



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Estudio de la eficiencia en placas solares según el ángulo
de inclinación y diseño de un soporte móvil para su
optimización.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Rausell Martí, Arantxa

Tutor/a: Pérez Puig, Miguel Angel

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERIA
INDUSTRIAL VALÈNCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES**

**ESTUDIO DE LA EFICIENCIA EN PLACAS
SOLARES SEGÚN EL ÁNGULO DE
INCLINACIÓN Y DISEÑO DE UN SOPORTE
MÓVIL PARA SU OPTIMIZACIÓN**

AUTORA: ARANTXA RAUSELL MARTÍ

TUTOR: MIGUEL ÁNGEL PÉREZ PUIG

Curso académico: 2023/2024

RESUMEN

El presente proyecto se divide en dos partes. La primera consiste en el estudio de la producción de energía fotovoltaica de un panel solar a lo largo del tiempo y en función del ángulo de inclinación que se le imponga a la placa, todo esto en un entorno controlado. Por ello, la alumna deberá familiarizarse con aplicaciones de programación tales como Arduino para poder recabar de forma autónoma los datos a estudiar.

En segundo lugar y a partir de los datos obtenidos, se realizará un diseño de soporte que permita variar la inclinación de la placa para así lograr que la eficiencia de dicho panel se maximice. Por tanto, se realizará un estudio y análisis de los datos obtenidos experimentalmente con el fin de hallar la posición óptima del panel, teniendo en cuenta los factores externos. Para esta parte, la alumna deberá realizar un dimensionado de la estructura y ejecutar un diseño mecánico válido para el problema que se plantea.

Este proyecto no solo contribuirá al entendimiento de los factores que afectan la producción de energía fotovoltaica, sino que también proporcionará una solución práctica para optimizar la eficiencia de los paneles solares en condiciones variables.

Palabras clave: energía; fotovoltaica; panel solar; eficiencia; placa solar; diseño; inclinación; Arduino; motor.

RESUM

El present projecte es divideix de dues parts. La primera consisteix en l'estudi de la producció d'energia fotovoltaica d'un panel solar al llarg del temps i en funció de l'angle d'inclinació que se li dona a la placa, tot això en un entorn controlat. Per això, l'alumna haurà de familiaritzar-se amb aplicacions de programació com Arduino per poder recavar de forma autònoma les dades a estudiar.

En segon lloc i a partir de les dades prèviament obtingudes, es realitzarà un disseny de suport que permeti variar la inclinació de la placa per tal de maximitzar l'eficiència d'aquest panell. Per tant, es realitzarà un estudi i anàlisi de les dades obtingudes experimentalment per tal de trobar la posició òptima del panell, tenint en compte els factors externs. Per a aquesta part, l'alumna haurà de realitzar un dimensionat de l'estructura i executar un disseny mecànic vàlid pel problema que es planteja.

Aquest projecte no solament contribuirà a l'enteniment dels factors que afecten la producció d'energia fotovoltaica, sinó que també proporcionarà una solució pràctica per optimitzar l'eficiència dels panells solars en condicions variables.

Paraules clau: energia; fotovoltaica; panel solar; eficiència; disseny; inclinació; Arduino; motor.

ABSTRACT

The present project is divided into two parts. The first one consists of studying the photovoltaic energy production of a solar panel over time and as a function of the inclination angle imposed on the panel, all within a controlled environment. Therefore, the student must become familiar with programming applications such as Arduino to autonomously collect the data for analysis.

Secondly, based on the obtained data, a support design will be developed to allow varying the panel's inclination to maximize its efficiency. Thus, an experimental study and analysis of the collected data will be conducted to find the optimal position of the panel, considering external factors. For this part, the student will need to dimension the structure and execute a mechanical design valid for the problem at hand.

This project will not only contribute to understanding the factors affecting photovoltaic energy production but will also provide a practical solution for optimizing solar panel efficiency under variable conditions.

Keywords: energy; photovoltaic; solar panels; efficiency; design; inclination; Arduino; motor.

Documentos contenidos en el TFG

- Memoria
- Presupuesto
- Planos

Índice de contenidos

MEMORIA	1
1. Introducción.....	2
1.1 Justificación.....	2
1.2 Objetivo	3
1.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible	4
1.4 Resumen ejecutivo	5
2. Fundamento de la fotovoltaica.....	7
2.1 Curva Intensidad-Tensión	7
2.2 Factores que afectan al ángulo de inclinación óptimo.....	9
2.3 Energía fotovoltaica en España.....	10
2.4 Avances recientes	11
2.5 Normativa vigente	12
3. Diseño experimental	15
3.1 Componentes y equipos utilizados.....	15
3.1.1 Panel solar.....	15
3.1.2 Sensor de corriente ACS712.....	15
3.1.3 Sensor de tensión FZ0430.....	16
3.1.4 Arduino UNO.....	16
3.1.5 Multímetro digital.....	17
3.1.6 Divisor de tensiones.....	18
3.2 Adquisición de datos	18
3.2.1 Conversión analógico-digital.....	19
3.2.2 Script.....	20
4. Resultados.....	23
4.1 Resultados primera fase experimental	23
4.2 Segunda fase experimental	25
5. Conclusiones	27

5.1	Conclusiones primera fase experimental	27
5.2	Conclusiones segunda fase experimental	28
5.3	PVGIS	29
5.4	Conclusión	31
6.	Diseño del soporte.....	32
6.1	Estructura utilizada	32
6.1.1	Base de la placa	32
6.1.2	Apoyos laterales	35
6.1.3	Apoyo del motor	35
6.2	Prototipo descartado	36
6.2.1	Base descartada	37
6.2.2	Apoyos	38
6.2.3	Leva	39
6.3	Mecanismo empleado	40
6.4	Materiales utilizados.....	41
6.5	Impresión 3D	43
6.5.1	Proceso de impresión	44
7.	Implementación del movimiento.....	46
7.1	Componentes empleados.....	46
7.1.1	Motor paso a paso con controlador.....	46
7.1.2	Soporte diseñado	47
7.2	Código utilizado	47
8.	Mejora obtenida.....	49
8.1	Mejora de eficiencia	49
8.2	Mejora económica.....	50
8.3	Conclusiones finales	51
9.	Futuras líneas de desarrollo.....	53
9.1	Seguidor solar de un eje	53
9.2	Aplicación real del prototipo	54
10.	Planificación temporal	56
10.1	Planificación	56
10.2	Estructura de Descomposición de Proyecto	56
10.3	Diagrama de Gantt	58

11. Bibliografía	59
PRESUPUESTO.....	61
1. Introducción.....	62
2. Desarrollo del presupuesto	62
2.1 Presupuesto componentes y equipos	62
2.2 Licencias de software	64
2.3 Mano de obra	64
3. Presupuesto final.....	65
4. Referencias	66
PLANOS	67

Índice de figuras

Figura 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2015).....	4
Figura 2: Curva Intensidad-Tensión (Asignatura Tecnología Energética, 2024)	8
Figura 3: Trayectoria del sol en el cielo (Microscopio.pro, 2024).....	9
Figura 4: Evolución de la potencia instalada de energía fotovoltaica (Red eléctrica, 2023)	11
Figura 5: Panel solar 3W (BricoGeek, 2024).....	15
Figura 6: Sensor de corriente ACS712 (BricoGeek, 2024)	16
Figura 7: Sensor de tensión FZ0430 (BricoGeek, 2024)	16
Figura 8: Arduino UNO (BricoGeek, 2024)	17
Figura 9: Multímetro digital (GuliTech, 2024).....	17
Figura 10: Esquema de divisor de tensiones (Wikipedia, 2017)	18
Figura 11: Conversión analógico-digital (Asignatura Tecnología Informática Industrial, 2024)	19
Figura 12: Circuito divisor de tensiones	22
Figura 13: Circuito sensor de corriente (Arca Electrónica, 2024).....	22
Figura 14: Medidas en función del ángulo de inclinación, 1ª parte	27
Figura 15: Medidas en función del ángulo de inclinación, 2ª parte	28
Figura 16: Ángulo de inclinación óptimo por meses	30
Figura 17: Diseño 3D, base de la placa descartada.....	33
Figura 18: Diseño 3D, base utilizada	34
Figura 19: Zoom diseño 3D, base de la placa.....	34
Figura 20: Diseño 3D, apoyos laterales	35
Figura 21: Diseño 3D, apoyo motor.....	36
Figura 22: Diseño 3D, base estructura rechazada	37
Figura 23: Diseño 3D, base estructura rechazada (parte inferior)	38
Figura 24: Unión base-apoyos.....	38
Figura 25: Diseño 3D, apoyos	39
Figura 26: Diseño 3D, leva.....	39
Figura 27: Prototipo	40
Figura 28: Pieza impresa apoyo motor	41
Figura 29: Comparativa PLA vs ABS (3D natives, 2024).....	42
Figura 30: Previsualización de pieza en el laminador	44
Figura 31: Motor paso a paso 28BYJ-48 con controlador ULN2003 (BricoGeek, 2024)	46
Figura 32: Comparativa de producción de potencia.....	50
Figura 33: Comportamiento de la eficiencia, sistema fijo vs seguimiento solar (Pelayo López, 2020)	53
Figura 35: Estructura de Descomposición del Proyecto	57
Figura 36: Diagrama de Gantt.....	58

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Resumen ejecutivo</i>	6
<i>Tabla 2: Mediciones día 1</i>	23
<i>Tabla 3: Mediciones día 2</i>	24
<i>Tabla 4: Mediciones día 3</i>	24
<i>Tabla 5: Mediciones día 4</i>	24
<i>Tabla 6: Mediciones día 5</i>	24
<i>Tabla 7: Media mediciones, 1ª fase</i>	24
<i>Tabla 8: Mediciones día 6</i>	25
<i>Tabla 9: Mediciones día 7</i>	25
<i>Tabla 10: Mediciones día 8</i>	26
<i>Tabla 11: Mediciones día 9</i>	26
<i>Tabla 12: Mediciones día 10</i>	26
<i>Tabla 13: Media mediciones, 2ª fase</i>	26
<i>Tabla 14: Ángulo de inclinación óptimo por meses (PVGIS, 2022)</i>	30
<i>Tabla 15: Comparativa de potencia generada</i>	49
<i>Tabla 16: Presupuesto de equipos</i>	63
<i>Tabla 17: Presupuesto de componentes electrónicos</i>	63
<i>Tabla 18: Presupuesto de materiales</i>	63
<i>Tabla 19: Presupuesto de licencias de software</i>	64
<i>Tabla 20: Presupuesto de mano de obra</i>	65
<i>Tabla 21: Coste total</i>	65

Índice de fórmulas

<i>Ecuación 1: Ley de Watt</i>	2
<i>Ecuación 2: Potencia máxima (Asignatura Tecnología Energética, 2024)</i>	8
<i>Ecuación 3: Factor de forma (Asignatura Tecnología Energética, 2024)</i>	8
<i>Ecuación 4: Rendimiento de células fotovoltaicas (Asignatura Tecnología Energética, 2024)</i>	9
<i>Ecuación 5: Voltaje saliente en un divisor de tensiones (Wikipedia, 2017)</i>	18
<i>Ecuación 6: Conversión analógico-digital (Asignatura Tecnología Informática Industrial, 2024)</i>	19
<i>Ecuación 7: Amortización (Aching Guzmán, 2004)</i>	62

MEMORIA

Documento 1

1. Introducción

1.1 Justificación

Durante los últimos años, se ha experimentado a nivel global un aumento en la inversión e implementación de energías verdes. Uno de los principales motivos de este cambio es la necesidad de reducir, en la medida de lo posible, los efectos y consecuencias que puede acarrear el cambio climático en nuestras vidas. Sustituir los combustibles fósiles por energías renovables tales como la energía fotovoltaica es una de las formas más efectivas de luchar contra los problemas medioambientales que hoy en día tanto preocupan.

Investigar este tipo de tecnologías es esencial para combatir los posibles efectos adversos del cambio climático y conseguir que, paso a paso, la producción de energías sea cada vez menos contaminante y más sostenible. Por ello, este proyecto se enfoca en mejorar y optimizar la producción de energía mediante el uso de placas solares.

En este proyecto se va a realizar un estudio de la variación de potencia generada por un panel solar en función del ángulo de inclinación. Para lograrlo, se llevarán a cabo desarrollos experimentales que permitan analizar la eficiencia de un mismo panel solar con diferentes ángulos de inclinación en un entorno controlado.

El ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos juega un papel clave en la captación de energía, si elegimos el ángulo correcto, la energía captada por una placa se maximizará. Por tanto, este factor permite optimizar la producción de energía y por tanto rentabilizar la instalación más rápidamente.

Gracias a la Ley de Watt (1736), se sabe que:

$$P = V * I \tag{1}$$

Ecuación 1: Ley de Watt

Aunque en esta ecuación no se ve representado el ángulo de forma implícita, lo cierto es que tanto la intensidad como el voltaje producidos por el panel solar varían según la inclinación de este, por lo que dicho ángulo afecta indirectamente a la potencia final obtenida por la placa.

Con el fin de realizar este estudio, se va a medir y analizar los datos obtenidos experimentalmente a través de un conjunto formado por una placa solar a la cual se le conectarán sensores de tensión y corriente. Estos sensores registrarán la potencia generada por los paneles en distintos ángulos de inclinación a lo largo del día.

Existen variables externas que pueden alterar o modificar la elección del ángulo. Entre ellas encontramos la ubicación geográfica en la que nos

encontramos, la posición del sol, la cual varía en función de la estación, o el clima de la zona. Estos factores se encuentran detallados más adelante.

El fin último de este trabajo es conseguir una mejora de la eficiencia de las placas solares. Dicha mejora se realizará en base a los datos obtenidos en la primera parte referentes al ángulo que optimiza la potencia. Esta tarea consiste en diseñar un soporte para las placas con inclinación variable gracias al cual se podrá ajustar el ángulo según sea requerido. Gracias a este diseño se asegurará un funcionamiento y una captación de la energía disponible óptimos.

1.2 Objetivo

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es registrar y analizar la potencia generada por una placa solar a lo largo del tiempo en función del ángulo de inclinación que dicho panel tenga. A partir de estos datos se pretende diseñar un soporte para placas solares con inclinación variable para conseguir maximizar la eficiencia.

Para cumplir esta serie de objetivos se han llevado a cabo diversas tareas detalladas a continuación. En primer lugar, se ha desarrollado un programa a través del software Arduino capaz de recabar y almacenar de manera precisa los valores de voltaje e intensidad generados por la placa solar. Cabe destacar que la ubicación geográfica juega un papel crucial en este estudio, por lo que los valores obtenidos dependen directamente de la ubicación en la que se realice esta parte experimental.

A continuación, mediante los datos recopilados de voltaje e intensidad, se analizaron los datos con el fin de determinar el ángulo que se debe aplicar para maximizar la producción de potencia. Estas medidas se realizaron en un periodo concreto del año, por lo que, evaluando estos datos y comparándolos con los obtenidos en otros estudios ajenos a este proyecto, se identificaron los ángulos óptimos de inclinación para los diferentes meses del año.

Finalmente, se ha realizado la fase de diseño e implementación del prototipo. El soporte ha sido diseñado para situar la placa en la inclinación ideal, variando la posición de forma mensual. Este movimiento se realiza a través de un programa de Arduino el cual se encarga de regular la inclinación mediante un motor paso a paso.

En resumen, a través de este proyecto se pretende recabar y analizar datos sobre la generación de potencia de una placa en función de su ángulo de inclinación. Tras analizar estos valores, se quiere automatizar el movimiento del soporte para asegurar una mejora de la eficiencia de las placas solares que lo utilicen. Al garantizar que la placa trabaja en el punto óptimo, se contribuye directamente a realizar el cambio tan necesario hacia energías sostenibles y renovables.

1.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son un conjunto de 17 metas de índole económica, ambiental y social que tienen como objetivo procurar un desarrollo sostenible y justo en los países. Estos objetivos fueron marcados en el año 2015 por las Naciones Unidas y forman parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Tienen la intención de abordar ciertos asuntos críticos que enfrenta nuestra sociedad actualmente con el fin de procurar oportunidades y una vida digna a las generaciones venideras. (Naciones Unidas, 2015)

A continuación, se encuentra la recopilación de estos objetivos.



Figura 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2015)

Debido a la urgencia existente a nivel mundial sobre la investigación y desarrollo de estas metas, este proyecto se ha realizado haciéndose eco de varios de los objetivos, más concretamente:

- **Objetivo 7.** Energía asequible y no contaminante. En general, pretende facilitar el acceso a una energía limpia y al alcance de todos. Concretamente, este proyecto trata de conseguir energía solar de manera más eficiente, por lo que, si se ponen en práctica estos avances, más individuos podrían beneficiarse de una energía sostenible.
- **Objetivo 9.** Industria, innovación e infraestructura. A través de este objetivo se pretende promover una industrialización sostenible poniendo especial hincapié en la innovación. El desarrollo de este proyecto guarda especial relación con la meta 9.4, la cual propone una modernización de la

estructura existente para que esta sea más sostenible, lo cual se puede lograr instalando placas solares o maximizando la producción de las que ya se encuentren instaladas.

- **Objetivo 11.** Ciudades y comunidades sostenibles. A través de este objetivo se pretende lograr comunidades más sostenibles, inclusivas y seguras. La meta 11.6 propone un descenso del impacto ambiental en las ciudades, el cual se puede ver reducido tras una aplicación del diseño propuesto en este TFG, ya que se generarían y utilizarían energías limpias en lugar de otras no sostenibles y contaminantes.
- **Objetivo 12.** Producción y consumo responsables. En general, se quiere garantizar una producción y consumo sostenible con tal de asegurar medios de subsistencia a las generaciones futuras y actuales. Concretamente la meta 12.2 habla de hacer un uso eficiente de los recursos naturales, que es justo lo que se pretende conseguir con este proyecto.
- **Objetivo 13.** Acción por el clima. El medioambiente se ha visto durante los últimos años perjudicado por las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero. Gracias a sistemas de obtención de energía como la fotovoltaica, estas emisiones se han reducido considerablemente, pero no hay que dejar de explorar nuevas maneras de optimizarlas.

1.4 Resumen ejecutivo

En la tabla siguiente se encuentra el resumen ejecutivo, donde se especifica en qué páginas se han redactado los diferentes conceptos. Esta tabla se ha realizado tomando como base el ejemplo indicado en la guía.

CONCEPTO	¿Cumple? (S/N)	¿Dónde? (páginas)
1. IDENTIFICAR:	Sí	2-5, 12-14
1.1. Planteamiento del problema y oportunidad	Sí	2-5
1.2. Restricciones (normas, códigos, necesidades, requisitos y especificaciones)	Sí	12-14
1.3. Establecimiento de objetivos	Sí	3-5
2. FORMULAR:	Sí	20-22, 32-39, 46-48
2.1. Generación de soluciones creativas (análisis)	Sí	20-22, 32-39, 46-48
2.2. Evaluación de múltiples soluciones y toma de decisiones (síntesis)	Sí	32-39
3. RESOLVER:	Sí	27-31, 49-52
3.1. Cumplimiento de objetivos	Sí	27-31, 50-52
3.2. Impacto global y alcance (contribuciones y recomendaciones prácticas)	Sí	49-52

Tabla 1: Resumen ejecutivo

2. Fundamento de la fotovoltaica

La obtención de energía eléctrica a través de la tecnología fotovoltaica se basa en la interacción de luz solar con un determinado material y su posterior absorción, lo cual genera un flujo de electrones. Este fenómeno, conocido como efecto fotoeléctrico, se produce indistintamente tanto con la radiación directa como con la difusa del sol, esta radiación incide sobre el material generando una corriente eléctrica de tipo DC. (Asignatura Tecnología Energética, 2024)

Es importante señalar que no cualquier material es válido para que se produzca correctamente este efecto, los materiales más adecuados son los denominados semiconductores, donde de todos ellos, el más utilizado es el silicio.

