



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

**FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES  
NO RENOVABLES**

## **Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones**

Diseño, construcción y análisis de eficiencia de seguidores solares a un eje y dos ejes con fines de generación fotovoltaica

Trabajo de Titulación previo a optar por  
el Título de Ingeniero en Electrónica y  
Telecomunicaciones

**AUTOR:**

Johan Alexander Medina Sánchez.

**DIRECTOR:**

Ing. Juan Carlos Solano Jiménez, PhD.

*LOJA – ECUADOR*

2022

## Certificación

Loja, 09 de agosto de 2022

Ing. Juan Carlos Solano Jiménez, PhD.

### **DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

#### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del trabajo de titulación: **“Diseño, construcción y análisis de eficiencia de seguidores solares a un eje y dos ejes con fines de generación fotovoltaica”**, de autoría del estudiante: **Johan Alexander Medina Sánchez**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:

**JUAN CARLOS  
SOLANO  
JIMENEZ**

Juan Carlos Solano Jiménez, PhD.

### **DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Johan Alexander Medina Sánchez**, declaro ser autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de Identidad:** 1105776528

**Fecha:** 10 / 08 / 2022

**Correo electrónico:** [johan.medina@unl.edu.ec](mailto:johan.medina@unl.edu.ec)

**Celular:** 0988059407

## Carta de autorización

**Carta de autorización del trabajo de titulación por parte del autor para la consulta de reproducción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo.**

Yo, **Johan Alexander Medina Sánchez**, declaro ser el autor del trabajo de titulación: **Diseño, construcción y análisis de eficiencia de seguidores solares a un eje y dos ejes con fines de generación fotovoltaica**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero En Electrónica y Telecomunicaciones**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional

Los usuarios pueden consultar su contenido, de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tengan convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los diez días del mes de agosto de dos mil veintidós:

**Firma:** 

**Autor:** Johan Alexander Medina Sánchez

**Cédula de Identidad:** 1105776528

**Dirección:** Av. Eloy Alfaro y Luciano Coral

**Celular:** 0988059407

**Director Trabajo de Titulación:** Ing. Juan Carlos Solano Jiménez, PhD.

## **Dedicatoria**

A mis padres Teresa Sánchez y Manuel Medina los cuales con su esfuerzo, amor, consejos y paciencia me han permitido llegar a un cumplir esta meta.

De la igual manera a mis hermanos Christian y Michael, por su apoyo y ejemplo de perseverancia por ser parte importante de mi vida y formación académica.

Finalmente, dedico este trabajo a mis amigos, compañeros y demás familiares que han sido parte importante de mi carrera universitaria.

*Johan Alexander Medina Sánchez*

## **Agradecimiento**

A mis padres por ser pilar fundamental para salir adelante, sus enseñanzas, consejos y su amor para mí y mis hermanos. También a mis hermanos que con su motivación y apoyo incondicional me permitieron continuar con mis estudios.

A mis amigos que estuvieron en cada momento estuvieron presentes y compartiendo gratas experiencias que me ayudaron a llegar a cenit de mi carrera.

A mi novia por su motivación.

A mi director de Trabajo de Titulación, el Ing. Juan Solano por su experiencia, asesoría y valiosos aportes, a través de lo cual pude concretar mi Trabajo de Titulación.

A la Universidad Nacional de Loja por el apoyo a través del proyecto 34-DI-FEIRNNR-2021 “DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SOPORTE DE DECISIONES PAR EL AUTOCOSIMO FOTOVOLTAICO EN EL ECUADOR: CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR”

*Johan Alexander Medina Sánchez*

## Índice de Contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
2.1 Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>7</b>
4.1 Energías renovables.....	7
4.2 Energía solar.....	7
4.3 Estructura de un panel fotovoltaico.....	8
4.4 Movimiento del planeta tierra con respecto al sol.....	9
4.5 Sistemas de seguimiento solar.....	10
4.6 Altura y azimut.....	12
4.7 Sistemas de seguidores solares vs sistemas fijos .....	13
4.8 Curva característica del módulo fotovoltaico.....	15
4.9 Microcontroladores .....	16
4.10 Microcontrolador Arduino .....	17
4.11 Motores.....	17
4.12 Sensores.....	18
<b>5. Metodología</b> .....	<b>22</b>
5.1 Tipo y diseño de investigación.....	22
5.2 Diseño de la investigación.....	23
5.3 Procedimiento.....	23
5.4 Algoritmo matemático.....	24
5.5 Materiales experimentales.....	28
<b>6. Resultados</b> .....	<b>33</b>
6.1 Diseño y construcción .....	33

6.2	Análisis de datos.....	39
<b>7.</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>43</b>
7.1	Análisis con otras investigaciones.....	43
7.2	Diseño y construcción .....	45
7.3	Comparación estadística.....	46
<b>8.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>48</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>50</b>
<b>10.</b>	<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>51</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>55</b>

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b>	Especificaciones técnicas de sensor ACS-712.....	28
<b>Tabla 2.</b>	Especificaciones técnicas de panel fotovoltaico usado.....	32
<b>Tabla 3.</b>	Resumen experimentos de seguidores solares .....	44
<b>Tabla 4.</b>	Comparación estadística de energía acumulada diariamente.....	47
<b>Tabla 5.</b>	Comparación estadística de energía acumulada a la semana.....	47

### Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b>	Diseño de la investigación.....	5
<b>Figura 2.</b>	Esquema de módulo fotovoltaico de silicio. ....	8
<b>Figura 3.</b>	Materiales típicos de módulos fotovoltaicos.....	9
<b>Figura 4.</b>	Esquema de movimiento de traslación y rotación de la Tierra. ....	10
<b>Figura 5.</b>	Esquema de seguidor de un eje en plano vertical.....	11
<b>Figura 6.</b>	Esquema de seguidor solar de dos ejes. ....	12
<b>Figura 7.</b>	Azimut y elevación respecto al sol.....	13
<b>Figura 8.</b>	Curva característica y principales elementos de una célula fotovoltaica. ....	16
<b>Figura 9.</b>	Estructura de placa de programación Arduino Uno. ....	17
<b>Figura 10.</b>	Servomotor modelo MG995.....	18

<b>Figura 11.</b> Fototransistor de tres pines.....	19
<b>Figura 12.</b> Resistencia dependiente de la luz.....	20
<b>Figura 13.</b> Sensor de corriente ACS-712.....	20
<b>Figura 14</b> Sensor de corriente y voltaje MAX - 471.....	21
<b>Figura 15.</b> Esquema de funcionamiento de seguidor con un eje .....	25
<b>Figura 16.</b> Esquema de funcionamiento de seguidor con dos ejes.....	25
<b>Figura 17.</b> Diagrama de flujo funcionamiento de seguidor de un eje.....	26
<b>Figura 18.</b> Diagrama de flujo de funcionamiento de seguidor de dos ejes.....	27
<b>Figura 19.</b> Sensor ACS-712 usado en el experimento .....	28
<b>Figura 20.</b> Sensores LDR y resistencias .....	28
<b>Figura 21.</b> Placa Arduino con cable USB de alimentación.....	29
<b>Figura 22.</b> Ventanas de software Arduino, Tinkercad y Fusion360.....	29
<b>Figura 23.</b> Estructuras de seguidores .....	30
<b>Figura 24.</b> Multímetro para mediciones.....	30
<b>Figura 25.</b> Servomotor de torque MG-995 .....	31
<b>Figura 26.</b> Herramientas adicionales .....	31
<b>Figura 27.</b> Panel fotovoltaico de 10W .....	32
<b>Figura 28.</b> a) Esquema de conexiones de servomotores y LDR´s a placa de programación de seguidor solar de dos ejes. b) Conexiones de servomotores y LDR´s a placa de programación de seguidor solar de dos ejes. ....	34
<b>Figura 29.</b> a) Esquema de conexiones seguidor solar de un eje. b) conexiones físicas de seguidor solar de un eje. ....	35
<b>Figura 30.</b> Esquema de conexión de módulos solares y sensores de corriente a placa de programación.....	36
<b>Figura 31.</b> Diseño de estructura de seguidor de un eje en software Fision360.....	36

<b>Figura 32.</b> Diseño de estructura de seguidor de dos ejes en software Fision360. ....	37
<b>Figura 33</b> Medidas de estructura.....	37
<b>Figura 34.</b> Esquema de estructura final un eje y dos ejes en Fusion360. ....	38
<b>Figura 35.</b> Seguidor a un dos ejes y un eje construidos. ....	38
<b>Figura 36.</b> Diagrama general de adquisición y análisis de datos.....	39
<b>Figura 37.</b> Potencia medida durante una semana de los tres sistemas fotovoltaicos .....	40
<b>Figura 38.</b> Consolidado de producción de energía diaria .....	40
<b>Figura 39.</b> Variación de energía diaria con respecto a panel estático.....	41
<b>Figura 40.</b> Consolidado de energía producida a la semana medida en Wh/semana. ....	41
<b>Figura 41.</b> Variación de energía acumulada a la semana respecto a sistema estático. ....	42
<b>Figura 42.</b> Energía utilizada por los seguidores.....	42
<b>Figura 43.</b> Muestra de datos de corriente de 3 días .....	46

### Índice de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Código de seguidor un eje.....	55
<b>Anexo 2.</b> Código seguidor dos ejes .....	56
<b>Anexo 3.</b> Código comunicación Arduino a Excel .....	58
<b>Anexo 4.</b> Funcionamiento de seguidores.....	59
<b>Anexo 5.</b> Datasheet de sensor de corriente ACS-712-5A.....	60
<b>Anexo 6.</b> Datasheet panel solar 10 W.....	63
<b>Anexo 7.</b> Datasheet Arduino .....	64
<b>Anexo 8.</b> Certificado de traducción del abstract.....	67

## **1. Título**

**Diseño, construcción y análisis de eficiencia de seguidores solares a un eje y dos ejes con fines de generación fotovoltaica.**

## 2. Resumen

En el presente trabajo se diseñó, construyó y analizó mediante un estudio experimental dos sistemas de seguimiento solar de control automático (un eje y dos ejes) con el fin de estimar la mayor potencia de energía solar de forma económica en un panel solar fotovoltaico de 10 W según la dirección de propagación del haz de la radiación solar desde el amanecer hasta el atardecer, los sistemas de seguimiento estarán situados en la Región Sur del Ecuador en la Ciudad de Loja.

