



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

## Instalación y puesta en marcha de una fuente de alimentación autónoma medioambientalmente sostenible

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

**Autor:** Nicolás Alajarín Bernal  
**Director:** Ramón Francisco Pamies Porras  
**Codirector:** Diego Alcaraz Lorente



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

Cartagena, 10 de abril de 2020



# Resumen

El proyecto consiste en el diseño, instalación y comprobación de una estación de medición autónoma que produzca su propia energía.

El objetivo del proyecto es agrupar, como guía, los diferentes pasos que se han realizado para conseguir el objetivo principal: Poner en funcionamiento un sistema de energía autónomo, verde y sostenible, con el que alimentar a los equipos de medición fijos en la estación.

El sistema de energía que se ha desarrollado consiste en una pila de combustible, paneles solares y un banco de baterías asociado. Utilizando la tecnología existente y adquirida, se ha diseñado e instalado los equipos necesarios para el funcionamiento "autopropulsado" de la estación de investigación en Skarvan, Hessdalen.

La estación está situada a 1000 sobre el nivel del mar, y por lo tanto el grupo del proyecto ha tomado las consideraciones necesarias a este respecto.

## Gracias a

Me gustaría dar las gracias al equipo de trabajo que hizo esto posible: David Stipa, Eskil Eriksen y Tom Mauno; quien me aconsejó y guio para completar con éxito el proyecto.

También dar las gracias a la supervisora del proyecto Anna-Lena Kj-øniksen, por su buena orientación a lo largo del proyecto. Así como a Bjorn Gitle Hauge por gestionar todo el proceso de instalación.

Sin olvidarme de la estimable ayuda de Ramón Francisco Pamies Porras que me ha echado una mano a la hora de elaborar, corregir y mejorar el presente proyecto así como resolverme todas las dudas que me han ido surgiendo a lo largo del mismo.

Agradecer también a la Universidad Politécnica de Cartagena, por haberme dado la oportunidad de llevar a cabo este proyecto, de tan encomiable desarrollo profesional y personal para mí, así como a todos sus profesores, por todos sus conocimientos impartidos y que he adquirido a lo largo de los años gracias a su labor.

Finalmente, dar las gracias a Kevin Andresen y Marion Fjeldly por ayudarnos a hacer posible la instalación.

# ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1- ANTECEDENTES.....	1
1.2- ENERGÍA SOLAR.....	2
1.2.1- TECNOLOGÍA EN USO PARA CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	5
1.2.2- TECNOLOGÍA EN DESARROLLO PARA CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	7
1.3- DESCRIPCIÓN DE LA BASE.....	8
2.- OBJETIVOS.....	11
3.- BASE SKARVAN.....	12
3.1- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENERGÍA INSTALADA.....	12
3.1.1- ENERGÍA Y PANELES SOLARES.....	12
3.1.2- BANCO DE BATERÍAS.....	18
3.1.3- REGULADOR FOTOVOLTAICO.....	22
3.1.4- INVERSOR.....	26
3.1.5- MOTOR GENERADOR.....	31
4.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
4.1- OBJETIVO PRINCIPAL.....	32
4.2- MATERIALES.....	32
4.3- EL EQUIPO HUMANO.....	33
4.4- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....	33
4.4.1- PILA DE COMBUSTIBLE.....	34
4.4.2- BANCO DE BATERÍAS.....	41
4.3.3- MODEM GSM.....	41
5- RESULTADOS.....	43
5.1- CONSIDERACIONES PREVIAS.....	43
5.2- FASES DEL PROYECTO.....	43
5.2.1- FASE 1: DESCONEXIÓN Y TRANSPORTE.....	44
5.2.2- FASE 2: REVISIÓN Y PRUEBA DE EQUIPOS.....	47
5.2.3- FASE 3: PLANIFICANDO EL TRANSPORTE DEL MATERIAL HACIA HESSDALEN.....	51
5.2.4- FASE 4: INSTALACIÓN.....	53
5.2.5- RESUMEN DE LA INSTALACIÓN.....	55
6.- CONTROL Y MONITORIZACIÓN.....	56
7.- CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....	62
8.- BIBLIOGRAFÍA.....	62
<b>ANEXO I.....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO II:.....</b>	<b>76</b>

## 1.- INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se presentan los antecedentes del proyecto, una breve explicación sobre la tecnología energética que se pretende utilizar, así como una descripción de la estación donde se planea instalar la fuente de alimentación.

### 1.1- ANTECEDENTES

El proyecto Hessdalen es un proyecto que se inició en 1983. A finales de 1981 a 1984, los residentes del Valle avistaron y dieron la alarma por la aparición de unas luces extrañas, aparentemente inexplicables, que aparecieron en diferentes lugares del Valle. Se realizaron, de forma aproximada, cientos de avistamientos a lo largo de este periodo. En el pico de la actividad había unos 20 informes por semana.

Hoy en día, este proyecto entrelaza un acuerdo de colaboración entre el Departamento de Tecnología de la Información y el Departamento de Ingeniería de la Universidad de Østfold.

El proyecto se estableció después de avistarse una serie de fenómenos lumínicos desconocidos en Hessdalen, a las afueras de Róros, en Noruega, fenómenos conocidos como Fenómeno Hessdalen.

El propósito principal del Proyecto Hessdalen se centra en la búsqueda de este fenómeno, así como procurar averiguar bajo qué factores determinados se producen y encontrar un porqué de su existencia.

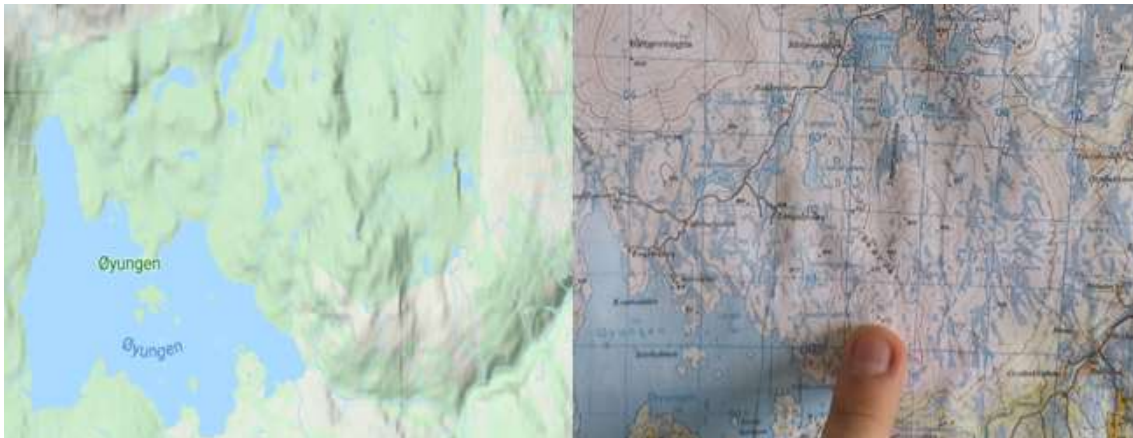
Hoy en día, el Proyecto Hessdalen tiene una estación de medición automática (AMS) ubicada en Hessdalen, mostrada en la figura 1.1.

Esta estación de medición, al no estar conectada a la red eléctrica, precisa de un sistema propio de producción de energía. La estación tiene diversas cámaras conectadas, orientadas según los puntos cardinales. Además, la estación consta del equipo preciso con el que realizar mediciones meteorológicas, de radiación electromagnética, así como un magnetómetro y un llamado "sensor de regeneración" conectado.

En este punto, el Proyecto Hessdalen demanda un sistema de energía autónomo y sostenible con el que alimentar la estación de medición permanentemente. De esta manera, se posee la plena libertad y autonomía para establecer el emplazamiento óptimo en el que emplazar la estación de medición sin tener en cuenta la red eléctrica.



*Figura 1.1 Base de Skarvan*



*Figura 1.2 Lugar en el mapa de la base de Skarvan*

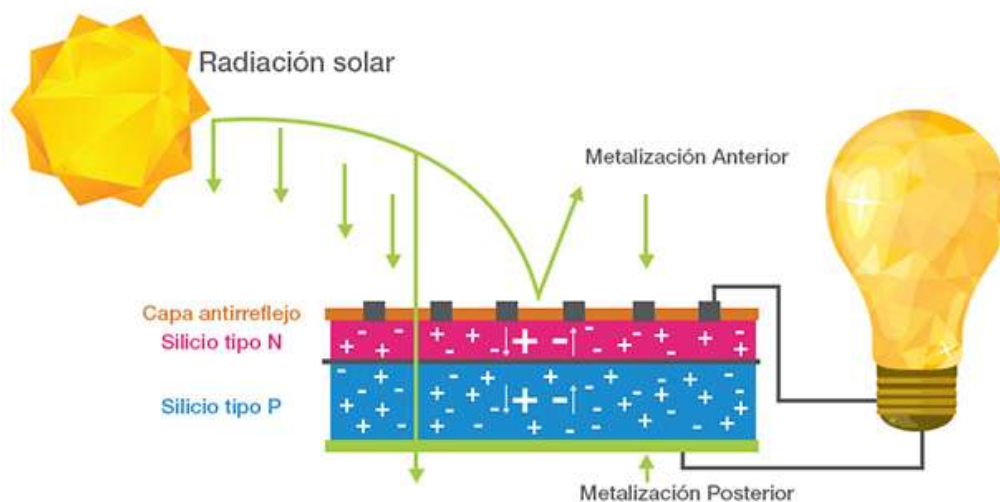
## 1.2- ENERGÍA SOLAR

Como introducción al término, se puede definir la energía desde una perspectiva puramente física como aquella propiedad o capacidad perteneciente a los cuerpos o sistemas mediante el cual son capaces de transformarse a sí mismos, cambiando su estado, o bien ejerciendo una influencia sobre otros cuerpos.

La energía solar se define como aquella energía que proviene del Sol. La energía que nos llega desde el Sol se cuantifica en aproximadamente 1.559.280 TWh, siendo de esta cantidad solo aprovechable el 1% ( $>1000\text{TW}$ ). Dicha energía llega a la Tierra en forma de radiación, y se puede aprovechar mediante dos tecnologías: térmica o fotovoltaica.

Ambas formas se diferencian principalmente en la transformación que sufre la energía. En el primer caso, la energía recibida del Sol es transformada en energía térmica, y en el segundo caso es transformada en energía eléctrica.

En este segundo caso, dicha transformación es posible gracias al efecto fotovoltaico, producido en las llamadas células fotovoltaicas, gracias al cual es posible, mediante materiales semiconductores (silicio principalmente), transformar la energía solar en energía eléctrica. Por razón de las pérdidas que se perciben en la transformación fotovoltaica, solo se es posible de forma general aprovechar aproximadamente el 15% de la radiación solar incidente en los módulos fotovoltaicos.

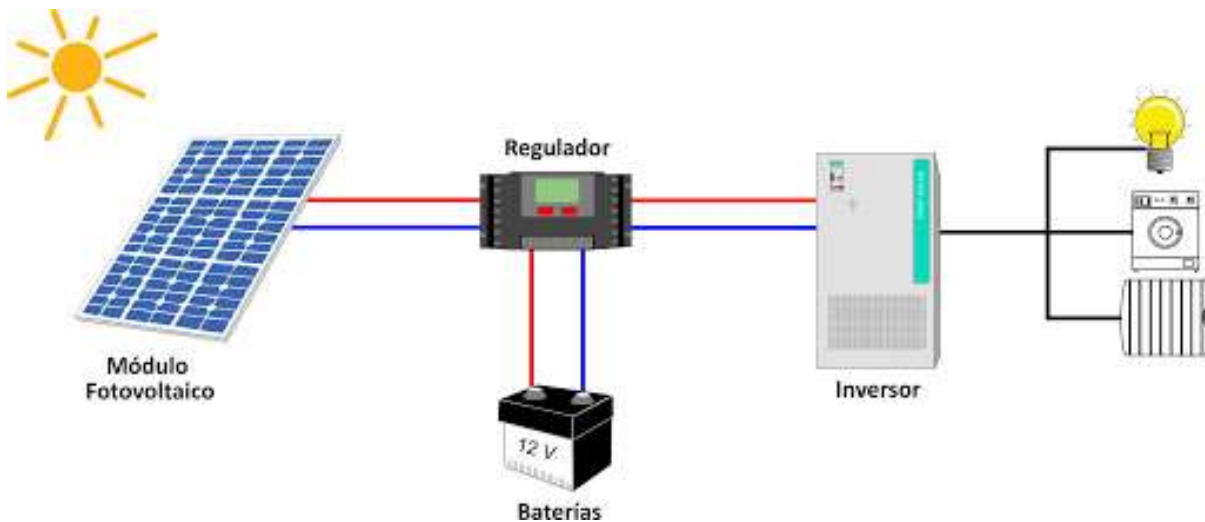


*Figura 1.3. Efecto fotovoltaico*



Para aprovechar esta energía solar y el efecto fotovoltaico, suponiendo un sistema aislado, se hace necesario disponer de un sistema basado en los siguientes componentes o subsistemas:

1. Captación
2. Almacenamiento
3. Regulación
4. Inversor



*Figura 1.4 Componentes de una instalación fotovoltaica aislada*

El proceso de captación es desempeñado por el módulo fotovoltaico, que se encuentra en una posición tal de manera que sea capaz de conseguir la mayor cantidad de radiación solar posible, siendo el lugar donde resulta la transformación de la radiación solar en energía eléctrica gracias al efecto fotovoltaico. Esta energía eléctrica, es recogida por el regulador.

El regulador es un dispositivo encargado de ejercer un control entre la energía recibida de los módulos fotovoltaicos y la que ha de recibir el subsistema de almacenamiento, representado por un banco de baterías, donde se almacena la energía eléctrica. Esto es necesario para evitar sobrecargas en las baterías. Dicho banco de baterías sirve para almacenar la energía eléctrica de tal manera que, en ausencia de radiación solar, el sistema eléctrico sea capaz de seguir suministrando energía a los usuarios.

Por otro lado, al generarse la electricidad en corriente continua, para ser aprovechable para el usuario, se hace necesario disponer de un subsistema que se encargue de transformar dicha corriente continua en corriente alterna aprovechable. Esta transformación es posible gracias al inversor. El inversor es un dispositivo que, mediante puente de diodos, es capaz de transformar la corriente continua en corriente alterna, trasladando ésta finalmente a los usuarios.

Este sistema genérico, variará en sus características en función de la configuración final a la que irá destinado el sistema, ya sea para autoconsumo o para inyección en la red eléctrica.

Respecto a la situación en la que se encuentra esta tecnología en Europa, España se encontraría en el quinto lugar en potencia solar instalada. No obstante, si se midiera el peso que esta tecnología posee sobre el total de la capacidad instalada en cada país, España se encontraría en el décimo tercer lugar. En 2018 esta tecnología ocupó el tercer puesto en cuanto a producción y en el ranking de contribución de la energía solar al total de la producción de cada país, España ocupó el quinto puesto. Si esto se comparara con la ratio de generación sobre la potencia instalada, España ocuparía el segundo puesto.

### 1.2.1- TECNOLOGÍA EN USO PARA CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

La tecnología utilizada actualmente en la fabricación o construcción de células fotovoltaicas puede esquematizarse de la siguiente manera:

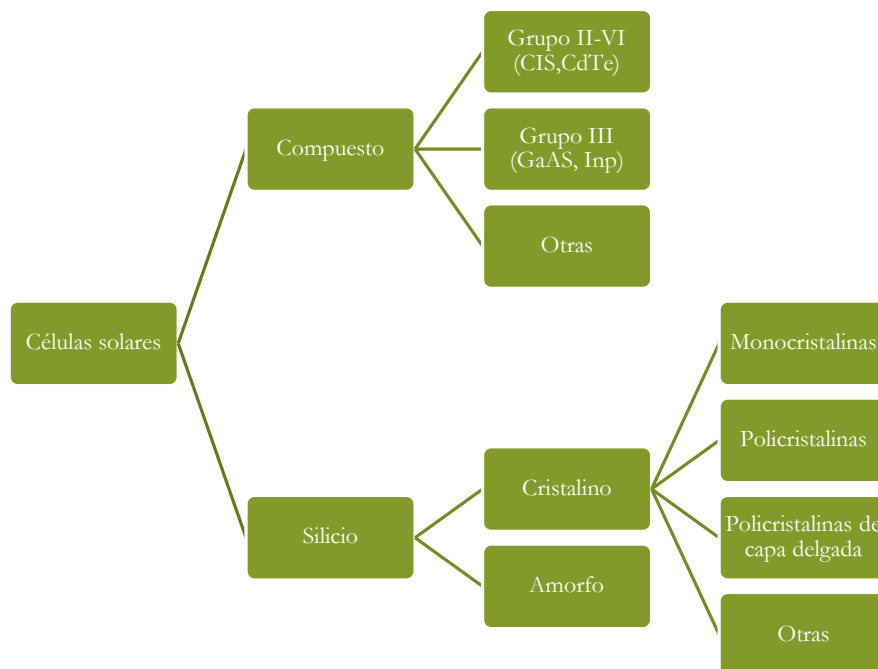


Figura 1.5 Tipos de células fotovoltaicas

El tipo de célula fotovoltaica más comercializada es la de silicio.

Se desglosa en la siguiente tabla las diferencias existentes entre los paneles solares de silicio:

Tabla 1.1. Células solares de silicio

Células	Silicio	Rendimiento teórico	Rendimiento real	Especificaciones	Elaboración
	Monocrystalino	24 %	15-18 %	Típicamente azules homogéneos, así como la conexión de las células individualmente entre sí (Czochralski)	Silicio puro fundido y dopado con boro
	Policristalino	19-20 %	12-14 %	Su superficie se estructura en cristales y contiene distintos tonos azules	Idéntico al monocrystalino, pero disminuyéndose el número de fases de cristalización
	Amorfo	16 %	< 10 %	Posee un color homogéneo (marrón), aunque no existe conexión visible entre las distintas células	Poseen la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como puede ser vidrio o plástico

A nivel comercial, el mercado ofrece una amplia variedad de tecnologías en células fotovoltaicas, siendo las más comunes las células monocristalinas y policristalinas de silicio.

El uso de silicio cristalizado ofrece una eficiencia media, con un coste relativamente medio. Estas células poseen una doble capa anti reflectante, así como una superficie frontal de pirámides invertidas, con el objetivo de minimizar las pérdidas de fuente óptica.

La mayor parte de células fotovoltaicas que encontramos en el mercado son de silicio monocristalino. Su proceso de fabricación consiste en la purificación del silicio, fundición y cristalización en lingotes. Fruto de ello, se corta en finas láminas denominadas obleas, consiguiendo células fotovoltaicas individuales. La eficiencia aproximada de este tipo de célula fotovoltaica es de un 30%.

Las policristalinas, mientras que posee un proceso de fabricación parecido a las monocristalinas, su diferencia reside en la menor calidad de la materia prima, el silicio, ahondado en la eficiencia final de la célula fotovoltaica, aunque a un coste menor.

Por otro lado, el silicio Ribbon, es aquel que durante el proceso de fabricación se alarga el silicio en forma de plancha en lugar de dejarlo en lingotes.

