



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Departamento de Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos

Área de Conocimiento: Máquinas y motores térmicos

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Eléctrica

Autor: **Juan Ruiz Barros**

Tutor: Antonio Atienza Márquez

Cotutor: José Andrés López Fernández

Málaga, junio de 2025

Agradecimientos

Me gustaría mostrar mi agradecimiento a toda mi familia, por el apoyo incondicional que siempre me mostraron y me siguen mostrando, por darme la oportunidad de crecer y ayudarme a alcanzar mis metas.

También agradecer a mi tutor, Antonio Atienza Márquez, por su profesionalidad, su capacidad para motivar al estudiantado y por supuesto por ser más un amigo que un profesor.

De la misma forma también quiero dar las gracias a José Andrés López Fernández, cotutor en este proyecto, por su ayuda, su constante implicación y apoyo.

Muchas gracias a todos.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Resumen

La dependencia con los combustibles fósiles es uno de los principales problemas que afronta la humanidad en la actualidad, el cambio climático y el calentamiento global van de la mano y forman parte de las principales amenazas de nuestro bienestar, es por ello la urgencia de las principales autoridades globales en acelerar la descarbonización mediante la sustitución de las energías fósiles por fuentes de energía renovables y sostenibles, el acuerdo de París y la Agenda 2030 son claros ejemplos de ello.

En esta situación, el hidrógeno verde se sitúa como un pilar fundamental en la transición energética, la Agencia Internacional de la Energía (IEA) estableció el objetivo de que el mundo pueda alcanzar el estado de cero emisiones en el sector de la energía en 2050, y aunque todavía se está lejos lo lograrlo es un objetivo que podría cumplirse si se trabaja en ello, para ello una de las medidas es limitar el calentamiento global a 1,5°C anuales.

Todo ello es la base de este proyecto, construir un dispositivo experimental integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador con el menor coste posible, reciclando y reutilizando materiales como norma principal para lograr el objetivo de producir hidrógeno verde de una forma sencilla, eficiente y económica.

Este dispositivo, además sigue un diseño didáctico, comprensible y compacto con la idea de que pueda ser utilizado con fines educativos y así poder concienciar a las generaciones más jóvenes de la importancia de ser respetuosos con el medio ambiente.

Palabras clave: *Energías renovables, electrolizador, Cambio climático, Reciclaje, Sostenibilidad, Transición energética, Descarbonización, Hidrógeno.*

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Abstract

Dependence on fossil fuels is one of the main problems currently facing humanity. Climate change and global warming go hand in hand and are among the greatest threats to our well-being. This is why there is an urgent call from the world's leading authorities to accelerate decarbonization by replacing fossil fuels with renewable and sustainable energy sources. The Paris Agreement and the 2030 Agenda are clear examples of this.

In this context, green hydrogen stands as a key pillar in the energy transition. The International Energy Agency (IEA) has set the goal of achieving net-zero emissions in the energy sector by 2050. Although we are still far from reaching that goal, it is achievable if serious efforts are made. One of the main measures to achieve this is to limit global warming to 1.5°C per year.

This is the foundation of this project: to build an experimental device made up of photovoltaic panels, batteries, and an electrolyzer at the lowest possible cost, with recycling and reusing materials as a core principle. The aim is to produce green hydrogen in a simple, efficient, and economical way.

Moreover, the device follows a didactic, understandable, and compact design, so that it can also be used for educational purposes, helping to raise awareness among younger generations about the importance of being environmentally responsible.

Keywords: *Renewable energy, electrolyzer, climate change, recycling, sustainability, energy transition, decarbonization, hydrogen.*

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

ÍNDICE

1. Antecedentes y objetivo	3
2. Diseño de la instalación.....	6
2.1 Parte mecánica	6
2.2 Parte eléctrica.....	6
3. Materiales	8
3.1 Recopilación y recolección de materiales.....	8
3.1.1 Paneles Fotovoltaicos	8
3.1.2 Soporte paneles solares	11
3.1.3 Estructura principal	11
3.1.4 Ruedas	13
3.1.5 Batería	14
3.1.6 Componentes eléctricos y electrónicos	14
3.1.7 Caja envolvente	16
3.1.8 Pintura	16
3.1.9 Herrajes	17
3.1.10 Tornillería.....	17
3.2 Preparación y adaptación de materiales.....	17
3.2.1 Soporte paneles solares	17
3.2.2 Estructura principal	26
3.2.3 Herrajes	41
3.2.4 Topes y fijaciones.....	57
3.2.5 Soporte baterías	59
3.2.6 Conexiones y cuadro eléctrico	62
3.3 Diseño y construcción del Electrolizador	68
3.3.1 Descripción de un electrolizador alcalino	68
3.3.2 Construcción de electrolizador.....	69
3.3.3 Alternativas futuras	71
4. Resultados obtenidos	72
4.1 Instalación finalizada y demostración de funcionamiento.....	72
4.2 Curva de polarización del electrolizador	78
5. Conclusiones.....	79

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Presupuesto.....	83
Planos	89
Referencias	99
Bibliografía.....	102
Anexo A.....	103
Anexo B.....	109

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVO

Los objetivos de descarbonización de la Unión Europea impulsan la introducción de energías renovables para reducir el consumo de combustibles fósiles, entre todas las tecnologías disponibles destacan la energía solar fotovoltaica, la eólica y la hidráulica, estas fuentes de energía son soluciones potencialmente viables para sustituir a los combustibles fósiles a medio-largo plazo.

La demanda de energía a nivel mundial ha crecido exponencialmente desde el siglo pasado, la evolución de la industria y el crecimiento de la población son las causas principales de esta tendencia creciente. Este incremento de la demanda fue soportado en su totalidad por las energías fósiles hasta que a principios de la década de 1980 las energías renovables empezaron a coger peso. En la **Figura 1**, obtenida del EI (Instituto de la Energía), se puede apreciar la evolución desde el siglo pasado hasta hoy de las diferentes fuentes de energía utilizadas.

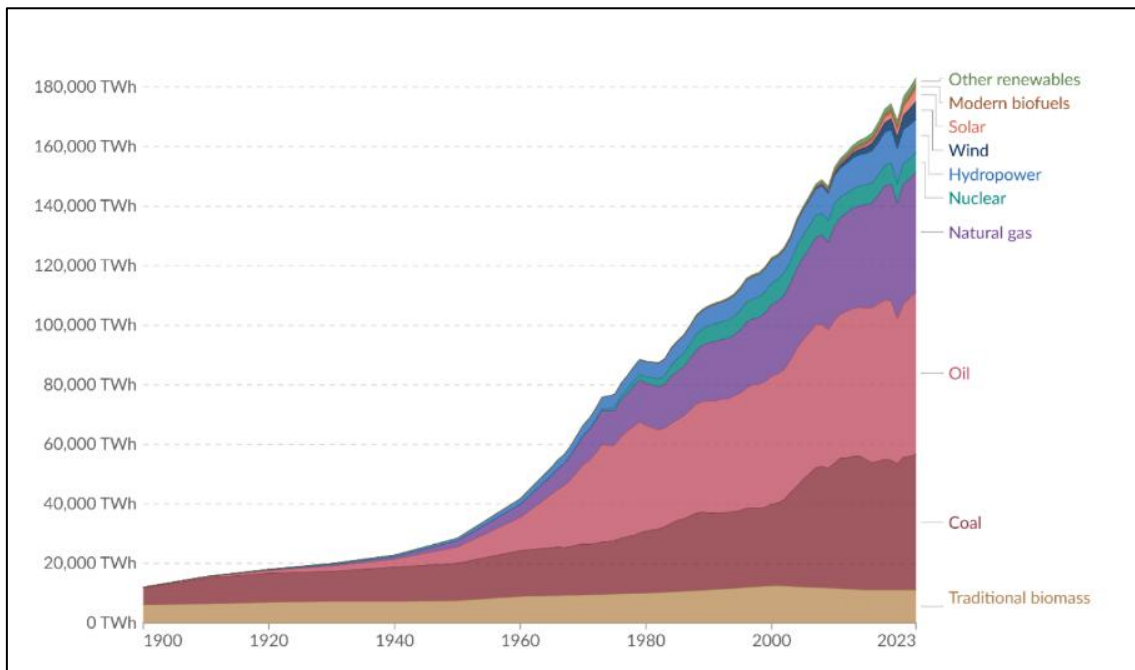


Figura 1. Gráfica de demanda de energía desde 1900 hasta 2023, Energy Institute – Statistical Review of World Energy (2024).

No obstante, en la actualidad las energías renovables representan un 30% de la matriz energética global, un porcentaje de momento insuficiente teniendo en cuenta que la demanda total de energía sigue manteniendo una tendencia ascendente, y que el objetivo es sustituir en su totalidad a las energías fósiles.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Esta tendencia ascendente en la demanda de energía global se concentrará principalmente en las siguientes décadas en países en desarrollo como pueden ser la totalidad de los países del continente africano, Sudamérica o el sudeste asiático, a su vez también en países en constante expansión industrial como China.

La comunidad internacional, preocupada por el cambio climático, los efectos del calentamiento global y la crisis energética global, impulsó una serie de medidas para promover y garantizar un futuro sostenible tanto con el medio ambiente como con las nuevas generaciones.

Uno de ellos fue la Agenda 2030, un conjunto de 17 objetivos de desarrollo sostenible aprobado por las Naciones Unidas, con los que se busca impulsar la conciencia y el respeto con el planeta, el bienestar de las generaciones venideras, fomentar la paz mundial y garantizar la prosperidad, en la **Figura 2** podemos ver los objetivos representados.



Figura 2. Objetivos de la Agenda 2030.

Es por todo ello que actualmente es necesario acelerar la transición energética para conseguir cumplir los objetivos marcados y acabar con la dependencia global de los combustibles fósiles. El hidrógeno verde es una pieza clave en esta transición, ya que es una energía producida al aplicar electrólisis al agua, mediante el uso de corriente continua a bajo voltaje se consigue separar el hidrógeno del oxígeno con relativa facilidad lo que lo convierte en una alternativa energética fundamental para cumplir los objetivos, más si se tiene en cuenta que la energía necesaria para producirlo puede obtenerse integrando la producción de hidrógeno con la energía solar, creando un sistema de producción de energía eficiente y totalmente sostenible.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Por otra parte, surge la necesidad de formar a técnicos en sectores como el hidrógeno renovable. Hasta la fecha, son escasos los programas de formación que abordan de manera específica la integración de energías renovables, el almacenamiento de energía y la producción de hidrógeno renovable. Por ejemplo, en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Málaga, el Grado en Ingeniería de la Energía cuenta con una asignatura optativa sobre sistemas basados en hidrógeno, y la asignatura de Tecnología Energética del MIII cuenta con una breve sección sobre este tema. Pero esta oferta formativa es escasa para la futura demanda de personal especializado en este sector.

Además, los dispositivos disponibles para formación en este ámbito suelen ser costosos y difíciles de encontrar de forma comercial. A esto hay que sumarle que habitualmente son poco visuales e interactivos lo que dificulta el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

De aquí surge la motivación de este Trabajo Fin de Grado, cuyo objetivo principal es el diseño y construcción de un dispositivo experimental integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador, utilizando materiales y componentes reciclados y de bajo coste. Para alcanzar el objetivo general se abordarán los siguientes objetivos específicos:

- Caracterización de la potencia del equipo fotovoltaico disponible.
- Desarrollo del esquema de principio de la instalación.
- Elaboración de lista de componentes necesarios para ejecutar la instalación y del presupuesto.
- Diseño y construcción de la estructura portátil que albergará al equipo experimental.
- Ensamblaje de los componentes que integren la instalación.
- Toma de medidas experimentales con objeto de comprobar el correcto funcionamiento del sistema.

La estructura de este documento es la siguiente. Tras los antecedentes y objetivos se describe el diseño de la instalación en la sección 2. Seguidamente, en la sección 3, se muestra una explicación de cómo se han recopilado los distintos materiales utilizados en la instalación y se comenta cómo se han adaptado para hacer posible su uso, así como una descripción detallada del presupuesto. Posteriormente, la sección 4 muestra la instalación resultante y se comenta su funcionamiento incluyendo detalles del electrolizador. Por último, las principales conclusiones de este proyecto se presentan en la sección 5, junto con las posibles futuras mejoras y continuación de este trabajo.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

2. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

2.1 Parte mecánica

Con respecto al diseño mecánico tanto de la estructura completa de hierro como del soporte de aluminio para los paneles fotovoltaicos se realizaron diferentes planos calculando longitudes, ángulos fijos, aperturas máximas y giros. Todo ello queda documentado en el apartado de Planos del presente proyecto.

2.2 Parte eléctrica

Se parte de que la instalación se compone de 4 paneles fotovoltaicos en serie.

Para el cálculo de las protecciones se debe de consultar la ficha técnica del fabricante de los paneles fotovoltaicos, esta se encuentra en el **Anexo A** del presente documento.

Del Anexo obtenemos las siguientes características eléctricas de interés:

- Voltaje de circuito abierto (V_{oc}) = 4V
- Intensidad de cortocircuito (I_{sc}) = 8.93A
- Voltaje a máxima potencia (V_{mpp}) = 4V
- Potencia nominal (P_{mpp}) = 31Wp

Primero de todo se realizó el dimensionamiento de los fusibles, para ello se tuvieron en cuenta diferentes normas y normativas, concretamente las siguientes: **UNE-EN 62446-1**, **IEC 62548-1:2023** y **UNE-EN 60269-6**.

De aquí se obtiene que la tensión deriva de la siguiente ecuación:

$$U_n \geq V_{oc} * 1.20 * N$$

Donde:

U_n = Tensión nominal.

N = Número de paneles en serie.

Por lo cual se obtiene que:

$$U_n \geq 4 * 1.20 * 4$$

Es decir, la tensión nominal del portafusibles debe de ser mayor o igual a 19.20V.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Para el cálculo de la intensidad se utilizó la siguiente ecuación:

$$I_n \geq I_{sc} * 1.25$$

Donde:

I_n = Intensidad nominal.

Por lo que tenemos:

$$I_n \geq 8.93 * 1.25$$

Es decir, la Intensidad nominal del fusible debe de ser mayor o igual a 11.16A.

Con estos valores se procede a la selección del fusible y el portafusible, el valor comercial superior de fusible más cercano es de 16A por lo que elegimos fusibles de ese amperaje.

Con respecto a la tensión nos encontramos que el valor más estandarizado para fusibles es de 1000V, lo cual es mucho mayor que 19.20V.

Otro detalle a tener en cuenta es el tamaño de los fusibles, la norma determina para instalaciones fotovoltaicas fusibles de 10x38 milímetros por lo que establecemos este tamaño.

Tenemos por tanto portafusibles de 1000V y fusibles gPV de 1000V y 16A.

Para el dimensionamiento del seccionador solar el procedimiento es exactamente el mismo que para los fusibles por lo que tenemos un seccionador de 1000 voltios y 16 amperios, en este caso no es un valor estandarizado para este módulo de protección por lo que se adopta el más cercano, un seccionador de 1200V y 32A.

Con respecto al protector de sobretensiones se tuvo en cuenta la norma **UNE-EN 61643-31:2021**, según la cual se recomienda usar protectores de sobretensiones SPD tipo 2, es decir protectores contra impacto indirecto de rayos entre 8 y 20 microsegundos.

Para este módulo de protección se tienen dos valores de voltaje estandarizados, 600 y 1000 voltios, para esta instalación se tiene una tensión nominal de 19.20V por lo cual se selecciona un protector de sobretensiones clase II, de 600V y 40kA.

Con respecto al dimensionamiento del regulador solar se tiene en cuenta el modo de conexión, es decir 4 paneles en serie, estos tienen un voltaje a máxima potencia de 4V, por lo cual la tensión de trabajo será de 12V (la de la batería), el regulador en concreto será del tipo MPPT, es decir un regulador que puede recibir más voltaje de entrada, pero modula tensión e intensidad para que la batería siempre reciba 12V, los reguladores PWM en cambio solo trabajan cuando reciben exactamente 12V de entrada.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

En este caso como ya se mencionó se va a disponer de un regulador solar MPPT por lo que los picos de tensión a la salida de los paneles fotovoltaicos no solo no perjudican, sino que al modularlos permiten entregar más potencia al sistema.

Para calcular el modelo necesario primero se debe calcular la potencia total instalada de la instalación, para ello teniendo en cuenta la potencia nominal de cada panel y el número de paneles (4) se tiene:

$$P_{mpp} * N = P_{total} = 31 * 4 = 124Wp$$

Y dividiendo la potencia total instalada entre la tensión de la batería:

$$\frac{124Wp}{12V} = 10.33A$$

Lo cual nos indica que se necesita un regulador solar de más de 10.33A, tomando como base el catálogo del fabricante de material fotovoltaico Victron se deduce que el modelo que necesitamos es el Victron MPPT 75/15, un modelo que soporta hasta 15A.

Con respecto al seccionador de la batería se ha tenido en cuenta la intensidad de trabajo máxima del regulador de voltaje e intensidad, que es de 30A, por lo cual revisando el mercado se optó por el seccionador con el valor más cercano, en este caso un seccionador de 200A.

Por último, para el voltímetro-amperímetro se tuvo en cuenta la intensidad y la tensión nominales, ambas anteriormente calculadas, dando como resultado la selección de un voltímetro-amperímetro de 60V y 20A.

3. MATERIALES

3.1 Recopilación y recolección de materiales

3.1.1 Paneles Fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos se obtuvieron por donación de los materiales sobrantes de un edificio gubernamental de la universidad de Málaga.

Dichos paneles no llegaron a instalarse en la cubierta del edificio por lo que se obtuvieron a estrenar y a coste cero.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

En la **Figura 3** puede apreciarse las dimensiones de los paneles, en concreto en la Figura 3 (a) se muestra una fotografía del largo y en la Figura 3 (b) una fotografía del ancho.

(a)



(b)

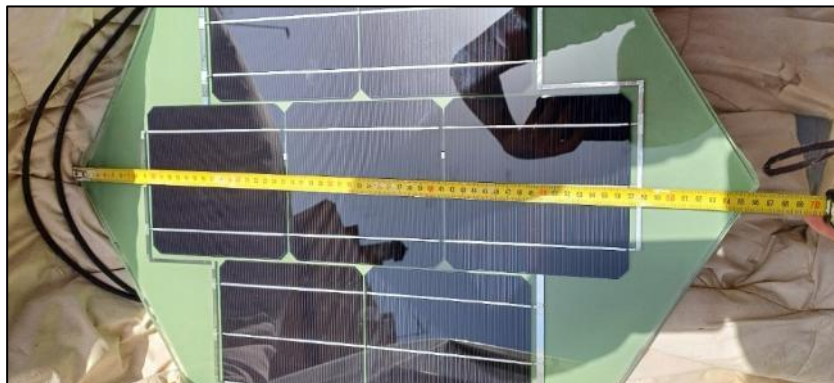


Figura 3. Medición de panel fotovoltaico. (a) Largo, 57,2cm, (b) Ancho, 66cm.

Se trata de paneles que se componen de 7 células fotovoltaicas monocristalinas cuadradas unidas entre sí en serie, en la **Figura 4** se muestra una fotografía de las medidas.

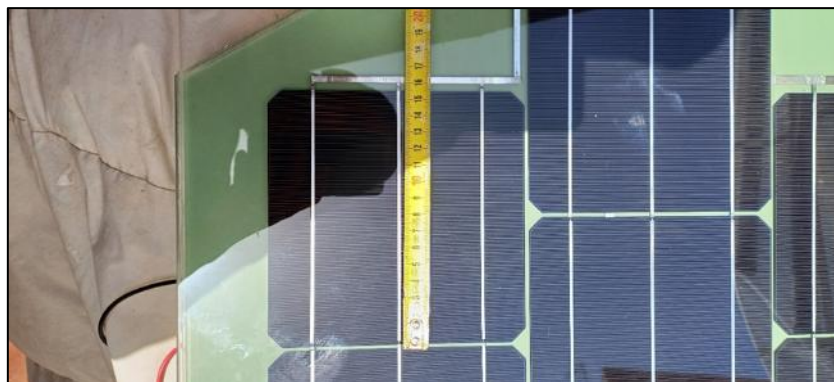


Figura 4. Medidas de célula fotovoltaica, 15x15cm.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Después de comprobar el correcto funcionamiento de los paneles se tomaron las medidas necesarias como se ilustra en la **Figura 5**, en concreto en la Figura 5 (a) se muestra una fotografía del multímetro midiendo el voltaje a circuito abierto y en la Figura 5 (b) se muestra una fotografía del multímetro midiendo la intensidad de cortocircuito (obsérvese que la intensidad aparece negativa en el multímetro debido a que está conectado con la polaridad inversa).

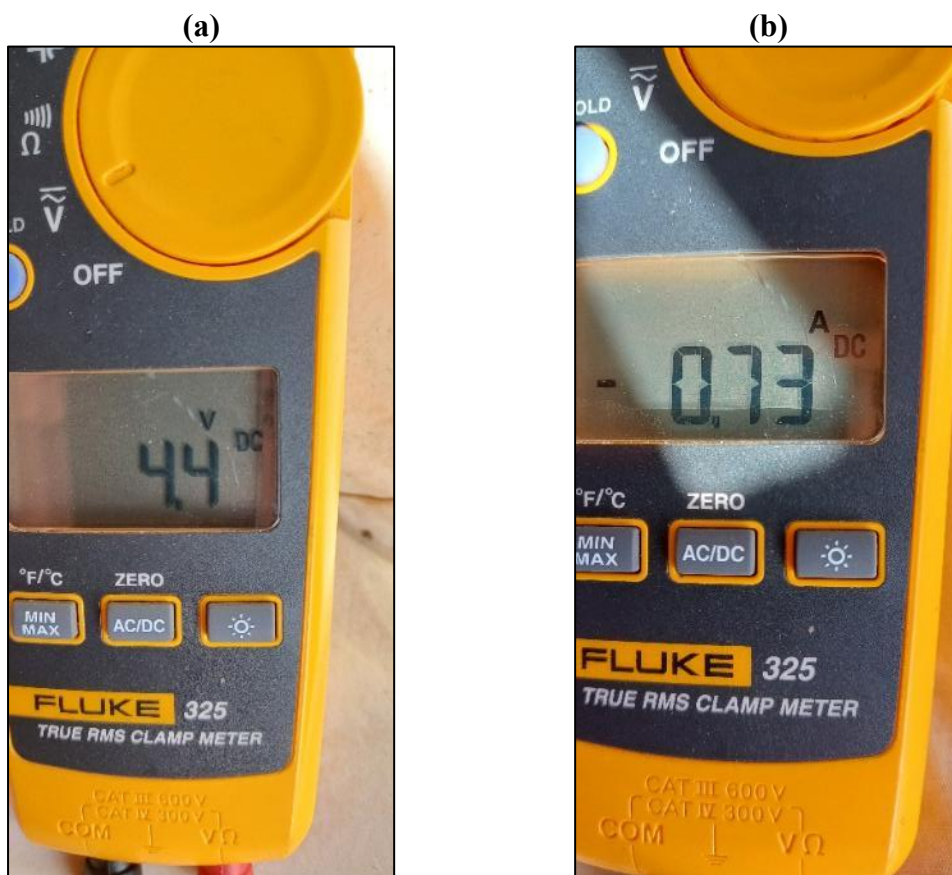


Figura 5. (a) Valor de tensión. (b) Valor de intensidad de corriente (corriente continua).

Posteriormente fue necesario contactar con la empresa fabricante para obtener la ficha técnica con los valores de fábrica tanto de Voltaje a máxima potencia, voltaje de circuito abierto, intensidad de cortocircuito e intensidad a máxima potencia, así como la tolerancia y la potencia nominal de los paneles. Todo queda documentado en el **Anexo A**.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

3.1.2 Soporte paneles solares

Con respecto al soporte para los paneles solares se usaron unos marcos de ventana de aluminio usados, en concreto dos, que se pudieron recuperar de unas ventanas rotas que se encontraban en una finca en un pueblo, destinadas irremediablemente a acabar en la basura como puede verse en la **Figura 6**.



Figura 6. Estado inicial de los soportes para los paneles fotovoltaicos.

3.1.3 Estructura principal

La estructura principal se realizó con reglas de hierro. En concreto reglas extensibles de muelle usadas en la construcción, las cuales se obtuvieron de una obra.

Fueron necesarias 4 reglas extensibles de 3,35 metros de apertura máxima cada una, en la **Figura 7** se aprecia una fotografía de las reglas utilizadas.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador



Figura 7. Estado inicial de los perfiles de la estructura.

Cada regla está compuesta de perfiles rectangulares de hierro como puede verse en la **Figura 8**, en concreto en la Figura 8 (a) se ilustra una fotografía del perfil exterior de 4 centímetros de lado y en la Figura 8 (b) se muestra una fotografía del perfil interior de 3.5 centímetros de lado.

(a)



Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(b)



Figura 8. Medidas de los perfiles de la estructura, (a) exterior 4cm, (b) interior 3,5cm.