Los sistemas de seguimiento diseñados constan de fotorresistencias que actuarán como sensores de medición de intensidad de luz, placa de programación Arduino que controlará los servomotores con un algoritmo diseñado para situar el panel solar del sistema según la información de los sensores de entrada, manteniendo el panel solar perpendicular a los rayos del sol. El algoritmo diseñado contiene un apartado para comunicar la placa de Arduino con un complemento de software de la herramienta de adquisición de datos para Microsoft Excel, permitiendo un monitoreo en tiempo real con un análisis fácil de hoja de cálculo de los datos recopilados de los sensores de corriente de cada panel solar fotovoltaico.

El experimento se llevó a cabo durante dos semanas, de las cuales la primera consistió verificar la efectividad del algoritmo establecido, así como también la correcta calibración de los elementos electrónicos. La segunda consistió en la recolección de datos oficiales que nos permitan identificar la eficacia de los sistemas de seguimiento. Para analizar la eficiencia de los sistemas de seguimiento solar, se realizó una comparación estadística de los datos de corriente almacenados, evaluando así su rendimiento en la Región Sur del Ecuador teniendo un 33% y 59% de incremento de energía con el uso de los sistemas de un eje y dos ejes respectivamente.

**Palabras claves:** *fotovoltaica, seguidor solar, seguidor un eje, seguidor dos ejes, arduino, movimiento del sol.*

## 2.1 Abstract

*In this research work, two automatically controlled solar tracking systems (one axis and two axes) were designed, built, and analyzed through an experimental study in order to estimate the highest solar power output economically in a 10 W photovoltaic solar panel according to the direction of propagation of the solar radiation beam from sunrise to sunset. The tracking systems will be located in the southern region of Ecuador in the city of Loja.*

*The designed tracking systems consist of photoresistors that will act as light intensity measurement sensors, an Arduino programming board that will control the servomotors with an algorithm created to position the solar panel of the system based on the information from the input sensors, keeping the solar panel perpendicular to the sun's rays. The designed algorithm contains a section to communicate the Arduino board with a data acquisition tool software for Microsoft Excel, allowing real-time monitoring with easy spreadsheet analysis of the data collected from the current sensors of each photovoltaic solar panel.*

*The experiment was carried out over a two-week period: during the first week, the researcher verified the effectiveness of the established algorithm, as well as the correct calibration of the electronic components. For the second week, the researcher collected official data that would aid him to identify the efficiency of the tracking systems. To analyze the efficiency of the solar tracking systems, a statistical comparison of the stored current data was made, thus evaluating their performance in the Southern Region of Ecuador, with a 33% and 59% increase in energy with the use of single-axis and dual-axis systems accordingly.*

**Keywords:** *Photovoltaic, solar tracker, one-axis tracker, two-axis tracker, arduino, sun movement.*

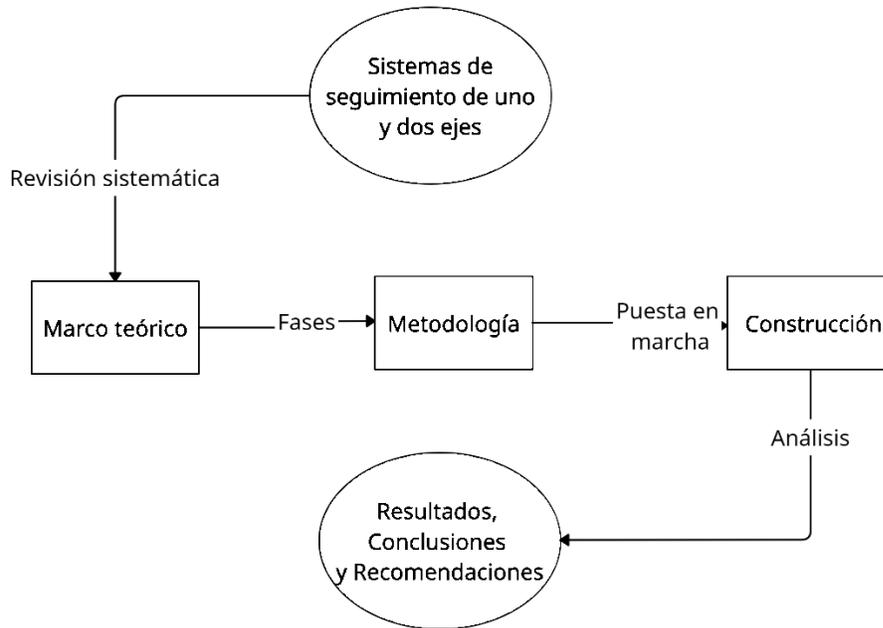
### 3. Introducción

En la actualidad las fuentes primarias de energía en su mayoría son los combustibles fósiles que posterior en su conversión y tratamiento producir energía eléctrica y térmica. Pero el perjuicio de la utilización de estos en los procesos de extracción, conversión y transporte generan una consecuencia directa en el cambio climático global. Según (Naciones Unidas, 2022b), aproximadamente un 75 % del total de emisiones de dióxido de carbono provienen de la utilización y transformación de los combustibles fósiles.

Las energías renovables se están volviendo fuentes de energía más prominentes para abastecer la creciente demanda de desarrollo sostenible, todo esto gracias a su confiabilidad de generación y a la capacidad de producir energía eléctrica independientemente de los combustibles fósiles. En el Ecuador, según datos del Balance Energético Nacional del 2020 (IIGE, 2021), en términos de producción de energía primaria se tuvo 204 millones de BEP (Barriles Equivalentes de Petróleo), del cual el 86.3 % estuvo conformado por petróleo, 4.3 % gas natural y 9.4 % por energía de origen renovable, de las cuales destacan la hidráulica y fotovoltaica. Hay que destacar que respecto al 2019 la energía proveniente de fuentes primarias como la eólica y fotovoltaica aumentó 2.4 %. A partir de los datos obtenidos por el IIGE (Instituto de Investigación Geológico y Energético) y a su ubicación geográfica, el Ecuador es un país privilegiado con lo que se refiere a recurso solar, ya que la dirección de la radiación solar sobre el plano horizontal cae casi de manera perpendicular en las zonas cercanas a la línea equinoccial, donde se estima que la radiación incidente media es de 3-4 KWh/m<sup>2</sup>/día (Velasco & Cabrera, 2009).

Con base a estos datos es pertinente pensar en el aprovechamiento de este recurso natural como fuente para generación de energía eléctrica ya que, de todos los sistemas renovables, el sistema fotovoltaico es el que tiene una gran oportunidad de sustituir los recursos energéticos convencionales con el uso de paneles solares fotovoltaicos. Estos se fabrican principalmente con materiales semiconductores como el silicio, que tiene una eficiencia máxima del 24 % (Swami, 2012).

Es por esto que, a menos que se inventen paneles solares de alta eficiencia, la única forma de mejorar la luz que incide sobre ellos son los seguidores solares ya que representa ser la tecnología más apropiada y probada para aumentar la eficiencia de los paneles solares, manteniendo los paneles alineados con la posición de los rayos solares. Se trata de una solución más rentable que la compra de paneles solares adicionales. Además, el uso de este tipo de tecnología ha crecido los últimos años alrededor del mundo, ya que presenta una ventaja en el área ambiental por su bajo índice de producción de elementos contaminantes o nocivos, al tener una gran acogida a nivel mundial, el coste de la implementación de este tipo de sistemas se ha vuelto asequible para instalaciones en áreas rurales que no tienen acceso a la red de energía eléctrica.



**Figura 1.** *Diseño de la investigación.*

Teniendo en cuenta este escenario, se planteó:

### **Objetivo general**

- Diseñar, construir y analizar la eficiencia energética de dos seguidores solares con fines de generación eléctrico fotovoltaica (a un eje y dos ejes) comparados con un sistema fijo.

### **Objetivos específicos**

- Realizar una revisión sistemática de literatura relacionada con los tipos de seguidores solares y su aplicación en los sistemas fotovoltaicos.
- Diseñar y construir dos sistemas de captación solar fotovoltaica con movimiento automático a un eje y dos ejes y compararlo con un sistema fijo de iguales características.
- Comparar estadísticamente la potencia generada por cada seguidor solar y evaluar su eficiencia en términos energéticos y económicos.

Para dar cumplimiento a estos objetivos, el trabajo de titulación se divide en secciones; la primera sección Marco teórico, abarca los parámetros fundamentales de los seguidores solares para los sistemas de energía fotovoltaica, los tipos de seguidores según diferentes autores, así como el comportamiento solar del lugar. La segunda sección Metodología, aquí se describe el procedimiento ejecutado, el diseño de los seguidores solares de un eje y doble eje, donde se realizan los planos del sistema mecánico de los seguidores solares, el software utilizado, y de la misma manera, se establecen los materiales con los que van a ser construidos tanto en la estructura, como los elementos electrónicos a usar (motores, resistencias, cables, sensores, etc.). Por último las secciones de Resultados, Conclusiones y Recomendaciones, en donde se detallan los resultados

obtenidos del monitoreo que se lo realizará con la herramienta de adquisición de datos de Parallax para Microsoft Excel que permite almacenar en tiempo real las lecturas de los sensores de corriente ACS-712, pruebas de funcionamiento, calibración de los sistemas de seguimiento y, el análisis estadístico de los resultados adquiridos de cada sistema de seguimiento y comparar con las lecturas adquiridas de un sistema fotovoltaico fijo.

## **4. Marco Teórico**

En este capítulo se abordará conceptos esenciales de sistemas de seguimiento solar para la generación eléctrica con el uso de energía solar.

### **4.1 Energías renovables**

Según las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2022a) las energías renovables son un tipo de energías cuyo origen son fuentes naturales, las cuales se reponen más rápido de lo que se pueden consumir. Estas fuentes a las que le denominamos renovables como: sol, viento, agua, entre otras han sido utilizadas por la humanidad desde tiempos antiguos para generar trabajos mecánicos. Sin embargo, a pesar de que los recursos naturales se encuentran a libre disposición, su aprovechamiento para usarlas como fuentes de energía en la forma en que la sociedad moderna lo requiere, necesita de un desarrollo tecnológico importante.

