



universidad
de león



**Escuela de Ingenierías
Industrial, Informática y Aeroespacial**

**GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL
Y AUTOMÁTICA**

Trabajo de Fin de Grado

SEGUIDOR SOLAR CON ARDUINO MEGA 2560

SOLAR TRACKER WITH ARDUINO MEGA 2560

Autor: Brayan Alexis Sarango Guapi
Tutor: Esteban Serrano Llamas

(Septiembre, 2023)

UNIVERSIDAD DE LEÓN
Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y
Aeroespacial

GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA
Trabajo de Fin de Grado

ALUMNO: Brayan Alexis Sarango Guapi

TUTOR: Esteban Serrano Llamas

TÍTULO: Seguidor solar con Arduino Mega 2560

TITLE: Solar tracker with Arduino Mega 2560

CONVOCATORIA: Septiembre , 2023

RESUMEN:

El trabajo consiste en el diseño de un sistema de seguimiento solar usando como controlador Arduino Mega 2560, para ello se ha usado los medios tecnológicos actuales para la simulación, diseño y fabricación de un prototipo funcional que sirve de base para las pruebas de los códigos programados en C.

Para programar el código se ha usado Arduino IDE 2.2.0, para la realización de los planos se ha usado Autocad 2013, para el diseño de las piezas 3D se ha usado SolidWorks Student, estos archivos se han pasado a formato STL, que pueden ser leído por Ultimaker CURA 5.4.0 (programa para impresión 3D), y se han impreso las piezas en impresora 3D "Artillery Genius"

Para las pruebas de circuitos electrónicos y componentes se han usado simuladores como FRITZING, y posteriormente los circuitos se han montado en placa protoboard para pruebas reales y comprobación de componentes electrónicos.

Se han seleccionados los componentes cuya calidad-precio hagan el producto atractivo para las empresas o personas físicas que dispongan de un sistema estático (sin seguimiento solar) o estén interesados en un sistema dinámico.

Específicamente está orientado para un seguidor solar de dos ejes, que aproveche al máximo la radiación solar que esté disponible, mejorando la rentabilidad del equipo y amortizando el coste de la instalación en menos tiempo.

El estudio se ha centrado en el auge de las energías renovables, en concreto la energía solar, su importancia actual y la apuesta de España en este sector. Así como la descripción de los diferentes equipos que participan en este tipo de instalaciones, clasificación de estos, ventajas e inconvenientes etc.

Este documento tiene como objetivo proporcionar un acercamiento real al mercado laboral a través de la realización de un trabajo de interés actual para las empresas de generación, montaje, captación eléctrica... que exploten esta tecnología.

ABSTRACT:

The project consists of the design of a solar tracking system using the Arduino Mega 2560 as a controller. For this purpose, current technological means have been used for the simulation, design and manufacturing of a functional prototype that serves as a basis for testing the programmed codes. in C.

To program the code, Arduino IDE 2.2.0 was used, Autocad 2013 was used to create the plans, SolidWorks Student was used to design the 3D parts, these files have been converted to STL format, which can be read by Ultimaker CURA 5.4.0 (3D printing program), and the parts have been printed on an "Artillery Genius" 3D printer.

Simulators such as FRITZING have been used to test electronic circuits and components, and subsequently the circuits have been assembled on a breadboard for real tests and verification of electronic components.

The components whose quality-price make the product attractive for companies or individuals who have a static system (without solar tracking) or are interested in a dynamic system have been selected.

Specifically, it is oriented for a two-axis solar tracker, which makes the most of the solar radiation that is available, improving the profitability of the equipment and amortizing the cost of the installation in less time.

The study has focused on the rise of renewable energies, specifically solar energy, its current importance and Spain's commitment to this sector. As well as the description of the different equipment that participates in this type of installations, their classification, advantages and disadvantages, etc.

This document to provide a real approach to the labor market through the implementation of a project of current interest for generation, assembly, electrical collection companies... that exploit this technology.

Palabras clave: Solar, Arduino, energía, renovable, panel, fotovoltaico.

Firma del alumno:

VºBº Tutor/es:

Índice de contenidos

Índice de contenidos.....	4
1. Introducción.....	1
1.1 OBJETIVO DEL TRABAJO.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	3
1.2.1 NORMATIVA APLICABLE.....	4
2. Antecedentes.....	6
2.1. ENERGÍA SOLAR.....	7
2.2. RADIACIÓN SOLAR EN ESPAÑA.....	8
2.2.1 POTENCIA SOLAR INSTALADA.....	11
3. Tecnología fotovoltaica.....	12
3.1 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	12
3.1.1 COMPONENTES.....	13
3.1.2 MONOCRISTALINO.....	14
3.1.3. POLICRISTALINO.....	14
3.1.4. CAPA FINA O AMORFA.....	15
3.1.5. COMPARACIÓN DE CÉLULAS.....	16
3.2. PANELES FOTOVOLTAICOS.....	18
3.2.1. COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO DE LOS PANELES.....	18
3.2.3 ¿CÓMO SE FABRICAN LOS PANELES FOTOVOLTAICOS?.....	22
3.3 INVERSORES.....	23
3.3.1 FUNCIONAMIENTO DE LOS INVERSORES.....	24
3.3.2 ELECCIÓN DE INVERSOR SEGÚN NECESIDADES.....	24
3.4 SEGUIDOR SOLAR.....	25
3.4.1 UN SOLO EJE.....	26
3.4.2 DOS EJES.....	26
3.4.3 VENTAJAS DE LOS SEGUIDORES SOLARES.....	27
3.4.4 DESVENTAJAS DE LOS SEGUIDORES SOLARES.....	28
3.4.5 ¿ES RECOMENDABLE INSTALAR UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR EN UNA VIVIENDA?.....	29
3.5 BATERIAS SOLARES.....	29
3.5.1 ¿CÓMO OPERA UN SISTEMA DE PLACAS SOLARES CON BATERÍA?.....	30
3.5.2 VENTAJAS.....	30
3.5.3 DESVENTAJAS.....	31
3.5.3 ¿CÓMO ESTÁ FORMADA UNA BATERÍA SOLAR?.....	31
3.5.4 TIPOS DE BATERIAS.....	32
3.6 SMART METER.....	33
3.6.1 BENEFICIOS.....	34
4. Diseño de prototipo.....	36
4.1 DESCRIPCIÓN.....	36
4.2 EQUIPOS Y ELEMENTOS DEL PROTOTIPO.....	36
4.2.1 ARDUINO MEGA 2560.....	36

4.2.2 MOTOR NEMA 23	37
4.2.3 MOTOR NEMA 17HS4401.....	39
4.2.4 BATERÍA DSK.....	40
4.2.5 PANEL SOLAR PLICRISTALINO ATERSA 12V	42
4.2.6 REGULADOR DE TENSIÓN ISOLER M	43
4.2.7 MICROSTEP DRIVER ARCELI TB6600.....	44
4.3. PROTOTIPO DEL SEGUIDOR SOLAR.....	45
4.3.1 INTRODUCCIÓN	45
4.3.2 CONFIGURACIÓN MICROSTEP DRIVER Arceli TB6600	47
4.3.3 FUNCIONAMIENTO (CONEXIONADO).....	50
4.3.4 CÓDIGO	53
4.3.5 MONTAJE ESTRUCTURA SOLAR.....	56
4.4 REPRESENTACIÓN DE PLANOS Y ESQUEMAS.....	60
4.4.1 LISTADO DE PLANOS.....	61
4.5. COSTES Y PRESUPUESTOS	68
4.5.1 PRESUPUESTO GENERAL DISEÑO SEGUIDOR SOLAR.....	69
4.5.2 DESGLOCE PRESUPUESTO	70
5. Conclusiones y recomendaciones.....	71
<i>Lista de referencias bibliográficas.....</i>	<i>73</i>

Índice de figuras

FIGURA 2.1	Mapa de radiación solar europeo (Fuente: [16])	9
FIGURA 2.2	Radiación global media en España (Fuente: [16])	10
FIGURA 2.3	Potencia solar instalada en España 2010-2022 (FUENTE: [36])	11
FIGURA 2.4	Precio de paneles solares en Europa €/Wp (Fuente: [36])	11
FIGURA 3.1	Célula solar de 0,5V (Fuente: [39])	12
FIGURA 3.2	Composición de célula de silicio cristalino tipo N (Fuente: [37])	13
FIGURA 3.3	Ejemplo placa solar monocristalina y estructura atómica (Fuente: [38])	14
FIGURA 3.4	Ejemplo placa solar policristalina y estructura atómica (Fuente: [38])	15
FIGURA 3.5	Ejemplo placa solar capa fina o amorfa (Fuente: [1])	16
FIGURA 3.6	Tipos de paneles solares (Fuente: [38])	17
FIGURA 3.7	Partes que conforman una placa solar (Fuente: [2])	19
FIGURA 3.8	Principio básico de funcionamiento (Fuente: [41])	20
FIGURA 3.9	Modelo atómico celda solar (Fuente: [40])	20
FIGURA 3.10	Funcionamiento módulo solar (Fuente: [42])	21
FIGURA 3.11	Eficiencia de celdas solares según tecnología y semiconductor empleado (Fuente: [43])	22
FIGURA 3.12	Esquema de inversor en instalación (Fuente: [43])	23
FIGURA 3.12.1	Funcionamiento de un seguidor solar (Fuente: [8])	25
FIGURA 3.13	Forma de almacenamiento de energía de una batería (Fuente: [45])	32
FIGURA 3.14	Tipos de baterías (Fuente: [44])	33
FIGURA 3.15	Equipo de medición digital Smart Meter (Fuente: [46])	34
FIGURA 4.1	Fotografía Arduino Mega 2560 [Fuente: elaboración propia]	37
FIGURA 4.3	Fotografía motor PAP NEMA 17 [Fuente: elaboración propia]	40
FIGURA 4.4	Fotografía batería DSK 12Vcc [Fuente: elaboración propia]	41
FIGURA 4.5	Fotografía panel solar 5 W [Fuente: elaboración propia]	42
FIGURA 4.6	Fotografía regulador de tensión Isoler M5 [Fuente: elaboración propia]	43
FIGURA 4.7	Fotografía controlador motores Microstep Driver [Fuente: elaboración propia]	44
FIGURA 4.8	Fotografía componentes electrónicos y eléctricos [Fuente: elaboración propia]	46
FIGURA 4.9	Fotografía tabla de configuraciones del Driver [Fuente: elaboración propia]	47
FIGURA 4.10	Fotografía interruptores de configuración [Fuente: elaboración propia]	47

FIGURA 4.11 Disposición de salidas del controlador microstep driver (Fuente: [49])	48
FIGURA 4.12 Tipos de conexión driver Arceli TB6600 (Fuente: [29])	49
FIGURA 4.13 Montaje de circuito en protoboard (Fuente: Elaboración propia)	51
FIGURA 4.14 Conexionado en placa protoboard (Fuente: Elaboración propia)	52
FIGURA 4.15 Visor programa de diseño gráfico (Fuente: Elaboración propia)	56
FIGURA 4.16 Visor de programa impresión 3D (Fuente: Elaboración propia)	56
FIGURA 4.17 Impresora 3d Artillery Genius (Fuente: Elaboración propia)	57
FIGURA 4.19 Vista frontal piezas sistema 2 ejes (Fuente: Elaboración propia)	58
FIGURA 4.20 Vista trasera piezas sistema 2 ejes (Fuente: Elaboración propia)	59
FIGURA 4.21 Vista general del prototipo y circuito electrónico	59
(Fuente: Elaboración propia)	59
FIGURA 4.22 Modelo de cajetín Universidad de León (Fuente: Regl.-TFG_EIIIA-aprobado-JE)	60
FIGURA 4.23 Modelo de cajetín adaptado (Fuente: Elaboración propia)	60

Índice de tablas

Tabla 3.1 Comparación tipos de células solares (Fuente: [38])	17
Tabla 4.1 Características Arduino Mega 2560 (Fuente: [18])	37
Tabla 4.2 Características motor NEMA 23 (Fuente: [19])	38
Tabla 4.3 Características motor NEMA 17HS4401 (Fuente: [21])	39
Tabla 4.4 Características batería DSK (Fuente: [25])	41
Tabla 4.5 Características panel solar Atersa 12V (Fuente: [27])	42
Tabla 4.6 Características regulador de tensión Isoler (Fuente: [47])	43
Tabla 4.7 Características controlador driver Arceli TB6600 (Fuente: [29])	44

1. Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo principal desarrollar un seguidor solar utilizando Arduino como controlador, con el fin de mejorar la eficiencia y el rendimiento de los paneles solares en diversas aplicaciones como señales de tráfico, sistemas de riego, u otros. La creciente importancia de las energías renovables, impulsada por la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la sostenibilidad ambiental, ha generado un gran interés en la optimización del aprovechamiento de la energía solar.

En este contexto, se plantea la implementación de un seguidor solar que permita adaptar automáticamente la posición del panel solar a lo largo del día, siguiendo la trayectoria del sol y maximizando así la captación de radiación solar. Para lograrlo, se ha diseñado un código de control que utiliza motores PAP (Paso a paso), capaces de generar movimientos en los ejes del seguidor de 1,8 grados de precisión.

La determinación de la posición del sol se lleva a cabo mediante el uso de fotorresistencias LDR (Light Dependent Resistor), que miden la intensidad de luz incidente y proporcionan la información necesaria para ajustar la orientación del panel. Este enfoque de seguimiento solar asegura una mayor eficiencia energética y un óptimo aprovechamiento de las horas de sol disponibles.

Otra forma de conseguir un sistema de seguimiento solar es a través de algoritmos basados en el horario solar, los cuales mantienen la perpendicularidad del panel solar hacia los rayos del sol en función de la hora, el día y la época del año. La ventaja de esta innovación es que se trata de un software, que se puede ir actualizando de forma de remota. En este trabajo no se ha implantado este horario solar debido a la complejidad de los algoritmos y la programación que requiere, haciendo que el coste del prototipo sea demasiado elevado y poco competitivo.

Durante el proceso de desarrollo, se ha realizado una exhaustiva investigación y comparación de los componentes disponibles en el mercado. Se han seleccionado aquellos que ofrecen una buena relación calidad-precio y requieren un bajo mantenimiento, como baterías AGM (Absorbent Glass Mat) y motores NEMA económicos y fáciles de controlar.

Para el diseño del seguidor solar, se han empleado herramientas y equipos modernos, como simuladores de Arduino, programas de diseño gráfico tales como Autocad, SOLIDWORKS, CURA..., impresora 3D "Artillery Genius". Estas tecnologías permiten simular, crear el código de control, modelar el sistema y fabricar las piezas necesarias de manera eficiente.

En resumen, este trabajo busca desarrollar un seguidor solar eficiente y confiable, que contribuya al aprovechamiento óptimo de la energía solar en diferentes aplicaciones. A través de la utilización de Arduino como controlador, se espera obtener resultados prometedores en términos de eficiencia energética y reducción de costos, sentando las bases para futuras investigaciones y mejoras en el campo de las energías renovables y la optimización de sistemas solares.

1.1 OBJETIVO DEL TRABAJO

Con este trabajo se pretende realizar un estudio más profundo sobre la energía solar, para conocer las novedades que rodean este tema, ya que es conocido por todos, la importancia que están tomando las energías renovables en el planeta, y en concreto en España, donde se incentiva por medio de subvenciones la instalación de estas.

Se pretende construir un prototipo, con el cual se puedan realizar las pruebas de programación (software de Arduino). Esta meta es una pieza clave del trabajo, ya que es donde se materializan todos los conocimientos adquiridos a lo largo de la trayectoria profesional, el compromiso con la escuela, y la seriedad del trabajo.

Otra meta marcada es ganar habilidad para resolver problemas que puedan surgir durante el desarrollo del diseño, la fabricación, el ensamblaje... convirtiéndose en un desafío que hay que resolver mediante la ingeniería aplicada.

Con este trabajo se quiere ofrecer una alternativa que permita a los usuarios maximizar el rendimiento de sus sistemas solares mediante el posicionamiento óptimo de los paneles solares hacia el sol, evitando sombras y ángulos de incidencia desfavorables. El objetivo es desarrollar un prototipo funcional, para lo cual se llevará a cabo una detallada búsqueda de equipos, componentes y elementos necesarios para su fabricación y puesta en marcha.

Con el fin de garantizar una estructura sólida y obtener información veraz, se ha realizado una investigación utilizando diversas fuentes. Esto incluye consultar la información publicada por fabricantes online, revisar documentación de proyectos similares, y recopilar material audiovisual de expertos en electrónica y mecánica, entre otras fuentes de información confiables.

El enfoque integral de esta investigación permitirá reunir el conocimiento necesario para diseñar y desarrollar un prototipo que optimice el aprovechamiento de la energía solar. Al utilizar información de diversas fuentes, se busca asegurar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Este trabajo aspira a ofrecer una solución eficiente y efectiva para mejorar el rendimiento de los sistemas solares, promoviendo así el uso de energías renovables y contribuyendo a la transición hacia un futuro más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El punto de partida de este trabajo se basa en la observación de la instalación de pequeños paneles solares estáticos utilizados para el control de sistemas de riego. Estos paneles se colocan estratégicamente en dirección sur, con el objetivo de aprovechar al máximo la radiación solar disponible.

Teniendo en cuenta la importancia que están tomando las energías renovables en Europa, en países como Alemania, Suecia, Noruega, Dinamarca, España... , y su fuerte apuesta por la energía solar, subvencionando instalaciones de este tipo.

Aprovechando los conocimientos actuales de electrónica, eléctrica y empresarial, se pretende realizar el diseño de un seguidor solar, funcional, capaz de suplir la necesidad de las empresas de mejorar la rentabilidad de sus paneles fotovoltaicos.

Aunque el trabajo se centre en equipos de poco consumo alimentados por baterías de 12 Vcc, este asienta las bases para el estudio de sistemas de seguimiento de paneles de mayor dimensión.

1.2.1 NORMATIVA APLICABLE

La normativa aplicable en el ámbito de la energía eléctrica y las energías renovables incluye:

- **Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002:** Este reglamento, conocido como Reglamento Electrotécnico para baja tensión e instrucciones técnicas complementarias, establece las normas y requisitos técnicos para la instalación, uso y mantenimiento de equipos eléctricos de baja tensión.
- **Real Decreto 413/2014, de 6 de junio:** Regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable. Establece los procedimientos administrativos, las condiciones y requisitos para la obtención y el ejercicio de la actividad de producción de energía renovable, fomentando su desarrollo y contribuyendo a la transición hacia un sistema energético más sostenible.
- **Real Decreto 614/2001, de 8 de junio:** Este decreto establece las disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. Asimismo, se hace referencia a otras normativas aplicables en materia de prevención de riesgos laborales relacionadas con la electricidad.
- **Ley 31/95 de 8 de noviembre** de Prevención de Riesgos Laborales.
- **Ley 54/2003**, reforma marco normativo en Prevención de Riesgos Laborales.
- **R.D 614/01 de 8 de junio** sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud de los trabajadores frente a Riesgo Eléctrico.
- **R.D. 1215/97 de 18 de julio** sobre equipos de trabajo.
- **R.D. 2177/2004**, modificación R.D. 1215/97.
- **R.D. 486/97 de 14 de abril** sobre disposiciones mínima de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- **R.D. 487/97 de 14 de abril** sobre manipulación de cargas.
- **R.D. 773/97 de 30 de mayo** sobre utilización por los trabajadores de EPIS.
- **Ley 32/2006 de 18 de octubre** reguladora de la subcontratación en el sector de la construcción.

- **R.D. 513/2017, de 22 de mayo**, por el que se aprueba el reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- Instrucciones técnicas de los fabricantes y suministradores de equipos.
- Reglamentos oficiales en vigor que sean de aplicación.

Estas normativas son fundamentales para garantizar la seguridad, la eficiencia y la legalidad en el ámbito de la energía eléctrica y las energías renovables, y deben ser cumplidas en todas las instalaciones y actividades relacionadas con estas áreas.

2. Antecedentes

En este apartado se pretende realizar un breve viaje en la historia, descubriendo la importancia que ha tenido el sol desde las primeras civilizaciones, aprovechando la energía proporcionada por el sol de una forma u otra, como por ejemplo construyendo casas orientadas hacia este, para una mayor iluminación y calor.

En la antigua Egipto aprovecharon esta iluminación natural para adornar los pasillos y tumbas de los faraones, usando materiales reflejantes como láminas de cobre o plata pulidos, para un mayor visibilidad y mayor alcance de la luz dentro de sus construcciones.