3.1.4 Ruedas

Las ruedas provienen de una antigua estructura metálica la cual llegó al final de su vida útil. En la **Figura 9** se ilustra una fotografía de estas.



Figura 9. Fotografía de una de las ruedas de la estructura.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Están preparadas para aguantar más de 50kg cada una por lo que para este proyecto trabajarán a menos del 50% de su capacidad.

3.1.5 Batería

Con respecto a la batería se trata de una batería de coche usada la cual también se obtuvo por donación.

Aparentemente está a medio uso y aún puede realizar bastantes ciclos de carga y descarga, en la **Figura 10** se ilustra una fotografía de esta.



Figura 10. Fotografía de la batería de coche donada.

3.1.6 Componentes eléctricos y electrónicos

Dentro de la obtención de los componentes electrónicos se pueden distinguir dos grupos, los obtenidos gracias al pedido que se realizó a través de la Escuela de Ingenierías Industriales y pagado íntegramente por la universidad y los comprados de forma particular en tiendas especializadas.

Con respecto al pedido realizado a través de la Escuela de Ingenierías Industriales encontramos: fusibles, regulador solar, seccionadores, protector de sobretensiones, conectores e hilo solar homologado. En la **Figura 11** se ilustra una fotografía del pedido completo y en el **Anexo B** de este documento se puede ver la factura del pedido.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

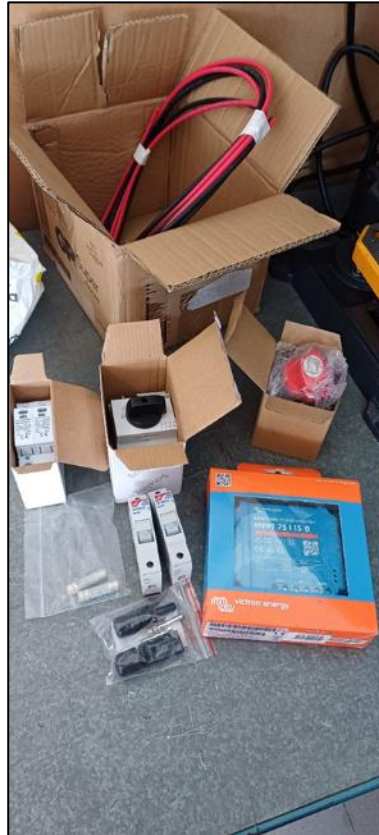


Figura 11. Pedido realizado a través de la Escuela de Ingenierías Industriales.

Y en referencia a los componentes eléctricos y electrónicos comprados de forma particular se encuentra el Voltímetro-Amperímetro digital de corriente continua, el regulador de corriente e intensidad electrónico y el resto de cableado utilizado lo cual fue todo adquirido por internet.

En la **Figura 12** se ilustran dos fotografías de los componentes adquiridos, en concreto en la Figura 12 (a) se muestra una fotografía del regulador electrónico y en la Figura 12 (b) una fotografía del voltímetro-amperímetro digital.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

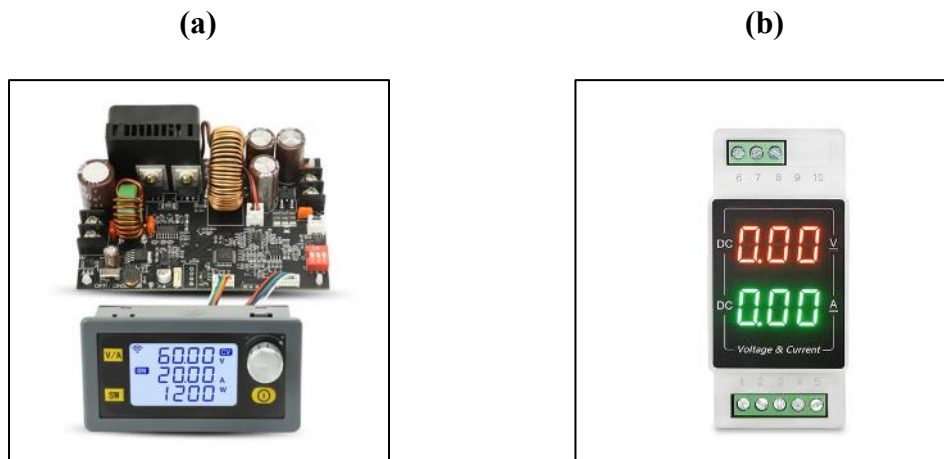


Figura 12. (a) Regulador electrónico, (b) Voltímetro-amperímetro digital.

3.1.7 Caja envolvente

La envolvente proviene de una antigua instalación eléctrica de un motor de una bomba de agua sumergible, por lo tanto, es otra de las piezas recicladas que componen la instalación, en la **Figura 13** se ilustra una fotografía de esta.



Figura 13. Envolvente o caja para las conexiones eléctricas.

3.1.8 Pintura

Las pinturas se obtuvieron por varios medios, la pintura en spray azul metalizada fue facilitada por la Escuela de Ingenierías Industriales tras realizar el pedido, así como la pintura de forja color rojo que se obtuvo del taller de mecanizado, después el spray de imprimación blanco, el spray negro brillo y el blanco se obtuvieron de forma particular.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

El convertidor de óxido también se obtuvo del laboratorio de soldadura de la Escuela de Ingenierías Industriales.

3.1.9 Herrajes

En lo que respecta a los herrajes, la práctica totalidad de las pletinas necesarias para realizar los soportes y las piezas específicas fueron obtenidas del taller de mecanizado de la Escuela de Ingenierías Industriales.

El carril DIN utilizado para la envolvente, así como la cinta perforada también fueron obtenidas de la Escuela de Ingenierías, en concreto del laboratorio de Máquinas y Motores Térmicos.

En cambio, las bisagras, los topes, las escuadras, los pestillos y las pletinas de acero utilizadas para su fijación sí fueron obtenidas de forma particular.

3.1.10 Tornillería

Por último, en referencia a la tornillería, ya sea de métrica o rosca chapa, tuercas, arandelas y demás, prácticamente en su totalidad fue adquirida de forma particular.

3.2 Preparación y adaptación de materiales

3.2.1 Soporte paneles solares

Una vez obtenidos los marcos los cuales iban a ser utilizados como soporte, para adaptarlos fue necesario limpiar, desmontar los travesaños y tomar las medidas con los paneles solares presentados para recortar el ancho sobrante de ambos como se aprecia en las fotografías de la **Figura 14**. En concreto en la Figura 14 (a) se muestra el desmontaje de los perfiles y en la Figura 14 (b) la limpieza.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

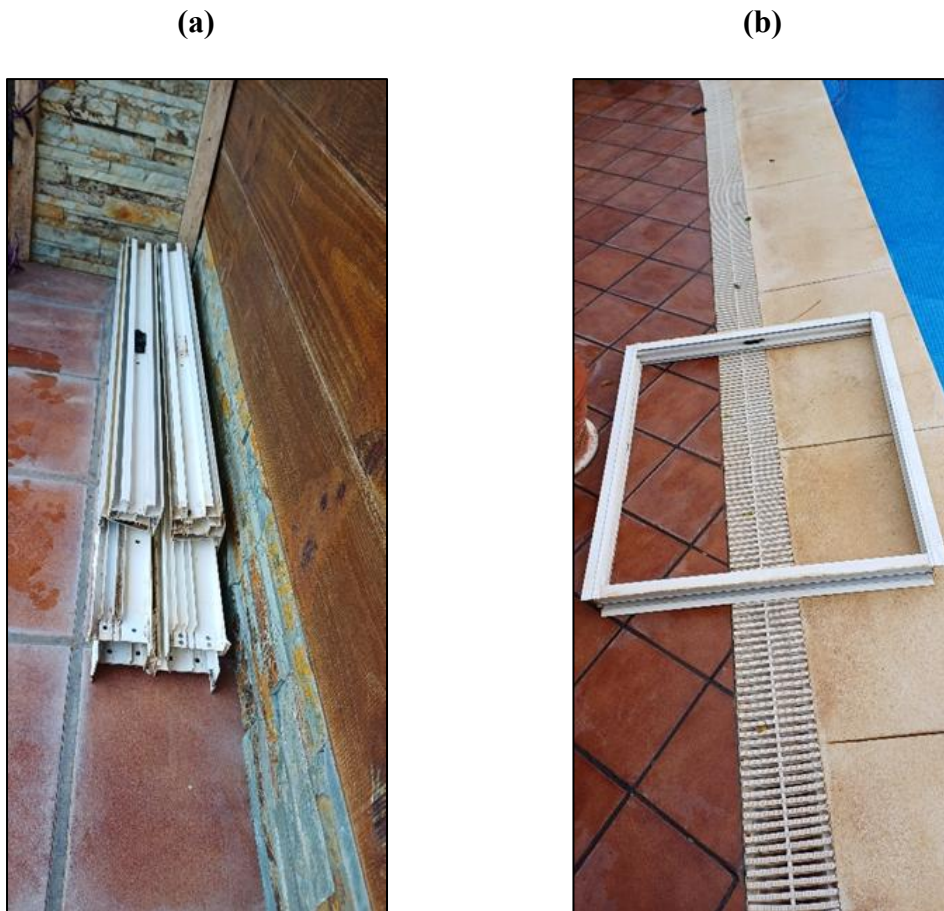


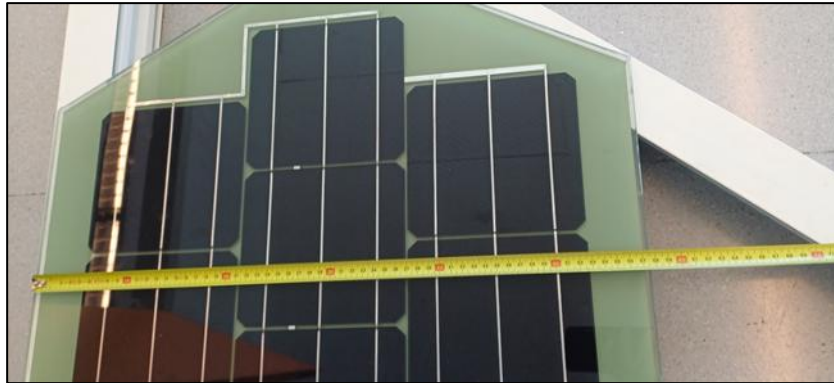
Figura 14. (a) Perfiles de los marcos desmontados, (b) Perfiles montados una vez limpios.

La idea consistió en adaptar los marcos para que cada uno pudiera contener dos módulos fotovoltaicos instalados en vertical.

Tras tomarse unas primeras medidas y como se ilustra en las fotografías de la **Figura 15**, el largo de los marcos no era necesario cortarlo ya que la medida permitía el montaje con el espacio necesario justo para fijarlas. En la Figura 15 (a) se muestra la medida del panel presentado en el marco y en la Figura 15 (b) la medida restante del largo total para colocar el segundo panel en vertical.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(a)



(b)



Figura 15. (a) Espacio ocupado por un panel, (b) Espacio restante para el segundo panel.

El ancho de los marcos en cambio sí requería cortarlo para ajustar adecuadamente los dos paneles fotovoltaicos, en la **Figura 16** se ilustran las fotografías de las medidas, en concreto en la Figura 16 (a) el ancho total inicial, en la Figura 16 (b) el planteamiento del espacio resultante con las placas para ajustarlas lo máximo posible entre sí.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(a)



(b)

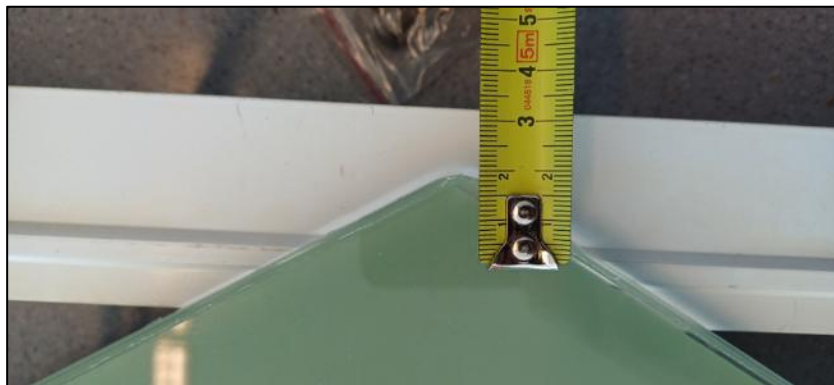


Figura 16. (a) Ancho total disponible, (b) Espacio restante en los bordes.

Para realizar dicho procedimiento se utilizó la sierra de cinta industrial que se encuentra en el taller de mecanizado de la facultad, en las naves anexas al edificio principal, allí se pudieron trazar y realizar los cortes.

Para ello se tuvo en cuenta que, debido al grosor de la hoja de la sierra al cortar, la pieza pierde aproximadamente 1,5 milímetros en el corte por lo cual a las medidas que se necesitaban se les añadió ese milímetro y medio para asegurar la máxima precisión, en la **Figura 17** se ilustra una fotografía de la sierra de cinta utilizada.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador



Figura 17. Sierra de cinta utilizada.

Dicha sierra utiliza una hoja de aleación de acero al Carbono con otros metales como Tungsteno y Silicio.

Posee un sistema de tensado hidráulico de la hoja que activa un contactor mecánico para poder accionarla, tiene además dos velocidades, interruptor de marcha y alimentación y regulación de velocidad de bajada de la hoja a través de otro sistema hidráulico, para la refrigeración utiliza una sustancia a base de agua con otras sustancias lubricantes.

En la **Figura 18** se presenta una fotografía en la que se pueden apreciar los perfiles del marco ya cortados con cortes a 90 grados y presentados en el suelo del taller para su comprobación y posterior ensamblaje.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador



Figura 18. Perfiles ya cortados.

Al cortar el ancho de los marcos fue necesario realizar cuatro cortes y por lo tanto se obtuvieron cuatro restos de perfil, con ellos se decidió aprovecharlos para construir un nervio central para cada marco, lo cual era necesario para poder ensamblar 2 placas en cada uno de ellos.

La idea consistió en cortar a su vez esos cuatro restos para obtener cuatro nuevos perfiles de la misma medida de longitud igual a la mitad del perfil que determina el ancho en cada marco, con ello al unir dos de dichos nuevos perfiles se obtiene otro perfil de igual longitud al ancho del marco con la unión justo a la mitad de la longitud, es decir buscando la simetría.

Una vez cortados y para unirlos se optó por fabricar unas pletinas de aluminio cortando manualmente otras más grandes que se obtuvieron del taller de mecanizado, en la **Figura 19** se muestra una fotografía en la que se puede apreciar que se utilizó la prensa o el tornillo de banco que está disponible en el taller, se tomaron las medidas oportunas y con la sierra manual se realizaron los cortes necesarios en cada una de las pletinas de aluminio.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador



Figura 19. Proceso de corte manual de las pletinas.

Posteriormente, en la **Figura 20** se muestra una fotografía donde se observa que con el taladro vertical se realizaron dos taladros en cada de las pletinas para luego poder realizar la unión de los perfiles.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador



Figura 20. Proceso de taladrado pletinas.

Una vez preparados tanto los perfiles como las pletinas ya estaba todo dispuesto para unir y construir los nervios para los marcos, para ello se optó por una fijación irreversible y para ello lo más conveniente tanto por facilidad, disponibilidad y resistencia mecánica a los esfuerzos que puedan realizar las placas son los remaches, En la **Figura 21** se ilustra una fotografía del proceso de unión con remaches.



Figura 21. Unión de los perfiles con remaches.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Se presentaron las pletinas y los perfiles alineados con el fin de trazar los taladros de cuatro milímetros necesarios en los perfiles para la fijación.

Con dos remaches por pletina, utilizando los agujeros realizados anteriormente con el taladro vertical y con ayuda de dos sargentos para fijar los perfiles en línea, se introdujeron dichos remaches creando dos nuevos perfiles ideales para usar como nervio central en los marcos. En la **Figura 22** se muestra una fotografía del resultado del proceso de unión.

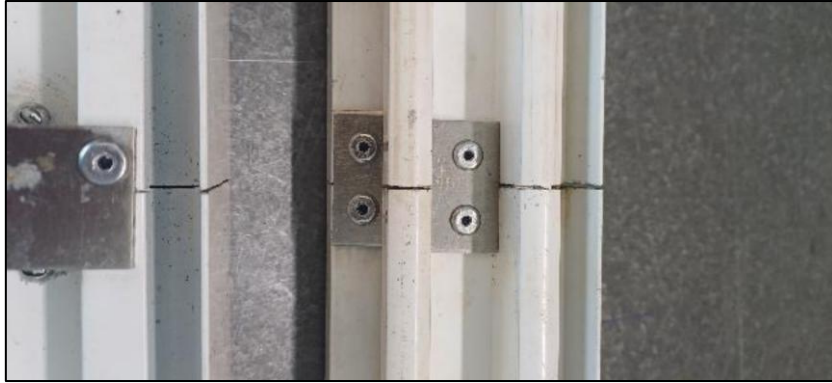


Figura 21. Resultado de la unión.

Una vez unidos los perfiles para ensamblarlos a los marcos era necesario mecanizar los raíles de los perfiles verticales a la altura de colocación de los nervios ya que estos solo venían fresados en los extremos para unirlos con los perfiles horizontales, en el resto del perfil presentaban las guías continuas a todo lo largo para encajar las ventanas correderas.



Figura 22. Mecanizado manual de las guías.

En la **Figura 22** se puede observar una fotografía del proceso de mecanizado, ante la imposibilidad de poder usar ningún tipo de sierra manual, taladro eléctrico o amoladora angular para evitar daños en el resto del perfil, era necesario realizar los cortes de las aletas en el perfil manualmente utilizando para ello alicates de mano tanto de corte como de agarre.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Una vez recortadas las aletas sobrantes y con los nervios montados con tornillos chapa rosca de la misma medida que los que traía inicialmente la ventana el resultado se muestra en la **Figura 23**, en concreto en la Figura 23 (a) se pueden observar dos marcos hechos a medida para albergar cada uno de ellos dos paneles fotovoltaicos y en la Figura 23 (b) el proceso de fijación de los paneles a los marcos con un adhesivo elástico de polímero, de sellado rápido y para todo tipo de superficies.

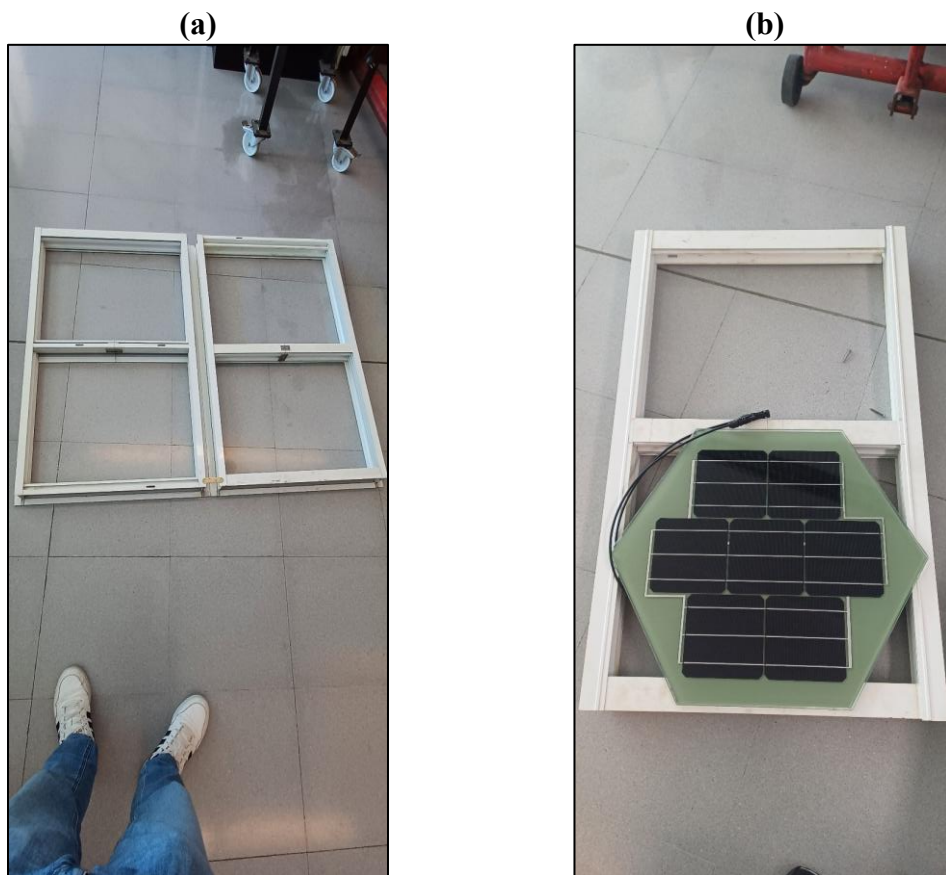


Figura 23. (a) Marcos cortados y ensamblados, (b) fijación de un panel al marco.

3.2.2 Estructura principal

Con respecto a la estructura principal, después de limpiar y desmontar las reglas también fue necesario usar la sierra de cinta del taller de mecanizado de la facultad, en primer lugar, se cortó la parte inferior que es la que contiene el muelle y el tope de goma ya que esta parte no era útil para el objetivo de esta estructura, en la **Figura 24** se ilustra el procedimiento de corte.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

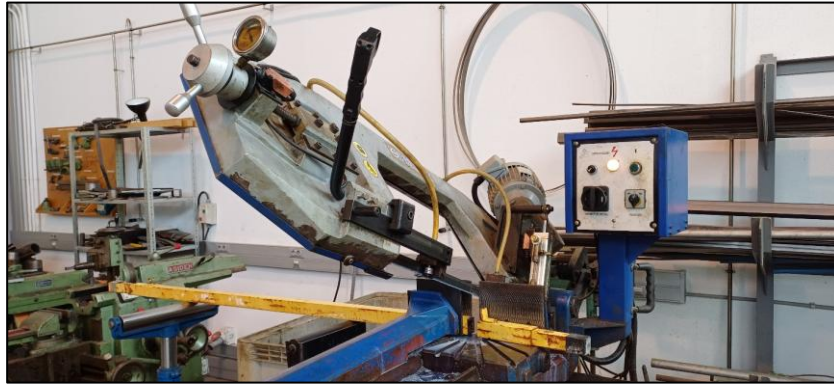


Figura 24. Corte de perfiles de la estructura.

Para poder realizar la estructura fueron necesarias cuatro reglas extensibles por lo que fueron necesarios cuatro cortes iniciales para desechar las partes inservibles, en la **Figura 25** pueden observarse fotografías del proceso, en la Figura 25 (a) la parte desechada y en la Figura 25 (b) el corte en detalle.

(a)

(b)



Figura 25. (a) desechos del primer corte, (b) detalles del corte.

Se puede observar que el corte de la parte a desechar de la regla se realizó aprovechando la máxima longitud del perfil, previniendo posibles cortes erróneos y posibles pérdidas de material.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Una vez realizados todos los cálculos tanto de longitudes como de ángulos se cortaron todos los perfiles necesarios, primero con cortes a 90 grados y posteriormente realizando los cortes en ángulo cuando estos eran necesarios, para lo cual se necesitó soltar el perno y la palanca de seguridad de la cabeza de la sierra de cinta para poder girarla y realizar los cortes.

Tras bastantes cortes, algunos de ellos erróneos, se cortaron todos los perfiles que se necesitaban para realizar una estructura extensible y simétrica, la idea era que el largo de la estructura pudiera recogerse de forma que la longitud total de la base recogida fuese casi la mitad de lo que mide abierta, para ello los marcos de los paneles fotovoltaicos deberán de tener también un sistema de giro, para así poder recogerse uno sobre el otro, esto se explicará más adelante.

En la **Figura 26** se presenta en una fotografía el resultado de cortar todos los perfiles necesarios para realizar el montaje de la estructura.



Figura 26. Cortes realizados.

En la fotografía pueden observarse los perfiles recogidos de la parte móvil, es decir, la estructura se encuentra en la posición de cerrado, y los perfiles laterales están posados sobre el suelo en una especie de explosionado en 2D para hacer más visual la futura forma de la estructura.

El siguiente paso para realizar con los perfiles consistió en lijarlos para retirar completamente tanto el óxido como la pintura, para ello se usó en primer lugar una espátula para retirar la pintura levantada y posteriormente una lijadora orbital marca Bosch de 240W con bandas de lija de tela de varios tipos de grano, en concreto grano 60 para comenzar a lijar las partes más rugosas, grano 120 para las partes intermedias y grano 180 para darle un acabado final.

En la **Figura 27** se ilustra una fotografía del proceso con la lijadora y la espátula.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador



Figura 27. Proceso de lijado.

Algunos perfiles resultaron estar en peor estado por lo que fueron necesarias más pasadas de lija para poder retirar todo el óxido de la superficie, en la **Figura 28** se muestra parte del proceso, en concreto en la Figura 28 (a) el perfil en bruto, completamente oxidado y en la Figura 28 (b) el perfil una vez tiene sobre su superficie varias pasadas de lija gruesa.