### **4.2 Energía solar**

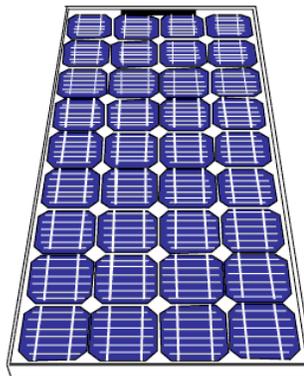
El sol es la fuente de energía que mantiene vivo al planeta Tierra, este emite continuamente cerca de  $1\ 000\ \text{W/m}^2$  de la superficie terrestre, Esto ha venido ocurriendo a lo largo de 4 500 millones de años, y se estima que continuará así por otros 5 mil millones de años, lo cual, en términos de la existencia que ha tenido la humanidad, es prácticamente ilimitado. Por otro lado, esta cantidad no es suficiente para reemplazar de manera inmediata a los combustibles fósiles, ya que no siempre existe este recurso donde se lo necesita y debe ser transportado (Montecinos Geisse & Carvajal Araneda, 2018).

Se puede decir que la energía solar es una fuente inagotable de energía renovable obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. El calor y la luz del sol pueden aprovecharse por medio diversas tecnologías. Por una parte, se encuentra las plantas de concentración solar (PCS), las cuales usan la energía solar para generar vapor que posterior es transformado en electricidad y, la tecnología más conocida como células, celdas o paneles fotovoltaicos, todas estas tecnologías hacen que se pueda transformar en energía eléctrica con el uso del recurso solar.

### 4.3 Estructura de un panel fotovoltaico

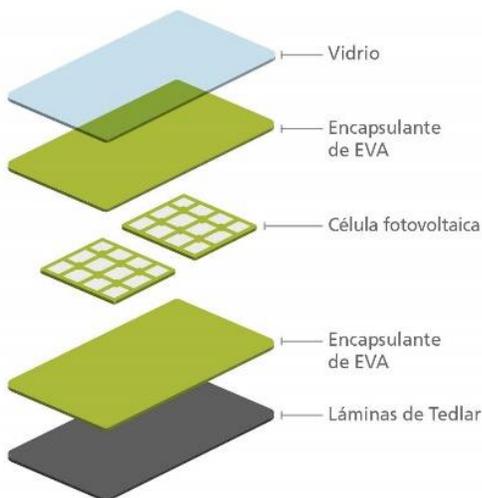
Los paneles o también llamados módulos fotovoltaicos deben presentar una estructura inflexible para que pueda ofrecer tranquilidad y sobre todo seguridad. De la misma manera, las bases que soportan un panel solar ya que cumplirán dos funciones, la de facilitar a los paneles la consistencia mecánica apropiada, y facilitar la orientación e inclinación adecuada para su uso óptimo (Honsberg & Bowden, 2019).

Los paneles o módulos fotovoltaicos están protegidos y enmarcados por una lámina de vidrio. Esta lámina no deja pasar ninguna impureza (Kumar et al., 2015). Por lo tanto, sólo pueden entrar los rayos del sol. Estos paneles solares se componen de materiales conductores como el silicio impuro y el cobre-indio, principalmente. Estos conductores ayudan y apoyan el flujo de electrones, por lo que el calor presente en los paneles solares es capaz de generar corriente eléctrica directa, en la Figura 2 se muestra un esquema de módulo fotovoltaico de silicio monocristalino.



**Figura 2.** *Esquema de módulo fotovoltaico de silicio.*  
**Fuente:**(Honsberg & Bowden, *Photovoltaics Education*, 2019)

En síntesis, los módulos fotovoltaicos de silicio en su mayoría constan de una superficie superior transparente, un encapsulante, una capa trasera y un marco alrededor del borde exterior. Por lo general en los módulos, la superficie superior es de vidrio, el encapsulante es etil-vinil-acetileno (EVA) y la capa posterior es Tedlar, como se muestra en la Figura 3 la estructura de composición y los materiales típicos usados en la construcción de módulos fotovoltaicos.



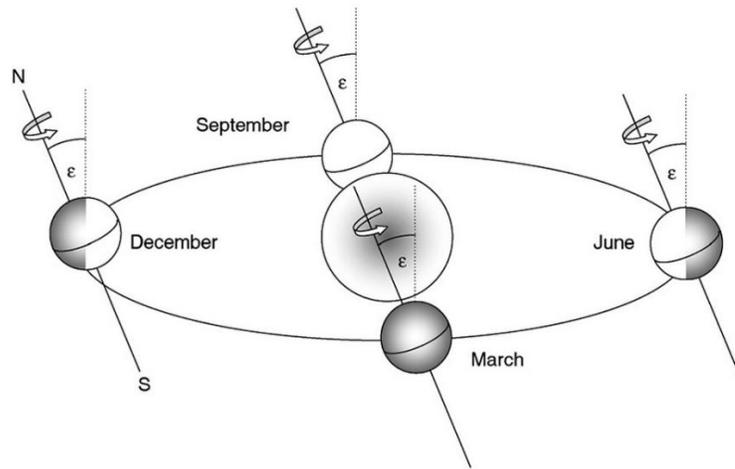
**Figura 3.** *Materiales típicos de módulos fotovoltaicos.*

**Fuente:** (Landbell, *Paneles fotovoltaicos*, 2022)

Cabe recalcar, que la energía que genera un panel fotovoltaico es corriente eléctrica directa, esta corriente eléctrica no puede alimentar los dispositivos eléctricos, por lo tanto, se convierte en corriente alterna utilizando un inversor y una batería.

#### 4.4 Movimiento del planeta tierra con respecto al sol

El movimiento terrestre se compone de una traslación alrededor del Sol en sentido contrario a las agujas del reloj si se observa desde el hemisferio norte (Cardenete García, 2011), describiendo una órbita ligeramente elíptica con el Sol situado en uno de los focos de la elipse y no en el centro de la misma. Esto provoca que la distancia del Sol a la Tierra no sea constante, este movimiento se realiza en 365 días, 5 horas, 46 minutos y 46 segundos para completar una vuelta, y el otro es un giro sobre su eje, este movimiento de rotación sobre su eje en el sentido oeste-este, causa el fenómeno de la sucesión del día y de la noche. Un punto localizado sobre la superficie del ecuador terrestre tarda 23 horas, 56 minutos y 4 segundos en dar la vuelta completa, lo que quiere decir que viaja a 1 670 km/h (Seror, 2019). En la Figura 4 se puede apreciar el movimiento de traslación y rotación de la Tierra.



**Figura 4.** Esquema de movimiento de traslación y rotación de la Tierra.  
**Fuente:** (Racharla & Rajan, *Solar trakin system - a review*, 2017)

#### 4.5 Sistemas de seguimiento solar

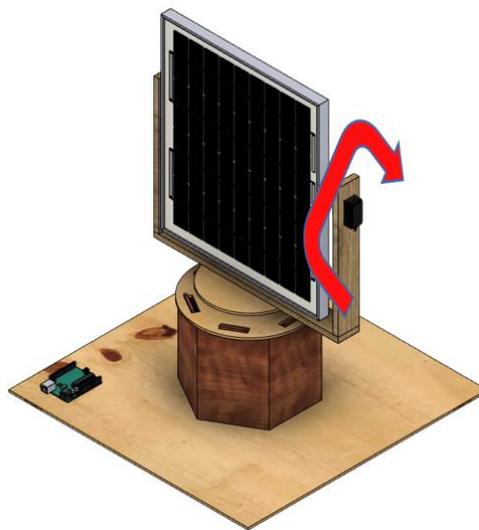
Los sistemas de seguimiento dirigen los paneles o módulos solares hacia el sol. Estos para maximizar la captura de energía, cambian su orientación a lo largo del día para seguir el camino del sol. En los sistemas fotovoltaicos, los seguidores juegan un papel muy importante ya que, ayudan a minimizar el ángulo que forma un rayo de luz con una línea perpendicular a la superficie entre la luz entrante y el panel, con eso se consigue que aumente la cantidad de energía que produce la instalación.

El mecanismo principal de los sistemas de seguimiento están formados por el dispositivo de seguimiento, el algoritmo de seguimiento, la unidad de control, el sistema de posicionamiento, el mecanismo de accionamiento y los dispositivos de detección (Racharla & Rajan, 2017). El Algoritmo de Seguimiento es el encargado de determinar los ángulos que se utilizan para identificar la posición del seguidor solar. La Unidad de Control realiza el algoritmo de seguimiento y gestiona el sistema de posicionamiento y el mecanismo de conducción. El Sistema de Posicionamiento acciona el dispositivo de seguimiento para orientarlo hacia el sol en los ángulos calculados. El mecanismo de Accionamiento se encarga de mover el dispositivo de seguimiento a la posición determinada por el sistema de posicionamiento. Por último, los Dispositivos de Detección son el grupo de sensores que miden las condiciones ambientales y la intensidad de la luz (Arbab et al., 2009).

Hay dos tipos principales de seguidores solares, de un solo eje y de dos ejes. Los seguidores solares de un solo eje rastrean el sol de este a oeste, girando en un solo punto, en la Figura 5 se muestra la variación de un seguidor de un solo eje. Por el contrario los seguidores de doble eje giran en los ejes X e Y, lo que hace que los paneles sigan el sol directamente (Ludt, 2020).

### **Seguidores de un eje**

Los seguidores de un solo eje recolectarán menos energía si se compara con los seguidores de doble eje, requieren menos espacio para instalarse, creando una huella de sistema más concentrada y un modelo más fácil para las operaciones y el mantenimiento. Este tipo de seguidores poseen un motor, debido a que su movimiento se centra en un solo plano o eje de libertad, cabe recalcar que este movimiento se puede realizar sobre cualquier plano de movimiento, mientras sea uno el eje de libertad, en la Figura 5 se aprecia el movimiento de un eje en el plano vertical.

