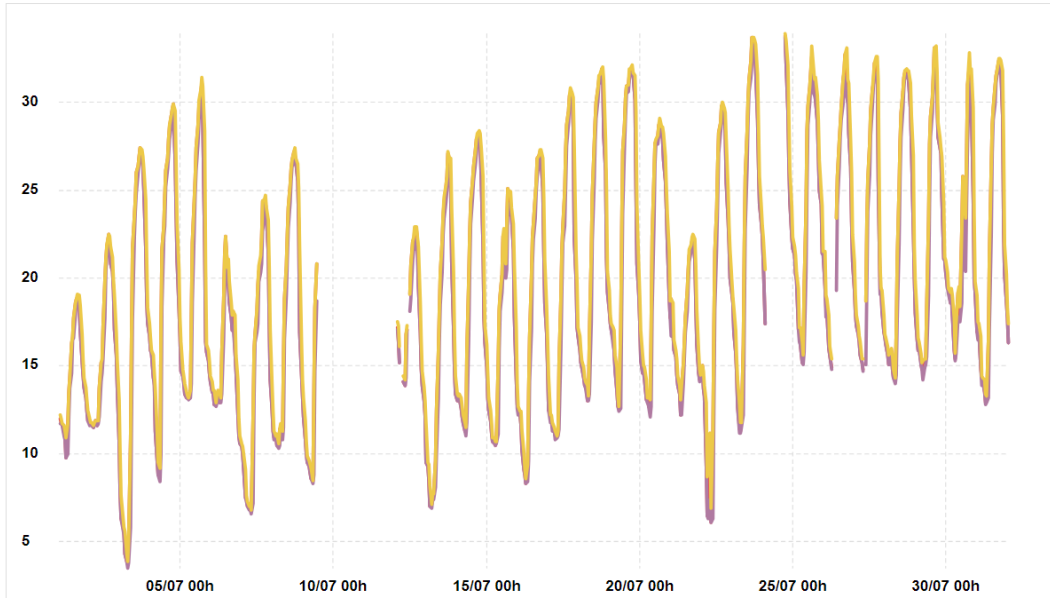


Figura 21. Temperaturas registradas en Vinuesa en julio de 2024

Para cada uno de los días se expondrá el perfil de temperatura del día correspondiente y la gráfica obtenida en el datalogger de Must. En dicha grafica se incluyen tres curvas que se corresponden con la potencia de carga de los paneles (Charge Power), la potencia correspondiente a los consumos en la instalación (PLoad) y la potencia entregada por las baterías a la instalación (Batt Power) . La curva correspondiente a la potencia de las baterías es la que precisa de capacidad de comprensión pues los valores negativos en esta curva implican que las baterías se están cargando ya que están sustrayendo potencia de la instalación. Los valores positivos de esta curva implican que las baterías se están descargando, pues están aportando potencia a la instalación.

Domingo 14/07/2024

Temperaturas registradas en Vinuesa.

Gráfica de temperaturas (media, máxima y mínima) del día 14 de julio de 2024, por horas.

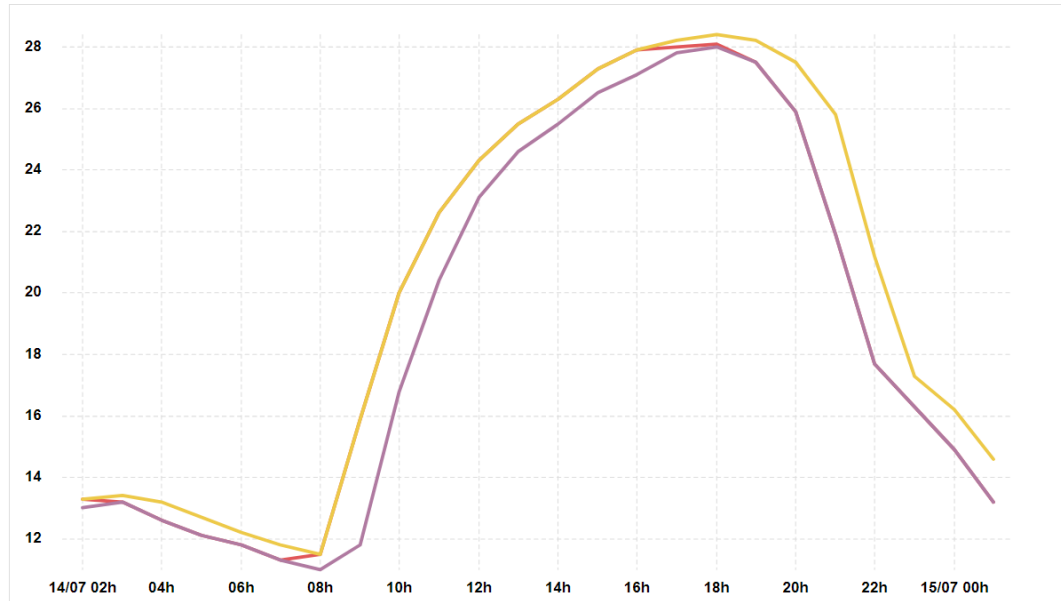


Figura 22. Temperaturas 14/07/2024

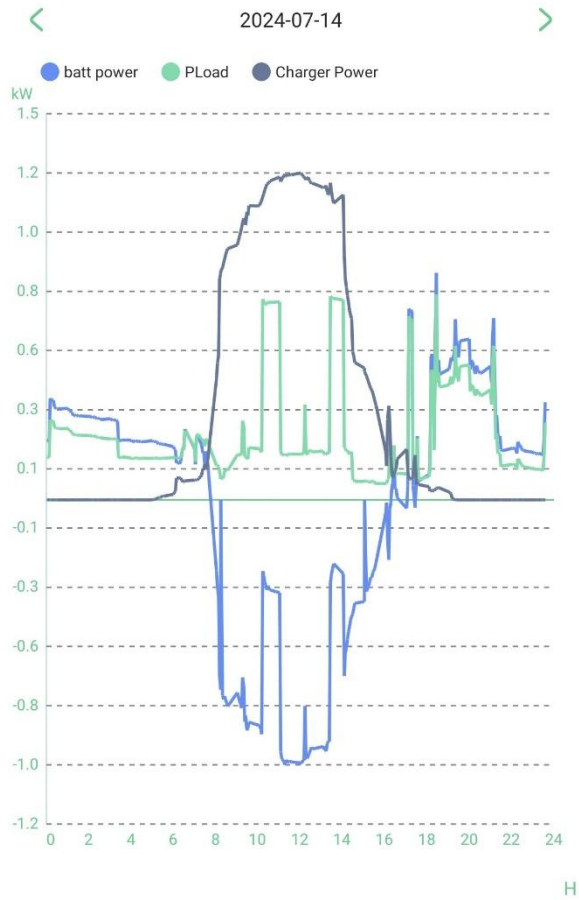


Figura 23. Datos 14/07/2024

Viernes 19/07/2024

Temperaturas registradas en Vinuesa.

Gráfica de temperaturas (media, máxima y mínima) del día 19 de julio de 2024, por horas.