(a)

(b)



Figura 28. (a) Perfil oxidado, (b) Perfil tras varias pasadas de lija.

Como ejemplo en la **Figura 29** se ilustra una fotografía donde puede apreciarse la cantidad de suciedad, óxido y pintura levantada que generaba cada uno de los perfiles de la estructura.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador



Figura 29. Oxido y pintura resultante de un perfil.

El siguiente paso consistía en soldar las partes fijas, para ello se transportaron los perfiles al laboratorio de soldadura de la facultad y se utilizó una estación de soldadura de hilo tipo TIG, en concreto la que se muestra en la fotografía de la **Figura 30**.



Figura 30. Estación de soldadura TIG utilizada.

Este método de soldadura utiliza un electrodo permanente de Tungsteno y un gas para la protección del arco eléctrico, además de varillas de aportación de acero.

Para soldar los perfiles de la base a escuadra, es decir a 90 grados, fueron necesarios varios soportes de escuadra del laboratorio, en la **Figura 31** se puede apreciar el proceso de fijación con dicho soporte.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

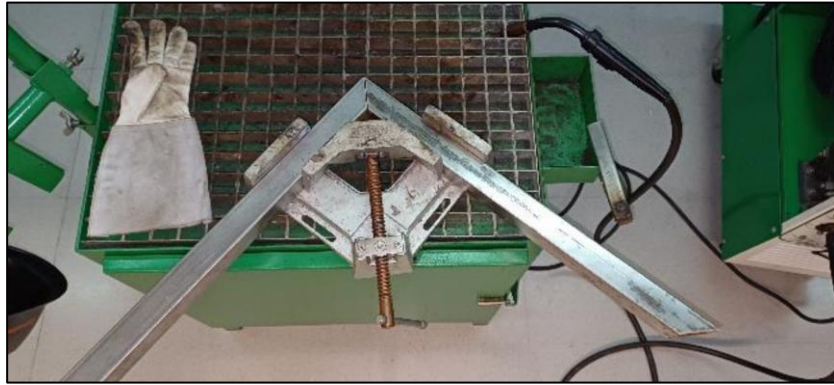


Figura 31. Perfiles colocados a escuadra para soldarlos.

Con estos soportes se consiguió cuadrar los perfiles a 90 grados ya que los cortes, aunque realizados a inglete, nunca tienen exactamente los grados marcados por lo que sin ellos nunca vamos a obtener ángulos rectos.

Una vez colocados en este caso a 90 grados y con el soporte apretado se sitúa el conjunto en la rejilla del carro de soldadura para que haga contacto a masa y posteriormente el último paso es soldar con la antorcha.

Las primeras soldaduras no resultaron fáciles ya que los perfiles tienen un espesor de pared de 1,5mm y con facilidad el electrodo perforaba la delgada pared, no obstante, se consiguió soldar todos los perfiles necesarios.

En la **Figura 32** se muestra una fotografía donde puede apreciarse que la unión presenta una protuberancia además del cordón de soldadura por lo cual aparte de asegurar que la unión quedara perfectamente realizada posteriormente en la mayoría de las uniones fue necesario un lijado con la amoladora angular utilizando un disco de desbaste.



Figura 32. Rebaba generada en la unión.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Y en la **Figura 33** se presentan dos fotografías, la Figura 33 (a) muestra la estructura parcial una vez soldados todos los perfiles de las dos partes de la base inferior y la Figura 33 (b) muestra el procedimiento de desbastado posterior en los casos en los que fue necesario.

(a)



(b)



Figura 33. (a) Estructura con base inferior soldada, (b) Proceso de desbastado de soldadura.

Como se puede apreciar en la fotografía, el desbaste deja la superficie de la unión totalmente plana, lista para la siguiente soldadura.

El siguiente paso consistió en soldar las partes laterales o verticales de la estructura, las cuales van soldadas sobre las esquinas de la base inferior y para ello nuevamente sobre el carro de soldadura se colocó la base, se presentaron los perfiles laterales y con ayuda de una escuadra de imán pudieron fijarse las piezas para posteriormente soldarlas, En la **Figura 34** se aprecian dos fotografías como parte de este proceso, en concreto en la Figura 34 (a) se muestra la posición de uno de los perfiles laterales una vez soldado y en la Figura 34 (b) se puede observar con detalle una de las soldaduras interiores.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

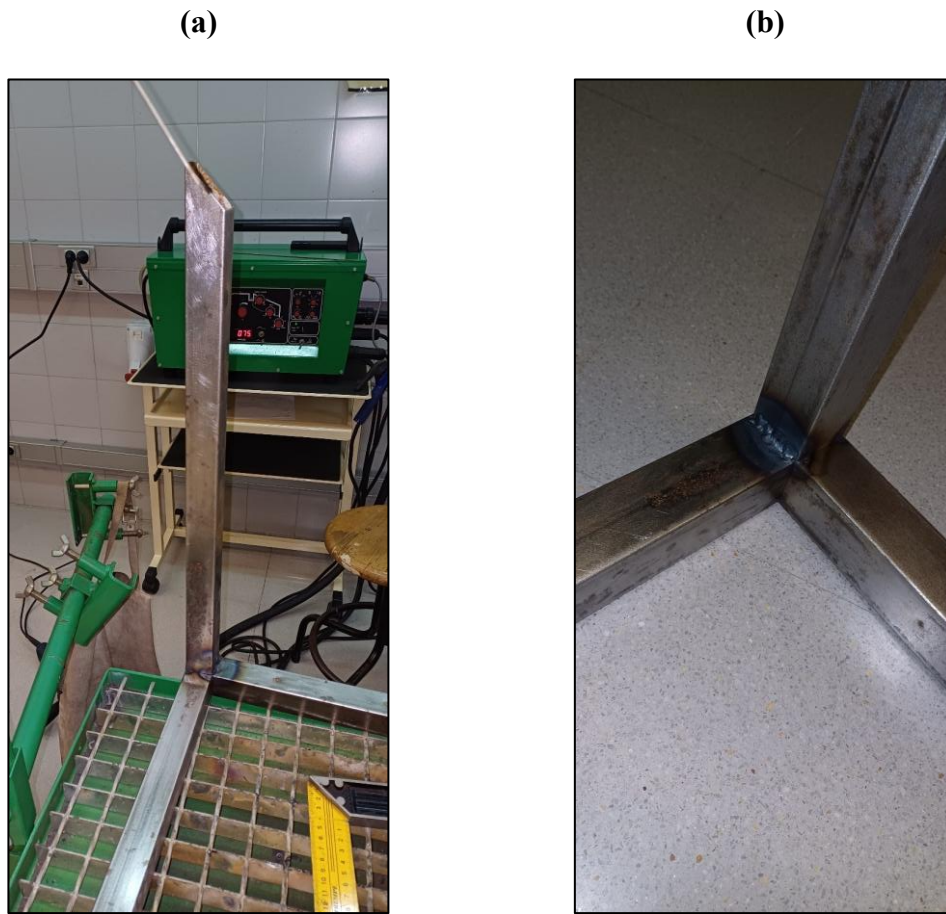


Figura 34. (a) Soldadura de perfil vertical, (b) Soldadura interior.

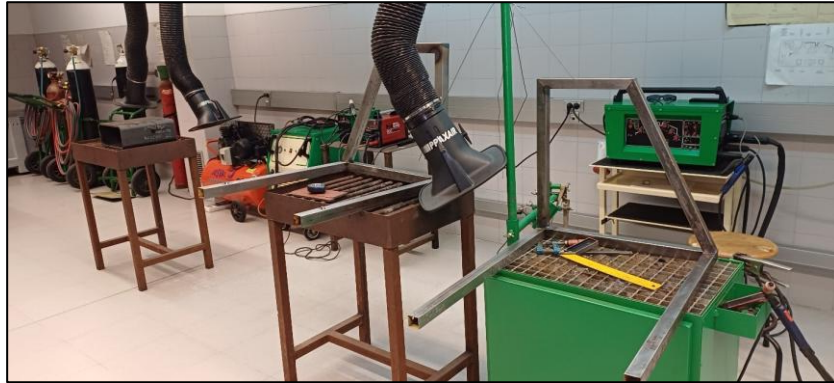
Estas soldaduras resultaron más fáciles de realizar debido a que para la unión era necesario reposar un perfil sobre otro, manteniendo alineados los extremos exteriores no quedaban huecos entre perfiles que rellenar con la varilla de aportación.

Posteriormente se soldaron las barras superiores que quedan paralelas al rectángulo de la estructura inferior y por último se soldaron las dos barras siguientes para cerrar la estructura, estas fueron más complejas ya que los ángulos fueron calculados específicamente para que la barra superior esté completamente a nivel y paralela a la inferior del rectángulo, y a su vez la tercera barra cierre con la esquina inferior opuesta haciendo un ángulo mayor de 90 grados.

Una vez se consiguió que los ángulos de las barras encajaran con un mínimo error admisible se pudieron soldar dichas barras como se aprecia en la **Figura 35**, en concreto en la Figura 35 (a) se ilustra una fotografía de las dos partes de la estructura inferior ya soldadas y en la Figura 35 (b) se ilustra la estructura con las dos partes acopladas.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(a)



(b)



Figura 35. (a) Estructuras inferiores soldadas, (b) Estructura acoplada.

El siguiente paso por realizar consistió en preparar el eje, como toda la estructura tiene dos partes y son perfiles cuadrados necesitó soldar una pieza cilíndrica en ambos extremos para posteriormente con unos rodamientos conseguir el giro de la barra.

La solución para crear ese eje fue usar tornillos de rosca parcial.

Estos tornillos debían de ser lo suficientemente largos para ir soldados en la parte de la cabeza al extremo del perfil, que la parte sin roscar quedara dentro del rodamiento y la rosca saliera del mismo para poder roscar una tuerca y evitar que el eje salga del rodamiento.

Para conseguirlo, la solución fue usar dos pletinas de hierro que hiciesen de tapón en ambos extremos del perfil, lógicamente una pletina más grande que la otra, ya que tenemos un perfil de cuatro centímetros y otro de 3,5 centímetros, y así tener una superficie donde soldar la cabeza de los tornillos que iban a hacer las veces de eje.

Lo primero que se realizó fue cortar las pletinas, estas se obtuvieron de unas pletinas más grandes, trazando sobre ellas y recortándolas con una amoladora angular.

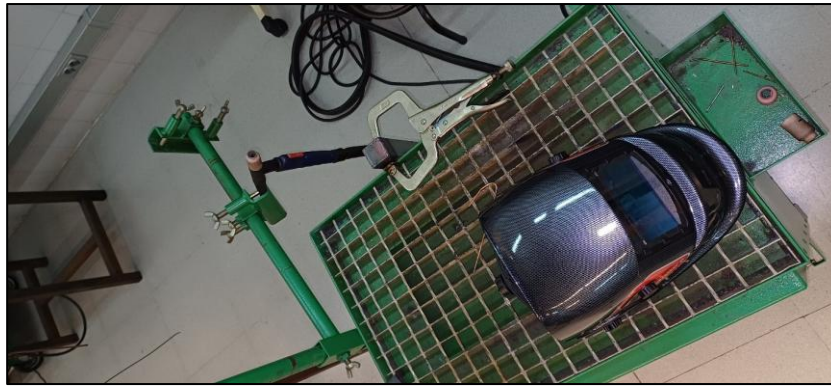
Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Lo siguiente consistió en soldarlas a los perfiles, para ello se recortaron unas décimas de milímetro más pequeñas para que entraran en los mismos y posteriormente se cerraron las paredes del perfil para fijarlas justo en el borde, procurando hacer un ángulo de 90 grados entre la pared del perfil y la pletina para evitar desequilibrios posteriores cuando se suelde la cabeza del tornillo.

El procedimiento de soldadura como se puede apreciar en las fotografías de la **Figura 36** es similar al utilizado para soldar los perfiles, soldadura TIG, para ello se usó el carro de soldadura con una mordaza para unirlo al perfil y hacer conexión de masa a la vez que fijar en tubo en vertical, y posteriormente con la antorcha y la varilla de aportación se soldaron las cuatro paredes del perfil a la pletina.

En la Figura 36 (a) se muestra el procedimiento desde un plano general y en la Figura 36 (b) se muestra el resultado en detalle.

(a)



(b)



Figura 36. (a) Soldadura de pletina desde una vista general, (b) Soldadura en detalle.

Con el objetivo de darle un acabado más profesional fue necesario mecanizar los bordes del cordón de soldadura, para ello se usó la amoladora angular con un disco de desbaste, se perfilaron los cuatro bordes del perfil de tal manera que el acabado fue el que muestro en la fotografía de la **Figura 37**.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador



Figura 37. Desbaste de soldadura de la pletina.

Una vez que los dos perfiles fueron cerrados en uno de sus extremos lo último a mecanizar en los mismos era el tornillo de rosca parcial, para el caso se consideró conveniente usar tornillos de dimensiones considerables, de diámetro 10 milímetros, es decir métrica 10, cabeza hexagonal para facilitar la soldadura al perfil y longitudes totales de 5 centímetros en el lado del perfil de 3,5 centímetros de lado y aproximadamente 12 centímetros en el lado del perfil de 4 centímetros de lado.

El primero que se soldó fue el tornillo de 5 centímetros, para ello se siguió usando soldadura TIG, manteniéndolo lo más vertical posible, centrado y alineado con el perfil, con dos puntos rápidos se fijó a la pletina, para posteriormente soldarlo en todo el perímetro, en la **Figura 38** se puede apreciar el resultado.



Figura 38. Eje derecho soldado.

También se aprecia por la escoria que quedó en la superficie, que el tornillo no era de hierro ni de acero puro, sino que tenía algún tipo de aleación desconocida, tal vez un cincado. Posteriormente y antes de instalar el rodamiento se hizo necesario lijar dicha superficie para facilitar la introducción del tornillo.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Después de soldarlo se pudo observar que el perfil no estaba equilibrado, es decir, el tornillo, aunque si centrado no estaba alineado con el largo del perfil por lo que ello acarrearía futuros problemas de giro, para solucionarlo se decidió calentar el tornillo y con un tornillo de banco se pudo enderezar el tornillo para equilibrar el perfil lo máximo posible, lógicamente esto no es un equilibrado profesional ni perfecto, pero para la futura función del eje, el cual va a realizar un giro mínimo y a baja velocidad, unido a la limitación de herramientas para equilibrarlo resultó un equilibrado más que aceptable.

Con el tornillo grande se procedió de la misma forma, usando soldadura TIG, el carro de soldadura enganchado al perfil con una mordaza y aplicando un par de puntos de soldadura rápidos para fijarlo a la pletina y posteriormente soldarlo alrededor de todo el perímetro, en la **Figura 39** se puede apreciar el resultado.



Figura 39. Eje derecho soldado.

De igual forma también fue necesario equilibrar el perfil en la medida de lo posible, en este caso el desequilibrio se apreciaba de forma más acentuada al tener más longitud de tornillo.

Una vez realizado el eje se procedió a soldar las ruedas a la estructura, se disponían dos ruedas fijas y dos giratorias con freno por lo que se decidió colocar las dos giratorias en la parte del perfil de 4 centímetros de lado, y las ruedas fijas en la parte de la estructura retráctil, es decir la de 3,5 centímetros de lado.

Se empezó con las ruedas giratorias, la soldadura fue relativamente fácil ya que las ruedas vienen de fábrica fresadas con 4 orificios para fijar con tornillos a cualquier superficie, se utilizaron esos orificios para rellenar con soldadura grosso modo de forma que las ruedas quedaran completamente fijadas a la estructura.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Como las ruedas van sobre un rectángulo más grande que el perfil lo que se hizo fue cuadrarlas de forma que los lados exteriores de la misma quedaran alineados con los de los perfiles de la estructura y quedaran soldadas en tres de los cuatro puntos, de forma que el cuarto punto queda al aire. En la **Figura 40** se puede apreciar el resultado, en concreto se ilustra una fotografía en detalle de la soldadura de una de las ruedas giratorias.



Figura 40. Rueda giratoria soldada.

La superficie de contacto rectangular de las ruedas era plana por lo que la adherencia fue buena y la estructura quedó nivelada.

Con la parte retráctil de la estructura se procedió de la misma forma, la superficie rectangular de las ruedas fijas también era más grande que los perfiles por lo que se colocaron en línea con los laterales exteriores de la estructura y se soldaron en tres de los cuatro puntos disponibles.

Una vez soldadas las cuatro ruedas, se procedió a encajar ambas partes para comprobar que el cierre y apertura de la estructura podía realizarse correctamente, además de descartar problemas con el nivelado, evitando así la necesidad de calzar alguna de ellas para facilitar la adherencia a la superficie del suelo.

Tras comprobarlo se confirmó que no era necesario calzar ni rectificar ninguna de las ruedas, en la siguiente **Figura 41** se puede apreciar una fotografía donde puede verse la estructura ya montada y en la posición de abierto.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador



Figura 41. Estructura montada y abierta.

El siguiente paso era pintar la estructura, la parte retráctil sufrirá de fricción al introducirse dentro de la parte fija por lo que se llegó a la conclusión de pintarla con un convertidor de óxido, en concreto se usó uno de la marca Würth, puede verse el producto en la **Figura 42**.



Figura 42. Convertidor de óxido utilizado.

Al aplicar el producto sobre el hierro este va adquiriendo un tono azulado a medida que el producto actúa y una vez transcurrido el tiempo necesario el producto reacciona en su totalidad con el metal haciendo que el tono azulado inicial se convierta en negro, creando sobre el óxido una película de protección, una película muy delgada, al contrario de lo que pasaría con la pintura, la cual impediría el rozamiento debido al grosor de esta. En la **Figura 43** se ilustra el procedimiento aplicado, se muestra una fotografía general de la parte de la estructura y parte del eje con el producto aplicado.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador



Figura 43. Estructura con convertidor de óxido aplicado.

Para terminar con la estructura también era necesario pintar la parte fija, a esta no era necesario aplicarle un convertidor de óxido por lo que tras reparar y lijar bien todos los restos de óxido se procedió a transportarla al laboratorio de motores de la escuela para pintarla.

Allí, haciendo uso de una cesta metálica para reposar la estructura y unos plásticos para proteger el entorno del taller se improvisó una cabina de pintura. En la **Figura 44** puede apreciarse el procedimiento, usando un spray de imprimación blanco se le dio la primera mano de pintura.



Figura 44. Pintado con imprimación de la estructura.

Cuando la primera mano de imprimación secó se le aplicó la segunda mano y cuando estaba completamente seco se procedió a pintarla esta vez con pintura metalizada color azul oscuro en honor a la Universidad de Málaga.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Tras aplicar también varias manos de pintura el resultado se muestra en la **Figura 45**. En ella se ilustra una fotografía donde aparecen las partes de la estructura pintadas con azul metalizado y las partes pintadas con el convertidor de óxido.



Figura 45. Estructura completamente pintada.

3.2.3 Herrajes

El siguiente paso para realizar con los marcos era dotarlos de un sistema de rotación para poder recoger un marco sobre el otro al cerrar la estructura retráctil, para ello se decidió utilizar dos bisagras de acero de las utilizadas para puertas de hierro.

Estas bisagras están pensadas y fabricadas para ser soldadas sobre las hojas de hierro pero en este caso esto no era posible ya que los marcos son de aluminio, por tanto lo que se hizo fue realizar taladros en ellas para fijarlas con tornillos a los marcos de aluminio, pero no era lo único que se debía realizar para su posterior montaje, las bisagras directamente colocadas harían que los marcos cerrasen uno encima del otro en caso de no tener los paneles instalados pero no dejarían espacio para los paneles solares, en caso de tener los paneles montados una hoja no cerraría sobre la otra, quedaría un ángulo abierto directamente proporcional al ancho de los paneles fotovoltaicos por lo que requerían de una pieza adicional.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

De la empresa fabricante de los paneles fotovoltaicos se obtuvo la ficha técnica de los mismos, la cual está recogida como ya se mencionó antes en el **Anexo A** de este documento, y de la cual se observa que tienen aproximadamente 9,8 milímetros de grosor por lo que había que elevar las bisagras aproximadamente un centímetro para así poder cerrar una hoja sobre la otra.

Para ello la solución fue colocar un pedazo de pletina de hierro de un centímetro de grosor entre la bisagra y el marco de aluminio para así crear ese suplemento necesario y que la hoja de un marco pudiese cerrar sobre la otra.

Se decidió instalar dos bisagras a las hojas de aluminio equidistantes a los extremos para así repartir los esfuerzos mecánicos por lo cual se necesitaron cuatro piezas para usar como suplemento y elevarlas.

Lo primero consistió en cortar las pletinas para lo cual se usó una pletina de hierro reciclada, con el tornillo de banco y la amoladora angular se cortaron las cuatro piezas necesarias.

Tras realizar los cortes se limaron los bordes, se lijaron las superficies y se presentaron las piezas con las bisagras para proceder con el mecanizado.

En la **Figura 46** se ilustran una serie de fotografías del proceso, en la Figura 46 (a) se muestra una fotografía del proceso de corte con amoladora de las piezas, en la Figura 46 (b) una fotografía del posterior limado y lijado y en la Figura 46 (c) se puede ver una fotografía de las piezas ya listas para su mecanizado, nótese la diferencia de tamaño entre unas y otras debido a la precisión del corte a mano.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(a)



(b)



Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(c)



Figura 46. (a) Corte de pletinas con amoladora, (b) Lijado y limado, (c) Piezas preparadas para mecanizado.

Para realizar el mecanizado tanto de bisagras como de suplementos se usó el taladro vertical ubicado en el laboratorio de motores térmicos de la escuela como se puede apreciar en la fotografía de la **Figura 47**.



Figura 47. Taladro vertical utilizado.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Para facilitar el taladrado se marcaron los orificios a realizar tanto de las bisagras como de los suplementos no solo con rotulador si no también con un martillo y un punzón, puede verse el procedimiento en la fotografía de la **Figura 48**.



Figura 48. Punzón y martillo utilizados.

Tras realizar el marcado se procedió al taladrado en sí con broca para acero de 8 milímetros de diámetro, primero con las bisagras y luego con los suplementos, en la **Figura 49** se ilustra el proceso, la Figura 49 (a) muestra una fotografía del taladrado de las bisagras y la Figura 49 (b) una fotografía del taladrado de los suplementos.

(a)



(b)

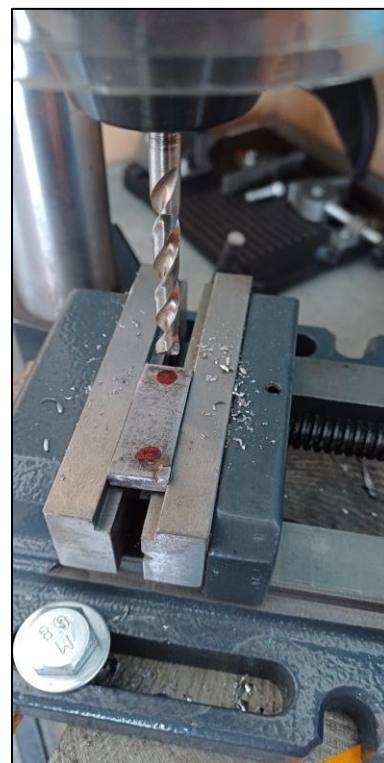


Figura 49. (a) Taladrado de las bisagras, (b) Taladrado de los suplementos.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

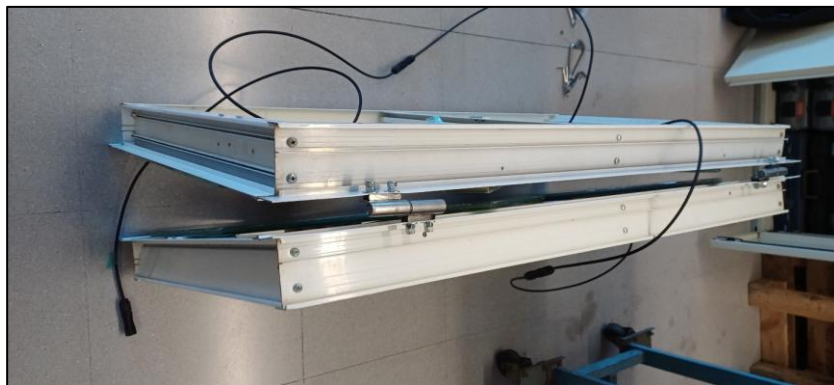
Una vez mecanizadas las bisagras y las pletinas se procedió a presentarlas en los marcos de aluminio para comprobar que cerraban perfectamente uno sobre el otro y realizadas las pertinentes comprobaciones solo quedaba realizar el montaje, para ello se utilizaron tornillos de 8 milímetros del tipo DIN 912 (ISO 4762), es decir tornillos de cabeza cilíndrica y huella allen, además de arandelas y doble tuerca, la tuerca exterior concretamente tuercas autoblocantes DIN 985.