### 1.2.2- TECNOLOGÍA EN DESARROLLO PARA CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Existen algunas tecnologías que se encuentran en fase de desarrollo o investigación, dentro del marco de continuo cambio y mejora en el mercado de las células fotovoltaicas. Por mencionar algunas de estas tecnologías en fase de investigación podríamos mencionar como ejemplo las células bifaciales de fósforo y boro. Éstas presentan un rendimiento de aproximadamente un 19,2% por la cara dopada con fósforo y de un 18,1% por la cara del boro. Este tipo de tecnología consigue aprovechar la energía reflejada en su cara posterior, con lo que se aumenta así el aprovechamiento de la energía.

Otro tipo de tecnología es aquella denominada como nanotecnología. Este tipo de tecnología se combina con el plástico, teniendo la principal ventaja que se abaratan mucho los costes de fabricación. Así, las células fotovoltaicas se realizan en un material plástico que es barato a la par que flexible.

También se encuentra en desarrollo el uso de células solares super eficientes, con el objetivo de superar la eficiencia actual del 30% de energía solar.

Este tipo de tecnología nace del descubrimiento de que un material semiconductor conocido como InGaN (indio-galio-nitrógeno), en el caso de ser superpuesto en distintas capas, y en distintos porcentajes, es capaz de mejorar la energía absorbida procedente de los fotones. Esto es posible gracias a que este material es capaz de cubrir el total del espectro solar.

Por último, cabe mencionar la tecnología de triple unión. Este tipo de tecnología utiliza tres capas finas semiconductoras superpuestas una encima de otra. Con esto se consigue que las distintas capas absorban una luz diferente, absorbiendo la capa inferior la luz roja, la central la luz verde/amarilla, y la superior la luz azul. Gracias a esto, la eficiencia aumenta.

Este tipo de células se producen con una deposición en vacío sobre bobinas de acero inoxidable que se extienden. Esto tiene la ventaja de que el material y energía utilizada para este proceso es mucho menor al que se utilizaría en la fabricación de las células monocristalinas de silicio.

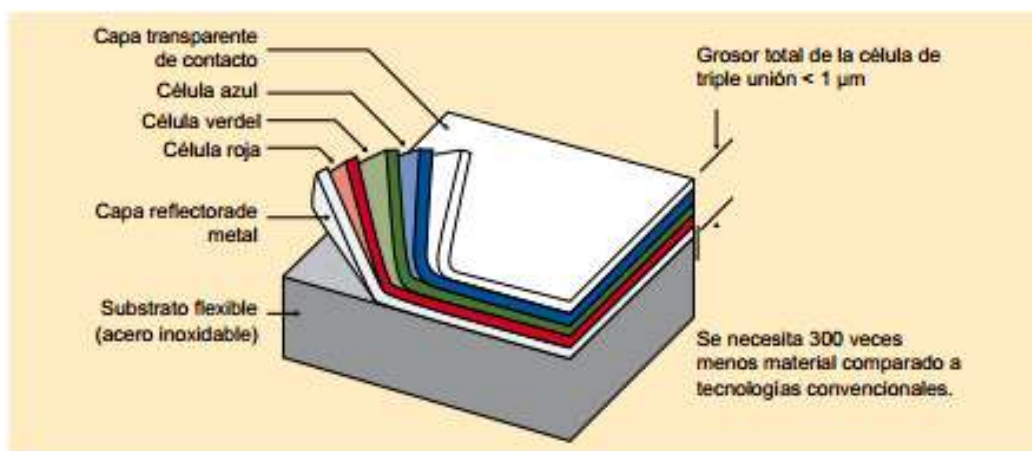


Figura 1.6 Tecnología de triple unión

### 1.3- DESCRIPCIÓN DE LA BASE

La estación Skarvan funciona como una estación de medición, y está compuesta por un sistema de control y de monitorización con el que asegurar la medición de los distintos parámetros. Esta estación de medición funciona con autonomía, pudiéndose controlar de forma remota a través de conexión a Internet, si así fuera necesario. Está compuesto por un simple contenedor de barracones móviles, tal y como se muestra en la figura 1.1.



Figura 1.7 Base de Skarvan

Dentro los barracones, hay una pequeña cocina, cuatro camas, un baño y la sala principal de ordenadores y otros equipos electrónicos.

En esta sala de ordenadores, se mantiene todo el equipo necesario para el control y el seguimiento de las cámaras y sensores. También incluye el control de potencia principal.



Figura 1.8 Sala de ordenadores y equipos electrónicos



Figura 1.9 Sistema de control

Estos barracones poseen como sistema principal de energía el correspondiente a un sistema fotovoltaico aislado. La fuente de energía se obtiene de los paneles solares, que se encuentran situados en perpendicular al suelo, pegados a la fachada lateral de los barracones, así como de un banco de baterías conectadas en paralelo, y como fuente auxiliar se posee un motor generador. El banco de baterías asociado es donde se almacena la energía producida mediante el efecto fotovoltaico en los paneles solares.

El sistema registra y envía datos meteorológicos y físicos, así como datos del sistema energético, a una base de datos, en un servidor externo ubicado en el Colegio Universitario de la Universidad de Østfold. Esta base de datos sirve para poder estudiar el fenómeno Hessdalen desde una perspectiva científica, procurando encontrar una relación entre dicho fenómeno y los parámetros meteorológicos y físicos que se recogieran en el momento del fenómeno, con el objetivo de esclarecer la naturaleza científica de las luces de Hessdalen.

El sistema de medición cuenta con varios sensores, diferentes entre sí, que se encargan de medir la temperatura interior, exterior, velocidad del viento, ráfaga de viento y la humedad. También se posee un sensor que detecta si se producen cambios electromagnéticos en el entorno en el caso de que el fenómeno ocurra. La estación también cuenta con un sistema de cámaras fijas. Estas cámaras se colocan cerca de la estación, debidamente protegidas, y orientadas en base a los puntos cardinales. El cometido de estas cámaras es el de, a medida que anochece, empezar a tomar una serie de instantáneas con cierta frecuencia (cada 60 segundos aproximadamente) a lo largo de la noche, para poder captar el fenómeno visualmente.

Como dato importante, se hace constar que la estación de investigación tiene un sistema de alarma con el que puede alertar si se produjeran condiciones no deseadas en el sistema, avisando remotamente.

## 2.- OBJETIVOS

*Diseño de una fuente de alimentación autónoma basada en energías renovables para ser instalada en una estación situada en un punto de difícil acceso.*

El objetivo principal del proyecto es el de diseñar, transportar e instalar una fuente de alimentación sostenible que permita un sistema de energía autónomo a la estación, con la que alimentarla con la energía suficiente para suministrar alrededor de 1200 Wh/día como máximo.

Para conseguir este objetivo, se opta por instalar:

- Una pila de combustible autónoma
- Bidones de combustible
- Banco de baterías

Una vez adquirido el material necesario, se pretende planificar el transporte apropiado con el que mover el equipo para satisfacer el objetivo principal del proyecto. Los paneles solares se encuentran ya instalados previamente en la estación de medición de Skarvan, siendo únicamente necesario el transporte de la pila de combustible, los bidones de combustible y el banco de baterías.

Para conseguir la pila de combustible, los bidones de combustible y el banco de baterías, se opta por utilizar y aprovechar el existente dentro de un tráiler situado a las puertas del campus de Halden, comprobando que el material requerido se encuentra en condiciones de uso para su utilización en el proyecto. El equipo recogido se probará en el campus y se realizará un cálculo de la energía producida en determinadas condiciones de funcionamiento. Este equipo por recoger está destinado a ser utilizado junto al equipo previamente instalado en Skarvan.



*Figura 2.1 Tráiler con paneles solares y el equipo en su interior*



### 3.- BASE SKARVAN

#### 3.1- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENERGÍA INSTALADA

La fuente de alimentación principal ya instalada está compuesta por cuatro paneles solares y un banco de baterías. Como energía de refuerzo, la base tiene un motor generador. En la figura 1.1 y la figura 1.4 se puede ver el sistema de energía mencionado.

El sistema de alimentación aislado es proporcionado por *POWER CONTROLS AS*

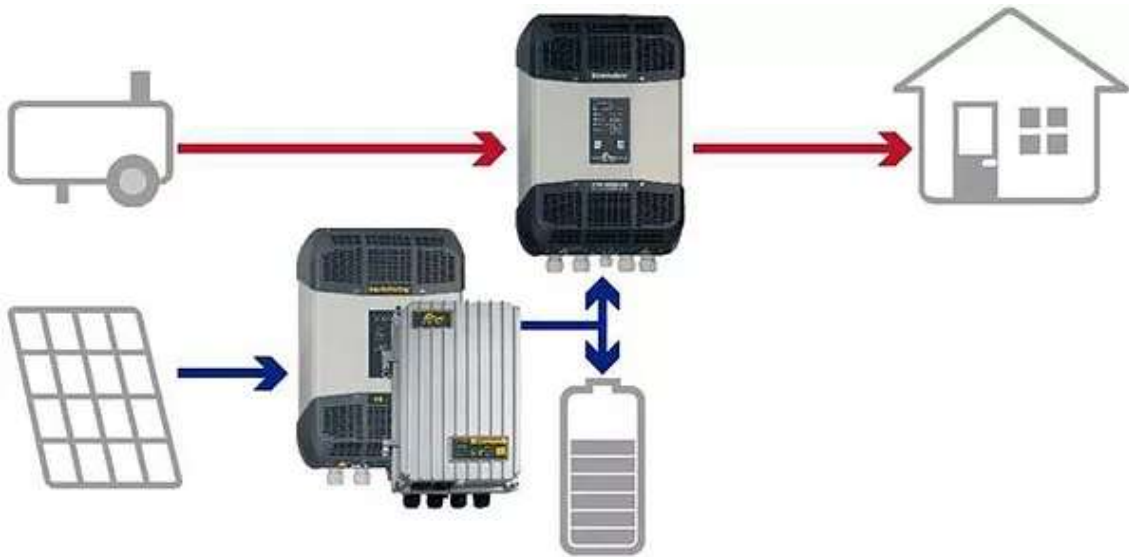


Figura 3.1 Esquema del sistema instalado

##### 3.1.1- ENERGÍA Y PANELES SOLARES

Definimos la energía solar como aquella energía procedente directamente del Sol. Esta energía llega a la superficie terrestre, la cual puede ser aprovechada de dos maneras: Como energía fotovoltaica y energía térmica. Mediante el proceso fotovoltaico se consigue convertir la energía solar en energía eléctrica aprovechable por el ser humano.

La cantidad de energía solar que llega a la tierra en un año es unas 15.000 veces superior al consumo de energía anual en la tierra. A pesar de ello, de la energía solar solo se consigue extraer un 1% para su utilización, siendo este dato alrededor de 1.000 TW.

El panel solar es el dispositivo del sistema que se encarga de recoger la energía procedente del sol y convertirla en energía eléctrica. Ello es posible gracias al proceso fotovoltaico,

que consiste en un diodo semiconductor fotosensible que convierte la luz solar en energía eléctrica. Los paneles solares se utilizan como fuente de alimentación para satélites, naves espaciales, y para pequeños sistemas aislados o como fuente de energía auxiliar de la red eléctrica.

La emisión fotoeléctrica se produce cuando los electrones individuales son golpeados por la luz cuántica con suficiente energía para liberar el electrón.

El material semiconductor se coloca entre dos electrodos. El material semiconductor más común es el silicio, siendo teóricamente la eficiencia del silicio de un 28%, pero estando entre 15% y 24% en la práctica.

El panel solar dispone de una serie de células conectadas entre sí que se encuentran encapsuladas y estructuradas en un soporte. Proporciona una tensión continua en su salida, y se encuentra diseñado para valores específicos de tensión: 6, 12, 24 voltios... dependiendo de la tensión para la que esté diseñada la instalación.

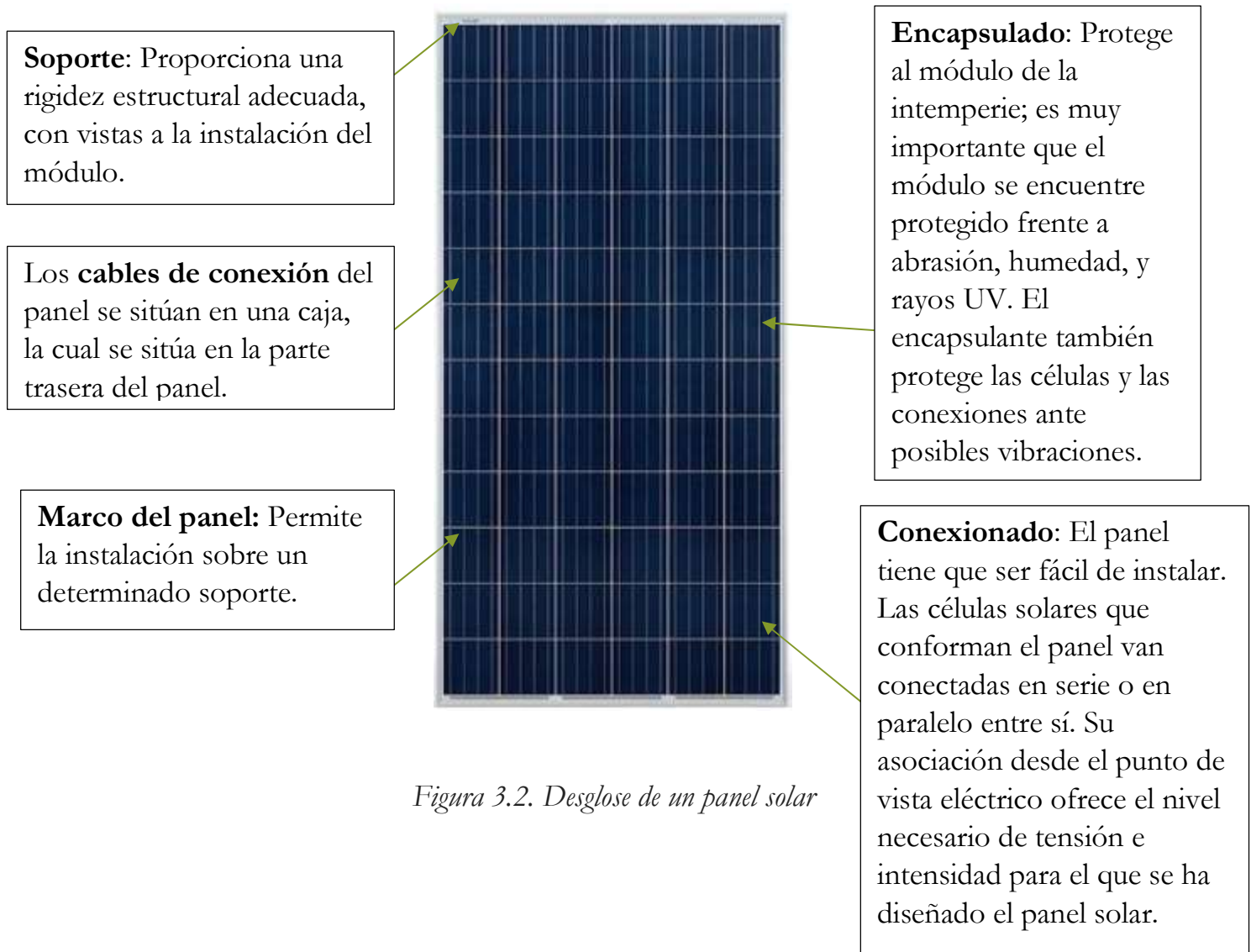
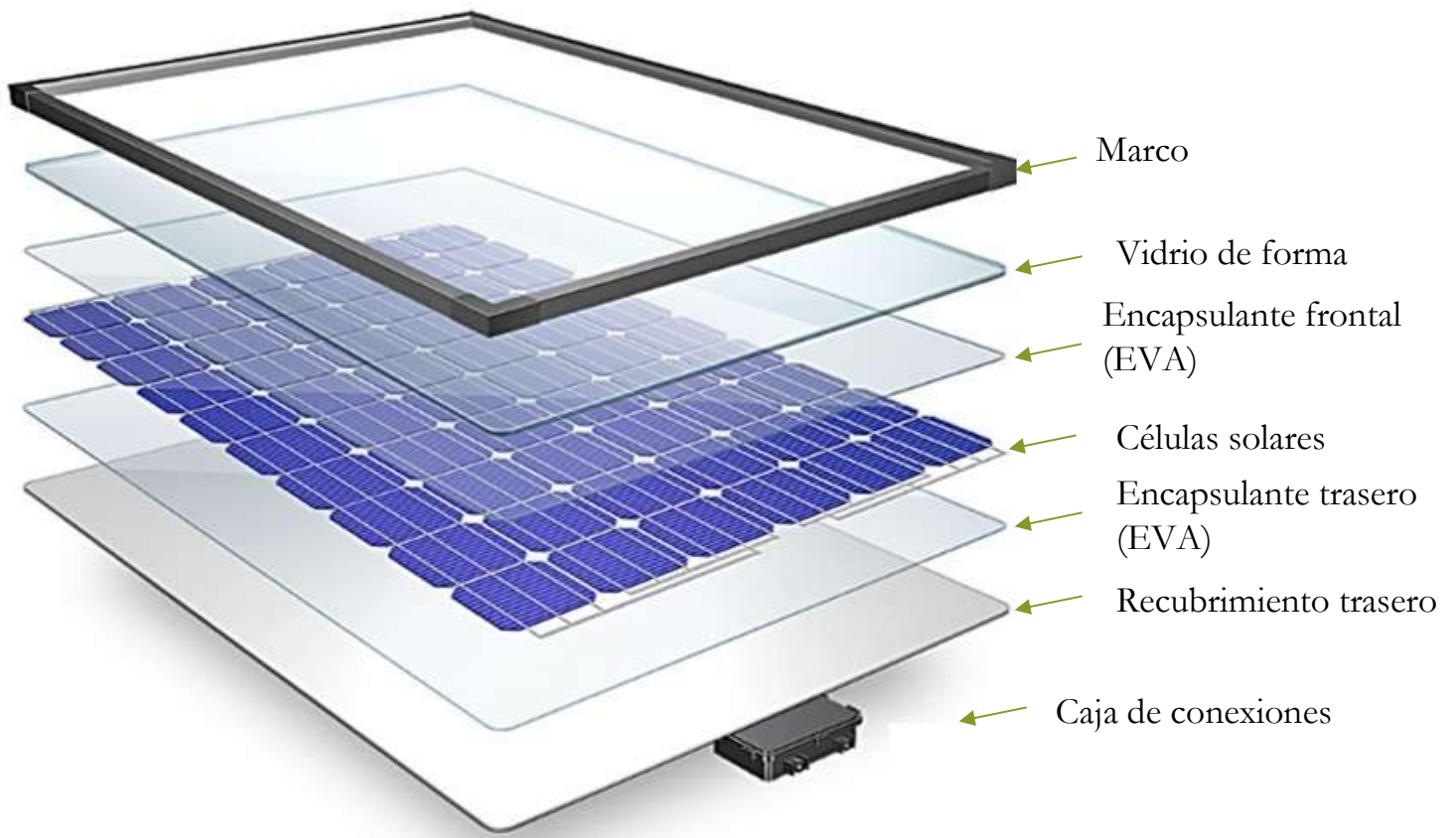


Figura 3.2. Desglose de un panel solar



*Figura 3.3. Desglose de un panel solar*

### **Potencia de la célula solar.**

Para un tamaño estándar (10x10 cm) la potencia que es capaz de suministrar una célula fotovoltaica es relativamente pequeña, en torno a 1 o 2 W. Debido a esto se precisa de la unión de varias de ellas para ser capaces de satisfacer la potencia que la instalación necesita. La unión de estas células solares resulta en un panel solar.