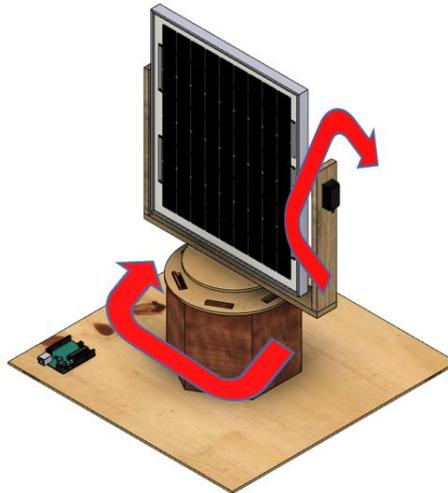


**Figura 5.** *Esquema de seguidor de un eje en plano vertical.*

### **Seguidores de dos ejes**

Debido a que la rotación de la Tierra en relación al Sol no es la misma durante todo el año, además de un ángulo que variará según la estación, un sistema de seguimiento de dos ejes experimentará constantemente un mayor rendimiento de energía que un seguidor de un solo eje, ya que la superficie de captación se mantiene en todo momento perpendicular a la radiación del sol. En la Figura 6 se muestra el esquema de un seguidor solar de dos ejes (azimut y elevación).

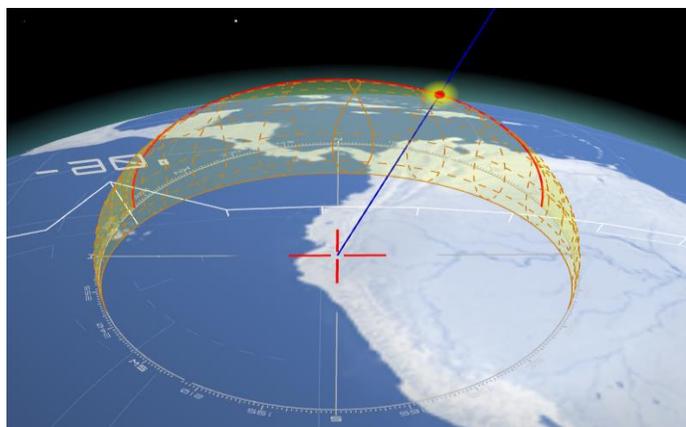
Se debe tener en cuenta que este tipo de seguidor se utiliza en instalaciones más grandes que por lo general son colocados en el suelo debido a su peso, además de que tienen un mayor precio (Lacasa Ferrer & Santolaya Sáenz, 2012).



**Figura 6.** *Esquema de seguidor solar de dos ejes.*

#### **4.6 Altura y azimut**

El azimut y la altura o también conocida como elevación son las dos coordenadas que definen la posición de un cuerpo celeste, por ejemplo, el sol y la luna en el firmamento cuando es observado desde una localización concreta, en un momento determinado, para una mejor comprensión ver Figura 7. El azimut es el ángulo que forma el Norte y un cuerpo celeste, medido en sentido de rotación de las agujas de un reloj alrededor del horizonte del observador. La elevación es la distancia angular vertical que hay entre un cuerpo celeste y el horizonte local del observador o, también llamado, plano local del observador (Pons, 2014).



**Figura 7.** Azimut y elevación respecto al sol.  
**Fuente:** (Marsh, *Earth/Sun*, 2014)

#### 4.7 Sistemas de seguidores solares vs sistemas fijos

La cantidad de potencia en los paneles solares fotovoltaicos depende principalmente del ángulo de incidencia sobre el mismo, este es el ángulo entre el rayo solar y la superficie horizontal. El ángulo de incidencia mínimo proporciona la máxima potencia de salida. En el caso de un panel fijo, excepto a la hora del mediodía, el ángulo es máximo por el movimiento del sol. El seguidor solar eficiente es el que puede corregir este problema.

El primer seguidor solar fue presentado por C. Finster en 1962, este seguidor era completamente mecánico y necesitaba ayuda de personal para moverlo (Mpodu et al., 2019). Para 1963, Saavedra presentó un mecanismo con un control electrónico automático, que se utilizó para orientar un pirheliómetro. Con el tiempo los avances de tecnología en los sistemas de seguimiento se fueron introduciendo para mejorar la precisión de estos sistemas.

En el 2013 (Anusha & Chandra Mohan Reddy) en su trabajo *Design and Development of Real Time Clock based efficient Solar Tracking System* compararon un sistema de panel fotovoltaico fijo y un sistema de seguimiento solar de un eje basado en el reloj en tiempo real utilizando el procesador ARM. El experimento se llevó a cabo utilizando tanto el sistema fijo como el de seguimiento durante 6 días. Los resultados mostraron que el sistema de seguimiento solar aumentó la eficiencia alrededor del 40% y la energía recibida del sol se mejora desde las 9.00 am hasta las 6.00 pm.

En el trabajo de (Dhanabal et al., 2013) titulado *Comparison of Efficiencies of Single-Axis Tracking System and Dual-Axis Tracking System with Fixed Mount* se compararon las eficiencias

de los paneles estáticos y los sistemas de seguimiento de un eje y de doble eje de montaje fijo. Las lecturas se tomaron desde las 8 de la mañana hasta las 6 de la tarde para el panel fijo, el seguidor de un eje y el seguidor de dos ejes cada hora. Los resultados mostraron que la eficiencia del sistema de seguimiento de un eje sobre la del panel fijo se calcula en un 32,17% y la del sistema de seguimiento de doble eje sobre la del panel fijo se calcula en un 81,68%.

(Tudorache et al., 2012) en su trabajo *Performance evaluation of a solar tracking PV panel* compararon un panel fotovoltaico con sistema de seguimiento solar con un panel fotovoltaico de sistema fijo en términos de producción de energía eléctrica y eficiencia. El sistema propuesto busca automáticamente la posición óptima del panel fotovoltaico con respecto al sol mediante un motor de corriente continua controlado por una unidad de accionamiento inteligente que recibe señales de entrada de sensores de intensidad luminosa específicos. El panel fotovoltaico de seguimiento solar produjo más energía que el fijo, con un 57,55% aproximadamente.

En el trabajo denominado *Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and V-trough generators* de (Bione et al., 2004) el cual consistía en sistemas de bombeo accionados por sistemas fotovoltaicos fijos, de seguimiento y de seguimiento con concentración. Los resultados de su experimento muestran que, para una irradiancia determinada, el caudal de agua bombeada era significativamente diferente entre sí. El sistema fotovoltaico fijo, el de seguimiento y los sistemas de seguimiento con concentración bombeaban 4,9, 7,4 y 12,6 m<sup>3</sup>/día, respectivamente.

(Hon & Kolte, 2013) propusieron un sistema de seguimiento solar autónomo basado en un sensor FPGA en su trabajo denominado *FPGA Based Standalone Solar Tracking System* que se compone de un controlador de lógica difusa implementado con fotorresistencias como sensores, un panel fotovoltaico, un motor paso a paso y una interfaz de entrada-salida. Los resultados mostraron que el seguimiento tiene la máxima eficiencia que los paneles fijos.

En el trabajo denominado *Design and Implementation of a Two Axis Solar Tracking System Using PLC Techniques by an Inexpensive Method* de (Assaf, 2014) basado en un controlador lógico programable (PLC) para accionar los motores y la lectura de las fotorresistencias que usa como sensores para la lectura de intensidad de luz, además consta de programa de respaldo para condiciones meteorológicas adversas en la Ciudad de Damasco, Siria. Se demostró que el sistema

de seguimiento de dos ejes tiene un aumento global de la potencia de salida entre un 30 a 40% en comparación de un sistema fotovoltaico fijo.

En el año 2022 los autores (Wu et al.) en su trabajo *Dual-axis solar tracker with satellite compass and inclinometer for automatic positioning and tracking* se usó dos receptores del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con Reloj de Tiempo Real (RTC) y dos ejes de libertad, dando como resultado en condiciones de clima mayormente despejadas un 35.72% más de energía que un sistema fijo.

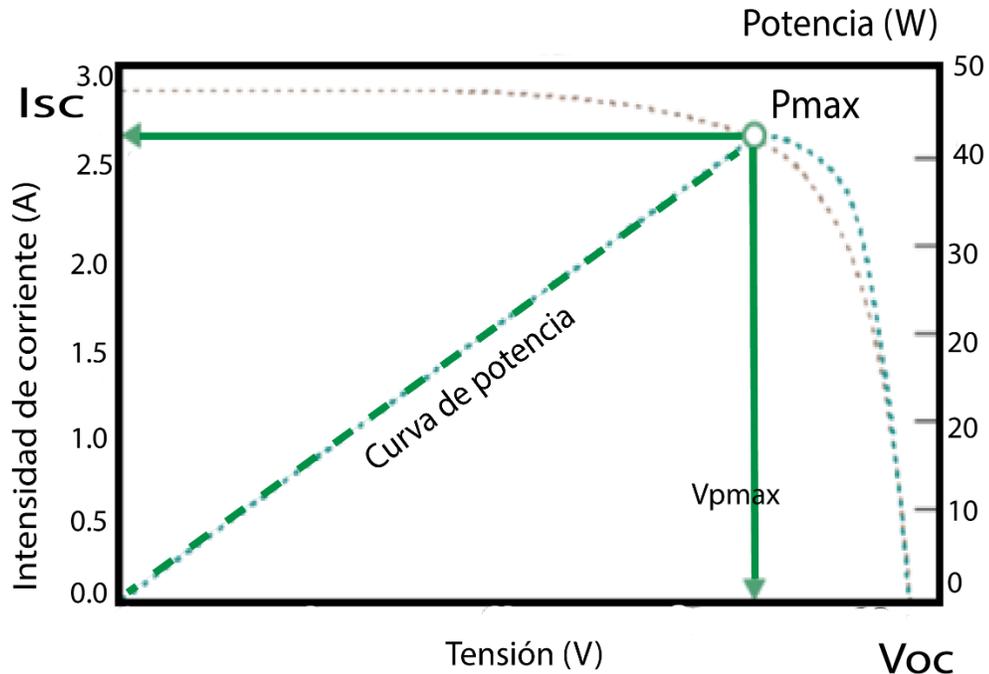
En el trabajo de (Huang et al., 2009). denominado *The design and implementation of a solar tracking generating power system*, se hace uso de *FPGA* y como impulsadores motores paso a paso, fotorresistencias de Sulfuro de Cadmio, logrando obtener un 6.70% de eficiencia en su salida de potencia del sistema de dos ejes comparado a con uno estático.