En la **Figura 50** se ilustran varias fotografías del montaje realizado, en concreto en a Figura 50 (a) se muestra una fotografía en detalle del montaje de las bisagras, en la Figura 50 (b) se muestra una fotografía de los dos marcos cerrados y en la Figura 50 (c) se aprecia una fotografía con los marcos abiertos.

(a)



(b)



Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(c)

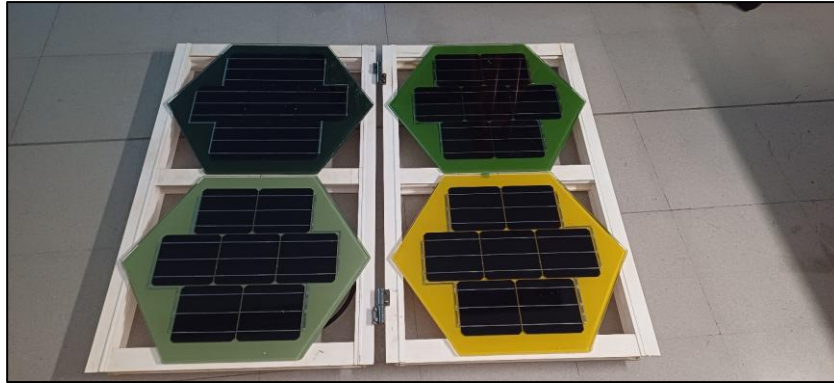


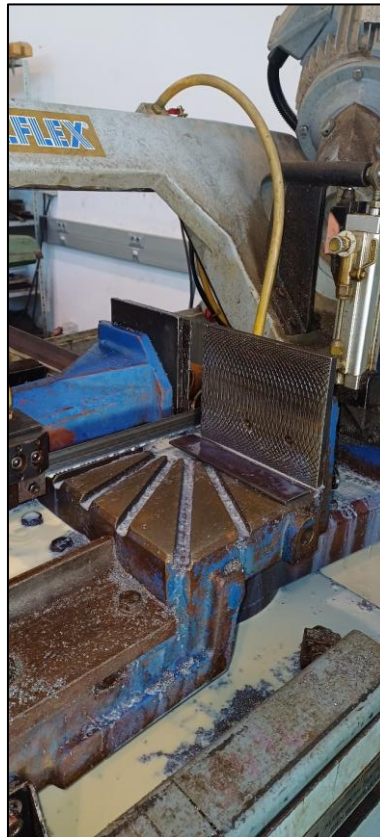
Figura 50. (a) Montaje de las bisagras, (b) Marcos en posición de cerrado, (c) Marcos en posición de abierto.

Otro de los herrajes necesarios era dotar a los marcos de aluminio de un sistema para poder acoplarlos a la barra del eje, pero sin utilizar una unión fija e irreversible o simplemente difícil de desmontar, para ello se diseñó un sistema de pletinas en forma de “U”, las cuales permitían tanto el anclaje como el posterior desmontaje si fuese necesario.

Uno de los marcos una vez anclado al eje no varía su posición con respecto a este independientemente de que la estructura esté abierta o cerrada, por lo que con este marco se optó por fabricar tres soportes en forma de “U” invertida para los cuales lo primero que se hizo fue cortar las pletinas de una de 5 centímetros de ancho y 4 milímetros de grosor, se realizaron tres cortes iguales, a 18 centímetros de largo, posteriormente se usó una dobladora de pletinas para doblarlas a unos 6,5 centímetros en cada lado, en la **Figura 51** se ilustra el proceso completo, en concreto en la Figura (a) se muestra una fotografía del corte de las pletinas, en la Figura (b) se muestra otra fotografía esta vez usando la dobladora y en la Figura (c) una fotografía de uno de los soportes terminado.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(a)



(b)



Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(c)



Figura 51. (a) Corte de las pletinas, (b) Doblado de las pletinas, (c) Soportes terminados.

Posteriormente al doblado de las tres pletinas el siguiente paso era mecanizarlas, para ello se realizaron en cada una de ellas tres orificios con el taladro vertical usando una broca de 4 milímetros de diámetro para posteriormente usar tornillos rosca chapa y fijarlas al marco de aluminio.

Se realizó también un cuarto orificio, esta vez pasante y de 6 milímetros, es decir atravesando la pletina de un lado a otro para una vez fijada en el marco de aluminio y acoplada en el eje, poder introducir un pasador a modo de seguro para evitar que durante la manipulación o transporte, el marco pueda desmontarse del eje, en la **Figura 52** se presenta todo el proceso de mecanizado de los orificios, en concreto en la Figura (a) se ilustra una fotografía del mecanizado de los agujeros para los tornillos y en la Figura (b) se muestra una fotografía del mecanizado del agujero para el pasador.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

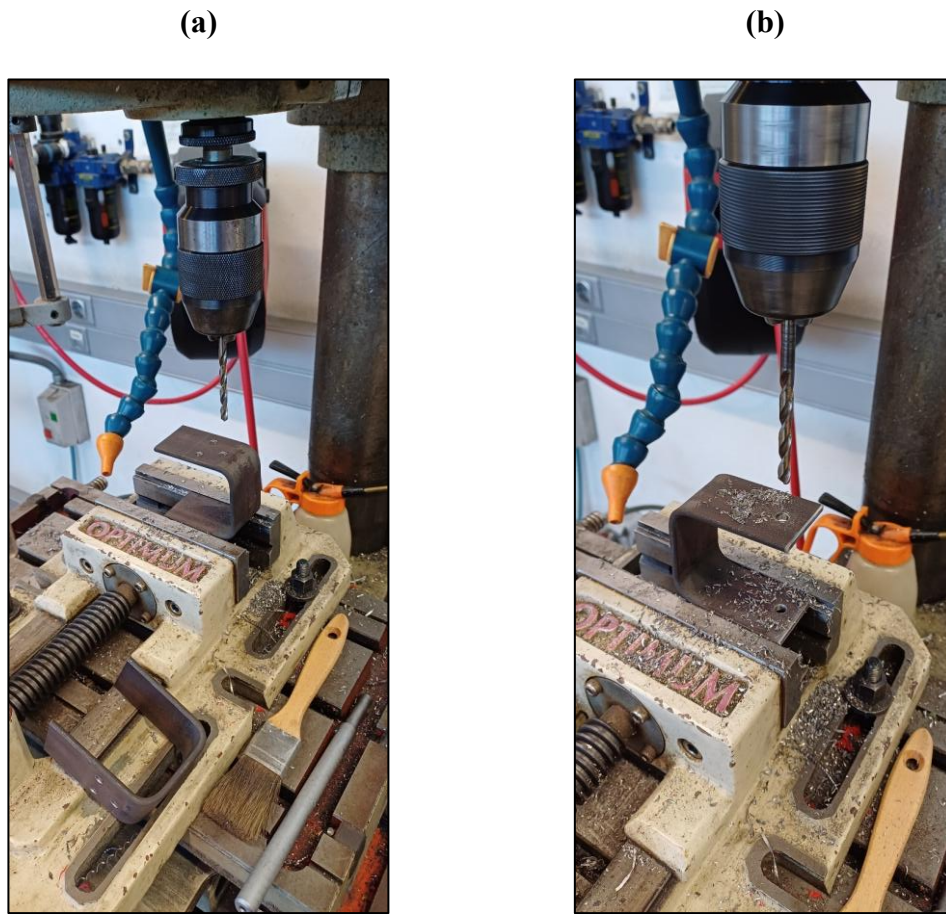


Figura 52. (a) Taladrado de orificios de sujeción, (b) Taladrado de orificio para pasador.

Tras terminar el mecanizado de los orificios se repasaron los bordes de las pletinas con la amoladora angular usando un disco de desbaste para eliminar cualquier saliente o rebaba.

Con las pletinas casi terminadas solo quedaba pintarlas, para lo cual se utilizó una pintura para forja color rojo, para diferenciar los tres herrajes del resto de partes de la estructura, en la siguiente **Figura 53** se muestran estos procesos, en concreto en la Figura 53 (a) se muestra una fotografía del limado de bordes de los soportes, y en la Figura 53 (b) se puede ver una fotografía del montaje sobre el marco de aluminio con tornillos rosca chapa utilizando un atornillador eléctrico y un nivel para asegurar el correcto alineamiento de los soportes.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(a)



(b)



Figura 53. (a) Limado de bordes de los soportes, (b) Montaje sobre marco.

Para terminar con los tres primeros herrajes solo faltaban los pasadores de 6 milímetros, los cuales se realizaron cortando varillas roscadas de métrica 6, limando posteriormente los extremos para facilitar la entrada de la rosca y usando después roscas autoblocantes para evitar una caída accidental del pasador, puede verse la fabricación en la **Figura 54**.



Figura 54. Fabricación de pasadores.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Por último, y para facilitar la fortaleza de la estructura una vez abierta se necesitaba que el marco de aluminio móvil, es decir, el marco que pliega sobre el otro con la ayuda de las bisagras tuviera algún tipo de fijación a la barra del eje por lo que se decidió fabricar dos soportes también en forma de “U”, pero esta vez de forma diferente, los soportes no iban a ser colocados en forma de “U” invertida porque ello imposibilitaría el pliegue del marco de aluminio, sino que el soporte debería de ir girado solo 90 grados para así poder encajar con el eje y reposar sobre él.

Lo primero a realizar fue instalar sobre la parte trasera del nervio o perfil central del marco móvil una varilla roscada fijada con dos tuercas, en concreto se usó una varilla de 10 milímetros de diámetro y 12 centímetros de longitud, la **Figura 55** ilustra el proceso, en la Figura 55 (a) se muestra una fotografía del orificio realizado con un taladro y una broca de 10 milímetros, en la Figura 55 (b) se muestra fotografía en detalle de la varilla roscada ya fijada con las dos tuercas, véase como el rail del marco sirvió para hacer de tope y poder fijar la varilla roscada sin más mecanizado, y en la Figura 55 (c) se puede apreciar una vista general de la varilla roscada en la parte trasera del panel.

(a)



(b)



Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(c)



Figura 55. (a) Realización de orificio, (b) Detalle de fijación de varilla roscada, (c) Vista general de la sujeción.

Una vez fijada la varilla roscada, el siguiente paso era realizar los soportes, de la misma forma que se realizaron los tres soportes del marco fijo de la estructura se realizaron dos soportes más, cortados en la sierra de cinta y doblados con la dobladora en el taller de mecanizado, el resultado se ilustra en la fotografía de la **Figura 56**.

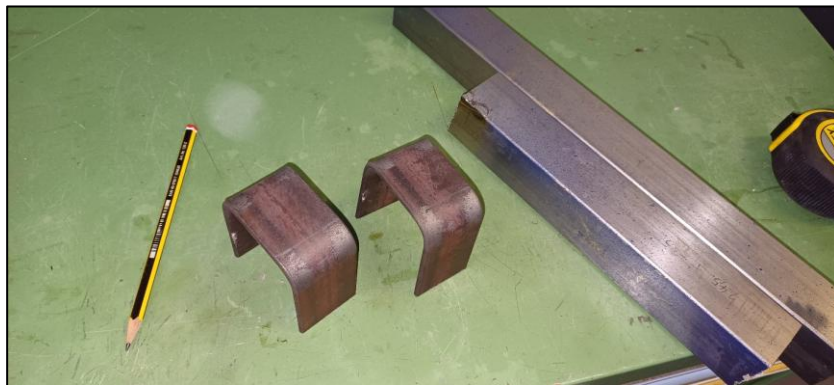
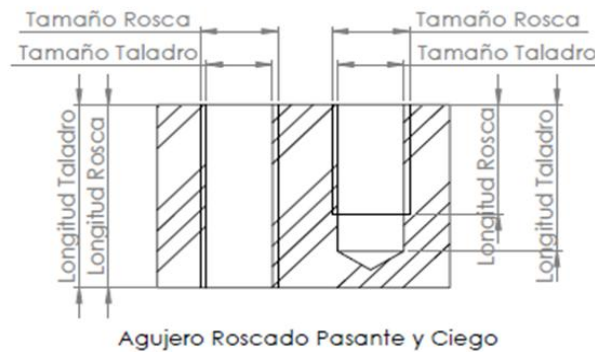


Figura 56. Soportes fabricados.

Para terminar los soportes se procedió con el mecanizado de estos, a cada uno se le realizaron dos taladros, uno de ellos pasante, con una broca de 8 milímetros, atravesando los dos extremos del soporte, y un segundo el cual debía ser rosca de métrica 10 para poder roscar el soporte en la varilla roscada que quedó fijada en la parte trasera del marco por lo cual fue necesario consultar una tabla de equivalencias de rosca-diámetro [1], en concreto se ilustra en la **Tabla 1**.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador



ROSCA MÉTRICA	DIÁMETRO TALADRO
M3	2,5 mm
M4	3,3 mm
M5	4,2 mm
M6	5,0 mm
M7	6,0 mm
M8	6,8 mm
M10	8,5 mm
M12	10,2 mm

By: Miguel Pena Ingeniería

Tabla 1. Equivalencias roscas métrica-taladro, Miguel Pena Ingeniería.

Tal y como se puede ver en la tabla, para realizar posteriormente un roscado de métrica 10 necesitamos realizar un orificio con una broca de 8,5 milímetros de diámetro.

En la **Figura 57** puede observarse el proceso, en concreto en la Figura 57 (a) se ilustra una fotografía del taladrado con la broca de 8,5 milímetros y en la Figura 57 (b) se muestra una fotografía del proceso de realización de la rosca con el porta machos y el macho de rosca métrica 10.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

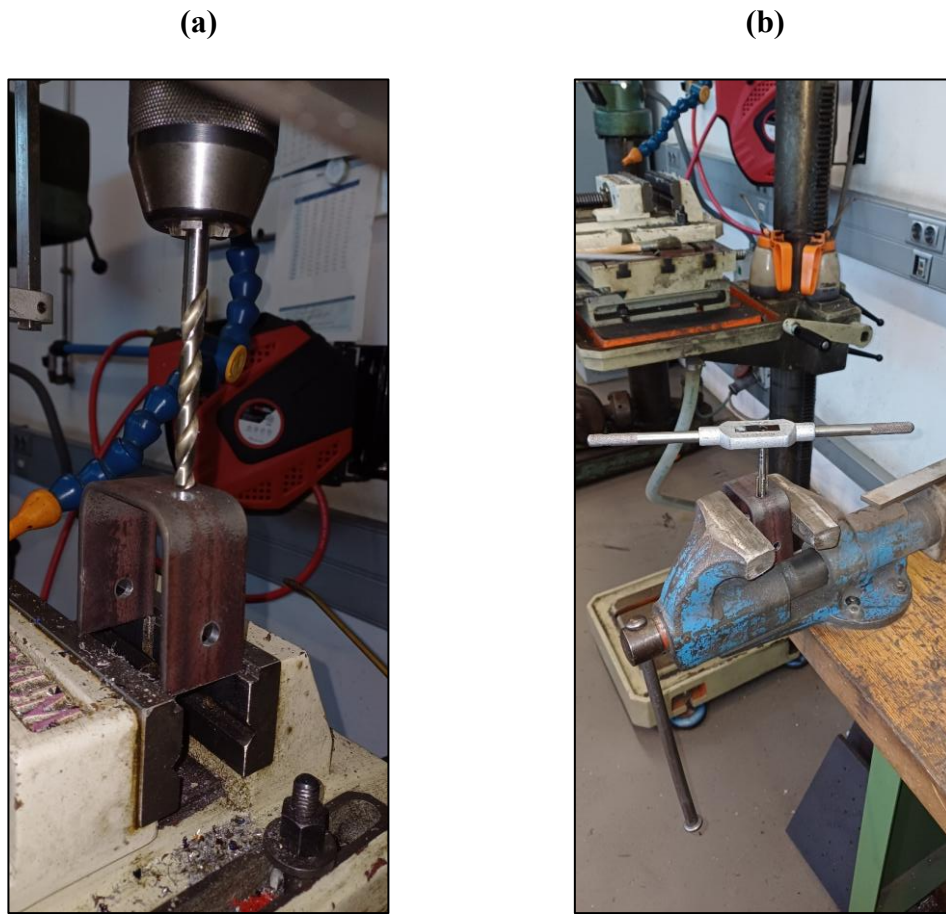


Figura 57. (a) Taladrado del orificio de 8,5mm, (b) Realización de rosca de métrica 10.

Por último y una vez pintados los soportes, en este caso en color negro, se procedió al montaje de estos, una vez atornillados y encajados sobre el eje el resultado es el que se ilustra en la fotografía de la **Figura 58**.



Figura 58. Resultado del montaje de soportes.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Otro de los herrajes necesarios para la máquina fueron los rodamientos para el eje, para ello se utilizó un soporte o carcasa para rodamientos fabricada en una aleación de Zinc con la que el rodamiento quedaba fijado sobre la superficie del perfil de la estructura a través de dos tornillos. Debido al peso final que tendrá que soportar el eje con los paneles fotovoltaicos y herrajes se decidió agrandar los orificios de la carcasa del rodamiento, para ello y usando el taladro vertical se agrandaron los orificios con una broca de 8 milímetros de diámetro.

Posteriormente se presentaron en la parte superior del perfil manteniendo una distancia equidistante desde el inicio del perfil, para marcar los orificios con un punzón de muelle y realizar los orificios nuevamente con la broca de 8 milímetros de diámetro, esta vez con el taladro de mano. Una vez estaban todos los orificios realizados se procedió con el montaje de estos, se utilizaron para ello tornillos de 8 milímetros del tipo DIN 912 (ISO 4762), es decir tornillos de cabeza cilíndrica y huella allen, además de arandelas y tuercas autoblocantes DIN 985. En la **Figura 59** se muestra el proceso de preparación de los rodamientos, en la Figura 59 (a) se ilustra una fotografía del taladrado de las carcasas de los rodamientos y en la Figura 59 (b) se muestra una fotografía de uno de los rodamientos ya montado.

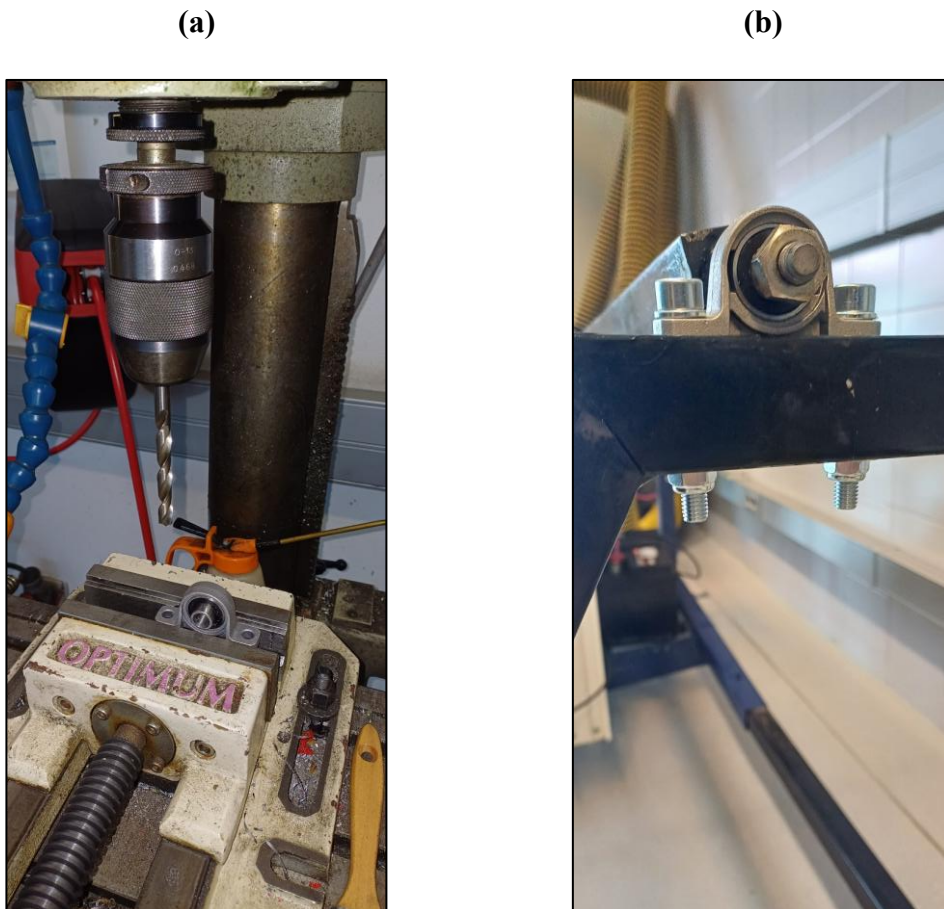


Figura 59. (a) Taladrado de rodamientos, (b) Resultado del montaje de rodamientos.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

3.2.4 Topes y fijaciones

El peso de los paneles fotovoltaicos provocará que al montar los marcos de aluminio sobre el eje de la estructura, estos adopten cualquier posición, giren en cualquier momento y puedan ocasionar algún problema o avería por lo que para limitar el giro de los marcos se optó por colocar dos topes de puerta de paso, atornillados en el lateral interior de los perfiles de la base para así conseguir que los paneles fotovoltaicos estuviesen totalmente en vertical cuando la estructura esté en estado de reposo, esto se debe a que el peso de los mismos unido a la fuerza de la gravedad hace que intenten girar y al estar los soportes descentrados varios centímetros hacia arriba del centro de gravedad, el eje intenta girar en sentido horario visto desde el lado fijo de la estructura, dirigiéndose a los topes, haciendo que el sistema deje de girar.

En la **Figura 60** se aprecia el montaje de los topes, en concreto en la Figura (a) se ilustra una fotografía con el tope atornillado y en la Figura (b) se muestra una fotografía con el eje en posición de reposo, los marcos apoyados sobre los topes y un nivel para comprobar que el eje ha quedado totalmente vertical.

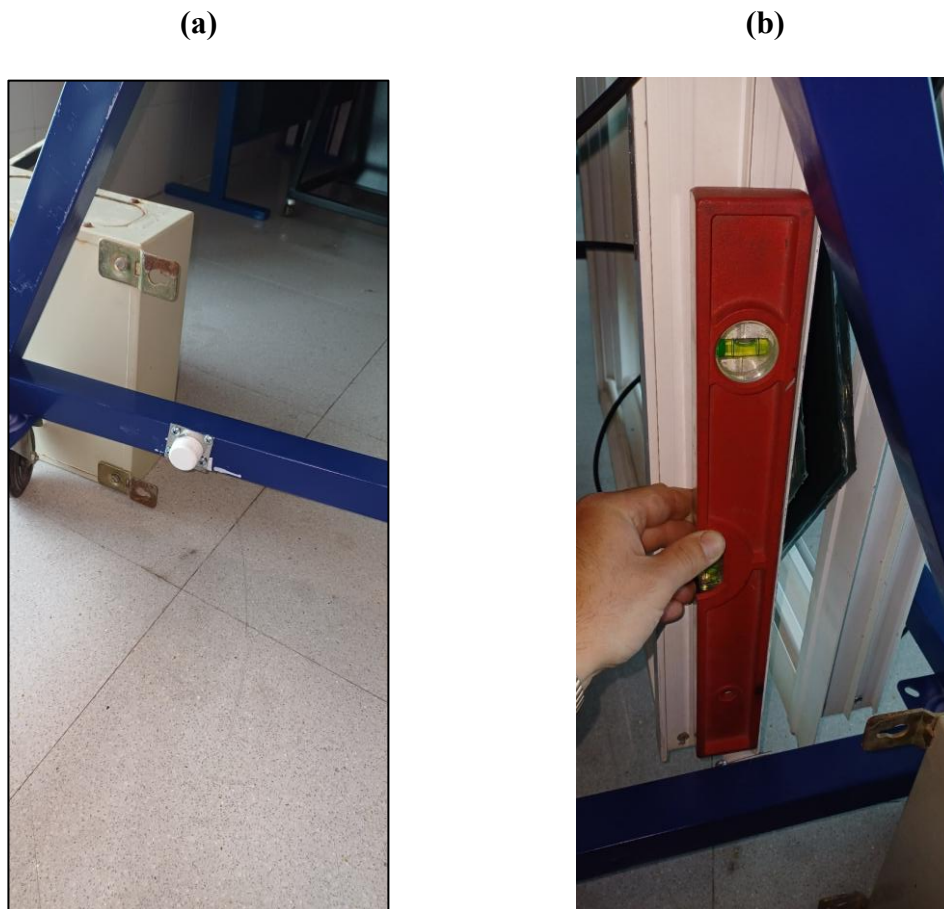


Figura 60. (a) Montaje de topes, (b) Comprobación de nivel.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Con la estructura de aluminio en posición vertical la radiación solar recibida es relativamente baja, por lo cual el rendimiento de los paneles fotovoltaicos es mínimo, para solventar esto se decidió instalar unos pestillos para fijar la estructura de los paneles fotovoltaicos con una inclinación determinada.

En la **Figura 61** se ilustra parte del proceso, para ello primero se marcó el centro del perfil donde iba a ser instalada la parte móvil del pestillo, es decir, la que aloja el pestillo en sí, tras determinar la posición se marcaron los orificios con un punzón de muelle y se realizaron los orificios con un taladro atornillador de batería.