Según el tipo de conexión, las células solares se dividen en:

- **Conexión en serie:** Con esta conexión se aumenta la tensión final en los extremos de la célula equivalente.
- **Conexión en paralelo:** Con esta conexión se aumenta la intensidad total.

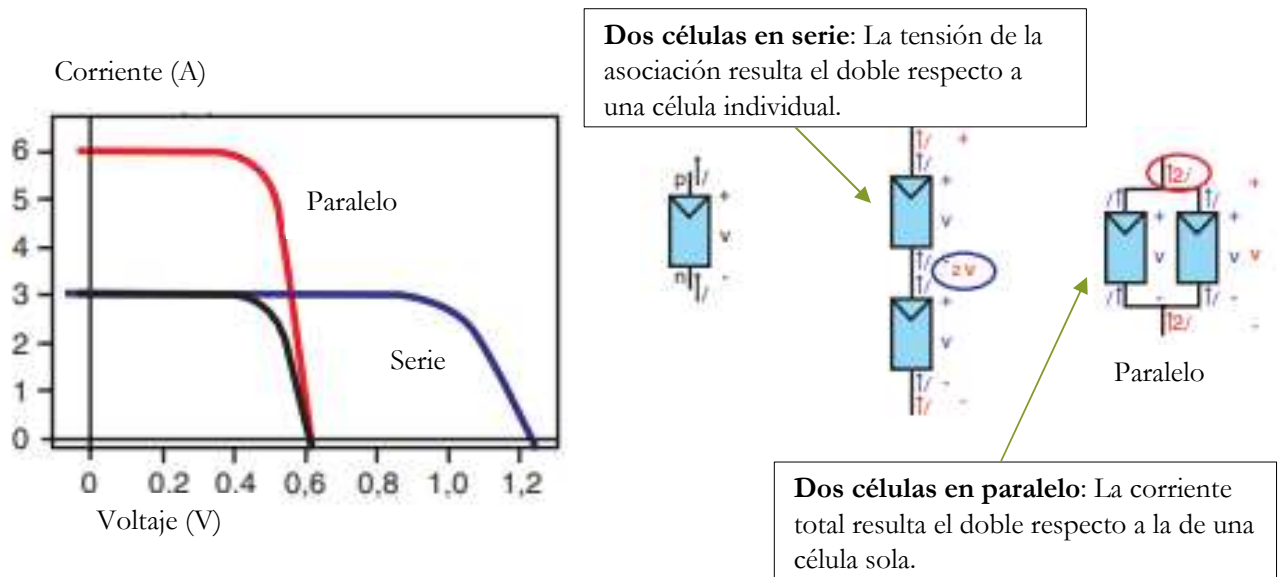


Figura 3.4. Tipo de conexión células solares

El fabricante de los paneles solares nos proporcionará las características y parámetros que se necesitan según los requerimientos de la instalación a diseñar.

Los datos teóricos que el fabricante suministra, no obstante, vienen determinados según unas condiciones de irradiación solar y temperatura ambiente específicas.

A continuación, se detalla en la siguiente tabla los parámetros eléctricos que el fabricante suministra en su catálogo:

Tabla 3.1. Parámetros eléctricos paneles solares

<i>Datos eléctricos</i>	
<i>Potencia máxima</i>	<p><b>Potencia máxima (Pmpp):</b> es un valor de pico, es decir, es la máxima potencia que puede entregar el panel en un determinado momento. El panel funcionará correctamente en la instalación en la que va a ser colocado si este valor es superior al del consumo máximo (en vatios) para el que se ha diseñado el sistema fotovoltaico.</p> <p>224 W</p>

<i>Tensión punto de máx. potencia</i>	28,65 V	<b>Tensión en el punto de máxima potencia (Vmpp):</b> es el valor en voltios de la tensión que proporcionará el panel cuando esté trabajando en el valor de potencia Pmpp.
<i>Corriente punto de máx. potencia</i>	7,81 A	<b>Intensidad en el punto de máxima potencia (Impp):</b> es el valor de la corriente proporcionada por el panel cuando se encuentra en el punto de máxima potencia.
<i>Tensión de circuito abierto</i>	36,73 V	<b>Tensión en circuito abierto (Voc):</b> tensión en los terminales de conexión cuando no hay ninguna carga conectada en el panel.
<i>Corriente en cortocircuito</i>	8,52 A	<b>Intensidad de cortocircuito (Icc):</b> intensidad que circula por el panel cuando la salida está cortocircuitada.

El fabricante también proporciona una serie de parámetros físicos, como pueden ser las medidas, peso, materiales de fabricación. Esto es importante a la hora de elegir el soporte que el módulo solar tendrá para ser sujetado.

También se proporciona la variación de los parámetros en función de la variación de los coeficientes de temperatura.

Por otro lado, la conexión de distintos paneles solares entre sí en serie, hace que aumente la tensión final del sistema, siendo no obstante la intensidad igual para todos los paneles. En el caso de que los paneles fueran de distintas características, la intensidad será determinada por aquel módulo cuyo valor sea menor.

Esta conexión se efectúa por la parte posterior de los paneles, mediante la respectiva caja de conexiones. Esta caja contiene los diodos bypass (diodos de protección), cuyo

cometido es el de permitir la circulación de la corriente en un solo sentido, impidiéndola en el sentido contrario. Tienen las siguientes características:

- Evitar que el banco de baterías se descargue a través de los módulos solares.
- Impedir que el sentido de la corriente se invierta entre módulos conectados en paralelo cuando en alguno de ellos se produjera una sombra.
- Protección de cada módulo de manera individual de posibles problemas producidos por sombras parciales, producidas bajo circunstancias determinadas.



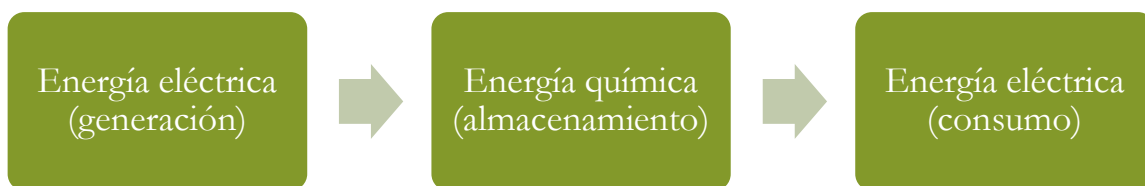
*Figure 3.5 Paneles solares instalados en Skarvan (300W cada uno)*

### 3.1.2- BANCO DE BATERÍAS

La energía solar que los paneles fotovoltaicos captan no se produce uniformemente, sino que viene determinada por diversos motivos. Algunos de estos motivos resultan predecibles, por ejemplo si es de noche o por la estación del año en la que nos encontremos, pero existen razones bajo las cuales pueden producirse variaciones en la energía captada, como puede ser debido a las condiciones climatológicas, averías, etc.

Debido a ello, para asegurar que el sistema fotovoltaico suministra un flujo constante de energía independientemente de la energía captada, se hace necesaria la presencia de un banco de baterías, encargadas del almacenamiento de la energía, con el objetivo de suministrar la energía necesaria para la instalación cuando los generadores fotovoltaicos fueran insuficientes.

El banco de baterías se compone de dispositivos capaces de transformar la energía química en energía eléctrica.



*Esquema 3.1*

La manera en la que el banco de baterías se carga es mediante la energía captada por los módulos fotovoltaicos, controlando esta energía recibida mediante el regulador fotovoltaico. Mediante un proceso químico, el banco de baterías es capaz de suministrar esa energía previamente recibida para inyectarla directamente a la salida de la instalación para su consumo.

De esta manera, el banco de baterías posee las siguientes funcionalidades dentro de una instalación fotovoltaica:

- Recoger y almacenar la energía captada por los módulos fotovoltaicos durante un determinado número de días.
- Ser capaz de suministrar una alta potencia instantánea.
- Determinar la tensión de funcionamiento de la instalación.

El criterio bajo el cual se escoge el banco de baterías se determina fundamentalmente mediante su capacidad.

La **capacidad** del banco de baterías resulta el parámetro más importante a la hora de diseñar la parte de almacenamiento de una instalación fotovoltaica. Así, la capacidad se define como la cantidad de energía eléctrica que la batería o acumulador es capaz de suministrar en una descarga completa, teniendo en cuenta su previa carga total.

Esta capacidad se cuantifica en Amperios hora (Ah). Se calcula en base al producto del tiempo que está en funcionamiento por la intensidad de descarga de la batería.

$$C = t * I \text{ (Ah)}$$

Otros parámetros, aparte de la capacidad, también son importantes a tener en cuenta a la hora de diseñar el banco de baterías. Son los siguientes:

**Eficiencia de carga:** Consiste en la relación que existe entre la energía que la batería recibe y aquella energía que es capaz de almacenar. En una situación ideal esta relación sería del 100% y bajo esta premisa se mide la eficiencia de la batería según lo cerca que se encuentre de dicho porcentaje. En el caso de que la eficiencia fuera excesivamente baja, se hace necesario el aumento en los módulos fotovoltaicos para poder obtener el valor deseado.

**Auto descarga:** Este parámetro indica el proceso mediante el que la batería o acumulador tiende a su descarga sin estar en funcionamiento.

**Profundidad de descarga:** Medida en tanto por ciento, se define como la cantidad de energía que se obtiene de la batería o acumulador durante una descarga determinada, desde un estado de carga total. Este parámetro se relaciona con la vida útil de la batería o acumulador. En el caso de que estos ciclos de descarga fueran pequeños (20% aproximadamente) la duración obtenida de la batería será superior que si fuera sometida a descargas mucho más elevadas (80% aproximadamente).

También resultan importantes, aparte de los parámetros puramente eléctricos, otro tipo de características como pueden ser:

- Correcta resistencia al ciclado (carga-descarga).
- Mantenimiento reducido.
- Correcto funcionamiento para corrientes pequeñas.
- Reserva alta de electrolito.
- Vasos transparentes.
- Depósito para materiales desprendidos.



## Tipos de baterías o acumuladores

Las baterías o acumuladores son clasificados en función de la tecnología empleada en su fabricación, así como en función de los electrolitos. La siguiente tabla recoge resumidamente los tipos de baterías comercializadas:



Tabla 3.2. Tipos de baterías comercializadas

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	Nº de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5%	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Alto	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ión (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio-Bajo	110-160 Wh/kg	Alto

En las instalaciones fotovoltaicas, las baterías más utilizadas son las de plomo-ácido, debido a que sus especificaciones resultan más atractivas para el diseño de la instalación. También en esta clase de baterías se pueden encontrar distintos modelos.

En la siguiente tabla se pueden encontrar distintos modelos de baterías plomo-ácido, así como las ventajas e inconvenientes que presentan:

Tabla 3.3. Tipos de baterías de Plomo-Ácido

Tipo	Ventajas	Inconvenientes	Aspecto
Tubular estacionaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciclado profundo</li> <li>• Tiempos de vida largos</li> <li>• Reserva de sedimentos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio elevado</li> <li>• Escasa disponibilidad en determinados lugares</li> </ul>	
Arranque (SLI, automóvil)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio</li> <li>• Disponibilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mal funcionamiento ante ciclados profundos y corrientes bajas</li> <li>• Periodo de vida reducido</li> <li>• Poca reserva de electrolito</li> </ul>	

Solar

- Elaboración similar a SLI
- Abundante reserva de electrolito
- Funciona bien en ciclados intermedios
- Periodos de vida intermedios
- No se recomienda para ciclados profundos y duraderos en el tiempo



Gel

- Poco mantenimiento
- Se deterioran rápidamente si se dan condiciones de funcionamiento extremas de tensión e intensidad



Si se determina que en la instalación se esperan descargas profundas y una capacidad alta, se escogerán por ejemplo baterías tubulares estacionarias. Como puede ser en instalaciones de viviendas.

En el caso de que fuera una instalación más pequeña o de complicado mantenimiento se puede optar por el uso de baterías de gel, evitando descargas profundas.

Otro aspecto a tener en cuenta a la hora de escoger la batería más adecuada es el de la temperatura sobre los mismos. Esto se debe principalmente a que la capacidad se ve influenciada según la temperatura ambiente. En el caso de que la temperatura de ambiente fuera alta, la capacidad mejora, reduciéndose en el caso contrario. En el caso de que en nuestra instalación se llegaran a dar temperaturas bajo cero, sería necesario escoger una batería tal que su capacidad fuera mayor que la previamente calculada según los requerimientos de la instalación, con el objetivo de impedir un funcionamiento incorrecto.

A la hora de fabricar la batería, en el caso de que sea tubular estacionaria, el proceso que se sigue es el de conectar vasos individuales hasta conseguir los requerimientos tanto de tensión como de capacidad que la instalación necesita. Si fuera una batería monoblock, se debe elegir aquella que cumpla los requerimientos de tensión de trabajo que requiere la instalación así como la potencia que precisará para ser consumida.

En el caso de la base Skarvan, el banco de baterías se encuentra situado dentro de la sala de ordenadores, y está compuesto por cuatro baterías de 12 voltios. El propósito del banco de baterías en nuestra instalación es el de almacenar el excedente de energía cuando el sistema produce más energía de la que consume, siendo deseable almacenar este

excedente en el banco de baterías para su aprovechamiento posterior en períodos de baja producción de energía solar.



Figura 3.6 Banco de baterías en Skarvan

### 3.1.3- REGULADOR FOTOVOLTAICO

El regulador es un dispositivo que está conectado entre los módulos solares y el banco de baterías. Su funcionamiento en el sistema que controla cuánto se pueden cargar las baterías y cuánta energía se puede extraer de ellas. El dispositivo también evita que la batería se sobrecargue, sin dejarla vacía. Esto ayuda a aumentar la vida útil de las baterías en uso.

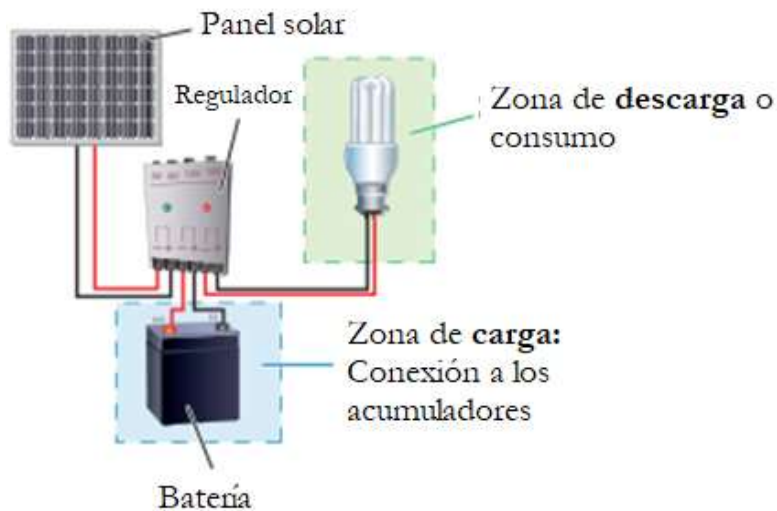


Figura 3.7. Posición en la instalación que el regulador ocupa

Así, el regulador se encuentra en dos zonas:

- **Zona de carga:** Se encarga de asegurar la carga suficiente de las baterías y evitar una sobrecarga excesiva.
- **Zona de descarga:** Se encarga de garantizar el suministro eléctrico diario suficiente, así como evitar la descarga excesiva de las baterías.

Al ser la tensión nominal del módulo fotovoltaico más elevada que la que tienen las baterías, se hace necesaria la presencia del regulador fotovoltaico con tal de evitar sobrecargas.

Esta tensión nominal del módulo fotovoltaico es mayor debido a:

- Evitar que debido al aumento de temperatura su tensión disminuya.
- Garantizar la correcta carga de las baterías. Debido a ello, la tensión  $V_{oc}$  del módulo fotovoltaico debe ser más elevada que la de las baterías.

Debido a que a la hora de diseñar una instalación solar fotovoltaica se determinan sus parámetros de funcionamiento bajo las condiciones más desfavorables, es decir, teniendo en cuenta la irradiación solar de invierno, se da el caso que durante los meses de verano, cuando la irradiación puede ser más del doble que la irradiación de invierno, sin la presencia del regulador fotovoltaico entre los módulos y las baterías, podría darse el caso de que el exceso de corriente pudiese llegar a hervir el electrolito de las baterías, suponiendo un serio riesgo.

Tabla 3.4. Clasificaciones de los reguladores fotovoltaicos

	<i>En función de la tecnología del interruptor</i>	<i>En función de la estrategia de desconexión del consumo</i>	<i>En función de la posición del interruptor de control de generación</i>
<i>Clase de regulador</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relé electromecánico</li> <li>• Estado sólido (MOSFET, IGBT...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por tensión</li> <li>• Por algoritmos de cálculo del estado de carga</li> <li>• Por otros algoritmos de gestión de la energía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Serie</li> <li>• Paralelo</li> </ul>

A la hora de escoger qué regulador fotovoltaico resulta más conveniente para nuestra instalación, el fabricante proporcionará una hoja de características, compuesta por:

- Parámetros físicos.
- Parámetros eléctricos.
- Normativa de seguridad que cumple.

El regulador, aparte de proteger a la instalación, debe asegurar también la protección para las personas, y contará por tanto con las medidas de seguridad pertinentes para satisfacer ambos tipos de protecciones.

Podrá elegirse el tipo de regulador fotovoltaico que se desea según la clase de regulación que posea, ya sea en serie o en paralelo, qué tipo de baterías se pueden conectar en su salida, el tipo de alarmas ante un funcionamiento incorrecto, el tipo de protecciones, etc. Otro aspecto importante también es elegir el regulador fotovoltaico según la temperatura ambiente a la que vaya a estar expuesto, debido a que es importante que el regulador funcione siempre dentro de un rango de temperatura óptimo con tal de asegurar su correcto funcionamiento, ya que no es lo mismo trabajar en una zona predominantemente cálida a una zona de temperaturas frías.

En el caso de la base Skarvan, el regulador fotovoltaico utilizado posee las siguientes características:

1. Proporciona información sobre en qué estado se encuentra la instalación a los usuarios u operadores, visualizando o indicando cierta información como puede ser el voltaje y corriente de las baterías, el estado de la carga, fallos, etc.
2. Sirve como dispositivo de control a la hora de conectar algún otro generador auxiliar de energía.
3. Sirve como un centro conexión de cableado, ofreciendo un lugar de conexión en el que otros equipos del sistema pueden conectarse, incluyendo ello los paneles solares, baterías y las cargas.

El regulador instalado en la base de Skarvan es un *Studer Variotrack* que se comunica con la pantalla (RCC-02) y el dispositivo *Xcom*, para que el propietario de la base y el centro operativo tengan control total del sistema solar en todo momento.