Durante la época del Imperio Romano, se comenzó el uso de cristales de vidrio para permitir el paso de los rayos del sol al interior de las viviendas, atrapando el calor significativamente, esta innovación supuso uno de los desarrollos técnicos más importantes del momento, ya que permitió el desarrollo de construcciones basadas en este material, por ejemplo, invernaderos.

Otra observación fue realizada por Arquímedes (287 a.C - 212 a.C), el cual notó que si se concentraban los rayos del sol en un punto, su poder calorífico era capaz de generar una llama, por un efecto lupa, usó este principio para desarrollar una arma (concentradores) que aprovechaba la energía solar para incendiar barcos enemigos.

Tras ello, hubo poca innovación hasta el siglo XVIII donde apareció el primer calentador solar (denominada caja caliente), desarrollado por el suizo Horace de Soussare, convirtiéndose en el primer invento de energía solar térmica, el cual era capaz de alcanzar temperaturas de hasta 100°C. [31]. Simplemente notó que los cuerpos oscuros absorbían más calor que los objetos blancos, los cuales reflejaban los rayos solares.

Tras el descubrimiento anterior, en 1792, se desarrolló el primer horno solar, capaz de fundir metales, ya que alcanzaba muy altas temperaturas, este invento se atribuye al químico francés Antoine Lavoisier.

No es hasta el siglo XIX, cuando se dio un gran salto en la captación solar, ya que Alexandre Edmond Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico, convirtiéndose en el hito más importante en la historia de la energía solar.

A partir de este momento se empezó a perfeccionar este efecto, en 1873 Willoughby Smith descubrió el efecto fotovoltaico en el selenio, posteriormente el profesor William Grylls Adams observó que se producía una corriente eléctrica cuando el selenio se exponía a los rayos del sol, permitiendo el diseño de la primera célula, la cual tenía un rendimiento de un 1%, inventada por Charles Fritts.

A partir de este momento comenzó el verdadero desarrollo de energía solar, por ejemplo en 1946 se creó la primera patente de célula fotovoltaica de silicio, por Russell Ohl. En 1954, se incrementó la eficiencia de las células al 6%, por los laboratorios Bell Labs, y comenzó la comercialización en 1956.

Durante la época de inversión espacial, desarrollo de naves espaciales, satélites y conquista espacial, se apostó por incluir esta innovadora forma de conseguir energía eléctrica, por paneles fotovoltaicos, lo que impulsó la investigación de paneles fotovoltaicos más eficientes.

Actualmente la captación solar está considerada una fuente renovable y limpia de energía, lo que ha llevado a grandes empresas eléctricas a invertir en la construcción de grandes plantas fotovoltaicas. [33]

2.1. ENERGÍA SOLAR

Debido al impacto medioambiental que producen las fuentes de energía tradicionales también conocidas como no renovables, se ha mejorado la tecnología de energías alternativas principalmente renovables.

Una de ellas es la obtención de la energía solar, por medio de paneles que captan los rayos y los transforman en energía eléctrica, es bien conocida por ser una fuente inagotable que no contamina y que no genera ruidos.

Gracias a su versatilidad se usa en entornos poco comunes y remotos, desde una casa en una montaña, como en satélites o en equipos que investigan otros planetas.

A pesar del aumento de instalaciones solares en países desarrollados, esta tecnología sigue suponiendo menos del 0,10% de la demanda mundial de energía.

Un gran inconveniente es su uso limitado a los días, lo que hace necesario la adquisición de baterías para almacenar energía que se pueda usar por la noche, además su rendimiento baja notablemente en días poco soleados, nublados o lluviosos.

Un estudio por parte de la World Energy Council, para el año 2100 el 70% de la energía que se consuma será solar. [17]

2.2. RADIACIÓN SOLAR EN ESPAÑA

Hoy en día se dispone de la tecnología y artefactos más sofisticados para determinar de forma fiable la radiación promedio que llega a la superficie terrestre de España, con una alta resolución, obtenidos de los satélites CM-SAF (Climate Satellite Application Facilities) de la agencia de explotación de satélites meteorológicos europeos, también conocida como EUMETSAT, encargados de la vigilancia del clima. [32]

España es el país europeo con mayor radiación solar, como se puede observar en la imagen, la posición que ocupa España en la Tierra, la hace propicia para la generación solar, por ello España y Alemania encabezan la lista de países europeos que apuestan por esta tecnología y han establecido leyes para convertirse en países con energía totalmente independientes de combustibles fósiles.

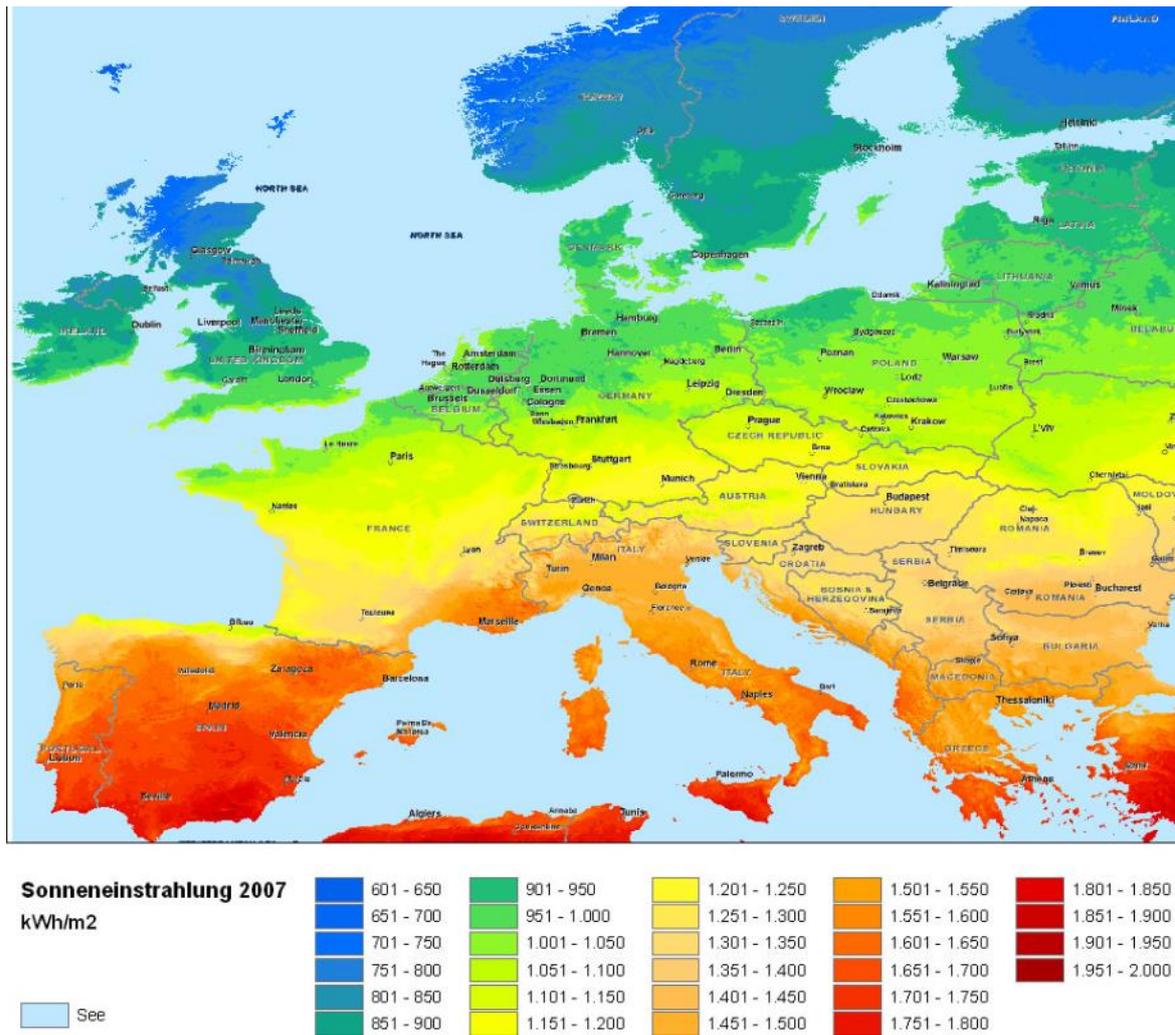


FIGURA 2.1 Mapa de radiación solar europeo (Fuente: [16])

El gobierno de España aprobó un Real Decreto Ley con medidas para impulsar las energías renovables y favorecer la reactivación económica, en el que se fija como objetivo tener un sistema eléctrico 100% renovable antes del 2050.

Además, se pretende eliminar las centrales térmicas de carbón y se espera hacerlo para el 2025, esta medida tiene como consecuencia la instalación de otras centrales que asuman la energía que producen estas centrales térmicas.

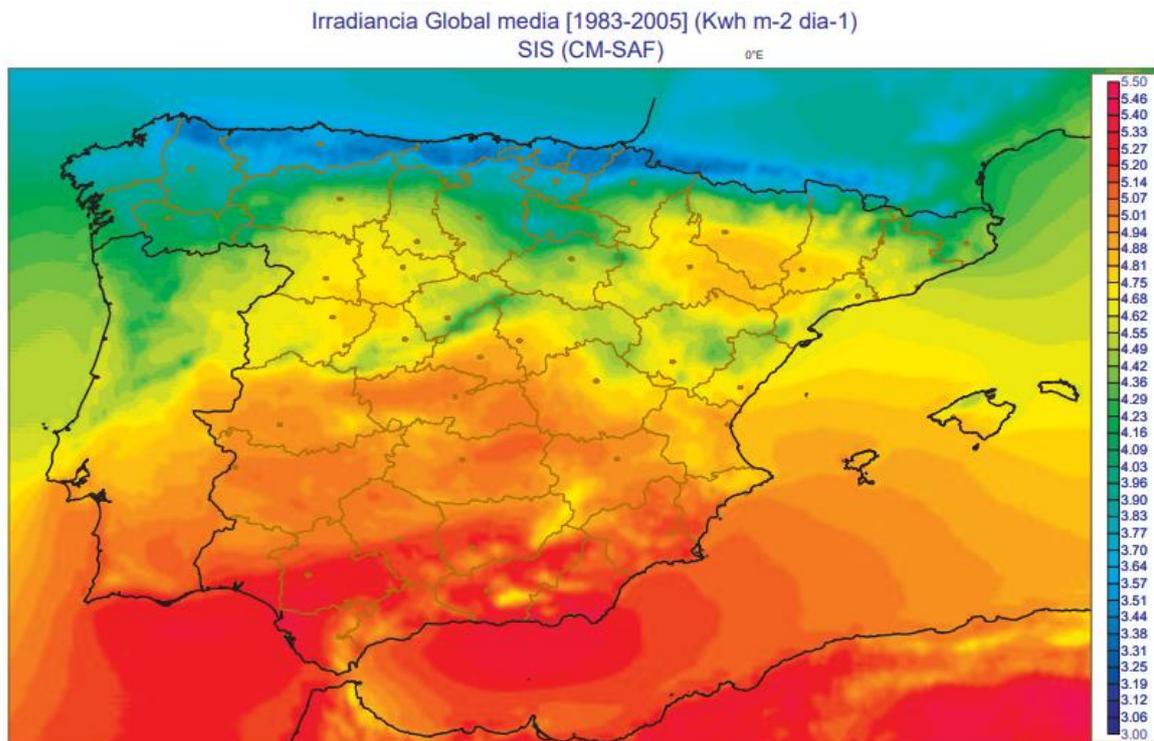


FIGURA 2.2 Radiación global media en España (Fuente: [16])

Debido a este impulso e inversión en energía fotovoltaica, se está aumentando la potencia instalada en España a pasos agigantados.

Según los datos del año 2021 podemos observar los siguientes beneficios:

- La potencia total instalada aumentó un 30% en 2021.
- La generación eléctrica con esta tecnología aumenta el 37% en España.
- Las energías renovables producen un 10% más comparado con el año 2020.
- Se han reducido las emisiones de CO₂.
- La demanda energética ha incrementado un 2,5% respecto al año 2020. [34]

2.2.1 POTENCIA SOLAR INSTALADA

Como podemos observar en la siguiente gráfica, se puede apreciar como gracias a políticas que favorecen el crecimiento de este sector, hay un aumento significativo de la potencia solar instalada en España desde el año 2018. [35]

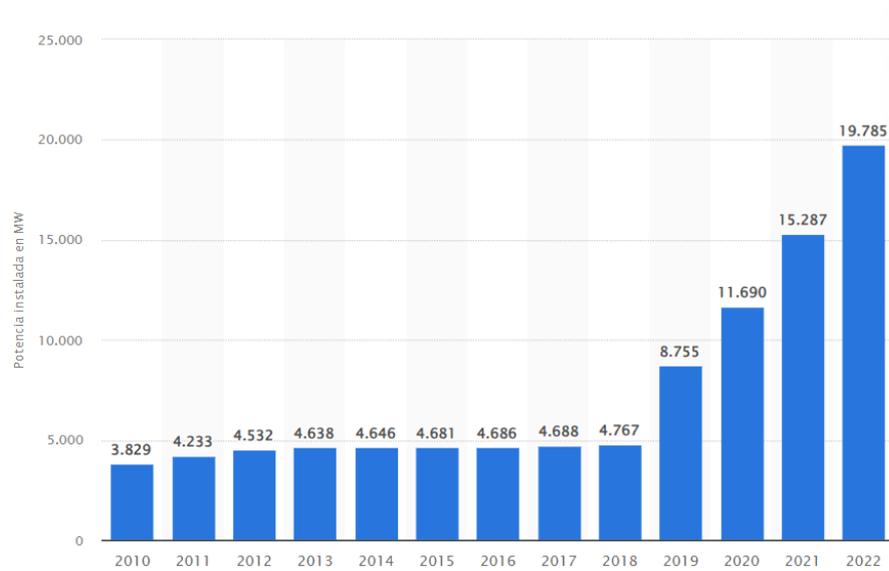


FIGURA 2.3 Potencia solar instalada en España 2010-2022 (FUENTE: [36])

Además, el aumento de la demanda de equipos solares ha provocado mayor competencia en este sector, lo que se traduce en una reducción de costes de esta tecnología, que se ha convertido en una de las más populares gracias a su facilidad de instalación, su rendimiento y capacidad de almacenamiento.

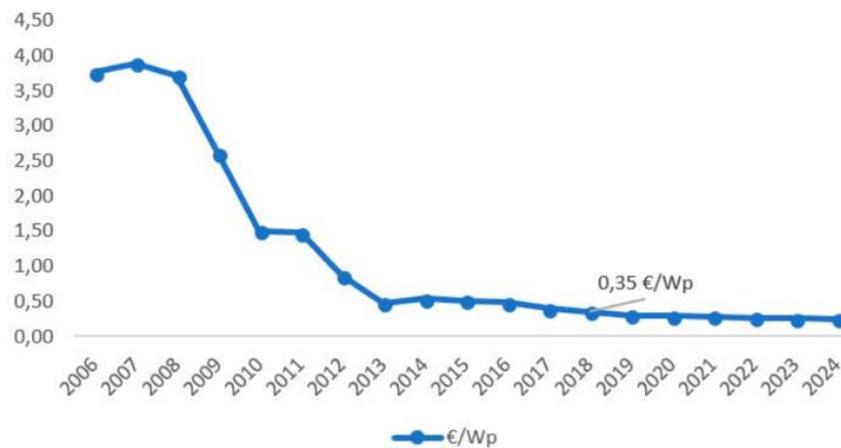


FIGURA 2.4 Precio de paneles solares en Europa €/Wp (Fuente: [36])

3. Tecnología fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, lo que ha llevado a un aumento en el número de empresas que participan en esta industria y, por lo tanto, una competencia intensa en el mercado para ofrecer soluciones más eficientes y a precios más bajos. Brindando así, una mayor accesibilidad a la energía solar con paneles más eficientes y precios más competitivos.

Este crecimiento ha sido impulsado por el desarrollo de nuevas tecnologías que han mejorado la eficiencia de conversión eléctrica de las células fotovoltaicas y han reducido drásticamente los precios de los paneles. En la actualidad, encontramos paneles solares más grandes y hasta un 80% más económicos que hace una década.

Es relevante destacar que aproximadamente el 90% de la tecnología fotovoltaica se basa en el uso de diferentes variaciones del silicio. [3]

3.1 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Las células fotovoltaicas son dispositivos eléctricos capaces de convertir la energía lumínica en energía eléctrica, en otras palabras, generan electricidad cuando son expuestas a la luz solar. En términos de fabricación, se distinguen dos tipos comunes de paneles: los de células monocristalinas o policristalinas, y una tercera opción menos común llamada capa fina o amorfa.

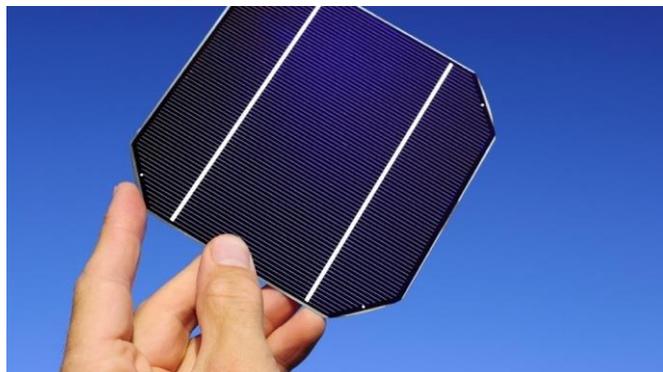


FIGURA 3.1 Célula solar de 0,5V (Fuente: [39])

3.1.1 COMPONENTES

Las células fotovoltaicas se componen principalmente de semiconductores, siendo el silicio el material más utilizado, debido a su abundancia en la corteza terrestre y sus propiedades. Para convertirse en semiconductor, el silicio se dopa con otros elementos, como fósforo o boro, generando una inestabilidad eléctrica que permite su funcionamiento en la absorción de luz.

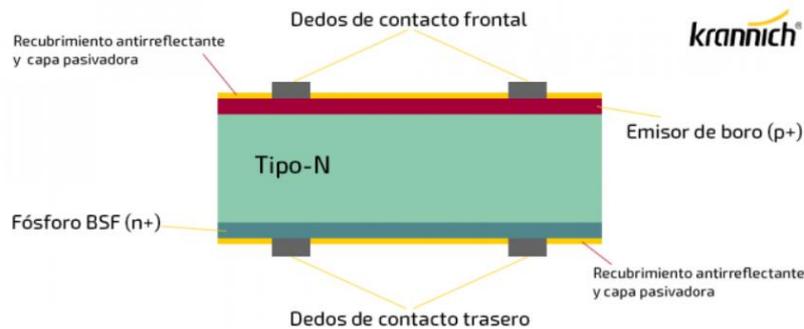


FIGURA 3.2 Composición de célula de silicio cristalino tipo N (Fuente: [37])

Se aplica un revestimiento anti reflejante sobre el cual se pega un adhesivo, cuya misión es sujetar el vidrio protector.

Las células solares están compuestas por tres capas principales. La primera capa, conocida como capa emisora, se encuentra en contacto directo con la radiación solar. La segunda capa es la capa intermedia o capa base. Esta capa actúa como una interfaz entre la capa emisora y la capa inferior, y juega un papel importante en la generación y el flujo de carga eléctrica dentro de la célula solar. La tercera capa es la capa inferior, que está metalizada con aluminio. Esta capa tiene la función de absorber la radiación infrarroja que logra atravesar las capas anteriores. [37]

El proceso de funcionamiento de las células solares es más simple de lo que parece: cuando la luz solar incide sobre la célula solar, una parte de ella es absorbida por el material semiconductor. Cada fotón absorbido genera un par electrón-hueco en el semiconductor. Estos electrones y huecos se dirigen a diferentes partes de la célula, y al estar conectados a través de un circuito externo, se genera la electricidad que puede ser utilizada para encender, por ejemplo, una bombilla. [2]

3.1.2 MONOCRISTALINO

Las células monocristalinas se caracterizan por su color negro y su forma con esquinas redondeadas.

Estas células son altamente eficientes, fabricadas con silicio de alta pureza, lo que les permite tener un rendimiento óptimo incluso en áreas con menor radiación solar.

Tienen una vida útil superior a 25 años y tienden a ser más efectivas en altas temperaturas. Sin embargo, su costo es mayor debido a la mayor cantidad de silicio requerida en su fabricación. Estas células se producen a partir de bloques de silicio cilíndricos, que se recortan en láminas para optimizar el rendimiento. [1]

La principal diferencia entre las células monocristalinas y policristalinas radica en la composición del cristal, ya que las monocristalinas están compuestas por un único tipo de cristal de silicio.