En concreto en la Figura 61 (a) se muestra una fotografía del replanteo del pestillo en el perfil, y en la Figura 61 (b) se puede observar una fotografía del mecanizado de los orificios.

(a)



(b)

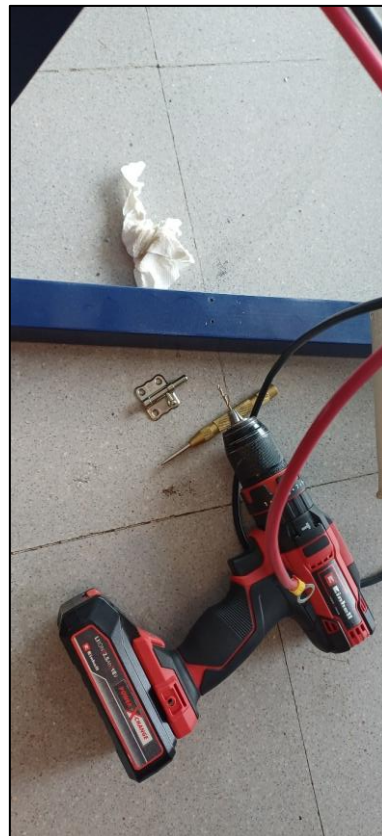


Figura 61. (a) Replanteo de pestillos, (b) Mecanizado de orificios.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

3.2.5 Soporte baterías

Para la construcción del soporte de baterías fue necesario diseñar una estructura la cual no fuese muy pesada, pero a la vez resistente, para ello se decidió utilizar perfiles metálicos de estantería.

Con las dimensiones de una batería de coche se cortaron tres perfiles de estantería con la idea de hacer un marco y fijarlo a la parte interior del rectángulo inferior de la estructura, en la **Figura 62** se ilustra una fotografía de los perfiles ya recortados.

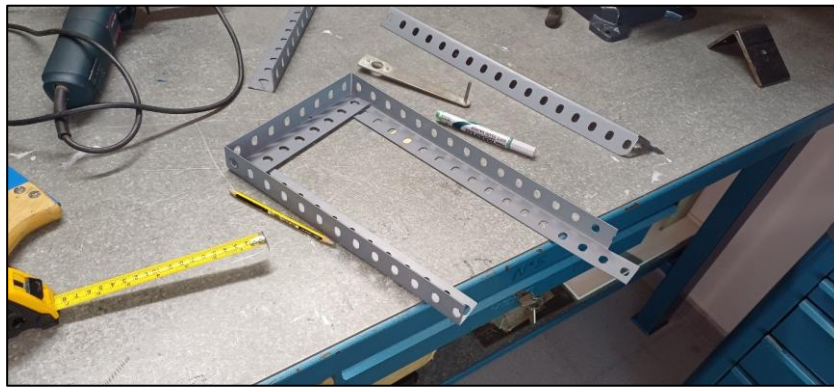


Figura 62. Perfiles de estantería cortados.

Para fijar el marco de la batería a la estructura había que tener en cuenta que una de las esquinas quedaría sin sujeción debido a la imposibilidad de cruzar un travesaño de un lado a otro de la estructura, esto se debe a que los marcos de aluminio que portan los paneles fotovoltaicos quedan a una cota menor con respecto al suelo que la misma estructura base, por ello únicamente se podía sujetar el marco de la batería en el perímetro de este.

La solución fue recortar dos perfiles cuadrados más, concretamente de longitud igual a los lados del marco que se unen en la esquina sin sujeción, nótese que únicamente es posible instalar este soporte en la parte fija de la estructura, la parte retráctil al cerrar la estructura imposibilita cargar con cualquier tipo de soporte, por lo que los perfiles se cortaron de 4 centímetros de lado.

Una vez cortados los perfiles se procedió al ensamblaje con el marco y posterior ensamblaje, para unir los perfiles se usaron escuadras de madera, tornillería de 6 milímetros, tuercas y arandelas, el marco a su vez se fijó a los perfiles con un polímero de gran resistencia a tracción y rápido secado y el conjunto a la estructura de diferentes formas, en el lateral estrecho de la estructura se podía realizar orificios por lo que el conjunto se fijó en la parte inferior con dos escuadras pequeñas, una a cada lado del perfil,

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

con tornillos rosca chapa, en la parte superior se usó una escuadra más grande con tornillos rosca chapa, en cambio en la otra esquina no era posible taladrar debido a que ello imposibilitaría cerrar la estructura por lo que se optó por colocar una escuadra solo fijada al marco y cinta de montaje perforada atornillada por abajo del perfil y a su vez atornillada por la parte superior al marco y el perfil usando tornillos rosca chapa, en la **Figura 63** se puede apreciar el proceso, en concreto en la Figura 63 (a) se ilustra una fotografía de la fijación de uno de los perfiles con escuadras, en la Figura 63 (b) se muestra una visión general del marco ya fijado completamente con las escuadras y la cinta perforada y en la Figura 63 (c) se muestra el conjunto ya con la batería montada para comprobar la resistencia de este.

(a)



(b)



Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(c)

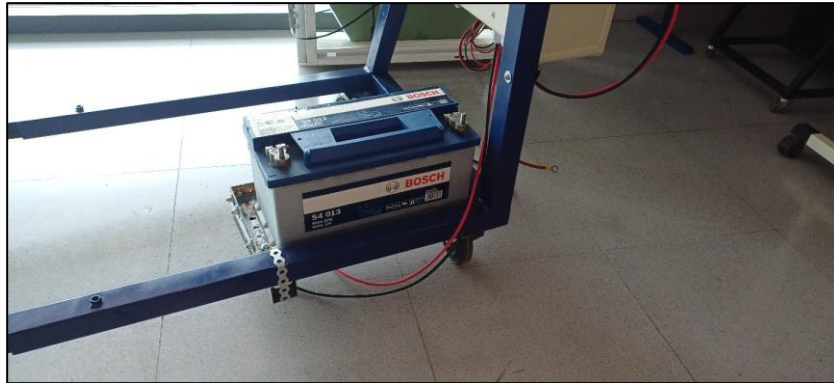
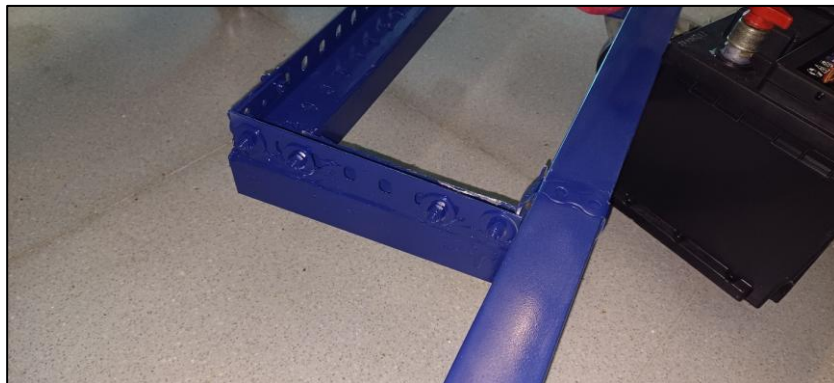


Figura 63. (a) Detalle de colocación de escuadra en la parte inferior, (b) Marco completamente fijado, (c) Prueba de peso con batería.

Por último, para terminar el soporte era necesario pintarlo por lo que con la misma pintura que se pintó la estructura se pintó incluyendo fijaciones, en la **Figura 64** se ilustran dos fotografías del proceso una vez terminado, en concreto en la Figura 64 (a) se muestra una fotografía de la vista lateral y en la Figura 64 (b) una fotografía de la vista general del soporte.

(a)



Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(b)



Figura 64. (a) Vista lateral, (b) Vista superior.

3.2.6 Conexiones y cuadro eléctrico

Para la preparación del cuadro eléctrico lo primero a realizar fue presentar los componentes en el tablero de la envolvente, en la **Figura 65** puede verse una fotografía de los componentes ya montados en el tablero de una envolvente metálica que finalmente se sustituyó, pero el orden de los componentes siguió siendo prácticamente el mismo, como se aprecia era necesario un tablero con dos carriles DIN para poder montar todos los componentes.

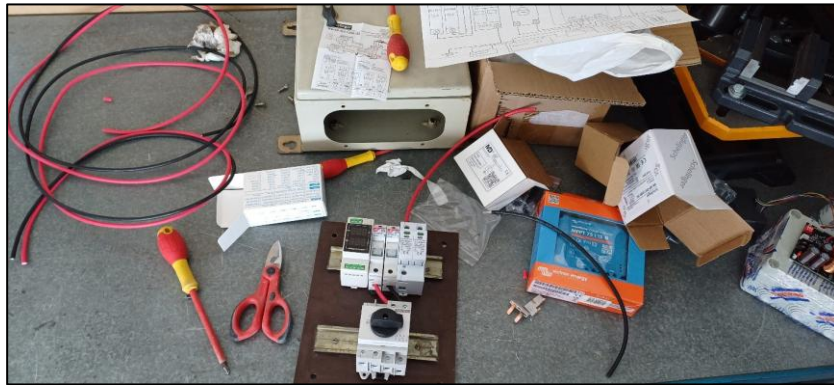


Figura 65. Lote de componentes.

Tras plantear el orden de los componentes se empezó con el montaje y el cableado, en concreto por los fusibles, estos debían de ser específicos para instalaciones fotovoltaicas (tanto fusibles como portafusibles) y en la **Figura 66** se ilustran varias fotografías, en la **Figura 66 (a)** se muestran los portafusibles y en las **Figura 66 (b)** se muestra en detalle uno de los fusibles, donde se puede observar en la nomenclatura que efectivamente son específicos para instalaciones fotovoltaicas (gPV).

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

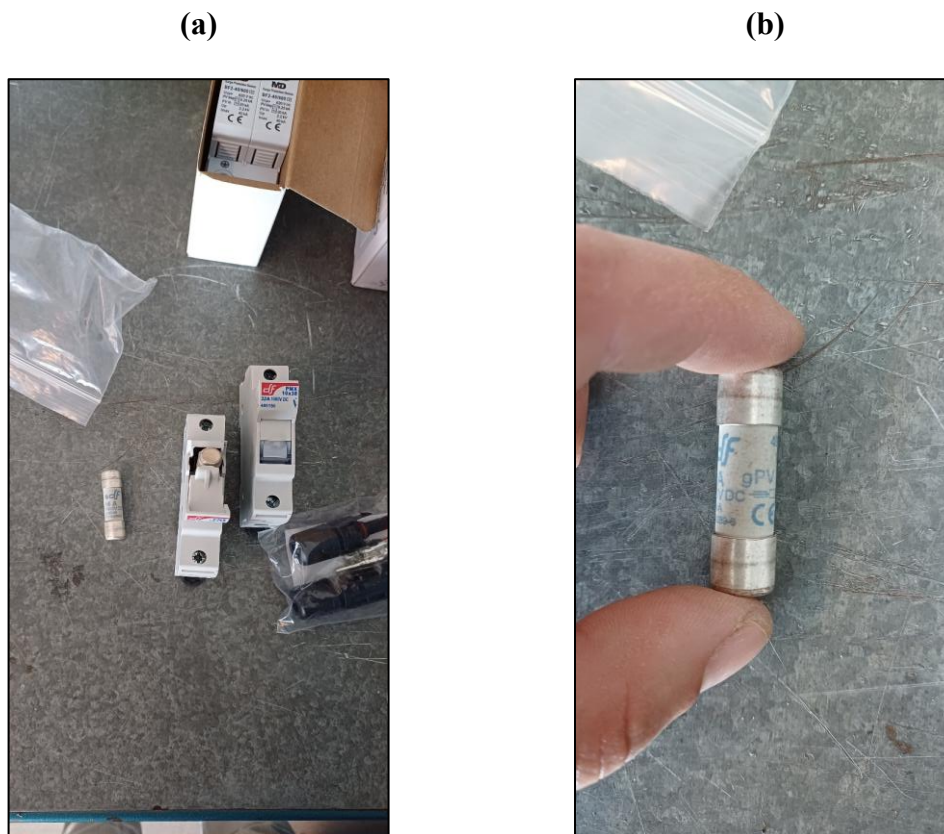


Figura 66. (a) Portafusibles, (b) Nomenclatura de fusible.

Siguiendo con el montaje de los componentes llegado el momento se hizo necesario cambiar el tablero y por tanto la envolvente, ya que físicamente no se podían instalar dentro todas las protecciones necesarias.

Una vez cambiado el tablero se instalaron en la primera fila, o carril DIN superior, el regulador de voltaje Victron, los portafusibles y el protector de sobretensiones.

En el carril DIN inferior se instalaron el seccionador de baterías, el voltímetro-amperímetro y el seccionador de los paneles fotovoltaicos.

El seccionador de baterías no dispone de soporte para carril DIN por lo que fue necesario adaptarlo al tablero, para ello se marcaron en el tablero los cuatro orificios que tiene el seccionador y se realizaron los taladros con una broca de 4 milímetros de diámetro, posteriormente se mecanizaron 4 tornillos para que tuviesen la longitud necesitada.

Durante el mecanizado, aparte de cortar los tornillos también fue necesario fresarles con la sierra de mano una muesca para poder utilizar un destornillador plano ya que originalmente eran tornillos hexagonales y una vez introducidos en el seccionador se hacía imposible apretarlos.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

En la **Figura 67** se ilustra una serie de fotografías del proceso, en concreto en la Figura 67 (a) se muestra una fotografía del tablero con todos los componentes montados, en la Figura 67 (b) se puede observar una fotografía de realización de los orificios para el seccionador en el tablero y en la Figura 67 (c) se aprecia una fotografía del proceso de mecanizado de los tornillos.

(a)



(b)



Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(c)



Figura 67. (a) Taladrado de tablero, (b) Tablero de componentes completo, (c) Tornillos fabricados para seccionador.

Después, antes de atornillar el tablero era necesario realizar unos orificios a la envolvente en la parte inferior para enroscar prensaestopas para los cables, a su vez para fijar la envolvente sobre el perfil se usaron varios carriles DIN para facilitar la unión envolvente-estructura así como tornillos de 5 milímetros de diámetro, en la **Figura 68** puede apreciarse el procedimiento, en concreto en la Figura 68 (a) se ilustra una fotografía de la realización de los orificios para la colocación de las prensa estopas y en la Figura 68 (b) se muestra una fotografía en detalle de uno de los carriles DIN usados para facilitar la unión envolvente-estructura.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

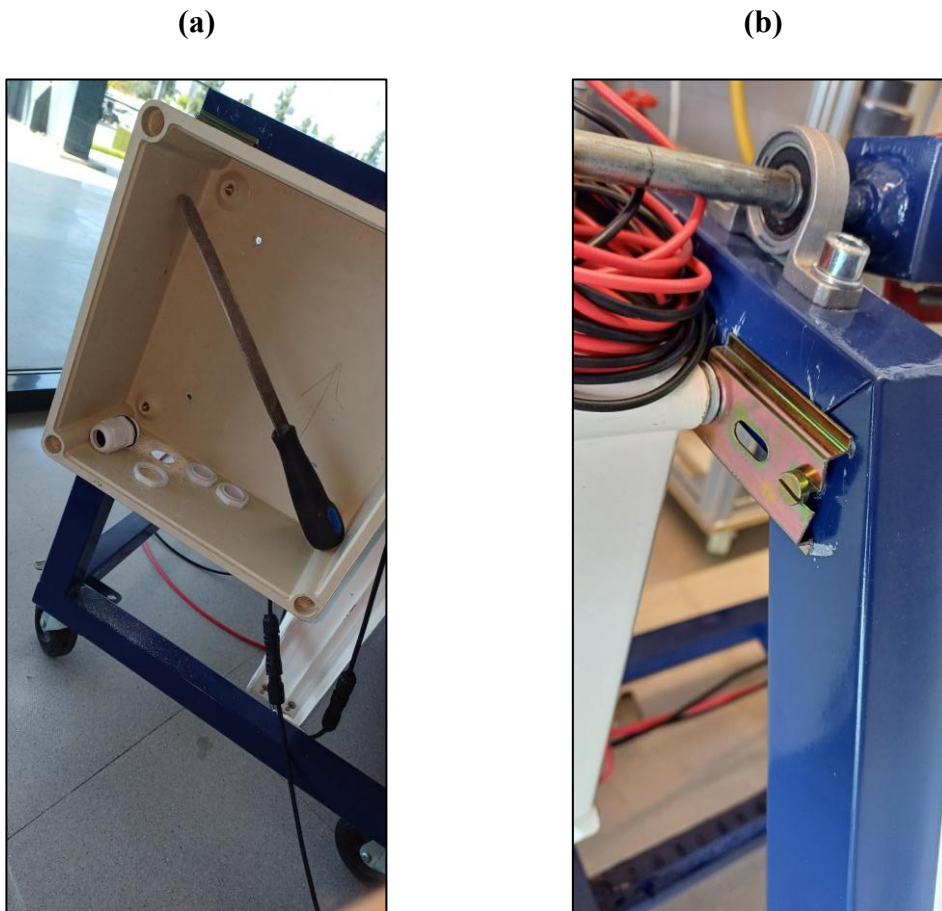


Figura 68. (a) Colocación de prensaestopas, (b) Fijación de carriles DIN.

Una vez fijada la envolvente a la estructura se fijó a su vez encima de esta una caja estanca de medidas exteriores 20x15 centímetros, dentro se introdujo la placa electrónica del regulador y en la tapa se recortó un rectángulo para poder embutir la pantalla del controlador.

También cabe destacar que el interruptor que traía originalmente la tapadera de la envolvente se usó para conectar y desconectar las lecturas del voltímetro-amperímetro digital, lecturas que corresponden a la generación de los paneles fotovoltaicos.

En la **Figura 69** puede apreciarse el montaje final del cuadro, en concreto en la Figura 69 (a) se ilustra una fotografía de la caja del regulador sobre la envolvente del cuadro eléctrico, y en la Figura 69 (b) se puede observar una fotografía del cuadro eléctrico completo y en funcionamiento.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

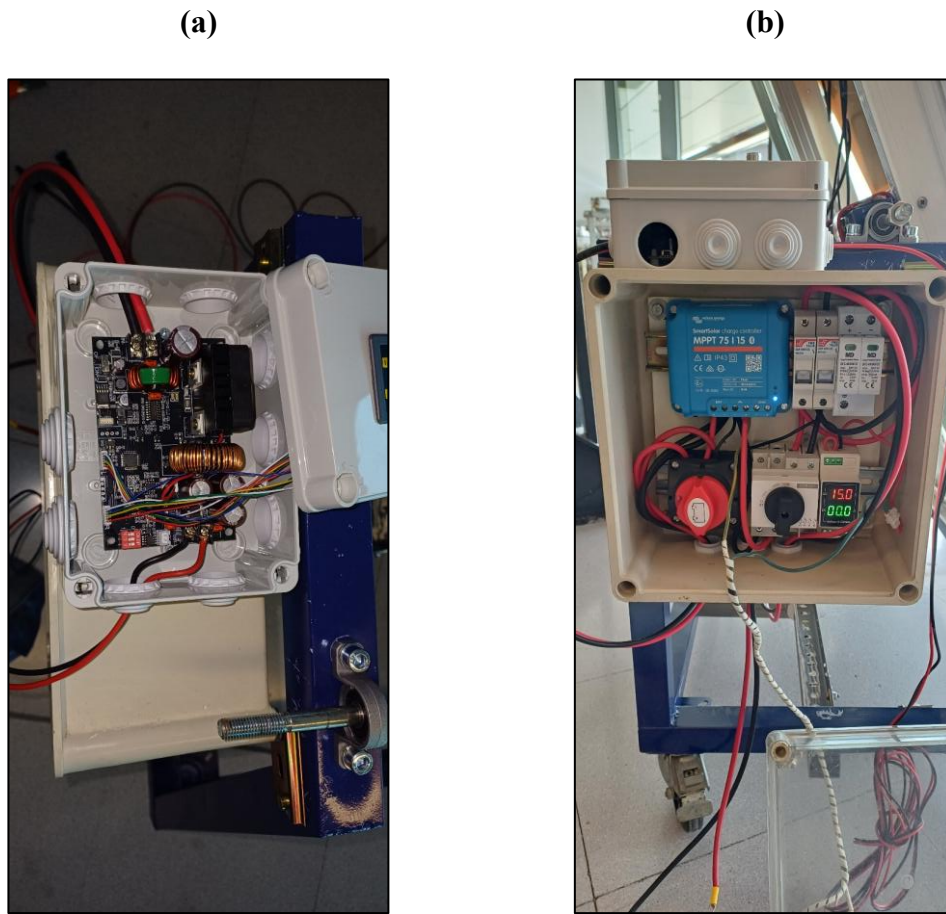


Figura 69. (a) Instalación del regulador electrónico, (b) Cuadro eléctrico terminado.

Para conectar los paneles fotovoltaicos al cuadro de protecciones fue necesario instalar conectores MC4 en los cables que salían del cuadro eléctrico, estos conectores son los instalados en los terminales de los cables de los paneles por normativa por lo cual para conectarlos era fundamental disponer de las clavijas. En la **Figura 70** se ilustra una fotografía donde se ve el montaje de los conectores en los cables de la instalación.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

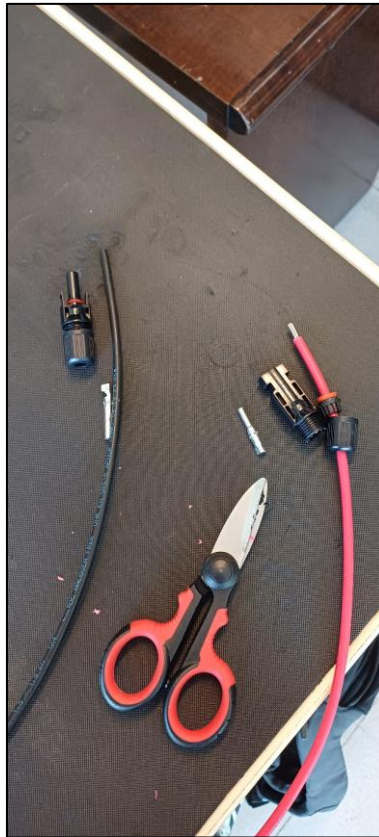


Figura 70. Preparación de conectores MC4.

3.3 Diseño y construcción del Electrolizador

3.3.1 Descripción de un electrolizador alcalino

Un electrolizador es un dispositivo basado en la electrólisis, este proceso consiste en separar los elementos que componen el agua, es decir el hidrógeno y el oxígeno.

Para ello, es necesario usar dos electrodos, en concreto uno positivo (cátodo) y uno negativo (ánodo) y aplicar electricidad, corriente continua a bajo voltaje, dentro de un electrolito líquido, en este caso un electrolito alcalino.

El electrolito tiene el objetivo de facilitar la conductividad eléctrica, en el caso de los alcalinos los más comunes son el hidróxido de sodio (NaOH), cloruro sódico (NaCl) e hidróxido de potasio (KOH).

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Una vez aplicada la corriente en los electrodos empieza la reacción química, en el electrolito, en los alrededores del cátodo se producen el hidrógeno gaseoso (H_2) e iones de hidróxido (OH^-), estos iones viajan por el electrolito hasta el ánodo, donde se forma el oxígeno gaseoso (O_2) y ceden electrones para producir agua.

En la Figura se ilustra un esquema de un electrolizador alcalino básico.

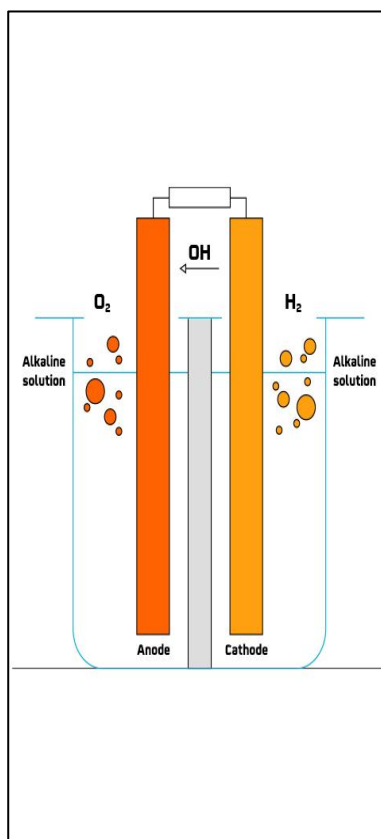


Figura 71. Electrolizador alcalino, Repsol - Descomponer para reducir las emisiones de CO_2 .

3.3.2 Construcción de electrolizador

Para la construcción de un primer electrolizador se usó un bote de plástico vacío de aceitunas, de aproximadamente un litro y medio de volumen, varillas roscadas de acero de 6 milímetros de diámetro, tuercas y arandelas.