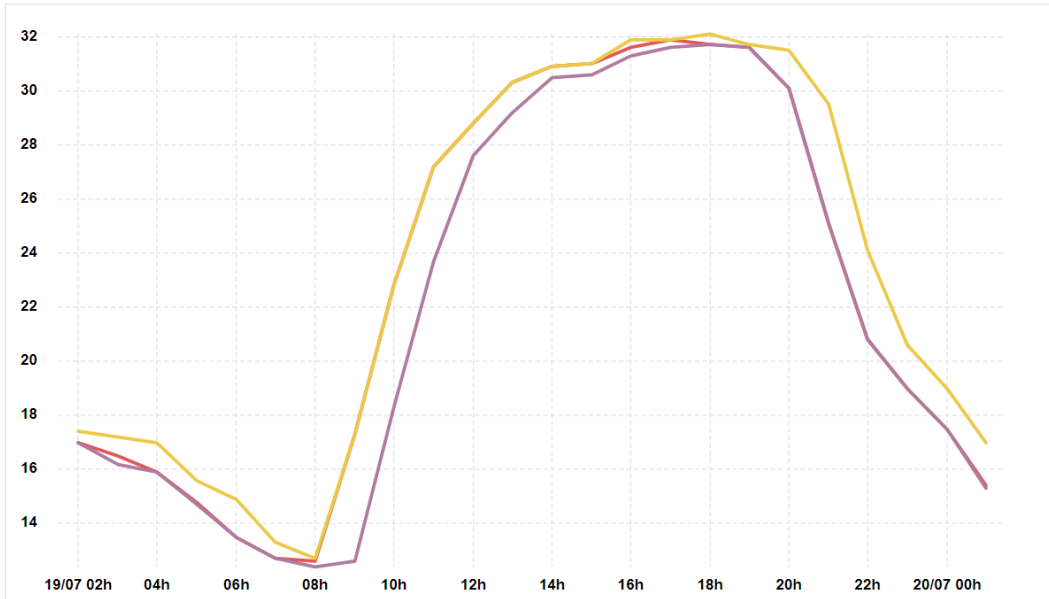


Figura 24. Temperaturas 19/07/2024

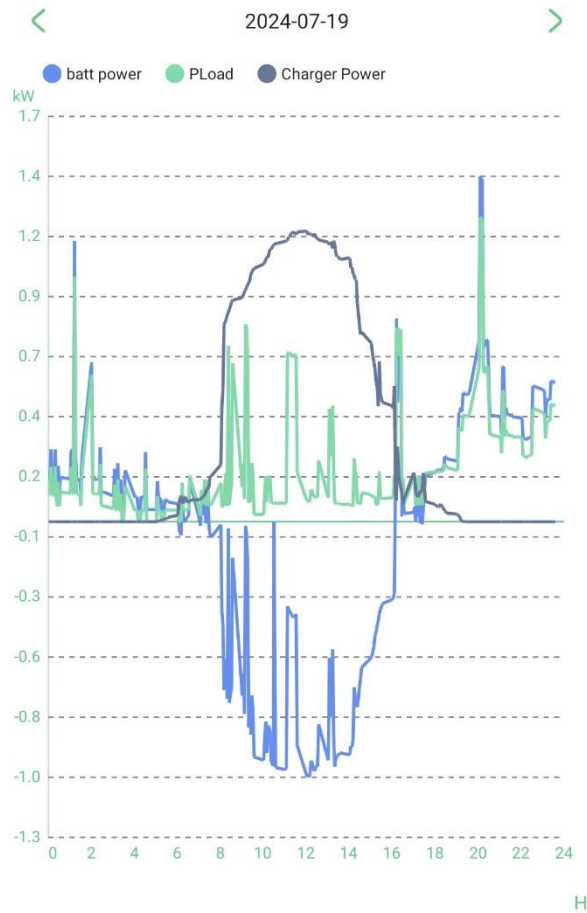


Figura 25. Datos 19/07/2024

Sábado 20/07/2024

Temperaturas registradas en Vinuesa.

Gráfica de temperaturas (media, máxima y mínima) del día 20 de julio de 2024, por horas.

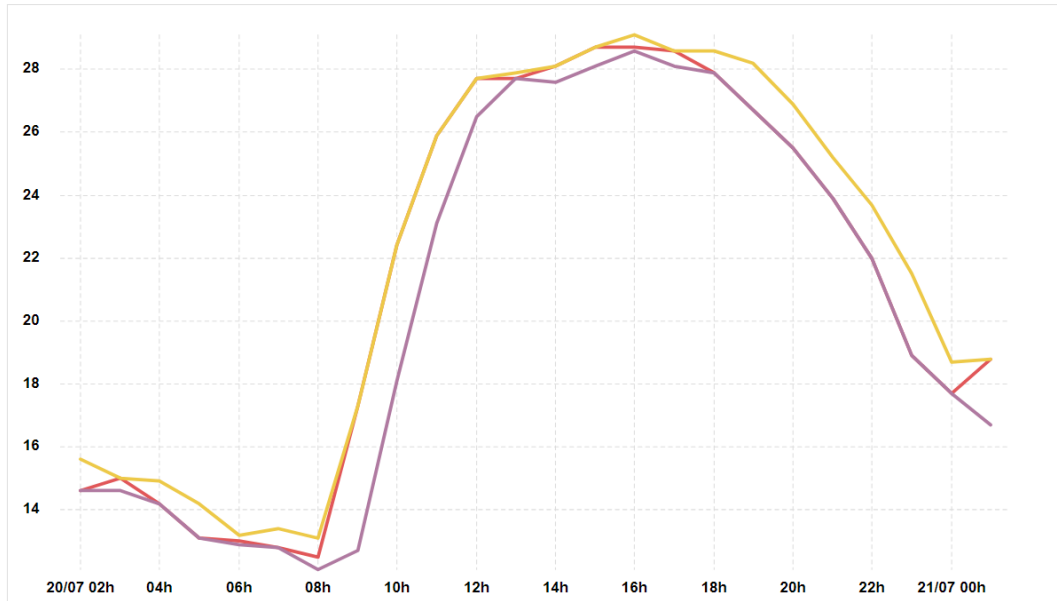


Figura 26. Temperaturas 20/07/2024

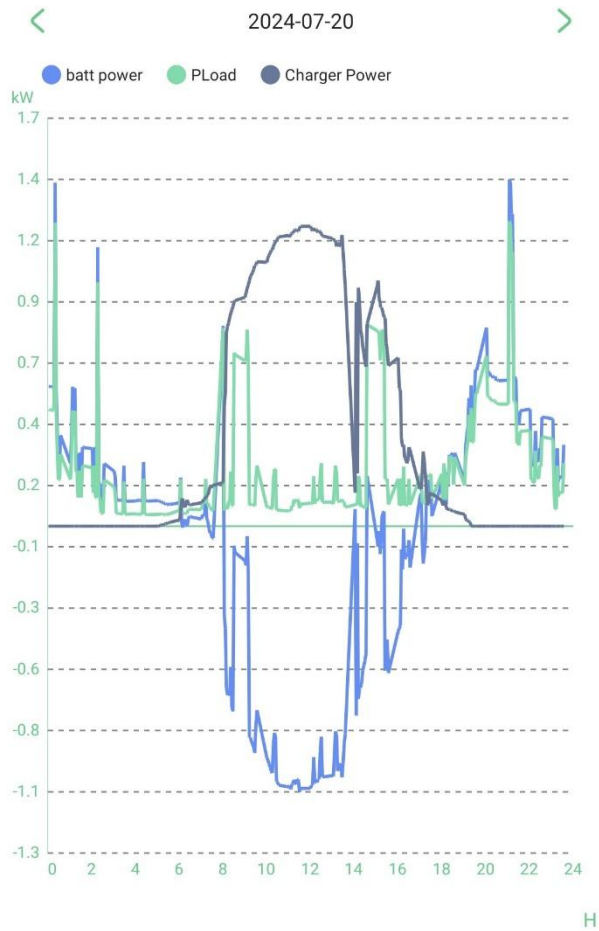


Figura 27. Datos 20/07/2024

Domingo 21/07/2024

Temperaturas registradas en Vinuesa.