Figura 3.8 Studer Variotrack /Regulador

Tabla 3.5. Características del regulador

	Potencia recomendada (W)	Tensión nominal batería (V)	Máx. corriente de carga (A)
VT-80	1250 (12V) 2500 (24V) 5000 (48V)	12 / 24 / 48	80

#### Características:

- Asegura una óptima producción de energía.
- Eficiencia de seguimiento: >99%
- Eficiencia de conversión: >99%
- Cargador de 4 pasos para mayor duración de la batería.
- Ocho curvas de carga de batería predefinidas de serie.
- Programación libre de la carga de la batería con el RCC-02/-03
- Bajo autoconsumo: <1% Modo noche
- Protección contra cableado incorrecto
- Protección contra polaridad inversa
- Completamente configurable

### 3.1.4- INVERSOR

El inversor es el dispositivo del sistema que se encarga de la transformación de corriente continua a corriente alterna, mediante la modulación de la onda alterna de salida y la regulación del valor efectivo de la tensión de salida.

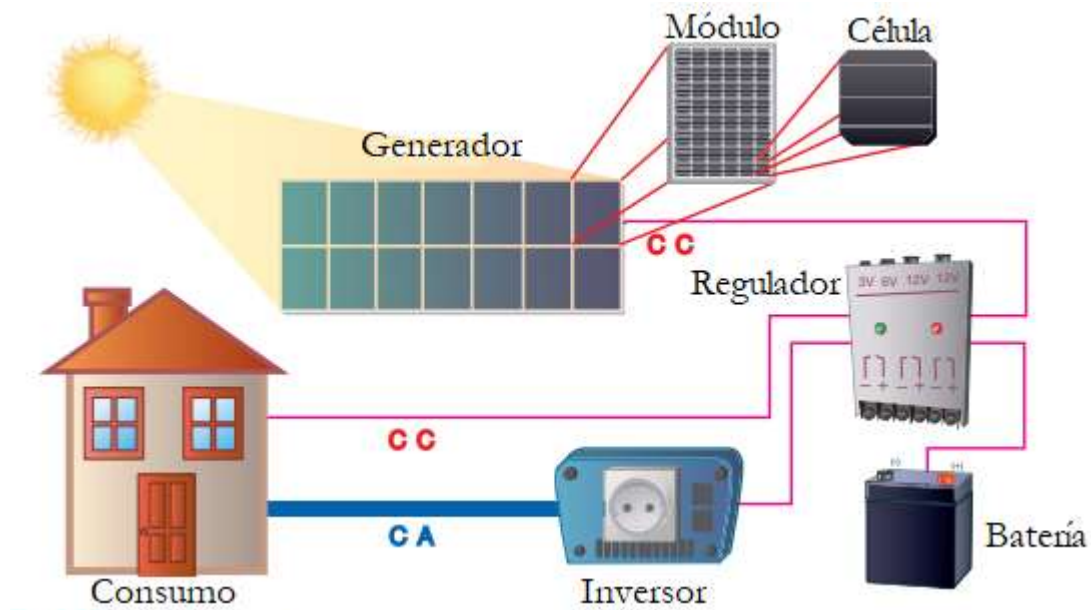
El funcionamiento general de un inversor se basa en puentes de conmutación de semiconductores con un ciclo abierto y cerrado, de forma controlada, que genera ondas de pulsos variables (a medida que hay más pulsos, menor será la distorsión armónica y por tanto mayor proximidad a la onda seno puro).

Convierte el voltaje de la batería a 230 V AC, que es el voltaje más aplicable para muchos propósitos.

Según si la instalación fotovoltaica está conectada a red o no, el inversor posee requerimientos distintos, que son:

**Instalación aislada:** La misión del inversor en este caso es el de suministrar una corriente alterna similar a la de la red eléctrica, de tal manera que se puedan conectar las cargas de consumo con un correcto funcionamiento. En este caso específico, las modificaciones que pudiera tener la corriente alterna no son tan importantes como en el caso de que estuviera conectado a la red eléctrica.

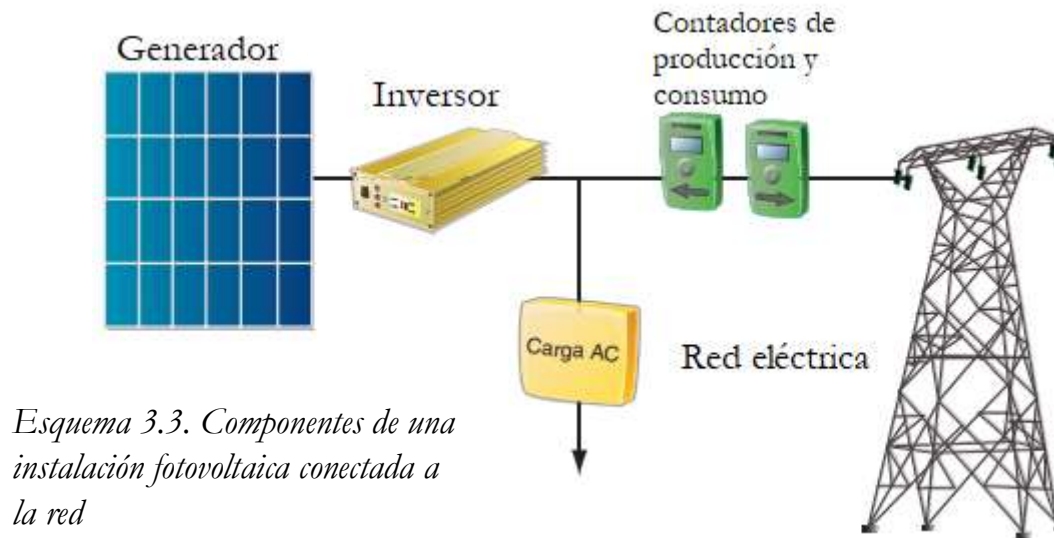
El esquema de instalación que se poseería sería el siguiente:



Esquema 3.2. Componentes de una instalación fotovoltaica aislada de la red

**Instalación conectada a red:** El inversor debe ser capaz de ofrecer una corriente alterna con las mismas características o similares a las de la red eléctrica a la que esté conectado. Estas características requieren una forma de onda senoidal y un valor específico de 230 V, así como una frecuencia de 50 Hz. Las variaciones en este caso no son nada deseables debido a que pueden someter a perturbaciones a la red eléctrica de distribución.

El esquema de instalación que se poseería sería el siguiente:



*Esquema 3.3. Componentes de una instalación fotovoltaica conectada a la red*

La diferencia principal que existe entre ambos tipos de instalación reside en:

- En la instalación aislada se cuenta con un regulador de carga y un banco de baterías donde almacenar el excedente de energía.
- En la instalación de red la energía no requiere ser almacenada, sino que se inyecta directamente a la red eléctrica de distribución, poniéndola a disposición de los usuarios a medida que es va produciendo. También este tipo de instalación cuenta con una serie de contadores de producción y consumo que funcionan como equipos de medida con los que cuantificar la energía que se ha producido en los módulos fotovoltaicos y la que se ha vendido o inyectado en la red eléctrica de distribución.

Resumidamente, en la siguiente tabla se recogen las características más deseables requeridas de un inversor a la hora de elaborar el diseño de una instalación fotovoltaica:

- Alta eficiencia: Debe funcionar correctamente para un alto rango de potencias.
- Bajo consumo en vacío: Cuando no hay cargas conectadas.
- Alta fiabilidad: Resistencia a los picos de arranque.
- Protección contra cortocircuitos.
- Seguridad.



- Correcta regulación de la tensión y frecuencia de salida: debe ser compatible, dado el caso, con el de la red eléctrica de distribución.

Algunos inversores, no obstante, también pueden ejercer la función que ejerce el regulador de carga de la batería. Dado este caso, el regulador fotovoltaico ya no sería necesario incluirlo en la instalación. Un ejemplo de este tipo de inversores es el siguiente:

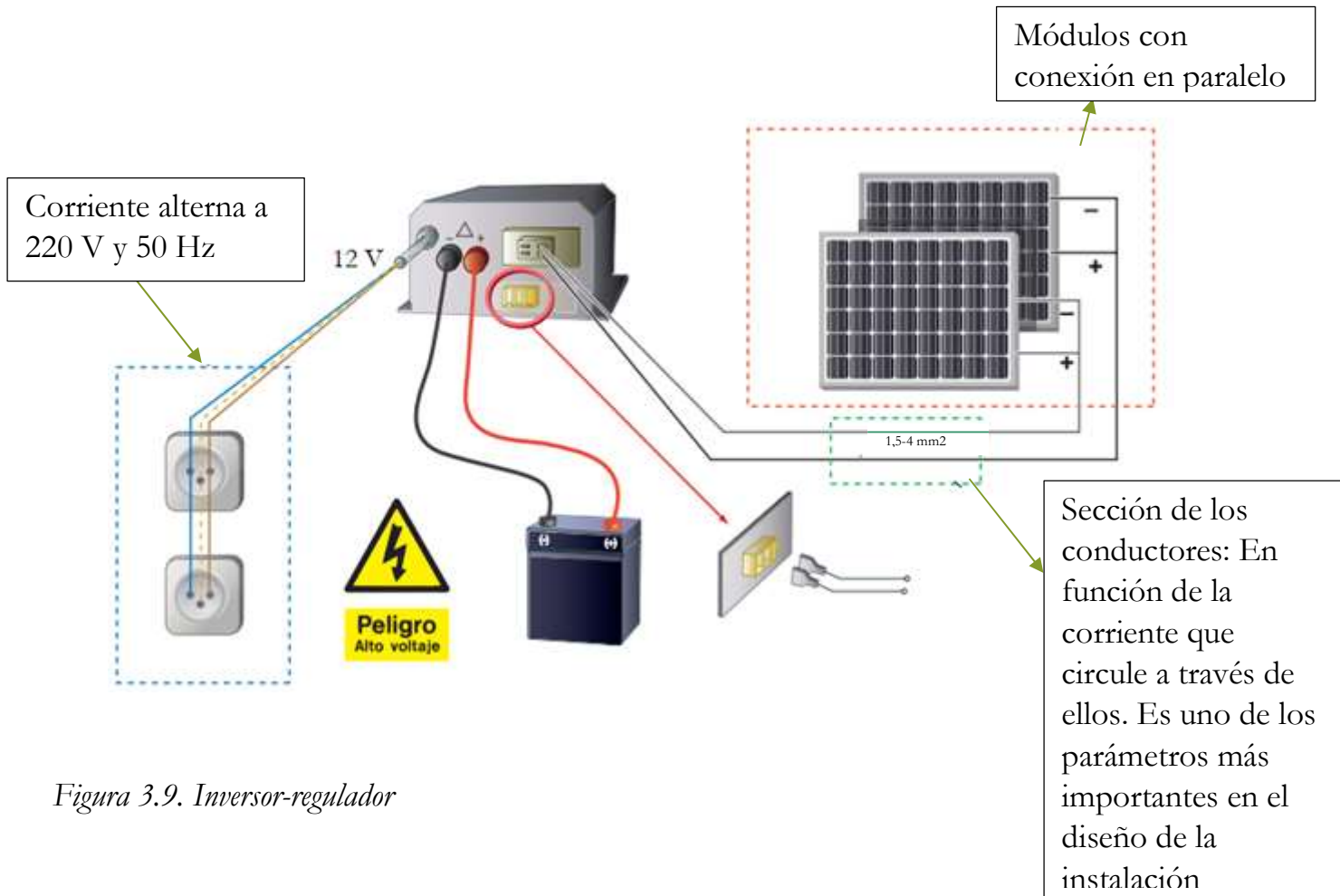


Figura 3.9. Inversor-regulador

Dependiendo del cableado:

- Para la corriente continua se utiliza para el polo positivo el cable de color rojo, y para el polo negativo el color negro.
- Para la corriente alterna se utilizan tres conductores: Para conectarse a tierra el color amarillo-verde, para el neutro el color azul, y para la fase se utiliza el color marrón.

A continuación, se detalla el análisis de la hoja tipo que recoge las características de un inversor:

Model SI	612 624 648	812 824	1212 1224 1248	1624	2324 2348	3324	3548
Input voltage (Unom) [V]	12/24/48	12/24	12/24/48	24	24V/48	24	48
Nominal power [W]	600	800	1200	1800	2300	3300	3500
« Standby » current [mA]	25/21/10	25/21	25/21/12	21	25/17	25	30
Power « ON » no load [W]	2.6	2.8	4.8	5.8	9	13	17
Power « ON » no load [W] TWINPOWER system	-----	-----	< 0.5	< 0.5	< 0.6	< 0.7	< 0.8
Maximum efficiency [%]	91	92	93 - 95	93 - 95	95	95	95
Length L x 124 (H) x 215 (W) [mm]	276	276	391	391	591	636	791
Weight [kg]	6.9	10.4	13.2	15.2	27	30	38

**Tensión de entrada:** Debe coincidir con la tensión nominal de las baterías.

**Potencia nominal:** Es la potencia que es capaz de entregar el inversor a la instalación. Siempre será mayor que la que hayamos calculado como consumo de los equipos que van a funcionar en corriente alterna.

Corriente en reposo

Potencia en vacío, cuando no hay carga conectada

**Rendimiento máximo:** Importante, porque nos indicará la potencia real entregada por el convertor, que siempre es menor que la potencia nominal del mismo. Es un factor a tener en cuenta cuando hagamos el dimensionado de la instalación.

Figura 3.10. Hoja de características inversor

Las características se refieren a la corriente de salida, en alterna. Los valores más significativos indicados por el fabricante son:

Output voltage	True sine 230 Vac ±3%
Distortion	< 2% (at Pnom)
Dynamic behaviour	From 0% to 100% load change. Normalization: 0.5 ms
Frequency	50 Hz ±0.01% (Crystal control)

**Frecuencia de la señal:** Tiene que coincidir con la frecuencia de la red eléctrica. A su vez tiene que ser muy estable.

**Distorsión:** indica la probable degradación que puede sufrir la onda. Resulta menor de un 2 % cuando se trabaja a la potencia nominal.

**Forma de onda:** Indica que se trata de una onda senoidal con un valor de 230 V eficaces, pudiendo tener un 3% de variación.

Figura 3.11. Hoja de características inversor

Cabe la posibilidad de que la frecuencia del inversor, al variar, sea capaz de producir armónicos (que son ondas cuya frecuencia es un múltiplo de 50 Hz). Dependiendo de su valor, los armónicos pueden perjudicar de forma grave a la señal, llegando a sufrir distorsión y alterando sus valores. Por ello se incide en que el margen de variación en esta clase de equipos debe ser lo más reducido posible. Teniendo esto en cuenta, el fabricante proporciona la información sobre el inversor en lo que respecta a la variación de la frecuencia de salida.

Como ya se ha indicado anteriormente, esta variación cobra suma importancia en aquellas instalaciones diseñadas para suministrar energía a la red eléctrica, existiendo normativa específica que regula el margen máximo de variación. En el caso de instalaciones aisladas, estos márgenes reducidos no son tan importantes.

El inversor instalado en la base Skarvan se trata de un inversor *Combid Studer*, modelo *XTH 3000-12*, óptimo para una instalación fotovoltaica aislada de la red. Dispone de un cargador de batería avanzado incorporado, encargado de cargar el banco de baterías cuando la unidad se ejecuta (copia de seguridad).

Este inversor posee a su vez un PLC avanzado y dos relés que se utilizan para el control inteligente de la unidad, por lo que se inicia o se detiene completamente, de forma automática, cuando el banco de baterías necesita ser cargado.

Junto con el regulador, el inversor es el que controla la funcionalidad de todo el sistema de energía en la base Skarvan. También garantiza la comunicación con el cliente y el centro de operaciones, a través de Internet, dando la alarma y registrando todos los eventos que ocurren.



Figura 3.12 Inversor instalado en la base de Skarvan

Tabla 3.6. Características inversor base Skarvan

Modelo	XTH-3000-12
	<b>Inversor</b>
Tensión nominal Batería	12Vdc
Rango Tensión Input	9.5-17 Vdc
Potencia continua @ 25°C	2500 VA
Potencia 30 min. @ 25°C	3000 VA
Potencia 5 sec. @ 25°C	7.5 kVA

### 3.1.5- MOTOR GENERADOR

Como fuente de alimentación auxiliar, la base posee un motor generador, independiente, modelo *Honda EU10 INVERTER* que posee las siguientes características:

Tabla 3.7. Características Motor-Generador base Skarvan

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS



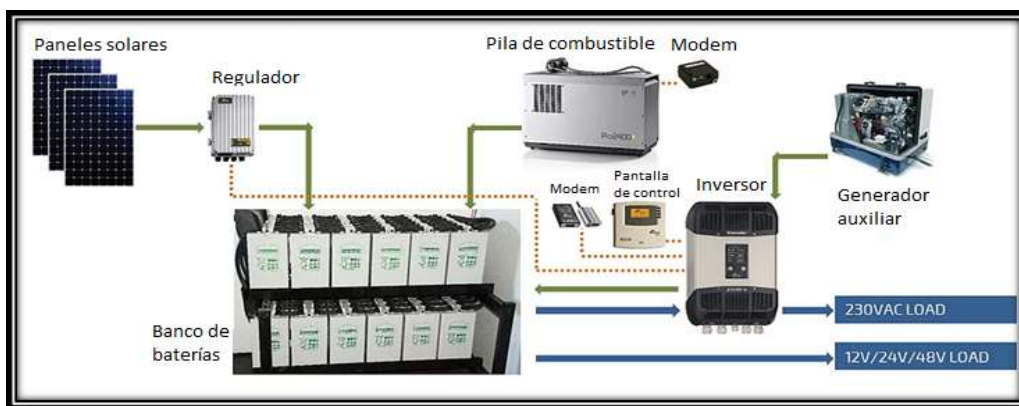
Voltaje	Monofásico
Potencia	1000 W
Regulación del voltaje	Inverter
Arranque	Manual
Cilindrada	50 cc
Motor	GHX 50
Autonomía	4 h – a salida constante
Altura	38 cm
Anchura	24 cm
Depósito de carburante	2.1 l
Longitud	45 cm
Nivel sonoro	87 Lwa – Insonorizado
Peso (en seco)	13 kg
Salida constante monofásica	900 VA
Corriente continua	12.0/8.0 V/A
Peso neto	24 kg
Tipo de combustible	Gasolina
Automático	No

El generador solo se utiliza en el caso hipotético en el que ni los módulos solares ni el banco de baterías sean capaces de suministrar la potencia eléctrica que la base necesita.

## 4.- MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1- OBJETIVO PRINCIPAL

El objetivo principal del proyecto es el de proporcionar y asegurar el equipo necesario a la Base Skarvan que permita una fuente de alimentación autónoma, especialmente cuando la fuente de energía principal (paneles solares) no fuera suficiente a la hora de abastecer el sistema. Esto puede ocurrir principalmente durante la temporada de invierno debido a que la radiación solar es muy baja.



*Figura 4.1 Esquema de lo que se aspira conseguir instalar*

Las características de este sistema son las siguientes:

- 1-1000W carga continua, 1W-73kW carga intermitente
- 12V/24V/48V/230V carga
- Energía solar como fuente de energía principal
- Copia de seguridad simple/doble
- Pila de combustible (metanol) como fuente de apoyo
- Generador Diesel como segunda fuente de apoyo
- Tecnología batería AGM/GEL/LifePO4
- Control online, alarma y monitorización remota

### 4.2- MATERIALES

Para conseguir los objetivos establecidos en este proyecto, se opta por instalar una pila de combustible, combustible y la ampliación del banco de baterías.