FIGURA 3.3 Ejemplo placa solar monocristalina y estructura atómica (Fuente: [38])

3.1.3. POLICRISTALINO

Los paneles policristalinos se destacan por su menor costo debido a un proceso de producción más económico. En general, tienen una eficiencia inferior en comparación con los paneles monocristalinos. Sin embargo, su desempeño a altas temperaturas es también menor debido a su menor tolerancia al calor. En condiciones normales, la eficiencia máxima de los paneles policristalinos alcanza el 16%, lo cual se debe a la menor cantidad de silicio que contienen.[1]

Al igual que los paneles monocristalinos, las células policristalinas también se fabrican utilizando obleas de silicio. Sin embargo, estas obleas provienen del corte de un bloque de silicio que está compuesto por un gran número de pequeños cristales de este mineral.



FIGURA 3.4 Ejemplo placa solar policristalina y estructura atómica (Fuente: [38])

3.1.4. CAPA FINA O AMORFA

Este tipo de paneles solares tiene una eficiencia que suele variar entre el 7% y el 13%, haciéndola poco atractiva actualmente, debido a que su competencia puede llegar más del doble de rendimiento.

Estos paneles se clasifican según el material utilizado, como silicio amorfo, telururo de cadmio, cobre, galio, indio y selenio, o células fotovoltaicas orgánicas.

Surgieron como alternativa en caso de escasez de silicio y presentan costos de producción más bajos. Aunque requieren más espacio para generar la misma cantidad de energía que los paneles monocristalinos o policristalinos, su precio es significativamente menor. Sin embargo, debido a la reducción de precios de los paneles cristalinos, han perdido participación en el mercado y su uso actualmente es limitado. [1]

Otra ventaja de los paneles de capa fina es su capacidad de mantener un buen rendimiento en altas temperaturas, y estéticamente son atractivos en aplicaciones arquitectónicas.



FIGURA 3.5 Ejemplo placa solar capa fina o amorfa (Fuente: [1])

3.1.5. COMPARACIÓN DE CÉLULAS

Las células monocristalinas son conocidas por tener la mayor eficiencia. Están fabricadas con silicio de alta pureza y tienen una apariencia uniforme y oscura. Sin embargo, su producción es más costosa debido al proceso de fabricación y al mayor uso de silicio. Perfectas para espacios limitados y en áreas con alta radiación solar.

Las policristalinas tienen una eficiencia ligeramente inferior a las monocristalinas, pero su proceso de fabricación es más económico. Están compuestas por múltiples cristales de silicio, lo que les da una apariencia azulada. Son una opción popular debido a su relación costo-eficiencia y son adecuadas para áreas luminosas.

Las células de capa fina o amorfas, tienen una eficiencia más baja en comparación con las cristalinas. Están compuestas por materiales semiconductores depositados en capas, lo que las hace más flexibles y livianas. Tienen un costo de producción más bajo y son más tolerantes a altas temperaturas. Pero ocupan más espacio para generar la misma cantidad de energía que las otras.

Tipo de panel solar	Ventajas	Inconvenientes
Monocristalinos	-Alto rendimiento (15%-22%) -Uso en espacios limitados. -Estéticamente atractiva.	-Precio algo más alto.
Policristalinos	- Precio algo más bajo	-Rendimiento y eficacia media (15%-17%)
Amorfos	- Bastante económico	-Obsoletos. - Requieren mucho espacio. - Muy bajo rendimiento(8%-10%)

Tabla 3.1 Comparación tipos de células solares (Fuente: [38])

En resumen, las células monocristalinas son las más eficientes, pero también las más costosas. Las células policristalinas ofrecen una buena relación costo-eficiencia. Las células de capa fina, como las amorfas, tienen una eficiencia más baja, pero son más económicas y flexibles. [38]



FIGURA 3.6 Tipos de paneles solares (Fuente: [38])

3.2. PANELES FOTOVOLTAICOS

Las placas fotovoltaicas, también conocidas como placas solares o paneles fotovoltaicos, son dispositivos tecnológicos diseñados para convertir la energía solar en energía eléctrica utilizable.

Estas placas están compuestas por múltiples celdas solares, conocidas como células fotovoltaicas, las cuales son las encargadas de captar la luz solar y convertirla en electricidad. Estas células están fabricadas principalmente con silicio, un material semiconductor que permite el flujo de electrones cuando la luz solar incide sobre ellas. Además, también se utilizan otros materiales como el arseniuro de galio, dependiendo de la configuración y las necesidades específicas de las placas solares.

La eficiencia energética es una característica fundamental de las placas solares, ya que permiten reducir el consumo de energía innecesaria.

En resumen, las placas fotovoltaicas son dispositivos tecnológicos que convierten la energía solar en energía eléctrica. Están compuestas por células solares fabricadas con materiales semiconductores, como el silicio, y son altamente eficientes en la conversión de la luz solar en electricidad. Estas placas desempeñan un papel crucial en la promoción de la eficiencia energética y la utilización de fuentes renovables para satisfacer nuestras necesidades energéticas. [3]

3.2.1. COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO DE LOS PANELES

La base de los paneles son las celdas solares, los demás componentes tienen como misión dar solidez y resistencia a la estructura que envuelve las celdas.

Marco metálico de aluminio: su misión es la de proporcionar estanqueidad y consistencia a la estructura.

Cubierta exterior de vidrio: tiene como objetivo proteger las celdas y permitir el paso máximo de radiación.

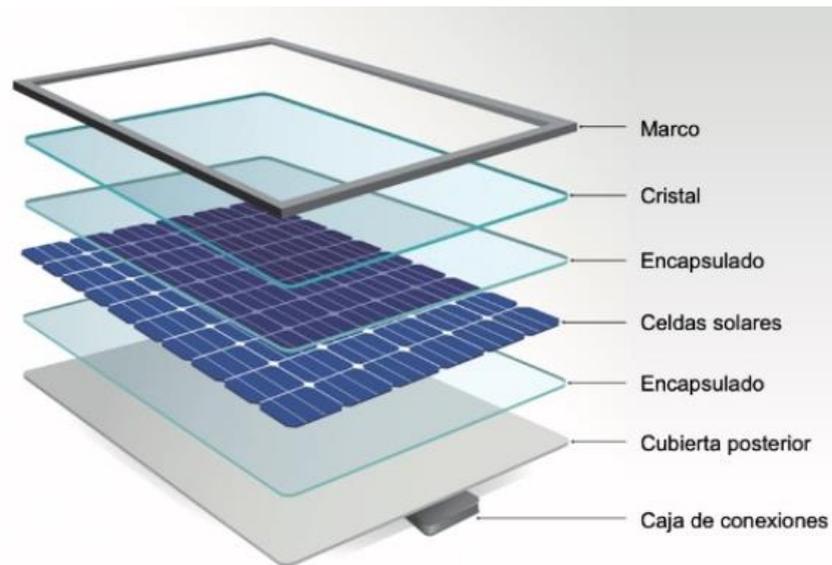


FIGURA 3.7 Partes que conforman una placa solar (Fuente: [2])

El tamaño de las placas solares viene determinado por el nº de celdas que lo conforman, generalmente:

- Uso residencial paneles de 60 celdas (6 filas de 10 celdas).
- Uso industrial paneles de 72 celdas (8 filas de 9 celdas)

Actualmente la gran variedad de tamaños, su mínimo mantenimiento y su bajo coste los hace una opción atractiva a empresas, residencias o entidades estatales.

Celda fotovoltaica

Es la unidad que conforma un panel fotovoltaico, fabricados con semiconductores, a nivel comercial el más usado es el silicio (Si), generalmente obtenido de la arena, donde se encuentra en forma de dióxido de silicio (SiO_2), también conocido como cuarzo (uno de los minerales más comunes en la corteza terrestre).

Cada célula contiene dos capas diferentes de semiconductores, la capa superior de tipo-N, contiene carga positiva, y la capa inferior tipo P, contiene carga negativa.

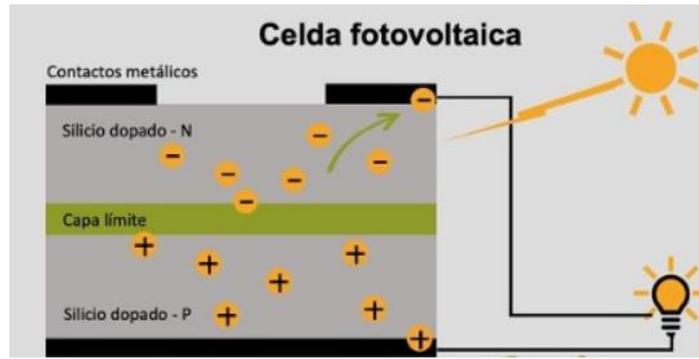


FIGURA 3.8 Principio básico de funcionamiento (Fuente: [41])

Cuando un rayo de luz incide sobre una célula solar, libera un electrón de la capa inferior, el cual es atraído por la capa superior (carga positiva), el desplazamiento provoca un flujo de electrones que genera una corriente eléctrica de baja potencia.

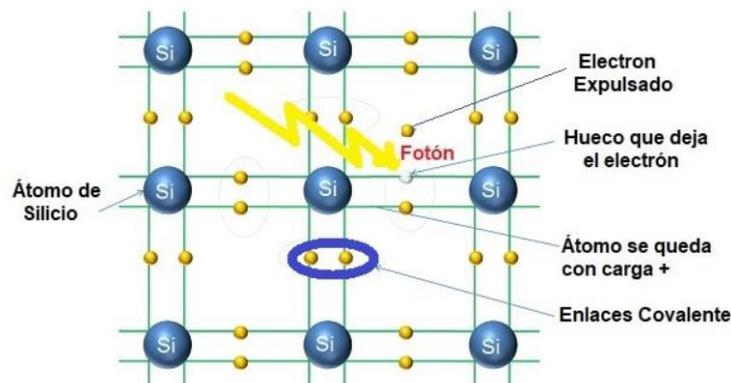


FIGURA 3.9 Modelo atómico celda solar (Fuente: [40])

Las celdas del panel fotovoltaico son capaces de captar la energía proveniente de la radiación solar, y transformarla en energía eléctrica, esto es debido a que estas celdas están fabricadas en silicio por medio de una unión P-N.

Al recibir luz solar, se crea un campo magnético, ya que el silicio tipo P se carga positivamente y el silicio tipo N negativamente, al conectar a un circuito externo, la fuerza electromotriz produce una circulación de electrones, generando corriente continua.

Tipo P: silicio puro dopado con átomos de fósforo con cinco electrones de valencia.

Tipo N: silicio puro dopado con 3 electrones de valencia.

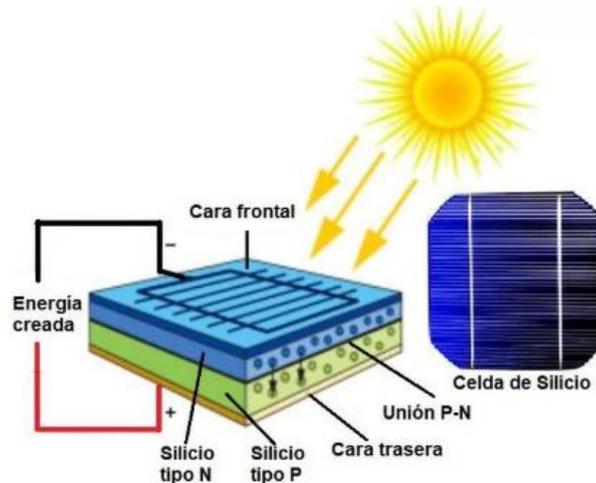


FIGURA 3.10 Funcionamiento módulo solar (Fuente: [42])

Una celda solar produce una potencia de 2-3 vatios (W), por ello, para conseguir una mayor potencia se unen en serie formando un conjunto (30-50 celdas) conocido como módulo fotovoltaico, este módulo en buenas condiciones de iluminación suministra entre 100W - 250W.

Actualmente la eficiencia de conversión de las celdas fotovoltaicas está comprendida entre 10-25% dependiendo del semiconductor, calidad de los componentes, tecnología de fabricación.

La electricidad generada por los paneles solares es de corriente continua (CC), por lo que generalmente se utiliza un inversor para convertirla en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad utilizada en la mayoría de los dispositivos eléctricos. Una vez convertida en corriente alterna, la electricidad puede ser utilizada directamente.

Es importante destacar que la eficiencia de los paneles solares puede verse afectada por diversos factores, como la intensidad y la calidad de la radiación solar, la temperatura ambiente y la limpieza de los paneles. Además, el rendimiento de los paneles solares puede variar según el diseño, la calidad de los materiales y la tecnología utilizada en su fabricación.

La mayoría de los paneles solares comerciales usan mono-Si y multi-Si.

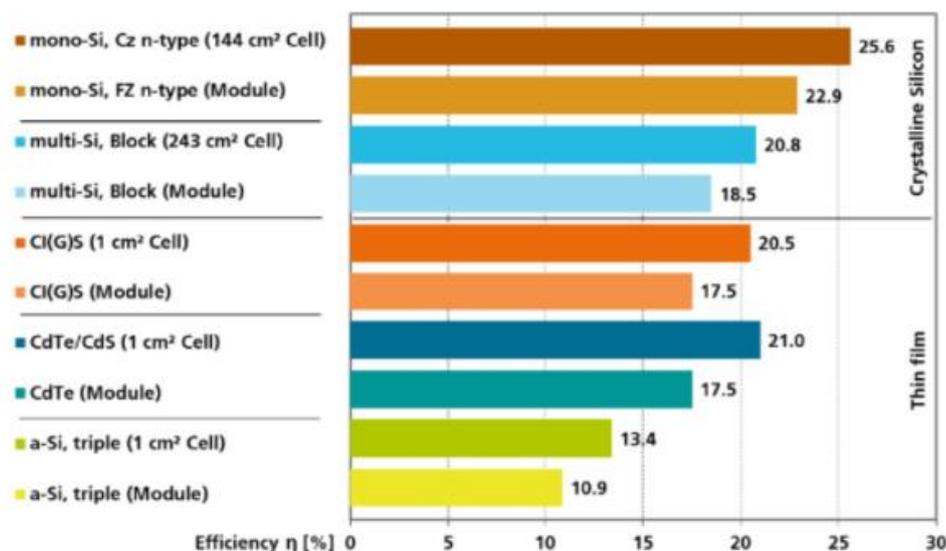


FIGURA 3.11 Eficiencia de celdas solares según tecnología y semiconductor empleado

(Fuente: [43])

3.2.3 ¿CÓMO SE FABRICAN LOS PANELES FOTOVOLTAICOS?

La fabricación de paneles solares es un proceso que utiliza materiales específicos y tecnología avanzada para aprovechar la energía del sol y convertirla en electricidad. Los paneles solares se dividen en dos tipos principales: colectores solares, que generan agua caliente, y paneles fotovoltaicos, que generan electricidad a partir de la radiación solar.

El material más comúnmente utilizado en la fabricación de paneles solares es el silicio cristalino, que se corta en pequeños discos. Estos discos se unen a un sustrato utilizando un cemento conductor térmico, que evita el sobrecalentamiento de los paneles. El vidrio se utiliza como protección para los paneles de silicio, proporcionando una barrera contra la humedad y la disipación de calor. [5]

En el interior del vidrio, los paneles solares cuentan con una capa de aislamiento y una lámina de seguridad, que protegen el panel de los cambios climáticos y la degradación. Estos componentes se combinan para crear un sistema eficiente que aprovecha la energía solar y la convierte en electricidad utilizable.

Los paneles solares tienen una larga vida útil, generalmente más de 25 años, y están diseñados para resistir la exposición a la intemperie y los cambios climáticos. Su funcionamiento es beneficioso tanto para el ahorro en el consumo de electricidad como

para la responsabilidad medioambiental, ya que contribuyen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir nuestra dependencia de fuentes de energía no renovables. [6]

3.3 INVERSORES

Un inversor es un dispositivo que convierte la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC) utilizable en los hogares y negocios. Su función principal es transformar la energía eléctrica generada por las células fotovoltaicas en una forma compatible con los electrodomésticos y equipos eléctricos convencionales. Esto permite aprovechar la energía solar y utilizarla para alimentar los dispositivos eléctricos en el interior de una vivienda o para inyectarla a la red eléctrica. Los inversores también controlan y regulan la potencia entregada a la carga, optimizando el rendimiento del sistema solar.

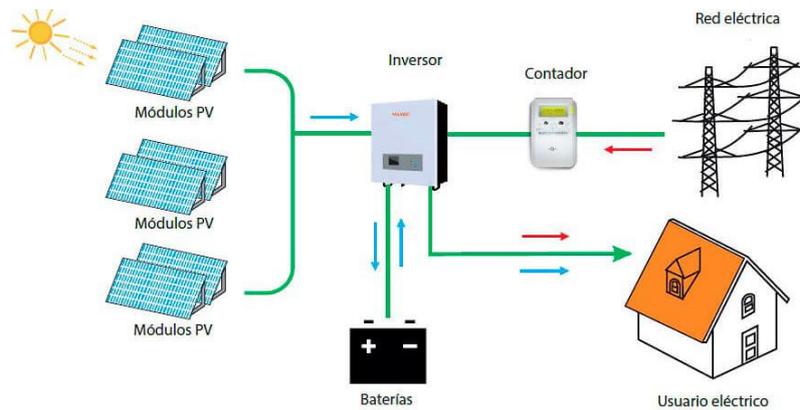


FIGURA 3.12 Esquema de inversor en instalación (Fuente: [43])

3.3.1 FUNCIONAMIENTO DE LOS INVERSORES

Las funciones principales de un inversor solar son las siguientes:

Transformación de la energía: El inversor convierte la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC) que es utilizada por los dispositivos eléctricos convencionales en hogares y negocios.

Mejora de la adquisición de energía: El inversor optimiza la producción de energía de los paneles solares. Esto se logra mediante técnicas como el rastreo máximo de puntos de potencia máxima (MPPT) que permiten que cada panel opere en su nivel de rendimiento óptimo, maximizando así la producción de energía global del sistema.

Monitoreo y seguridad: Los inversores solares realizan un monitoreo constante de los rendimientos energéticos del sistema fotovoltaico, detectando posibles problemas o fallos en la producción de energía. También proporcionan información sobre la actividad eléctrica del sistema, lo que facilita el mantenimiento y la resolución de cualquier problema técnico.

Operación constante: Los inversores garantizan una operación estable y constante del sistema solar fotovoltaico en diversas condiciones climáticas. Además, ayudan a mantener la temperatura adecuada en el sistema, evitando el sobrecalentamiento y asegurando un funcionamiento duradero y confiable. [7]

3.3.2 ELECCIÓN DE INVERSOR SEGÚN NECESIDADES

La elección del inversor solar es una decisión crucial en una instalación fotovoltaica, ya que determinará el rendimiento y la eficiencia del sistema. A la hora de seleccionar el inversor adecuado, es importante tener en cuenta el tipo de instalación que se va a realizar:

Inversores solares para sistemas aislados: Estos inversores permiten extraer la energía almacenada en las baterías, que ha sido captada por los paneles solares, y la suministran a los dispositivos y electrodomésticos de un hogar o sistema autónomo.

Estos inversores son ideales para instalaciones que no están conectadas a la red eléctrica.

Inversores solares de conexión a red: Estos inversores se utilizan en sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica. Recogen la energía solar generada por los paneles solares, la convierten en corriente alterna y la inyectan a la red eléctrica para su uso inmediato o para su venta a la compañía eléctrica.

Al tomar la decisión, es importante considerar el presupuesto disponible, el rendimiento deseado y los posibles costos de mantenimiento asociados. También se debe evaluar la compatibilidad del inversor con los paneles solares seleccionados y verificar si cumple con las normativas y certificaciones requeridas. [7]

3.4 SEGUIDOR SOLAR

Los seguidores solares son estructuras móviles que se utilizan en instalaciones solares fotovoltaicas para maximizar la producción de electricidad. Estos sistemas están diseñados para seguir el movimiento del sol a lo largo del día y optimizar el ángulo de incidencia de los paneles solares para recibir la máxima radiación solar.