(Rizk & Chaiko) en el año 2008 desarrollaron un sistema de seguimiento solar con un uso más eficiente de los paneles solares. Este trabajo denominado *Solar Tracking System: More Efficient Use of Solar Panels* incluyó los beneficios potenciales del sistema de seguimiento solar simple de un seguidor de un eje utilizando un motor paso a paso y un sensor de luz. Este método aumentaba la eficiencia de la captación de energía mediante la implementación de un dispositivo que rastrea el sol para mantener el panel en un ángulo recto con respecto a los rayos solares. La ganancia de potencia se incrementó en un 30% con respecto a un conjunto horizontal fijo.

#### **4.8 Curva característica del módulo fotovoltaico**

Para comprender el funcionamiento de las celdas fotovoltaicas se debe comprender el fenómeno físico producido por la unión *p-n* de material semiconductor sensible a la luz solar. Dado que esta incide por lo general sobre la unión *n*, los fotones que la constituyen, proveen la suficiente energía a los electrones de valencia del semiconductor rompiendo así el enlace que los mantenía unidos a sus respectivos átomos (Manuel et al., 2004).

La eficiencia de un panel fotovoltaico se obtiene a través de la medición de la curva I-V siendo esta la manera más completa de lograr este fin, debido a que la curva característica I-V de un módulo fotovoltaico representa todos los posibles puntos de operación de corriente y voltaje, esta curva varía según las condiciones ambientales y del estado del panel (Vargas Augusta Abrahamse & Privada Boliviana, 2014).



**Figura 8.** Curva característica y principales elementos de una célula fotovoltaica.

Para mejor comprensión de la curva característica I-V hay que tener claro ciertos parámetros que determinan la eficiencia de panel fotovoltaico.

*Isc*: Denota la corriente de cortocircuito y esta es la máxima corriente que producirá el módulo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a un voltaje igual a cero.

*Voc*: Denota el voltaje de circuito abierto y representa el máximo voltaje del dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a una corriente igual a cero.

*Pmax*: Denota la potencia máxima que producirá el dispositivo en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura, correspondiente al máximo de corriente y voltaje.

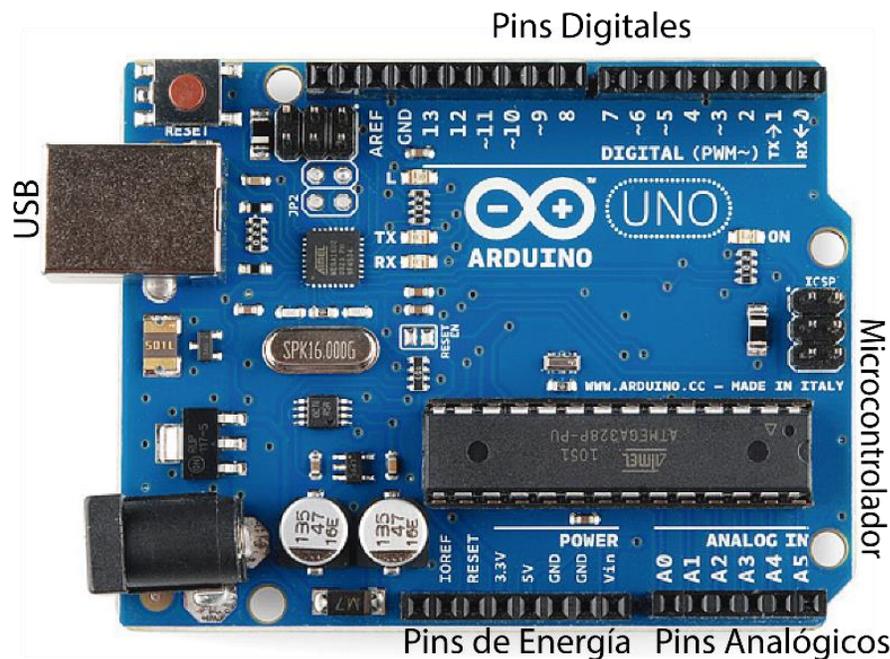
#### 4.9 Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado que en su interior contiene una unidad central de procesamiento, unidades de memoria, puertos de entrada y salida y periféricos. Estas partes

están interconectadas dentro del microcontrolador, y en conjunto forman lo que se le conoce como microcomputadora (Estudio & González, 2018).

#### 4.10 Microcontrolador Arduino

Arduino forma parte del concepto de hardware y software libre y está abierto para uso y contribución de toda la sociedad. Arduino es una plataforma de prototipos electrónicos, y consiste básicamente en una placa microcontrolador, con un lenguaje de programación en un entorno de desarrollo que soporta la entrada y salida de datos y señales. Arduino es una plataforma de computación física (son sistemas digitales conectados a sensores y actuadores, que permiten construir sistemas que perciben la realidad y responden simple placa microcontrolador de entrada/salida y desarrollada sobre una con acciones físicas), basada en una biblioteca que simplifica la escritura de la programación en C/C++ (Pedrera, 2017).



**Figura 9.** Estructura de placa de programación Arduino Uno.

**Fuente:** Elaborado por el autor, basado en (Enríquez Herrador, *Guía de Usuario Arduino*, 2009)

#### 4.11 Motores

##### *Paso a paso*

El motor paso a paso es el convertidor electromecánico que permite la conversión de una información en forma de energía eléctrica, en una energía mecánica y una información de posición.

Está constituido por un estator cuyos devanados se llaman fases y un rotor de un elevado número de polos. Su funcionamiento es síncrono y la alimentación cíclica de sus fases debe originar en cambio de configuración un giro elemental del rotor, constante, llamado paso (Jones, 2001).

### *Servomotor*

Un servo es un tipo de motor DC con reductora que sólo puede girar 180 grados. Se controla mediante el envío de impulsos eléctricos de la placa de programación Arduino. Estos pulsos le indican al servomotor a qué posición se debe mover. El servo tiene tres cables, marrón es el cable a tierra y debe conectarse a GND, el rojo es el cable de corriente y debe conectarse al puerto de 5v y el naranja es el cable de señal y debe conectarse a los pines digitales de la placa de programación (Crespo, 2016).



**Figura 10.** *Servomotor modelo MG995*

**Fuente:** (Altamirano et al., *Robot móvil manipulador*, 2019)

## **4.12 Sensores**

### *Fotodiodo*

Un fotodiodo básicamente tiene la misma construcción que un diodo rectificador es decir que está construido por una unión PN, no obstante, este tiene una característica que lo destaca, que es un dispositivo sensible a la luz visible e incluso a la infrarroja. Es decir, resulta ser un diodo con sensibilidad a la luz (Ingeniería, 2018).

### *Fototransistor*

Los fototransistores y los fotodiodos son muy similares excepto que los fototransistores proporcionan amplificación a la corriente. Por lo general, se diseñan utilizando transistores NPN normales con su unión PN de colector-base expuesta a la luz a través de una carcasa o una lente transparentes. Dado a la amplificación de la corriente, la salida de esta es de 50 a 100 veces mayor que la de los fotodiodos. Además, es que la región de la base está aislada eléctricamente o tiene control de sensibilidad (Carlos, 2018). Como se mencionó que el fototransistor ya proporciona amplificación de corriente, a diferencia de un fotodiodo, este no requiere amplificador externo para su funcionamiento. En otras palabras, un fototransistor es simplemente un transistor común con un colector de base expuesto a la luz.



**Figura 11.** *Fototransistor de tres pines.*  
**Fuente:** (Carlos, *Fototransistor*, 2018)

### *Fotorresistencia*

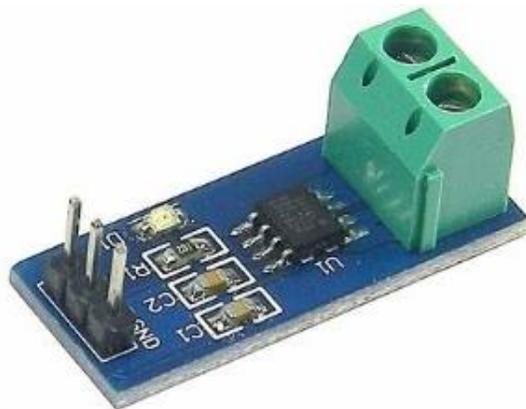
Una resistencia dependiente de la luz, fotorresistencia o LDR de sus siglas en inglés (*Light Depending Resistor*) es un componente foto electrónico cuya resistencia varía en función de la luz que incide en él. Esta resistencia es muy baja, de unos pocos Ohms con una luz intensa incide en él y va creciendo fuertemente a medida que esa luz decrece. Se les suele utilizar como sensores de luz, para arrancar luces automáticamente cuando la oscuridad sobrepasa un cierto umbral, o como detectores de movimiento próximo cuando algo se interpone. Para poder utilizarlo solo se debe agregar una resistencia de 10 K en serie y conectarlo a una de las entradas analógicas de la placa de programación Arduino como un divisor de tensión (Díaz, 2020).