### 4.3- EL EQUIPO HUMANO

El equipo humano está compuesto inicialmente por cuatro personas, cada una de ellas especializada en una parte concreta del proyecto.



*Figura 4.2 El equipo del proyecto*

De izquierda a derecha:

- Tom Mauno, jefe de proyecto.
- Eskil Eriksen, proyectista.
- Nicolás Alajarín, ingeniero eléctrico.
- David Stipa, ingeniero civil.

Tom Mauno y Eskil Eriksen son alumnos de la Østfold University College.

Nicolás Alajarín es alumno de grado de la Universidad Politécnica de Cartagena, España; que se encuentra dentro del programa de movilidad ERASMUS+ en Noruega, en calidad de ingeniero técnico industrial, especialidad en electricidad.

David Stipa es alumno de máster de la Czech Technical University (CTU), Praga, República Checa, que se encuentra dentro del programa de movilidad ERASMUS+ en Noruega, en calidad de ingeniero civil.

### 4.4- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

A continuación, se pasa a describir el equipo que se pretende instalar.

## 4.4.1- PILA DE COMBUSTIBLE

La pila de combustible es un dispositivo que, mediante reacción química, produce energía eléctrica sin la necesidad de combustión, evitando así las pérdidas que se derivan de consideraciones termodinámicas (ciclo de Carnot). Ello es posible debido a la oxidación que se produce de un combustible y la reducción simultánea de un oxidante, encontrándose normalmente en estado gaseoso.

La pila está formada por dos electrodos, un ánodo y un cátodo, ambos separados por un electrolito. El combustible es suministrado al ánodo, que es donde ocurre la reacción de oxidación, y de esta manera proporciona electrones al circuito externo.

El oxidante se proporciona al cátodo, que es donde se reciben los electrones del circuito externo, y ocurre la reacción de reducción. Este flujo de electrones es el que proporciona energía eléctrica. El electrolito es el aislante electrónico que permite el transporte de iones óxido o protones entre ambos electrodos.

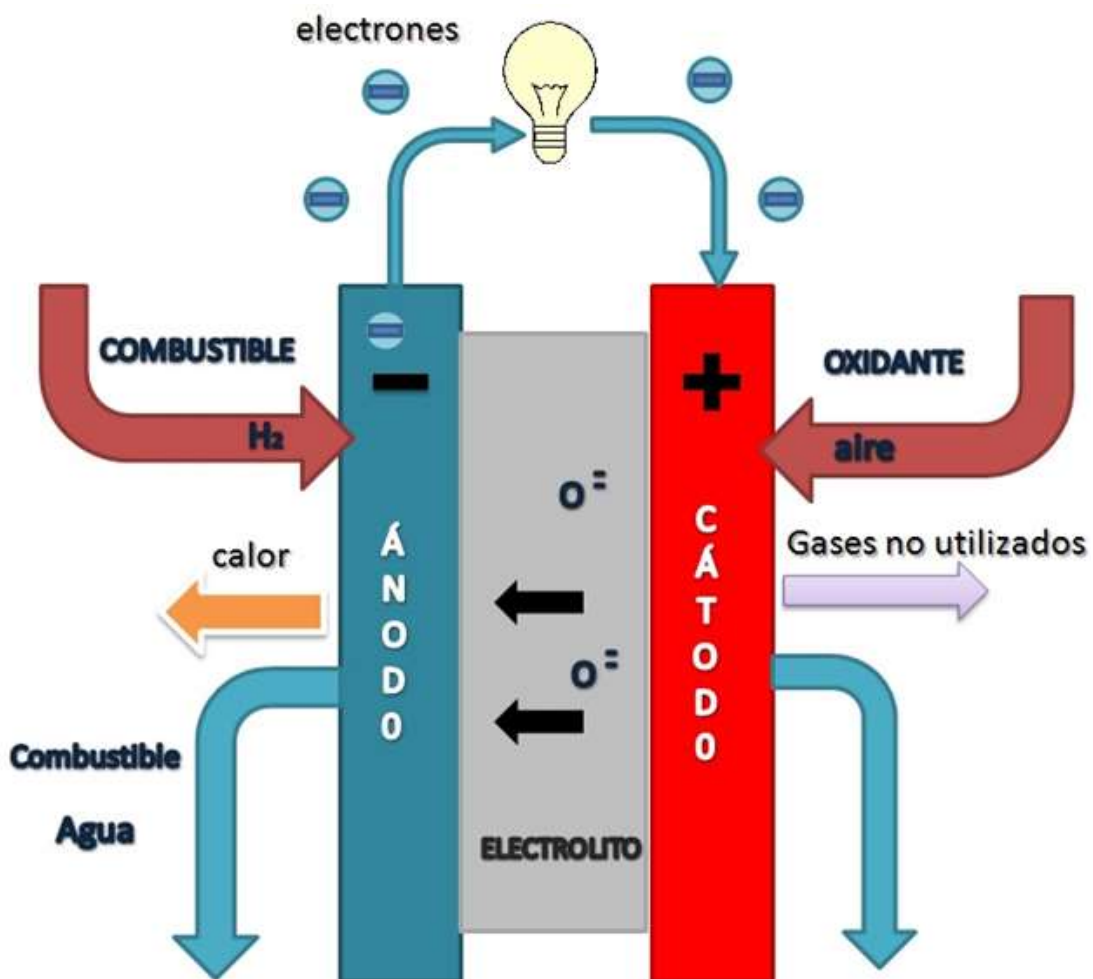


Figura 4.3. Proceso químico en una pila de combustible

Las características generales de las pilas de combustibles que las hacen muy interesantes en su utilización son las siguientes:

Tabla 4.1. Características generales pila de combustible

<i>Características generales</i>	
<i>Alta eficiencia</i>	Eficiencia de conversión entre un 40 % y un 60 %, siendo en el caso de cogeneración de hasta un 85 %.
<i>Compatibilidad medioambiental</i>	Al no haber combustión, las emisiones contaminantes son mucho menores que las producidas por generadores convencionales.
<i>Modularidad</i>	Al ser modulares, su tamaño puede variar según los requerimientos energéticos, aumentando o disminuyendo los módulos.
<i>Facilidad de emplazamiento</i>	Al carecer de elementos móviles, es un dispositivo altamente silencioso, por lo que es de libre emplazamiento.
<i>Versatilidad de combustibles</i>	Cualquier compuesto capaz de ser oxidado, con las condiciones de la pila, puede ser utilizado como combustible.





A continuación, se detallan los tipos de pilas de combustible que existen y algunas de sus ventajas e inconvenientes:

Tabla 4.2. Tipos de pilas de combustible

	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC	DMFC
<i>Electrolito</i>	Membrana de polímero Sólido	Solución Alcalina	Ácido Fosfórico	Carbonatos fundidos	Óxido Sólido	Membrana de polímero Sólido
<i>Temperatura de operación (°C)</i>	60-80	100-120	200-250	600-700	800-1000	50-120
<i>Rango potencia</i>	5-250 kW	5-150 kW	50 kW- 11 MW	100 kW- 2 MW	100-250 kW	5 kW
<i>Ventajas</i>	Baja temperatura Arranque rápido Baja corrosión y mantenimiento	Mayor eficiencia Reacción catódica más rápida	Acepta H2 impuro	Reformado interno Cogeneración	Reformado interno Cogeneración	No necesita reformador de combustible
<i>Aplicaciones</i>	Transporte Portátiles Residencias	Espaciales	Generación eléctrica distribuida y calor	Generación eléctrica distribuida y calor	Generación eléctrica distribuida y calor	Portátiles

Este dispositivo es especialmente útil cuando no se obtiene suficiente energía solar. La pila de combustible mide el voltaje de la batería y carga la batería cuando la tensión está en un límite inferior dado. En la sección sobre el sistema energético. Durante el proceso de búsqueda se encontró un fabricante que nos proporcionaba la pila, *EFOY*. *EFOY* clasifica sus pilas de combustible en dos categorías; uso privado y profesional.

La pila de combustible seleccionada ha sido **EFOY Pro 2400 Duo**. Los modelos duo tienen la oportunidad de conectar varios bidones de combustible. Además, fue posible conectar cuatro bidones de 28 litros de capacidad con metanol en la edición PRO. El proveedor y distribuidor de la pila de combustible fue **Power Controls AS**, ubicada en Moss.

Tabla 4.3. Pila de combustible a utilizar

EFOY PRO	2400 Duo
Potencia de salida	110 W
Potencia de salida (horas de funcionamiento)	80 W (4.500h)
Tensión nominal	12 V DC / 24 V DC
Corriente de carga	9.17 A / 4.58 A
Corriente de carga (horas de funcionamiento)	6.67 A / 3.33 A (4.500h)



Figura 4.4 Pila de combustible junto a los cuatro bidones de combustible



*Figura 4.5 Fuel Cell EFOY PRO-2400 DUO*

La pila de combustible escogida utiliza metanol como combustible y tiene la posibilidad de control remoto y monitoreo sobre el protocolo RS-232. Emite 110W y se puede utilizar para la batería de 12V o 24V. La pila de combustible es robusta y puede funcionar en condiciones climáticas exigentes si está bien aislada. Se pueden conectar bidones de metanol de 28 litros, cada uno, lo que permite que la pila de combustible opere durante períodos prolongados sin supervisión. Las pilas de combustible consumen alrededor de 1 litro/h de metanol.

#### *4.4.1.1- EQUIPO ACCESORIO DE LA PILA DE COMBUSTIBLE*

Con el fin de aprovechar al máximo la pila de combustible, se han seleccionado algunos equipos accesorios. Esto incluye el equipo utilizado para conectarse a un ordenador, el uso de combustible y una caja de aislamiento para hacer frente a las bajas temperaturas.



*Figura 4.6 Adaptador de interfaz*

Este adaptador, que se muestra en la figura 4.5, se utiliza para conectar la pila de combustible a un ordenador. En un extremo tiene una entrada RJ45 y en el otro extremo tiene un enchufe RS-232. El enchufe RS-232 está conectado al ordenador y, a continuación, se conecta un cable Cat 5 entre la pila de combustible y el adaptador.

EFOY DuoCartSwitch, mostrado en la Figura 4.6, se utiliza para conectar los dos recipientes de combustible a la pila de combustible. Reemplaza automáticamente el recipiente de combustible cuando el recipiente que está utilizando está vacío.

DuoCartSwitch utiliza dos recipientes de combustible, los cuales se conectan a la pila de combustible. Se requieren para conectar cuatro recipientes de metanol a la vez, sin ellos sólo es posible conectar dos recipientes. DuoCartSwitch debe estar conectado a la celda con cable Ethernet para que pueda comunicarse y recibir una notificación de cuándo cambiar entre recipientes de combustible. Hay solamente 2 entradas Ethernet en la pila de combustible, siendo no suficiente para dos DuoCartSwitch y una interfaz.

Es por ello que se utiliza un "port-doppler" incluido con cada DuoCartSwitch.



Figura 4.7 DuoCartSwitch

Una ventaja obvia de esta pila de combustible reside en la capacidad de comunicarse. Puede fácilmente conectarse a través de un RS-232 y controlarse a través de un ordenador. También es en gran parte autónomo y utiliza el voltaje de la batería como base para tomar decisiones de control. También tiene sensores de temperatura incorporados, que utiliza para determinar cuándo activar la función "anticongelante". Por lo tanto, puede funcionar durante mucho tiempo sin interacción humana. Además, existe una alternativa respetuosa con el medio ambiente en comparación con muchas otras soluciones. Debido a que la estación está en la naturaleza, también es bueno que emita poco ruido.

Además, la pila de combustible está conectada a un panel de control, como se muestra en la figura 4.8. El panel de control está conectado al EFOY Pro a través de un cable de datos y permite la lectura de datos importantes, así como el control de la pila de combustible. Esto va a ser muy útil para programar el nivel de autonomía de la pila de combustible.



Figura 4.8 Panel de control

#### 4.4.2- BANCO DE BATERÍAS

Cuando el sistema produce más energía de la que consume, nos encontramos con un excedente de energía, siendo deseable almacenar este excedente en el banco de baterías. Esto es necesario dado que conviene ahorrar el excedente de energía para períodos de baja producción de energía solar.

En el proyecto se utilizará un banco de baterías de 12 voltios. Consta de cuatro baterías de 12 voltios de la marca Suntek. Las baterías son baterías de plomo AGM. AGM significa "fibra de vidrio absorbente", lo que significa que el ácido es absorbido por esteras delgadas de fibra de vidrio. La ventaja de las baterías AGM es que son densas y no requieren mantenimiento. También tienen una baja resistencia interna y tienen la capacidad de emitir corrientes altas cuando fuera necesario.



Figura 4.9 Especificaciones de la batería

#### 4.3.3- MODEM GSM

El módem GSM se utiliza para la supervisión remota de la pila de combustible **EFOY Pro**.

Vamos a utilizar un monitor de red, fuera de la red *Udomi*, que resulta perfectamente adecuado para monitorear y controlar los sistemas de la pila de combustible **EFOY Pro** en ubicaciones remotas con cobertura GSM.



*Figura 4.10 GSM 2 Modem*

El módem GSM permite supervisar y controlar la pila de combustible EFOY Pro de forma remota. Es recomendable su utilización como solución para asegurar un funcionamiento autónomo del EFOY Pro.

### **Funciones**

- Notificación si se producen errores.
- Notificación si el cartucho de combustible cae por debajo de la reserva (con combustible opcional).
- Sensor de cartucho FS1.
- Diagnóstico remoto.
- Teledirigido.
- Ajuste remoto de parámetros.
- Actualización de firmware a través del módem GSM.

## 5- RESULTADOS

### 5.1- CONSIDERACIONES PREVIAS

Antes de comenzar cualquier implementación se ha de tener claro qué se va a hacer y cómo:

- Contextualización

*Utilizando la tecnología existente e instalada en la base de Skarvan, se desea diseñar e instalar los equipos necesarios para el funcionamiento autónomo de la estación de investigación en Skarvan, Hessdalen.*

*Principalmente, se debe diseñar el funcionamiento autónomo de los equipos de medición.*

*El objetivo principal es el de garantizar el funcionamiento autónomo, ecológico y sostenible de los equipos de medición fijos definidos en la estación.*

*La estación está ubicada a 1000 metros sobre el nivel del mar, por lo que el grupo de proyecto se verá obligado a tomar las consideraciones necesarias a este respecto.*

### 5.2- FASES DEL PROYECTO

- FASE 1 → Acuerdo de alquiler de un remolque para transportar desde el campus de Halden el equipo necesario y trasladarlo a un lugar asignado en el campus de Kråkerøy.
- FASE 2 → Revisión y testeo de equipos. Es necesario en esta fase averiguar cuánta energía se es capaz de producir, cuánta cantidad de esta energía se puede utilizar y cuánta se puede almacenar. Se considera para esto la energía proveniente de los paneles solares y el uso de la pila de combustible.
- FASE 3 → Durante esta fase se llevará a cabo la planificación del transporte del equipo a la base Skarvan, Hessdalen, durante el otoño 2019, así como el transporte de personal y material necesario para la instalación. Previa instalación, se realizará la inspección de los equipos ya instalados en la base Skarvan.
- FASE 4 → Esta fase es una extensión de la fase 3. En esta fase se procederá a instalar todo el equipo transportado.



**Quizás fuera interesante en este punto estimar el coste económico que estas fases fueran a presentar:**

1. Equipo suplementario y alquiler de transporte Fredrikstad - Hessdalen - Fredrikstad.
2. Alojamiento del personal.

Estimación: 20.000 NOK, solo teniendo en cuenta el transporte y alojamiento.

### 5.2.1- FASE 1: DESCONEXIÓN Y TRANSPORTE

En esta fase se tuvo que hacer frente al problema de organizar y conseguir la manera de trasladar el equipo necesario desde el campus de Halden hasta el campus de Kråkerøy. Para este propósito, hubo que desmontar todo el equipo instalado dentro del tráiler y una vez en el exterior, adquirimos un remolque, cedido por un particular, el cual se enganchó en el vehículo de Tom.

En el remolque se transportó el equipo más voluminoso y pesado. Otro equipamiento, como las placas solares o las baterías, mucho más delicadas en su transporte, fueron trasladadas tanto en el coche privado de Eskil como el de Tom.

Después de haber decidido cómo íbamos a transportar el equipo necesario, lo llevamos de Halden al campus de Kråkerøy en una mañana.



*Figura 5.1 Tráiler con todo el equipo en su interior (Halden)*

Primero empezamos desconectando las conexiones eléctricas y desmontando las placas solares del tráiler, aunque éstas no se fueran a utilizar durante la fase de

instalación, ya que las placas solares necesarias para el sistema ya se encontraban previamente instaladas en la Base Skarvan.



*Figura 5.2 Paneles solares desmontados*

Después de ello, desconectamos las protecciones de los paneles solares.

Había una caja de metal dentro del remolque, el cual tenía dentro la pila de combustible, cuatro bidones, la pantalla de monitorización y los cables para la comunicación, el control remoto.



*Figura 5.3 Dentro de la caja de metal, con la pila de combustible, 4 bidones de combustible y los cables*

Después de visualizar y comprobar lo que había en el interior de la caja, comenzamos a desconectar cada parte por separado.

Tras quitar los cables y los cuatro bidones de combustible y cargarlos en los vehículos, comprobamos el router que había conectado por si nos pudiera servir.

También fueron desconectados los cables utilizados para el regulador TriStar MPPT-60.

Cuando terminamos de desconectar todas las cosas pesadas y más frágiles, se procedió a sacar la caja de metal del tráiler, subiéndolo en el remolque prestado.

Al finalizar la desconexión y tras haber asegurado todo en el remolque y los coches, se trasladó todo a Fredrikstad y dejamos todo dentro del sótano almacén de la universidad.



*Figura 5.4 Dentro del sótano*

### 5.2.2- FASE 2: REVISIÓN Y PRUEBA DE EQUIPOS

En la siguiente fase del proyecto, se decidió probar todo el equipo, para asegurarnos de que funcionara correctamente y cómo instalarlo en la base Skarvan por nosotros mismos. Para ello organizamos una reunión con un trabajador profesional de Power Controls, cuya empresa es la que suministra el equipo.

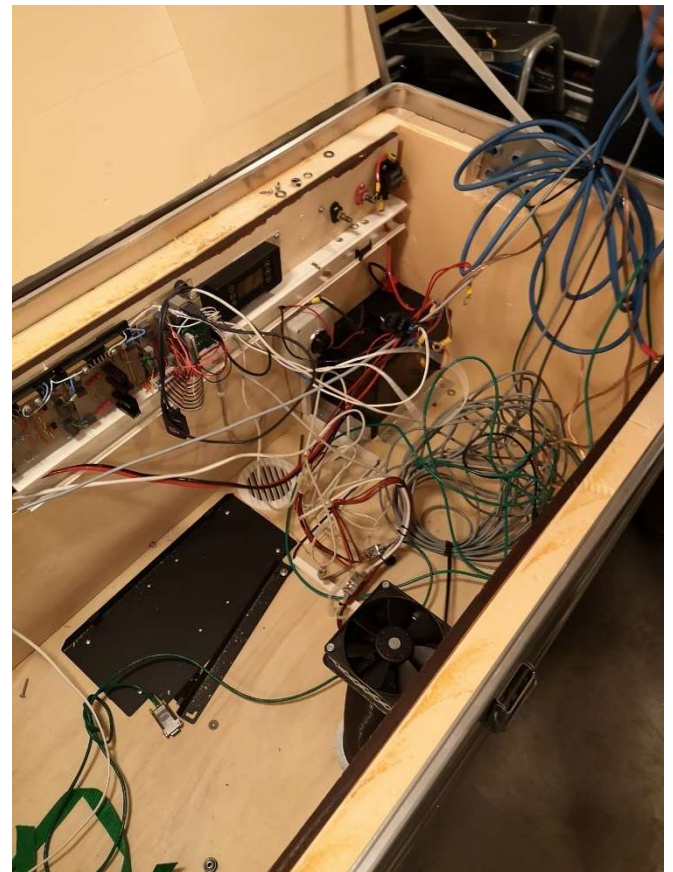
En primer lugar, cargamos todas las baterías.