Gráfica de temperaturas (media, máxima y mínima) del día 21 de julio de 2024, por horas.

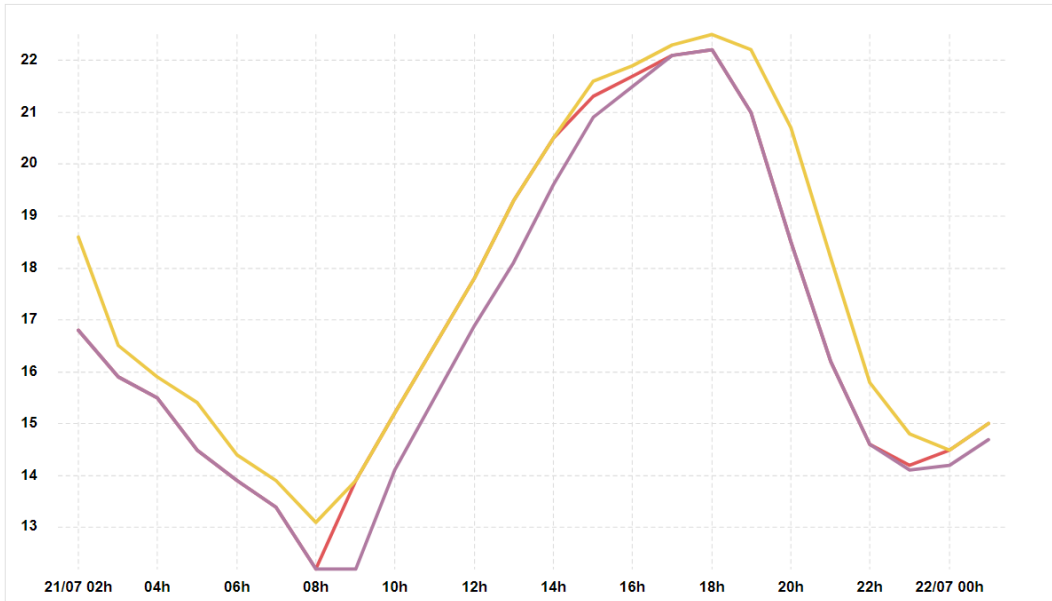


Figura 28. Temperaturas 21/07/2024

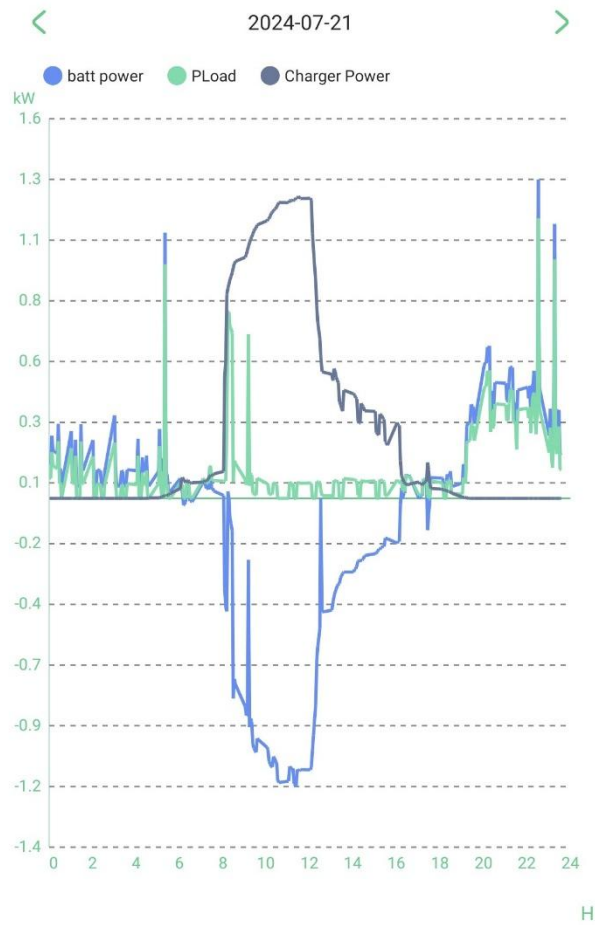


Figura 29. Datos 21/07/2024

Martes 23/07/2024

Temperaturas registradas en Vinuesa.

Gráfica de temperaturas (media, máxima y mínima) del día 23 de julio de 2024, por horas.

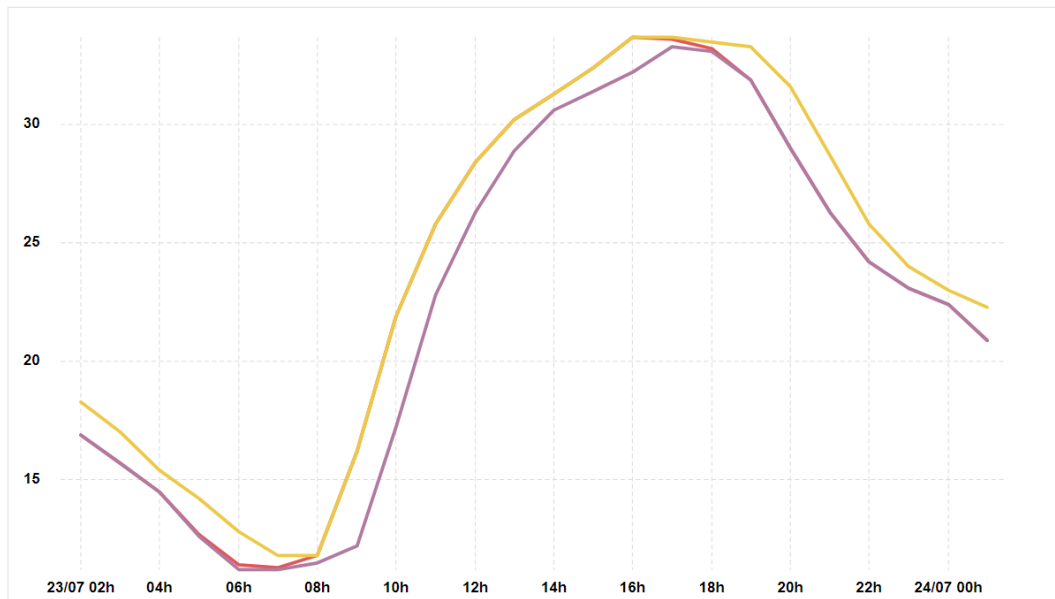


Figura 30. Temperaturas 23/07/2024

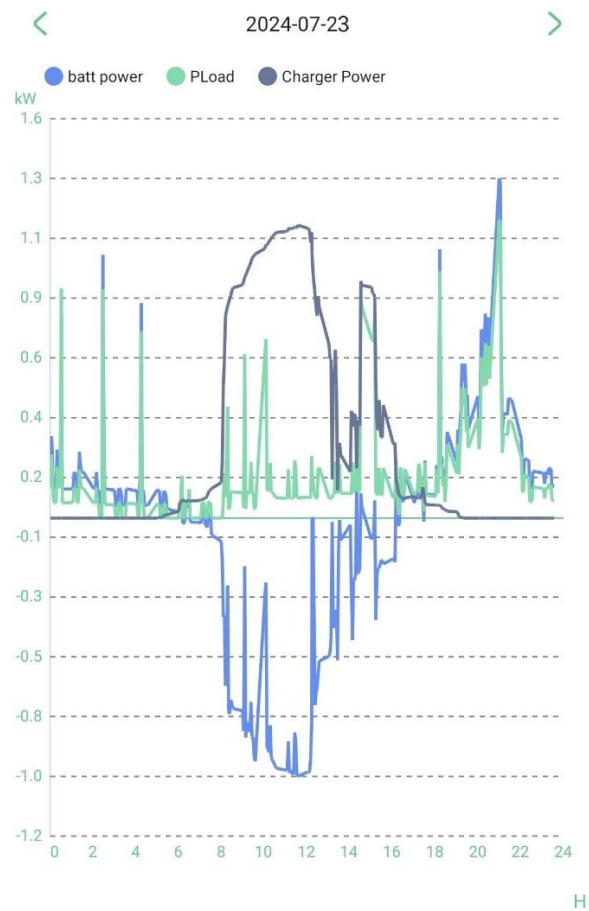


Figura 31. Datos 23/07/2024

Jueves 25/07/2024

Temperaturas registradas en Vinuesa.