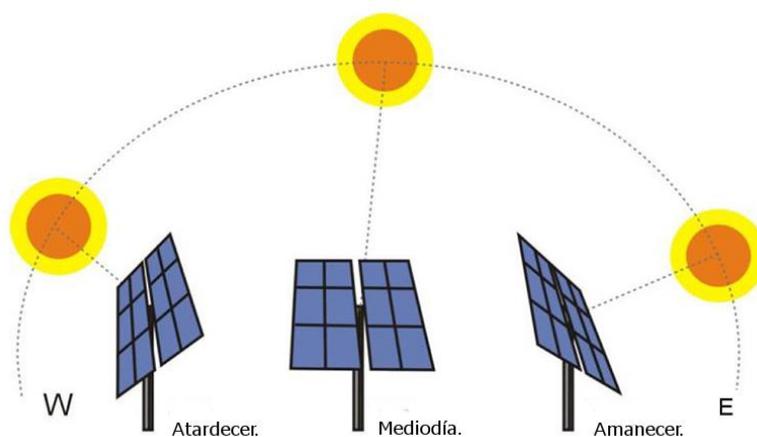


FIGURA 3.12.1 Funcionamiento de un seguidor solar (Fuente: [8])

Existen dos tipos principales de seguidores solares: de un eje y de dos ejes. Los seguidores de un eje siguen el movimiento del sol en un solo plano, generalmente el plano horizontal, mientras que los seguidores de dos ejes pueden moverse en dos planos, lo que les permite seguir tanto el movimiento horizontal como el vertical del sol.

Los seguidores solares pueden ser accionados por diferentes tipos de sistemas, como motores eléctricos, hidráulicos o incluso por gravedad. Los sistemas de control pueden ser manuales o automáticos. Los automáticos, utilizan sensores o programas de datos astronómicos para determinar la posición del sol y ajustar automáticamente el ángulo de los paneles solares.

La elección entre un seguidor solar y un sistema fijo dependerá de diversos factores, como el tamaño de la instalación, el presupuesto, la ubicación geográfica y las condiciones climáticas. Los seguidores solares son más comunes en grandes instalaciones solares y en áreas donde se requiere una mayor producción de energía. [9]

3.4.1 UN SOLO EJE

Un seguidor solar de un eje es un sistema que mueve los paneles solares en una sola dirección, generalmente se instalan alineándolos de norte a sur. Esta configuración permite que los paneles capturen la mayor radiación posible, siguiendo el movimiento del sol a medida que sale y se pone.

Este tipo de seguidor solar tiene un costo más bajo en comparación con un seguidor de dos ejes, lo que lo hace más asequible y adecuado para ciertas aplicaciones. Además, su diseño es más simple y se puede adaptar fácilmente a distintas instalaciones.

Sin embargo, los seguidores solares de un solo eje tienen una precisión de seguimiento solar inferior en comparación con los seguidores de dos ejes. Esto significa que capturan menos energía solar a lo largo del día, lo que puede resultar en una producción de electricidad ligeramente menor en comparación con los sistemas de dos ejes.

3.4.2 DOS EJES

Un seguidor solar de dos ejes es un sistema que permite que los paneles solares se muevan en dos ejes diferentes: uno alineado de norte a sur y otro de este a oeste. Esto permite un seguimiento preciso del movimiento del sol a lo largo del día y del año.

El seguidor de dos ejes está diseñado para maximizar la captación de energía solar durante todo el año. Puede ajustar automáticamente la posición de los paneles solares para seguir las variaciones estacionales en la altura del sol, además del movimiento diario normal.

Este tipo de sistema es especialmente beneficioso en áreas donde la posición del sol en el cielo varía considerablemente entre los meses de verano e invierno, como en latitudes altas. Al permitir un seguimiento más preciso del sol, los seguidores de dos ejes pueden maximizar la producción de energía solar en estas regiones.

Además, los seguidores de dos ejes son más comunes en lugares con espacio limitado, ya que permiten una mayor densidad de paneles solares en un área determinada.

3.4.3 VENTAJAS DE LOS SEGUIDORES SOLARES

Ventajas de los seguidores solares:

Rentabilidad: Las instalaciones con seguidores solares automáticos pueden tener una vida útil de hasta 30 años y suelen amortizarse en un período de entre cinco y diez años.

Eficiencia: ofrecen un impulso en la producción de electricidad. En general, las instalaciones con un seguimiento en un eje pueden experimentar un aumento de rendimiento de entre el 25% y el 35%. Si se utiliza un sistema de seguimiento en dos ejes, el rendimiento puede aumentar un 5% adicional, llegando hasta un 10% en algunos casos. Ya que los seguidores solares permiten que los paneles solares estén siempre orientados de manera óptima hacia el sol, maximizando la captación de radiación solar.

Adaptabilidad a la ubicación: son especialmente beneficiosos en zonas de alta latitud donde la posición del sol varía drásticamente entre los meses de invierno y verano. Esto es especialmente importante en áreas con un alto costo de energía eléctrica, ya que permite reducir la dependencia de la red eléctrica convencional.

3.4.4 DESVENTAJAS DE LOS SEGUIDORES SOLARES

Las desventajas de los seguidores solares son:

Coste: El principal inconveniente de los seguidores solares es su mayor costo de instalación y mantenimiento en comparación con los sistemas solares fijos. Los seguidores solares requieren componentes más complejos y móviles, lo que incrementa su costo inicial.

Mantenimiento: Debido a su mayor complejidad, los seguidores solares pueden requerir un mantenimiento más frecuente y exhaustivo en comparación con los sistemas solares fijos. Esto puede generar costos adicionales a lo largo de la vida útil de la instalación.

Peso: Los seguidores solares suelen tener un peso considerable, lo que puede dificultar su instalación en techos. En general, se recomienda instalar sistemas de seguimiento solar en terrenos abiertos donde puedan ser adecuadamente soportados.

Consumo de energía: Otra desventaja importante es el consumo de energía adicional que requieren los seguidores solares para su funcionamiento. En el pasado, algunos modelos de seguidores solares no eran tan eficientes y consumían más energía de la que podían generar adicionalmente, lo que reducía su rentabilidad. Sin embargo, con avances tecnológicos, esta desventaja se ha ido reduciendo y muchos seguidores solares actuales son más eficientes.

Consumo adicional de energía: En sus primeras etapas de desarrollo, los seguidores solares no eran tan eficientes y podían consumir más energía de la que eran capaces de generar. Sin embargo, con los avances tecnológicos y mejoras en el diseño, se ha logrado reducir significativamente su consumo energético adicional, aunque todavía existe un consumo extra asociado al seguimiento del sol, que puede afectar la rentabilidad del sistema.

3.4.5 ¿ES RECOMENDABLE INSTALAR UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR EN UNA VIVIENDA?

La instalación de paneles solares en el tejado es la opción más común y rentable para las viviendas residenciales en términos de costos y espacio requerido. Por lo tanto, la mayoría de los sistemas solares residenciales no utilizan seguidores solares.

Si el tejado está orientado hacia el sur (en el hemisferio norte), los paneles solares estarán posicionados para captar la máxima radiación solar, lo que reduce la necesidad de un sistema de seguimiento. Los seguidores solares son más recomendables en zonas de alta latitud, donde el movimiento del sol varía a lo largo del año.

Por lo general, los seguidores solares se utilizan en instalaciones comerciales de gran escala que superan los 1 MW. Además, las instalaciones comerciales suelen contar con grandes áreas de terreno disponibles, lo que permite la instalación de seguidores solares.

3.5 BATERIAS SOLARES

La incorporación de una batería en una instalación fotovoltaica es un componente crucial que permite aprovechar al máximo la energía solar generada por los paneles. En lugar de desperdiciar el excedente de energía producido en momentos de alta generación, la batería almacena esta energía para su uso futuro.

El almacenamiento de energía en la batería resulta especialmente beneficioso durante las horas en las que la producción de energía solar es limitada o nula, como durante la noche o en días nublados. Gracias a la batería, es posible utilizar la energía almacenada en esos momentos para mantener el suministro eléctrico continuo y evitar depender exclusivamente de la generación solar en tiempo real.

Una de las ventajas clave de contar con una batería en el sistema solar es la posibilidad de alcanzar la autosuficiencia energética y reducir la dependencia de la red eléctrica convencional. Cuando la batería se dimensiona adecuadamente según las necesidades de consumo y la capacidad de generación de los paneles solares, es posible cubrir gran parte de la demanda eléctrica con energía limpia y renovable.

Es importante mencionar que aunque la incorporación de una batería proporciona muchos beneficios, su uso no es obligatorio ni imprescindible para todas las instalaciones fotovoltaicas. La elección de añadir una batería dependerá de las necesidades energéticas del usuario, los objetivos de eficiencia y autosuficiencia, así como de los costos y viabilidad general del proyecto solar. Cada caso debe ser evaluado individualmente para determinar la conveniencia de incluir una batería en el sistema solar. [10]

3.5.1 ¿CÓMO OPERA UN SISTEMA DE PLACAS SOLARES CON BATERÍA?

Durante el día, la instalación genera energía solar gratuita que se utiliza en el hogar. Si produces más energía de la que necesitas, esta energía no consumida se almacena en la batería fotovoltaica hasta su carga máxima y el resto se vierte a la red de distribución eléctrica, y se compensa en la factura mensual.

Por la noche, cuando la instalación solar no genera energía, consume la almacenada en la batería sin coste y cuando se agota, se vuelve a consumir energía de la red.

3.5.2 VENTAJAS

La incorporación de una batería en tu instalación fotovoltaica es una excelente manera de aprovechar al máximo tu sistema solar. Esto se debe a que ofrece diversas ventajas:

Incremento de la rentabilidad: Al almacenar la energía excedente producida por los paneles solares, se puede utilizar posteriormente durante las horas sin luz solar, lo que reduce la necesidad de comprar electricidad de la red eléctrica y acorta el tiempo necesario para recuperar la inversión en la instalación.

Mayor independencia de la red eléctrica, lo que protege de posibles aumentos en los precios de la electricidad.

Contribuye a la reducción de la huella de carbono del hogar al disminuir las emisiones de CO₂, ya que utiliza energía limpia y renovable.

Maximiza el ahorro en la factura de luz, con la posibilidad de reducir costos hasta en un 80%.

3.5.3 DESVENTAJAS

Coste de instalación y mantenimiento: Las baterías solares pueden ser costosas de instalar, lo que puede aumentar el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial. Además, las baterías requieren un mantenimiento adecuado para garantizar su óptimo funcionamiento y vida útil, lo que también implica costos adicionales.

Eficiencia de almacenamiento: A pesar de los avances tecnológicos, las baterías todavía pueden presentar ciertas pérdidas de energía durante el proceso de almacenamiento y descarga, lo que puede afectar ligeramente la eficiencia del sistema en general.

Ciclos de vida limitados: Las baterías tienen una vida útil finita y su rendimiento tiende a degradarse con el tiempo y el uso repetido, lo que puede requerir su reemplazo después de ciertos ciclos de carga y descarga. [11]

3.5.3 ¿CÓMO ESTÁ FORMADA UNA BATERÍA SOLAR?

El funcionamiento de las baterías fotovoltaicas se basa en un proceso de reducción-oxidación, donde se produce un flujo de corriente eléctrica entre un polo positivo y un polo negativo. Estas baterías están compuestas por electrolitos que permiten el flujo de corriente hacia el exterior de la batería.

La velocidad de carga y descarga de la batería es un parámetro importante que determina la eficiencia y durabilidad de la misma. Cuanto más rápido se cargue y descargue la batería, mayor será el desgaste y menor será su vida útil.

La profundidad de carga es otro factor a tener en cuenta. Mide la cantidad de energía eléctrica que se puede introducir en la batería durante cada ciclo de carga. Una mayor profundidad de carga significa que se está utilizando más energía de la batería en cada ciclo, lo que puede disminuir su vida útil. Por esta razón, se recomienda no descargar las baterías solares más del 50% de su capacidad para prolongar su vida útil.

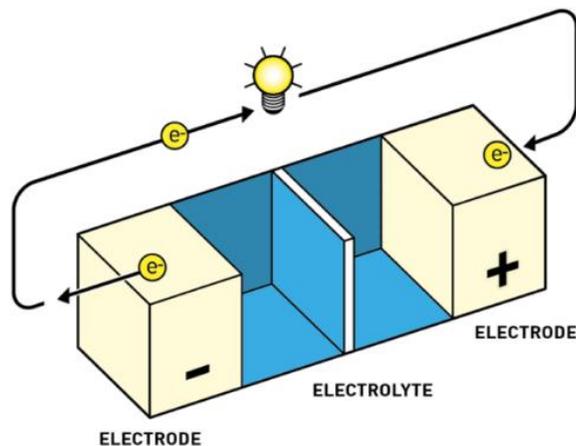


FIGURA 3.13 Forma de almacenamiento de energía de una batería (Fuente: [45])

Al colocar una carga entre los polos de una batería, vamos a poder definir, por una parte, el ánodo o electrodo negativo, el cual va a desprender electrones, también denominados reacciones de oxidación.

Por el otro lado tenemos el cátodo o electrodo positivo, esta sustancia es la encargada de recibir los electrones desprendidos del ánodo, este proceso de captura de electrones se los conoce como reacciones de reducción o reacción inversa de oxidación.

Para separar el ánodo del cátodo dentro de la batería, se utiliza el electrolito el cual mantiene el equilibrio, esta sustancia permite el flujo de iones (no de electrones), que reequilibran la carga en ambos lados. [45]

3.5.4 TIPOS DE BATERIAS

Existen varios tipos de baterías solares clasificadas según su tecnología de fabricación:

Baterías solares AGM: Son adecuadas para pequeñas instalaciones y no requieren mantenimiento. Son versátiles y pueden someterse a ciclos de descarga profunda sin problemas. Tienen una vida útil de aproximadamente 5 a 10 años.

Baterías fotovoltaicas Monoblock: Se utilizan principalmente en instalaciones aisladas de bajo consumo o uso esporádico, como iluminación. Tienen una vida útil de alrededor de 4 a 5 años.

Baterías solares estacionarias: Son ideales para instalaciones residenciales con altos y continuos consumos de energía. Ofrecen una excelente relación calidad-precio en el sector.

Baterías de litio para paneles solares: Son ligeras, compactas y tienen tiempos de carga rápidos. Son adecuadas para cualquier tipo de instalación y no requieren mantenimiento. Además, son más sostenibles ya que no emiten gases contaminantes. Sin embargo, son más costosas en comparación con otras.



FIGURA 3.14 Tipos de baterías (Fuente: [44])

3.6 SMART METER

El Smart Metering desempeña un papel fundamental en las Smart Cities del futuro, ya que combina tecnología y participación ciudadana a través del Internet de las Cosas (IoT). En este contexto, el Smart Metering se basa en el uso de Smart Meters o telecontadores, que son medidores eléctricos digitales capaces de recopilar información sobre el consumo de energía y transmitirla de forma segura.

Tanto los consumidores como los operadores de la red eléctrica se benefician de las lecturas de los Smart Meters. Los consumidores pueden tener acceso en tiempo real a información detallada sobre su consumo energético, lo que les permite tomar decisiones informadas, como desconectarse de la red eléctrica en momentos de precios altos y aprovechar su propia generación de energía para el autoconsumo.

Por otro lado, los operadores de la red eléctrica pueden medir y transmitir de manera periódica el consumo eléctrico de regiones completas gracias a los Smart Meters. Esto les permite anticiparse a los picos y valles de demanda y ajustar la producción eléctrica de manera más eficiente y precisa de acuerdo con las necesidades reales del mercado e incluso informa al cliente y/o compañía si ha habido cualquier avería o fallo en el sistema. [15]



FIGURA 3.15 Equipo de medición digital Smart Meter (Fuente: [46])

3.6.1 BENEFICIOS

Los Smart Meters, o medidores inteligentes, proporcionan una serie de beneficios significativos tanto para las compañías eléctricas como para los clientes de la red de suministro eléctrico, entre ellos:

Detección de averías: Los Smart Meters permiten a las compañías eléctricas detectar y solucionar rápidamente cualquier problema o avería en la red de suministro, lo que contribuye a mejorar la confiabilidad y eficiencia del sistema.

Control y gestión de la información: Estos dispositivos proporcionan datos precisos y detallados sobre el consumo de energía, lo que permite a las compañías eléctricas realizar un mejor seguimiento y gestión de la demanda energética. Esto puede resultar en beneficios económicos al optimizar la generación y distribución de energía.

Monitorización del consumo en tiempo real: Los clientes pueden acceder a la información de su consumo de energía casi en tiempo real, lo que les permite tomar decisiones informadas sobre su consumo y ajustar sus hábitos energéticos para lograr mayor eficiencia y ahorro.

Para que los Smart Meters sean accesibles se pueden emplear diferentes medios:

-Publicación en línea de los datos recolectados por parte de los operadores de la red de distribución, lo que permite a los clientes consultar su consumo a través del portal web de su distribuidora.

-Plataformas únicas que centralizan los datos de todos los consumidores, facilitando el acceso a la información de consumo de manera más conveniente.

-Acceso directo al medidor por parte del cliente a través de una conexión de comunicación como wifi o red LAN, lo que permite una información en tiempo real. [14]

4. Diseño de prototipo

4.1 DESCRIPCIÓN

En esta etapa del trabajo se va a definir todo lo relacionado con el prototipo, los equipos que intervienen y sus características, elementos electrónicos que conforman el circuito, el diseño de las piezas que componen la estructura de soporte, la programación del código entre otras.

4.2 EQUIPOS Y ELEMENTOS DEL PROTOTIPO

4.2.1 ARDUINO MEGA 2560

La placa electrónica Arduino mega 2560 contiene un microcontrolador programable con 26 pines que permiten establecer las conexiones necesarias para la recepción de señales y el control de motores u otros.

Se ha optado por el uso de este dispositivo debido a su facilidad de programación, ya que usa programación en C adaptada a la electrónica, además debido a su gran éxito en el mercado, es un equipo cuyo precio es económico y bastante fiable.

Al tratarse de un programa de código libre, es decir, el programa es totalmente gratuito, los usuarios que trabajan con esta placa son numerosos, por tanto se encuentra con relativa facilidad programadores que pueden mejorar el código.

Microcontrolador	ATmega2560
Frecuencia de reloj	16 MHz
Voltaje de trabajo	5V
Voltaje de entrada	5-7 V
Pines E/S digital	52 (15 con salida PWM)
Pines entrada analógicos	16
Memoria	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
PESO	37 g
Corriente continua por pin E/S	20 mA
Corriente continua para pin de 3,3 V	50 mA

Tabla 4.1 Características Arduino Mega 2560 (Fuente: [18])

Esta placa tiene las siguientes dimensiones:

-Longitud: 101,52 mm

-Ancho: 53,3 mm

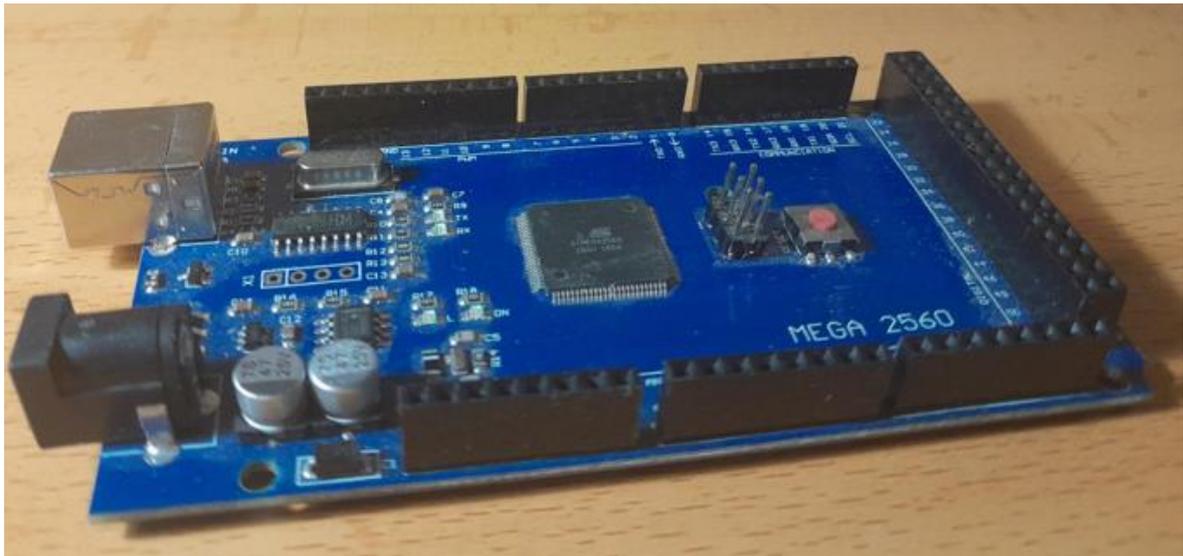


FIGURA 4.1 Fotografía Arduino Mega 2560 [Fuente: elaboración propia]

4.2.2 MOTOR NEMA 23

El motor NEMA 23 es un tipo de motor paso a paso que se utiliza en diversas aplicaciones debido a sus características destacadas. Algunas de sus principales características son:

Tamaño y estructura: Pertenece a la serie NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) y se caracteriza por tener una carcasa cuadrada con dimensiones de 2.3 x 2.3 pulgadas (aproximadamente 58.4 x 58.4 mm). Esta estructura robusta lo hace adecuado para soportar cargas y movimientos precisos.