El funcionamiento es relativamente simple. En el caso del silicio, contamos con átomos de valencia atómica 4, por lo que se forma un enlace covalente con los átomos vecinos. Cuando la luz solar incide sobre el material, existe un aporte de energía que permite a algunos electrones saltar a la banda de conducción, lo que genera huecos en la banda de valencia. Este proceso, que requiere de una energía de aproximadamente 1,12 eV en el caso del silicio, se facilita mediante el dopaje, consistente en añadir impurezas para aumentar el número de electrones o huecos en el semiconductor. (Asignatura Tecnología Energética, 2024).

Una célula fotovoltaica se forma a través de la unión de dos láminas de semiconductor. Una de ellas, denominada capa P, está dopada con átomos que posean menos electrones de valencia que el semiconductor utilizado, al contrario de la otra capa, que tendrá impurezas de elementos con más electrones que el semiconductor y recibe el nombre de capa N. (Asignatura Tecnología Energética, 2024).

Cuando los fotones emitidos por el sol inciden sobre la capa N del material semiconductor, interaccionan cediendo energía a los átomos, los cuales son capaces de atravesar la capa del semiconductor creando un flujo de electrones a través del semiconductor. Esto genera una diferencia de potencial entre las capas N y P y provoca un campo eléctrico que obliga a la unión P-N a comportarse como un diodo. Este diodo, al estar constituido por un material semiconductor, es sensible a la radiación emitida por el sol, por lo que genera una corriente eléctrica cuando se le conecta una carga. (Asignatura Tecnología Energética, 2024).

2.1 Curva Intensidad-Tensión

La curva I-V, figura 2, caracteriza el comportamiento de la célula fotovoltaica. En esta gráfica destacan ciertos valores característicos, interesantes para el estudio de la eficiencia que se realizará posteriormente.

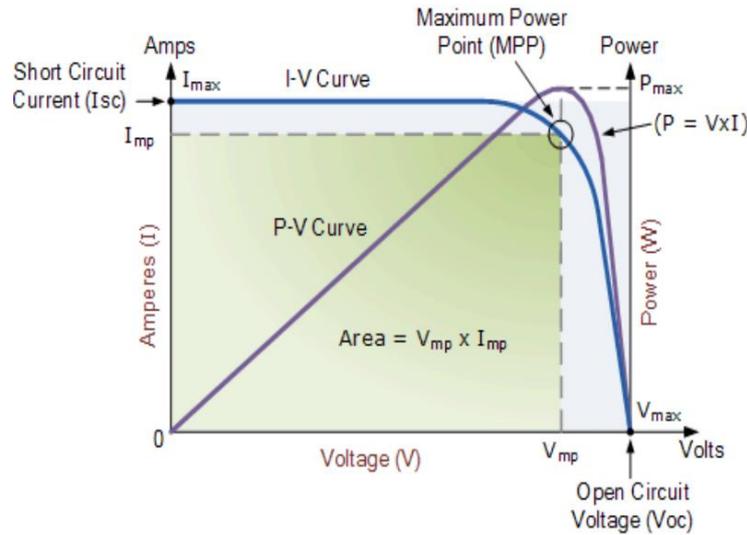


Figura 2: Curva Intensidad-Tensión (Asignatura Tecnología Energética, 2024)

El punto de máxima potencia (PMP) es fácilmente identificable en la Figura 2. El valor de este punto se obtiene aplicando la Ecuación 1 en el punto de funcionamiento de máxima potencia de la célula, por lo que resulta:

$$P_{max} = I_{MP} * V_{MP} \quad (2)$$

Ecuación 2: Potencia máxima (Asignatura Tecnología Energética, 2024)

Además, en la misma gráfica se visualiza la corriente de cortocircuito (I_{sc}), la cual está directamente relacionada con la radiación solar aplicada y se define como la máxima corriente a tensión cero. Asimismo, se representa la tensión de circuito abierto (V_{oc}), que suele rondar los 600mV y se obtiene cuando la corriente es cero, es decir, sin carga conectada. (Asignatura Tecnología Energética, 2024)

Es importante destacar que una célula fotovoltaica, en esencia, es una unión p-n que actúa como un diodo. Si esta unión fuera ideal, la potencia máxima sería mayor, definida por el producto de los puntos I_{sc} y V_{oc} . Sin embargo, debido a las pérdidas en las resistencias, se dibuja la curva I-V, que refleja el funcionamiento real de la célula. (Asignatura Tecnología Energética, 2024)

El factor de forma, definido por la ecuación 3, indica la calidad de la unión y las resistencias internas de la célula. Un valor mayor de este factor indica un comportamiento de la célula más cercano al de un diodo ideal.

$$FF = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (3)$$

Ecuación 3: Factor de forma (Asignatura Tecnología Energética, 2024)

Como consecuencia de esta ecuación se obtiene la eficiencia de conversión energética, fórmula mostrada a continuación:

$$\eta = \frac{V_{oc} * I_{sc} * FF}{P_L} = \frac{P_{max}}{P_L} \quad (4)$$

Ecuación 4: Rendimiento de células fotovoltaicas (Asignatura Tecnología Energética, 2024)

Esta eficiencia es una medida clave en la evaluación del rendimiento de las células fotovoltaicas ya que indica cuánta energía útil eléctrica se puede obtener en relación con la cantidad de energía solar incidente.

2.2 Factores que afectan al ángulo de inclinación óptimo

Para obtener el ángulo óptimo de inclinación debemos tener en cuenta diferentes aspectos. En primer lugar, hay que tener en cuenta que el panel solar debe apuntar en la dirección en la que se capture mayor radiación solar. Para lograr esto debemos conocer la ubicación geográfica en la que se va a trabajar y, por tanto, en qué hemisferio nos encontramos. Por ejemplo, en Valencia, España, al encontrarse en el hemisferio norte, las placas deberán apuntar siempre hacia el sur para generar mayor cantidad de energía. (Asignatura Tecnología Energética, 2024).

Por otro lado, existe un concepto denominado azimut, una magnitud que se mide en grados y determina el ángulo del panel solar con respecto a la orientación sur. Durante el estudio y diseño del proyecto, este valor se va a tomar como 0° de manera constante. Sería interesante realizar un análisis teniendo en cuenta el azimut a la par que el ángulo de inclinación, lo cual se podría tener en cuenta para futuras líneas de investigación.

Otro factor que considerar es la variación estacional, ya que este cambio afecta directamente a la inclinación que maximiza el rendimiento de los paneles. Esto es debido a que, durante el verano, el sol se encuentra en una posición más alta en comparación con los meses de invierno como se observa en la Figura 3. Esta diferencia entre estaciones altera la inclinación óptima, y este ángulo puede oscilar entre los 5 y 60 grados aproximadamente entre verano e invierno en una ubicación como es Valencia, España. (Microscopio.pro, 2024).



Figura 3: Trayectoria del sol en el cielo (Microscopio.pro, 2024)

Además, es importante considerar la presencia de posibles sombras generadas por edificios u otros obstáculos. Las sombras contribuyen a la disminución de la eficiencia, por lo que a la hora de colocar las placas hay que evitarlas en la medida de lo posible. Estas se deben colocar en lugares donde se garantice la mayor captación de radiación solar posible durante todo el día.

Por todo esto, ajustar la inclinación según la estación en la que nos encontremos, generará un aumento significativo en la energía generada por la instalación. En este trabajo se estudiará la incidencia del sol en la placa en un rango de tiempo concreto, por lo que para el resto de los meses se hará una estimación. Además, se asumirá que las interferencias y sombras que puedan afectar a las placas son nulas para facilitar los cálculos.

2.3 Energía fotovoltaica en España

Hoy en día en España, la producción de energía fotovoltaica es considerada la tecnología en desarrollo con mayor crecimiento en cuanto a potencia instalada durante los últimos años. Se define la potencia instalada como “la capacidad máxima de producción de energía que una planta de generación puede alcanzar bajo condiciones específicas de diseño y operación” (Rincón Mejía, 2007).

A pesar del estancamiento vivido entre los años 2012 y 2017 a causa de cambios en la regulación como el llamado “impuesto al sol” aprobado en 2015, actualmente se está experimentando un auge sin precedentes. La energía fotovoltaica ha experimentado un crecimiento en diferentes ámbitos.

Por un lado, gracias a ciertas políticas y subvenciones, los sistemas de autoconsumo han aumentado notablemente, estando estos presentes tanto en hogares como en empresas. También se han desarrollado multitud de grandes proyectos de generación de energías renovables de este tipo, aumentando considerablemente la potencia instalada. Todo esto ligado a la constante innovación y desarrollo, los cuales han contribuido a un aumento de producción a la vez que una reducción importante de los costes, haciendo que la obtención de energía fotovoltaica sea competitiva a nivel nacional.

Gracias a todas estas mejoras se ha conseguido una evolución en cuanto a potencia instalada bastante notable y constante, como se muestra en la siguiente figura.

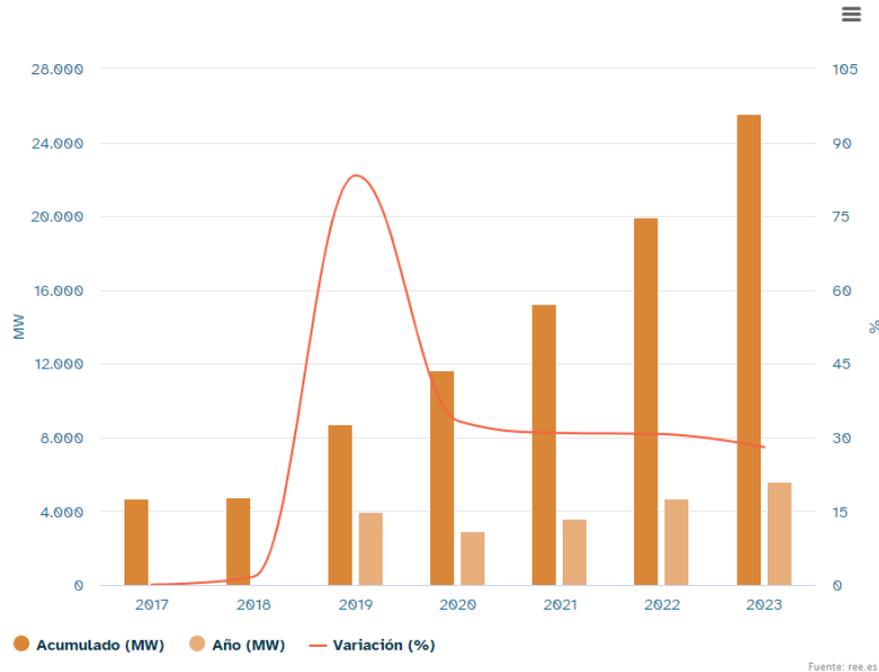


Figura 4: Evolución de la potencia instalada de energía fotovoltaica (Red eléctrica, 2023)

Tal y como se observa en la figura anterior, a partir del año 2018, año en el cual se eliminó el decreto correspondiente al impuesto al sol, se experimenta un aumento constante de la potencia instalada.

Es un hecho que España se trata de un país óptimo para desarrollar y alojar este tipo de sistemas de producción de energía debido a su alta irradiación solar a lo largo de todo el año. Gracias a las mejoras y avances que se están desarrollando, junto a las metas fijadas por el gobierno y las Naciones Unidas, se prevé que la producción siga creciendo y se continúe con la transición hacia energías más limpias.

2.4 Avances recientes

Debido a la creciente importancia que han tomado actualmente las energías renovables, están habiendo multitud de avances que contribuyen a aumentar la eficiencia de estas. Existen una gran cantidad de investigaciones gracias a las cuales se está asegurando un presente y un futuro más sostenible al alcance de todos.

Un ejemplo de esto es el reciente récord mundial en cuanto a eficiencia en placas solares desarrollado por una entidad adscrita a la Universidad de Oxford. Mediante esta investigación se ha logrado superar los límites fijados de manera teoría para este tipo de dispositivos. Hasta el momento, las células fotovoltaicas mayormente utilizadas han sido de silicio, teniendo una eficiencia de conversión máxima entorno al 30%. Sin embargo, los investigadores pertenecientes a Oxford PV han descubierto que, al combinar este material con otro denominado

perovskita, se obtienen unas células fotoeléctricas que podrían alcanzar hasta un 43% de eficiencia teóricamente, lo cual supone un avance más que significativo en este área. (Xataka, 2024)

Otro avance importante que se debe tener en cuenta es el desarrollo de las placas solares bifaciales. La empresa española FutureVoltaics ha desarrollado unas placas solares capaces de captar la radiación solar por ambas caras de la placa. Estas placas se posicional de manera vertical y van acompañadas de un par de reflectores encargados de direccionar la radiación hacia la plana. Esto ha sido un gran avance ya que se ha conseguido aumentar la producción de potencia sin necesidad de implementar un sistema móvil ni de utilizar seguidores solares. Se dice que esta nueva tecnología tiene aún bastante margen de mejora, pero hasta el momento ya ha conseguido aumentar se rendimiento hasta un 80% respecto a otro tipo de sistemas. (Marinero, 2024)

Con estos avances se demuestra la gran relevancia que cobra la investigación en temas de este calibre. Esto respalda la elección del tema para este Trabajo Final de Grado, el cual aboga por las energías limpias y pretende conseguir mayor eficiencia a la hora de generar dicha energía.

2.5 Normativa vigente

El marco legislativo que regula la fotovoltaica está formado por diversas normativas y decretos. Estas normativas han experimentado cambios significativos en los últimos años debido al importante crecimiento que ha experimentado la tecnología fotovoltaica.

En base a la legislación actual que rige la producción de energía solar fotovoltaica, se distinguen tres tipos de sistemas con su correspondiente normativa aplicable. Estos grupos se conocen como sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA), centrales fotovoltaicas (CFV) y sistemas de autoconsumo (SFCA). Sin embargo, la Ley 24/2013 del Sector Eléctrico es aplicable a todas las actividades relacionadas con la gestión y/o suministro de energía eléctrica, incluyendo la generación de esta. Esta norma, conocida como Ley del Sector Eléctrico, tiene como objetivo asegurar el suministro de la energía bajo unos estándares mínimos de calidad. Seguidamente, se detallan las diferentes normativas y/o decretos que aplican a los diversos tipos de sistemas fotovoltaicos. (Censolar, 2021)

Por una parte, los sistemas fotovoltaicos autónomos se caracterizan por no tener conexión con la red eléctrica, por lo que el excedente producido se debe almacenar en baterías. Este tipo de sistemas suelen estar ubicados en lugares sin acceso a la red eléctrica como pueden ser granjas o refugios de montaña. En este caso, la norma que se debe cumplir es la instrucción técnica BT-ITC-40 perteneciente al REBT, siendo esta aplicación diferente en función del subtipo con

el que se trabaje. Se distingue entre dos subtipos, las instalaciones que producen menos de 10kW y las que producen más. En el primer caso, únicamente se deberá realizar el Certificado de Instalaciones Eléctricas, realizado por un electricista acreditado. En caso de tratarse de una instalación de más de 10kW, el proyecto debe estar dirigido por un técnico en base a la instrucción ITC-BT-04. En caso de tratarse de una instalación de alta tensión, se deberían realizar ciertas consideraciones extra. (Censolar, 2021)

Por otro lado, las centrales fotovoltaicas son sistemas de producción conectados a la red. También reciben el nombre de huertos solares, ya que están diseñadas para verter la máxima cantidad de energía eléctrica al tendido eléctrico. En este caso, la potencia umbral para determinar la normativa se encuentra en 100kW. Cuando se trabaje con una potencia inferior a dicho límite, se empleará el RD 1699/2011, encargado de regular las conexiones de sistemas de producción de energía de pequeña potencia. (Censolar, 2021)

Por contrapartida, para una central fotovoltaica de más de 100kW, existen cuatro normas principales que las regulatorias (Censolar, 2021):

- RD 413/2014. Se centra en la regulación de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables.
- RDL 23/2020. Trata temas económicos relativos a la energía y otros ámbitos.
- RD 1183/2020. Relativo a la conexión y acceso a las redes de distribución energéticas.
- Circular 1/2021. Establece las fases y condiciones que se deben cumplir para el acceso y la conexión a las redes de transporte y distribución.

Finalmente, los sistemas de autoconsumo permiten a los usuarios producir su propia electricidad mediante la fotovoltaica, reduciendo su dependencia a la red eléctrica. Según el RD 244/2019, se divide entre sistemas de autoconsumo sin excedentes (no se puede inyectar energía a la red) y sistemas de autoconsumo con excedentes (existe la posibilidad de inyectar a la red). Ambos casos se rigen bajo el RDL 15/2018, decreto que instauró cambios como la eliminación del llamado “impuesto al sol” o la facilitación del autoconsumo compartido. (Censolar, 2021)

Por su parte, los sistemas de autoconsumo con excedentes se dividen a su vez entre sistemas con derecho a compensación y sin derecho a ello. Para ser considerado un sistema de autoconsumo con derecho a compensación, la instalación no debe superar los 100kW de potencia y además debe cumplir con la condición de proximidad. Factores como la compensación de excedentes y otros aspectos técnicos están recogidos en la orden TED/171/2020. (Censolar, 2021)

En resumen, se ha visto que cada configuración se rige por una normativa específica para asegurar unos estándares mínimos en cada uno de los sistemas. También cabe destacar que toda la legislación aplicada en estos sistemas tiene el objetivo de realizar una transición energética hacia fuentes de energía limpias y renovables, contribuyendo así al cumplimiento de la agenda 2030 desarrollada por las Naciones Unidas.

3. Diseño experimental

3.1 Componentes y equipos utilizados

Para la medición y el estudio de la potencia generada por una placa fotovoltaica en función del ángulo de inclinación, se van a utilizar equipos detallados a continuación.

3.1.1 Panel solar

El panel solar utilizado, mostrado en la figura 5, proporciona en buenas condiciones solares una tensión DC de 6V y una corriente de 500mA. Cuenta con células monocristalinas que, gracias a una eficiencia del 19%, generan una potencia máxima de 3W. (BricoGeek, 2024)



Figura 5: Panel solar 3W (BricoGeek, 2024)

Con ayuda de este dispositivo se realizará una medición tanto de la intensidad como del voltaje generados en diversas configuraciones, para así determinar el ángulo de inclinación que favorece al máximo la eficiencia de dicha placa.

3.1.2 Sensor de corriente ACS712.

El instrumento mostrado en la Figura 6 está basado en el circuito integrado ACS712 de Allegro MicroSystems y está diseñado para medir la cantidad de corriente que fluye a través de él. Esto lo consigue a través de un sensor de efecto hall que genera un voltaje de salida proporcional a la corriente que transcurre por su interior. La medida se realiza en el interior del circuito integrado, que se encuentra aislado del circuito de procesamiento. (BricoGeek, 2024).