Gráfica de temperaturas (media, máxima y mínima) del día 25 de julio de 2024, por horas.

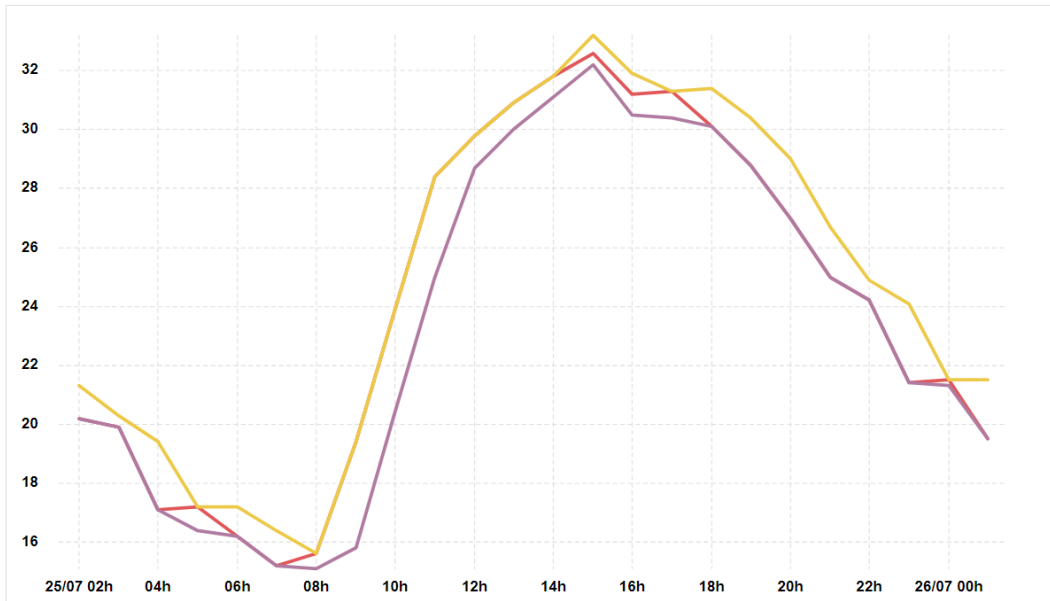


Figura 32. Temperaturas 25/07/2024

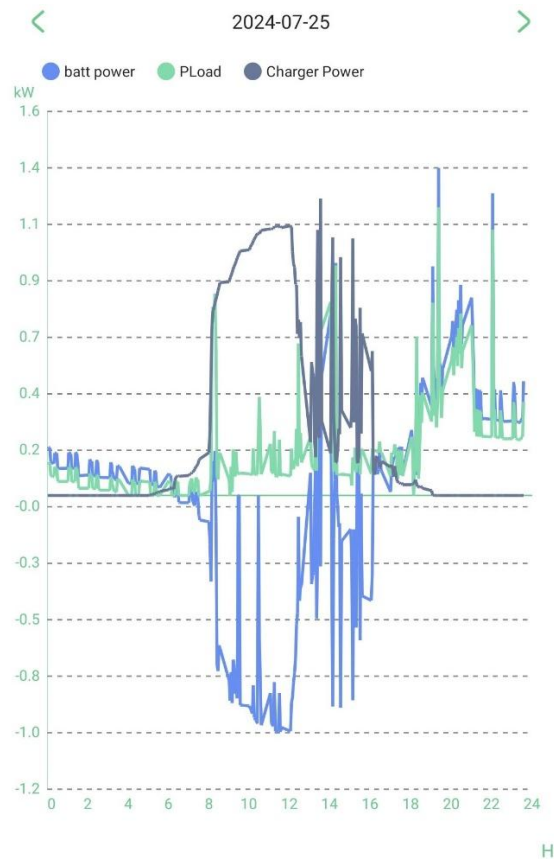


Figura 33. Datos 25/07/2024

2.3.8. Conclusiones y apreciaciones

En primer lugar se desean comentar ciertas apreciaciones generales que se pueden vislumbrar a lo largo de los distintos días de generación. Posteriormente se particularizarán situaciones concretas producidas en algún momento dado a lo largo del campamento.

El primer punto sobre el que focalizarnos es en la potencia entregada por el sistema a las horas de máxima generación, ya que gran parte de las simulaciones realizadas giran en torno a ello. En estos momentos concretos, el sistema aporta una potencia de entre 1 kW y 1,3 kW. Este valor cuadra con lo previsto ya que se encuentra entre la potencia de TONC esperada de los tres paneles, que sería 1043,25 W y la potencia de pico de los mismos, que sería 1380 W. Esto certifica que los valores aportados por el fabricante son fiables, así como fundamenta el dimensionamiento realizado.

Otro de los puntos a destacar, que certifica las previsiones realizadas es el cumplimiento de la Figura 6. Perfil de irradiancia en Herreros (Soria), ya que se puede apreciar como entre las 6:00 y las 7:00 comienza la generación de energía. A su vez, se aprecia como los valores tope de generación de energía se dan entre las 12:00 y las 13:00 donde la irradiancia también presenta sus valores máximos.

También se puede apreciar que entorno a las 13:00 la energía generada por el panel deja de ser utilizada y las baterías dejan de ser cargadas. Esto se debe a que las baterías alcanzan su máxima de capacidad y el inversor entra en un modo de protección de las mismas en las que la corta la alimentación. La aparición de este suceso puede variar en función del excedente de energía de la noche anterior y de los niveles de generación de esa mañana, pero habitualmente se mantiene en torno a esa franja horaria. En los momentos en los que se demanda energía, momentáneamente se consume energía de las baterías, pero tan pronto como es posible el consumo es cubierto por la generación de los paneles. Una vez se finaliza ese consumo, se cargan las baterías hasta su totalidad, de cara a tener una autonomía total para por la noche.

De forma adicional, se aprecia como siempre que es posible se cubre la demanda de energía con la energía generada en los paneles en lugar de con la energía almacenada en las baterías. Esto es debido a la gestión de la energía que ha sido programada en el inversor. Principalmente, esto se fundamenta en el aprovechamiento de dicha energía, ya que en el transcurso de carga y descarga de las baterías se producen ligeras pérdidas que afectarían a la eficiencia de la instalación.

En cuanto a los consumos constantes como son las cámaras refrigerantes se puede apreciar que hay 100 W de consumo constante que se corresponden con el arcón congelador y hay 100 W que oscilan con el tiempo, estos se corresponden con la cámara frigorífica, ya que el compresor de la misma no está funcionando constantemente.