Tras ello, se comprobó el estado de las baterías, todas ellas, con el objetivo de comprobar su nivel de voltaje. Para ello se utilizó un multímetro, y nos aseguramos de que cada batería funcionaba correctamente.

Siguiendo las indicaciones del trabajador profesional, establecimos el protocolo de instalación y conexión de cada cable, así como la determinación de sus funciones.



*Figura 5.5 Tom, Eskil y el trabajador profesional*

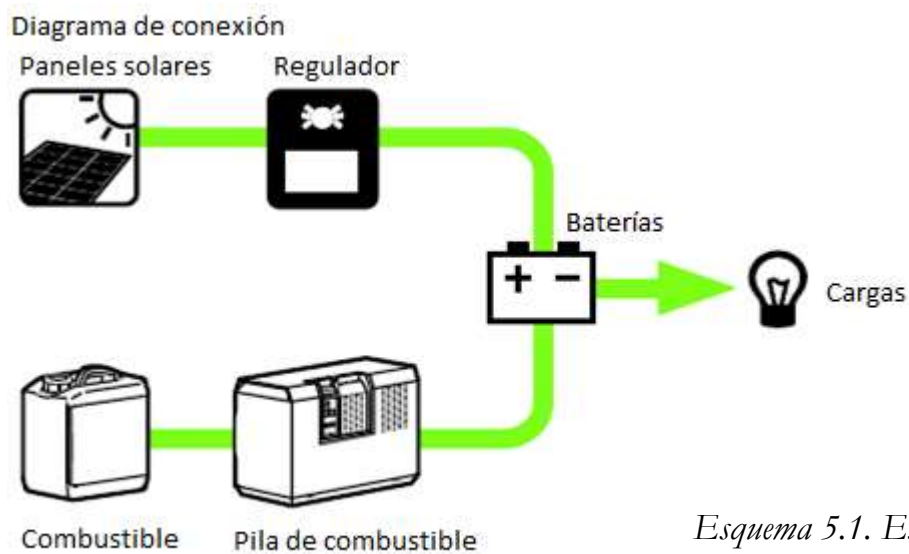


*Figura 5.6 Cables utilizados para conexiones*

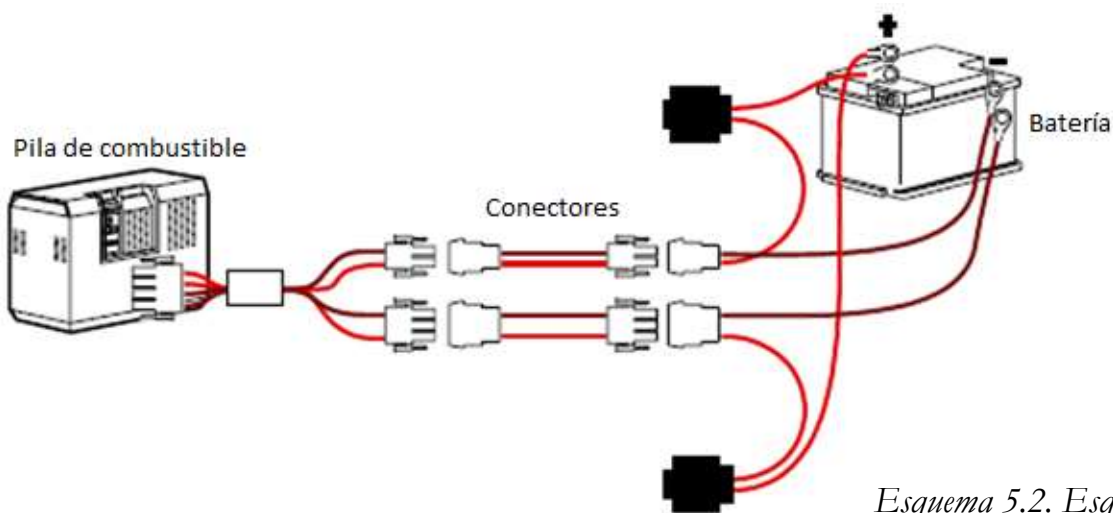
Se realizó un simulacro de conexión sobre cómo conectar cada cable entre la pantalla, el módem, las baterías, la pila de combustible y los bidones de combustible. Para ello, seguimos las indicaciones del profesional.

El módem GSM estaría conectado entre las baterías y la pila de combustible. El control de la pantalla y el *DuoCartSwitch* estarían conectados directamente en la pila de combustible.

En resumen, el diagrama de conexión que se siguió fue el siguiente:



Esquema 5.1. Esquema de conexión

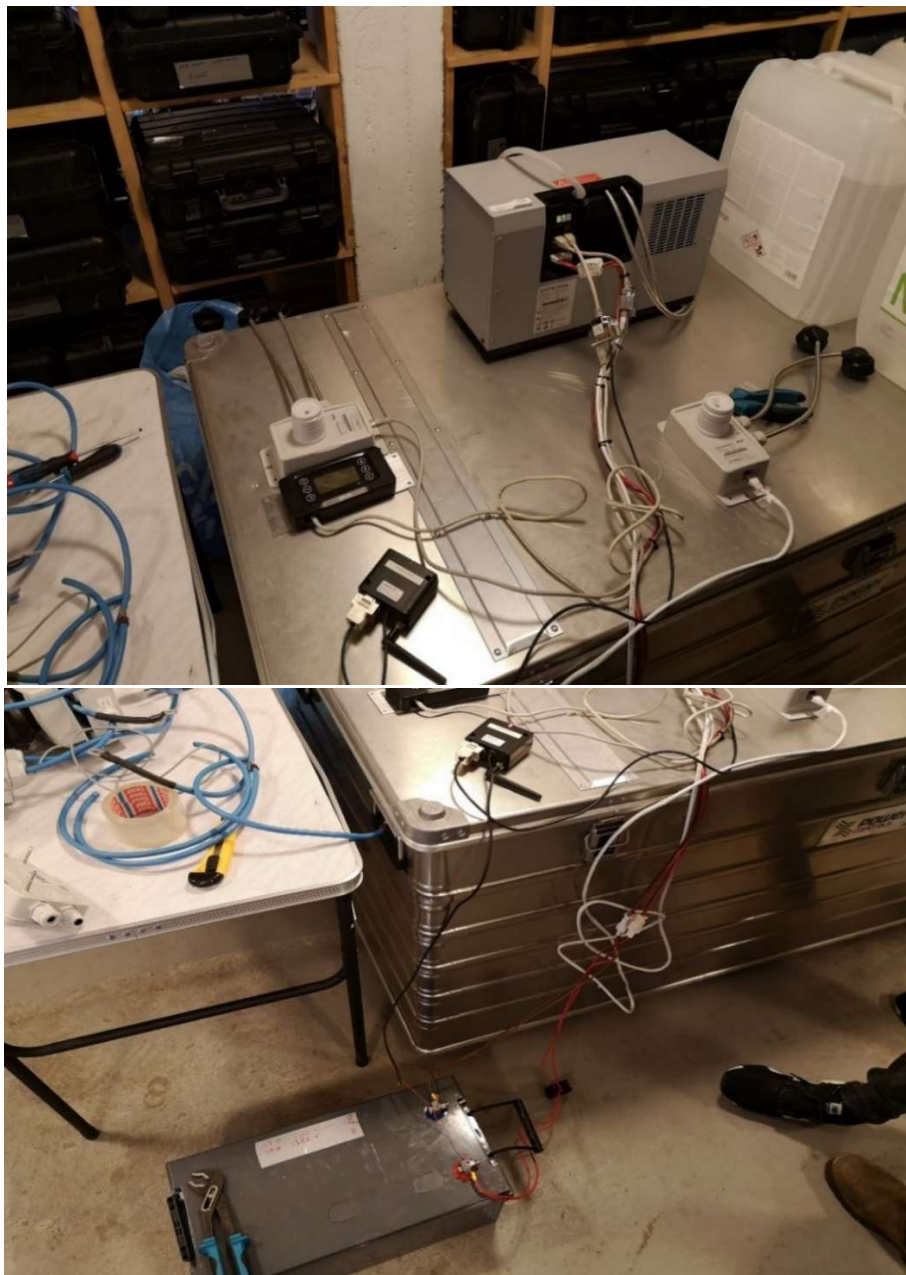


Esquema 5.2. Esquema de conexión

Tras unir todos los cables en la pila de combustible y la pantalla, conectamos una de las baterías y encendimos el sistema, buscando comprobar si el sistema funcionaba correctamente y si se cargaba la batería.

Como siguiente paso al haber hecho las conexiones de la batería en la pila de combustible y al sistema de monitorización, se procedió a encender el sistema y comprobar cuál era su comportamiento.

En el caso del módem GSM *Udomi*, necesario para la comunicación remota, se utilizó finalmente uno especial para este sistema.



*Figura 5.7 Todo el sistema unido*



*Figura 5.8 Todo el sistema que se procedería a instalar*

Después de realizar todas las conexiones, aprendimos a configurar la pantalla de control, siguiendo las indicaciones del profesional, el cual nos mostró cómo configurar todos los parámetros desde la pantalla, dependiendo de los requerimientos del sistema específicamente.

Tras este simulacro de funcionamiento, se establecieron los protocolos de conexión y configuración necesarios para avanzar hacia la siguiente fase.

### 5.2.3- FASE 3: PLANIFICANDO EL TRANSPORTE DEL MATERIAL HACIA HESSDALEN

En esta fase, se planeó finalmente ir a la base Skarvan el **30 de octubre de 2019**, tomando todo lo que necesitábamos en una furgoneta de alquiler y coche de alquiler. Se cargaron baterías, pila de combustible, cableado, combustible, trineos y material personal para dormir en la base durante un día.



*Figura 5.9 Furgoneta y coche alquilados*

Para llevar a buen puerto esta fase, contamos con la ayuda de *Kevin Andresen* y *Marion Fjeldby*, ya que el equipo era demasiado pesado para transportarlo hasta la base Skarvan por solo 4 personas.

Tras llegar a Hessdalen, comenzamos a cargar los trineos con el equipo más pesado, como las baterías.





*Figura 5.10  
Cargando las  
baterías y la pila  
de combustible en  
los trineos*

Con mucho esfuerzo (debido al emplazamiento de la base en lo alto de una montaña nevada) y a las condiciones meteorológicas, se llegó con éxito a la Base Skarvan con todo el equipo intacto, completando así la parte más difícil de esta fase.

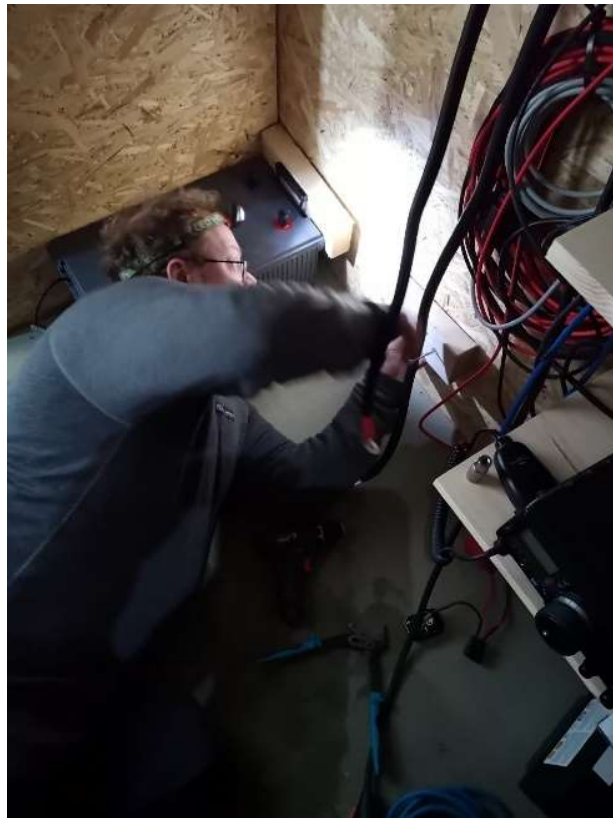


*Figura 5.11 Tras llegar a la Base Skarvan.*

#### 5.2.4- FASE 4: INSTALACIÓN

Una vez en la base, repusimos energía y fuerzas y decidimos comenzar con la fase de instalación a primera hora del día siguiente.

A la mañana siguiente nos pusimos manos a la obra, y en primer lugar tuvimos que diseñar dónde poner las baterías. Para ello decidimos ponerlos en el suelo, protegiéndolas con algo de madera.



*Figura 5.12 Eskil colocando los tablonces de madera.*

Para aprovechar el espacio reducido, fijamos algunas tablas de madera por encima de las baterías, con el propósito de poner por encima de algunos de los bidones de combustible.

Esta parte fue la más trabajosa del proceso de instalación, debido a que fue necesario tomar medidas y utilizar herramientas apropiadas para fijar las tablas de madera. Una vez que terminamos, se decidió dónde colocar los bidones de combustible y la pila de combustible.



*Figura 5.13 Todo el sistema instalado*

Finalmente, colocamos únicamente uno de los bidones de combustible por encima de las baterías, y el resto, directamente debajo de la pila de combustible. Tras ello, conectamos todos los cables tal y como dictaba el protocolo elaborado previamente en el campus de Fredrikstad. Las baterías fueron conectadas en el sistema en paralelo.



*Figura 5.14 El sistema previamente instalado donde conectamos las baterías y la pila de combustible*

La pantalla de control se fijó directamente en la pared, a la altura de los ojos, por comodidad.

El módem GSM se colocó directamente en el estante.

### 5.2.5- RESUMEN DE LA INSTALACIÓN

Después de finalizar toda la instalación, se realizó una prueba y funcionó correctamente, tal y como se esperaba, configurando los parámetros en la pantalla de control.

La autonomía de las baterías, conectadas entre ellas en paralelo, es de unos 16 días, en caso de que hubiera nula energía solar. Fijamos el mínimo y el máximo del umbral de voltaje de las baterías en la pantalla de control, siendo entre 11.9-13.8V. Esto significa que cuando la tensión de las baterías está por debajo de 11,9 V (20% de capacidad) la pila de combustible se conecta automáticamente, cargando las baterías con el combustible. Y cuando el voltaje de las baterías llega a 13.8V la pila de combustible se detiene automáticamente.

Además, la pila de combustible consume aproximadamente 1 litro/h, teniendo cuatro latas de combustible (metanol) de 28 l cada una.

El sistema de carga consume alrededor de 1200 Wh/día como máximo.

En resumen, el diagrama de lo que hicimos fue el siguiente:

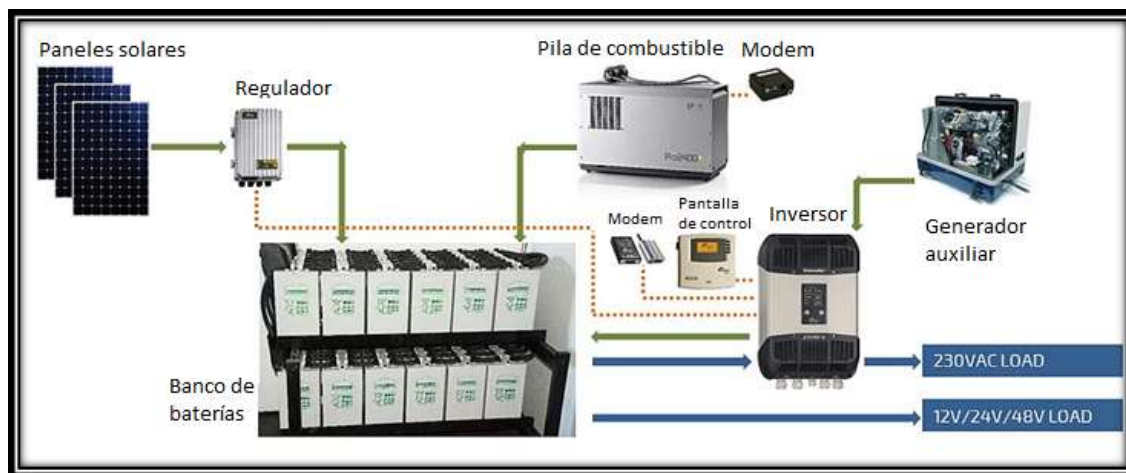


Figura 5.15. Esquema de conexión instalado

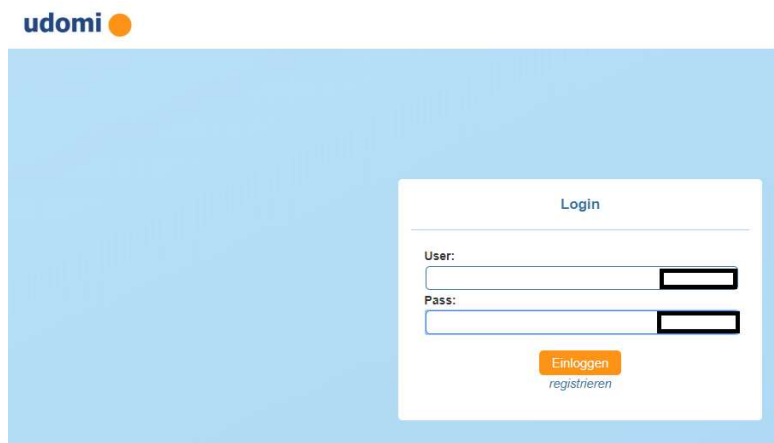
## 6.- CONTROL Y MONITORIZACIÓN

La ventaja principal de todo este sistema es que es posible controlarlo de forma remota, cambiando los parámetros desde un ordenador con conexión a Internet y las credenciales adecuadas. Además, si algo negativo sucediera, como temperatura inusual, se recibe una alarma en los dispositivos sincronizados con el sistema, advirtiéndolo sobre el problema.

En esta parte, entramos en el portal de monitorización remota, para ver cómo se ven y cómo podemos controlar los parámetros, también sabiendo lo que está sucediendo en cada momento dentro de la Base Skarvan.

### **PORTAL DE PILA DE COMBUSTIBLE**

En primer lugar, entramos en el portal remoto de la pila de combustible.



*Figura 6.1 Portal remoto de la pila de combustible*

Una vez dentro del portal, podemos ver una gran cantidad de indicadores que nos informan del estado y parámetros de la base:



[Fuel cells](#) [Help](#) [Administration](#)

Search for IMEI:

Device name	Last report received (UTC+1)	Battery voltage
HESSDALEN	08-dic-2019 13:53:48	12.74V



Order by:  Show:

Charge current	Operating hours	Cartridge
5.41A	2314.8h	cartridge 2 consumed 23.37l

competence in fuel cell systems

[DE](#) [EN](#) [Logout](#)

Status	Status IO Alarm	GPRS status
no error	--	Online

Figura 6.2 Información mostrada por el portal de pila de combustible

Como se puede observar, indicadores como corriente de carga, horas de funcionamiento, etc. se muestran fácilmente sin tener que estar allí.