Figura 6: Sensor de corriente ACS712 (BricoGeek, 2024)

Este será el sensor encargado de medir la corriente generada por el panel solar. Cuenta con las siguientes características (BricoGeek, 2024):

- Alimentación: 4,5 a 5,5 V
- Resistencia interna: 1,2m Ω
- Rango de medición: 0-5A

3.1.3 Sensor de tensión FZ0430.

El sensor representado en la Figura 7 está basado en un divisor de tensiones y cuenta con resistencias de 30k Ω y 7,5k Ω . Sus características son (BricoGeek, 2024):

- Rango entrada de tensión: 0-25V DC
- Voltaje máximo detectable: 25V
- Voltaje mínimo detectable: 24,41mV
- Resolución analógica de tensión: 4,89mV DC



Figura 7: Sensor de tensión FZ0430 (BricoGeek, 2024)

3.1.4 Arduino UNO.

Arduino UNO es una placa de desarrollo de microcontroladores de código abierto. Esta placa ofrece conjuntos de pines de entrada y salida tanto analógicos

como digitales para la conexión de sensores y actuadores, junto con una interfaz USB para la programación y comunicación con el ordenador.



Figura 8: Arduino UNO (BricoGeek, 2024)

A través de Arduino UNO, se pueden programar y ejecutar scripts para funciones muy diversas. Concretando para este trabajo, se utilizará para recopilar datos con ayuda de los sensores explicados anteriormente y a su vez será útil para controlar los motores correspondientes al funcionamiento del soporte móvil a diseñar.

3.1.5 Multímetro digital.

Gracias a este instrumento se ha ajustado y comprobado el correcto funcionamiento de los componentes empleados en este proyecto. A su vez, se ha verificado que las medidas tomadas por los sensores son las correctas comparándolas con las mostradas por el multímetro.



Figura 9: Multímetro digital (GuliTech, 2024)

Este multímetro dispone de unas medidas de tensión y corriente límite de 600V y 10A respectivamente. El rango de valores que se va a utilizar durante el desarrollo de este proyecto no va a superar el límite marcado por el multímetro, por lo que se considera que es un instrumento adecuado para el desarrollo del prototipo. (GuliTech, 2024).

3.1.6 Divisor de tensiones.

Un divisor de tensión se forma realizando una configuración específica en el montaje de un circuito. Esta distribución tiene como principal función distribuir el voltaje de una fuente entre varias resistencias conectadas en serie. A continuación, se muestra un esquema que representa esta configuración.

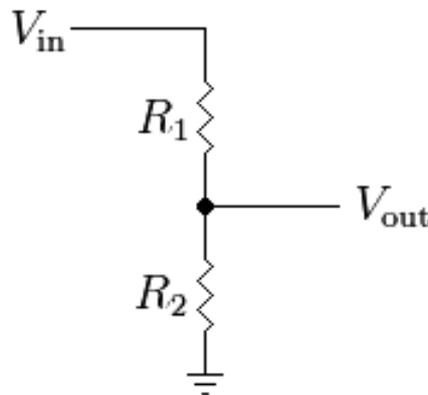


Figura 10: Esquema de divisor de tensiones (Wikipedia, 2017)

Durante este proyecto se va a emplear esta configuración para obtener el voltaje generado por el panel solar. Se hará uso de dos resistencias concretas de valor $R_1=1M\Omega$ y $R_2=0,1M\Omega$. Para obtener el voltaje deseado se hará uso de la siguiente ecuación:

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R_2}{R_1+R_2} \quad (5)$$

Ecuación 5: Voltaje saliente en un divisor de tensiones (Wikipedia, 2017)

3.2 Adquisición de datos

Como se ha comentado anteriormente, mediante el sensor de corriente y el divisor de tensiones, se va a realizar una medición de la potencia generada en diversas condiciones. Para facilitar este proceso, se ha programado un script de Arduino, cuya función principal es captar y almacenar simultáneamente los datos obtenidos por los sensores de forma automática. Los valores medidos aparecerán por pantalla y también se almacenarán en un Excel para posteriormente ser analizados.

3.2.1 Conversión analógico-digital

Los sensores utilizados para obtener datos generan señales analógicas. Para poder trabajar con estos datos en un sistema digital, se deben convertir estas señales analógicas en valores digitales. Esta conversión se conoce como conversión de analógico a digital (ADC).

Es sabido que los sensores generan señales analógicas que deben ser convertidas a valores digitales para su procesamiento. En el siguiente apartado de la memoria se verá reflejada este cálculo, el cual aparece en el código empleado para captar y almacenar los datos de los sensores. Esta conversión se rige por una proporcionalidad directa, tal como se muestra en la Figura 11.

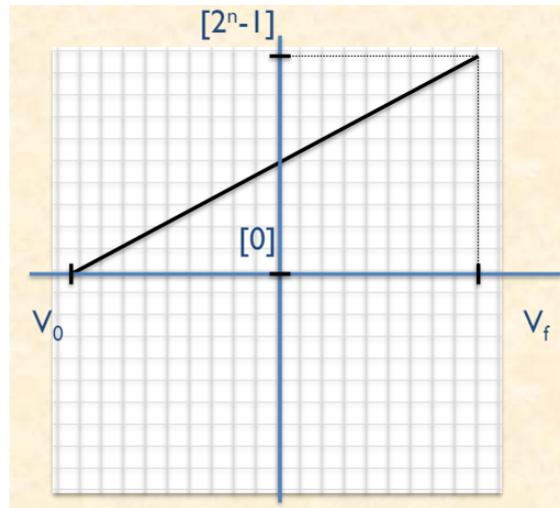


Figura 11: Conversión analógico-digital (Asignatura Tecnología Informática Industrial, 2024)

Concretando para este proyecto, se pretende emplear una tarjeta de adquisición de tipo digital-analógica de 10 bits y rango de medición de 0 a 5 voltios. Sabiendo esto, los valores de la gráfica resultan de la siguiente manera.

- $2^n-1=2^{10}-1=1024-1=1023$
- $V_0=0\text{ V}$
- $V_F=5\text{ V}$

Por tanto, la fórmula que se debe utilizar en este caso es la siguiente:

$$\text{Voltaje} = \frac{\text{lectura analógica} * 5,0}{1023,0} \quad (6)$$

Ecuación 6: Conversión analógico-digital (Asignatura Tecnología Informática Industrial, 2024)

Como se ha comentado anteriormente, la relación entre el valor analógico y el digital es directa y proporcional tal y como se puede observar en la fórmula descrita.

3.2.2 Script

El objetivo principal del programa es, a través del sensor y del divisor de tensiones conectados al panel fotovoltaico, obtener la intensidad, la tensión y la potencia generadas por la placa en cada instante. A su vez, dicha información se almacena y posteriormente será analizada.

El programa encargado de la recopilación de datos es el siguiente:

```
float r1 = 1000000;
float r2 = 100000;
float sensibilidad = 0.185; // Sensibilidad en V/A del sensor ACS712
(modelo específico)
float offset = 2.5; // Voltaje de offset (calibrar este valor)

// Si el sensor es de otro modelo, ajustar la sensibilidad:
// ACS712-05B: 0.185 V/A --> modelo usado
// ACS712-20A: 0.100 V/A
// ACS712-30A: 0.066 V/A

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("LABEL, hora, resultado, intensidad, potencia");
}

void loop() {
  // MEDIR VOLTAJE (divisor de tensiones)
  // R1=1M Ohm, R2=0,1M Ohm
  float v = (analogRead(A0)*5.0)/1023.0;
  float resultado = v*((r1+r2)/r2); // Ajuste de la fórmula del divisor
de voltaje

  // MEDIR CORRIENTE
  float voltajeSensor=analogRead(A1)*(5.0 / 1023.0); //lectura del sensor

  float I=(voltajeSensor-2.5)/sensibilidad; //Ecuación para obtener la
corriente

  // CALCULAR POTENCIA
  float p=I*resultado; // aplicando fórmula P=I*V

  // IMPRIMIR DATOS
  Serial.print("DATA, TIME");
  Serial.print(",");
  Serial.print(resultado);
  Serial.print(",");
  //Serial.print(" Voltios");
  //Serial.println();
  //Serial.print("Corriente: ");
```

```
Serial.print(I);  
Serial.print(",");  
//Serial.print("Potencia: ");  
Serial.println(p);  
delay(1000);  
}
```

Este programa se encarga de mostrar por pantalla los datos tomados por dos sensores simultáneamente. Gracias a un sensor de corriente (ACS712) y a un divisor de tensiones se obtienen los datos deseados y se calcula la potencia generada cada segundo. Además, los datos tomados son enviados y guardados en un Excel, con el fin de poder analizarlos más fácilmente.

A continuación, se explica de forma más detallada el programa ejecutado para la obtención de datos:

Por un lado, para obtener la corriente generada se utiliza el sensor ACS712 al cual se le ha fijado la sensibilidad en 0.185 V/A, tal y como indica el fabricante para el modelo de 5A. Posteriormente, después de que el sensor capte el valor analógico, se aplica una conversión analógico-digital, obteniendo así el voltaje asociado a la señal. Dicho voltaje se transforma en el valor correspondiente a la corriente mediante la sensibilidad del instrumento. Tras este último cálculo, se obtiene finalmente la corriente producida por la placa solar.

Para el caso del voltaje, aunque se utilice un divisor de tensiones, el proceso es similar. Simplemente se realiza la conversión analógico-digital, es decir, se lee el valor analógico que genera la placa y se obtiene el valor correspondiente a la tensión en voltios. Posteriormente se aplica la fórmula para ajustar el valor mediante el divisor de tensiones, con lo que se obtiene el voltaje generado.

Por último, gracias a los valores obtenidos de corriente y voltaje, se procede a calcular la potencia obtenida en dicho instante a través de la Ley de Watt, (1).

El divisor de tensiones se ha dispuesto como se muestra en la Figura 12, sustituyendo el potenciómetro por la placa solar. Gracias a esto se captan los valores correspondientes al voltaje generado por la placa.

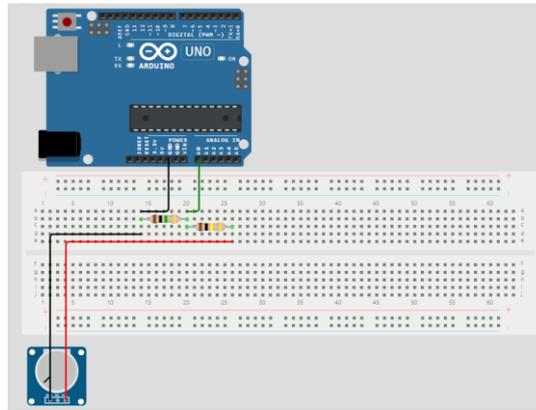


Figura 12: Circuito divisor de tensiones

Por otro lado, el montaje en el que se incluye el sensor de corriente sigue la siguiente distribución, siendo la fuente que aparece en el esquema equivalente a la placa solar:

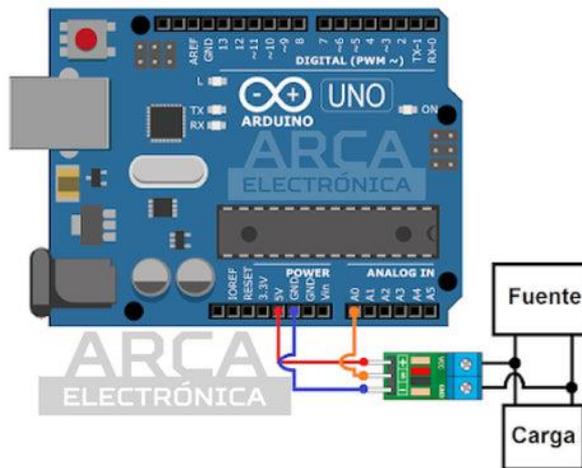


Figura 13: Circuito sensor de corriente (Arca Electrónica, 2024)

Los esquemas mostrados en las dos figuras anteriores se encuentran combinados, pero se han representado de esta manera para que su comprensión sea más sencilla. Es por eso por lo que los valores de tensión, corriente y potencia se obtienen de forma simultánea.

Como se ha comentado, el propio programa está diseñado para que los datos se transfieran de forma automática a una hoja de datos de tipo Excel. En el siguiente apartado se mostrarán los datos obtenidos en diferentes días y condiciones.

4. Resultados

El procedimiento que se ha seguido para poder hallar el ángulo que maximiza la eficiencia de la placa ha sido meramente experimental. Se han tomado las medidas de corriente y tensión posicionando la placa con diferente ángulo, con el fin de obtener los valores correspondientes a diversas inclinaciones para así poder estudiarlas y compararlas.

4.1 Resultados primera fase experimental

En una primera instancia, se han tomado medidas durante 5 días cercanos entre sí en el tiempo. Todos estos valores se han obtenido midiendo aproximadamente a las mismas horas para que el momento del día no influyese en las medidas tomadas. El procedimiento seguido ha consistido en tomar alrededor de 60 medidas diarias para cada ángulo de inclinación, tanto de voltaje como de intensidad, y una vez estas medidas han quedado registradas, se han analizado y se ha calculado el promedio de los valores para posteriormente poder estudiarlos. Es importante destacar que la fase experimental ha sido realizada entre los meses de abril y mayo, por lo que los resultados se van a ver afectados por este factor.

Durante este primer ensayo, se inició midiendo los valores deseados en 6 posiciones diferentes de la placa, de 0° a 50° en intervalos de 10° . Esto ha permitido descartar los ángulos menos favorables y poder así realizar una búsqueda más concreta del ángulo requerido.

De estas primeras medidas, se obtuvieron los datos que se muestran en las siguientes tablas. En cada una de ellas se ha marcado en verde la casilla correspondiente a la mayor producción de potencia.

Día 1			
Ángulo	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
0°	6,290	0,347	2,184
10°	6,626	0,527	3,497
20°	6,353	0,549	3,488
30°	6,713	0,571	3,834
40°	6,579	0,573	3,772
50°	6,258	0,551	3,448

Tabla 2: Mediciones día 1

Día 2			
Ángulo	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
0°	6,639	0,244	1,620
10°	6,745	0,205	1,382
20°	6,570	0,311	2,046
30°	6,643	0,309	2,053
40°	6,327	0,236	1,493
50°	6,231	0,216	1,346

Tabla 3: Mediciones día 2

Día 3			
Ángulo	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
0°	6,413	0,531	3,405
10°	6,533	0,296	1,934
20°	6,463	0,536	3,467
30°	6,487	0,349	2,263
40°	6,546	0,248	1,626
50°	6,481	0,196	1,273

Tabla 4: Mediciones día 3

Día 4			
Ángulo	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
0°	5,581	0,089	0,499
10°	5,825	0,422	2,456
20°	6,196	0,581	3,594
30°	6,107	0,385	2,351
40°	6,032	0,130	0,782
50°	6,755	0,191	1,296

Tabla 5: Mediciones día 4

Día 5			
Ángulo	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
0°	6,318	0,468	2,955
10°	6,201	0,445	2,758
20°	6,501	0,544	3,537
30°	6,764	0,564	3,815
40°	6,569	0,559	3,675
50°	6,889	0,375	2,580

Tabla 6: Mediciones día 5

Al obtener la media de los valores obtenidos a lo largo de estos días, se obtiene la tabla mostrada a continuación.

MEDIA			
Ángulo	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
0°	6,248	0,336	2,133
10°	6,386	0,379	2,406
20°	6,417	0,504	3,226
30°	6,543	0,436	2,863
40°	6,411	0,349	2,270
50°	6,523	0,306	1,989

Tabla 7: Media mediciones, 1ª fase

Viendo esta última tabla, se observa que el ángulo que maximiza la potencia generada por la placa para la época del año en la que se está realizando el estudio se encuentra entre 20° y 30°. Para obtener un ángulo más preciso, la segunda parte de este estudio se focalizará en obtener medidas de potencia utilizando únicamente ángulos pertenecientes a este rango.

4.2 Segunda fase experimental

Para esta segunda parte se emplea prácticamente la misma metodología que anteriormente. Se realizarán medidas en diferentes ángulos de inclinación y más tarde se analizarán los valores obtenidos. Se realizan las medidas ajustando el ángulo de inclinación en valores que se encuentren dentro del rango [20°-30°]. Concretamente se estudiarán 6 posiciones diferentes, variando de una a la siguiente 2° de la inclinación.

Aplicando esta segunda fase experimental, se obtienen los datos mostrados en las siguientes tablas. En esta segunda fase, los datos se han recopilado a lo largo de todo el día y se ha realizado una media de todas las medidas realizadas. Con esto, los valores obtenidos han sido los mostrados en las tablas siguientes.

Día 6			
Ángulo	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
20°	6,728	0,374	2,515
22°	6,365	0,363	2,311
24°	6,498	0,349	2,269
26°	6,438	0,336	2,163
28°	6,579	0,312	2,053
30°	6,378	0,358	2,282

Tabla 8: Mediciones día 6

Día 7			
Ángulo	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
20°	6,481	0,394	2,557
22°	6,441	0,241	1,550
24°	6,751	0,203	1,374
26°	6,498	0,370	2,401
28°	6,687	0,227	1,515
30°	6,485	0,349	2,263

Tabla 9: Mediciones día 7

Día 8			
Ángulo	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
20°	6,605	0,566	3,736
22°	6,508	0,531	3,446
24°	6,548	0,507	3,321
26°	6,503	0,376	2,441
28°	6,495	0,322	2,090
30°	6,107	0,385	2,351

Tabla 10: Mediciones día 8

Día 9			
Ángulo	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
20°	6,648	0,557	3,701
22°	6,533	0,431	2,817
24°	6,764	0,345	2,334
26°	6,507	0,403	2,623
28°	6,471	0,391	2,530
30°	6,467	0,270	1,747

Tabla 11: Mediciones día 9

Día 10			
Ángulo	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
20°	6,503	0,405	2,632
22°	6,517	0,429	2,796
24°	6,588	0,351	2,306
26°	6,527	0,301	1,964
28°	6,383	0,230	1,469
30°	6,396	0,224	1,432

Tabla 12: Mediciones día 10

A partir de estas tablas, se ha calculado la media de todos y cada uno de los valores que aparecen, resultando de la siguiente forma:

MEDIA			
Ángulo	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)
20°	6,593	0,459	3,028
22°	6,473	0,399	2,584
24°	6,630	0,351	2,321
26°	6,495	0,357	2,318
28°	6,523	0,296	1,931
30°	6,367	0,317	2,015

Tabla 13: Media mediciones, 2ª fase

Por tanto, se puede observar que el ángulo óptimo para el periodo en el que se han tomado las medidas es 20°.

5. Conclusiones

Este apartado se dividirá en dos partes. En primer lugar, se extraerán conclusiones a partir de los datos obtenidos experimentalmente y mostrados en el punto anterior. Por otro lado, debido a que este proyecto no abarca un año natural al completo, se extrapolarán estos datos y se investigará sobre el ángulo más eficiente para los meses en los que no se ha podido realizar la parte experimental.

Se debe recordar que la placa utilizada, según los datos del fabricante, puede producir un voltaje y una corriente límite de 6V y 0,5A respectivamente, lo que equivale a una potencia de hasta 3W. Si se observan los datos obtenidos en la fase experimental, existen muestras tomadas que superan el límite de la propia placa. Esto se puede ocasionar por diversos motivos, siendo el más probable la existencia de cierta tolerancia en el dispositivo. Por ello, a pesar de que el fabricante indique un valor máximo, el panel solar puede tener ciertas variaciones que originen una salida ligeramente mayor a lo establecido.