Par de torsión: Es capaz de proporcionar un alto par de torsión, lo que significa que puede generar fuerzas de giro significativas.

Paso y ángulo: El motor NEMA 23 tiene un ángulo de paso típico de 1.8 grados por paso, lo que significa que para realizar una rotación completa, requiere 200 pasos (360 grados / 1.8 grados por paso). Este paso fino permite un control preciso del movimiento y la posición.

Voltaje y corriente: Pueden funcionar con diferentes tensiones y corrientes, lo que proporciona flexibilidad para adaptarse a diferentes requisitos de energía en las aplicaciones.

Velocidad: Pueden alcanzar velocidades relativamente altas, lo que los hace adecuados para aplicaciones que requieren movimientos rápidos y eficientes.

El motor NEMA 23 se utiliza en diversas aplicaciones que requieren un posicionamiento preciso y repetible, así como un control de movimiento eficiente. Debido a su alta precisión y par de torsión, es comúnmente utilizado en impresoras 3D, máquinas CNC, equipos de automatización industrial, equipos de grabado, y otros dispositivos que requieren movimientos controlados y repetitivos. Su versatilidad y rendimiento lo convierten en una opción popular en el ámbito de la automatización y la mecatrónica. [20]

Voltaje Motor	4,0V
Voltaje Driver	12/24/36 V
Intensidad	2,1A
Resistencia	2Ω
Inductancia	4,4 mH
Torque	10 kg/cm
Pasos por vuelta	200
Ángulo de paso	1,8°
Diámetro del eje	6,35 mm

Tabla 4.2 Características motor NEMA 23 (Fuente: [19])



FIGURA 4.2 Fotografía motor PAP NEMA 23 [Fuente: elaboración propia]

4.2.3 MOTOR NEMA 17HS4401

El motor NEMA 17HS4401 es una opción popular y ampliamente utilizada en aplicaciones que requieren un motor paso a paso de tamaño medio con un buen equilibrio entre rendimiento y espacio. Si bien presenta características destacadas, es importante contrastarlo con el motor NEMA 23 para comprender sus diferencias y ventajas relativas.

En comparación con el motor NEMA 23, el NEMA 17HS4401 es más pequeño y tiene dimensiones más compactas. Esto lo convierte en una elección preferida cuando el espacio es limitado o se necesita una solución más compacta. En aplicaciones donde el tamaño es una consideración crucial, el motor NEMA 17HS4401 puede ser la mejor opción.

Por otro lado, el motor NEMA 23 es más grande y tiene un par de torsión generalmente más alto en comparación con el NEMA 17HS4401. Esto significa que el motor NEMA 23 puede manejar cargas más pesadas y proporcionar una mayor fuerza de giro. En aplicaciones que requieren un mayor rendimiento y capacidad de carga, el motor NEMA 23 sería la opción preferida.

En términos de precisión y ángulo de paso, ambos motores tienen un funcionamiento similar, con un ángulo de paso típico de 1.8 grados por paso. Esto permite un control preciso del movimiento en ambas opciones.

Voltaje Motor	12,0V
Voltaje Driver	12/24/36 V
Intensidad	1,5 A
Resistencia	1,5 Ω
Inductancia	2,8 mH
Torque	4 kg/cm
Pasos por vuelta	200
Ángulo de paso	1,8°
Diámetro del eje	5,0 mm

Tabla 4.3 Características motor NEMA 17HS4401 (Fuente: [21])

La elección entre el motor NEMA 17HS4401 y el NEMA 23 dependerá de los requisitos específicos de cada aplicación. Si el espacio y el tamaño son críticos, el NEMA 17HS4401 puede ser la opción adecuada. Por otro lado, si se necesita una mayor capacidad de carga y rendimiento, el NEMA 23 sería la opción más viable.



FIGURA 4.3 Fotografía motor PAP NEMA 17 [Fuente: elaboración propia]

4.2.4 BATERÍA DSK

La utilización de la batería se justifica en instalaciones aisladas o desconectadas de la red eléctrica, donde no hay acceso a una fuente de suministro constante. En estos casos, la batería cumple un papel fundamental al permitir el almacenamiento de la energía generada por los paneles solares durante las horas de sol para su uso posterior durante las horas en las que no hay luz solar y la instalación fotovoltaica no produce energía.

Al tratarse de una batería recargable y sellada, su composición de Plomo-ácido con tecnología AGM ofrece varias ventajas para este tipo de aplicaciones. El uso de separadores de fibra de vidrio entre las placas de plomo impide que el ácido se mueva libremente, lo que mejora la rapidez de absorción del ácido sulfúrico y evita derrames en condiciones ambientales. Además, la capacidad de regular su presión interna mediante válvulas brinda una mayor seguridad durante el funcionamiento.

En instalaciones conectadas a la red eléctrica, donde la energía generada por los paneles solares se vierte a la red y se compensa en la factura mensual, la utilización de una batería no sería necesaria, ya que la energía se consume directamente o se vierte a la red sin almacenarla para uso posterior. Sin embargo, en instalaciones aisladas, como viviendas en zonas rurales o casas de campo, la batería se convierte en un elemento esencial para garantizar el suministro eléctrico continuo y aprovechar al máximo la energía solar generada.

Este tipo de baterías no requiere mantenimiento y tiene la capacidad de regular su presión interna mediante válvulas, por lo que las hace perfectas para el uso en condiciones ambientales.

Voltaje nominal	12 V
Max. Corriente	2,1 A
Amperios hora	7 Ah
Longitud	151 mm
Amplitud	65 mm
Altura	94 mm
Peso	2 kg

Tabla 4.4 Características batería DSK (Fuente: [25])



FIGURA 4.4 Fotografía batería DSK 12Vcc [Fuente: elaboración propia]

4.2.5 PANEL SOLAR PLICRISTALINO ATERSA 12V

El panel solar utilizado tiene una configuración específica de células en serie, lo que le permite suministrar una corriente continua de 12 V. Esta característica lo hace ideal para equipos de pequeño consumo. Aunque es un panel pequeño, su potencia es suficiente para alimentar una bombilla de bajo consumo durante un periodo de tiempo aceptable. Además, es capaz de cargar la batería DSK de 12 V, la cual tiende a descargarse debido a que los equipos se alimentan de este.

Potencia ($\pm 10\%$)	5 W
Corriente Punto Máxima Potencia (I_{mp})	0,35 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (V_{mp})	16,5 V
Corriente en cortocircuito (I_{sc})	0,4 A
Tensión de circuito abierto (V_{oc})	20,5 V
Máxima tensión del sistema	600V
Peso	1,1 kg
Longitud	365 mm
Amplitud	195 mm
Alto	25 m

Tabla 4.5 Características panel solar Atersa 12V (Fuente: [27])



FIGURA 4.5 Fotografía panel solar 5 W [Fuente: elaboración propia]

4.2.6 REGULADOR DE TENSIÓN ISOLER M

Se trata de un dispositivo cuya misión es mantener una tensión de salida constante, en este caso 12 V de corriente continua, además de proteger de sobrecargas a la batería, evita una descarga excesiva de esta.

Cuenta con una protección contra inversión de polaridad e indicador luminoso que nos advierte del estado de la batería. Además, nos permite trabajar con dos tecnologías de baterías AGM y SLI

Tensión 12V	SLI MOD	AGM
ALARMA DE TENSIÓN ALTA	15.18	14.88
TENSIÓN DE IGUALACIÓN (30 MIN)	14.70	N.A
TENSIÓN DE CARGA PROFUNDA (3 SEG)	14.70	14.70
TENSIÓN DE FLOTACIÓN	14.1	14.1
TENSIÓN DE RECARGA PROFUNDA	12.60	12.60
ALARMA DE TENSIÓN BAJA	11.80	11.52
TENSIÓN DE DESCONEXIÓN DE CONSUMO	11.60	11.40
TENSIÓN DE RECONEXIÓN DE CONSUMO	12.70	12.70

Tabla 4.6 Características regulador de tensión Isoler (Fuente: [47])



FIGURA 4.6 Fotografía regulador de tensión Isoler M5 [Fuente: elaboración propia]

4.2.7 MICROSTEP DRIVER ARCELI TB6600

Se trata de un controlador de motores paso a paso bipolar, que cuenta con el chip TB6600, que nos permite controlar motores de hasta 3,5 A, y tensiones de 9 a 42 V, además cuenta con protección de sobrecorrientes y es totalmente compatible con Arduino u otro software que genere señales de 5 V.

Este controlador dispone de 7 resoluciones diferentes de microstepping y limitación de corriente ajustable con 8 posiciones (0.5A, 1A, 1.5A, 2A, 2.5A, 2,8A, 3A y 3,5A)

Corriente de entrada	0-5A
Salida de corriente	0,5 - 4A (Ajustable)
Señales de control	3,3 - 24V
Potencia máxima	160 W
MicroStep	1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32
Temperatura de funcionamiento	-10 a 45 °C
Humedad	Sin condensación
Dimensiones	96x56x33 mm
Peso	200 g

Tabla 4.7 Características controlador driver Arceli TB6600 (Fuente: [29])



FIGURA 4.7 Fotografía controlador motores Microstep Driver [Fuente: elaboración propia]

4.3. PROTOTIPO DEL SEGUIDOR SOLAR

4.3.1 INTRODUCCIÓN

Para llevar a cabo este proyecto, se procederá a la creación de un prototipo utilizando una placa protoboard y los componentes necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del equipo.

Para verificar la fiabilidad tanto del circuito electrónico como el código programado, se ha fabricado una plataforma que nos permite hacer pruebas de funcionamiento.

Para la fabricación de las piezas que conforman la estructura del soporte solar se ha usado filamento de plástico (PLA), por medio de una impresora 3D se le ha dado la forma requerida.

Antes de iniciar, es importante determinar el tipo de instalación que se llevará a cabo, pudiendo ser una instalación fija, de un eje o de dos ejes.

Para el propósito de este trabajo se optará por un sistema de dos ejes, aunque el sistema de un eje aumenta significativamente la producción de energía entre un 25% -35%, haciéndolo bastante atractivo, el de dos ejes suma un 5% más, es decir, va a obtener un 30%-40%, y teniendo en cuenta la premisa del trabajo que es conseguir el mayor rendimiento posible, la elección es clara.

Los componentes esenciales para el desarrollo del prototipo, que van a permitir el control y el movimiento del seguidor solar se detallan a continuación. Tal es su importancia que se han seleccionado cuidadosamente para ajustarse a los requerimientos del proyecto.

A continuación, se detallan los componentes necesarios para la construcción del prototipo:

- Placa protoboard
- Arduino Mega 2560 y cable de conexión USB
- 4 fotoresistencias
- Resistencias de 220 Ω
- Resistencias de 330 Ω
- 3-6 LEDs de diferentes colores

- 4 finales de carrera
- 2 Motores paso a paso (PAP)
- 2 Controladores Microstep
- Batería de 12 Vcc o fuente de alimentación de 12-20 Vcc



FIGURA 4.8 Fotografía componentes electrónicos y eléctricos [Fuente: elaboración propia]

4.3.2 CONFIGURACIÓN MICROSTEP DRIVER Arceli TB6600

El Microstep Driver es el encargado de controlar el motor paso a paso, lo primero es configurar los pulsos que necesitamos, el dispositivo se puede configurar de 200 a 6400 pulsos. Las diferentes opciones de trabajo vienen identificadas en la carcasa delantera del controlador.

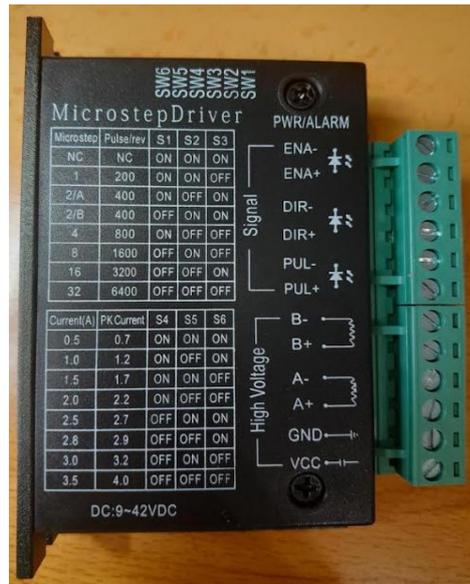


FIGURA 4.9 Fotografía tabla de configuraciones del Driver [Fuente: elaboración propia] Mediante un sistema de mini-interruptores ubicados en la parte superior del driver, elegimos la configuración deseada, en este trabajo usaremos 1600 pulsos. Es decir:

- S1 = OFF (Interruptor hacia arriba).
- S2 = ON (Interruptor hacia abajo).
- S3 = OFF (Interruptor hacia arriba).



FIGURA 4.10 Fotografía interruptores de configuración [Fuente: elaboración propia]

El driver además nos permite configurar la corriente (A) de salida, esta nos va a proporcionar el par (N/m) requerido para el movimiento del motor. En este trabajo, se ha establecido la necesidad de tener como mínimo una corriente de 2,5 A (Ver imagen anterior).

S4 = ON (Interruptor hacia abajo)

S5 = OFF (Interruptor hacia arriba)

S6 = OFF (Interruptor hacia arriba)

En la siguiente imagen podemos observar la disposición de los puertos de salida, los cuales están divididos en dos bloques, señales (signal) y alimentación (high voltaje).

Señales: Habilitación / Dirección / Pulso.

Alimentación: Devanado B / Devanado A / Tensión continua

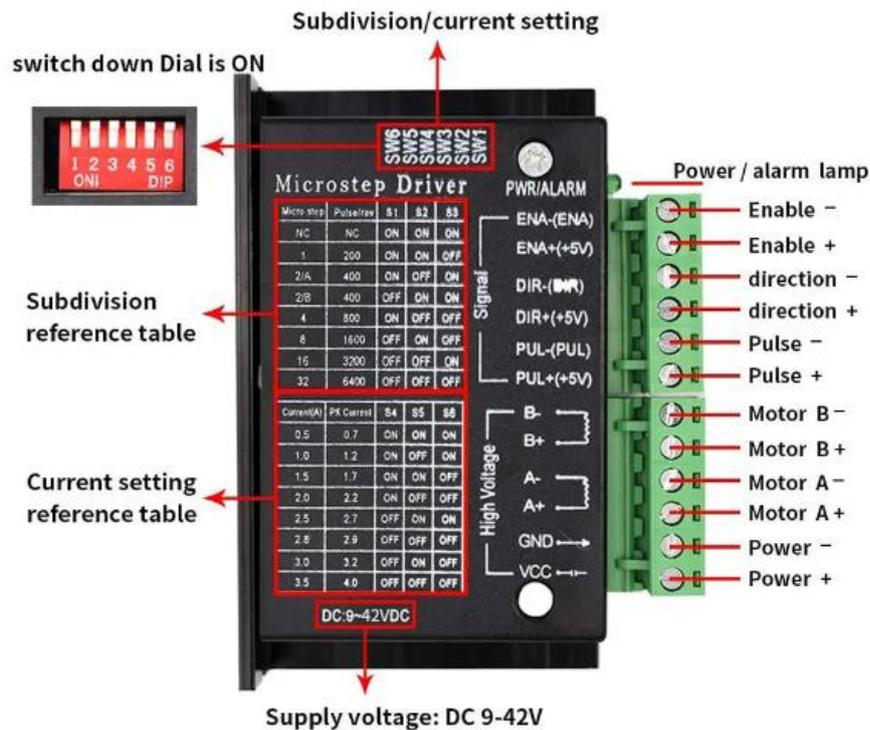


FIGURA 4.11 Disposición de salidas del controlador microstep driver (Fuente: [49])

Por otro lado, también tenemos que elegir la forma de conexión que va a usar nuestro controlador para trabajar, este dispositivo nos da dos opciones de conexión común al positivo y común al negativo.

Para nuestro prototipo hemos elegido la conexión común al positivo.

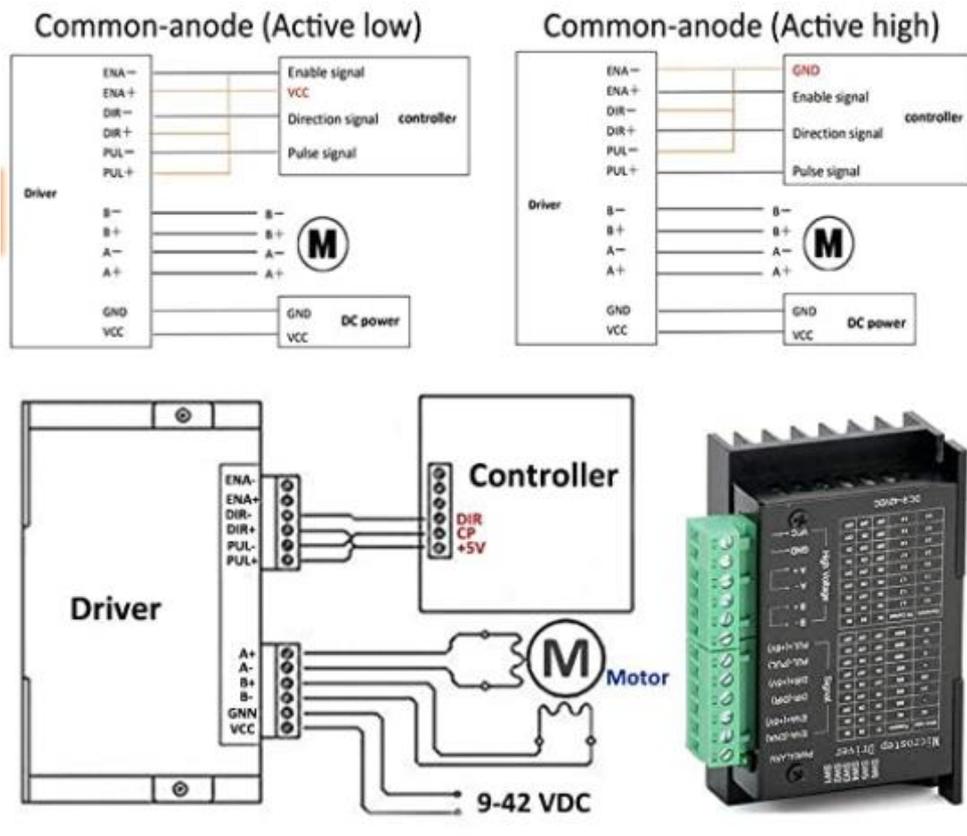


FIGURA 4.12 Tipos de conexión driver Arceli TB6600 (Fuente: [29])

4.3.3 FUNCIONAMIENTO (CONEXIONADO)

Una parte importante del prototipo es las conexiones internas que se realizan, los cuales se representan en el siguiente capítulo, para mejorar la claridad del cableado, los extremos de los hilos del cable se han dibujado con un color diferente, a modo ilustrativo para evitar errores.

Para empezar, hay que designar los pines que se van a usar del Arduino Mega 2560, se han establecido los siguientes:

Salidas digitales: Envían el estado actual.

- Pin 3: Señal de dirección del motor (0 = horario; 1 = anti-horario).
- Pin 9: Señales de pulsos (envía 1600 pulsos).
- Pin 22: Señal luminosa de giro horario (0 = desactivado, 1 = activado).
- Pin 24: Señal luminosa de giro anti-horario (0 = desactivado, 1 = activado).

Entradas digitales: (Reciben el estado actual)

Pin 5: Señal de final de carrera (0= Pulsador en reposo; 1 = Pulsador actuado).

Entradas analógicas:

- Pin A1: Recibe datos del ldr 1.
- Pin A2: Recibe datos del ldr 2.

El microstep Driver nos permite controlar el motor paso a paso a través de dos señales una de dirección (pin 3) y otra de pulso (Pin 9), la dirección nos indica el sentido de giro del motor (horario o antihorario), y el pulso nos permite regular la frecuencia del paso, las revoluciones del motor o micropasos, en nuestro prototipo seleccionaremos 8 microsteps, correspondiente con 1600 pulsos, de esta manera conseguimos pasos cortos y por tanto precisos.

El prototipo se ha montado en una placa protoboard, dispone de dos sensores fotoresistentes (ldr), los cuales nos van a indicar en cada momento la zona con mayor incidencia de luz, los ldr tienen la cualidad de aumentar su resistencia de manera significativa a la exposición de luz, vamos a usar este fenómeno para hacer un divisor de

tensión, y mediante una entrada analógica de Arduino Mega 2560 vamos a leer a tiempo real su resistencia.