Se decidió usar un único cátodo y ánodo por lo que solo se necesitaron cortar dos varillas roscadas, a la tapadera del bote se le realizaron los orificios con una broca del mismo diámetro que la varilla y también se hizo un tercer orificio de más diámetro por seguridad, para evacuar el hidrógeno generado, evitando que se acumule, posteriormente se llenó el envase con agua de la red.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Tras el primer montaje se decidió realizar un segundo electrolizador, esta vez con un envase diferente, se trata de un bote también de plástico, pero no cilíndrico, más bien con forma esférica, con dos caras planas para facilitar la visión del proceso de generación de hidrógeno.

Para este electrolizador se decidió que tanto el ánodo como el cátodo estarían formados por 4 varillas roscadas de acero cada uno, para ello el procedimiento fue sencillo, se cortaron 8 varillas roscadas de 6 milímetros de diámetro, todas a la misma longitud y se fijaron entre si con placas de ensamblaje, esta unión requería 4 tuercas por varilla para un correcto montaje.

Posteriormente se realizaron los 8 orificios en la tapadera del envase con una broca del mismo diámetro que la varilla roscada, es decir, de 6 milímetros.

Para evitar un posible contacto posterior dentro del envase entre el ánodo y el cátodo, se recortó una pletina de metacrilato, y se taladró con una broca de 6 milímetros para posteriormente fijarla entre ánodo y cátodo.

En la **Figura 72** se muestran varias fotografías del proceso, en la Figura 72 (a) se ilustra una fotografía del proceso de corte y ensamblaje de las varillas y en la Figura 72 (b) puede observarse una fotografía del electrolizador terminado.

(a)



Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(b)



Figura 72. (a) Proceso de ensamblaje, (b) Electrolizador terminado.

3.3.3 Alternativas futuras

Dentro de las alternativas futuras podría incluirse la construcción de otros tipos de electrolizadores alcalinos, utilizar envases con formas más sencillas que permitan calcular volúmenes con más facilidad, así como electrodos de otros materiales que no sean acero. También se podría incluir en este apartado la utilización de otros electrolitos como es el caso del hidróxido de potasio.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 Instalación finalizada y demostración de funcionamiento

Una vez terminado todo el proceso de diseño, construcción y montaje de la máquina, era el turno de probar su correcto funcionamiento, tras verificar el correcto funcionamiento del regulador y la carga de la batería, se procedió a realizar varias fotografías desde diferentes ángulos y diferentes posiciones de la máquina, por ejemplo en la **Figura 73** se ilustra una serie de fotografías, en concreto en la Figura 73 (a) se puede ver una fotografía de la máquina desde la frontal, con el marco en la posición abierto, es decir, con un ángulo de inclinación fijo en los paneles de aproximadamente 26° de apertura con respecto a la vertical, en la Figura 73 (b) se ilustra una fotografía con los paneles totalmente en vertical, es decir a 0° con respecto a la vertical, y en la Figura 73 (c) se aprecia un ángulo de apertura cercano a 90° .

(a)



(b)



Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

(c)



Figura 73. (a) Apertura de 26°, (b) 0° de apertura, (c) Casi 90° de apertura.

El desmontaje los marcos y cierre de la estructura puede verse en la **Figura 74**, en concreto en la Figura 74 (a) se puede observar una fotografía con el marco de aluminio plegado y la estructura aún abierta y en la Figura 74 (b) se puede ver una fotografía con los marcos de aluminio plegados, desmontados del eje y la estructura cerrada.

(a)



(b)



Figura 74. (a) Sistema plegado, pero no desmontado, (b) Sistema desmontado y plegado.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

También se puede apreciar en la **Figura 75** una vista lateral de la máquina con los paneles abiertos en la Figura 75 (a) así como una vista frontal de la parte eléctrica completa en la Figura 75 (b).

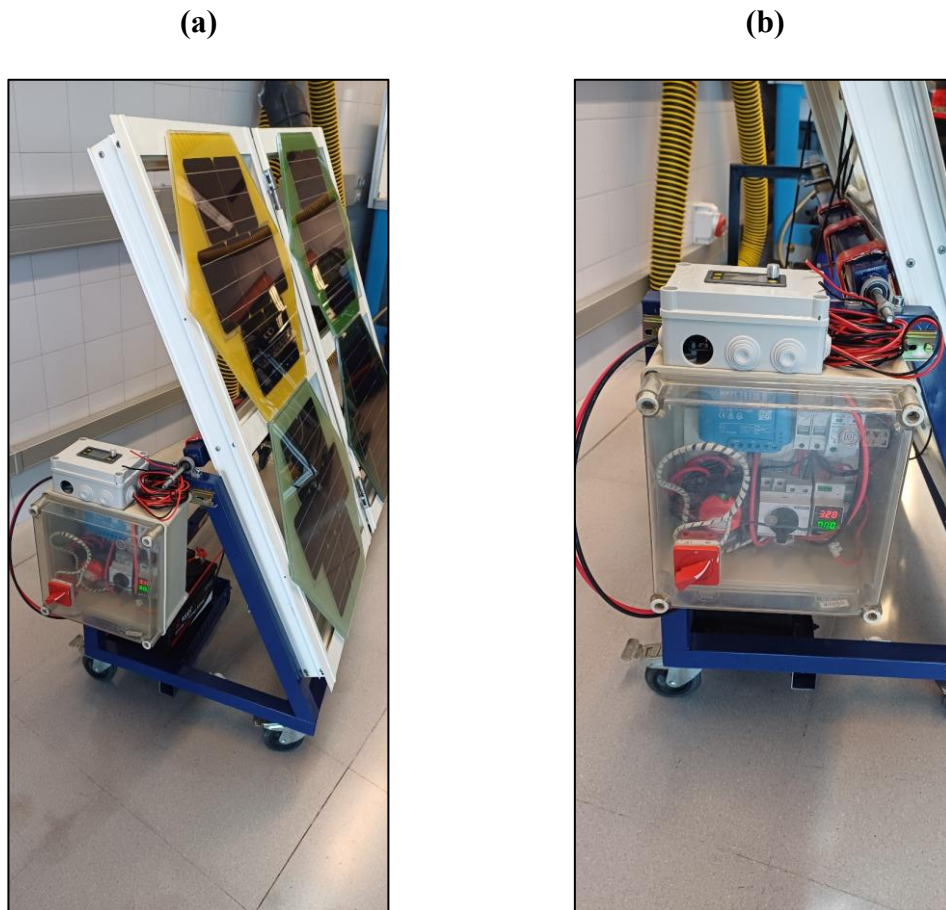


Figura 75. (a) Vista lateral, (b) Parte eléctrica.

Por último y para terminar con las fotografías de la máquina se ilustran en la **Figura 76** una serie de fotografías de la parte posterior, en concreto en la Figura 76 (a) una vista general trasera de la máquina donde se aprecian todas las conexiones y herrajes y en la Figura 76 (b) una fotografía en detalle del cableado y la conexión entre dos paneles.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

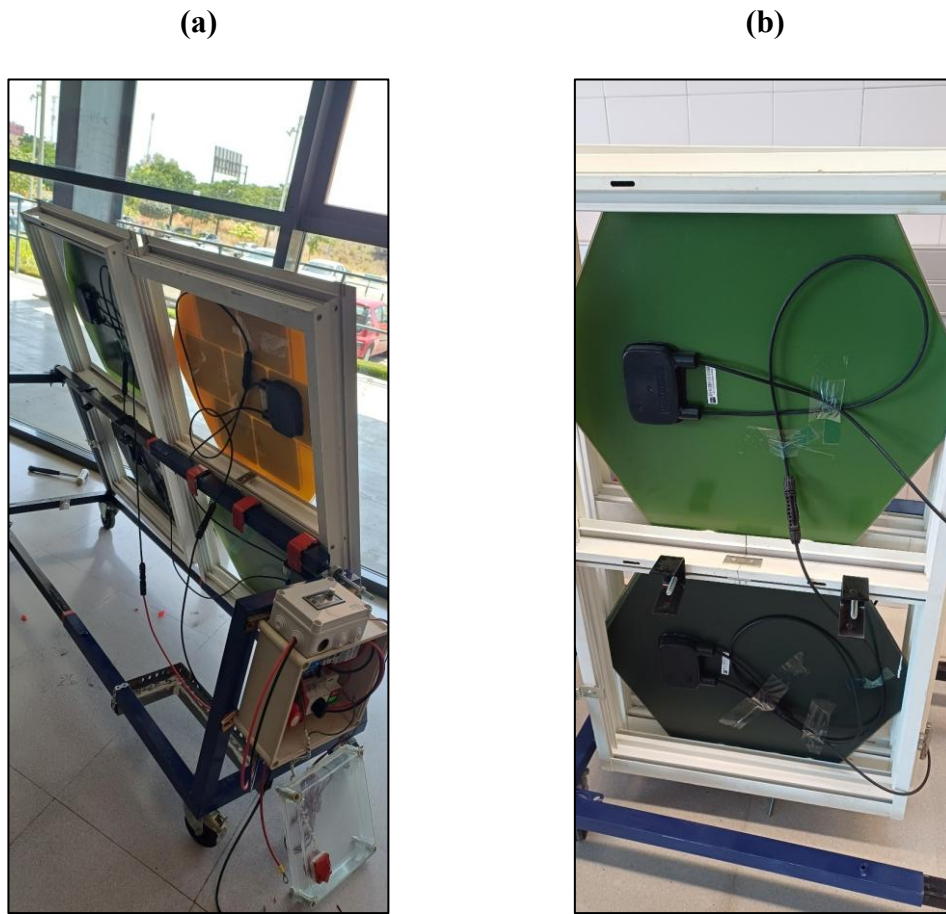


Figura 76. (a) Vista trasera, (b) Conexión de dos paneles.

Para justificar el correcto funcionamiento y realizado el montaje del electrolizador se procedió con las primeras pruebas, para ello se utilizó una fuente de alimentación regulable configurada para corriente continua. Tras conectar los dos terminales y encender la fuente, se pudo observar a través del recipiente de forma tenue la generación de hidrógeno en el cátodo, y una vez que se aumentaba la tensión se podía observar también una aceleración y por tanto un aumento en la generación.

En la **Figura 77** se pueden apreciar fotografías de este primer experimento, en concreto en la Figura 77 (a) se ilustra una fotografía del electrolizador ya conectado y generando hidrógeno, y en la Figura 77 (b) se muestra una fotografía en detalle de la generación de hidrógeno en el cátodo.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

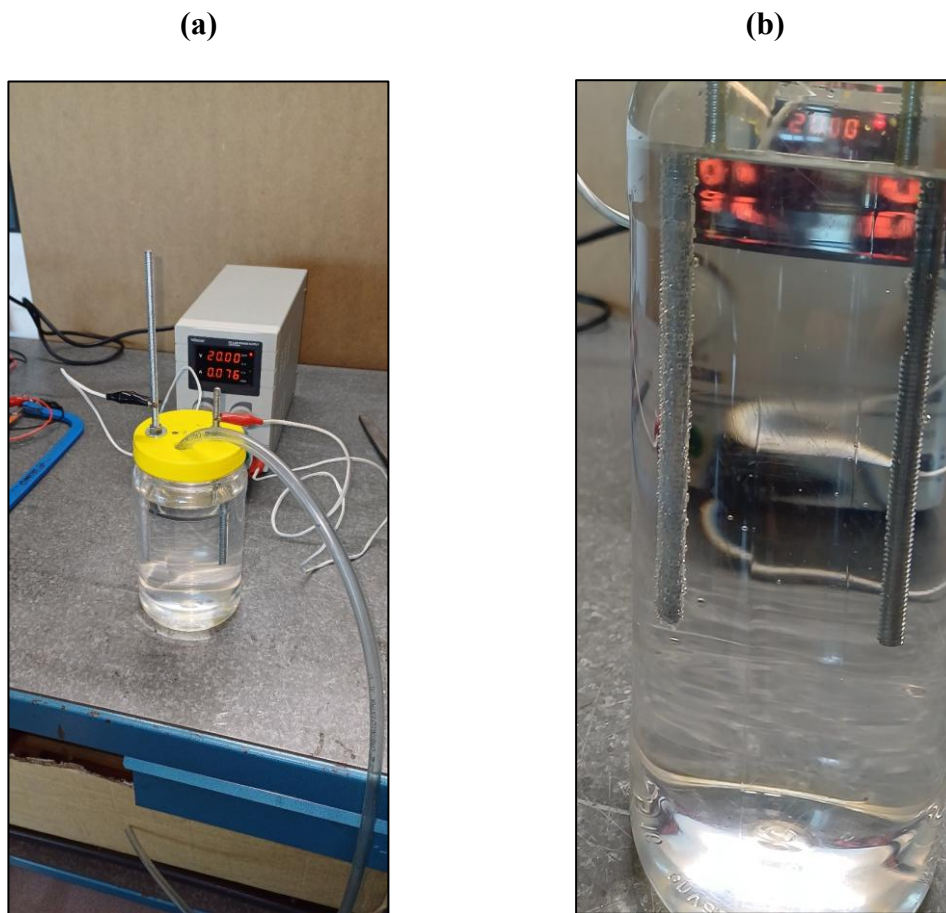


Figura 77. (a) Primer electrolizador, (b) Detalle de la generación.

Seguidamente se procedió a probar el electrolizador con una batería de moto de 12 voltios y regulador de intensidad adquirido para la instalación, al agua de la red se añadió un poco de cloruro sódico (NaCl) o sal común como electrolito y posteriormente se conectó.

Primero de todo se configuró el regulador para suministrar un voltaje bajo al electrolizador, seguidamente el objetivo fue observar el funcionamiento, se pudo comprobar que se generaba hidrógeno en el recipiente.

Para comprobar la precisión del regulador de intensidad se decidió conectar un voltímetro y una pinza amperimétrica a la instalación, la pantalla entrega las medidas tanto de voltaje de amperaje con una precisión de una milésima y tras comprobarlo se pudo observar que el error en la medida del voltaje es prácticamente inexistente, con respecto al amperaje se observó que el error es de una centésima, por lo cual es una medida más que aceptable.

En la **Figura 78** se ilustra una fotografía del montaje improvisado, donde se puede ver la similitud de las medidas del regulador con la pinza amperimétrica.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador



Figura 78. Montaje improvisado.

Obsérvese también los residuos que genera la electrólisis en el agua al cabo de un tiempo, esto se debe a las impurezas que contiene el agua de la red.

Con el segundo electrolizador las pruebas que se realizaron fueron diferentes, en primer lugar, no se utilizó agua de la red sino agua destilada, y como electrolito no se usó cloruro sódico (NaCl) sino hidróxido de sodio (NaOH).

Tras preparar el electrolizador y conectarlo al regulador de intensidad se pudo apreciar con mucha más facilidad la producción de hidrógeno ya que la forma del envase con las caras planas facilitaba la visión, en cambio en el bote cilíndrico la pared distorsiona la vista.

A su vez también se comprobó que este electrolizador producía más hidrógeno, tanto por la cantidad de varillas en el cátodo como por el electrolito, el hidróxido de sodio (NaOH), en cual facilita el proceso más que el cloruro sódico (NaCl).

En la **Figura 79** se ilustran varias fotografías, en concreto en la Figura 79 (a) se muestra una fotografía del proceso de llenado del recipiente con agua destilada y en la Figura 79 (b) se puede observar en detalle una fotografía de la producción de hidrógeno.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

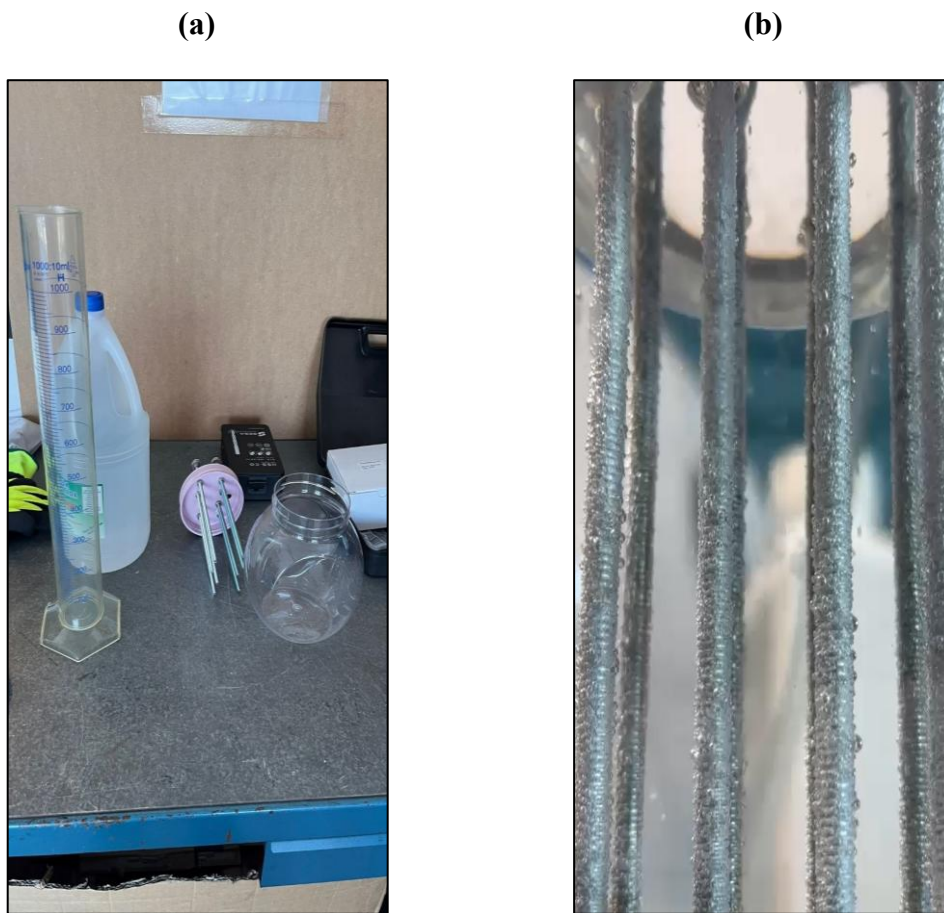


Figura 79. (a) Llenado del electrolizador, (b) Proceso de producción de hidrógeno.

4.2 Curva de polarización del electrolizador

Tras realizar la prueba del segundo electrolizador fabricado usando hidróxido de sodio (NaOH) y agua destilada como electrolito, se procedió a realizar una curva de polarización tomando una serie de medidas.

En la siguiente **Figura 80** se ilustra la gráfica obtenida con los valores de voltaje e intensidad para una cantidad de hidróxido de sodio (NaOH) de 6 gramos.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

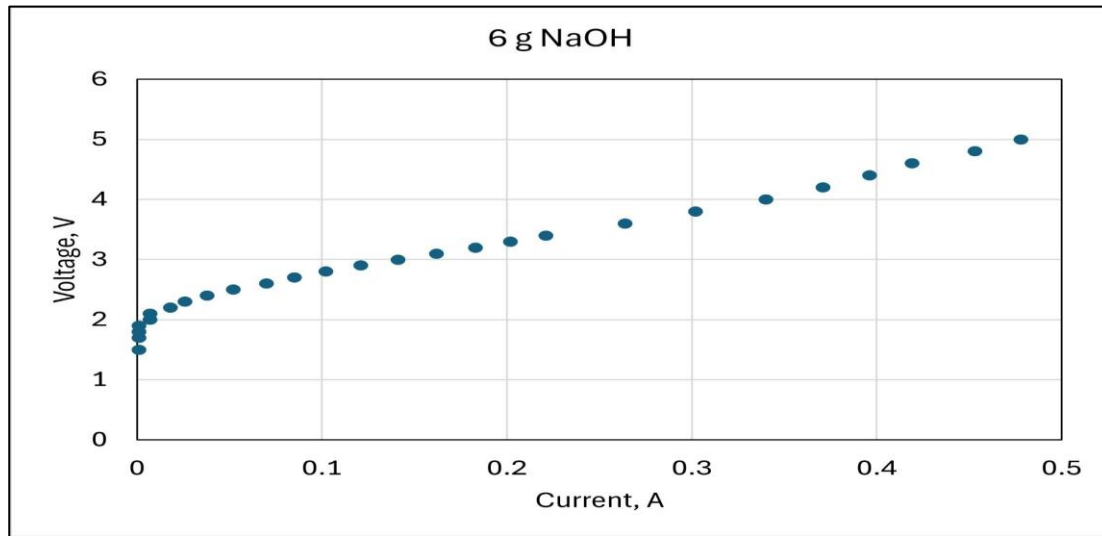


Figura 80. Gráfica de curva de polarización.

Como se puede apreciar, la curva sigue una línea de tendencia ascendente, similar a la gráfica de un logaritmo y sin datos no agrupados, es decir que no hay errores en la medición, las medidas si contendrán un error lógico del aparato de medida, pero la gráfica se asemeja a la que se podría haber obtenido con un electrolizador profesional.

5. CONCLUSIONES

En este TFG se ha llevado a cabo el diseño y construcción de un dispositivo experimental con fines docentes que combina energía renovable a través de captadores solares fotovoltaicos, con acumulación utilizando baterías y producción de hidrógeno en un electrolizador de bajo coste.

Se ha trabajado en la medida de lo posible con materiales de segunda vida (reciclados) con el fin de reducir el coste de la instalación. Además, se ha tenido en cuenta la finalidad educativa de la instalación durante el diseño y construcción de esta. Las principales conclusiones obtenidas son las siguientes:

1. Se ha llevado a cabo con éxito la construcción de la instalación. Se comprueba que el sistema fotovoltaico permite cargar la batería y que la instalación eléctrica y electrónica permite regular la tensión e intensidad que se suministra al electrolizador.

De este modo se puede estudiar la variación de la generación de hidrógeno y oxígeno variando la carga aplicada.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

2. Problemas de durabilidad (electrolizadores).

Uno de los inconvenientes que se encuentran al manejar electrolizadores alcalinos de bajo coste es la duración de los electrodos, al ser de acero se deterioran con relativa facilidad al someterse a la electrolisis, podrían usarse electrodos de acero inoxidable, por ejemplo, tampoco ofrecen la durabilidad de un electrodo de platino, los cuales son extremadamente caros, pero por incrementar un poco el coste se tendrían electrodos mucho más duraderos.

Es por ello que para mantener un electrolizador de bajo coste es necesario obtener o fabricar recambios de electrodos con cierta regularidad.

Otro de los inconvenientes es la producción descontrolada de hidrógeno, por medidas de seguridad sería necesario acoplar a la instalación un sistema de almacenamiento seguro o en su defecto de evacuación controlada de gases.

3. Problemas de diseño (captadores).

Uno de los problemas de diseño que se encontraron durante la construcción y diseño de la instalación es tanto el peso como la potencia pico por metros cuadrados, estos tienen un peso de aproximadamente 8 kilogramos y tienen una potencia de 31 vatios pico, los paneles fotovoltaicos estándar de 400 vatios pico tienen un peso de unos 20-25 kilogramos, es decir que por el triple de peso de un panel se tendría casi 7 veces la potencia pico que generan.

A su vez, el rendimiento no es del todo óptimo, tienen una potencia pico de 74,4 vatios pico y un panel estándar de 400 vatios ronda entre 150-200 vatios pico por metro cuadrado, es decir casi el triple.

La solución por tanto sería utilizar otro tipo de paneles en las próximas mejoras o posteriores diseños, con un solo panel podría cubrirse la demanda con creces.

4. Problemas de diseño (estructura).

Otro de los problemas de diseño encontrados en la construcción fue el mecanismo retráctil de la estructura, al soldar los perfiles a mano es muy difícil obtener ángulos de 90 grados perfectos en las escuadras, aunque a vista estén bien soldados la realidad es que el error existe, se puede disminuir el error, pero no eliminarlo. Sin peso en la estructura, solo con el peso de esta, la estructura permite la apertura y el cierre, sin dificultad, pero con un roce entre los perfiles leve y lógico.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

Una vez que se le aplica peso a la estructura, es decir, se monta el marco, los paneles, el cuadro eléctrico y todos los demás componentes, el roce se incrementa, el peso de la gravedad dificulta la apertura y hace que la estructura se vuelva rígida.

Para ello la solución más fácil no es otra que reducir el peso en los próximos diseños o mejoras, utilizando paneles fotovoltaicos de menor peso, perfiles de aluminio para la estructura o simplemente realizar una estructura fija.

Otra posible solución es instalar a los perfiles de la parte retráctil de la estructura un sistema de rodillos con los que facilitar el deslizamiento de un perfil sobre otro y reducir así el rozamiento, en la **Figura 81** se muestran una serie de fotografías de ejemplos de rodillos, en concreto en la Figura 81 (a) se ilustra un modelo de rodillo lineal el cual se podría acoplar al perfil exterior con un eje soldado, en la Figura 81 (b) en cambio se muestra una fotografía de otro sistema de rodillos, esta vez más invasivo ya que requeriría un fresado de los perfiles exteriores de la estructura para acoplar el mecanismo.