**Figura 12.** Resistencia dependiente de la luz.  
**Fuente:** (Díaz, *Qué es y cómo funciona una LDR*, 2020).

### ACS-712

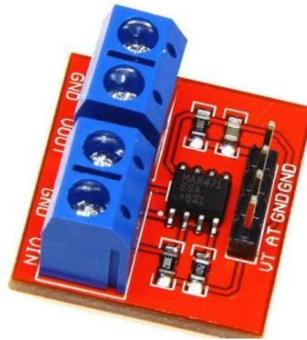
El ACS712 es un sensor de corriente tanto alterna como continua, que permite medir la intensidad eléctrica que atraviesa un conductor. Podemos emplear el ACS712 junto con un procesador como Arduino para medir la intensidad o potencia consumida por una carga. Internamente el ACS712 consiste en un sensor hall de precisión y bajo offset junto con un canal de conducción localizado cerca de la superficie del integrado. Cuando la corriente fluye por el canal de cobre genera un campo magnético que es detectado por el sensor Hall y es convertido en una tensión. La salida del sensor es una tensión proporcional a la corriente, y altamente independiente de la temperatura (Ratnawati & Sunardi, 2020). El sensor viene calibrado desde fábrica, aunque para una medición de precisión hará falta un ajuste de la calibración. Su resistencia es baja alrededor de  $1.2\text{ m}\Omega$ , lo que se traduce en pequeñas pérdidas. Existen modelos para rangos de 5, 20 y 30 A. El sensor soporta corrientes hasta 5 veces el rango de medición del sensor. Sobrepasar el límite dañara el sensor



**Figura 13.** Sensor de corriente ACS-712.  
**Fuente:** (Prathik et al., *IoT based Smart Power Extender with Timer Feature Controlled through a Mobile App*, 2022)

### *MAX-471*

Este módulo se puede utilizar para probar la corriente y la tensión en el circuito. El principio de la prueba de la tensión basada en principio del diseño resistivo del divisor de la tensión, Puede hacer que la tensión de entrada del conector de terminal rojo sea 5 veces menor. Para tensiones de entrada analógicas de Arduino de hasta 5 v, El voltaje de entrada del módulo de detección de voltaje no mayor que  $5 \times 5 = 25 \text{ V}$ , tener encienda si utiliza sistemas de 3.3V la tensión de entrada no debe ser mayor que  $3.3 \text{ V} \times 5 = 16.5 \text{ V}$  (Canaza Chique, 2018).



**Figura 14** *Sensor de corriente y voltaje MAX - 471.*  
**Fuente:** (Lyon, 2021)

## 5. Metodología

En esta sección, se detallan los materiales y métodos usados para llevar a cabo el presente Trabajo de Titulación. Aquí se menciona el contexto de despliegue, el proceso de ejecución general, los recursos empleados y los participantes que intervinieron en el desarrollo del Trabajo de Titulación.

### 5.1 Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de tipo experimental, de tal forma que se busca monitorear en tiempo real la intensidad de corriente de tres módulos solares, un panel estará dispuesto de manera estática a 90° de elevación, el segundo estará dispuesto den un sistema de seguimiento que constará de un eje, permitiendo el movimiento azimutal (Este – Oeste) y el tercero estará dispuesto en un sistema de seguimiento de dos ejes, permitiendo el movimiento de tanto en azimut y elevación, para lo cual se hace necesario instrumentos como el sensor de corriente, sensores de luz para hacer seguimiento solar, motores para movimiento de los módulos solares y placa de programación que nos permita el control de los mismos, la cual, será tomada como punto central ya que permite el registro de las lecturas captadas por los sensores ya instalados. Además, con el uso de software PLX-DAQ la cual es una herramienta complementaria de adquisición de datos de microcontrolador para Microsoft Excel, que permite el monitoreo y almacenamiento de los valores de corriente obtenidos.

Una vez analizado y teniendo en cuenta estas premisas, se realizó un análisis de los diferentes sensores de corriente disponibles para la medición de las variables presentes, la cual concluyó con la selección del sensor ACS-712 de 5A para la medición de intensidad de corriente, ya que presenta características como: alta precisión y baja resistencia con lo que las pérdidas son mínimas, siendo estas muy importantes durante la medición de la intensidad de corriente, para el seguimiento de la intensidad de luz se seleccionó los sensores *LDR* ya que presentan un buen desempeño expuestos a la intemperie, para el movimiento de la estructura de los paneles se seleccionó servomotores MG995 ya que presentan una alta eficiencia al momento de mover estructuras pesadas con un torque de hasta 11 Kg/cm, siendo el conjunto de estos componentes de vital importancia para la correcta medición de la corriente de los paneles, pudiendo así satisfacer las premisas del presente proyecto de titulación.

## 5.2 Diseño de la investigación

La presente investigación es de carácter teórica – práctico, en la primera fase se basa en la recopilación y revisión sistemática de información sobre las tecnologías disponibles para la medición en un enfoque teórico, en los conceptos de los sensores de intensidad de corriente y seguimiento solar, en definitiva permitiendo así el diseño, construcción y análisis de eficiencia energética dos seguidores solares con fines de generación eléctrica fotovoltaica (a un eje y dos ejes) comparados con un sistema fijo.

## 5.3 Procedimiento

Para poder dar cumplimiento al objetivo general y específicos de este trabajo de titulación, se llevó a segmentar el trabajo por etapas.

### *Etapa 1*

En esta etapa el análisis sistemático de la documentación teórica del estado del arte, es esencial para el desarrollo del diseño a implementar, algoritmos de seguimiento, condiciones climáticas para el correcto funcionamiento, microcontrolador Arduino UNO, características de paneles solares, sensores de corriente y materiales de construcción para estructura de seguidores.

### *Etapa 2*

En esta etapa se llevó a cabo el diseño y programación de los sistemas de seguimiento. Para el diseño se hizo uso del software *Fusion 360*, estableciendo una estructura que se adapte a las dimensiones y características de los paneles, teniendo en cuenta la capacidad de carga de los servomotores. Adicional a esto se realizó pruebas de funcionamiento y simulaciones del algoritmo generado e implementado en Arduino UNO con el uso de la plataforma de simulación Tinkercad, determinando si es aplicable a las necesidades estipuladas para este proyecto.

### *Etapa 3*

Esta etapa consistió en la construcción de los sistemas de seguimiento, uno está conformado por un servomotor que ofrecerá un eje de libertad, es decir de elevación (Este-Oeste), y el segundo conformado por dos servomotores que ofrecerá dos grados de libertad (azimut y elevación). Para que los motores posicionen los paneles en dirección del sol, se usó

fotorresistencias, para el sistema de un eje se usó dos fotorresistencias, mientras que para el sistema de dos ejes se usó cuatro. Las fotorresistencias captarán la intensidad de luz y mediante el algoritmo de programación implementado en Arduino conforman el sistema de sensores encargados de mandar señal a los servomotores. Los paneles solares captarán la energía solar y la transformará en corriente continua, esta corriente se monitorea en tiempo real cada 5 minutos con el sensor de corriente ACS-712, la placa de programación Arduino y la herramienta de adquisición de datos para Microsoft Excel la que facilitará la manipulación de los datos.

#### *Etapa 4*

Esta etapa consiste en el análisis de los resultados obtenidos de manera que se les dé robustez y confiabilidad a los sistemas de seguimiento solar, para esto se puso en funcionamiento durante una semana a los seguidores, en esta semana de pruebas se analizó los factores ambientales, material de construcción y elementos electrónicos usados que podrían degradar su funcionamiento y eficacia. Los resultados de estas pruebas permitieron la corrección o modificación de los diseños.

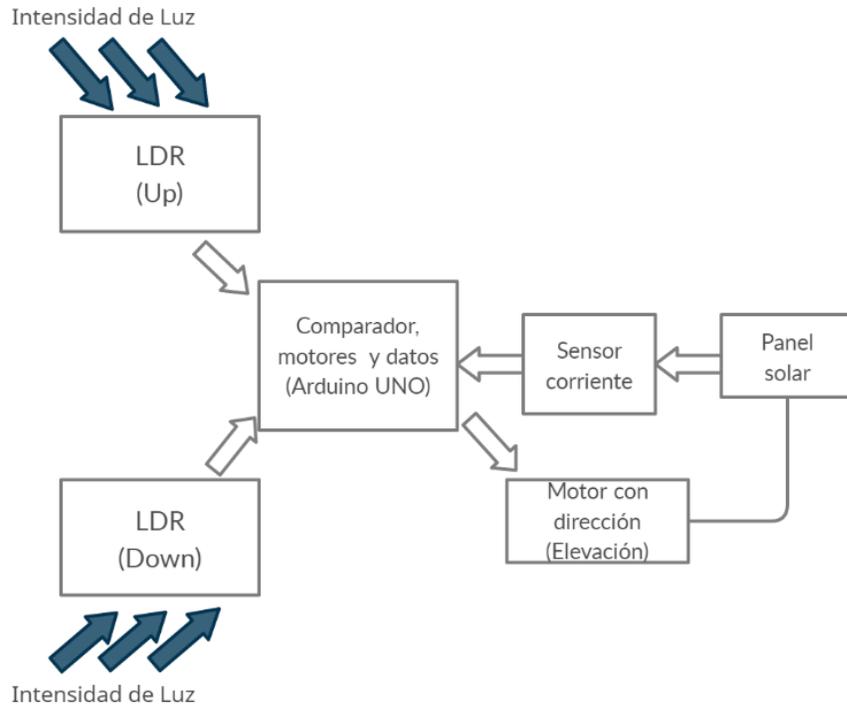
Con los resultados, consideraciones y modificaciones que surgen en la semana de pruebas se procede a la obtención de datos y resultados oficiales de los sistemas de seguimiento, se determinó el funcionamiento los sistemas de seguimiento durante periodo de una semana para la adquisición de datos oficiales.

#### *Etapa 5*

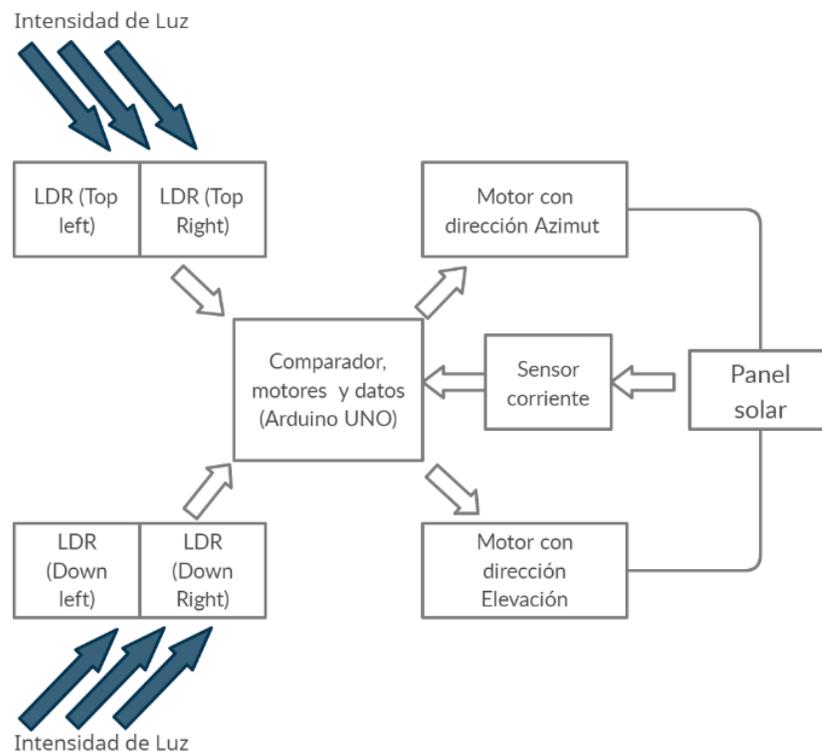
Esta etapa consiste en la documentación resumida y conclusiones de las etapas anteriores, efectuando una redacción sistemática y coherente de los resultados obtenidos.