5.1 Conclusiones primera fase experimental

Los resultados obtenidos durante la primera fase experimental se encuentran detallados en la Figura 14, mostrada a continuación. Dicha gráfica se ha realizado a partir de la Tabla 7, donde se representan la media de las medidas realizadas durante la primera fase.

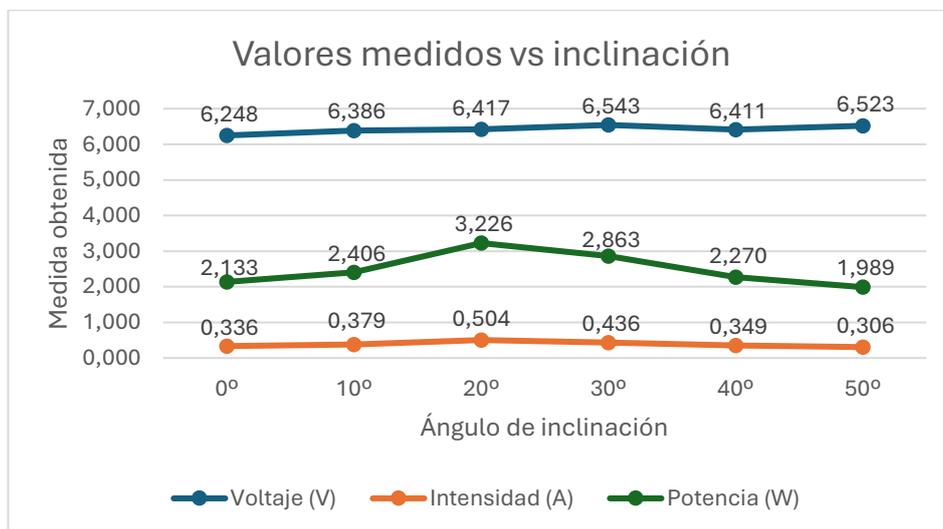


Figura 14: Medidas en función del ángulo de inclinación, 1ª parte

Observado la gráfica superior se pueden extraer diversas conclusiones. Por un lado, se observa una tendencia ascendente en los valores de tensión, es decir, cuanto más inclinada está la placa, más voltaje produce esta. Se puede apreciar que este aumento no es muy sustancial, se puede observar que la diferencia entre el voltaje mayor y el menor no supera el 4,2%.

Continuando con la corriente, existe un máximo claramente marcado cuando la placa se encuentra inclinada a 20°, en esta posición se aprecia una intensidad bastante superior al resto. Sin embargo, no debe pasar desapercibida la producción de corriente que se genera al colocar la placa a 30°, la cual es bastante significativa si se compara con otras posiciones.

Finalmente, el comportamiento de la potencia es bastante similar al de la intensidad, como era de esperar. La máxima potencia se obtiene cuando se posiciona la placa a 20° de inclinación, obteniendo una producción de 3,226 W. Además, al posicionar la placa a 30° se genera una potencia cercana al máximo, posición que es importante destacar.

A la vista de estos datos se podría concluir que el ángulo de inclinación que maximiza la producción de energía fotovoltaica es 20°, sin embargo, se desea realizar un estudio más exhaustivo. Para ello, se realizará una segunda parte experimental explicada en el apartado anterior.

5.2 Conclusiones segunda fase experimental

En esta segunda fase experimental se han obtenido valores que guardan cierta coherencia con la primera fase. Se ha realizado una gráfica a partir de la Tabla 13, la cual muestra los valores medios de todas las medidas realizadas en cada posición.

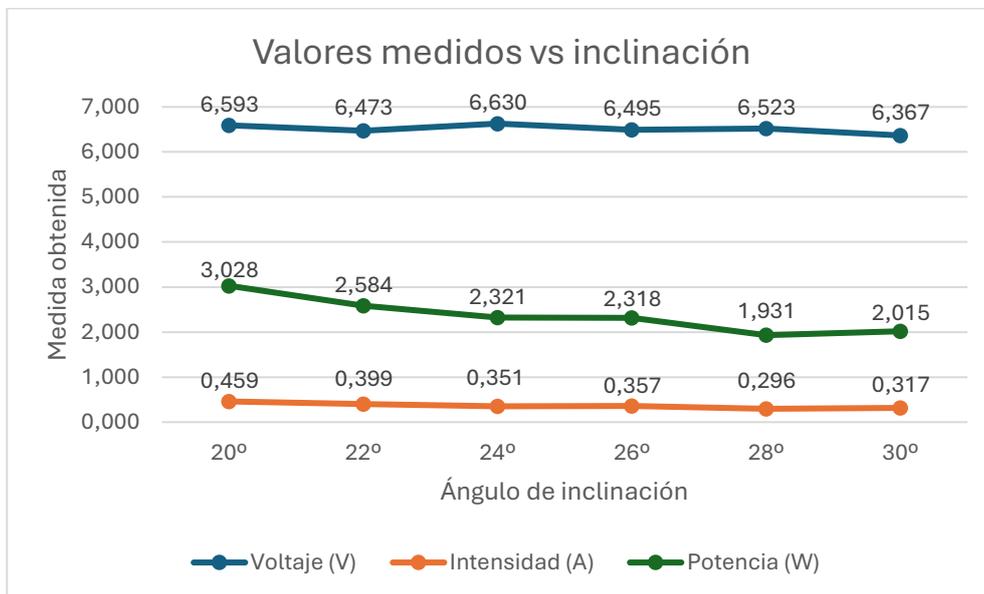


Figura 15: Medidas en función del ángulo de inclinación, 2ª parte

Esta gráfica muestra cómo fluctúa el voltaje, la intensidad y la potencia según el ángulo de inclinación en el que se posiciona la placa. De esto se pueden obtener diferentes conclusiones.

En primer lugar, se observa una variación de entre 6,367V y 6,630V, mostrando una leve oscilación a través de los diversos ángulos. Este comportamiento puede indicar que el voltaje generado no se ve afectado de manera significativa por el cambio de inclinación.

Por otro lado, se observa que la corriente experimenta un descenso pronunciado que indica que, a menor ángulo, el dispositivo es capaz de generar más corriente. El principal motivo de este descenso puede ser que, a mayores ángulos, el panel no se encuentre correctamente alineado con los rayos de sol y que, por tanto, se reduzca la corriente generada.

En cuanto a la potencia final obtenida, esta gráfica indica que, para maximizar la eficiencia de generación de potencia, es mejor posicionar la placa con un ángulo de inclinación lo más cercano a 20º posible. Se observa una tendencia claramente descendente conforme el ángulo de inclinación aumenta debido a una menor captación de luz solar directa.

5.3 PVGIS

Por otra parte, como se ha comentado anteriormente, se pretende utilizar este diseño a lo largo de todo el año. Por este motivo, al no tener datos experimentales de todas las épocas del año, los ángulos que logren maximizar la eficiencia en temporadas distintas a la que se ha efectuado el trabajo no van a poder ser demostrados experimentalmente. Estos valores se extraerán de otros estudios ya realizados y se comentarán a continuación.

Los datos expuestos a continuación han sido tomados a partir de una herramienta informática online denominada Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Este software está desarrollado por el Centro Común de Investigación Europea y emplea una base de datos a nivel europeo para proporcionar estimaciones sobre el rendimiento y otros aspectos relacionados con los sistemas de energía solar fotovoltaica en cualquier ubicación del mundo.

Para este proyecto, la ubicación empleada va a ser Valencia, España, con coordenadas (39.477, -0.327), mismo lugar que el usado para realizar las medidas de manera experimental. A través del software PVGIS se realizará un estudio en el que se muestre el ángulo óptimo que debe tener una placa solar según el mes del año localizado en dicho emplazamiento. La base de datos utilizada guarda datos entre los años 2005-2020, por lo que se emplearán los datos correspondientes al año 2020 por ser los más cercanos a la actualidad.

Gracias a este sistema se obtiene que el ángulo de inclinación medio que se debe utilizar en caso de dejar la placa fija y poder obtener la mayor potencia posible debe ser de 37º, estando la placa orientada al sur con un azimut de 4º. Este último dato no se tendrá en cuenta para realizar el posterior diseño del soporte ya que no es objeto de este proyecto.

Sin embargo, con tal de buscar la inclinación óptima para cada mes del año se genera la siguiente tabla gracias a los datos obtenidos mediante PVGIS.

	Ángulo óptimo
Enero	65°
Febrero	56°
Marzo	43°
Abril	27°
Mayo	12°
Junio	6°
Julio	9°
Agosto	21°
Septiembre	37°
Octubre	51°
Noviembre	62°
Diciembre	67°

Tabla 14: Ángulo de inclinación óptimo por meses (PVGIS, 2022)

Esta información se ha representado en forma de gráfica con el objetivo de que sea más visual y se comprenda más fácilmente. La gráfica muestra claramente cómo varía el ángulo necesario para maximizar la producción de energía en cada mes a lo largo de un año natural.

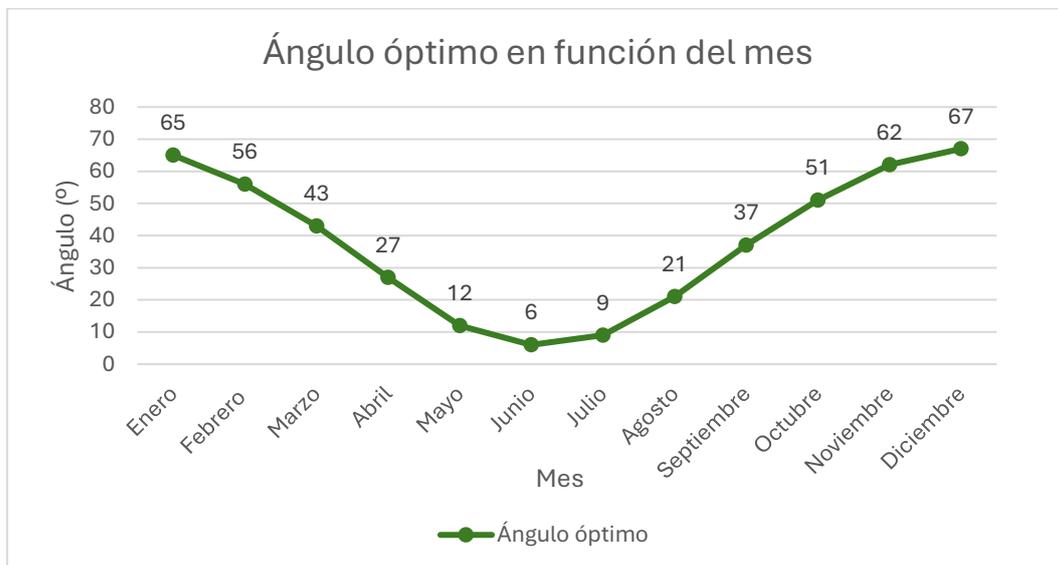


Figura 16: Ángulo de inclinación óptimo por meses

Esta gráfica muestra una evolución notable del ángulo de inclinación óptimo para la producción de energía fotovoltaica a lo largo del año. Por un lado, se observa que, durante los meses invernales, específicamente entre noviembre y febrero, se requiere de un mayor grado de inclinación para maximizar la potencia de la placa. Esto se debe a que el sol se encuentra en una posición más baja en el cielo durante el invierno, por lo que se requiere de una inclinación mayor para captar más radiación solar directa.

En contraste, los meses más cálidos, que comprenden el periodo de mayo a agosto, presentan los ángulos de inclinación más bajos. Este intervalo de tiempo coincide con la mayor producción de energía fotovoltaica, dado que el sol está más elevado en el cielo y la cantidad de radiación solar recibida por las placas es mayor. Ajustar las placas a un ángulo más bajo durante estos meses genera una captación de energía mayor.

Por último, los meses restantes ubicados en las estaciones de primavera y otoño, muestran un ángulo de inclinación intermedio, que generalmente oscila entre 25 y 50 grados. Durante este periodo, el sol se encuentra en una posición media, por lo que un ajuste intermedio de las placas mantiene una producción eficiente de energía.

Este ajuste periódico de inclinación en las placas es esencial para optimizar el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos y aprovechar al máximo la radiación solar, tanto directa como difusa, disponible en cada época del año.

5.4 Conclusión

Como conclusión referente a la parte experimental en conjunto, se puede afirmar que, para el periodo en el que realizaron las mediciones de voltaje, intensidad y potencia (entre abril y mayo), el ángulo de inclinación que maximiza la producción de potencia es 20°.

Para este periodo de tiempo, mediante el software PVGIS se sabe que los ángulos de inclinación óptimos para abril y mayo son 27° y 12° respectivamente. Si se calcula la media de estos ángulos se obtiene el siguiente valor:

$$\alpha = \frac{27 + 12}{2} = 19^\circ$$

Comparando este valor con el obtenido de manera experimental, se encuentra cierta coherencia. La diferencia es de solo un grado entre ambos valores, lo que sugiere que los resultados experimentales son bastante precisos ya que concuerdan con los valores generados por la base de datos PVGIS.

En resumen, esta coincidencia entre los valores experimentales y los generados por el software asegura una ejecución correcta de la fase experimental, lo cual valida el método empleado a la hora de realizar las mediciones. En base a los datos obtenidos se realizará el diseño y la puesta en marcha del soporte encargado de maximizar la producción de potencia.

6. Diseño del soporte

Durante este punto se explicarán los pasos que se han seguido para diseñar un soporte que permita la movilidad y el cambio del ángulo de inclinación de la placa solar. El programa utilizado para la representación en 3D de las diferentes piezas que conforman el soporte ha sido Autodesk Inventor 2024. Posteriormente se han impreso mediante impresora 3D las piezas necesarias para realizar el conformado de la estructura.

Para conseguir una variación de la inclinación, en un primer lugar se realizó un diseño que consta de una leva, la cual rota de forma solidaria al motor. Dicho motor, programado a través de Arduino, controla el movimiento de la leva, lo que provoca un cambio en la inclinación del panel solar. Finalmente, este diseño ha sido descartado debido a su complejidad geométrica.

Por ello, se ha optado por un mecanismo que dispone de un eje situado en el centro de la placa, el cual actúa directamente sobre la inclinación. En función de los grados que gire este eje, la placa experimenta el mismo movimiento. Este movimiento abarca un rango angular comprendido entre los 6 y los 67 grados, pasando por las posiciones intermedias.

Las medidas del panel solar que se va a emplear para este proyecto son 145x145x5mm. A partir de estas dimensiones se calculará el movimiento angular que debe realizar el motor para fijar el soporte en la posición deseada en cada momento.

En el desarrollo del prototipo, se realizaron dos posibles diseños para llevar a cabo. En los siguientes dos subapartados se muestran tanto el diseño que finalmente se va a ejecutar como el que ha sido rechazado y los motivos de esta elección.

6.1 Estructura utilizada

Para el diseño del prototipo se va a emplear una estructura que se compone de diversas piezas. El conformado de esta estructura tiene como principal objetivo posibilitar un cambio en la inclinación de la placa que sustenta. Sin embargo, también aportará estabilidad independientemente de la posición en la que se encuentre. Seguidamente, se realiza un desglose de las piezas diseñadas.

6.1.1 Base de la placa

Esta primera pieza se ha diseñado para albergar la placa solar. Dispone en uno de los lados, diseñado estratégicamente para hacer pasar el cableado de la placa a través de él. Además, cuenta con unos pequeños salientes en dos de las

esquinas, los cuales cumplen la misión de aguantar la placa dentro de la base a pesar de darle cierta inclinación.

La parte central de la base tiene unas dimensiones de 150x150x6mm en la parte exterior, cuyo borde tiene un espesor de 2mm por cada lado. Esto resulta en unas dimensiones interiores de 146x146x0.5mm. Estas medidas proporcionan cierto margen a la hora de colocar la placa en su interior, ya que las medidas de esta son de 145x145x5mm.

En un primer lugar se diseñó la base realizando dos huecos en la parte donde apoyaría la placa solar como se observa en la Figura 17. Esto se realizó con el propósito de reducir el gasto de material y, por ende, el tiempo dedicado a la impresión de esta pieza. Sin embargo, esta idea fue rechazada ya que para el prototipo se requiere de una pieza más sólida que garantice la correcta sujeción de la placa.

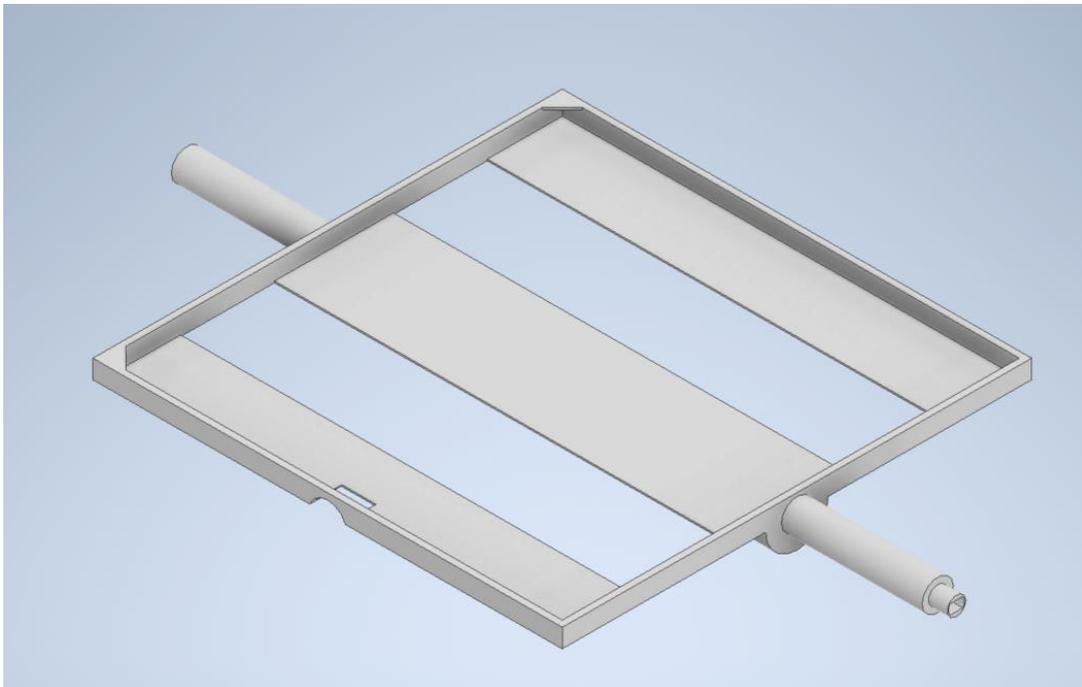


Figura 17: Diseño 3D, base de la placa descartada

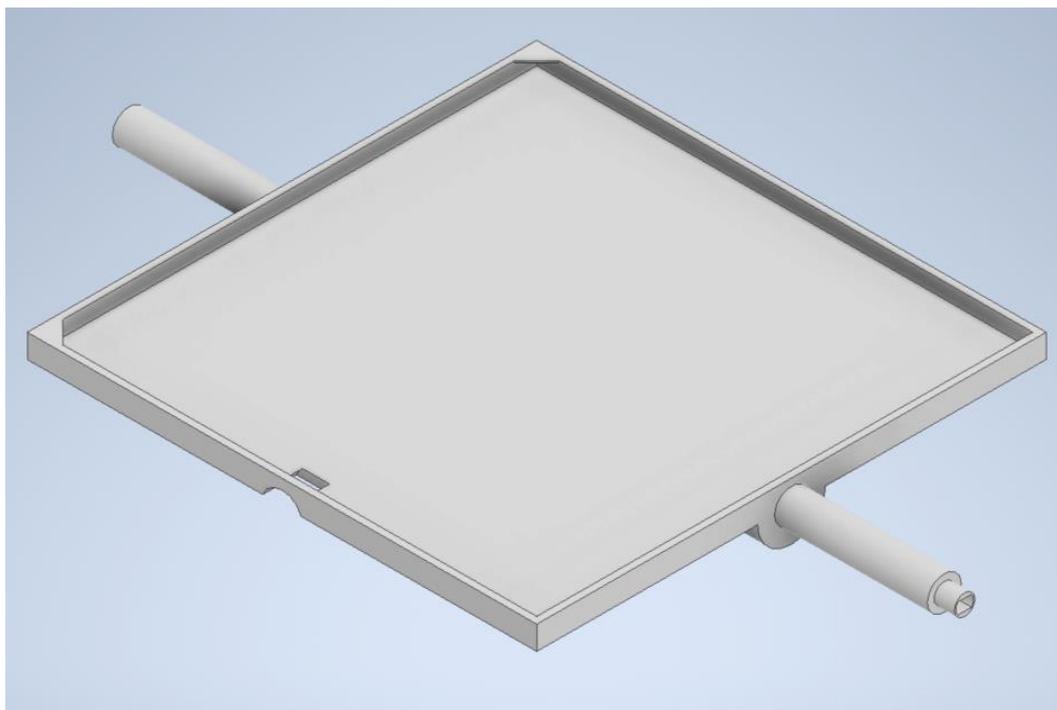


Figura 18: Diseño 3D, base utilizada

Por otro lado, se observan dos cilindros, uno a cada lado de la base. Estos se situarán encima de dos apoyos, los cuales se expondrán más adelante. Como se muestra más en detalle en la Figura 19, el cilindro derecho muestra cierta particularidad frente al izquierdo. Este saliente se apoya en el eje del motor para poder así transmitir el movimiento a la placa y cambiar la inclinación de esta.