(a)



(b)

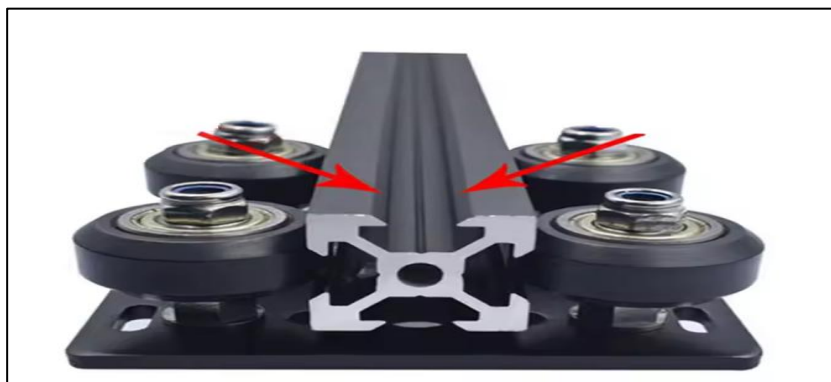


Figura 81. (a) Rodillos lineales, (b) Sistema de rodillos exteriores.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

En el futuro se pretende continuar con el desarrollo y mejora de la instalación. Para ello se planteará la creación de un sistema de monitorización que permita recoger información de los parámetros más importantes en la operación del sistema (tensiones, intensidades de corriente, producción de hidrógeno, temperatura de electrolito en el electrolizador, nivel de carga de la batería...), esto abre un enorme abanico de posibilidades, no solo de cara a la investigación, sino también de cara a los fines didácticos y educativos con los que se empezó a dar forma a este proyecto.

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

PRESUPUESTO

En la siguiente tabla se presenta el presupuesto de la instalación, costes si se comprase todo nuevo contra el coste real en este trabajo.

Presupuesto total de materiales

Fotografía	Descripción	Unidades	Precio Unitario	Coste Teórico	Coste Real	Ref.
	Portafusibles 10X38 1000VDC 1P	2	€3.15	€6.30	€6.30	[1]
	Fusible 10X38 1000VDC 1P	2	€2.10	€4.20	€4.20	[2]
	Protector sobretensiones transitorias 40KA 600V DC	1	€32.15	€32.15	€32.15	[3]
	Seccionador aislador solar 1200V 32A	1	€24.95	€24.95	€24.95	[4]
	Desconectador baterías 12-50VDC, máximo 200A	1	€17.50	€17.50	€17.50	[5]
	Conectores MC4 IP67 panel solar macho-hembra	1	€2.90	€2.90	€2.90	[6]
	Hilo solar H1Z2Z2-K 4mm2 rojo	3	€0.99	€2.97	€2.97	[7]
	Hilo solar H1Z2Z2-K 4mm2 negro	3	€0.99	€2.97	€2.97	[8]
	Envolvente de superficie para cuadro eléctrico	1	€16.45	€16.45	€0.00	[9]

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

	Rueda giratoria de goma 100mm	2	€12.20	€24.40	€0.00	[10]
	Rueda de goma fija 100mm	2	€7.27	€14.54	€0.00	[11]
	Regulador de carga 12-24V SmartSolar MPPT 75/15 Victron	1	€69.00	€69.00	€69.00	[12]
	Rodamiento con soporte, eje M10	2	€2.37	€4.74	€0.00	[13]
	Regla telescópica de acero de 3,35m	4	€26.00	€104.00	€0.00	[14]
	Rollo de lija de tela de grano 60	1	€9.00	€9.00	€9.00	[15]
	Rollo de lija de tela de grano 120	1	€9.00	€9.00	€9.00	[16]
	Rollo de lija de tela de grano 180	1	€9.00	€9.00	€9.00	[17]
	Pletina hierro 20x4mm 3metros	1	€5.10	€5.10	€0.00	[18]
	Varilla roscada acero cincado 10mm, 1M	1	€1.57	€1.57	€0.00	[19]
	Varilla roscada acero cincado 6mm, 1M	1	€0.61	€0.61	€0.00	[20]
	Tuerca hexagonal cincada M10	6	€0.05	€0.30	€0.00	[21]
	Tuerca hexagonal cincada M6	24	€0.01	€0.24	€0.00	[22]
	Arandelas planas M10	6	€0.02	€0.12	€0.00	[23]
	Tornillos rosca chapa 4,8x19mm	26	€0.03	€0.78	€0.00	[24]
	Bisagra pernio soldable 20x120mm	2	€1.19	€2.38	€0.00	[25]






Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

	Placas ensamble 80mm	2	€0.61	€1.22	€0.00	[26]
	remache cabeza ancha 4x16mm	12	€0.09	€1.08	€0.00	[27]
	Tornillo métrico cincado 8x60mm	4	€0.19	€0.76	€0.00	[28]
	Tornillo métrico cincado 8x25mm	10	€0.09	€0.90	€0.00	[29]
	Tornillo métrico cincado 5x50mm	4	€0.08	€0.32	€0.00	[30]
	Tornillo métrico cincado 4x50mm	4	€0.07	€0.28	€0.00	[31]
	Tuerca hexagonal cincada M8	14	€0.02	€0.28	€0.00	[32]
	Tuerca hexagonal cincada M5	4	€0.01	€0.04	€0.00	[33]
	Tuerca hexagonal cincada autoblocante M8	8	€0.03	€0.24	€0.00	[34]
	Arandela plana M5	4	€0.01	€0.04	€0.00	[35]
	Arandela plana M8	14	€0.01	€0.14	€0.00	[36]
	Arandela plana M4	4	€0.01	€0.04	€0.00	[37]
	Arandela grower M8	8	€0.02	€0.16	€0.00	[38]
	Tope de puerta adhesivo blanco	2	€1.63	€3.26	€3.26	[39]
	Pestillo de puerta	2	€1.14	€2.28	€2.28	[40]

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

	Cinta perforada galvanizada 17x0.8	1	€0.40	€0.40	€0.00	[41]
	Tornillo hexagonal rosca parcial 5cm M10	1	€0.19	€0.19	€0.00	[42]
	Tornillo hexagonal rosca parcial 12cm M10	1	€0.59	€0.59	€0.00	[43]
	Perfil de estantería metálica de 200x 3,5cm	1	€5.69	€5.69	€0.00	[44]
	Prensa estopa M16 IP68	3	€0.90	€2.70	€0.00	[45]
	Caja de registro estanca de 153x110x65	1	€3.15	€3.15	€0.00	[46]
	Carril DIN de acero de 2m	1	€5.71	€5.71	€0.00	[47]
	Escuadra de ángulo de 35mm	2	€0.35	€0.70	€0.00	[48]
	Escuadra de ángulo de 60mm	3	€0.57	€1.71	€0.00	[49]
	Marco de ventana de aluminio de 100x115cm	2	€60.00	€120.00	€0.00	
	Espray pintura metalizada Azul Oscuro R-5026 400ml	1	€12.99	€12.99	€12.99	[50]
	Espray pintura metalizada Negro 400ml	1	€12.99	€12.99	€12.99	[51]
	Espray imprimación antióxido metal	1	€9.49	€9.49	€9.49	[52]
	Espray pintura blanco mate	1	€3.88	€3.88	€3.88	[53]

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

	Esmalte antioxidante rojo para metales	1	€16.50	€16.50	€0.00	[54]
	Cableado conexión batería	1	€26.95	€26.95	€0.00	[55]
	Amperímetro-Voltímetro DC 60V, 20A	1	€17.13	€17.13	€17.13	[56]
	Regulador de voltaje de alta eficiencia XY6020L CC a CC, convertidor Buck de 6-70V a 0-60V	1	€18.83	€18.83	€18.83	[57]
	Batería de coche	1	€112.00	€112.00	€0.00	[58]

BASE IMPONIBLE:	€748.05	€270.79
IVA (Tipo %):	21%	21%
TOTAL:	€748.05	€270.79

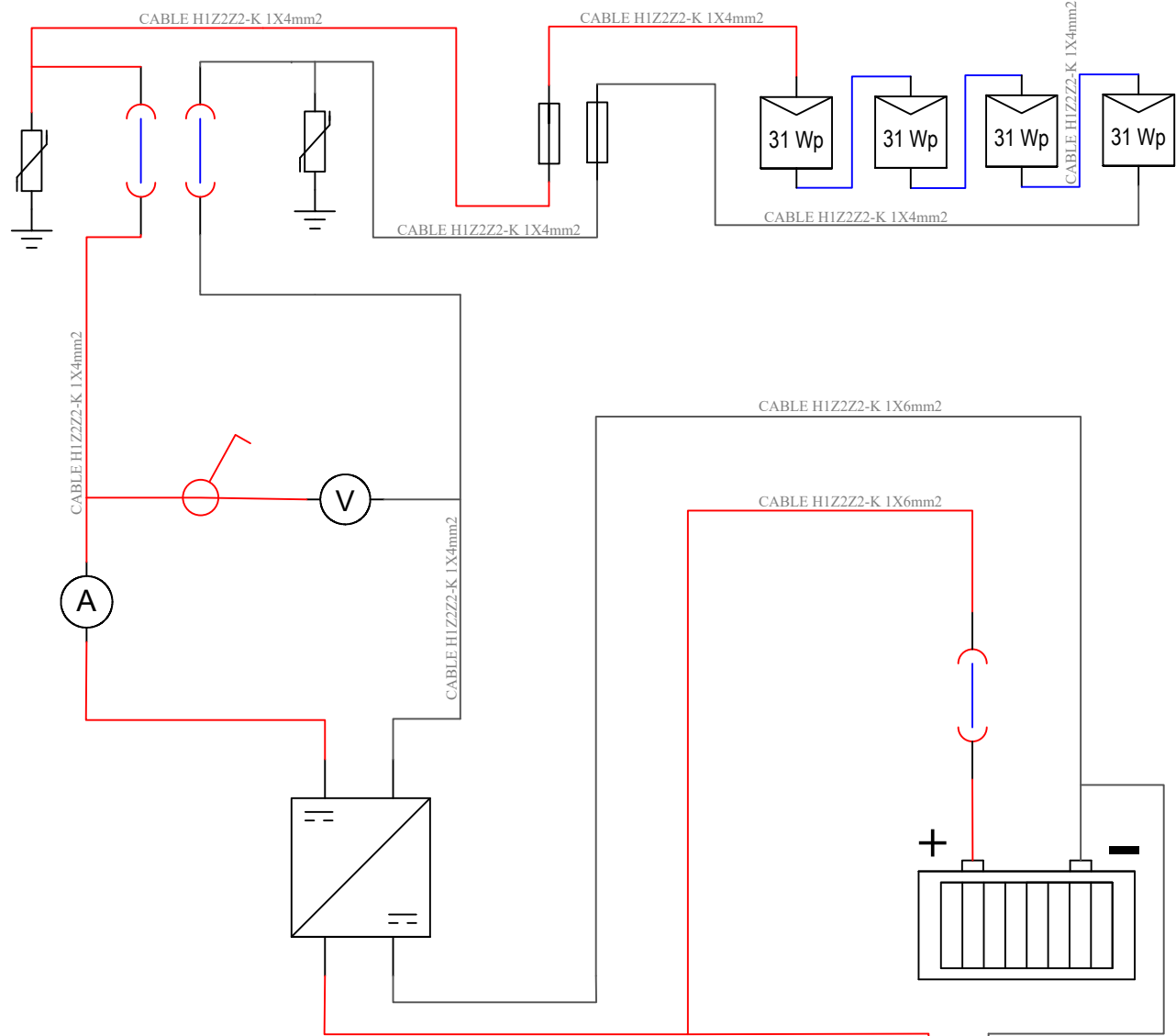
Tabla 2. Desglose del presupuesto de la instalación.

Como puede apreciarse en la **Tabla 2**, el coste de realizar la instalación si se compran todos los materiales nuevos es aproximadamente un 176% mayor que si se usan la mayoría de los materiales reciclados, es decir, el coste es casi el triple.

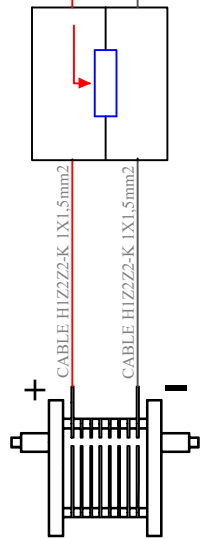
Es por ello la importancia del reciclaje, hoy en día se tiran y desechan muchos materiales que con otro uso pueden seguir siendo útiles muchos años más, con ello se ayuda a lograr los objetivos marcados a medio-largo plazo en lo que respecta a sostenibilidad y cuidado del medio ambiente.

**Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste
integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador**

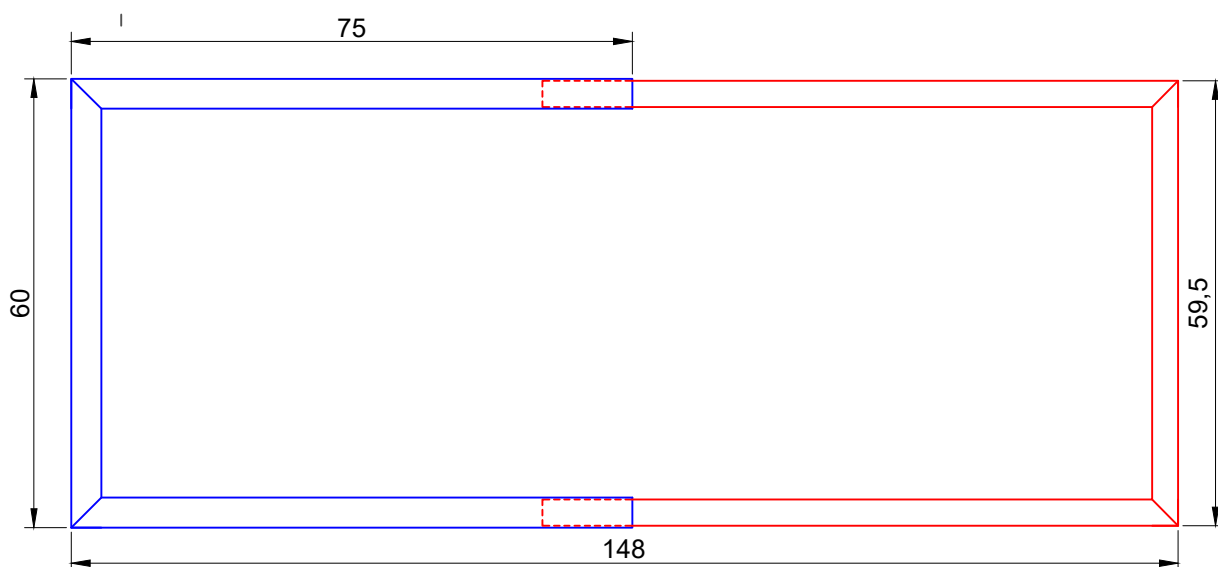
PLANOS



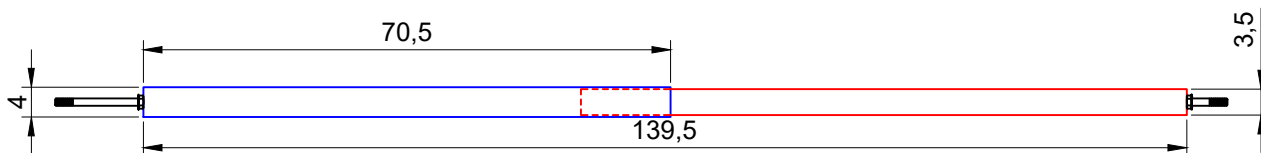
SIMBOLOGÍA	
	FUSIBLE
	REGULADOR SOLAR
	BATERÍA
	ELECTROLIZADOR
	REGULADOR DE INTENSIDAD
	PROTECTOR DE SOBRETENSIONES
	SECCIONADOR UNIPOLAR
	SECCIONADOR BIPOLAR
	MÓDULO FOTOVOLTAICO
	INTERRUPTOR
	VOLTÍMETRO
	AMPERÍMETRO



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA	
INFORME TÉCNICO:	
TRABAJO FIN DE GRADO	
PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	LOCALIZACIÓN: C/ Dr. Ortiz Ramos s/n. Campus de Teatinos.
PLANO Nº: 1	DIAGRAMA UNIFILAR DE LA INSTALACIÓN
ALUMNO: JUAN RUIZ BARROS	Firmado:
TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA	FECHA: JUNIO/2025

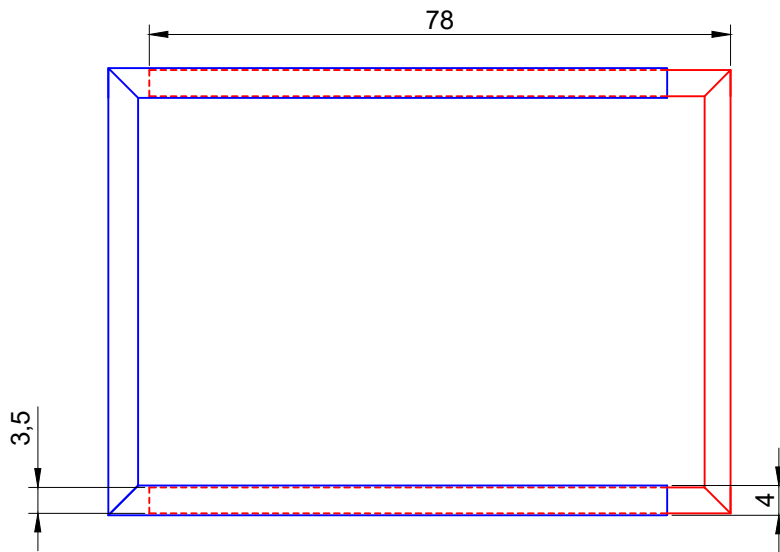


BASE INFERIOR ABIERTA

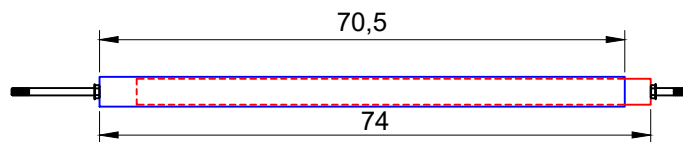


EJE ABIERTO

		UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		
		INFORME TÉCNICO:		
		TRABAJO FIN DE GRADO		
PROMOTOR:		LOCALIZACIÓN:		
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		C/ Dr. Ortiz Ramos s/n. Campus de Teatinos.		
PLANO Nº:	ESTRUCTURA			
2				
ALUMNO:	ESCALA:	COTAS EN:	FIRMADO:	
JUAN RUIZ BARROS	1:10	cm		
TITULACIÓN:	FECHA:			
GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA	JUNIO/2025			

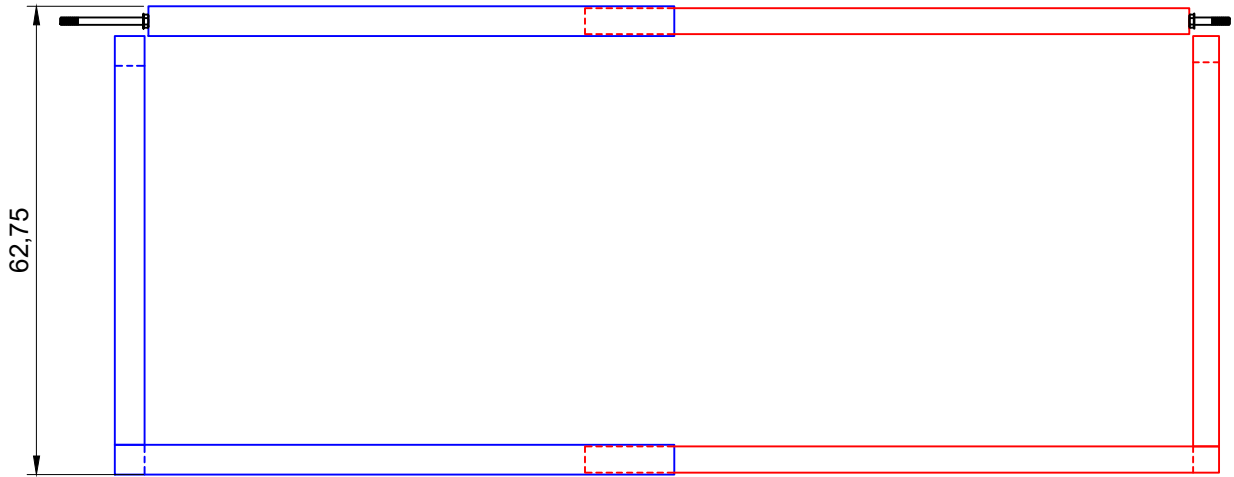


BASE INFERIOR CERRADA

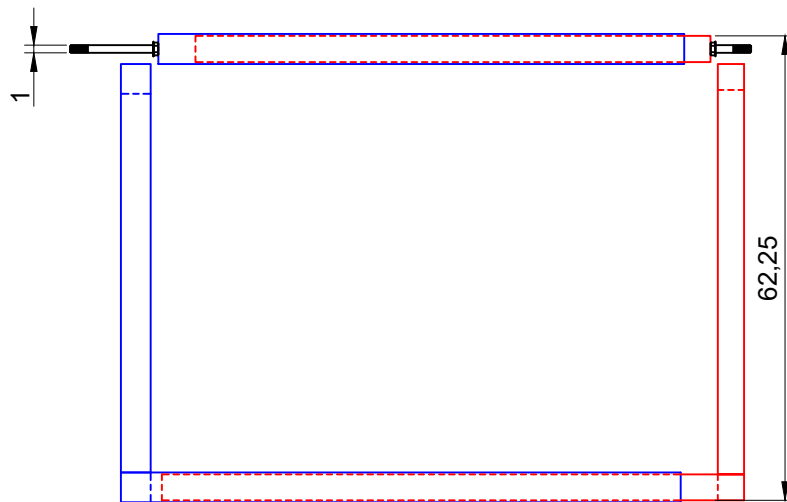


EJE CERRADO

		UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		
		INFORME TÉCNICO:		
		TRABAJO FIN DE GRADO		
PROMOTOR:		LOCALIZACIÓN:		
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		C/ Dr. Ortiz Ramos s/n. Campus de Teatinos.		
PLANO N°:	ESTRUCTURA			
3				
ALUMNO:	ESCALA:	COTAS EN:	FIRMADO:	
JUAN RUIZ BARROS	1:10	cm		
TITULACIÓN:	FECHA:			
GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA	JUNIO/2025			

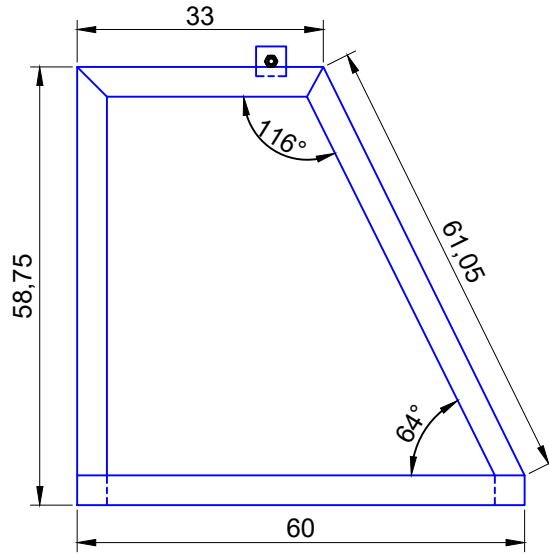


VISTA FRONTAL BASE ABIERTA

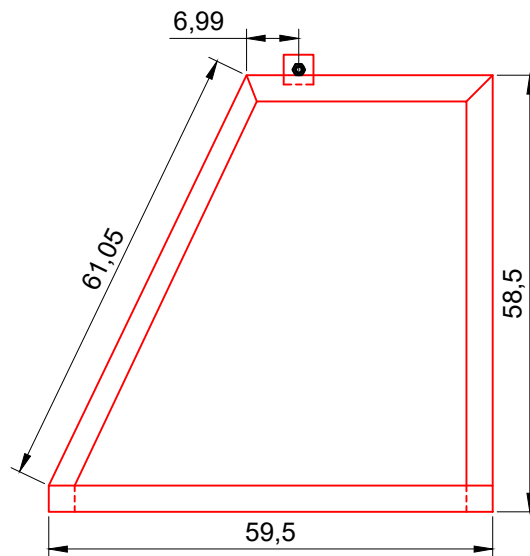


VISTA FRONTAL BASE CERRADA

		UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		
		INFORME TÉCNICO:		
		TRABAJO FIN DE GRADO		
PROMOTOR:		LOCALIZACIÓN:		
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		C/ Dr. Ortiz Ramos s/n. Campus de Teatinos.		
PLANO N°:	ESTRUCTURA			
4				
ALUMNO:	ESCALA:	COTAS EN:	FIRMADO:	
JUAN RUIZ BARROS	1:10	cm		
TITULACIÓN:	FECHA:			
GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA	JUNIO/2025			