### **5.4 Algoritmo matemático**

Como se mencionó en las etapas, se procedió a evaluar la efectividad del algoritmo matemático instalado en la placa de programación Arduino. En la Figura 15 se muestra el esquema general de funcionamiento del seguidor a un eje, mientras que en la Figura 16 se muestra el esquema general de funcionamiento del seguidor a dos ejes.



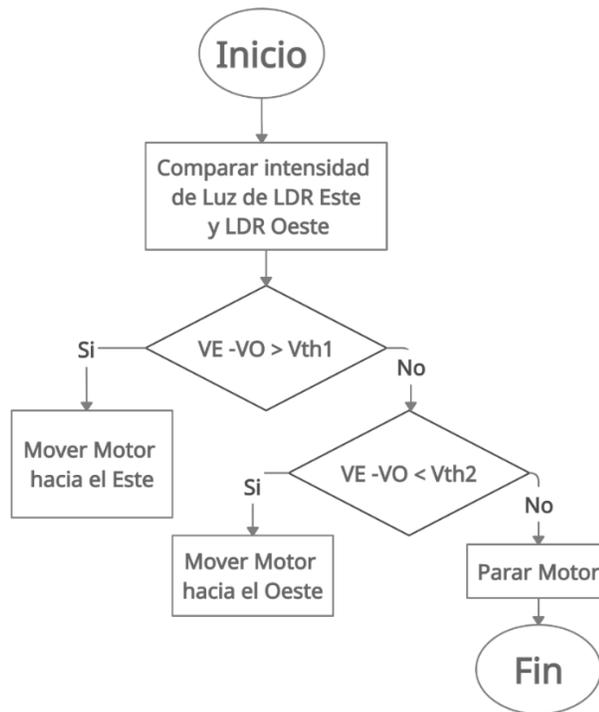
**Figura 15.** Esquema de funcionamiento de seguidor con un eje



**Figura 16.** Esquema de funcionamiento de seguidor con dos ejes.

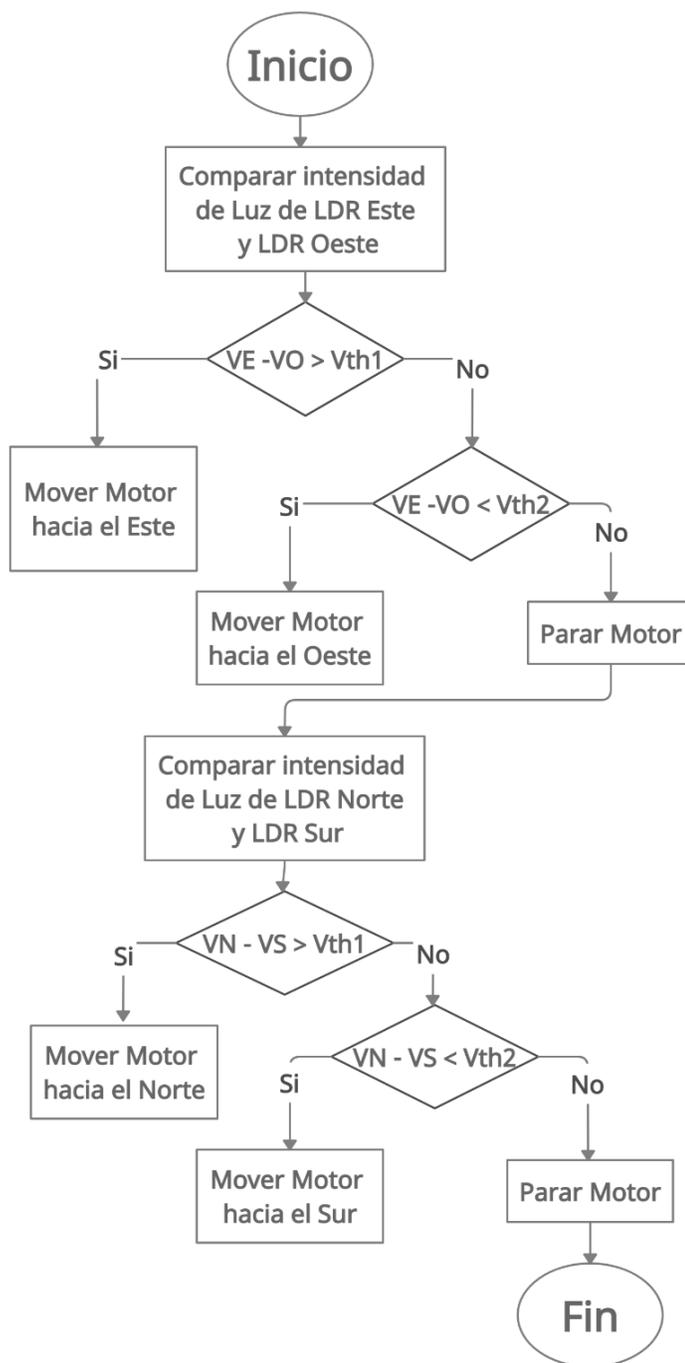
Una vez analizado y determinado el esquema de funcionamiento de los seguidores se procedió a realizar las etapas de interpretación del algoritmo matemático que leerá la placa de programación Arduino.

Para ambos sistemas en primera instancia, se define los servomotores tanto para el seguidor a un eje con movimiento de elevación (Este-Oeste), y para el seguidor de dos ejes con movimiento tanto de azimut (horizontal) y de elevación (vertical). En la Figura 17 se muestra el diagrama de flujo que representa el procedimiento operativo del sistema de seguimiento solar de un eje, el cual permite que el microcontrolador realice las tareas de adquisición de datos de sensores, suministro de energía para el servomotor y el posicionamiento del panel solar de manera que capte la máxima cantidad de luz solar.



**Figura 17.** Diagrama de flujo funcionamiento de seguidor de un eje.

De la misma manera para el sistema de seguimiento de dos ejes en la Figura 18 se muestra el diagrama de flujo del procedimiento operativo.



**Figura 18.** Diagrama de flujo de funcionamiento de seguidor de dos ejes.

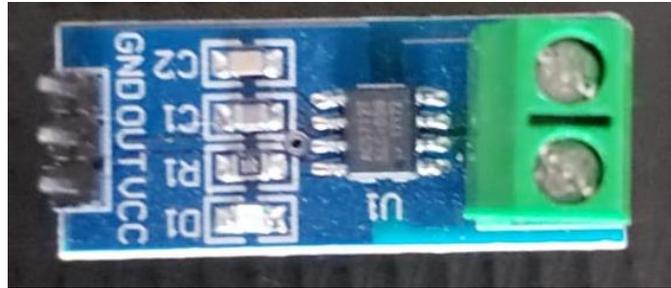
Establecidos los algoritmos de funcionamiento se inserta en la placa de Arduino, antes de proceder con la siguiente etapa de diseño y construcción, se comprobó y garantizó la efectividad de los algoritmos.

## 5.5 Materiales experimentales

- Computador portátil

Se hace uso de computador portátil personal en donde se registrará y almacenará los datos del experimento.

- Sensor de corriente ACS-712



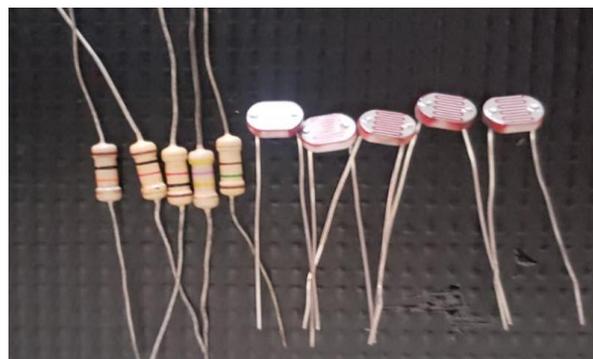
**Figura 19.** Sensor ACS-712 usado en el experimento

**Tabla 1**

*Especificaciones técnicas de sensor ACS-712*

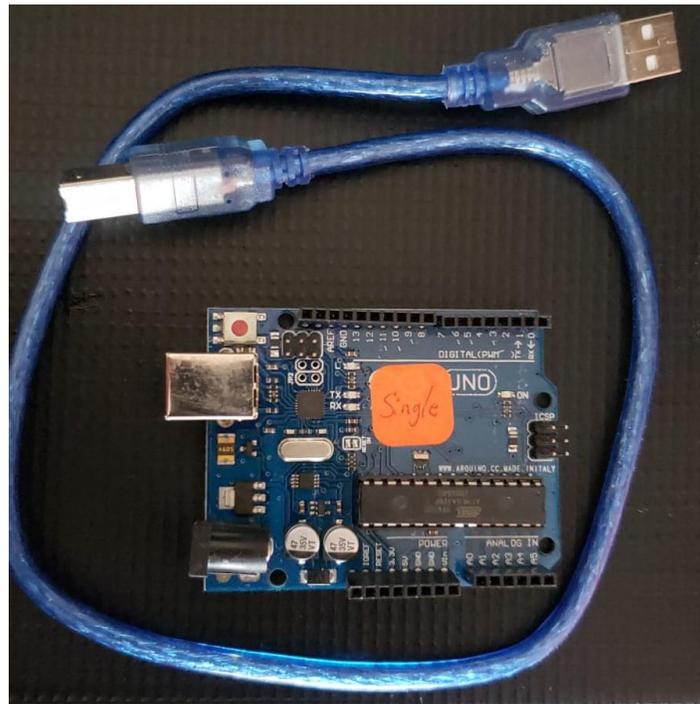
Características técnicas	
Alimentación	4.5 a 5.5 VDC
Rango de medida	0 a 5 A AC/DC
Voltaje de salida	66 mV/A
Salida de voltaje sin corriente	VCC / 2
Resistencia interna	1.2 mΩ
Protecciones	Aislamiento 2.1 Kvrms
Medidas	31 mm x 13 mm
Rango de error	1.5 %