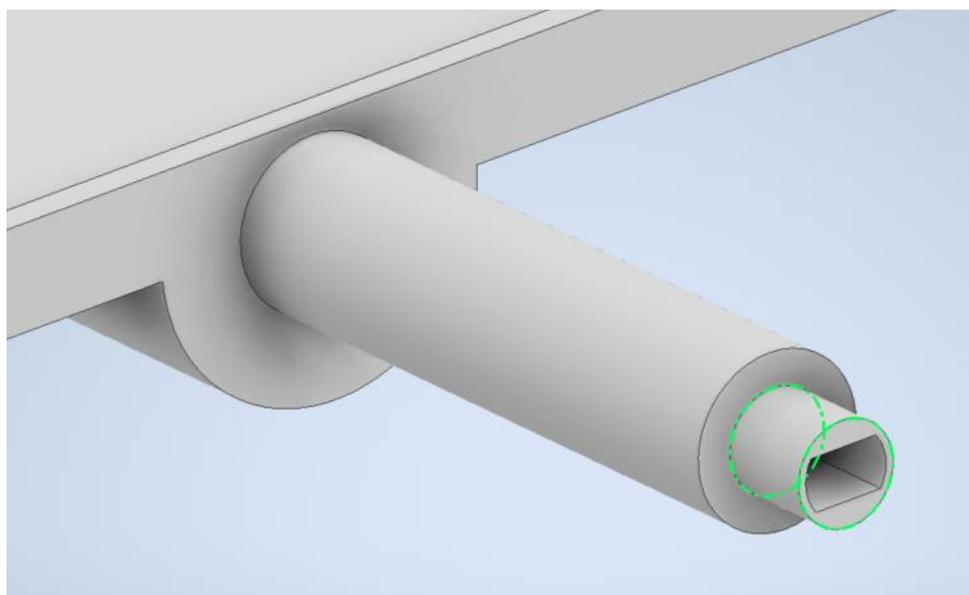


Figura 19: Zoom diseño 3D, base de la placa

6.1.2 Apoyos laterales

Dado que la placa debe tener cierta altura para poder inclinarse sin problema, se ha diseñado un par de soportes para aportar dicha altura y a su vez dar estabilidad a la estructura.

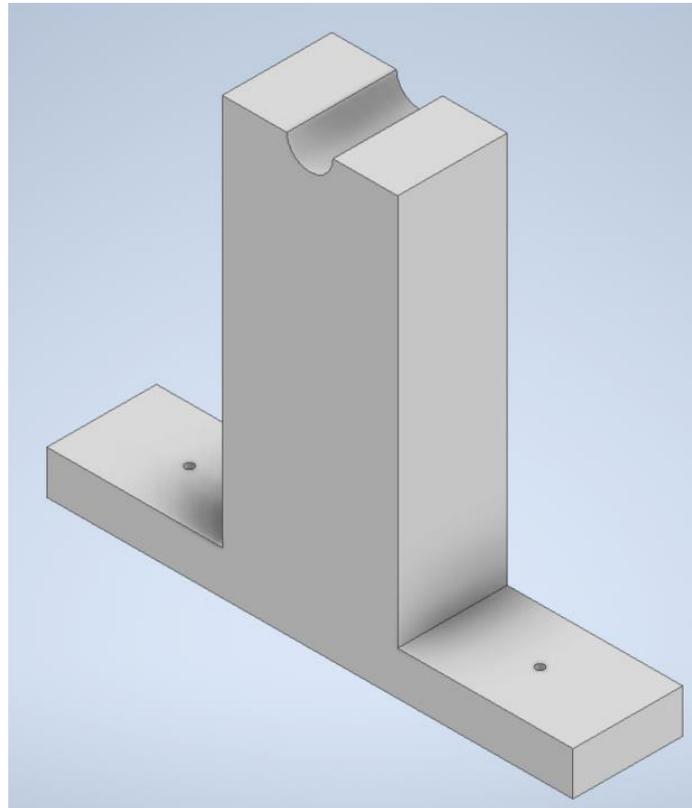


Figura 20: Diseño 3D, apoyos laterales

En la ranura de la parte superior descansará el cilindro comentado en el apartado anterior, permitiendo así el giro completo de la base de la placa. Este apoyo estará fijado mediante la tornillería que corresponda por la parte inferior a una superficie plana que simule el terreno o tejado donde se coloque el soporte.

6.1.3 Apoyo del motor

Este apoyo tiene una función diferente al anterior. Al estar la placa elevada, el motor también debe situarse a la misma altura para poder hacer que rote el soporte, es por eso por lo que se ha diseñado un apoyo con el fin de colocar el motor a la altura idónea.

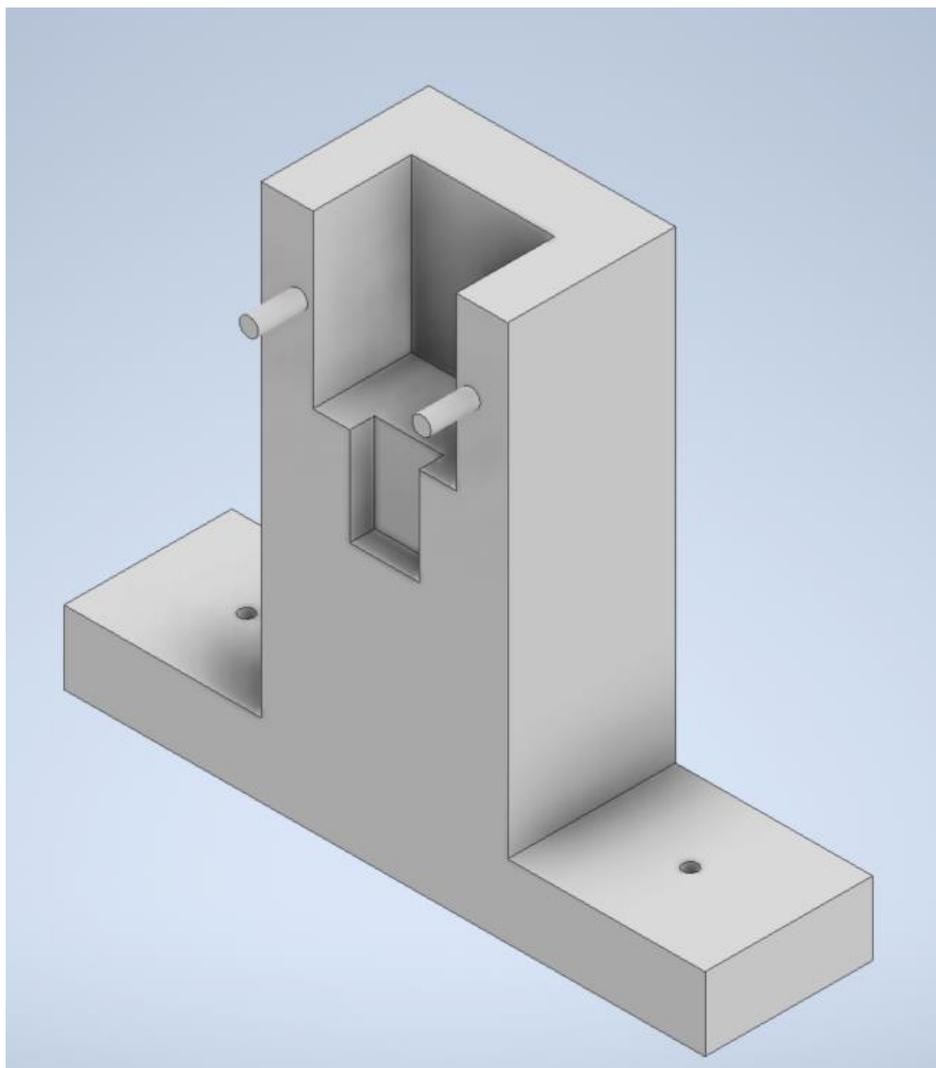


Figura 21: Diseño 3D, apoyo motor

Se puede apreciar una hendidura en la parte alta de la figura. Esto se ha diseñado con el fin de encajar el motor en dicho agujero y proporcionar fijación, a su vez, se ha creado un hueco para dejar pasar el cableado. Se han colocado dos salientes en la parte alta para que el motor quede bien sujeto sin necesidad de hacer uso de tornillería.

Al igual que en el caso anterior, este apoyo irá fijado a una superficie plana para garantizar estabilidad en la placa.

6.2 Prototipo descartado

Este diseño ha sido descartado por diversos motivos. En primer lugar, al emplear un mecanismo con leva, es necesario diseñarla correctamente para que su movimiento cubra el rango completo de elevación de la placa y así conseguir el ángulo de inclinación deseado en cada momento. Esto implica una tarea complicada que requiere de diversos cálculos para lograr una solución precisa.

Además, el movimiento generado por la leva no es tan exacto como el del diseño finalmente elegido.

A pesar de haber desechado esta idea, a continuación, se muestran las piezas que conforman este soporte y sus respectivas funciones.

6.2.1 Base descartada

Al contrario del diseño anterior, en este caso el movimiento de la base se realiza desde el lateral y de forma lineal. Los salientes que se aprecian en la parte izquierda de la Figura 22 se han diseñado con el fin de anclar la base por este lado y permitir así únicamente movimiento por la parte derecha. Al igual que el diseño anteriormente expuesto, se encuentra un orificio cuyo fin es hacer pasar el cableado y la placa, y en las esquinas, dos seguros para mantener la placa en su lugar.

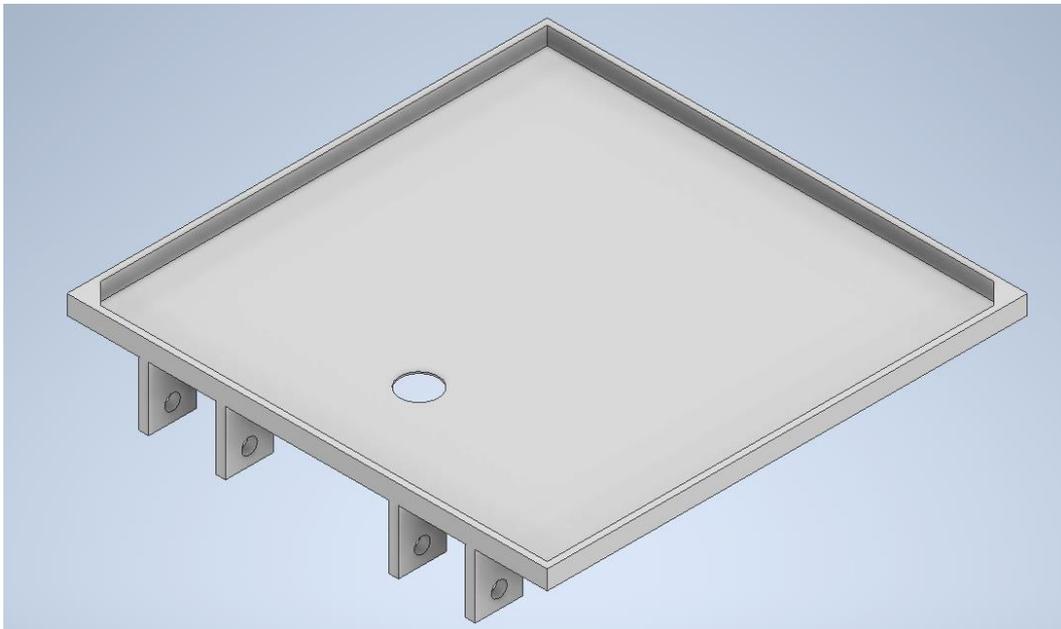


Figura 22: Diseño 3D, base estructura rechazada

La parte inferior de la base cuenta con una guía situada en la parte central por la que deslizaría la leva. Esta guía mostrada en la siguiente Figura también cumple la función de mantener la leva contenida en este carril, para que no ocurra ningún incidente y así, asegurar la estabilidad a la vez que se controla el movimiento de la leva.

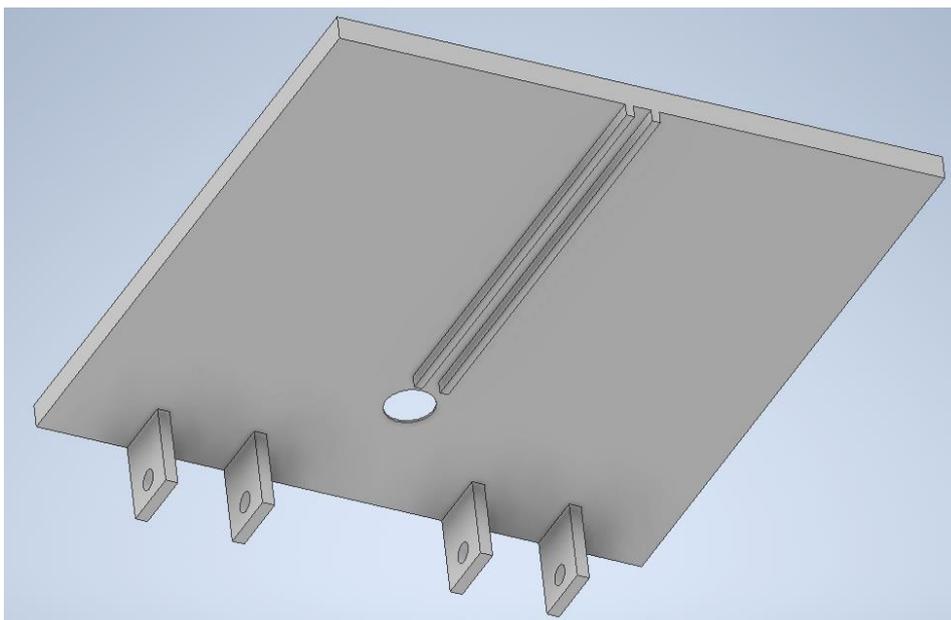


Figura 23: Diseño 3D, base estructura rechazada (parte inferior)

6.2.2 Apoyos

Estas piezas irán unidas a través de un pasador con los salientes de la parte izquierda de la base anteriormente mencionados como se puede ver en la Figura 24. El propósito de esta unión es, por un lado, fijar un lado de la base y a su vez permitir un grado de libertad únicamente para modificar el ángulo de inclinación.



Figura 24: Unión base-apoyos

En el diseño 3D siguiente, se muestran dichos apoyos, los cuales cuentan con un agujero central. Mediante la tornillería pertinente se hará una unión fija a través de estos orificios entre los apoyos y una superficie plana con tal de proporcionar una base común a todo el prototipo.

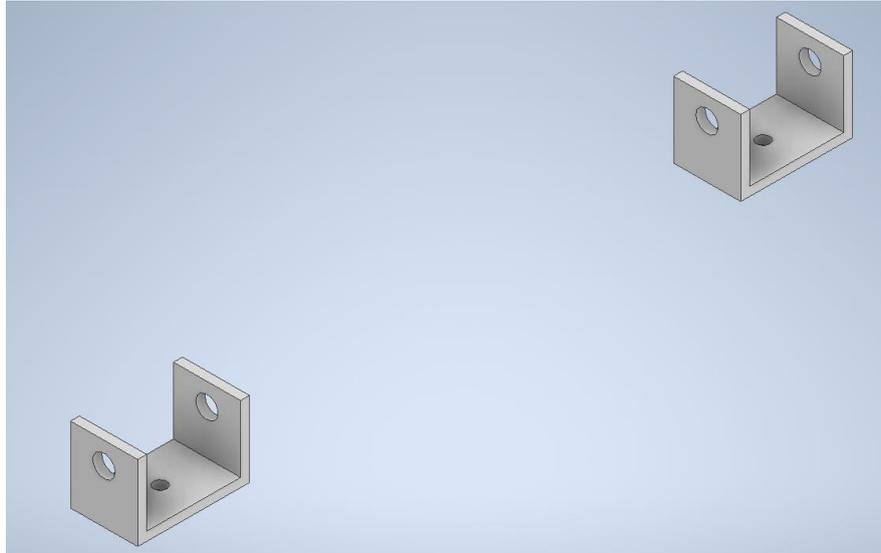


Figura 25: Diseño 3D, apoyos

6.2.3 Leva

Para conseguir un cambio en la inclinación, se emplea una leva similar a la mostrada en la Figura 26. El cilindro representado debe girar de manera solidaria al eje del motor y a través del mecanismo completo se logra un movimiento lineal a partir de otro angular. Por ello, según el movimiento del motor, la leva proporcionará cierta altura en mayor o menor medida, lo que alterará el ángulo de inclinación de la placa.

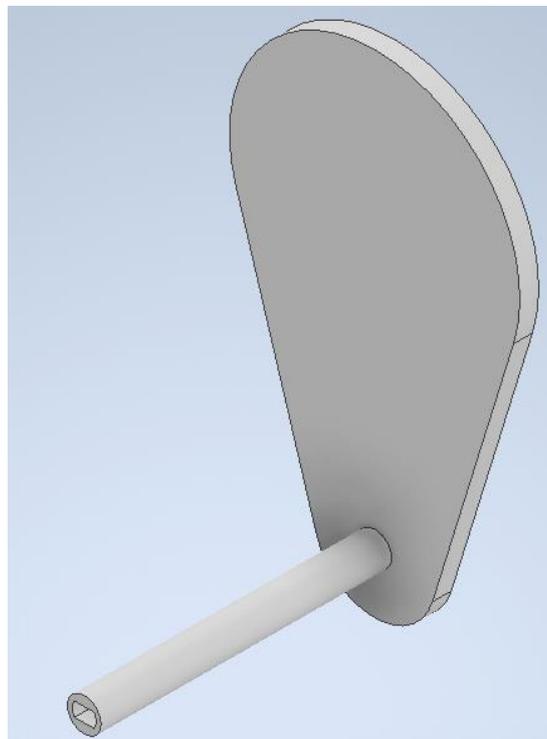


Figura 26: Diseño 3D, leva

6.3 Mecanismo empleado

En una primera instancia se planteó utilizar una leva para elevar el soporte. Una leva es un mecanismo comúnmente utilizado en el mundo de la automoción, cuyo principal función es transformar un movimiento rotativo en otro lineal. Esta transformación era ideal para el modelo que se había diseñado, pero finalmente esta idea fue rechazada por la complejidad de sus cálculos y su escasa precisión a la hora de controlar la inclinación.