Si el LDR1 (entrada analógica A1) recibe más radiación solar, se producirá un giro hacia la derecha del motor, durante el giro horario se activará el pin 22, encendiendo el led 1, cuando llegue a su posición final "final de carrera 1", se ha representado por medio de un pulsador amarillo, se activa la entrada digital del pin 5, que envía la orden de paro al motor.

Si el LDR2 (entrada analógica A2) recibe más intensidad solar, entonces tendremos un giro anti-horario, durante este giro, se activa el pin 24, encendiendo el led 2, cuando llegue al final de carrera 2, también representado por otro pulsador, envía una señal al pin 5, el cual activará el paro del motor.

La placa arduino se alimentará a través de una pila de 5V, y el motor mediante una batería AGM de 12 V.

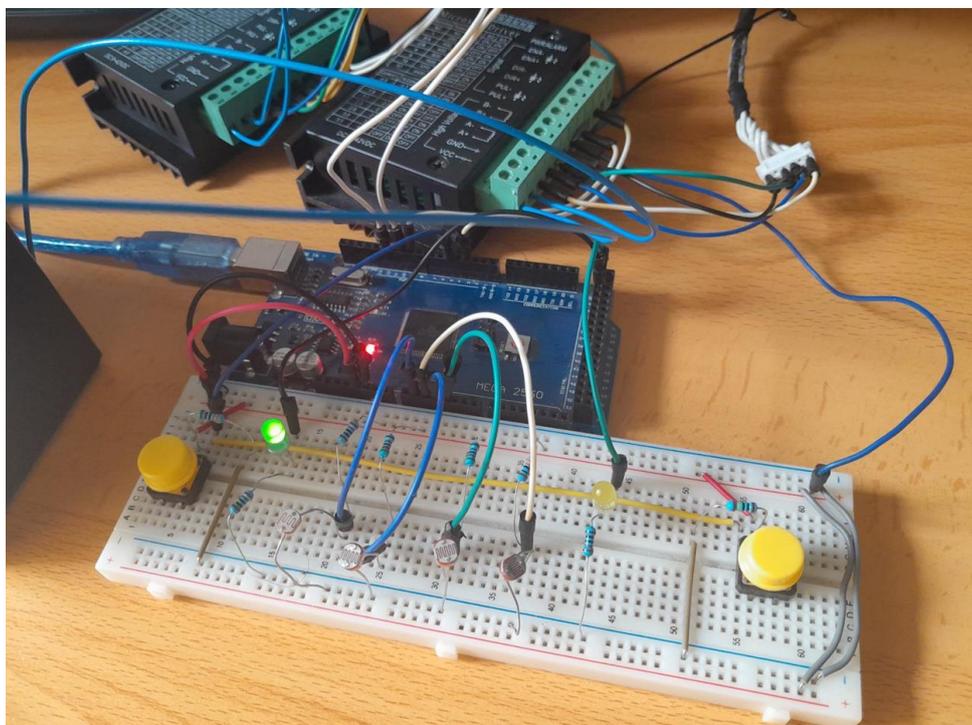


FIGURA 4.13 Montaje de circuito en protoboard (Fuente: Elaboración propia)

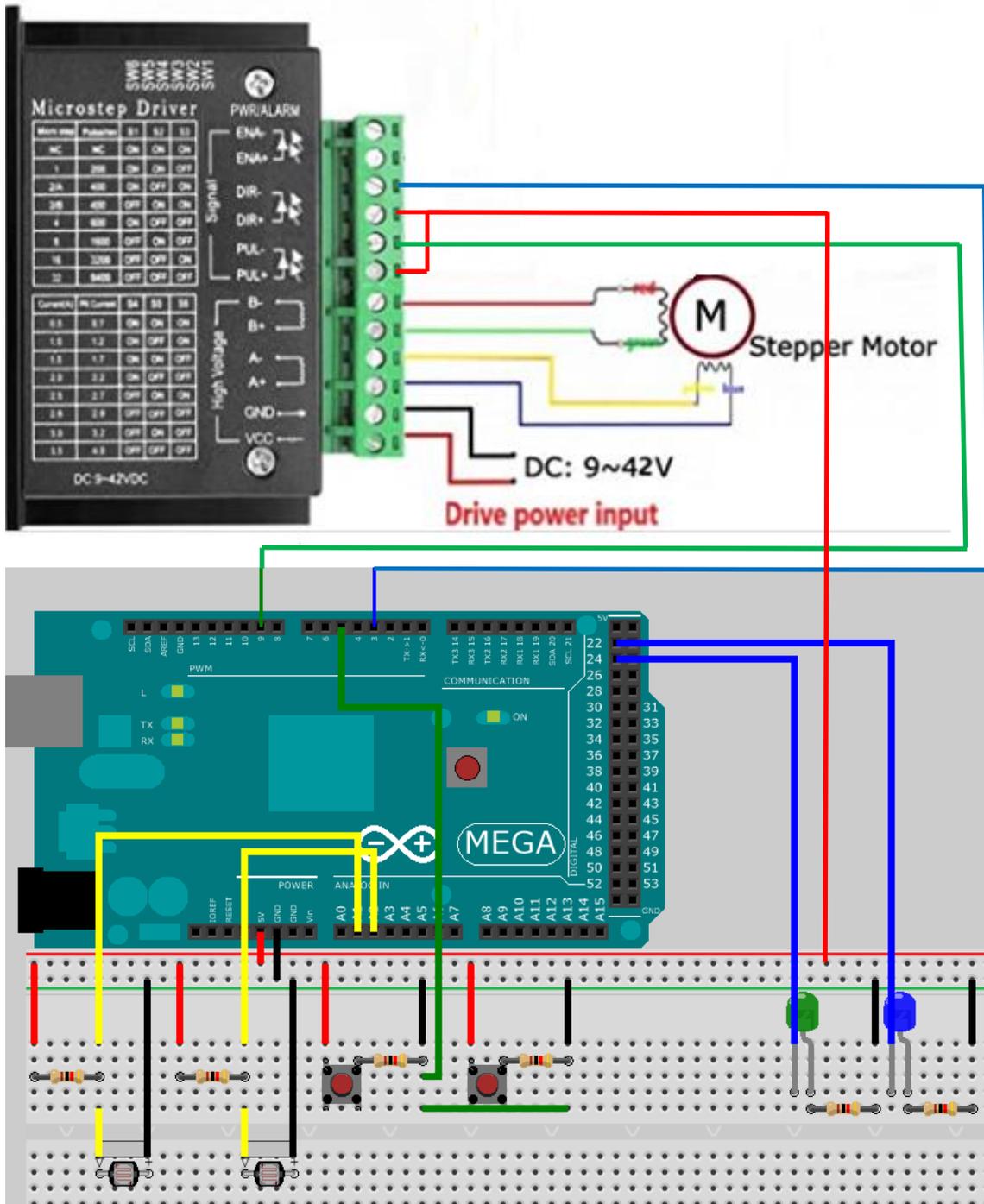


FIGURA 4.14 Conexión en placa protoboard (Fuente: Elaboración propia)

4.3.4 CÓDIGO

Para la realización de este código se ha usado el programa ARDUINO IDE 2.2.1

```
//
//          UNIVERSIDAD DE LEÓN
//          INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA
//          TRABAJO FIN DE GRADO
//          SEPTIEMBRE 2023

//----- DEFINICIONES-----
// ldr: Light Dependent Resistor / fotoresistencia

//-----TRABAJO SEGUIDOR SOLAR CON ARDUINO MEGA 2560 -----

//-----DESIGNACIÓN DE VARIABLES-----
int ldr1 = 1; // Declaración variable de la fotoresistencia 1.
int ldr2 = 2; // Declaración variable de la fotoresistencia 2.

int valorldr1 = 0; // Valor asignado a la fotoresistencia 1 igual a cero.
int valorldr2 = 0; // Valor asignado a la fotoresistencia 2 igual a cero.

int estado = 0; // Valor de la variable "estado" igual a cero.

//-----Área de configuración-----
//-----Se establecen los pines de entrada y salida-----
void setup()
{

  Serial.begin(9600); // Comunicación a 9600 bits/s

  pinMode (3,OUTPUT); // Dirección del motor en sentido horario o
antihorario.
  pinMode (9,OUTPUT); // Pulso del motor, establece el ángulo de giro del
motor.

  pinMode (22,OUTPUT); //Indicador led giro horario.
  pinMode (24,OUTPUT); //Indicador led giro antiorario horario.

  pinMode (5,INPUT); // Estado del final de carrera (abierto o cerrado).
  pinMode (13,OUTPUT); // Indicador led del estado del final de carrera.
}

void loop()
{
```

```
valorldr1 = analogRead(ldr1); // Lectura de los datos proporcionados por
el ldr1, se guardan en "Valorldr1"
valorldr2 = analogRead (ldr2); // Lectura de los datos proporcionados por
el ldr2, se guardan en "Valorldr2"

estado = digitalRead (5); // Se guarda en la variable "estado" la lectura
del pin 5 (0 o 1)

Serial.print (estado); // Muestra el valor en el monitor de la variable
"estado"

if (estado == 0)
{
    digitalWrite(13,LOW);
    delayMicroseconds (100);

    //GIRO HORARIO

    if(valorldr1<valorldr2)
    {
        digitalWrite (3,HIGH); //Giro hacia la derecha
        digitalWrite (22,HIGH);// Enciende led 22 de giro a la derecha

        for (int j=0; j<100;j++) // Secuencia que hace el giro del PAP
        {
            digitalWrite(9,HIGH);
            delayMicroseconds(100);

            digitalWrite(9,LOW);
            delayMicroseconds(100);
        }
    }

    else
    {
        digitalWrite(22,LOW);
        delayMicroseconds(10);
    }

    delay(100);

    //GIRO ANTIHORARIO

    if (valorldr2 < valorldr1)
    {
        digitalWrite(3,LOW); // Giro hacia la izquierda
        digitalWrite(24,HIGH);
```

```
for (int i=0; i<100;i++) // Secuencia que hace el giro del PAP
{
    digitalWrite(9,HIGH);
    delayMicroseconds(100);

    digitalWrite(9,LOW);
    delayMicroseconds(100);
}
}

else
{
    digitalWrite(24,LOW);
    delayMicroseconds(10);
}
}

if (estado == 1)
{

    digitalWrite(13,HIGH);
    delayMicroseconds(100);
    digitalWrite(22,LOW);
    delayMicroseconds(100);
    digitalWrite(24,LOW);
    delayMicroseconds(100);
    digitalWrite(9,LOW);
    delayMicroseconds(100);

}

delay (500);

}
```

4.3.5 MONTAJE ESTRUCTURA SOLAR

Las piezas que conforman la estructura del seguidor solar se han realizado con el programa de diseño gráfico SOLID WORKS.

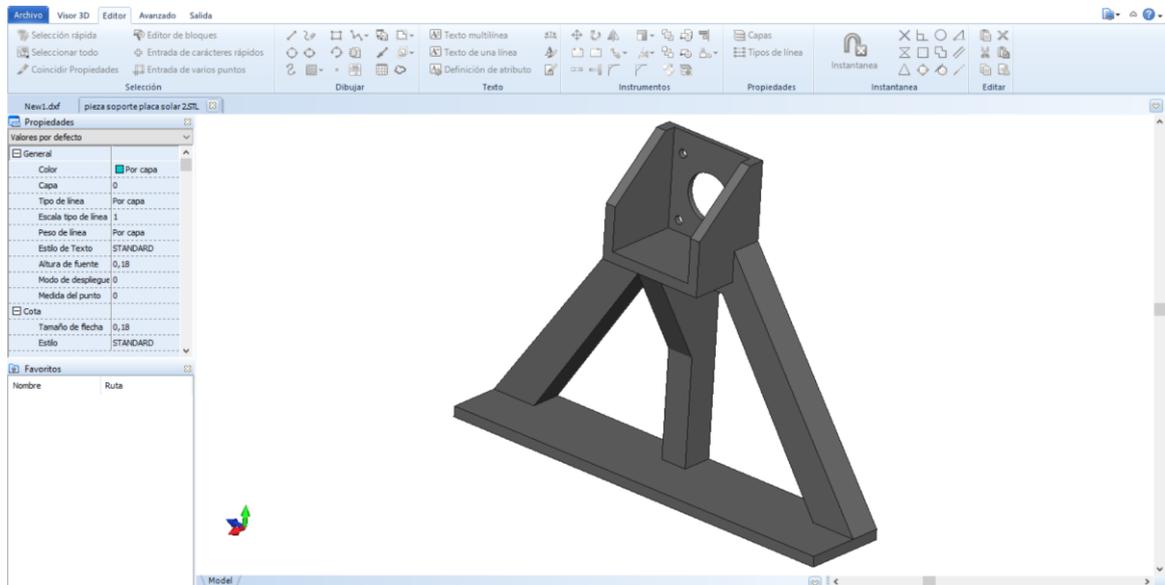


FIGURA 4.15 Visor programa de diseño gráfico (Fuente: Elaboración propia)

Tras finalizar los detalles de cada uno de los elementos se guardan en archivos en formato STL para poder abrirlas en el programa de impresión 3D.

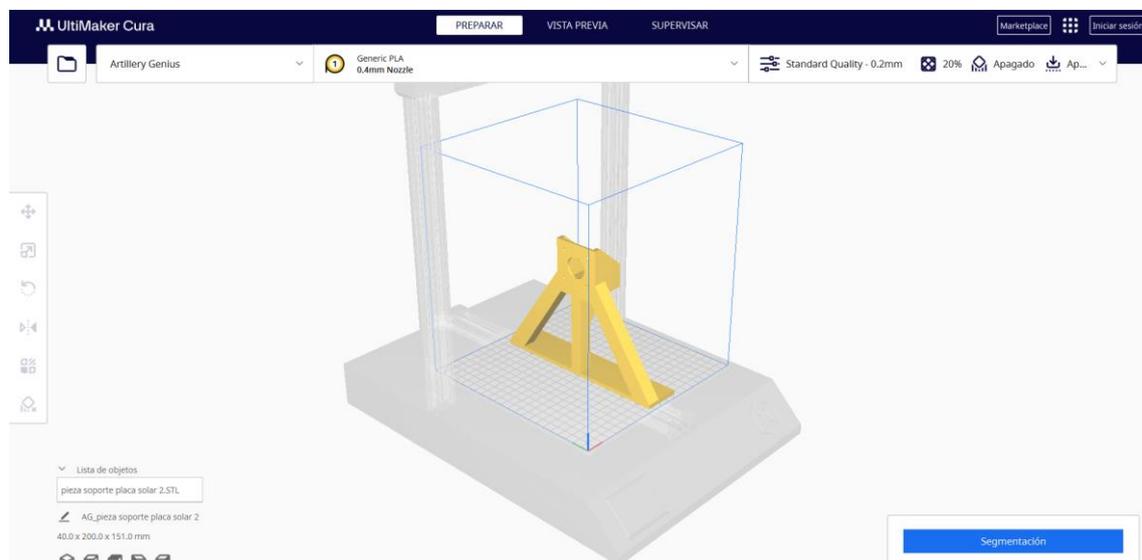


FIGURA 4.16 Visor de programa impresión 3D (Fuente: Elaboración propia)

Usamos el programa CURA 5.4.0 para definir los parámetros de impresión 3D (calidad de impresión, porcentaje de relleno, tipo de filamento...).

Para la fabricación de las piezas se ha usado una impresora 3D Artillery Genius, una ventaja de esta máquina, es que su ajuste es sencillo, y posee puerto usb, lo que nos ahorró tiempo durante el proceso, además sus dimensiones fueron las adecuadas para las acoger las piezas diseñadas.

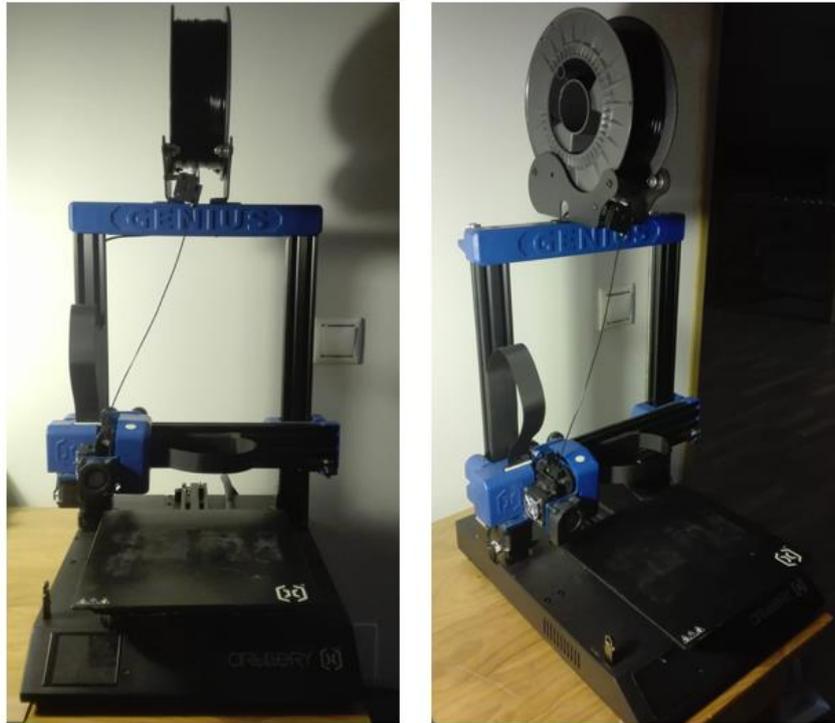


FIGURA 4.17 Impresora 3d Artillery Genius (Fuente: Elaboración propia)

Tras tener las piezas impresas, se procedió al montaje en una base de madera, cabe mencionar que para ayudar al motor NEMA23 (ubicado en la base), se introdujeron rodamientos que permiten un giro más fluido, evitando que el motor se gripe, que aumente su consumo eléctrico o que vaya a trompicones.



FIGURA 4.18 Tipo de rodamiento usado en el prototipo (Fuente: Elaboración propia)

El resultado final tras el ensamblaje de todas las piezas, fue una plataforma de 2 ejes, equilibrado, estable y robusto, que mantiene una placa solar de dimensiones (largo =365mm ; ancho = 195 mm ; alto 25 mm), que nos permite realizar las pruebas para nuestro sistema de seguimiento solar.



FIGURA 4.19 Vista frontal piezas sistema 2 ejes (Fuente: Elaboración propia)



FIGURA 4.20 Vista trasera piezas sistema 2 ejes (Fuente: Elaboración propia)



FIGURA 4.21 Vista general del prototipo y circuito electrónico
(Fuente: Elaboración propia)

4.4 REPRESENTACIÓN DE PLANOS Y ESQUEMAS

Para la realización de la representación gráfica de los planos se ha aplicado la normativa vigente:

- UNE 1-032-1982. Principios generales de representación.
- UNE 1-039-1994. Acotación.
- UNE 5455-1996. Escalas (Anula norma UNE 1-026).
- UNE ISO 3098-1998. Escritura.

Para el diseño del cajetín se ha tomado como ejemplo por el propuesto por la universidad de León.



FIGURA 4.22 Modelo de cajetín Universidad de León
(Fuente: Reglamento-TFG_EIIIA-aprobado-JE)

Modificado levemente para satisfacer la armonía del documento:



FIGURA 4.23 Modelo de cajetín adaptado (Fuente: Elaboración propia)

La representación gráfica elegida para este trabajo ha sido el sistema de 3 planos de proyección (axométrico), con ángulos iguales (isométrico), ya que, gracias a su forma simple de perspectiva, nos proporciona una visión global, rápida y detallada de las piezas, facilitando la fabricación.

Se han confeccionado los planos con el programa de diseño informático AutoCad 2013, creando archivos en formato .cad, los cuales están disponibles en soportes informáticos (CD, USB, SSD).