Respecto a la gestión de la electrobomba, en la campa no había ninguna variación de altura que permitiera colocar los depósitos de agua con suficiente potencial como para ser distribuida desde ellos sin necesidad de bombeo, al menos para consumos considerables del agua. Es por ello, que se optó por una gestión más directa de la electrobomba, en la que se enciende siempre que se requería un caudal considerable de agua. Se puede apreciar en los consumos como en lugar de haber dos picos prolongados de 600 W que supondrían el llenado de los dos bidones, hay un mayor número de picos de menor duración. El número de picos y consumo necesario para la electrobomba está relacionado con el número de educandos presentes en el campamento, pues sobre todo en los grupos de menor edad, no se duchan todos los días.

Ha quedado demostrado que la temperatura no ha sido un factor decisivo en el funcionamiento de la instalación, pues al estar correctamente sobredimensionada, las inclemencias meteorológicas no han repercutido en el mismo. Cabe mencionar que en ningún momento se han sufrido situaciones considerablemente adversas, ya que los periodos nublados no han superado los 30 minutos y las precipitaciones no se prolongaron más de 10 minutos.

Otro de los factores que se aprecian es el consumo máximo producido en la instalación. A pesar de que tras la renovación del cableado la instalación está preparada para entregar 3 kW de potencia de carga, en ningún momento en todo el campamento se han superado cargas superiores a 1,3 kW. Con esto queda demostrado que la determinación de los grosores de cableado fue lo suficientemente conservadora, ya que aun suponiendo que dicho consumo fuese por la misma línea, los cables elegidos serían capaces de soportar hasta 1 kW adicional de potencia, sin suponer ningún riesgo a la instalación, ya que están diseñados para trabajar hasta 2300 W.

Por último, una vez evaluada la situación queda claro que la instalación ha sido dimensionada correctamente. Al evaluarla en este año parece que la instalación quizá esta excesivamente sobredimensionada, pero teniendo en cuenta que el objetivo era lograr la autosuficiencia y ser exclusivamente dependientes de la energía fotovoltaica, el dimensionamiento ha de ser conservador. Esta instalación en los meses de baja generación fotovoltaica no sería viable, ni tan siquiera en regiones donde el clima veraniego sea lo suficientemente estable como para tener una generación de energía mínima, pero en este caso el hecho de que el campamento para el que ha sido diseñada se celebre en julio en España permite ser energéticamente autosuficientes.

3. Conclusiones generales

3.1. Apreciaciones finales

A lo largo de este trabajo se han abordado las distintas fases correspondientes a la sustitución de una instalación eléctrica obsoleta por una instalación eléctrica que utiliza las energías renovables como método de generación. En primer lugar, se realizó un análisis de la instalación actual y el dimensionamiento de la primera fase de la renovación de la instalación. Posteriormente, se evaluó dicha primera fase y se establecieron los objetivos para una segunda fase de la renovación. El siguiente paso fue dimensionar la mencionada segunda fase de la renovación y diseñar una mejora de seguridad. Por último, se ha analizado el funcionamiento de la instalación, considerando la renovación como completada, y se han analizado las repercusiones que ha supuesto esta renovación en los distintos aspectos.

El objetivo principal de este proyecto era lograr disponibilidad energética durante las 24 horas del día, por medio de las energías renovables y logrando rentabilizar la inversión en la instalación en menos de 10 años. A partir de los resultados obtenidos, se puede afirmar que los principales objetivos han sido cumplidos con garantías y holgura, pues en todos los casos se han cumplido o incluso mejorado las expectativas de los mismos.

A continuación se exponen las distintas conclusiones derivadas del desarrollo del proyecto y que ofrecen los distintos puntos clave de cara a la implantación de una instalación eléctrica fotovoltaica:

- El dimensionamiento de la instalación fotovoltaica ha permitido satisfacer las necesidades energéticas del campamento, proporcionando una solución eficiente y sostenible. La capacidad instalada cumple con los requerimientos previstos para las actividades diarias sin necesidad de recurrir a fuentes de energía externas en condiciones estándar.
- Las tecnologías aplicadas han sido las adecuadas, ya que en todo momento han permitido obtener los niveles de generación y acumulación de energía deseados. A su vez las estrategias de optimización implementadas, como la orientación y la inclinación adecuada de los paneles, han contribuido a maximizar la captación solar y el rendimiento del sistema, permitiendo un aumento de la producción estimada.
- La instalación fotovoltaica permitirá reducir los costos energéticos anuales del campamento en gran medida. Considerando un periodo de vida útil de la instalación de 20 años, a cada año le corresponde una amortización de 88,5€ lo que se traduce en porcentaje de ahorro del

55,75% en comparación con el gasto de 200€ que se producía anteriormente. En conclusión, la renovación genera un impacto económico positivo a largo plazo.

- La instalación fotovoltaica permite reducir la huella de carbono del campamento, a su vez refuerza el compromiso con la sostenibilidad, educando a los jóvenes sobre el valor de las energías limpias.
- El éxito de la instalación fotovoltaica en este campamento juvenil puede ser replicado en otras instalaciones similares, promoviendo un modelo energético sostenible que beneficia a los usuarios de dichas instalaciones y contribuye a la lucha contra el cambio climático.

3.2. Vías de mejora

Por último, las posibles vías de optimización o expansión del sistema son las siguientes:

- Implementar estructuras en los paneles con el fin de trackear el punto de máxima potencia. Para ello, las estructuras contarán con mecanismos que permitan realizar el seguimiento solar. De cara a este seguimiento surgen dos opciones. La primera de ellas se basa en un motor destinado a rotar la estructura con una velocidad de rotación muy baja, de modo que durante un todo el día vaya girando a la misma velocidad que el sol. La segunda opción sería más compleja pues en lugar de emplear un motor con velocidad constante, se optaría por ajustar dinámicamente la orientación de los paneles en función de la posición exacta del sol. Para ello se utilizarían sensores de irradiancia o medidores de corriente y tensión tratando de encontrar el punto de máxima potencia. A su vez, por medio de un software habría que tratar los datos de irradiancia o tensión y corriente para determinar el giro de la estructura. Aunque la segunda opción es más eficiente en términos de producción energética, también implica un mayor coste inicial y un mantenimiento más complejo debido a la necesidad de componentes adicionales y sistemas de control avanzados.
- Implementación de sensores de capacidad en los bidones de agua. En este caso se implementarían unos sensores de capacidad en los bidones de agua. Se establecería la comunicación entre estos sensores y un interruptor encargado de accionar la electrobomba, de modo que cuando los bidones se encuentren por debajo de un umbral mínimo de capacidad, se encendería la electrobomba para rellenarlos de forma automática.
- Implementación de un sistema de iluminación inteligente. Utilizar luminarias LED con sensores de movimiento y fotocélulas que se activen

solo cuando sean necesarias. Se implementarían en las zonas comunes como el comedor, los fregaderos y la zona de aseo. Este sistema reduciría el consumo energético durante la noche, asegurando al mismo tiempo la seguridad y comodidad de los usuarios.

- Expansión por medio de microinversores: A priori no se contempla ningún tipo de ampliación en la instalación, ya que con la instalación actual hay un excedente de energía considerable. Aun así, hay que tener claro que en caso de precisar una ampliación, esta debería ser realizada por medio de microinversores, dado que el actual inversor no tiene capacidad para más potencia. Estos microinversores permiten realizar una ampliación modular pues funcionan de manera independiente y más eficiente, pues se disminuyen las pérdidas por potencia y se optimizan de forma individual .

3.3. Repercusiones sociales, económicas, de seguridad y salud, ambientales

En este apartado se analizarán las repercusiones que ha supuesto la implantación de este proyecto en su entorno. Se optan por analizar las repercusiones que se dan como consecuencia a los principales objetivos determinados al inicio del proyecto.