Finalmente, se ha diseñado un mecanismo mucho más simple. El movimiento encargado de variar la inclinación va a ser rotatorio, y se va a producir directamente por el motor paso a paso. El eje de dicho motor va a ser solidario al eje sobre el que se va a rotar la placa, de modo que el movimiento que realice el motor va a ser idéntico al realizado por el soporte, de manera que el control de la inclinación es mucho más directo.

A continuación, se muestra el prototipo ensamblado.



Figura 27: Prototipo

Como se observa en la figura anterior, la placa solar se encuentra correctamente ajustada a la base. Bajo de cada uno de los salientes de la base se encuentran los apoyos, lo cuales están diseñados para permitir el giro a la vez que dan altura a la placa. Por otro lado, a la izquierda se encuentra el apoyo que sustenta al motor, estando el eje de este solidario al eje de la placa. Como se puede apreciar, el motor está conectado a un controlador, el cual es el encargado de dar las ordenes al motor. Todo esto está alimentado mediante la propia placa solar.

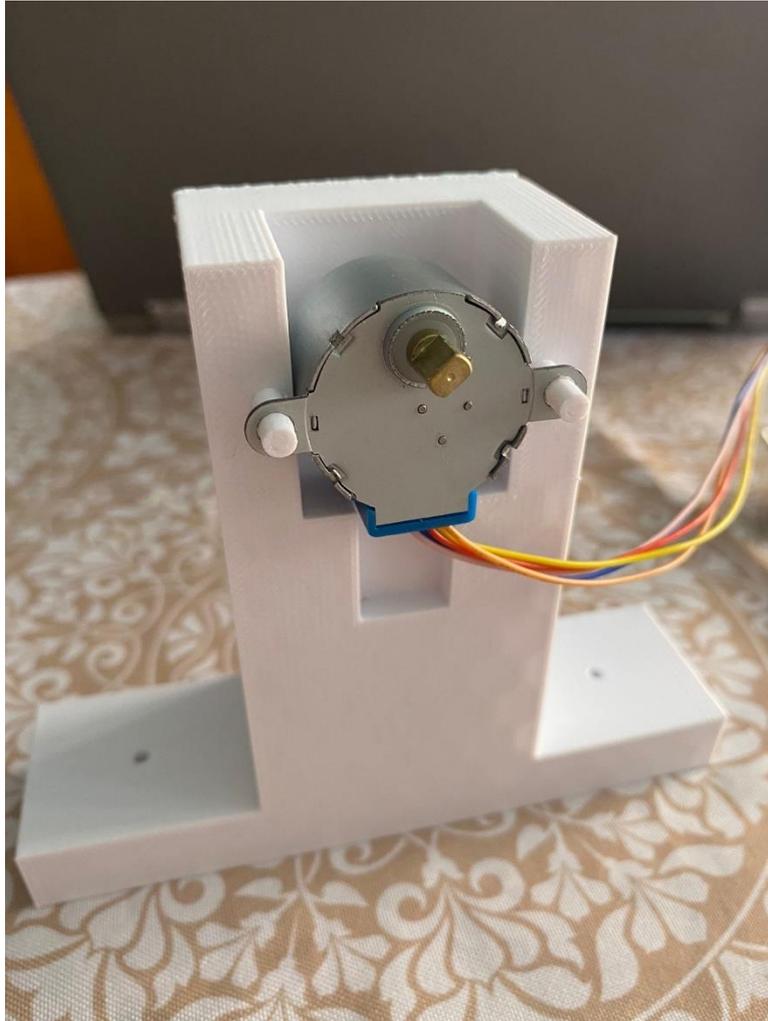


Figura 28: Pieza impresa apoyo motor

Gracias a esta figura se puede observar de manera más clara el montaje del motor en el soporte. Mediante los salientes laterales y el hueco central del soporte, el motor se encuentra completamente encajado sin necesidad de emplear tornillería.

6.4 Materiales utilizados

Para realizar la impresión 3D, el laboratorio de la Universidad Politécnica de Valencia en el que se está desarrollando este proyecto, cuenta con dos materiales diferentes para realizar las piezas impresas, el PLA y el ABS. En este apartado se comentarán las diferencias entre ellos y se elegirá el más adecuado para la ejecución del prototipo. Ambos materiales son capaces de deformarse y tomar la forma deseada al alcanzar altas temperaturas, ya que se tratan de plásticos termoplásticos, siendo esta su única similitud.

En términos de sostenibilidad, el PLA es la mejor opción ya que se fabrica a partir de elementos orgánicos extraídos de diversas fuentes como el maíz, la yuca

o la caña de azúcar. El componente principal utilizado para la fabricación de este material es el almidón vegetal fermentado, el cual se combina con ciertos elementos para obtener ácido láctico. En contraposición, el ABS se compone de acrilonitrilo, butadieno y estireno, todos obtenidos a partir del petróleo, como es común en otros tipos de plásticos, lo que genera un mayor impacto ambiental. Además, debido a su composición, el PLA es biodegradable a diferencia del ABS. A pesar de esto, cabe destacar que el ABS es un material reciclable, por lo que, si gestionan los residuos de manera apropiada, su impacto puede ser menor. (3D natives, 2024).

En cuanto a las propiedades mecánicas de estos materiales, se debería elegir el ABS dado que es más resistente a los impactos, lo que lo hace más duradero. Otro punto a favor es que este material es más ligero que el PLA, lo cual es una característica importante en el desarrollo de un prototipo como es el explicado en este TFG, un soporte accionado por un motor, ya que se necesitará de menor energía para realizar los movimientos deseados. (3D natives, 2024).

Basándose en la comparativa mostrada en la siguiente Figura, se pueden concluir diversos aspectos en referencia a características de estos termoplásticos. Si se desea un material con mejores propiedades mecánicas, mayor resistencia a altas temperaturas y más resistente habría que decantarse por el ABS. Por otro lado, ambos materiales manejan valores similares en cuanto a resistencia a tracción, por lo que esta característica no es concluyente a la hora de elegir. Sin embargo, el PLA es más apreciado para impresiones que requieran gran rigidez.

Al ser termoplásticos, ambos se degradan con el paso del tiempo al estar expuestos al sol u otro tipo de radiación. Pese a esto, el ABS es más resistente al calor y tarda más en deformarse.

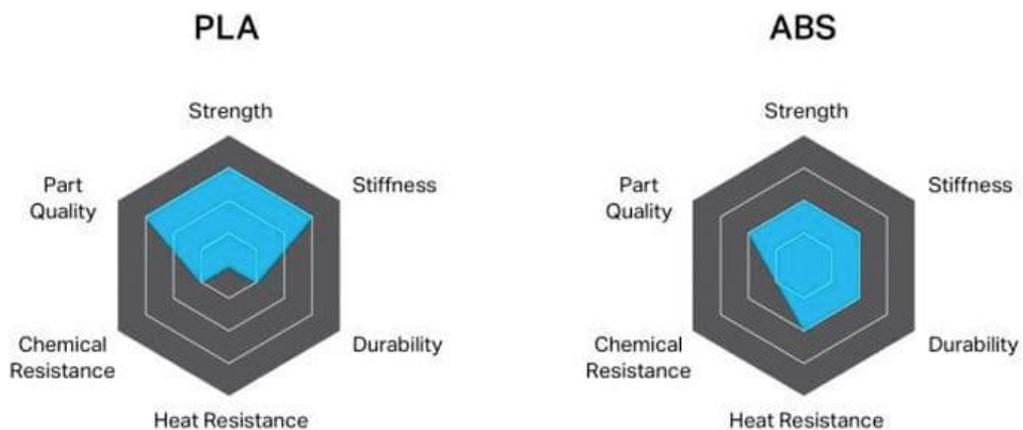


Figura 29: Comparativa PLA vs ABS (3D natives, 2024)

Por último, la velocidad de impresión que tienen estos materiales es diferente ya que su temperatura de transición vítrea varía de uno a otro. Para el

PLA, esta temperatura oscila entre los 60°C y 100°C, mientras que para el ABS asciende a una temperatura comprendida entre los 105°C y 200°C. Pese a esta gran diferencia de temperaturas, ambos materiales tienen una velocidad de impresión similar, en torno a los 60mm/s, sin embargo, se ha comprobado que el PLA imprime a velocidades ligeramente mayores sin presentar grandes inconvenientes. (3D natives, 2024).

Como conclusión, la elección entre PLA y ABS depende de las prioridades del proyecto. En este caso, al tratarse de una maqueta que no va a estar expuesta a grandes temperaturas ni va a sufrir impactos, no importa decantarse por uno o por otro. Sin embargo, si se realizasen estos soportes a tamaño real con el fin de ser utilizados, el ABS sería el más adecuado, especialmente por su resistencia al calor.

Finalmente, las piezas del soporte se han elaborado a partir de PLA, ya que se disponía de más cantidad de este material en el laboratorio y es más sencillo de tratar.

6.5 Impresión 3D

El método elegido para la obtención de piezas es la impresión 3D, lo cual trae consigo multitud de beneficios. En primer lugar, este método permite realizar geometrías complejas que con otras formas de fabricación tradicionales serían más costosas y requerirían de mucho más tiempo de ejecución. Por otro lado, la impresión 3D también reduce el tiempo y costes asociados a la preparación y desarrollo de las piezas, ya que este método no requiere el uso de moldes u otras herramientas específicas.

A todo esto, se le añade la optimización de material, reduciendo al máximo el desperdicio. Otros métodos de fabricación como el mecanizado utilizan a modo de material de partida un bloque sólido al que se le debe eliminar cierto material. Esto genera una pérdida sustancial de material y a su vez, genera una gran cantidad de residuos. En contraposición, el método utilizado, emplea un sistema en el que el material se va depositando paulatinamente hasta obtener la pieza deseada, lo cual reduce el gasto innecesario de material, haciendo el proceso más sostenible.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que los tiempos de impresión de las piezas pueden alcanzar hasta las 10 horas para una única pieza en función de su tamaño y complejidad. Es por ello por lo que se debe comprobar repetidas veces el correcto diseño del prototipo con tal de no ocasionar una gran pérdida de tiempo y material.

Realizar pruebas previas a la impresión de las piezas finales es una comprobación que puede ahorrar mucho tiempo, ya que se pueden detectar posibles fallos que hubieran ocasionado una pérdida en la calidad de la pieza a

imprimir. Además, el uso previo de un software de laminado ayuda a simular el proceso e impresión y así identificar y corregir problemas potenciales, asegurando el correcto diseño y posterior ejecución.

6.5.1 Proceso de impresión

Para conseguir las piezas impresas en 3D, hay que seguir varios pasos. En primer lugar, se deben realizar los diseños en 3D, lo cual se ha llevado a cabo utilizando Inventor. Se realizaron medidas previas para asegurar que las piezas encajaran correctamente entre ellas y cumplieran su función.

Seguidamente, se deben exportar los archivos a un formato STL (Standard Tessellation Language), formato estándar para impresoras 3D. Estos archivos se procesan a través de un programa conocido como laminador, el empleado durante este proyecto ha sido FlashPrint 5. Este software permite previsualizar la pieza tal y como va a ser impresa. A continuación, se muestra un ejemplo.

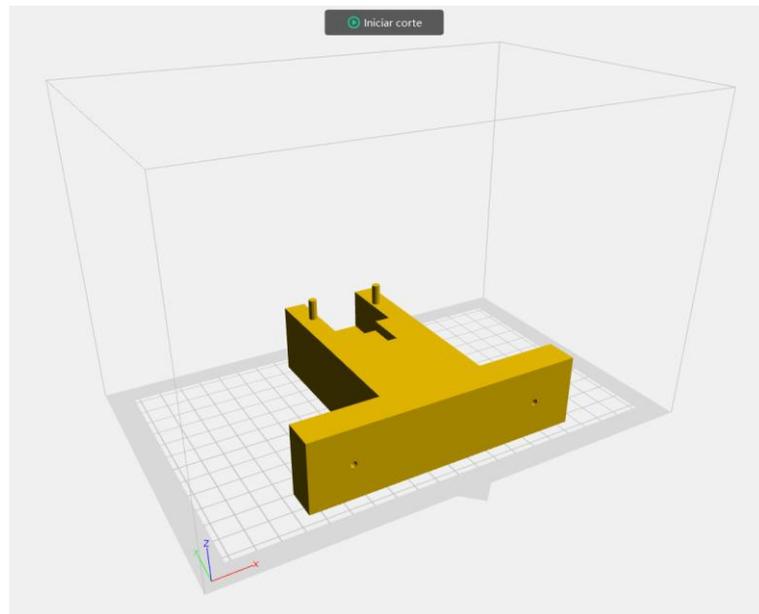


Figura 30: Previsualización de pieza en el laminador

Mediante este software, se pueden realizar cambios en la pieza relativos al tamaño o a la posición, aunque es recomendable hacer los cambios en el archivo original. Además, se deben ajustar ciertos parámetros que afectarán a la calidad final de la pieza impresa. Los parámetros más importantes con los respectivos valores empleados en la impresión de las piezas de este proyecto son los siguientes:

- Densidad de relleno: 10%
- Temperatura de la cama: 50°C
- Temperatura del extrusor: 210°C
- Material empleado: PLA
- Uso o no de soportes: en función de la pieza

El uso o no de soportes es un factor muy importante que tener en cuenta. Los soportes se utilizan cuando existen partes de una pieza en voladizo o que sobresalen de alguna manera. De este modo, los soportes sirven de base para imprimir encima de ellos. El software utilizado es capaz de ubicar los soportes necesarios de forma automática, lo cual facilita de forma sustancial el trabajo.

Tras comprobar que la pieza está correctamente dispuesta en el laminador y de haber fijado los parámetros deseados, se debe generar el archivo conocido como G-code, el cual contiene las instrucciones concretas para realizar la impresión 3D. Al generar este archivo, el software realiza una estimación del tiempo previsto de impresión y de la cantidad de material empleado, lo cual resulta muy útil para la planificación.

Por último, llega el turno de la impresión. Previamente hay que asegurarse de que el filamento del material elegido esté correctamente cargado y de que la superficie de la cama esté debidamente limpia. Esto último es importante ya que asegura la adherencia de la pieza. Finalmente, mediante una tarjeta SD se debe cargar el archivo G-code generado y comenzar la impresión. Una vez la pieza esté acabada, se debe retirar de la cama de impresión con sumo cuidado. En caso de haber hecho uso de soportes, estos deben ser retirados.

El tiempo invertido en la impresión definitiva de las piezas utilizadas en el prototipo ha ascendido a un total de aproximadamente 35 horas, excluyendo el tiempo invertido en diseñarlas, laminarlas y las pruebas realizadas previamente. Con esto se demuestra la importancia de realizar una planificación previa con tal de reducir costes y tiempos, alcanzando resultados de buena calidad.

7. Implementación del movimiento

Para lograr un movimiento preciso, se hará uso de dos motores paso a paso los cuales serán los encargados de variar la inclinación del soporte, y por tanto de la placa. Estos motores están programados por Arduino y se accionan con el propósito de conseguir la mayor eficiencia posible.

Se pretende diseñar un programa que permita un movimiento autónomo, es decir, sin necesidad de accionarlo de forma manual. Este cambio de inclinación guardará una relación directa con la estación del año en la que nos encontremos.

Es sabido que, según la época del año, el sol incide de una manera u otra sobre la superficie terrestre y sigue un recorrido específico desde el punto de vista de la Tierra. Por esto, gracias a las conclusiones obtenidas previamente, se pretende maximizar la eficiencia de la placa variando su ángulo de inclinación.

7.1 Componentes empleados

A continuación, se enumeran y detallan los componentes empleados para poder conseguir el movimiento deseado.

7.1.1 Motor paso a paso con controlador

Gracias al elemento mostrado en la Figura 31, se transmitirá el movimiento necesario al soporte diseñado con el fin de conseguir la inclinación ideal según la época del año. Se trata de un motor paso a paso de 64 pasos por vuelta con una alimentación de 5V que incluye el controlador ULN2003. El diámetro de su eje es de 5 mm, aunque disminuye a 2,95 mm en su parte plana. (BricoGeek, 2024).

Posteriormente se estudiará la cantidad de motores necesarios para hacer funcionar el soporte que se utilizará para alterar la inclinación de la placa solar.



Figura 31: Motor paso a paso 28BYJ-48 con controlador ULN2003 (BricoGeek, 2024)

7.1.2 Soporte diseñado

El soporte expuesto con anterioridad será en que reciba el movimiento del motor. Al estar la placa apoyada en dicho soporte, se transmitirá este movimiento de forma directa y finalmente, se logrará el cambio de inclinación deseado.

7.2 Código utilizado

El código mostrado a continuación, generado a través de Arduino, es el encargado de variar la inclinación de la placa mediante el movimiento del motor paso a paso a través de la rotación del eje. El objetivo de este programa es conseguir un cambio de inclinación mensual, es decir, en el momento en el que comience un nuevo mes, el motor debe posicionar la placa en el ángulo de inclinación que optimice la producción para dicho mes.

A modo general, el programa que se muestra a continuación se encarga de mover el motor paso a paso según la secuencia de ángulos deducida anteriormente. Para realizar cada movimiento, se calculan los pasos necesarios, el motor rota y se espera dos segundos antes de realizar el siguiente giro. Al finalizar la secuencia, el motor se desplaza hasta la posición definida como 0 grados y el ciclo se reanuda tras esperar dos segundos.

El motivo de la pausa de dos segundos es simular el tiempo que debe transcurrir entre movimientos a la hora de poner el soporte en marcha, siendo este de un mes. Se ha fijado un tiempo corto con el fin de comprobar el correcto funcionamiento del programa.

```
#include <Stepper.h>

const int stepsPerRevolution = 2048; // Número de pasos por revolución
para el motor 28BYJ-48
const int stepsPerDegree = stepsPerRevolution / 360.0;

Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 8, 10, 9, 11);

// Vector con la secuencia de ángulos
int angles[] = {65, 56, 43, 27, 12, 6, 9, 21, 37, 51, 62, 67};
int numAngles = sizeof(angles) / sizeof(angles[0]);
int currentAngle = 0;

void setup() {
  myStepper.setSpeed(10); // Se fija la velocidad del motor (RPM)
}

void loop() {
  for (int i = 0; i < numAngles; i++) {
    int targetAngle = angles[i];
```

```
int stepsToMove = (targetAngle - currentAngle) * stepsPerDegree;

myStepper.step(stepsToMove);

currentAngle = targetAngle;

delay(5000); // Hace una pausa de 5 segundos antes de moverse a la
siguiente posición
}

// Vuelve a la posición de 0 grados al acabar la secuencia
int stepsToMove = -currentAngle * stepsPerDegree;
myStepper.step(stepsToMove);
currentAngle = 0;

delay(2000); // Espera 2 segundos antes de empezar la secuencia de
nuevo
}
```

A continuación, se va a realizar una explicación detallada del código utilizado para realizar el movimiento rotativo. En primer lugar, se incluye la biblioteca “Stepper”, gracias a la cual se podrán emplear ciertas funciones para controlar el motor paso a paso.