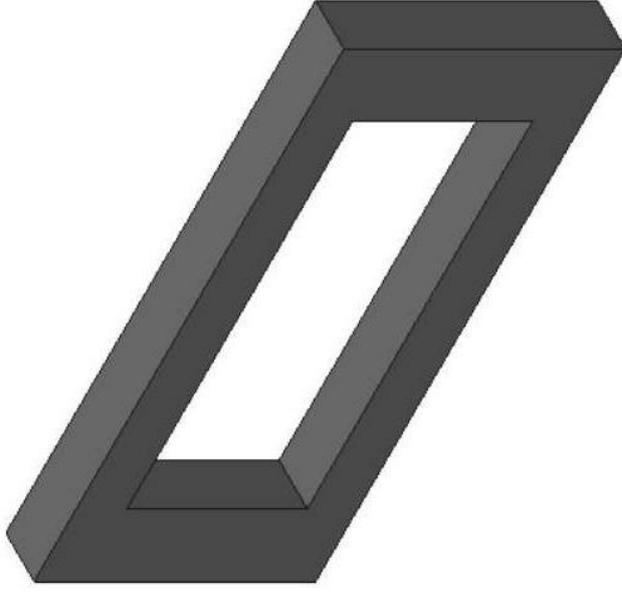
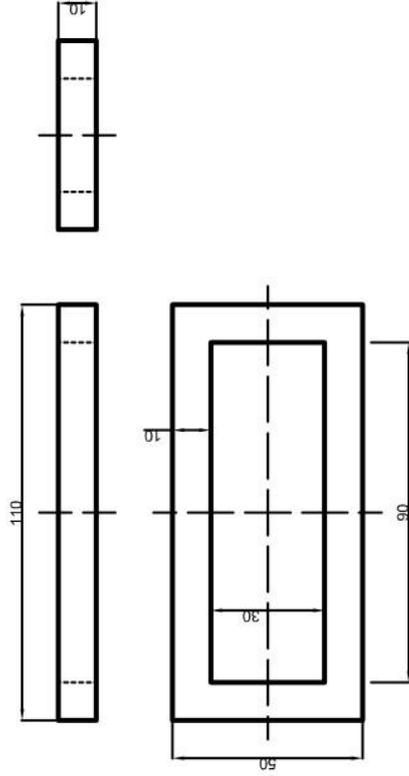
4.4.1 LISTADO DE PLANOS

LISTA DE VERIFICACIÓN DE PLANOS

EMPRESA	BRESTELLA TECHNOLOGY	HOJA
PLANO	ESTRUCTURA SEGUIDOR SOLAR	1

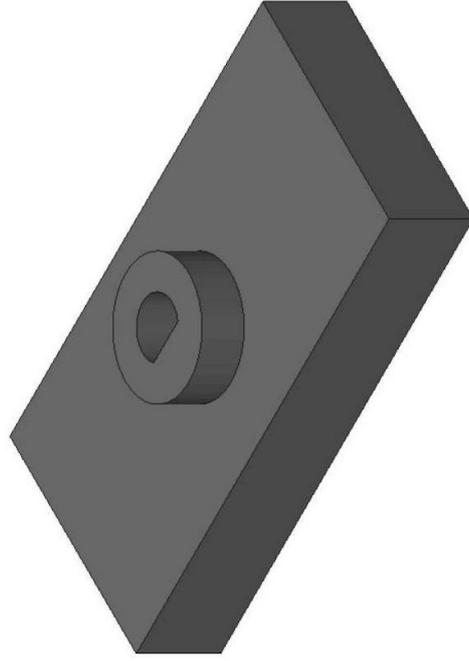
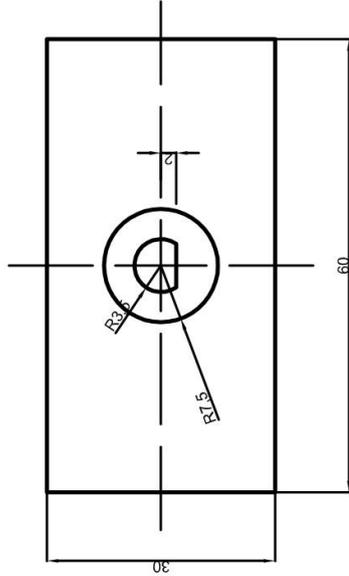
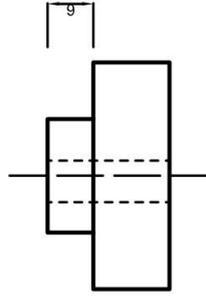
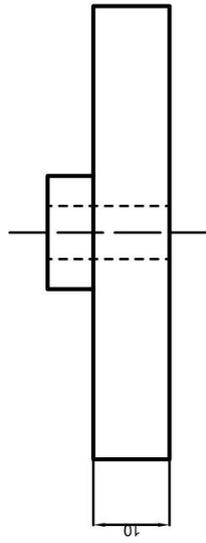
Nº ORDEN	Nº DE PLANO	REVISIÓN	TÉCNICO	FECHA	DESCRIPCIÓN
1	ESTRUC-1	A	B.A.S.G.	04/09/23	SOPORTE ANCLAJE MOTOR A LA BASE
2	ESTRUC-2	A	B.A.S.G.	04/09/23	ANCLAJE MOTOR A LA BASE
3	ESTRUC-3	A	B.A.S.G.	04/09/23	SOPORTE PLACA SOLAR 1
4	ESTRUC-4	A	B.A.S.G.	04/09/23	SOPORTE PLACA SOLAR 2
5	ESTRUC-5	A	B.A.S.G.	04/09/23	SOPORTE PIE PLACA SOLAR 1
6	ESTRUC-6	A	B.A.S.G.	04/09/23	SOPORTE PIE PLACA SOLAR 2

SOPORTE ANCLAJE MOTOR A LA BASE



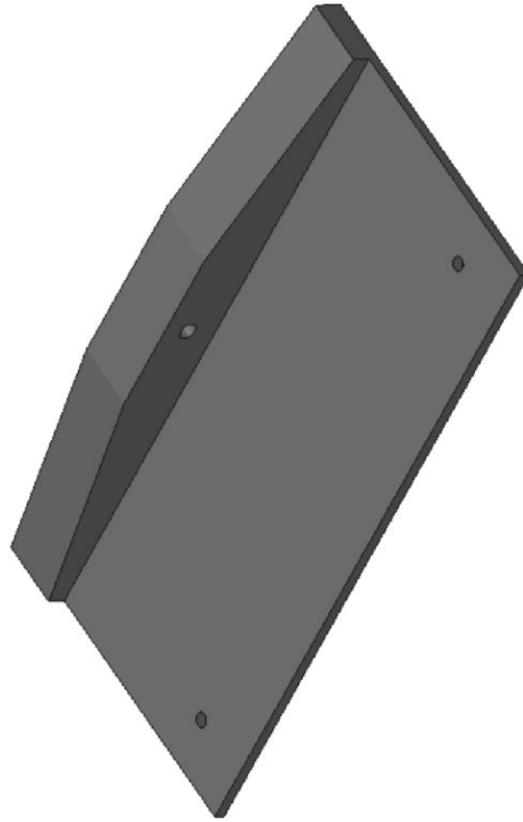
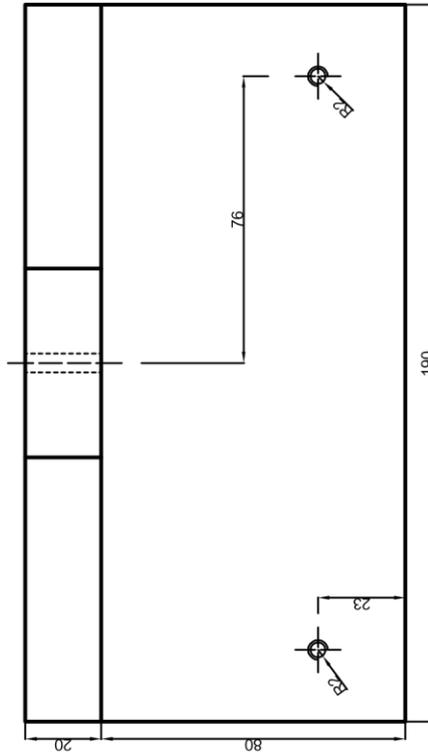
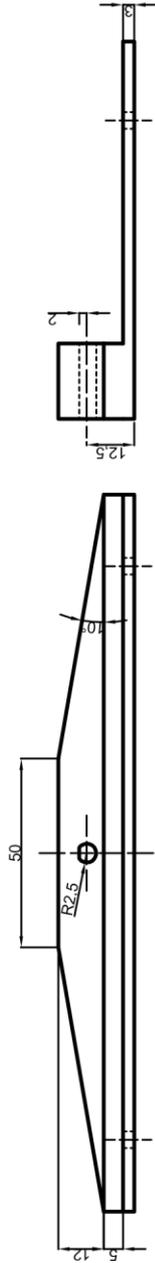
UNIVERSIDAD DE LEÓN		PROYECTO : DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO Y ORIENTACIÓN PARA PLACAS SOLARES	
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIAL, INFORMÁTICA Y AEROSPAZIAL		FECHA : 04/09/2023	
PLANO : ESTRUCTURA SOPORTE	ESCALA : 1:2	Nº PLANO : ESTR-1	
EL ALUMNO : BRAYAN ALEXIS SARANGO GUAPI		TRABAJO DE FIN DE GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	

ANCLAJE MOTOR A LA BASE



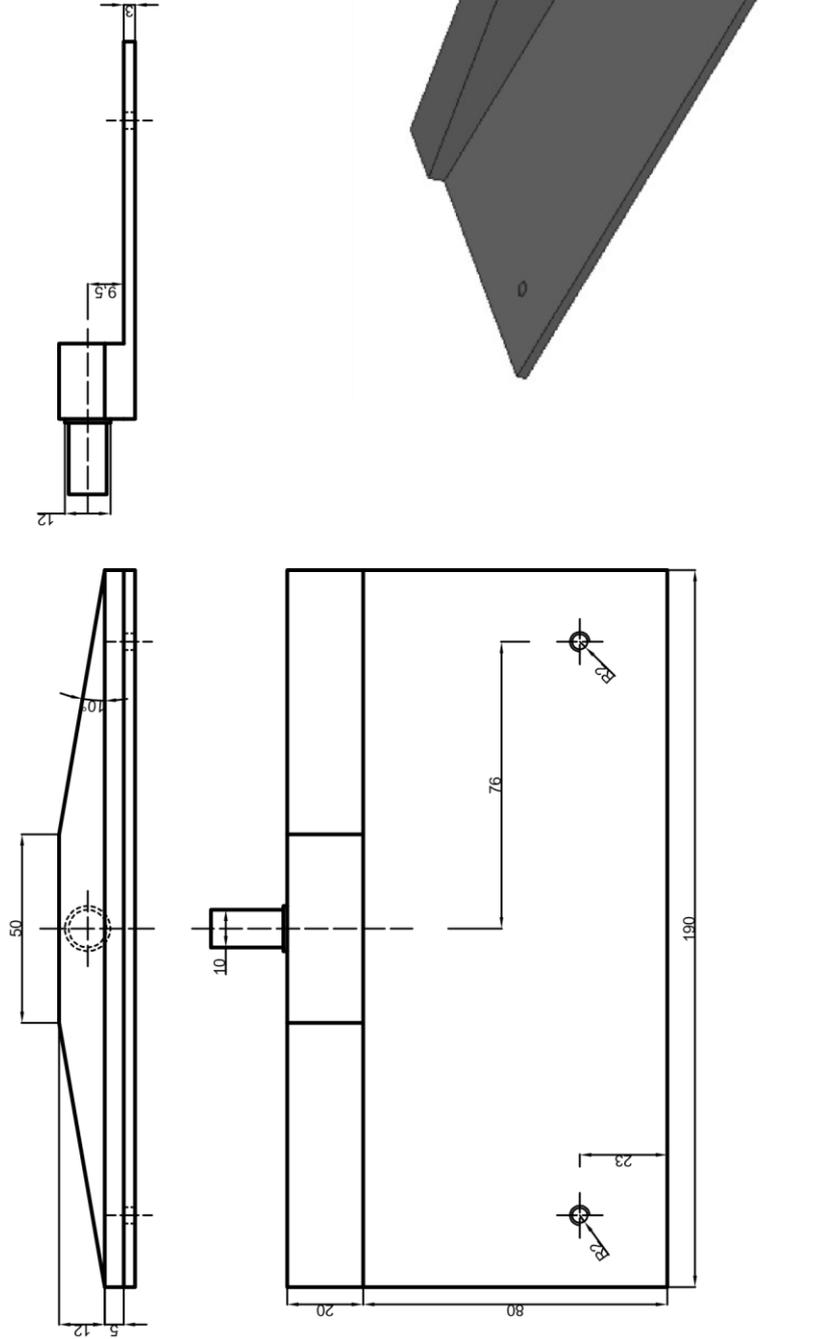
UNIVERSIDAD DE LEÓN		PROYECTO : DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO Y ORIENTACIÓN PARA PLACAS SOLARES	
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIAL, INFORMÁTICA Y AEROSPAZIAL		FECHA : 04/09/2023	
PLANO : ANCLAJE MOTOR	ESCALA : 1:1	Nº PLANO :	
EL ALUMNO : BRAYAN ALEXIS SARANGO GUAPI		ESTRUC-2	
		TRABAJO DE FIN DE GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	

SOPORTE PLACA SOLAR 1



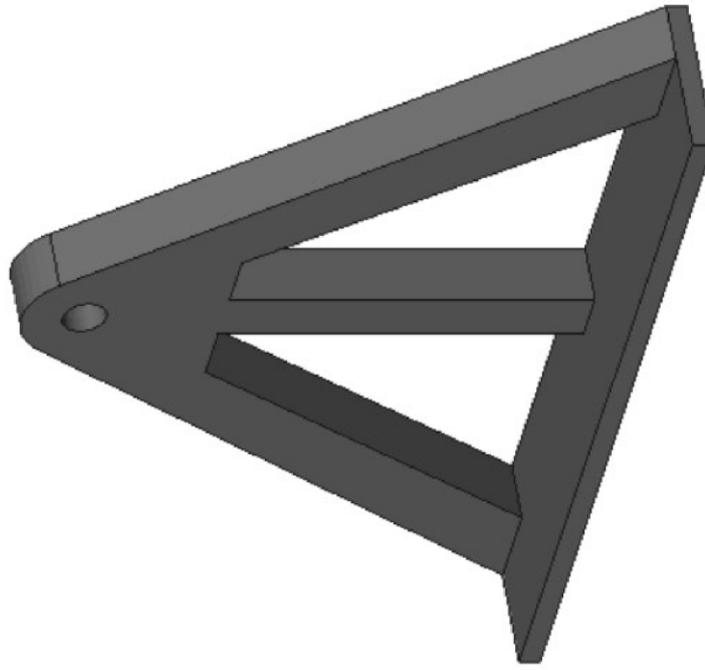
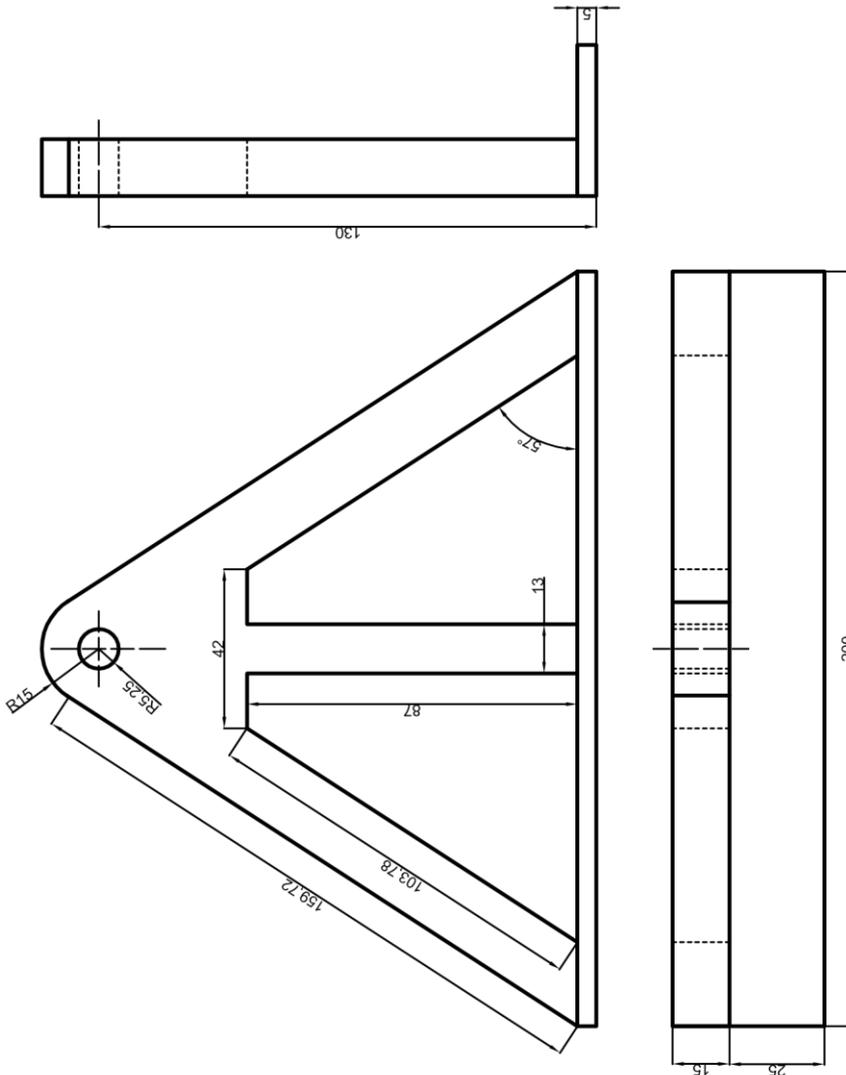
UNIVERSIDAD DE LEÓN ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIAL, INFORMÁTICA Y AEROSPAICIAL		PROYECTO : DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO Y ORIENTACIÓN PARA PLACAS SOLARES	
PLANO : SOPORTE PLACA SOLAR 1	ESCALA : 1:2	FECHA : 04/09/2023	Nº PLANO : ESTR-3
EL ALUMNO : BRAYAN ALEXIS SARANGO GUAPI		TRABAJO DE FIN DE GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	

SOPORTE PLACA SOLAR 2



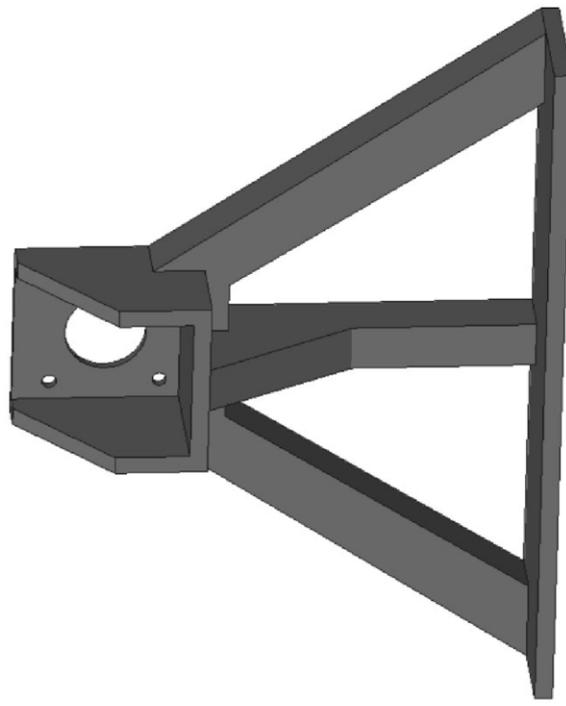
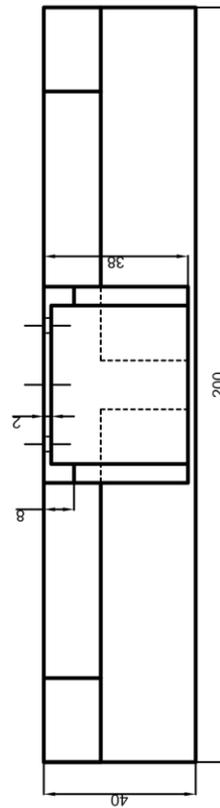
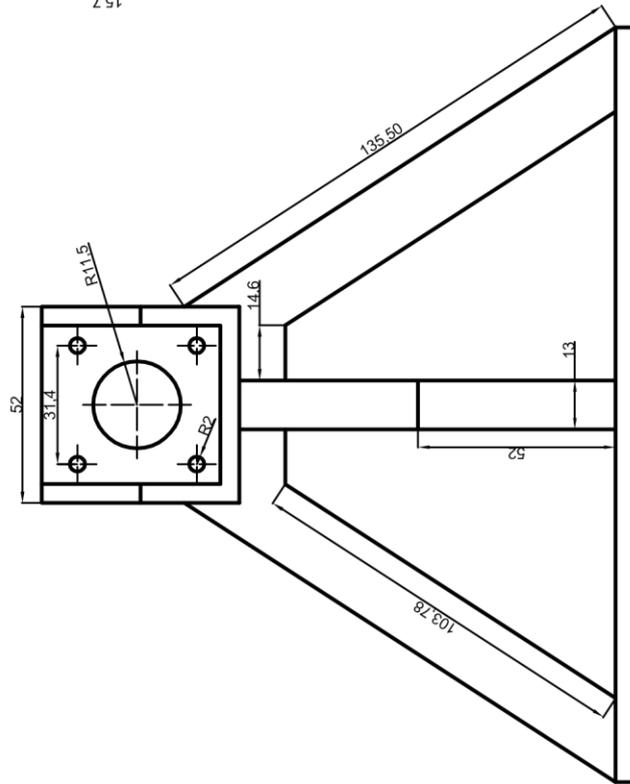
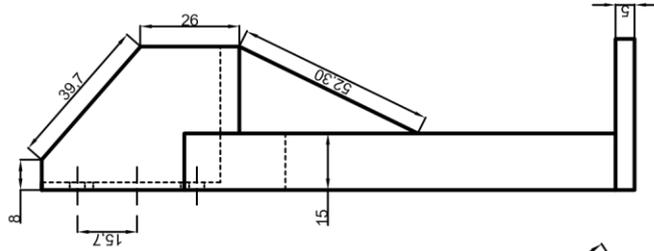
UNIVERSIDAD DE LEÓN ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIAL, INFORMÁTICA Y AEROSPAICIAL		PROYECTO : DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO Y ORIENTACIÓN PARA PLACAS SOLARES	
PLANO : SOPORTE PLACA SOLAR 2	ESCALA : 1:2	FECHA : 04/09/2023	Nº PLANO : ESTR-4
EL ALUMNO : BRAYAN ALEXIS SARANGO GUAPI		TRABAJO DE FIN DE GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	

SOPORTE PIE PLACA SOLAR 1



UNIVERSIDAD DE LEÓN ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIAL, INFORMÁTICA Y AEROSPACIAL		PROYECTO : DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO Y ORIENTACIÓN PARA PLACAS SOLARES	
PLANO : SOPORTE PIE PLACA SOLAR 1	ESCALA : 1:2	FECHA : 04/09/2023	Nº PLANO : ESTR-5
EL ALUMNO : BRAYAN ALEXIS SARANGO GUAPI		TRABAJO DE FIN DE GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	

SOPORTE PIE PLACA SOLAR 2



UNIVERSIDAD DE LEÓN ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIAL, INFORMATICA Y AEROSPAICIAL		PROYECTO : DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO Y ORIENTACIÓN PARA PLACAS SOLARES	
PLANO : SOPORTE PIE PLACA SOLAR 2	ESCALA : 1:2	FECHA : 04/09/2023	Nº PLANO : ESTR-6
EL ALUMNO : BRAYAN ALEXIS SARANGO GUAPI		TRABAJO DE FIN DE GRADO EN INGENIERÍA ELECTRONICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	

4.5. COSTES Y PRESUPUESTOS

En este apartado se pretende dar una valoración del coste, para tener una idea global, del precio que conllevaría el desarrollo y fabricación del producto.