En este proyecto se da mucha importancia a las repercusiones que pueda suponer el mismo, ya que los usuarios están interactuando con la instalación eléctrica en todo momento y el funcionamiento de la misma afecta directamente a la realización del campamento.

3.3.1. Repercusiones sociales

En este punto vamos a tratar como afecta socialmente a las personas que son usuarios directos de la instalación y también como afectan acciones como estas a la sociedad como conjunto.

Acerca de los usuarios habituales, estos han visto mejoradas considerablemente sus comodidades en el campamento, ya que ahora se dispone de energía durante las 24 horas del día, incluso durante un periodo del día se dispone de energía sin costes lo cual abre un amplio abanico de posibilidades de cara a las actividades.

Otro de los hechos que les afecta directamente es la independencia y centralización de la instalación. Anteriormente, había que designar encargados para cada día de ir a arrancar tanto el generador y la motobomba cuando hubiera una demanda eléctrica o de agua, respectivamente. Con el cambio de instalación, se ha podido prescindir de ese cargo y responsabilidad, ya que en ningún momento hay que manipular ni encender ningún elemento en la instalación.

Adicionalmente, este proyecto repercute indirectamente en la sociedad, ya que la instalación fotovoltaica educa a los participantes del campamento en la viabilidad, comodidad y ventajas de las energías renovables. Cabe destacar, que para niños menores a los 14 años la instalación fotovoltaica ha resultado especialmente llamativa, despertando una gran curiosidad en ellos. Educando a las nuevas generaciones en la sostenibilidad por medio de las energías renovables es un buen argumento que a largo plazo permitirá que el crecimiento de las plantas fotovoltaicas siga su curso.

3.3.2. Repercusiones económicas

Este ámbito ha sido de gran importancia en todo momento durante el desarrollo del proyecto. A lo largo del proyecto ha influido directamente de dos formas. La principal de ellas ha sido en la justificación del proyecto, pues uno de los objetivos era lograr rentabilizar la instalación en los primeros 10 años de vida útil.

Una vez sabida la importancia de lograr la rentabilidad a 10 años, el segundo factor a tener en cuenta es la capacidad económica que se disponía para afrontar los distintos gastos, ya que al estar destinado el proyecto a un grupo scout, que es una organización sin ánimo de lucro, la capacidad de capital que tiene es mínima. Este es uno de los motivos por el cual la instalación de la instalación se ha producido a lo largo de dos años.

En este apartado se presenta un balance de cuál ha sido el coste total de la instalación, en el que se recogen todos los gastos que se han producido a lo largo de la instalación. A continuación, se compara con los gastos producidos con la anterior instalación y se calcula el momento a partir del cual se rentabiliza la nueva instalación fotovoltaica.

Gastos instalación fotovoltaica			
Unidades	Producto	Precio Ud	Precio total
1	Inversor 3000 W 24V	379,90 €	379,90 €
3	Panales solar 460 W	109,79 €	329,37 €
4	Baterías GEL 12 V 150 Ah	142,90 €	571,60 €
20	Tubo LED 17 W - 150 cm	4,99 €	99,80 €
4	Cables conexión batería	7,00 €	28,00 €
1	Cable tripolar 1,5 mm ² - 100 metros	87,60 €	87,60 €
1	Cable tripolar 2,5 mm ² - 50 metros	68,60 €	68,60 €
1	Electrobomba	134,95 €	134,95 €
1	Cuadro auxiliar seguridad	19,90 €	19,90 €
1	Datalogger Wifi	47,99 €	47,99 €
		TOTAL	1.767,71 €

Figura 34. Gastos instalación fotovoltaica

Tal y como se puede apreciar el coste total de la implantación de la instalación fotovoltaica es de 1767,71€. Teniendo en cuenta que el gasto total de gasolina, teniendo en cuenta el consumido en el generador y en la motobomba, ascendía a unos 200€ anuales, se puede concluir que la instalación será rentabilizada a partir del noveno año de uso. A partir de ese punto, comenzaría la rentabilidad económica, pues una vez la instalación ha sido amortizada se ahorrarían unos 200€ anuales, correspondientes al combustible que se deja de consumir.

Esa remanente económico podría ser destinado a cubrir la sustitución de alguno de los componentes de la instalación en caso de avería o fin de su vida útil. La sustitución de las 4 baterías podría ser llevada a cabo en el año número 12 de la instalación, sin afectar a la economía del grupo, lo cual está muy por

debajo de la vida útil de las mismas. Si se optara por sustituir las baterías y los paneles de forma simultánea, esta sustitución estaría cubierta a partir del año 14 de la instalación. Con esto se verifica el cumplimiento del objetivo de lograr amortizar la instalación en menos de 10 años, así como se justifica un posible plan renove en un periodo muy inferior a su vida útil, lo cual demuestra la rentabilidad que tiene la energía fotovoltaica en este tipo de aplicaciones, sobre todo en comparación con el generador de gasolina.

3.3.3. Repercusiones de seguridad y salud

En cuanto a este campo, la instalación ha experimentado una gran mejoría. En materia de seguridad, se ha protegido la instalación tanto eléctricamente como medioambientalmente.

Respecto a la parte eléctrica, se ha añadido un cuadro auxiliar con el objetivo de mejorar en cuanto a la seguridad, ya que aísla la parte de la instalación del consumo de la parte de la generación. También se ha implementado la pica de tierra y se han conectado todas las tomas de tierra de la instalación, que hasta ahora no estaba conectado. Adicionalmente, con la renovación del cableado se ha disminuido el riesgo de sobretensiones, cortocircuitos y distintos problemas que pueda acarrear una instalación eléctrica mal dimensionada. También se han renovado los distintos conexiones del cableado, esto cobra alta importancia al tener en cuenta que es una instalación eléctrica que esta parcialmente a la intemperie y expuesta a las distintas inclemencias meteorológicas. En definitiva, ha pasado de ser una instalación móvil, sin seguir ningún protocolo ni norma aplicado sobre ella, a una instalación eléctricamente mucho más segura, que permite que todos los usuarios puedan usarla con garantías ante cualquier imprevisto.

Respecto a la parte medioambiental también se ha producido una mejora considerable, fundamentada en el cambio de suministro de potencia. Anteriormente, el generador de gasolina utilizaba un motor de combustión que suponía un riesgo considerable de incendio, más teniendo en cuenta que la instalación se ubica habitualmente en un ambiente forestal seco propenso a incendios. Actualmente, con el cambio de la instalación, este riesgo desaparece por completo ya que no se precisa de ningún tipo de combustión para la generación de energía. Cabe destacar, que los agentes forestales que realizaron la revisión del campamento resaltaron en sus informes y pusieron en valor la ausencia de cualquier tipo de generador, que podría suponer un riesgo de incendio.

En conclusión, este proyecto ha repercutido muy positivamente en lo que a la materia de seguridad respecta. Anteriormente, la instalación estaba expuesta a cualquier tipo de imprevisto y el entorno no estaba completamente preparado

para soportar dicho imprevisto. A día de hoy, la instalación es completamente segura y puede ser utilizada sin riesgos.

3.3.4. Repercusiones ambientales

Respecto a la materia ambiental, se ha mejorado de forma considerable con la forma en que repercute la instalación eléctrica hacia el ecosistema en el que se encuentra el campamento.

Anteriormente, con el generador de gasolina se afectaba al entorno con los ruidos producidos por este, se alteraba el entorno para construir un cerco de seguridad a modo de cortafuegos a su alrededor y se producía la propia combustión que implicaba un aumento de temperatura en dicha zona. También hay que tener en cuenta que durante la combustión se produce el escape de gases que pueden ser nocivos para distintas especies.