Seguidamente, se define el número de pasos que el motor necesita para realizar una vuelta completa, siendo este valor 2048 para el tipo de motor empleado. En la siguiente línea se calcula el número de pasos que equivalen al giro de un grado, dividiendo el total de pasos entre 360 grados.

El siguiente paso es inicializar el motor, lo cual se realiza asignando los pines del Arduino a los pines del controlador. Los pines empleados en este caso son 8, 10, 9, 11. El hecho de que estén declarados de esta manera es un factor imprescindible para el correcto funcionamiento del programa.

Más tarde, aparece declarado en forma de vector la secuencia de ángulos que debe seguir el motor. Se calcula el número total de posiciones y se almacena la posición inicial. La velocidad de giro del motor en este programa en concreto se ha fijado en 10 rpm.

Por último, el bucle principal se encarga de posicionar el motor en todas las posiciones marcadas en el vector previamente declarado, haciendo una pausa de cinco segundos entre cada posición. Tras esto, el motor vuelve a la posición inicial de 0 grados, vuelve a realizar una pausa, y comienza de nuevo el ciclo.

El montaje empleado en este caso está compuesto únicamente por el motor paso a paso, el controlador y la placa de Arduino. Todo esto alimentado por la propia placa solar.

8. Mejora obtenida

8.1 Mejora de eficiencia

Este apartado está dedicado a realizar una comparativa entre la potencia generada por una placa solar estática en contraposición a una placa que utilice el soporte diseñado durante este proyecto. Se considera que la placa estática está colocada en una inclinación constante de 37°, ya que como se ha comentado con anterioridad, mediante el software PVGIS se ha determinado dicho ángulo como el óptimo para placas fijas. Por otro lado, el ángulo de inclinación para la placa móvil será el mostrado en la Tabla 14, variando este de forma mensual.

Haciendo uso de este software nuevamente, se ha obtenido la potencia generada por las placas en las dos configuraciones comentadas. Para ello se ha fijado una potencia pico instalada de 1kW con el propósito de que esta diferencia de producción sea más notable. Se han tomado unas pérdidas en el sistema del 14%, valor común en instalaciones de este tipo. Con estas hipótesis, se ha hallado la producción de potencia mensual y su respectivo aumento porcentual conseguido mediante una simulación utilizando el software anteriormente mencionado.

	Potencia placa fija (kWh)	Potencia placa móvil (kWh)	Aumento (%)
Enero	110,3	123,19	11,69
Febrero	110,55	116,12	5,04
Marzo	135,5	136,09	0,44
Abril	139,02	140,63	1,16
Mayo	150,34	160,11	6,50
Junio	149,34	165,45	10,79
Julio	156,22	170,18	8,94
Agosto	151,15	155,29	2,74
Septiembre	132,05	132,05	0,00
Octubre	121,95	125,26	2,71
Noviembre	103,4	112,72	9,01
Diciembre	102,21	116,08	13,57
Media	130,17	137,76	5,83

Tabla 15: Comparativa de potencia generada

A la vista de estos datos, se observa un incremento medio de la potencia generada por las placas cercano al 6%. A simple vista puede parecer una mejora pobre. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la eficiencia con la que trabajan las placas solares no suele superar el 25%, por lo que este aumento resulta significativo.

Analizando más en profundidad, se observa que los meses en los que la potencia se ve más incrementada son enero, junio y especialmente diciembre. Durante estos tres meses, la diferencia entre el ángulo de inclinación óptimo y el

ángulo que tomaría la placa en caso de ser fija es muy grande, factor influye directamente en el aumento de potencia observado en este periodo.

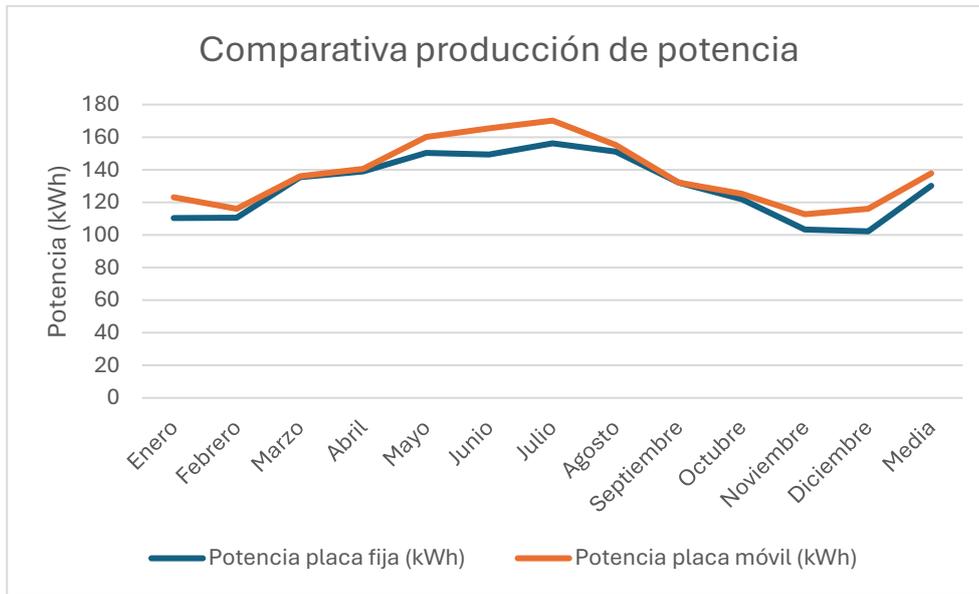


Figura 32: Comparativa de producción de potencia

A través de esta gráfica se observa de manera más clara la tendencia que sigue la generación de potencia en cada una de las hipótesis. Tal y como se mencionó anteriormente, la diferencia es más significativa en los periodos invernales y estivales. Sin embargo, en primavera y otoño, la mejora no es tan notable, siendo marzo y septiembre los meses con peores resultados.

8.2 Mejora económica

Por otra parte, en términos económicos el uso del soporte móvil diseñado también implica una mejora significativa. Es un hecho que instalar un soporte de este tipo suele requerir una mayor inversión inicial que la instalación de soportes convencionales, pero el uso de sistemas móviles trae consigo una mejora económica significativa.

Cabe destacar que los beneficios económicos dependen de la potencia instalada. El tamaño del sistema a instalar influye en la cantidad de potencia generada por el mismo y por tanto en el ahorro que provocan. A continuación, se comentan diversos factores que generan en el usuario un mayor beneficio económico que con soportes fijos.

Por un lado, el usuario verá el aumento de producción reflejado directamente como un ahorro en su factura eléctrica. El incremento de potencia conseguido mediante este sistema permitirá sufragar mayor cantidad de gasto de energía proveniente de la red, lo que reducirá el coste.

A su vez, si el sistema se encuentra conectado a la red eléctrica, el excedente de energía podrá venderse a la compañía eléctrica. Al tener mayor producción de energía, los ingresos generados por verter excedentes a la red también aumentan, lo cual mejora la viabilidad económica de este sistema.

Con estos dos factores, la reducción de consumo proveniente de la red y la mayor capacidad de vender excedentes, el Retorno de la Inversión (ROI) se ve reducido. En promedio, la reducción que experimenta el tiempo de recuperación es de entorno al 10%.

Además, en el caso de España, existen subvenciones y ayudas fiscales de las cuales uno se puede beneficiar para realizar la instalación de un sistema de paneles solares fotovoltaicos. Concretamente en Valencia, los organismos oficiales ofrecen ayudas que pueden cubrir hasta un 40% de la instalación. Al tratarse de soportes móviles, estos pueden aplicar a mayores incentivos debido a su alta eficiencia.

En resumen, la instalación de paneles solares con soporte móvil genera una mejora de eficiencia, lo cual se ve directamente reflejado en la producción de potencia y, por ende, trae consigo beneficios económicos, haciendo la inversión más rentable y sostenible a largo plazo.

8.3 Conclusiones finales

Debido al auge actual en el desarrollo e investigación de producción de energía mediante fuentes limpias y renovables, este TFG se centra en optimizar la potencia generada por paneles solares mediante un mecanismo de fácil instalación.

El desarrollo de este proyecto se ha dividido en dos partes. En primera estancia se realiza un estudio experimental con tal de averiguar el ángulo que maximiza la producción de potencia en una placa solar, siendo este ángulo diferente para cada mes del año. La segunda parte consiste en diseñar un soporte móvil que sitúe la placa en el ángulo adecuado, variando este mensualmente.

Para ejecutar esta primera parte experimental, se ha hecho uso de un programa ejecutado a través de Arduino, el cual se ha encargado de realizar las lecturas de voltaje e intensidad generadas por la placa y a su vez ha almacenado estas medidas para su posterior análisis. Estas medidas han sido tomadas mediante diferentes componentes electrónicos como sensores o divisores resistivos.

Tras realizar un estudio de los valores obtenidos en la fase anterior y de ampliar y contrastar esta información con otros estudios, se han hallado los ángulos que optimizan la producción de potencia para cada mes del año. Gracias

a estos datos, se ha podido diseñar un soporte móvil que, accionado mediante un motor paso a paso programado por Arduino, es capaz de posicionarse en cada uno de estos ángulos.

Para el diseño del soporte se han barajado diversas opciones, resultando las más adecuadas el movimiento a través de una leva y el giro solidario al motor. Finalmente, debido a las dificultades geométricas que han surgido al desarrollar la idea de la leva, este diseño ha sido descartado. Por tanto, una vez realizados los planos 3D mediante Inventor, se ha realizado la impresión 3D de las diferentes piezas y se ha ensamblado y puesto en marcha el prototipo.

Se puede afirmar que durante el desarrollo de este TFG se han cumplido los objetivos fijados al comienzo de este, se ha analizado correctamente el funcionamiento de la placa solar en función del ángulo de inclinación, más tarde se ha diseñado y ejecutado el prototipo del soporte móvil para placas solares, consiguiendo un aumento de la producción de potencia de la placa solar fotovoltaica de cerca de un 6%. Es evidente que este hecho contribuye directamente a la transición ecológica y a la reducción de los posibles efectos adversos que acarrea el cambio climático.

9. Futuras líneas de desarrollo

En este proyecto se ha demostrado que, mediante la variación mensual del ángulo de inclinación de las placas solares, ajustando este ángulo al de máxima producción, se puede conseguir un aumento notorio de la eficiencia. Sin embargo, existen investigaciones y nuevas estrategias que pueden generar un impacto mayor y conseguir incrementar aún más esta eficiencia. En este apartado, se explican ciertas líneas de desarrollo relacionadas con el proyecto ejecutado que tienen el potencial de mejorar de manera significativa la eficiencia de las placas solares.

9.1 Seguidor solar de un eje

Una manera de mejorar la eficiencia siguiendo la línea del actual proyecto es regular la inclinación de las placas a tiempo real, es decir, que la placa se mueva en función de la posición que tenga el sol en el cielo a lo largo del día. Este sistema se podría implementar de forma sencilla en el prototipo actual ya que se puede aprovechar el mecanismo empleado. Sin embargo, para llevarlo a cabo se debe utilizar un seguidor solar, el cual debería estar programado junto al motor para realizar los movimientos deseados.

De este modo, el ángulo de inclinación de la placa se va ajustando al movimiento del sol, posicionándose de manera que la incidencia de los rayos solares sobre la placa sea lo más directa posible. Usando este sistema se puede conseguir un aumento de alrededor del 20% en la potencia producida. En la figura siguiente se muestra la diferencia entre un panel solar estático y otro con seguidor en un día cualquiera.



Figura 33: Comportamiento de la eficiencia, sistema fijo vs seguimiento solar (Pelayo López, 2020)

Como se observa en la figura anterior, aplicando este sistema se logra una producción mayor de energía ya que se aprovecha mejor la radiación solar generada a primeras y últimas horas del día. Aplicando pequeños cambios al diseño y la configuración usados en este TFG, se lograría un sistema que alcanzara este nivel de eficiencia.

9.2 Aplicación real del prototipo

La implementación a tamaño real del prototipo diseñado requiere de un proceso que implica ciertos cambios a realizar en diversos aspectos tales como el diseño y la elección de materiales entre otros, con el fin de garantizar la mayor calidad y durabilidad posible.

En primer lugar, tanto el diseño como el material de las piezas se debe adaptar a las diferentes condiciones a las que va a estar sometida el soporte. Eso implica realizar un estudio previo de cargas y colocar refuerzos en las partes del soporte más solicitadas. Además, hay que asegurarse de que los ajustes entre piezas sean válidos incluso a escala real.

En cuanto a los materiales a emplear, se deben utilizar aquellos que sean resistentes a la exposición directa al sol y a la corrosión que la intemperie provoca, por ello, una buena opción sería el acero inoxidable o el aluminio en caso de que se quieran aligerar las cargas. En caso de realizar los componentes mediante impresión 3D, existen ciertos materiales que trabajan de forma correcta al aire libre, estos son el Nylon y el PETG, siendo estos más duraderos y resistentes a largo plazo que otros plásticos más comúnmente utilizados como el PLA o el ABS.

La fabricación de las piezas también se ejecutaría de diferente forma. En caso de utilizar acero o aluminio, se deben mecanizar los tochos de estos materiales para conseguir la forma deseada en cada pieza. Se debe poner especial atención a las partes móviles y uniones para garantizar un movimiento preciso, esto se puede conseguir mediante el uso de bisagras o articulaciones. Por otro lado, si se realizasen las piezas mediante impresión 3D sería interesante revestir los componentes con tal de aumentar su resistencia y durabilidad.

Una vez fabricadas las piezas, el siguiente paso es el montaje del sistema. Para ello, se debe asegurar el lugar destinado a la instalación preparando la base en la que se anclará la estructura. Estos anclajes tienen el objetivo de transmitir las cargas al terreno, garantizando la estabilidad y resistencia contra posibles efectos meteorológicos adversos.

Tras fijar la estructura haciendo uso de los soportes, se deben instalar las placas solares encima de cada uno de los soportes. En este paso también se realizarían las conexiones eléctricas necesarias para transmitir la energía obtenida a donde se desee, asegurando un correcto aislamiento en el cableado empleado con tal de evitar pérdidas o fallos de seguridad.

Seguidamente, se deben realizar pruebas para comprobar el correcto funcionamiento del soporte una vez montado. De esta manera se garantiza la máxima producción de potencia posible con este sistema, maximizando así la eficiencia de la placa. Durante estas comprobaciones se debe hacer hincapié en el par generado por el motor, ya que, si este no es lo suficientemente elevado, el soporte no se moverá de la manera esperada, reduciendo por tanto la potencia obtenida.

En resumen, la implementación a tamaño real del prototipo diseñado durante este proyecto requiere de una planificación un tanto diferente. Por ejemplo, los materiales empleados deben ser de alta calidad, asegurando de esta manera la durabilidad y resistencia del sistema. A pesar de los cambios a ejecutar, el fin último no varía, se pretende maximizar la producción de energía solar, contribuyendo a la transición hacia sistemas más ecológicos y sostenibles.

10. Planificación temporal

10.1 Planificación

A continuación, se enumeran y desglosan las diferentes fases por las que se ha pasado durante este proyecto.

- Fase 1: Planificación y documentación. El tutor propone un tema a desarrollar como TFG. Se realiza por parte de la alumna una búsqueda de bibliografía en estudios y trabajos ya realizados. Finalmente, se definen claramente los objetivos de este proyecto.
- Fase 2: Obtención y gestión de las mediciones. Tras diseñar con ayuda del tutor el plan que se va a ejecutar para la obtención de datos, estos se almacenan y se tratan.
- Fase 3: Análisis de los resultados. Se crean gráficas a partir de los valores obtenidos. Se eliminan y corrigen los datos erróneos. A partir de las mediciones se extraen conclusiones.
- Fase 4: Diseño y desarrollo del prototipo. Tras determinar las funciones, se diseña y construye el prototipo. Se realizan pruebas y se corrigen errores que han podido surgir.
- Fase 5: Redacción del informe y preparación de la defensa. Se fija y diseña una estructura clara del informe. Se redacta la memoria conforme se va obteniendo información de los diferentes puntos, por lo que esta fase se realiza de forma simultánea a todas las anteriores. Se realizan revisiones periódicas con el tutor con sus respectivas modificaciones.

10.2 Estructura de Descomposición de Proyecto

La herramienta conocida como Estructura de Descomposición de Proyecto es casi imprescindible a la hora de gestionar proyectos. Gracias a ella, los proyectos se pueden descomponer en tareas más sencillas y manejables, facilitando la planificación y posterior ejecución de cada una de ellas.

Se ha realizado un esquema que muestra de forma jerárquica los componentes y subcomponentes que forman este proyecto.

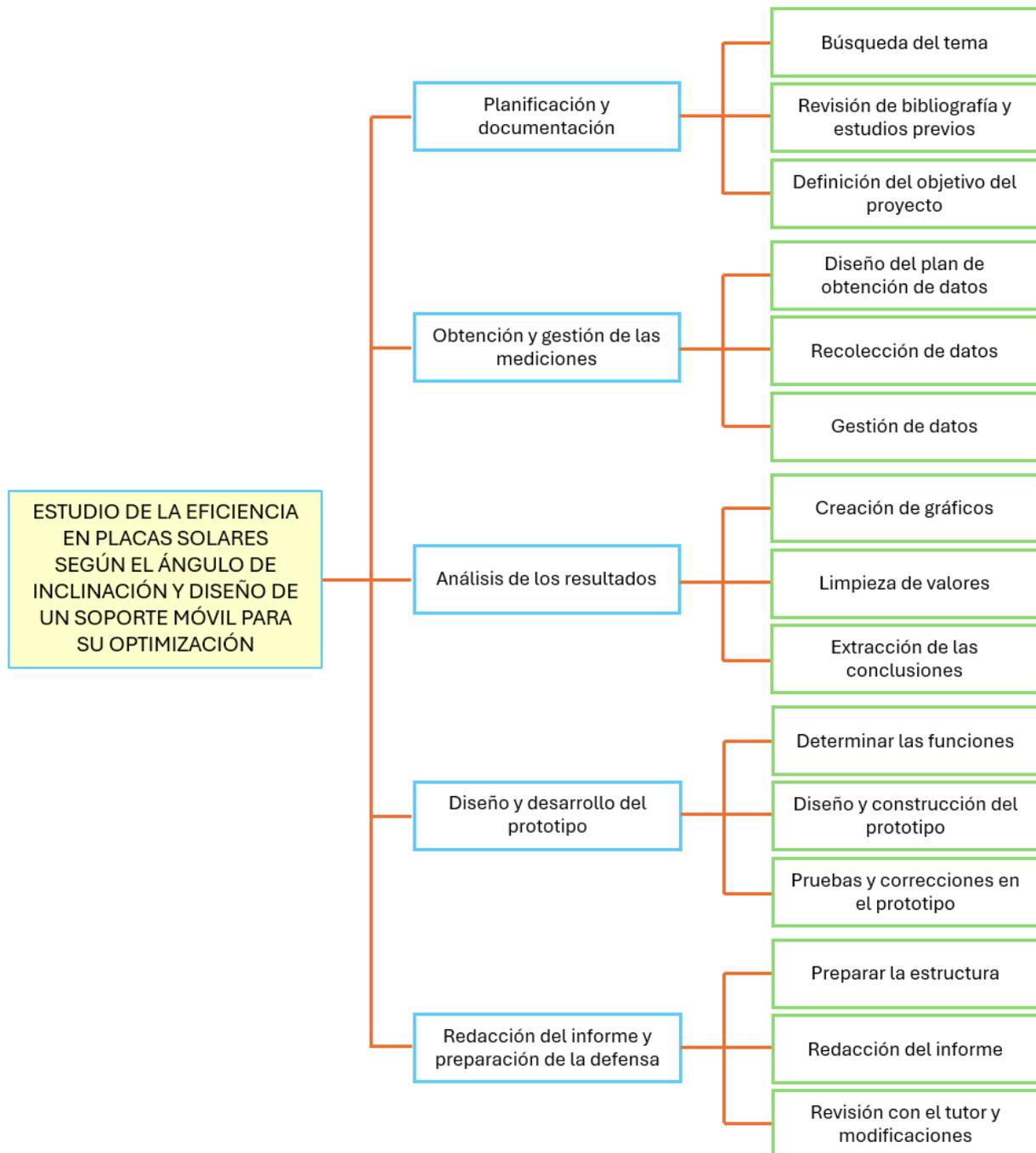


Figura 34: Estructura de Descomposición del Proyecto

10.3 Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt es una representación gráfica que ilustra las actividades de un proyecto a lo largo del tiempo, permitiendo a los gestores visualizar el cronograma, las secuencias de tareas y sus dependencias, así como el progreso del proyecto. (Kezner, 2017).