Se ha dividido en un presupuesto general y en un desglose de cada partida, los cuales se han revisado y contrastado con los precios de mercado actuales.

El presupuesto general se distribuye en 4 apartados:

- **Materiales:** Elementos que intervienen en el prototipo.
- **Fabricación:** Medios para la construcción de las partes del prototipo.
- **Diseño:** Diseño de las piezas y circuitos a fabricar.
- **Proyecto:** Documentación y estudio de viabilidad del proyecto.

Cada uno de estos apartados constituye una fase del proyecto, estas fases se desglosan para justificar el precio propuesto.

Es importante recalcar que es un presupuesto para la construcción de un prototipo, por tanto, los precios usados en las mediciones son estándares, pudiendo conseguir un mejor precio de mercado y descuentos en pedidos superiores a ciertas cantidades.

Se considera oportuno advertir sobre la variación de precios de mercado que ronda el $\pm 3\%$ de su valor actual.

Dependiendo del momento de ejecución del prototipo será necesario solicitar un nuevo presupuesto que se ajuste a la realidad del momento y un estudio de los nuevos equipos de mercado.

Se advierte que pueden existir costes añadidos no contemplados, los cuales pueden encarecer el precio del producto.

A modo informativo, este presupuesto tendrá como objetivo la venta del prototipo y el trabajo para desarrollar una idea de negocio, incluyendo archivos en formato STL (para impresora 3D), planos en papel a la escala correspondiente, archivos en formato SLDPRT (para modificar las piezas en Solid Works versión 2021) y trabajo en formato digital, se hará entrega de estos documentos por medio de un pendrive y un CD.

4.5.1 PRESUPUESTO GENERAL DISEÑO SEGUIDOR SOLAR

Presupuesto General Diseño Seguidor Solar				
UNIVERSIDAD DE LEÓN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA TRABAJO FIN DE GRADO				
DESCRIPCIÓN	PRECIO	% DTO.	PRECIO DTO.	TOTAL
Materiales	185,57 €	5%	176,29 €	176,29 €
Mano de obra	292,00 €		292,00 €	292,00 €
Diseño	1.920,00 €		1.920,00 €	1.920,00 €
Proyecto	5.120,00 €		5.120,00 €	5.120,00 €

TOTAL BRUTO	7.508,29 €
I.V.A. % 21%	1.576,74 €
TOTAL	9.085,03 €

4.5.2 DESGLOCE PRESUPUESTO

Desglose Presupuesto Diseño Seguidor Solar

It.	DENOMINACIÓN	Unidades	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Materiales				185,57 €
1.1	Arduino Mega 2560	ud	1	45,85 €	45,85 €
1.2	Motor paso a paso (PAP) 23KM-C051-09V	ud	1	32,69 €	32,69 €
1.3	Motor paso a paso (PAP) 17HS4401	ud	1	20,99 €	20,99 €
1.4	Placa solar ATERSA A-5-J	ud	1	21,99 €	21,99 €
1.5	Finales de carrera	ud	4	0,50 €	2,00 €
1.6	Controlador Microstep Driver DC: 9-42Vcc	ud	2	11,45 €	22,90 €
1.7	Fotoresistencias	ud	4	0,25 €	1,00 €
1.8	Resistencias	ud	6	0,25 €	1,50 €
1.9	Leds	ud	2	0,25 €	0,50 €
1.10	Batería AGM Plomo-ácido 12 V	ud	1	14,95 €	14,95 €
1.11	Placa de circuito impreso PCB	ud	1	8,60 €	8,60 €
1.12	Cables	ml	1	1,00 €	1,00 €
1.13	Filamento PLA	kg	0,5	19,99 €	10,00 €
1.14	Tornillería y arandelas	kg	0,2	8,00 €	1,60 €
2	Mano de obra				292,00 €
2.1	Fabricación piezas 3D	h	10	10,00 €	100,00 €
2.2	Fabricación circuito impreso	h	4	12,00 €	48,00 €
2.3	Montaje soporte panel solar	h	4	12,00 €	48,00 €
2.4	Montaje componentes en placa de circuito	h	4	12,00 €	48,00 €
2.5	Conexiónado eléctrico y electrónico	h	4	12,00 €	48,00 €
3	Diseño				1.920,00 €
3.1	Piezas 3D	h	24	24,00 €	576,00 €
3.2	Placa de circuito impreso PCB	h	24	24,00 €	576,00 €
3.3	Conexiónado eléctrico y electrónico	h	32	24,00 €	768,00 €
4	Proyecto				5.120,00 €
4.1	Memoria	h	40	32,00 €	1.280,00 €
4.2	Anexos	h	40	32,00 €	1.280,00 €
4.3	Planos	h	24	32,00 €	768,00 €
4.4	Pliego de condiciones	h	24	32,00 €	768,00 €
4.5	Mediciones	h	16	32,00 €	512,00 €
4.6	Presupuesto	h	16	32,00 €	512,00 €

5. Conclusiones y recomendaciones.

Este trabajo se orienta a conocer un poco más a fondo la tendencia actual en materia de energías renovables, ya que ha cobrado gran importancia estos últimos años, por ejemplo en el pasado año 2022 se sumaron 5,9 GW de nueva potencia, dando records producción eólica y fotovoltaica. [51]

Este año 2023, las estimaciones por parte de REDEIA (Grupo Red Electrica de España), son que las energías renovables podrían alcanzar el 50% de la producción anual, siendo un año clave para la transición energética, por este tipo de noticias se hace evidente que el sector está en auge, por lo que puede resultar una salida profesional bastante atractiva tras la finalización de la etapa formativa.

Durante el proceso de estudio y búsqueda de información, me encontré con un sector que requiere personal cualificado para las diferentes fases (diseño, montaje, ingeniería...) que integran el suministro, instalación y puesta en servicio, siendo una buena opción profesional seguir el camino y el desarrollo de este campo.

Una observación importante es el sector eléctrico de media y alta tensión es un círculo que durante muchos años ha sido bastante cerrado, en el que era muy difícil conseguir una oportunidad laboral, gracias a la transición energética que estamos viviendo en España, se pueden encontrar varias ofertas de empleo en diversos campos que rodean a las energías renovables. Se puede comprobar fácilmente entrando en sitios web o portales de empleo.

Por los motivos antes descritos se decidió estudiar un sistema de seguimiento solar, con el objetivo de indagar en la tecnología que rodea a la energía solar, a medida que se avanzaba en la fase de creación del código, se iban descubriendo las necesidades de este, dando lugar al diseño y la fabricación de un prototipo, el cual se fue completando con más equipos y componentes a lo largo del trabajo.

El trabajo ha supuesto un reto personal en el que se ha dedicado muchas horas de trabajo y los recursos suficientes para realizar un prototipo funcional, que sea un reflejo de la dedicación, el esfuerzo y los conocimientos adquiridos a lo largo de la trayectoria profesional y educativa.

Al tratarse de un diseño propio, se ha comprobado de primera mano los problemas que pueden surgir durante todas las etapas que engloba el desarrollo de un sistema de seguimiento solar, desde adaptarse a la normativa vigente hasta la ingeniería (programación, representación de planos, documentación...) necesaria para llevar a la realidad una idea.

Cabe destacar, que a pesar de los esfuerzos, hubo cambios importantes en todos los aspectos, pues el diseño original no es el propuesto en este trabajo, así que se puede decir, que la fase de prueba y error fue bastante habitual.

La perspectiva a futuro de este trabajo, se centraría en conseguir un código más completo, lo que conllevaría al uso de más componentes electrónicos o el aprovechamiento de los mismos de forma más óptima, además de estar informado de los nuevos equipos que salen al mercado, sobre todo en lo que respecta al consumo eléctrico, que es lo que más interesa en instalaciones que dependen de baterías.

A pesar de tener una estructura sólida, equilibrada y de diseño bastante robusto, el trabajo está abierto a la modificación de piezas, pues el ingenio y la creatividad se pueden materializar fácilmente con una impresora 3D.

En definitiva, el desafío fue mayor de lo esperado, en un trabajo aparentemente sencillo y fácil de realizar, pero totalmente recomendable pues se mejora en muchos aspectos técnicos e intelectuales.

Lista de referencias bibliográficas

[1] Solarfam, "Tecnologías y Tipologías de Paneles Fotovoltaicos," [Online]. Disponible en:

<https://solarfam.com/tecnologias-y-tipologias-de-paneles-fotovoltaicos/>

[2] Atersa, "Cómo Funciona una Célula Fotovoltaica," [Online]. Disponible en:

<https://atersa.shop/como-funciona-una-celula-fotovoltaica/>

[3] BBVA, "Paneles Fotovoltaicos," [Online]. Disponible en:

<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-los-paneles-solares-como-funcionan-y-cual-es-su-futuro/>

[4] Euroinnova, "¿Qué Son las Placas Fotovoltaicas?," [Online]. Disponible en:

<https://www.euroinnova.edu.es/blog/que-son-las-placas-fotovoltaicas>

[5] Otovo, "¿Cómo Funcionan Placas Solares Fotovoltaicas?," [Online]. Disponible en:

<https://www.otovo.es/blog/placas-solares/como-funcionan-placas-solares-fotovoltaicas/>

[6] Celdares, "Paneles Solares: Cómo se Fabrican," [Online]. Disponible en:

<https://celdares.mx/paneles-solares-como-se-fabrican/>

[7] Autosolar, "¿Qué es un Inversor?," [Online]. Disponible en:

<https://autosolar.co/aspectos-tecnicos/que-es-un-inversor>

[8] Sotysolar, "Seguidores Solares," [Online]. Disponible en: [https://sotysolar.es/placas-](https://sotysolar.es/placas-solares/seguidores-solares)

[solares/seguidores-solares](https://sotysolar.es/placas-solares/seguidores-solares)

[9] Mipannelsolar, "Seguidor Solar," [Online]. Disponible en:

<https://mipannelsolar.com/blog/seguidor-solar>

[10] EDP Energía, "Baterías Paneles Solares," [Online]. Disponible en:

<https://www.edpenergia.es/es/blog/ahorro-y-eficiencia/baterias-paneles-solares/>

[11] Solar-Energía, "Baterías Solares," [Online]. Disponible en: [https://solar-](https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/baterias-solares)

[energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/baterias-solares](https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/baterias-solares)

[12] Selectra, "Baterías Solares: Funcionamiento y Tipos," [Online]. Disponible en:

<https://selectra.es/autoconsumo/info/componentes/baterias-solares#funcionamiento>

[13] Fundación Endesa, "Smart Meter," [Online]. Disponible en:

<https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/smart-meter>

[14] Structuralia, "El Papel de los Smart Meters o Contadores Inteligentes en el Ahorro

Energético," [Online]. Disponible en: <https://blog.structuralia.com/el-papel-de-los-smart-meters-o-contadores-inteligentes-en-el-ahorro-energetico>

[15] Enel X, "¿Qué es un Smart Meter?," [Online]. Disponible en:

<https://www.enelx.com/ar/es/historias/que-es-smart-meters>

[16] AEMET, "Atlas de Radiación Solar," [Online]. Disponible en:

http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf

[17] National Geographic, "Energía Solar," [Online]. Disponible en:

[18] Arduino, [Online]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/>

[19] Talos Electronics, "Motor NEMA 23," [Online]. Disponible en:

<https://www.taloselectronics.com/blogs/tutoriales/motor-nema-23>

[20] HetPro Store, "Motores a Pasos - Motor NEMA 23," [Online]. Disponible en:

<https://hetpro-store.com/motores-a-pasos/>

[21] Mechatronic Store, "Motor Stepper NEMA 17 Modelo 17HS4401 1.7A," [Online].

Disponible en: <https://www.mechatronicstore.cl/motor-stepper-nema-17-modelo-17hs4401-1-7a/>

[22] "Motor NEMA 17HS4401," HetPro Store. [Online]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/nema-17/>

[23] "Desventajas de usar baterías," Batería de Litio Recargable. [Online]. Disponible en:

<https://bateriadelitiorecargable.com/es/content/8-ventajas-y-desventajas-de-baterias-de-litio>

[24] "Las baterías convencionales tienen unas desventajas que las hacen inviables para el nuevo modelo energético. Conócelas para entender mejor las puertas que nos abren las baterías," Kuantica HST. [Online]. Disponible en: <https://www.kuantica-hst.com/las->

[baterias-convencionales-tienen-unas-desventajas-que-las-hacen-inviabiles-para-el-nuevo-modelo-energetico-conocelas-para-entender-mejor-las-puertas-que-nos-aren-las-baterias-linadium-energy/](#)

[25] "Funcionamiento de las baterías," Grupo Sinelec. [Online]. Disponible en: <https://blog.gruposinelec.com/actualidad/funcionamiento-de-las-baterias/>

[26] Esenergía, "Células Solares de Tercera Generación," [Online]. Available: <https://esenergia.es/celulas-solares-tercera-generacion/>.

[27] Autosolar, "Panel Solar 5W 12V Policristalino," [Online]. Available: <https://autosolar.es/panel-solar-12-voltios/panel-solar-5w-12v-policristalino-atersa>.

[28] Ardobot, "Motor a Paso a Paso NEMA 17," [Online]. Available: <https://www.ardobot.co/motor-a-paso-a-paso-nema-17-17hs4401.html>.

[29] Bricogeeek, "Controlador de Motores Paso a Paso TB6600," [Online]. Available: <https://tienda.bricogeeek.com/controladores-motores/992-controlador-de-motores-paso-a-paso-35a-tb6600.html>.

[30] Javier Martín Jiménez "Sistemas solares fotovoltaicos" Fundamentos, Tecnologías y aplicaciones. Primera Edición. Año 2008. ISBN-13:978-84-96709-16-4

[31] "Historia de la energía solar y su origen" [Online]. Available: [▷ Historia de la energía solar: Origen y desarrollo ◀ ✓ - La Energía Solar](#)

[32] "Atlas radiación solar en España" [Online]. Available: https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar

[33] "Historia de la energía solar" [Online]. Available: <https://www.hogarsense.es/energia-solar/historia-energia-solar>

[34] "Potencia solar instalada en España" REE [Online]. Available: <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2022/03/potencia-instalada-solar-fotovoltaica-en-espana-aumenta-casi-un-30-por-ciento-en-2021>

[35] “Potencia solar instalada en España de 2010 a 2022”[Online]. Available:

<https://es.statista.com/estadisticas/1004387/potencia-solar-fotovoltaica-instalada-en-espana/>

[36] “ Gráficas precio de paneles solares en europa”[Online]. Available:

<https://atersa.shop/autoconsumo-fotovoltaico-a-la-carta/>

[37] “ Celulas solares tipo-N”[Online]. Available:

<https://krannich-solar.com/mx-es/blog/celulas-solares-tipo-n/>

[38] “Tipos de paneles solares y estructura atómica” [Online]. Available:

<https://www.e4energiasrenovaveis.com.br/artigos/celula-fotovoltaica>

[38] “Guia de placas solares, tipos, características, usos” [Online]. Available:

<https://expertasolar.com/guia-de-placas-solares-tipos-caracteristicas-usos/>

[39] “Iberdrola, celulas fotovoltaicas ” [Online]. Available:

<https://www.iberdrola.com/innovacion/celulas-fotovoltaicas-fotoelectronica>

[40] “Funcionamiento celdas paneles solares ” [Online]. Available:

<https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>

[41] “Placas solares celdas fotovoltaicas ” [Online]. Available:

<https://www.hogarsense.es/placas-solares/placas-solares>

[42] “Funcionamiento módulos solares ” [Online]. Available:

<https://voltaika.net/paneles-solares-2022-precios-peru/>

[43] “ Energía fotovoltaica en la vanguardia frente al cambio climático.” [Online]. Available:

<https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2015/11/30/la-energia-solar-fotovoltaica-en-la-vanguardia-frente-al-cambio-climatico/>

[43] “ Esquema de inversor en instalación eléctrica.” [Online]. Available:

<https://www.mercantilelectrico.com/inversor-solar-hibrido-3.6kw-con-acumulacion-monofasico-230v-retelec-mgea3.6khd.html>

[44] “Tipos de baterías.” [Online]. Available:

<https://noticiasdelaciencia.com/art/42970/son-caras-las-baterias-solares>

[45] “Así funcionan las baterías de litio” [Online]. Available:

<https://culturacientifica.com/2020/02/20/asi-funcionan-las-baterias-de-litio/>

[46] “Smart meter monofásico ts 100a” [Online]. Available:

<https://autosolar.es/vatimetro/fronius-smart-meter-monofasico-ts-100a>

[47] “Regulador de tensión Isoler” [Online]. Available:

<https://manualzz.com/doc/es/5493275/manual-de-instalaci%C3%B3n-del-regulador-isoler-m>

[48] “Tabla de apriete con dinamométrica” [Online]. Available:

<https://www.ciclismoafondo.es/mecanica/aprende-a-utilizar-la-llave-dinamometrica-en-la-bicicleta-36682-102.html>

[49] “Controlador de motores paso a paso” [Online]. Available:

<https://tienda.bricogeeek.com/controladores-motores/992-controlador-de-motores-paso-a-paso-35a-tb6600.html>

[50] “Tipos de filamentos” [Online]. Available:

https://www.3dfils.com/es/content/tipos-filamentos-3d.html?gclid=Cj0KCQjwxuCnBhDLARIsAB-cq1rJwDBIVBHtJRF3tEstnI_rEsqdekmpzTb6Gef6ZoypzORmyfiG7WwaAhP7EALw_wcB

[51] “Actualidad energías renovables REE” [Online]. Available:

<https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2023/03/las-energias-renovables-podrian-alcanzar-50porciento-del-mix-de-generacion-electrica-en-espana-en-2023>