Pero podemos saber mucho más al entrar en el nombre del dispositivo.

Tabla 6.1. Datos mostrados en el portal de la pila de combustible

Information	Settings	Alarm management	Communication	Administration	Remote On/Off
Device name:	HESSDALEN	Status:	no error		
Report interval in sec.(Default 3600):	600	Polling interval in sec. (Default 60):	60		
Battery voltage:	12.74V	Charge current:	5.41A		
Actual power:	68.92W	Accumulated energy:	197188.0Wh		
Operating hours:	(charge mode) 2314.8h	Operating status:	auto on		
Operating mode:	auto	Cartridge:	cartridge 2 consumed 23.37l		
Ucell:	330mV	Ucell timestamp (UTC+1):	08-dic-2019 13:53:48		
Last report received (UTC+1):	08-dic-2019 13:53:48	Warning:	no warning		
Battery type:					
<hr/>					
GPRS IMEI:		GPRS status:	Online		
GPRS signal quality min:		GPRS signal quality max:	11		
Phone number:		SIM card ID:			
Cell information (MCC-MNC-LAC-CELL):		Valid until:			
<input type="button" value="Request actual data"/>					

Desde este portal, se puede echar un vistazo fácil sobre cómo funciona el sistema, cuánto consume, cuántas horas está activada, etc.

Además, nos permite la modificación de los parámetros en caso de que sea necesario.

También se puede gestionar el sistema de alarma, controlando cuándo debería encenderse. Está preparado para enviar una advertencia tal como:

1. Error: alerta cuando la pila de combustible está en modo de error.
2. Bidón de combustible bajo - Alerta cuando el sensor de combustible FS1 detecta bajo nivel de combustible o si Duocartswitch (DCS1) ha cambiado.
3. Voltaje - Alerta cuando el voltaje de la batería cae por debajo del nivel de disparo de voltaje.
4. Maestro: genera un mensaje de alarma para todas las condiciones de alarma disponibles.

También se tiene una práctica gráfica sobre el funcionamiento del sistema a lo largo del tiempo. Se actualiza cada diez minutos.



Figura 6.3. Gráfica en tiempo real

## PORTAL METEOROLÓGICO

Hay otro portal, utilizado para conocer las condiciones climatológicas:

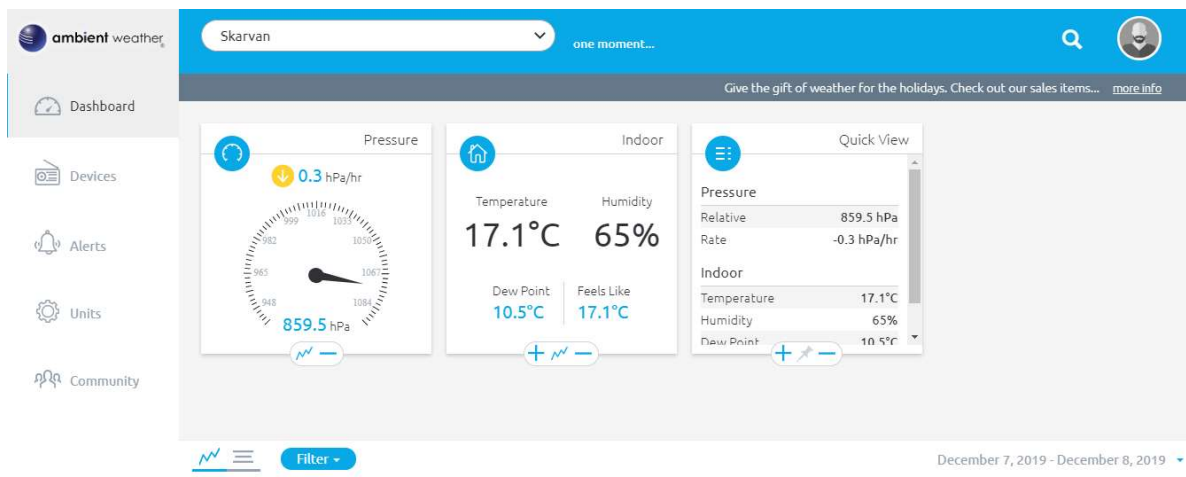


Figura 6.4. Condiciones climatológicas



Desde este portal, podemos ver algunos indicadores como la temperatura interior, la humedad interior, la presión o la velocidad del viento. Esto es gracias a los sensores instalados que se tienen en la base.

## PORTAL DE LOS PANELES SOLARES

Por último, tenemos otro portal, utilizado para controlar los paneles solares:

Figura 6.5 Portal de paneles solares



Figura 6.6 Portal de paneles solares

Desde este portal, podemos controlar el sistema de paneles solares, incluso conectándolo o desconectándolo.

## 7.- CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

Con el objetivo principal de instalar un sistema energético ecológico y autónomo, hemos logrado dotar a la base Skarvan de un suministro energético duradero, con el propósito de establecer una estación de medición de diferentes parámetros, desde el cual estudiar el fenómeno de las luces de Hessdalen a lo largo del tiempo.

La ventaja principal de todo este sistema es que es posible controlarlo de forma remota, cambiando los parámetros desde un ordenador con conexión a Internet y las credenciales adecuadas. Además, si algo negativo sucediera, como temperatura inusual, se recibe una alarma en los dispositivos sincronizados con el sistema, advirtiendo sobre el problema.

Con el acceso a estos portales de monitorización y control, se puede observar los distintos indicadores en tiempo real de estado y de datos de la base, así como poder controlar los parámetros que definen la funcionalidad de la base.

Como futuras líneas de trabajo, se ha considerado la posibilidad de seguir ampliando el banco de baterías para dotar de mayor autonomía a la base, a la par que se aumentan los módulos solares conectados, y así como la de construir un barracón superior por encima del ya existente, para ampliar el espacio de la base.

El futuro de esta base pasa por llegar a convertirse en una estación fija bajo la cual estudiar el fenómeno Hessdalen dentro de un marco científico de investigación, y con el propósito de convertirse en referencia internacional a la hora de abordar y estudiar el fenómeno Hessdalen.

## 8.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] José Antonio C. González., Roque C. Pérez., Antonio C. Santos, Manuel-Alonso C. Gil; ***Centrales de energías renovables. Generación eléctrica con energías renovables***; [Libro]; Vol. I; pág. 235; 2009.
- [2] Red eléctrica de España; ***Las energías renovables en el sistema eléctrico español***; [artículo]; pág. 38; 2019.
- [3] McGrawHill; ***Componentes de una instalación solar fotovoltaica***; [artículo]; Unidad 1; pág. 8.
- [4] Juan Carlos Ruiz M., D. Marrero L., Juan Peña M.; ***Pilas de combustible***; [artículo]; pág. 22; 2006.

[5] Centro Nacional del Hidrógeno; *¿Qué es una pila de combustible?*, [artículo]; pág. 1; 2018.

[6] Østfold University College; *Project Hessdalen*, [web];  
[http://www.hessdalen.org/index\\_e.shtml](http://www.hessdalen.org/index_e.shtml)

[7] Energías renovables; *Nanotecnología al servicio de la eficiencia solar*, [artículo]; 2014; <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/nanotecnologia-al-servicio-de-la-eficiencia-solar-20140429>

[8] Energías renovables; *Células solares super eficientes*, [artículo]; 2003;  
<https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/celulas-solares-supereficientes>

[9] Innovo soluciones tecnológicas; *tecnología*, [web];  
<https://innovosoluciones.weebly.com/tecnologia.html>

[10] Desde **POWER CONTROLS**:

1. <https://www.powercontrols.no/ytelse1>
2. <https://www.powercontrols.no/solceller>
3. <https://www.powercontrols.no/solcelleregulator>
4. <https://www.powercontrols.no/inverter-lader>
5. <https://www.powercontrols.no/batterier>
6. <https://www.powercontrols.no/aggregat>
7. <https://www.powercontrols.no/brenselceller>

[11] Desde **EFOY**:

1. <https://www.efoy-pro.com/en/efoy-pro/efoy-pro-2400/>
2. <https://www.efoy-pro.com/en/efoy-pro/accessories/>
3. <https://www.efoy-pro.com/en/service/downloads/>

[12] Desde **UDOMI**:

1. <http://www.udomi.de/produkte-kategorie.php?lang=en>

[13] Desde **HONDA**:

1. <https://www.hondaencasa.com/generadores-insonorizados-portatiles/91-eu-10-i-8435285117549.html>

## **ANEXO I**

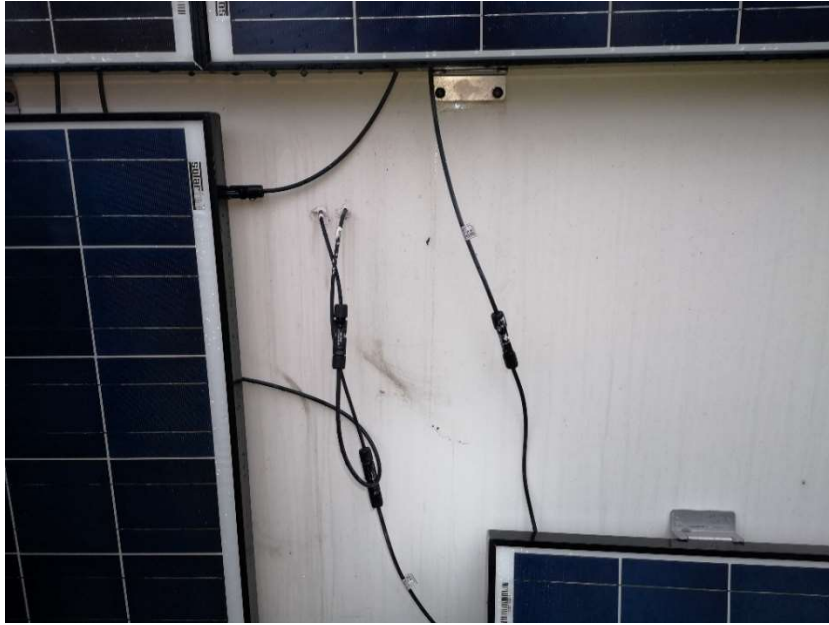
# **REPORTAJE GRÁFICO: COMPROBACIÓN, TRANSPORTE Y CONEXIÓN DEL EQUIPO**



*Figura 1 Remolque enganchado en el coche de Tom*



*Figura 2 Ambos coches usados para el transporte de equipo*



*Figura 3 Conexiones de los paneles solares*



*Figura 4 Protecciones de los paneles solares*

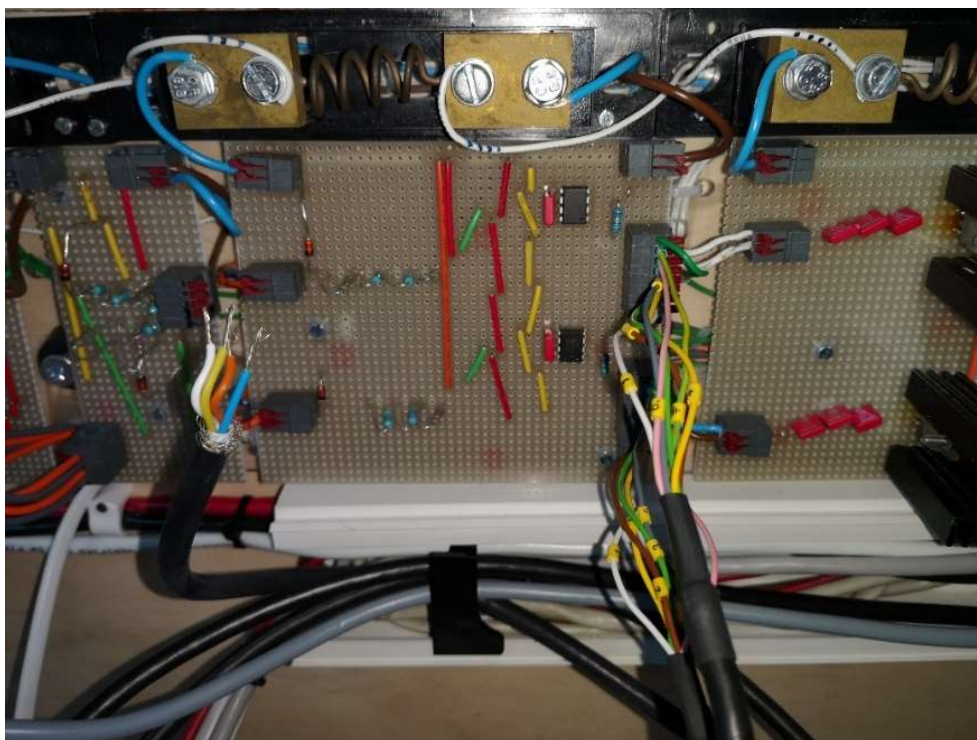
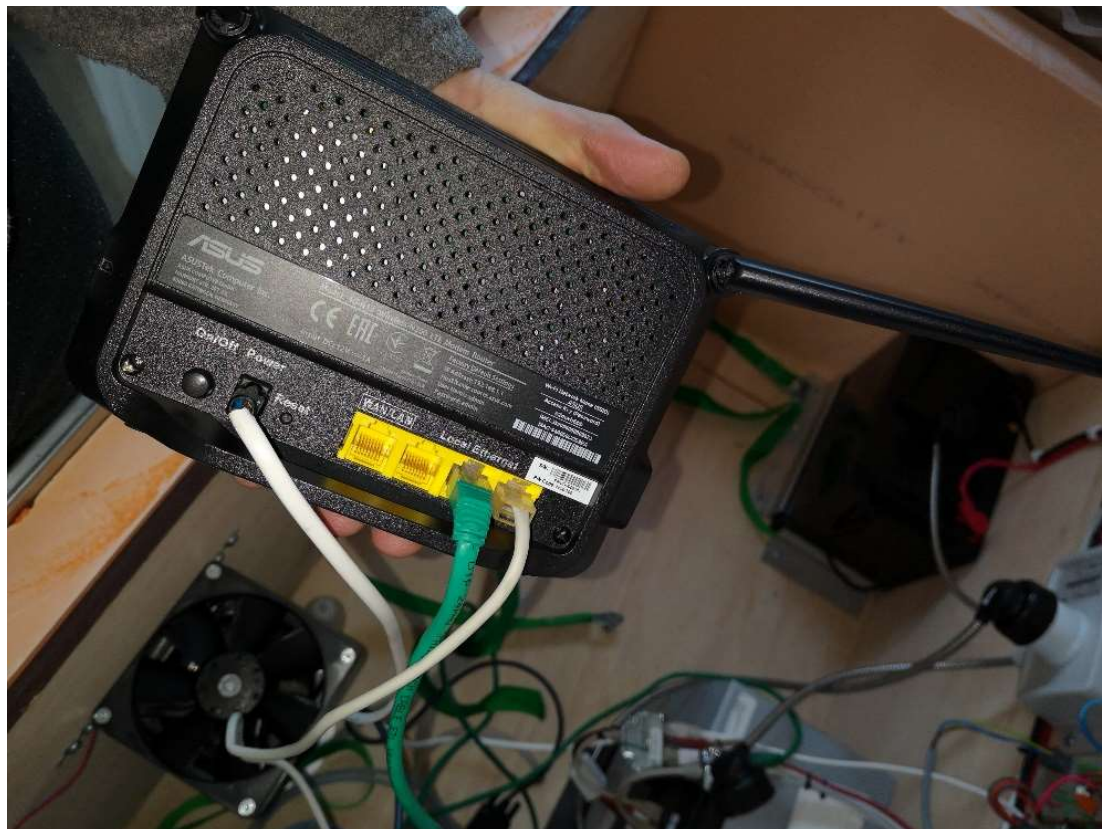


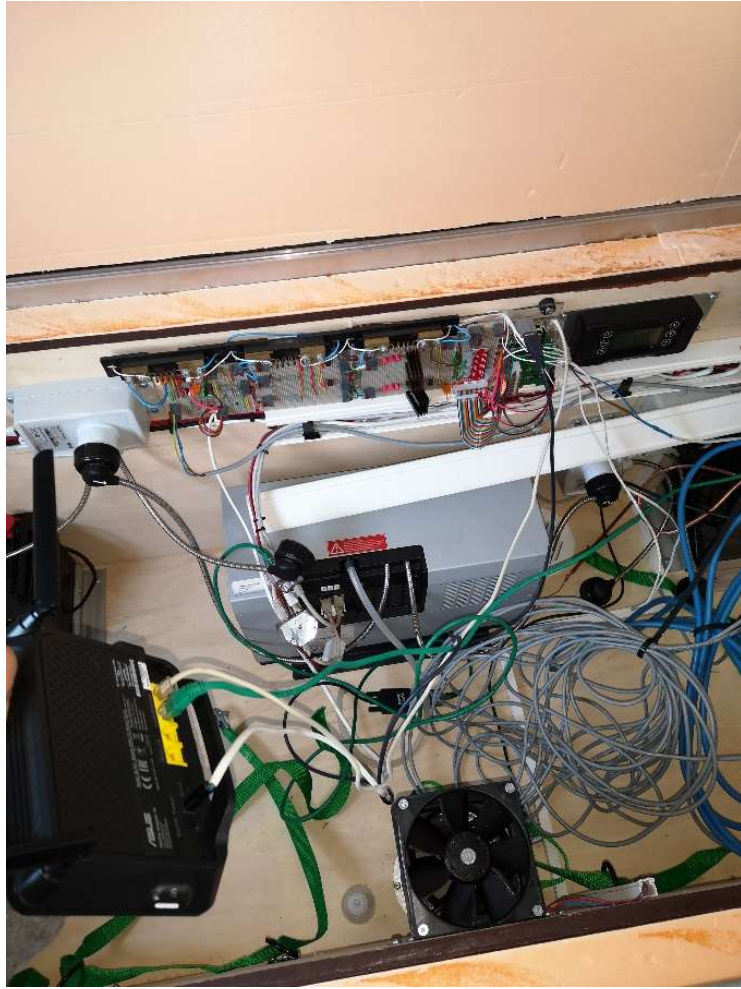
*Figura 5 Dentro de la caja de metal, con la pila de combustible, 4 latas de combustible y los cables*



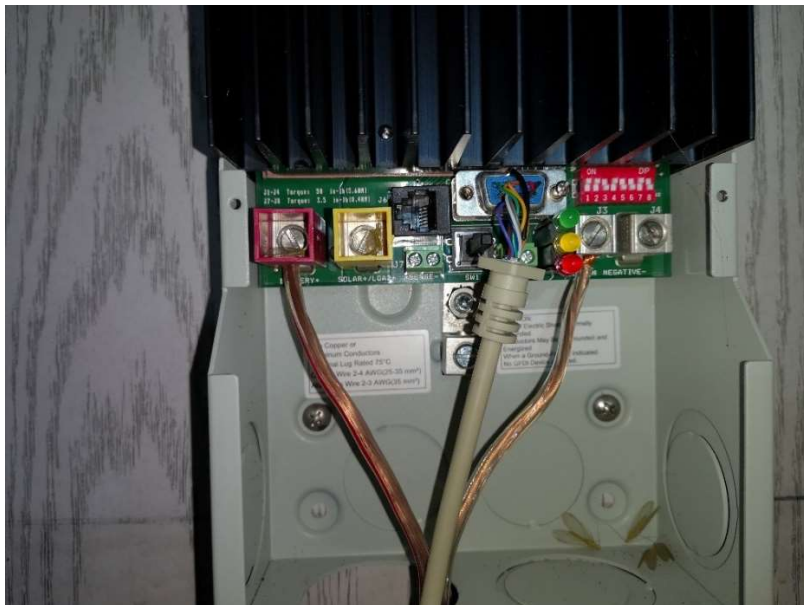
*Figura 6 Desconectando el sistema electrónico con un destornillador*