Debido a todo lo comentado anteriormente, con la anterior instalación se alteraba el ecosistema desplazando a distintas especies de la zona debido a los gases. También debido a los gases y aumento de temperatura en los alrededores de la zona del generador, se secaba la hierba o incluso llegaba a desaparecer, lo cual posteriormente implicaba un largo periodo de regeneración.

Con la nueva instalación las repercusiones ambientales son mucho menos tangibles, pues en ningún momento se producen ruidos elevados ni se expulsan gases nocivos. A su vez, con la nueva instalación no es necesario hacer ninguna modificación del terreno para su implantación.

Se puede afirmar, que mientras la anterior instalación era perjudicial para las distintas especies presentes en el ecosistema del campamento, la nueva instalación apenas repercute en el medioambiente, por lo que el cambio ha supuesto una cuantiosa mejoría en lo que a la materia ambiental se refiere.

Bibliografía

A continuación se presentan las distintas fuentes que se han utilizado a lo largo del desarrollo del proyecto. Adicionalmente, en los Anexos incluyen los distintos DataSheets de los componentes empleados en la instalación:

- **Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).** (2024). *Atlas de radiación solar en España*. Disponible en <https://www.aemet.es/es/>
- **Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).** (2024, agosto). *Informe del clima en julio 2024*. Disponible en <https://www.aemet.es/es/noticias/2024/08/informe-julio-2024>
- **Asociación Española de Normalización (UNE).** (2017). *Norma UNE-20460: Instalaciones eléctricas de baja tensión*.
- **Cano, A., & Ruiz, M.** (2020). *Manual técnico de instalaciones fotovoltaicas*. Thomson Reuters.
- **Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).** (2017). Norma IEC 60228: Conductores de cables aislados.
- **Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).** (2017). Norma IEC 61724-1: Monitorización del rendimiento de sistemas fotovoltaicos – Parte 1: Requisitos generales.
- **European Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).** (s.f.). *Base de datos de irradiancia fotovoltaica en Europa*. Disponible en <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- **Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE).** (2023). *Levelized cost of electricity - Photovoltaics 2023*.
- **Green, M. A.** (2006). *Third generation photovoltaics: Advanced solar energy conversion*. Springer.
- **Hankins, M.** (2021). *Off Grid Solar Power Simplified: For RVs, Vans, Cabins, Boats and Tiny Homes*. Solar Books.
- **Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.** (2023). *Guía de Autoconsumo Energético 2023*.
- **Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.** (2019, 5 de abril). *Real Decreto 244/2019, por el que se regula el autoconsumo de energía eléctrica*. Boletín Oficial del Estado (BOE), núm. 83, pp. 35674-35719. Disponible en <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244>
- **Rasouli Dogahneh, V., & Puig, V.** (2019, abril). *Tilt angle optimization of photovoltaic panels*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
- **X-Y Meteorología.** (s.f.). *Datos climatológicos de Vinuesa (Soria)*. Disponible en <https://x-y.es/aemet/est-2005Y-vinuesa>

Anexos

En los anexos se incluye el Excel que se ha empleado para las distintos cálculos y la obtención de las distintas imágenes presentes en el trabajo. En él se incluyen seis hojas que se corresponden con los cálculos del Año 0 (Evaluación y análisis de la instalación inicial), con los cálculos del Año 1 (Primera modificación), los cálculos del año 2 (Segunda modificación), la estimación de la evolución de la carga de las baterías (Estimación de generación y estado de las baterías), los datos de temperatura y las cuentas económicas.



TFG.xlsx

También se incluyen todas las DataSheets completas de los distintos elementos que forman la instalación. A lo largo del documento se han ido detallando las datos en capturas más concretas, pero aquí están disponibles en su totalidad.



Karcher BP 5000.pdf



Karcher BP 5000 completo.pdf



GENERADORES_E50 00.pdf



Ficha-tecnica-EM46 0-PH_V1.pdf



FICHA-INVERSOR-M UST-3000W-24V-MP



Bateria-GEL-12V-15 0Ah-Tensite.pdf



Bateria-AGM-12V-1 50Ah-Tensite.pdf

Por último, con el objetivo de ilustrar la instalación definitiva que se ha implantado, se realizaron una serie de fotografías de los distintos componentes que se presentan a continuación:



Figura 35. Vista general de la instalación

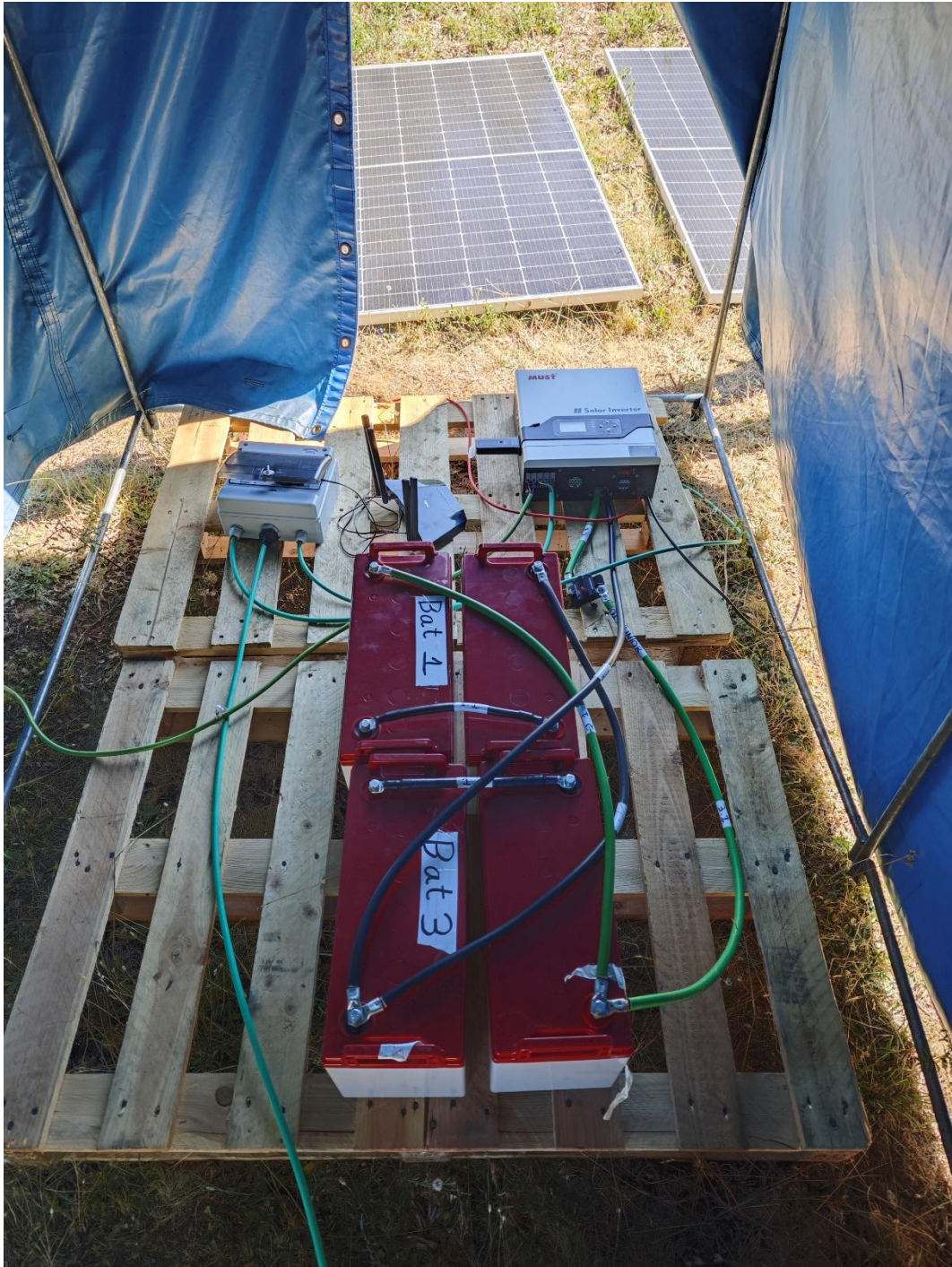


Figura 36. Vista interna de la instalación (Inversor, baterías, router y cuadro auxiliar)