A continuación, se muestra el diagrama de Gantt equivalente al desarrollo de este proyecto.

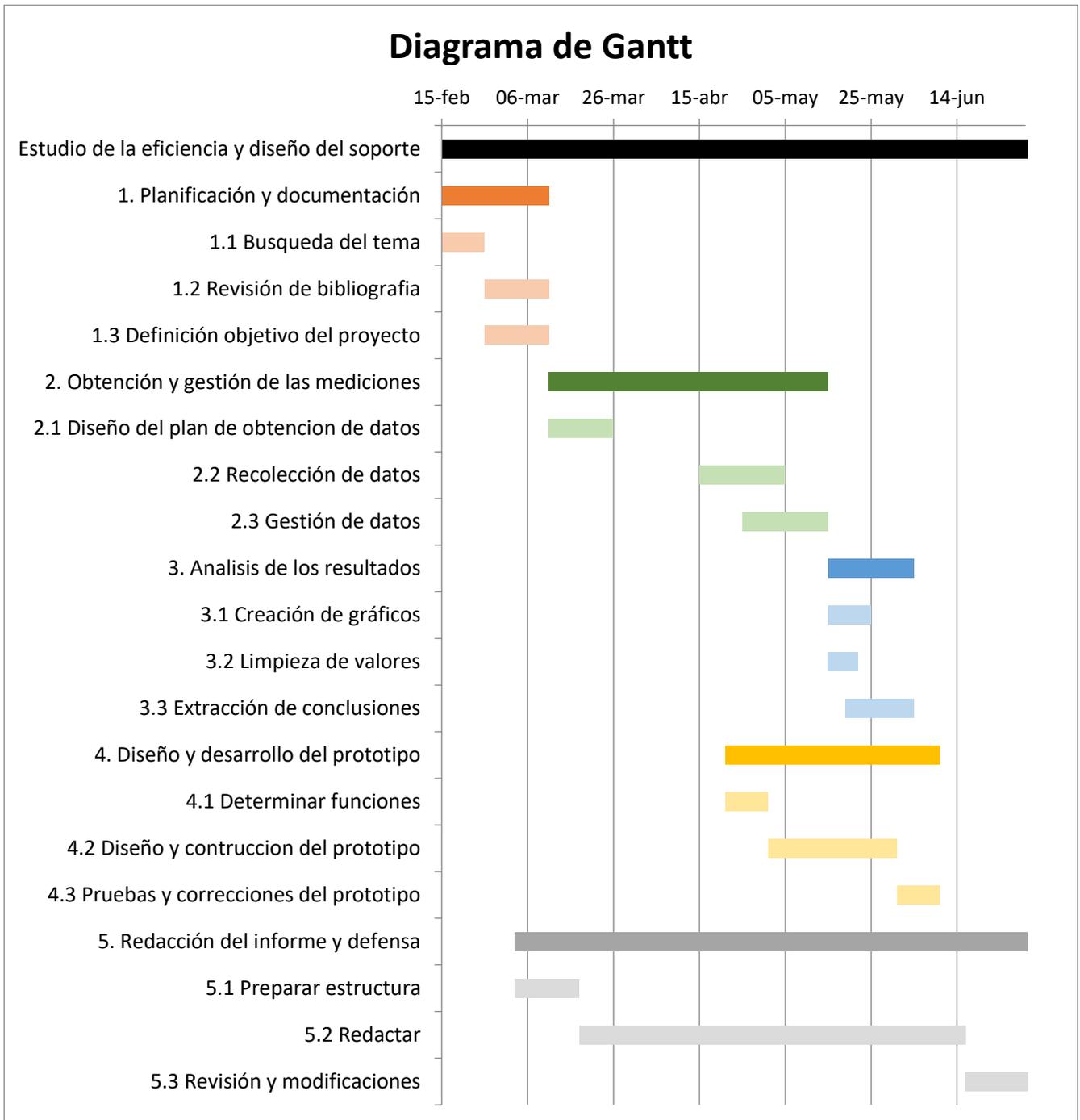


Figura 35: Diagrama de Gantt

11. Bibliografía

1. 3D natives. (2024). *PLA vs ABS, 3D natives*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/pla-abs-material-impresion-3d-080820222/#>
2. Arca Electrónica. (2024). *Esquema conexión, Arca Electrónica*. Obtenido de <https://www.arcaelectronica.com/blogs/tutoriales/sensor-de-voltaje-fz0430-con-arduino>
3. Arduino.cc. (2024). *Motores paso a paso*. Obtenido de <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/stepper-motors/>
4. Arduino.cc. (2024). *Servomotores*. Obtenido de <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/servo-motors/>
5. Asignatura Tecnología Energética. (2024). *Tema 3: energía solar fotovoltaica*.
6. Asignatura Tecnología Informática Industrial. (2024). *Tema 2: entrada y salida*.
7. BricoGeek. (2024). *BricoGeek*. Obtenido de <https://tienda.bricogeek.com/>
8. Censolar. (2021). *Legislación fotovoltaica en España*. Obtenido de <https://www.censolar.org/legislacion-fotovoltaica-2021/>
9. Díaz Santos, R. (2018). *Tesis: análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/3291/329158816002/html/>
10. Eduardo, R. M. (2007). *Fuentes Renovables de Energía*.
11. El periódico de la energía. (2024). *Historia de la fotovoltaica en España: desde sus inicios en 1984 a sus objetivos para 2030*. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/historia-de-la-fotovoltaica-en-espana-desde-sus-inicios-en-1984-a-sus-objetivos-para-2030/>
12. Espejo Marín, C. (2020). *Revista de Estudios Andaluces: La producción de electricidad con energía solar fotovoltaica en España en el Siglo XXI*. Obtenido en https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/100239/04_espejo-marin_aparicio-guerrero.pdf?sequence=1&isAllowed=y
13. GuliTech. (2024). *Multímetro GuliTech MY70*. Obtenido en <https://www.amazon.es/GuliTech-profesional-mult%C3%ADmetro-el%C3%A9ctrico-volt%C3%ADmetro/dp/B0CZ77BRYT?th=1>
14. Kezner, H. (2017). *Project Management: A System Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. John Wiley & Sons.
15. Marinero, I. (2024). *El español: El ingenioso sistema español para que las placas solares generen hasta un 80% más de energía a lo largo del año*. Obtenido en https://www.elespanol.com/omicron/tecnologia/20240614/ingenioso-sistema-espanol-placas-solares-generen-energia-largo-ano/861914185_0.html

16. Microscopio.pro. (2024). Obtenido de https://www.microscopio.pro/maximiza-el-rendimiento-de-tus-placas-solares-evita-perdidas-por-mala-orientacion/?expand_article=1&expand_article=1
17. Monografías. Chacón Hinojosa, A. (2024). *Panel solar con motor paso a paso*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos94/panel-solar-motor-paso-paso/panel-solar-motor-paso-paso2#materialea>
18. Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
19. Pelayo López, J. A. (2020). *Sistema de seguimiento solar de un eje para aumentar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos bajo distintas condiciones climáticas*. Obtenido de <https://www.revista.ingenieria.uady.mx/ojs/index.php/ingenieria/article/view/203/181>
20. PVGIS. (2022). *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM*. Obtenido de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/
21. Red eléctrica. (2023). *Potencia instalada fotovoltaica: Red eléctrica*. Obtenido de <https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-de-energias-renovables/sol/potencia-instalada/solar-fotovoltaica-solpotencia>
22. Research Gate. (2018). *The Journal of Scientific and Engineering Research* 5(7):225-236. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/326878893_Design_and_Construction_of_a_Tracking_Device_for_Solar_Electrical_Systems
23. Rincón Mejía, E. (2007). *Fuentes Renovables de Energía*.
24. Soria, A. (2021). *Legislación fotovoltaica en España*. Obtenido de <https://www.censolar.org/legislacion-fotovoltaica-2021/>
25. Statista. (2024). *Potencia solar fotovoltaica instalada en España de 2010 a 2023*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/1004387/potencia-solar-fotovoltaica-instalada-en-espana/>
26. Wikipedia. (2017). *Divisor de tensión*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Divisor_de_tensi%C3%B3n
27. Xataka. (2024). *Nuevo récord de eficiencia en paneles solares*. Obtenido de <https://www.xataka.com/energia/nuevo-record-eficiencia-panel-solar-gracias-a-perovskita-material-milagroso-supera-limite-teorico-paneles-convencionales>

PRESUPUESTO

Documento 2

1. Introducción

En el presente documento se desglosarán los costes asociados a la elaboración y puesta en marcha del estudio y al posterior diseño del prototipo. El presupuesto, por tanto, se compone de varios apartados. En el primero de ellos se detallarán los gastos correspondientes al material (componentes, instrumentos de medida, etc.). Por otro lado, se desglosarán los costes que suponen las diversas licencias del software empleado. Finalmente, se tendrá en cuenta la mano de obra que ha sido necesaria para completar este proyecto.

El valor del material utilizado se obtiene comprobado el precio de venta al público de dichos componentes en tiendas especializadas. Así pues, las licencias de software recibirán el valor correspondiente al valor de venta para usuarios particulares, incluyendo el descuento que se suele aplicar para estudiantes en caso de que lo hubiese.

2. Desarrollo del presupuesto

2.1 Presupuesto componentes y equipos

En la siguiente tabla se detallan los componentes adquiridos y utilizados durante todas las fases de este proyecto, tanto en el estudio previo como en el diseño del prototipo final. Se ha depreciado el valor monetario de las resistencias empleadas ya que es insignificante en comparación con el resto de los materiales y componentes. También se incluirán los equipos empleados durante el proyecto, ya que estos son una parte fundamental en el desarrollo. Cabe destacar que el coste unitario asociado a cada componente o material empleado equivale al precio asignado a estos en tiendas de venta al por menor.

En cuanto al presupuesto de los equipos usados, se ha calculado en base a la amortización de cada uno de ellos. La amortización, por tanto, responde a la siguiente fórmula:

$$Amortización = \frac{Valor\ inicial}{Vida\ útil\ estimada} \quad (6)$$

Ecuación 7: Amortización (Aching Guzmán, 2004)

Aplicando esta fórmula, la amortización del ordenador, el multímetro y la impresora 3D resulta de la siguiente manera:

$$Amortización\ ordenador = \frac{1200€^{(9)}}{5\ años} = 240€/año$$

$$\text{Amortización multímetro} = \frac{100\text{€}^{(2)}}{4 \text{ años}} = 25\text{€/año}$$

$$\text{Amortización impresora 3D} = \frac{1000\text{€}^{(11)}}{5 \text{ años}} = 200\text{€/año}$$

El desarrollo del proyecto ha abarcado alrededor de 5 meses, por lo que el coste del ordenador asciende a 100 €, en el caso del multímetro, su uso tiene un valor de 10,42€ y en cuanto a la impresora 3D, el coste es de 80 €.

Presupuesto de equipos	
Equipo	Coste (€)
Multímetro MY74	10,42
Ordenador Lenovo Yoga 530	100
Creator pro Flashforge	80
Subtotal	190,42

Tabla 16: Presupuesto de equipos

Seguidamente, en las tablas 16 y 17 se muestra un desglose de precios de los componentes y materiales empleados durante la ejecución del proyecto.

Presupuesto de componentes electrónicos			
Componente	Unidades	Precio unitario (€/ud.)	Precio total (€)
Sensor ACS712	1	2,96 ⁽⁴⁾	2,96
Motor paso a paso	2	3,57 ⁽⁴⁾	7,14
Kit cables puente	1	2,96 ⁽⁴⁾	2,96
Protoboard	1	2,37 ⁽⁴⁾	2,37
Panel solar 3W	1	24,14 ⁽⁴⁾	24,14
Arduino UNO	1	28,98 ⁽⁴⁾	28,98
Subtotal			68,55

Tabla 17: Presupuesto de componentes electrónicos

Presupuesto de materiales			
Componente	Unidades	Precio unitario (€/ud.)	Precio total (€)
Tornillos de unión	1	1,59 ⁽⁸⁾	1,59
Hilo PLA	1	17,95 ⁽⁶⁾	17,95
Base madera	1	9,95 ⁽⁷⁾	9,95
Subtotal			29,49

Tabla 18: Presupuesto de materiales

Aunando el coste de los componentes tanto electrónicos como mecánicos, el presupuesto total dedicado a estos resulta de 98,04 euros.

2.2 Licencias de software

A continuación, se desglosan los costes correspondientes a las diversas licencias de software empleadas en el desarrollo del proyecto.

Presupuesto de licencias de software				
Licencia	Tipo	Cantidad	Precio unitario (€/ud.)	Precio total (€)
Microsoft Office 2021 Home&Student	Licencia de estudiante	1	149,00 ⁽¹⁰⁾	149,00
Autodesk 2022	Licencia de estudiante	1	Gratuito ⁽³⁾	0
Subtotal				149,00

Tabla 19: Presupuesto de licencias de software

2.3 Mano de obra

En este apartado se tendrá en cuenta la mano de obra correspondiente al trabajo ingenieril, realizado por la alumna y el trabajo de supervisión el cual recae sobre el tutor.

Por un lado, atendiendo al primer caso, se tomará como referencia el salario medio anual en España durante el año 2022, el cual asciende a una cantidad de 25540,8 euros⁽⁵⁾, lo que equivale a 2128,4 euros brutos al mes. Teniendo en cuenta que en un año hay en torno a 1800 horas laborables, se puede obtener el precio por hora del ingeniero para este proyecto.

Se supondrá que el proyecto ha sido realizado en un total de 300h, lo que equivale aproximadamente a dos meses de trabajo a jornada completa. Con estos datos, el coste total del ingeniero es de 4257 euros, valor reflejado en la tabla siguiente. Dentro de estos costes se incluye el tiempo dedicado a todas y cada una de las fases de este proyecto, es decir, la toma de datos con su posterior análisis, el diseño y montaje del prototipo y su puesta en marcha.

Por otro lado, también se tiene en cuenta la mano de obra correspondiente a la supervisión, trabajo realizado por el tutor de este proyecto. El tiempo invertido en estas tareas viene dado por la cantidad de reuniones o consultas que se han realizado a lo largo del desarrollo del proyecto.

Presupuesto de mano de obra			
Mano de obra	Coste (€/h)	Horas	Coste total (€)
Ingeniero	14,19	300	4257,00
Supervisor	25	20	500,00
Subtotal			4757,00

Tabla 20: Presupuesto de mano de obra

Por tanto, el coste correspondiente a la mano de obra es de 4757 euros tal y como se indica en la tabla anterior.

3. Presupuesto final

Finalmente, realizando el sumatorio de los apartados anteriormente desglosados, el presupuesto final resulta como se muestra en la siguiente tabla.

Tipo de coste	Subtotal (€)
Componentes y materiales	98,49
Equipo	108,33
Licencias de software	149,00
Mano de obra	4757,00
TOTAL	5112,37

Tabla 21: Coste total

El presupuesto total invertido en el desarrollo y ejecución de este proyecto es de 5112,37 euros.

4. Referencias

1. Aching Guzmán, C. (2004). *Matemáticas financieras para la toma de decisiones gerenciales*.
2. Amazon. (2024). *Multímetro MY74*. Obtenido de <https://www.amazon.es/GuliTech-profesional-mult%C3%ADmetro-el%C3%A9ctrico-volt%C3%ADmetro/dp/B0CZ77BRYT?th=1>
3. Autodesk. (2024). *Autodesk: licencia para estudiantes*. Obtenido de <https://www.autodesk.com/mx/education/edu-software/overview?sorting=featured&filters=individual>
4. BricoGeek. (2024). *BricoGeek*. Obtenido de <https://tienda.bricogeek.com/>
5. INE. (2022). *Salario medio en España año 2022*. Obtenido de https://www.ine.es/prensa/epa_2022_d.pdf
6. Leroy Merlin. (2024). *Bobina de filamento PLA blanco*. Obtenido de <https://www.leroymerlin.es/productos/herramientas/makers/bobinas-de-filamento/bobina-de-filamento-pla-blanco-bioplaxtic-82736632.html>
7. Leroy Merlin. (2024). *Tablero de pino macizo*. Obtenido de <https://www.leroymerlin.es/productos/madera/tablas-y-tableros/tableros-de-madera-maciza/tablero-de-pino-macizo-200x20x1-8-cm-90121252.html>
8. Leroy Merlin. (2024). *Tornillos de unión níquel satinado*. Obtenido de <https://www.leroymerlin.es/productos/ferreteria-y-seguridad/tornillos-tacos-clavos-y-complementos/pletinas-escuadras-y-tornillos-de-ensamblaje/4-tornillos-de-union-niquel-satinado-de-25-a-35-mm-14939890.html>
9. Media Markt. (2024). Ordenador portátil *Lenovo Yoga 530*. Obtenido de https://www.mediamarkt.es/es/product/_convertible-2-en-1-lenovo-ideapad-flex-5-14abr8-14-wuxga-amd-ryzentm-5-7530u-16gb-ram-512gb-ssd-radeontm-graphics-w11h-azul-1558262.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=rt_shopping_generic_nsp_na_MM-ES-S-G-CAT-PLA-PMAX.PH-TOP.CATEGORIAS-ALL-ALL&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw4f6zBhBVEiwATEHFVgbeqsbSRMHG-loy67v_ANlfhwBqXmh2TVIt0TOAX-C5hEjnwk_ohhoCwD4QAvD_BwE&gclsrc=aw.ds
10. Microsoft. (2021). *Licencia Home&Students 2021*. Obtenido de <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/p/office-hogar-y-estudiantes-2021/cfq7ttc0h8n8?activetab=pivot:informaci%C3%B3ngeneraltab>
11. Worten. (2024). *Impresora 3D Flashforge Creator Pro*. Obtenido de https://www.worten.es/productos/impresora-3d-flashforge-creator-pro-mrkean-6970152950017?srsltid=AfmBOoqiQ-wbmUEdDHCBNA2HtZfkCZrk_K6PXHu6JvA1vPe7_QlqhNwkHSE

PLANOS

Documento 3