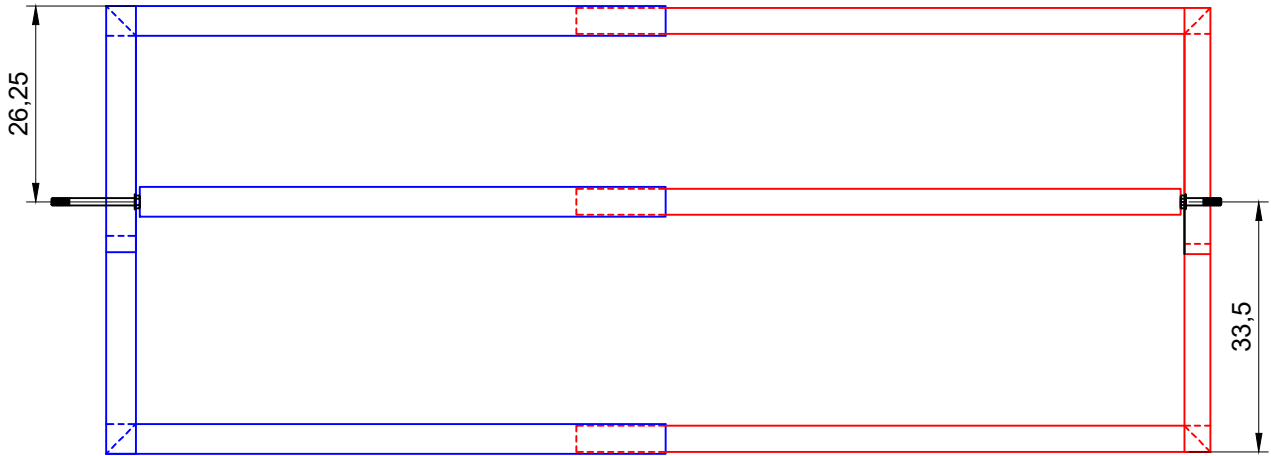


VISTA LATERAL IZQUIERDA

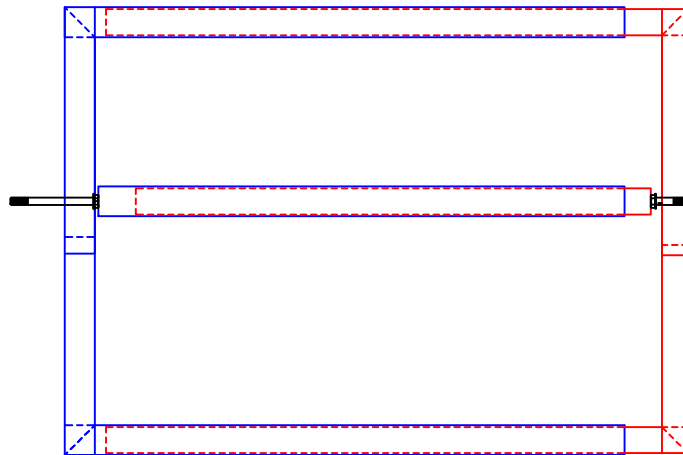


VISTA LATERAL DERECHA

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA			
INFORME TÉCNICO:			
TRABAJO FIN DE GRADO			
PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		LOCALIZACIÓN: C/ Dr. Ortiz Ramos s/n. Campus de Teatinos.	
PLANO Nº: 5	ESTRUCTURA		
ALUMNO: JUAN RUIZ BARROS	ESCALA: 1:10	COTAS EN: cm	FIRMADO:
TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA	FECHA: JUNIO/2025		

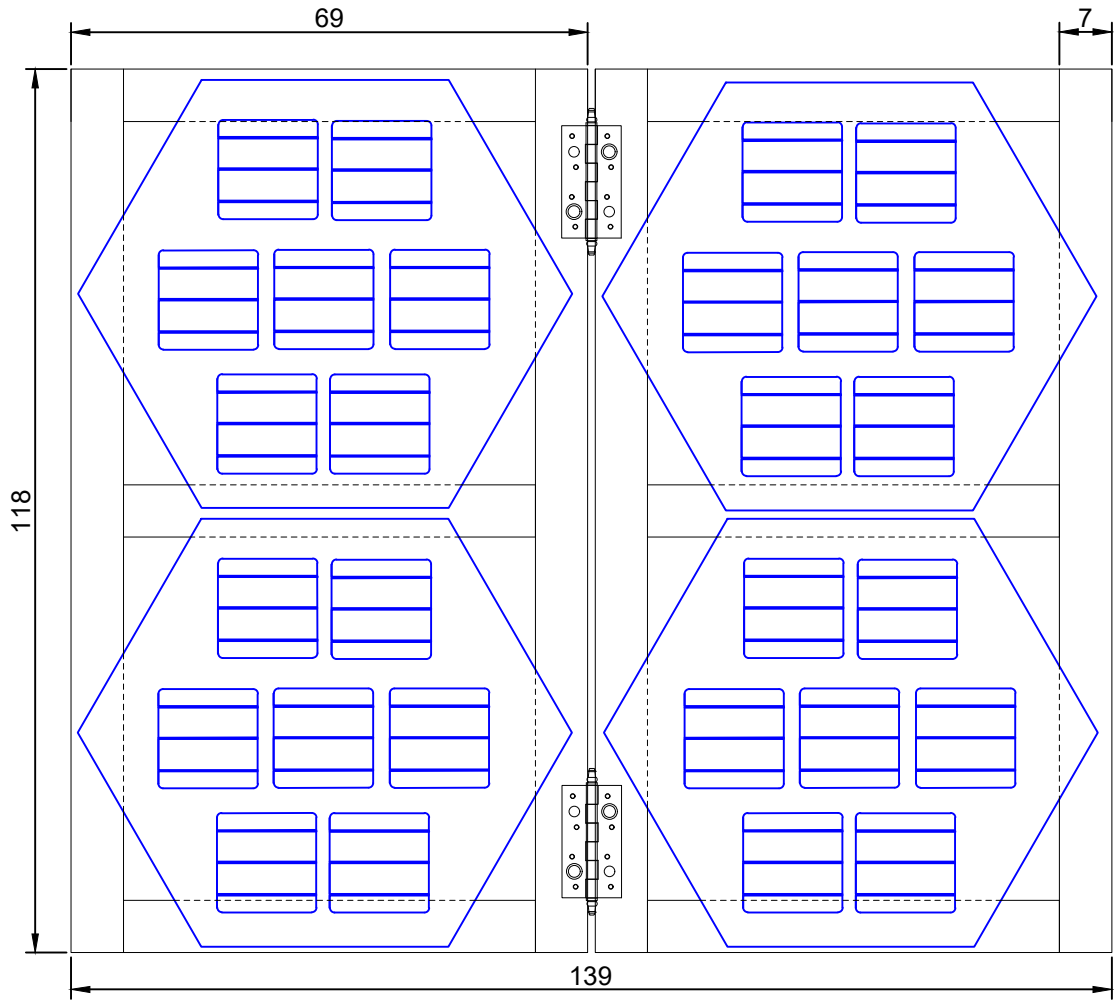


VISTA SUPERIOR BASE ABIERTA



VISTA SUPERIOR BASE CERRADA

		UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		
		INFORME TÉCNICO:		
		TRABAJO FIN DE GRADO		
PROMOTOR:		LOCALIZACIÓN:		
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		C/ Dr. Ortiz Ramos s/n. Campus de Teatinos.		
PLANO N°:	ESTRUCTURA			
6				
ALUMNO:	ESCALA:	COTAS EN:	FIRMADO:	
JUAN RUIZ BARROS	1:10	cm		
TITULACIÓN:	FECHA:			
GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA	JUNIO/2025			



SOPORTE PANELES

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA			
INFORME TÉCNICO:			
TRABAJO FIN DE GRADO			
PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		LOCALIZACIÓN: C/ Dr. Ortiz Ramos s/n. Campus de Teatinos.	
PLANO Nº: 7	SOPORTE PANELES		
ALUMNO: JUAN RUIZ BARROS	ESCALA: 1:10	COTAS EN: cm	FIRMADO:
TITULACIÓN: GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA	FECHA: JUNIO/2025		

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

REFERENCIAS

- [1] <https://www.obramat.es/portafusible-10x38-1000vdc-1p-10952984.html>
- [2] <https://www.obramat.es/fusible-cilindrico-10x38-16a-1000vdc-gpv-10938396.html>
- [3] <https://www.obramat.es/sobretension-transitoria-40ka-600v-dc-10894240.html>
- [4] <https://todoelectrico.es/es/interruptor-seccionador-desconectador-aislador-solar-1200v-dc-32-a.html>
- [5] <https://www.obramat.es/desconectador-de-baterias-10846395.html>
- [6] <https://www.obramat.es/2-conectores-de-panel-solar-multicontact-10337803.html>
- [7] <https://www.obramat.es/hilo-solar-h1z2z2-k-4mm2-mlineal-rj-10886281.html>
- [8] <https://www.obramat.es/hilo-solar-h1z2z2-k-4mm2-mlineal-ngr-10886274.html>
- [9] <https://www.cablepelado.es/caja-distribucion-electrica-superficie-ip65-de-5-modulos-blanco>
- [10] <https://www.obramat.es/rueda-con-freno-goma-giratoria-100-mm-ruedas-alex-10351873.html>
- [11] <https://www.obramat.es/productos/rueda-fija-goma-100-mm-ruedas-alex-10351866.html>
- [12] <https://www.obramat.es/reg-carga-12-24v-smart-solar-mppt-75-15-10939306.html>
- [13] https://es.aliexpress.com/item/1005005167927266.html?src=google&pdp_npi=4
- [14] <https://www.obramat.es/mira-acero-telescopica-2-a-3-2m-10977491.html>
- [15] <https://www.obramat.es/productos/rollo-de-lija-tela-115mm-x-5m-grano-60-10755304.html>
- [16] <https://www.obramat.es/productos/rollo-de-lija-tela-115mm-x-5m-grano-120-10755325.html>
- [17] <https://www.obramat.es/productos/rollo-de-lija-tela-115mm-x-5m-grano-180-10755332.html>
- [18] <https://www.obramat.es/pletina-acero-s275jr-20-x-4-mm-3-m-10362513.html>
- [19] <https://www.obramat.es/varilla-roscada-acero-cincado-m-10-mm-1-m-10982216.html>
- [20] <https://www.obramat.es/productos/varilla-roscada-acero-cincado-diametro-6mm-largo-1m-10070235.html>

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

- [21] <https://www.obramat.es/productos/tuerca-hexagonal-din-934-m10-cincada-100-uds-10072475.html>
- [22] <https://www.obramat.es/productos/tuerca-hexagonal-din-934-m6-cincada-500-uds-10982440.html>
- [23] <https://www.obramat.es/productos/arandela-plana-din-125-m10-200uds-10283532.html>
- [24] <https://www.obramat.es/productos/tornillos-rosca-chapa-para-metal-cincados-4-8x19mm-250uds-10957254.html>
- [25] <https://www.obramat.es/productos/bisagra-pernio-soldable-20x120mm-gris-10419073.html>
- [26] <https://www.obramat.es/placa-de-ensamblaje-acero-inoxidable-80-mm-10508981.html>
- [27] <https://www.obramat.es/productos/remaches-cabeza-ancha-aluminio-y-acero-4-x-16-mm-bralo-45-uds-25051776.html>
- [28] <https://www.obramat.es/productos/tornillos-metricos-para-uso-general-cincados-8x60mm-100uds-10279752.html>
- [29] <https://www.obramat.es/productos/tornillos-metrico-cilindricos-para-metal-cincados-8x25mm-100uds-10279731.html>
- [30] <https://www.obramat.es/productos/tornillos-metricos-para-metal-cincados-5x50mm-200uds-10412255.html>
- [31] https://www.tornilleriamalaguena.com/tienda/din-965-/1134-tornillo-din-965-m3x6.html?search_query=m4x50&results=8
- [32] <https://www.obramat.es/productos/tuerca-hexagonal-din-934-m8-cincada-200-uds-10982454.html>
- [33] <https://www.obramat.es/tuerca-hexagonal-din-934-m5-cincada-500-uds-10072524.html>
- [34] <https://www.obramat.es/productos/tuerca-autoblocante-din-985-m8-cincada-200-uds-10982034.html>
- [35] <https://www.obramat.es/productos/arandela-plana-din-125-metrica-m5-500uds-10283504.html>
- [36] <https://www.obramat.es/productos/arandela-plana-din-125-metrica-m8-500uds-10283525.html>
- [37] <https://www.obramat.es/productos/arandela-plana-din-9021-4mm-500uds-10283595.html>
- [38] <https://www.obramat.es/productos/arandela-grower-din-127-metrica-m8-500uds-10283385.html>

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

- [39] <https://www.obramat.es/productos/topes-para-puertas-plastico-adhesivo-blanco-10197705.html>
- [40] <https://www.obramat.es/productos/pestillo-puerta-de-seguridad-para-interior-niquelado-amig-10067036.html>
- [41] <https://www.obramat.es/productos/cinta-perforada-17-x-0-8-mm-galvanizada-index-10-m-10501764.html>
- [42] https://www.tornilleriamalaguena.com/tienda/din-931-c-88/724-tornillo-din-931-88-m6x35.html?search_query=m10+hexagonal&results=140
- [43] https://www.tornilleriamalaguena.com/tienda/din-931-c-88/731-tornillo-din-931-88-m6x35.html?search_query=m10+hexagonal&results=140
- [44] <https://www.leroymerlin.es/productos/perfil-para-estanteria-metalica-de-acero-de-200-x-3-5-cm-largo-x-ancho-10912951.html>
- [45] <https://www.obramat.es/productos/kit-prensa-junta-tuerca-m16-ip68-10342913.html>
- [46] <https://www.obramat.es/productos/caja-de-registro-electrico-estanca-153x110x65mm-para-superficie-de-exterior-con-tapa-de-tornillo-10016825.html>
- [47] <https://www.obramat.es/productos/perfil-din-de-acero-2m-10979066.html>
- [48] <https://www.obramat.es/productos/escuadra-de-angulo-bicromatada-30-mm-10574571.html>
- [49] <https://www.obramat.es/productos/escuadra-de-angulo-bicromatada-60-mm-10574606.html>
- [50] <https://www.leroymerlin.es/productos/spray-pintura-montana-pro-metalizado-azul-oscur-r-5026-400ml-82601386.html>
- [51] <https://www.leroymerlin.es/productos/spray-pintura-montana-pro-metalizado-negro-400ml-82601387.html>
- [52] <https://www.leroymerlin.es/productos/spray-imprimacion-antioxido-pro-montana-400ml-gris-84334977.html>
- [53] <https://www.bazarchinatown.com/sprays/8770-pintura-en-spray-blanco-mate-9010-400ml-pintyplus.html>
- [54] https://tupiscinayjardin.com/products/oxiron-liso-brillante?_pos=1&_sid=2438b99fb&_ss=r
- [55] <https://www.leroymerlin.es/productos/cableado-de-conexion-de-inversor-a-bateria-con-terminal-de-ojo-de-8mm-83411462.html>
- [56] <https://es.aliexpress.com/item/1005008355368885.html>

Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador

[57] <https://es.aliexpress.com/item/1005005984902759.html>

[58] <https://www.autodoc.es/bosch/1145176#bateria>

BIBLIOGRAFÍA

- [1] AENOR. (2021. Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias de baja tensión. Parte 31: Requisitos y métodos de ensayo de los DPS para instalaciones fotovoltaicas. (UNE-EN 61643-31). Madrid: AENOR
- [2] AENOR. (2012. Fusibles de baja tensión. Parte 6: Requisitos suplementarios para los cartuchos fusibles utilizados para la protección de sistemas de energía solar fotovoltaica. (UNE-EN 60269-6). Madrid: AENOR
- [3] AENOR. (2017. Sistemas fotovoltaicos (FV). Requisitos para ensayos, documentación y mantenimiento. Parte 1: Sistemas conectados a la red. Documentación, ensayos de puesta en marcha e inspección. (UNE-EN 62446-1). Madrid: AENOR
- [4] AENOR. (2023. Photovoltaic (PV) arrays - Part 1: Design requirements. (IEC 62548-1:2023). Geneva: IEC
- [5] https://repositorio.uloyola.es/bitstream/handle/20.500.12412/4304/TFG_FranciscoJavierMonterodelaPlaza.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [6] <https://core.ac.uk/download/599209295.pdf>
- [7] <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/186882/Mora%20-%20Estudio%20y%20diseño%20de%20una%20planta%20de%20generación%20de%20hidrógeno%20verde%20alimentada%20por%20una%20instalación....pdf?sequence=1>
- [8] <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/93826/fichero/TFG-3826+BENJUMEA+CERVERA%2C+MAR%C3%8DA+DEL+ROC%C3%8DO.pdf>

**Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste
integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador**

ANEXO A



ANEXO 1

FICHAS TÉCNICAS

Nota general para Tecnología de Silicio Amorfo:

La potencia nominal de los vidrios fotovoltaicos indica la potencia generada bajo condiciones de prueba estándar (STC). Los módulos pueden producir más corriente y/o voltaje bajo condiciones de funcionamiento real que bajo condiciones estándar. Las características eléctricas están dentro de un $\pm 10\%$ de los valores de I_{sc} y V_{oc} indicados en el STC. Los parámetros eléctricos mostrados en las fichas técnicas se consideran después de **Light-Soaking Effect**. La incertidumbre en las mediciones puede establecerse en un $\pm 4.72\%$.

líder global en vidrio fotovoltaico para edificios





FICHA TÉCNICA - GL.01

VIDRIO FOTOVOLTAICO		
	572 x 330	
	6" Mono	Cristalino
Características eléctricas (STC)		
Potencia nominal	31	P_{mpp} (Wp)
Voltaje circuito abierto	4	V_{oc} (V)
Intensidad de cortocircuito	8,93	I_{sc} (A)
Voltaje máxima potencia	4	V_{mpp} (V)
Intensidad máxima potencia	8,39	I_{mpp} (A)
Tolerancia de potencia	± 10	%
STC: 1000 w/m ² , AM 1.5 y temperatura de célula de 25°C, estado del módulo estabilizado.		
Características constructivas		
Longitud	572	mm
Anchura	330	mm
Espesor total	9,8	mm
Área total	0,42	sqm
Peso específico	8	Kgs
Célula fotovoltaica	6" Mono	Cristalino
Número células / Densidad células	7	61%
Vidrio frontal	4 mm	Vidrio templado low-iron
Vidrio trasero	4 mm	vidrio templado (with colors)
Espesor encapsulante	1,80 mm	Láminas EVA
Categoría / Código color	RAL	6010/6018/2004/3024/4010
Caja de conexiones		
Protección	IP65	
Sección de cableado	2,5 mm ² or 4,0 mm ²	
Límites		
Tensión máxima del sistema	1000	V_{sys} (V)
Temperatura de operación	-40...+85	°C
Coefficientes de temperatura		
Coefficiente de temperatura; P_{mpp}	-0,451	%/°C
Coefficiente de temperatura; V_{oc}	-0,361	%/°C
Coefficiente de temperatura; I_{sc}	+0,08	%/°C

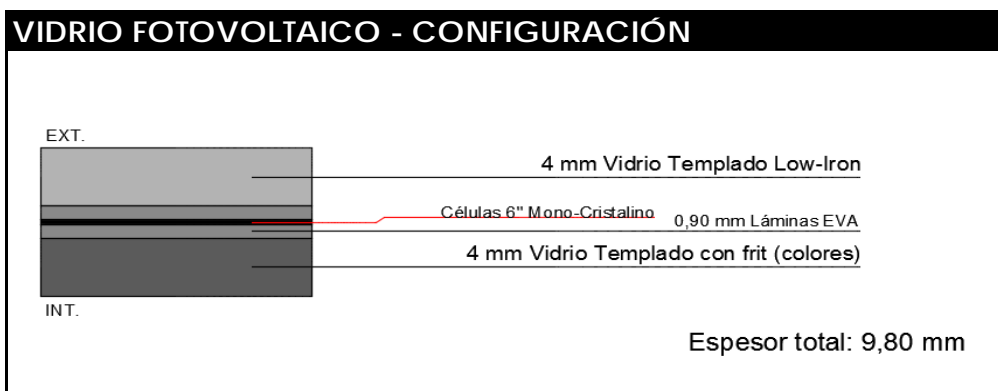
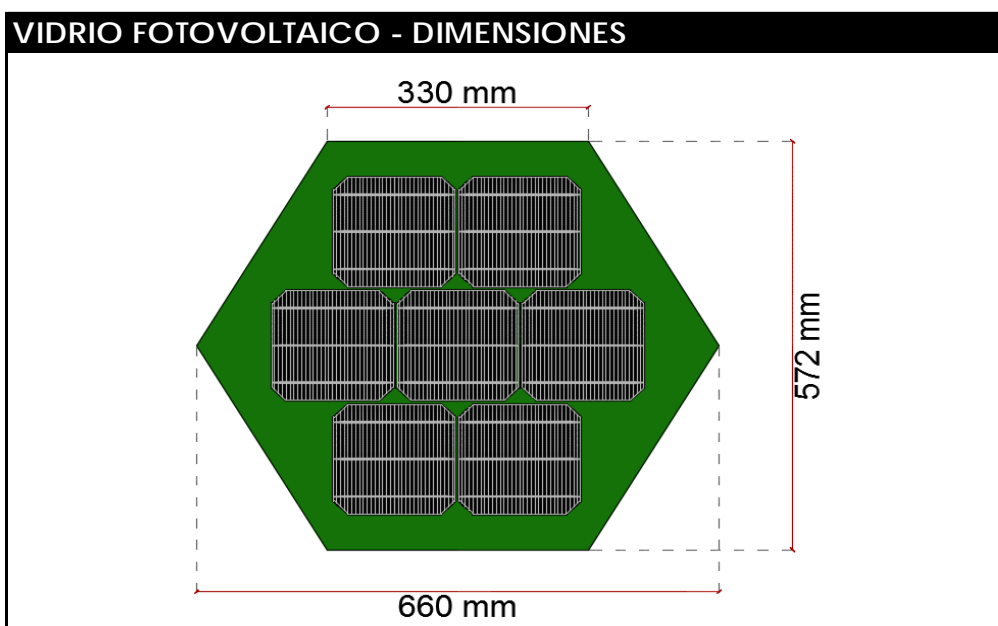
*Especificaciones técnicas sujetas a cambio sin previo aviso por parte de Onyx Solar.

líder global en vidrio fotovoltaico para edificios





FICHA TÉCNICA - GL.01



VIDRIO FOTOVOLTAICO - PROPIEDADES

Transmisión luminosa	0%
Valor Ug [W/m ² .K]	5,2
Potencia pico [Wp/m ²]	74,4

líder global en vidrio fotovoltaico para edificios



**Diseño y construcción de un dispositivo experimental de bajo coste
integrado por paneles fotovoltaicos, baterías y electrolizador**

ANEXO B

M | J | V

DISTRIBUCIONES ELECTRÒNICAS

MJV DISTRIBUCIONES ELECTRONICAS, S.C
 CIF: J01627454
 PLAZA DE LA LUZ, 3 LOCAL-6
 29004 – MALAGA
 TEL: 951455135 / 722425046 / 722425554
 EMAIL: clientesmjv@gmail.com

UNIVERSIDAD DE MALAGA

AV CERVANTES, Nº 2
 29016 MALAGA
 MALAGA 242

DOCUMENTO	NÚMERO	PÁGINA	FECHA
Presupuesto	1 001795	1	24/04/2025

N.I.F.	AGENTE	FORMA DE PAGO
Q2918001E		TRANSFERENCIA

ARTÍCULO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	SUBTOTAL	DTO.	TOTAL
CON950	REF: 10952984 - PORTAFUSIBLE 10X38 1000VDC 1P	2,0000	3,7500	7,50		7,50
	REF: 10938396 - FUSIBLE CILÍNDRICO 10X38 16A 1000VDC GPV	2,0000	2,5000	5,00		5,00
	REF: 10846395 - DESCONECTADOR DE BATERÍAS	1,0000	20,6500	20,65		20,65
	REF: 10894240 - SOBRETENSIÓN TRANSITORIA 40KA 600V DC	1,0000	37,9500	37,95		37,95
	REF: 10886274 - HILO SOLAR H1Z2Z2-K 4MM2 NEGRO METRO LINEAL	3,0000	1,1500	3,45		3,45
	REF: 10886281 - HILO SOLAR H1Z2Z2-K 4MM2 ROJO METRO LINEAL	3,0000	1,1500	3,45		3,45
	CON950 CONECTOR MC4 MACHO-HEMBRA PARA CONEXIONADO	1,0000	2,5000	2,50		2,50
	REF: 10939306 - REGULADOR CARGA 12-24V SMARTSOLAR MPPT 75/15 VICTRON	1,0000	81,4500	81,45		81,45
	REF: A11-R9-4P-DC1200-32 - Interruptor Seccionador Desconectador aislador Solar 1200V DC 32 A	1,0000	35,3000	35,30		35,30
	PV	PRESUPUESTO VALIDO 10 DIAS O FIN DE EXISTENCIAS	1,0000			

TIPO	IMPORTE	DESCUENTO	PRONTO PAGO	PORTES	FINANCIACIÓN	BASE	I.V.A.	R.E.
21,00 10,00 4,00	197,25					197,25	41,42	

OBSERVACIONES:

TOTAL: 238,67