Figura 37. Conexiones del inversor

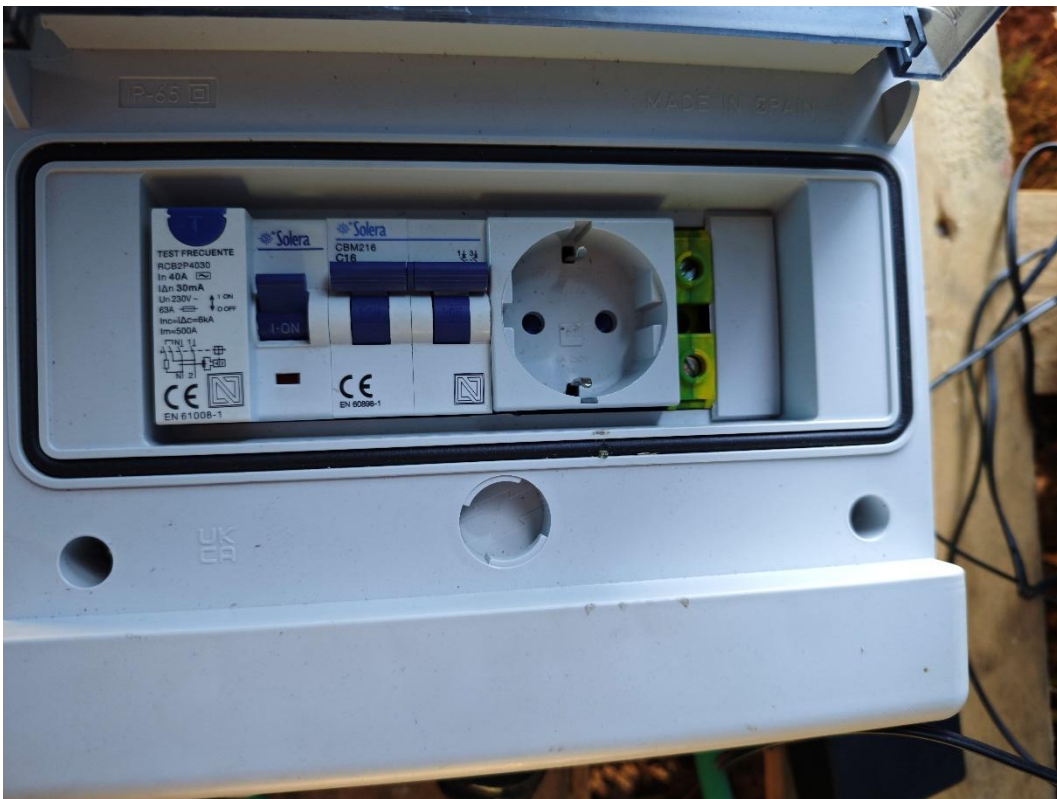


Figura 38. Cuadro auxiliar de seguridad



Figura 39. Conexionado de las baterías

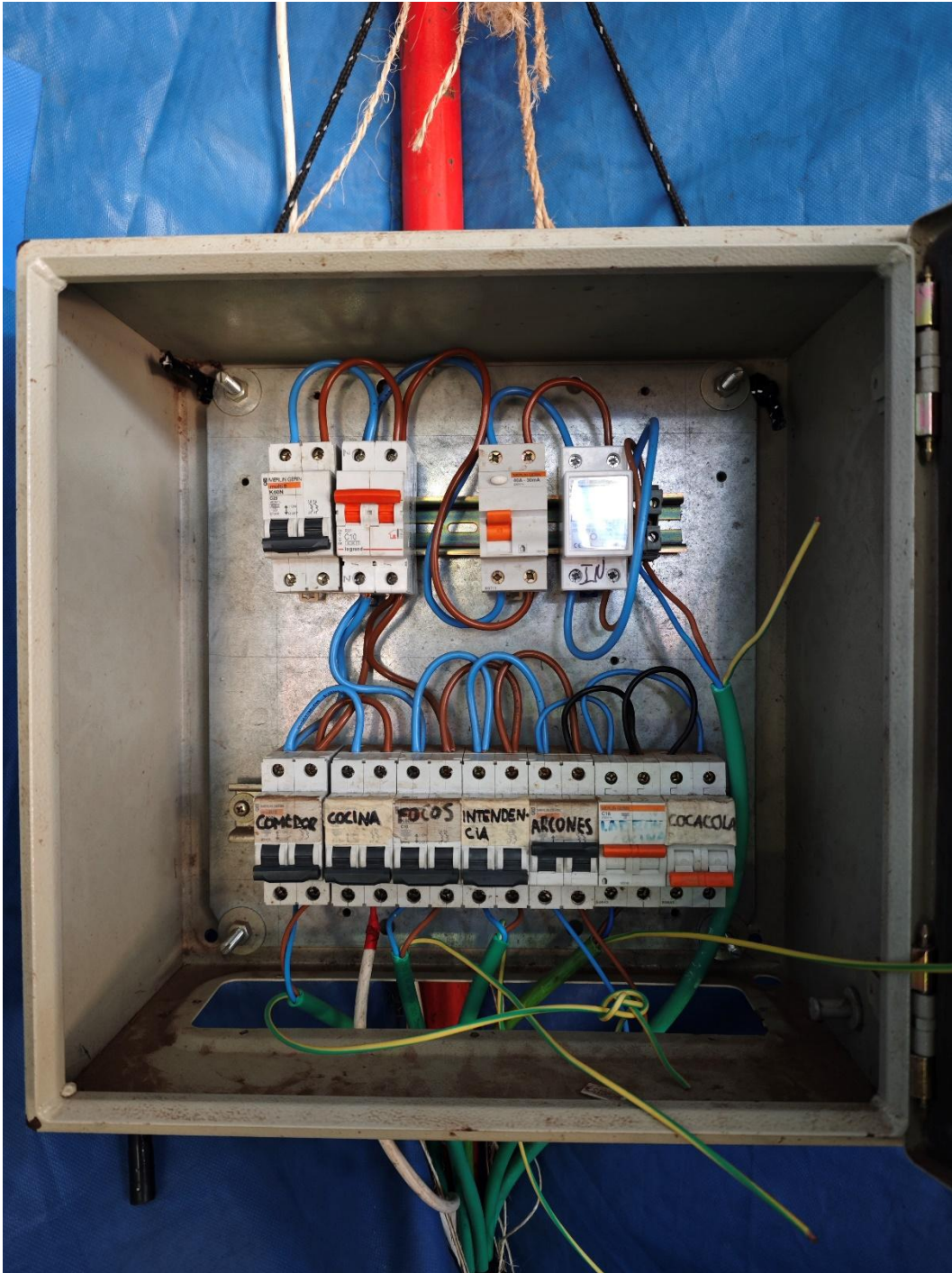


Figura 40. Cuadro principal de conexiones