*Figura 7 Sistema electrónico**Figura 8 El router utilizado en el sistema*



*Figura 9 Extracción del router*



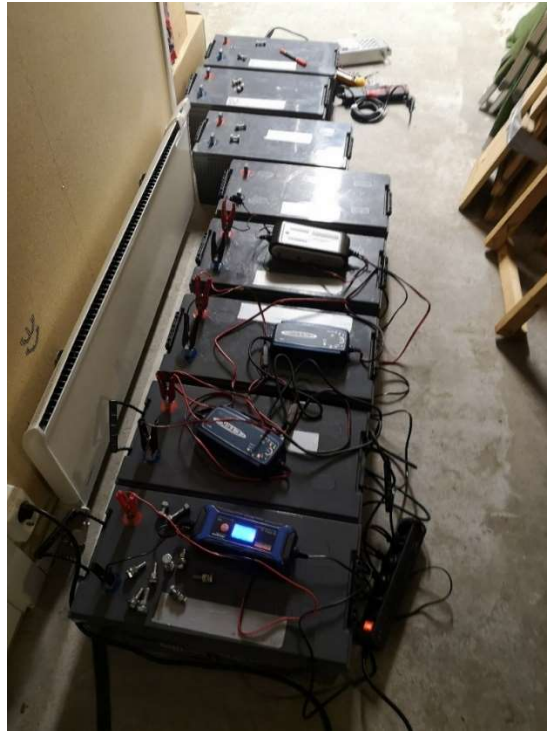
*Figura 10 Dentro del sistema regulador*



*Figura 11 Sacando la caja de metal*



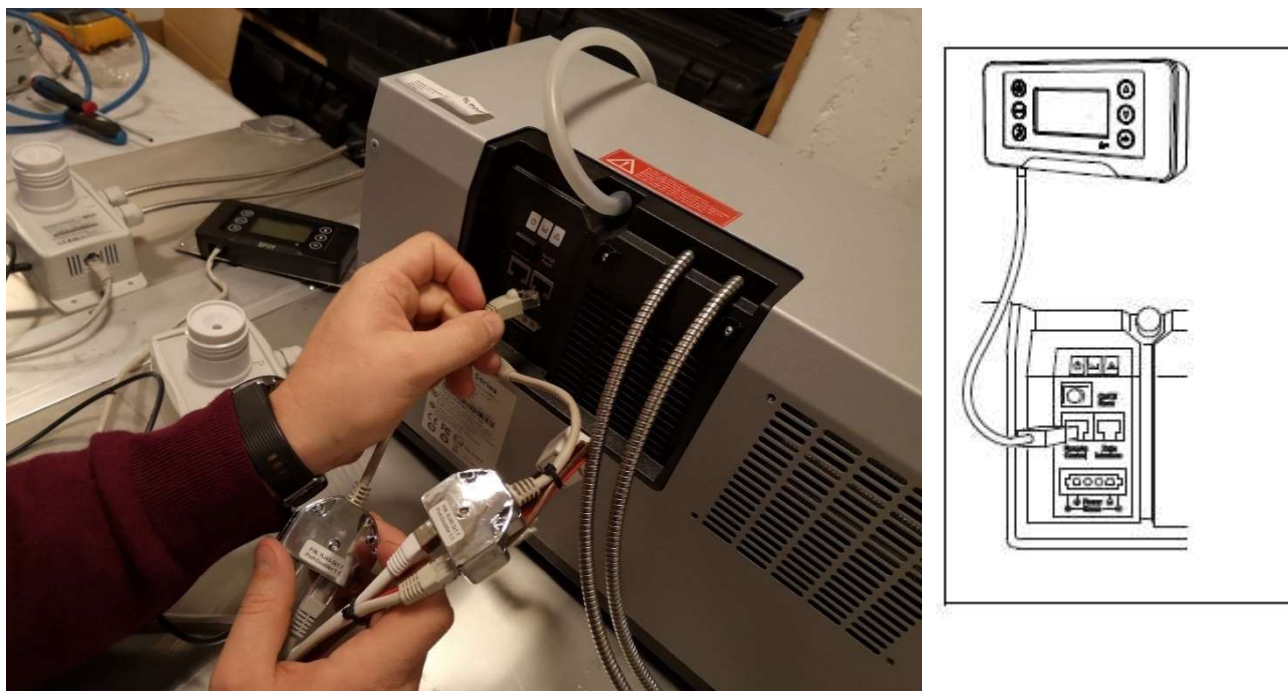
*Figura 12 La caja de metal con los bidones embalados dentro del remolque*



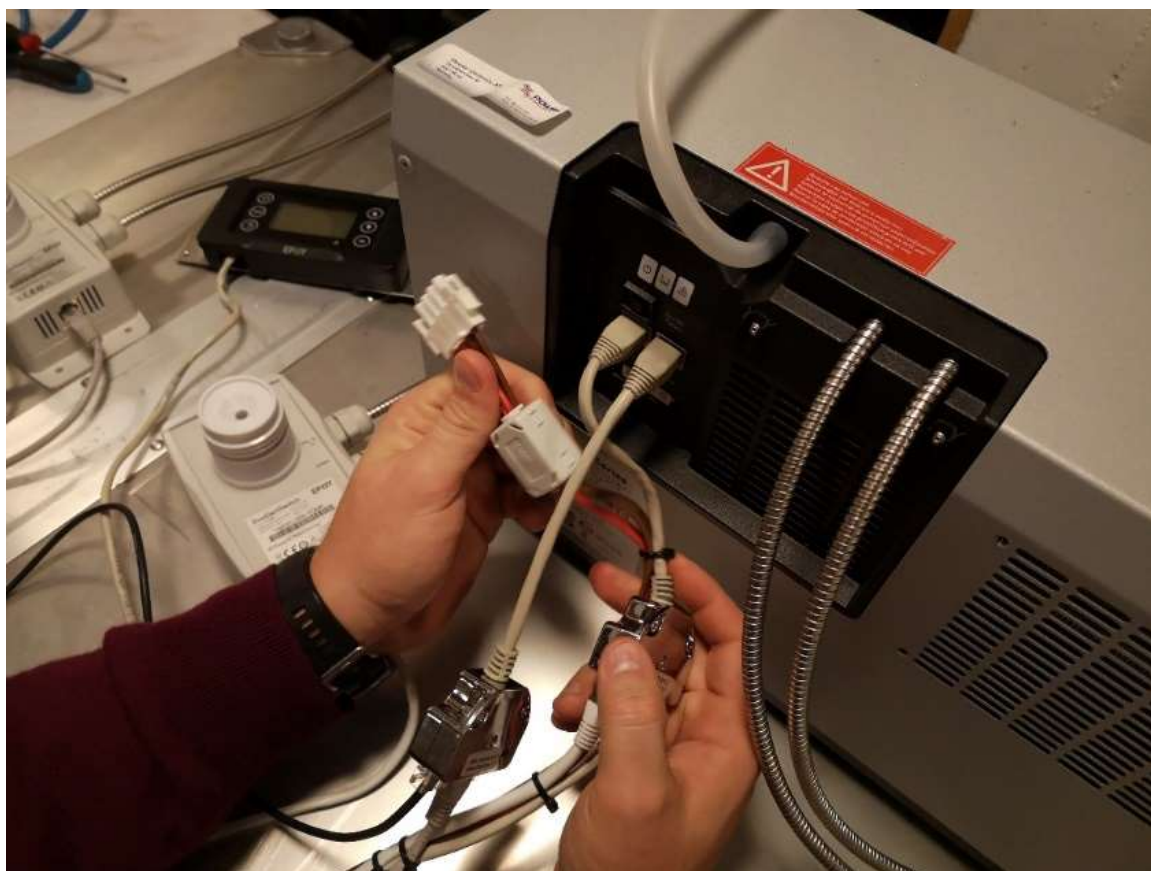
*Figura 13 Carga de las baterías*



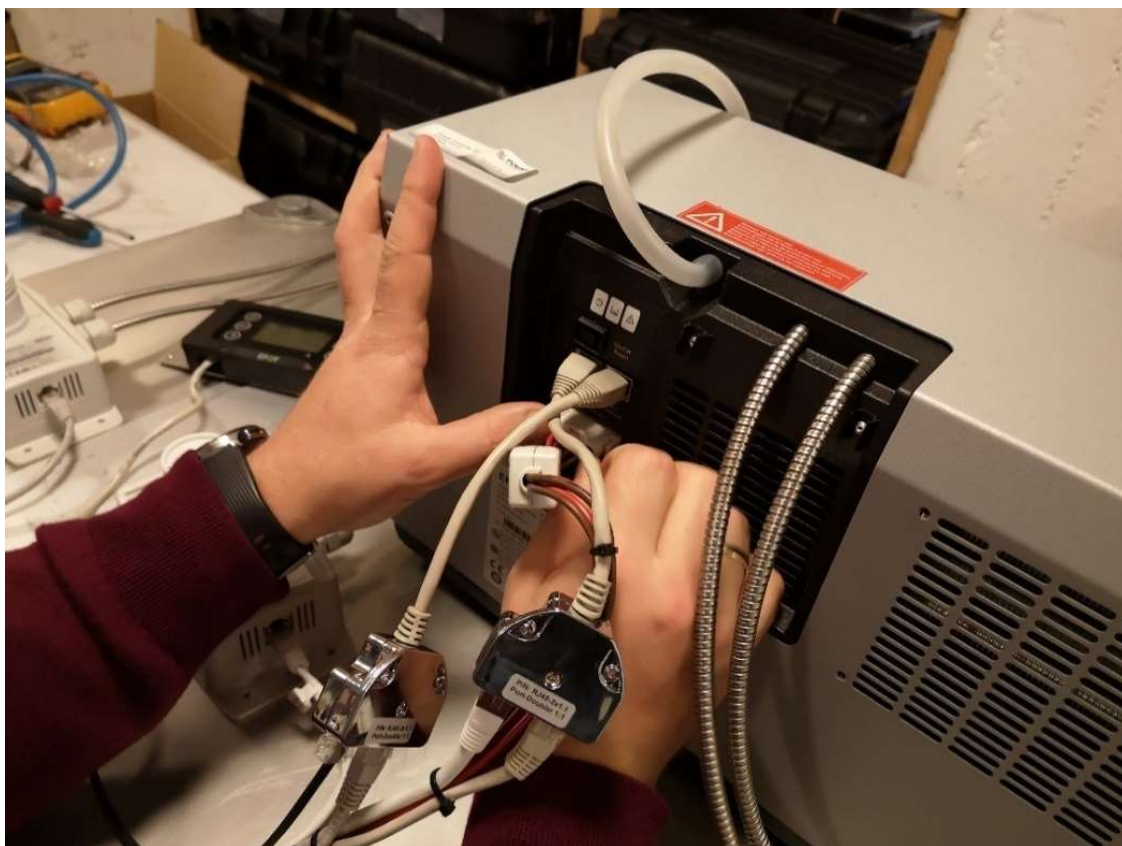
*Figura 14 Conexión de los cables para el control de las baterías y la pila de combustible*



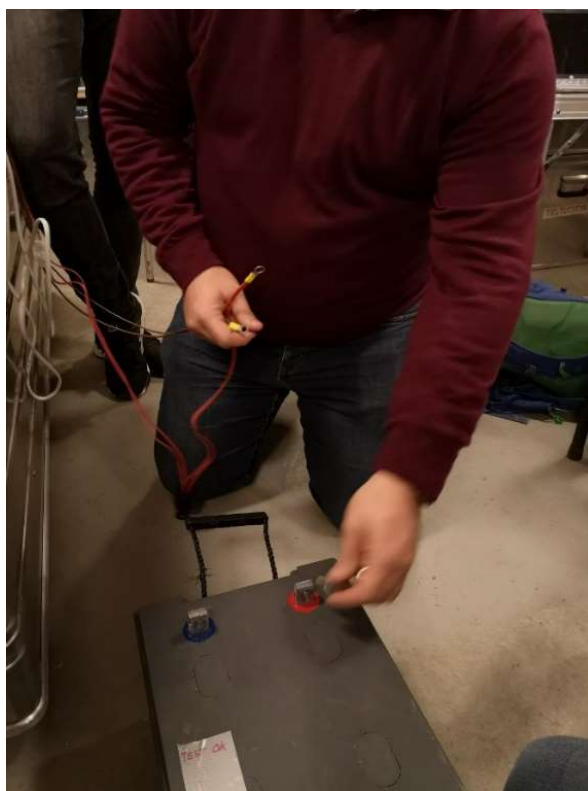
*Figura 15 Conexión de los cables en la pila de combustible*



*Figura 16 Conexión de todos los cables en la pila de combustible*



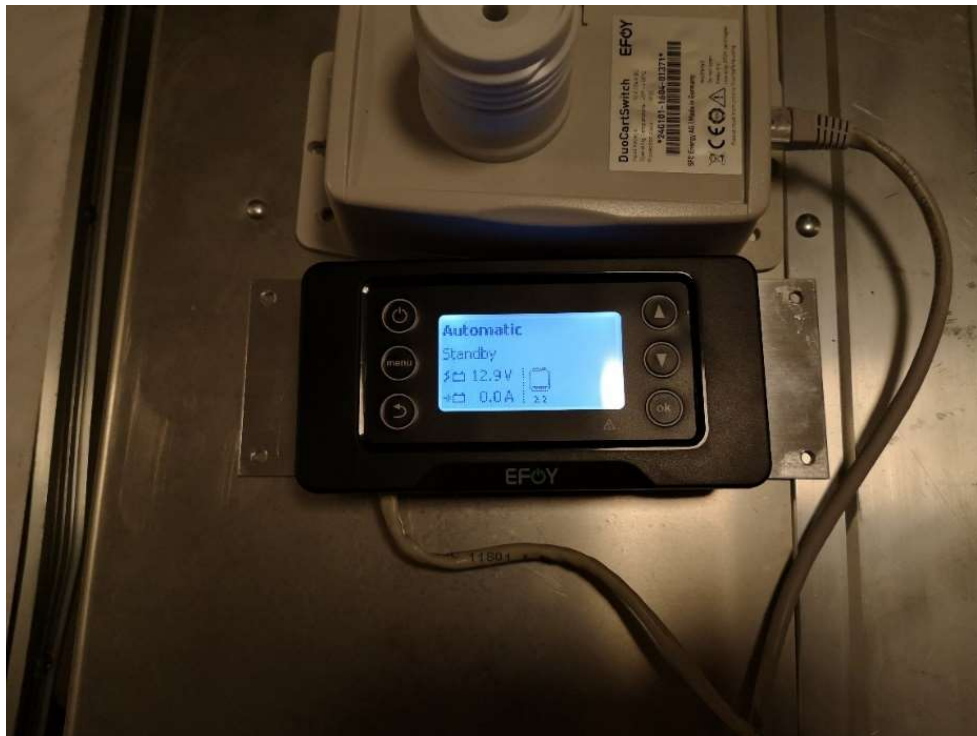
*Figura 17 Conexión de todos los cables de la pila de combustible*



*Figura 18 Conexión de una de las baterías al sistema*



*Figura 19 Batería conectada en la pila de combustible y el sistema de monitoreo*



*Figura 20 Pantalla utilizada para controlar los parámetros del sistema*



*Figura 21 Módem utilizado para el control remoto*



*Figura 22 Los cuatro bidones de combustible*



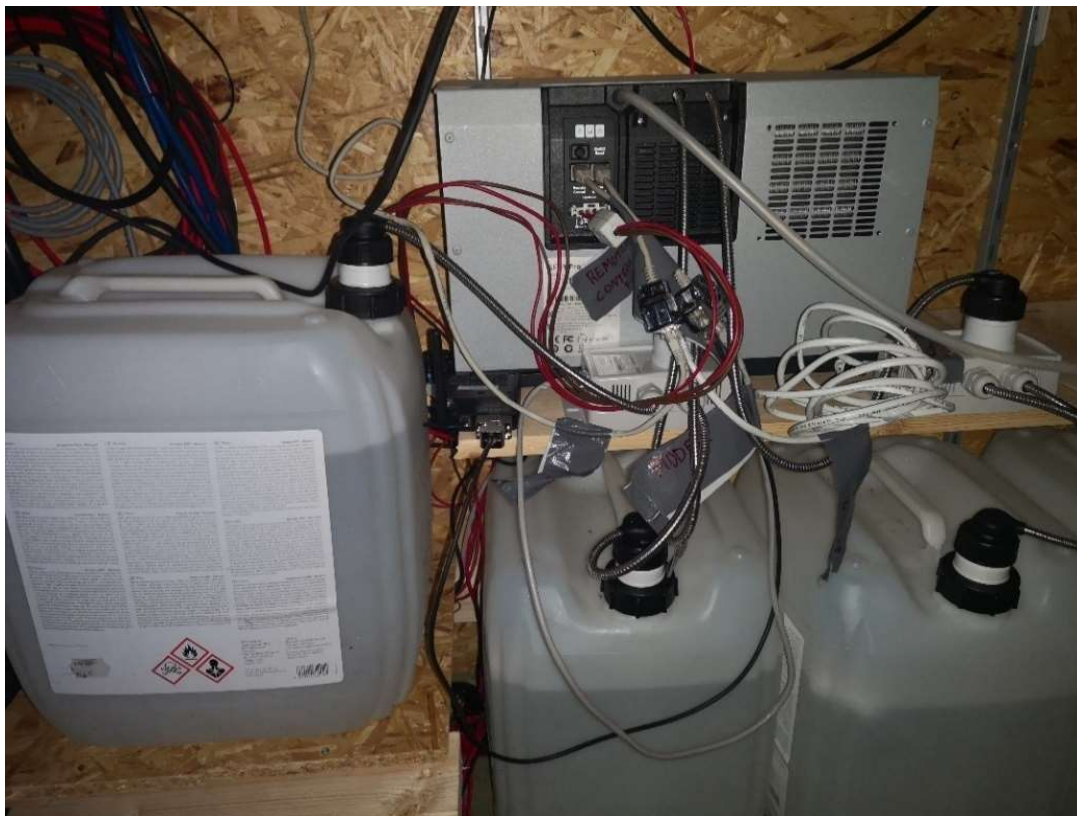
**ANEXO II:**  
**REPORTAJE GRÁFICO: TRANSPORTE  
E INSTALACIÓN**



*Figura 1 Kevin, Eskil, Tom y Marion preparando los trineos.*



*Figura 2 Diseño de la disposición de las baterías junto a las tablas de madera*



*Figura 3 Posición final de los bidones de combustible y los cables*



*Figura 4 Baterías conectadas en paralelo*



*Figura 5 La pantalla de control fijada en la pared*



*Figura 6 El módem GSM*