- Sensores y resistencias



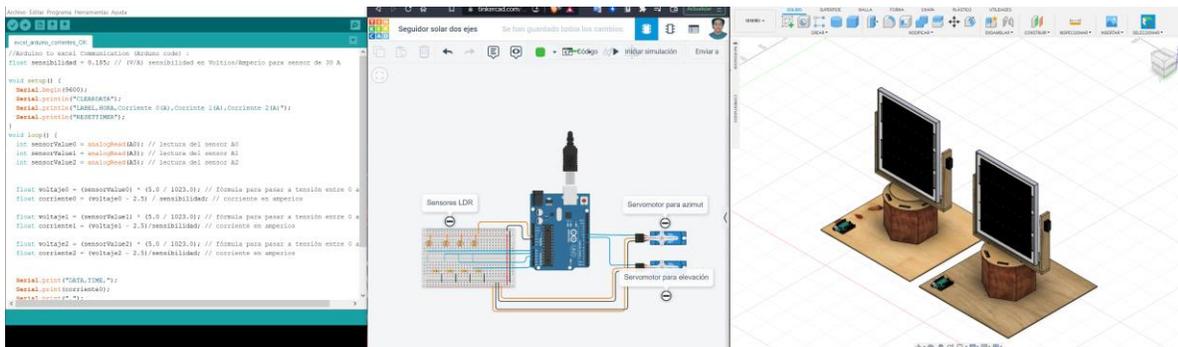
**Figura 20.** Sensores LDR y resistencias

- Placa Arduino y cable USB con conversión de tipo USB-A a USB-B



**Figura 21.** Placa Arduino con cable USB de alimentación

- Software de Arduino IDE, PLX-DAQ y Fusion 360



**Figura 22.** Ventanas de software Arduino, Tinkercad y Fusion360.

- Estructuras

Las estructuras fueron realizadas en madera la cual recibió tratamiento de impermeabilización para soportar cualquier condición climática.



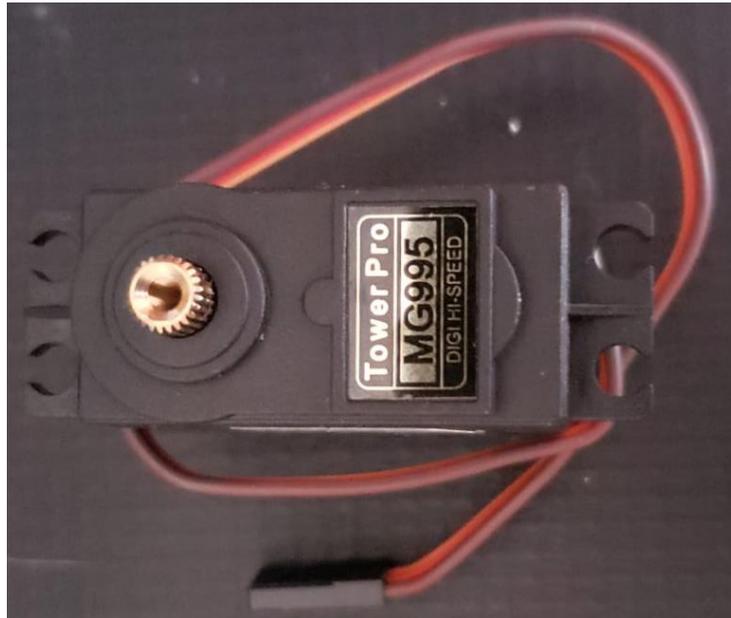
**Figura 23.** Estructuras de seguidores

- Multímetro



**Figura 24.** Multímetro para mediciones

- Servomotores MG-995



**Figura 25.** Servomotor de torque MG-995

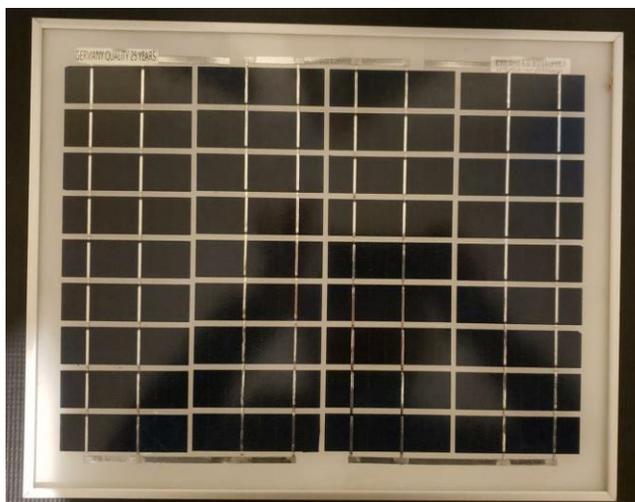
- Herramientas



**Figura 26.** Herramientas adicionales

- Paneles fotovoltaicos 10 W

A continuación, en la Tabla 2 se muestra las especificaciones técnicas del panel fotovoltaico usado en este proyecto de seguimiento solar, se usó el mismo para los tres sistemas (un eje, dos ejes y estático).



**Figura 27.** *Panel fotovoltaico de 10W*

**Tabla 2**

*Especificaciones técnicas de panel fotovoltaico usado.*

<b>Especificaciones Panel Fotovoltaico</b>	
Max Power	10W
Optimum PowerVoltage	18V
Optimum PowerCurrent	0.55A
Open Circuit Voltage	21.6V
Short Circuit Current	0.605A
Nominal Operating Temp	48±2°C
Max System Voltage	715DC
Operating Temperature	-40°C to +90°C
Dimension (mm)	360*290*17

## 6. Resultados

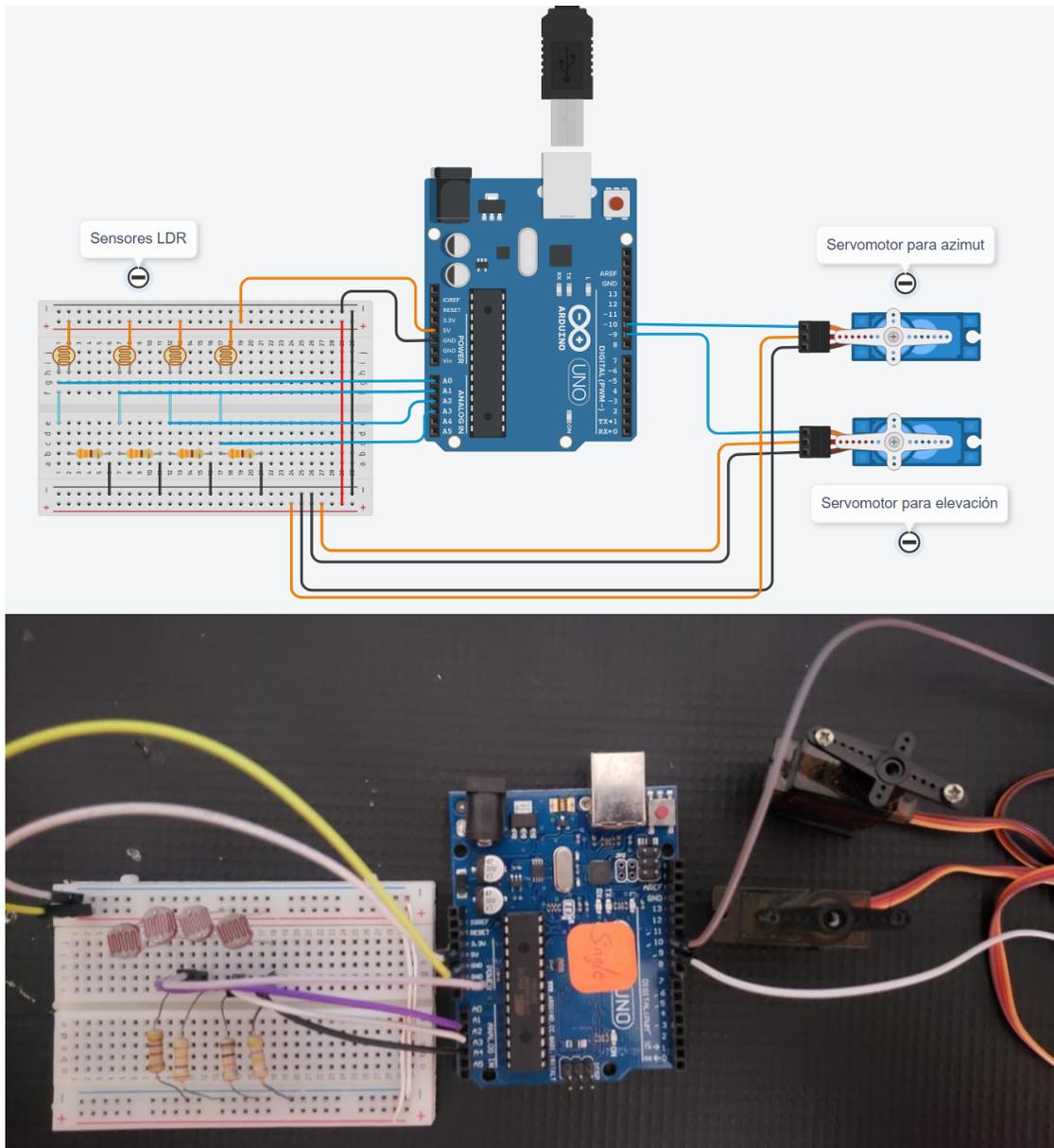
Teniendo en cuenta la metodología expuesta con anterioridad, se diseñó, construyó y analizó la eficiencia de seguidores solares a un eje y a dos ejes con fines de generación fotovoltaica. Los cuales se desarrollaron empleando el software de modelador 3D *Fusion 360*, el lenguaje de programación Arduino, entorno de simulación *Tinkercad* y estructura de madera para los sistemas de seguimiento solar. De esta manera, se obtuvieron los siguientes resultados.

### 6.1 Diseño y construcción

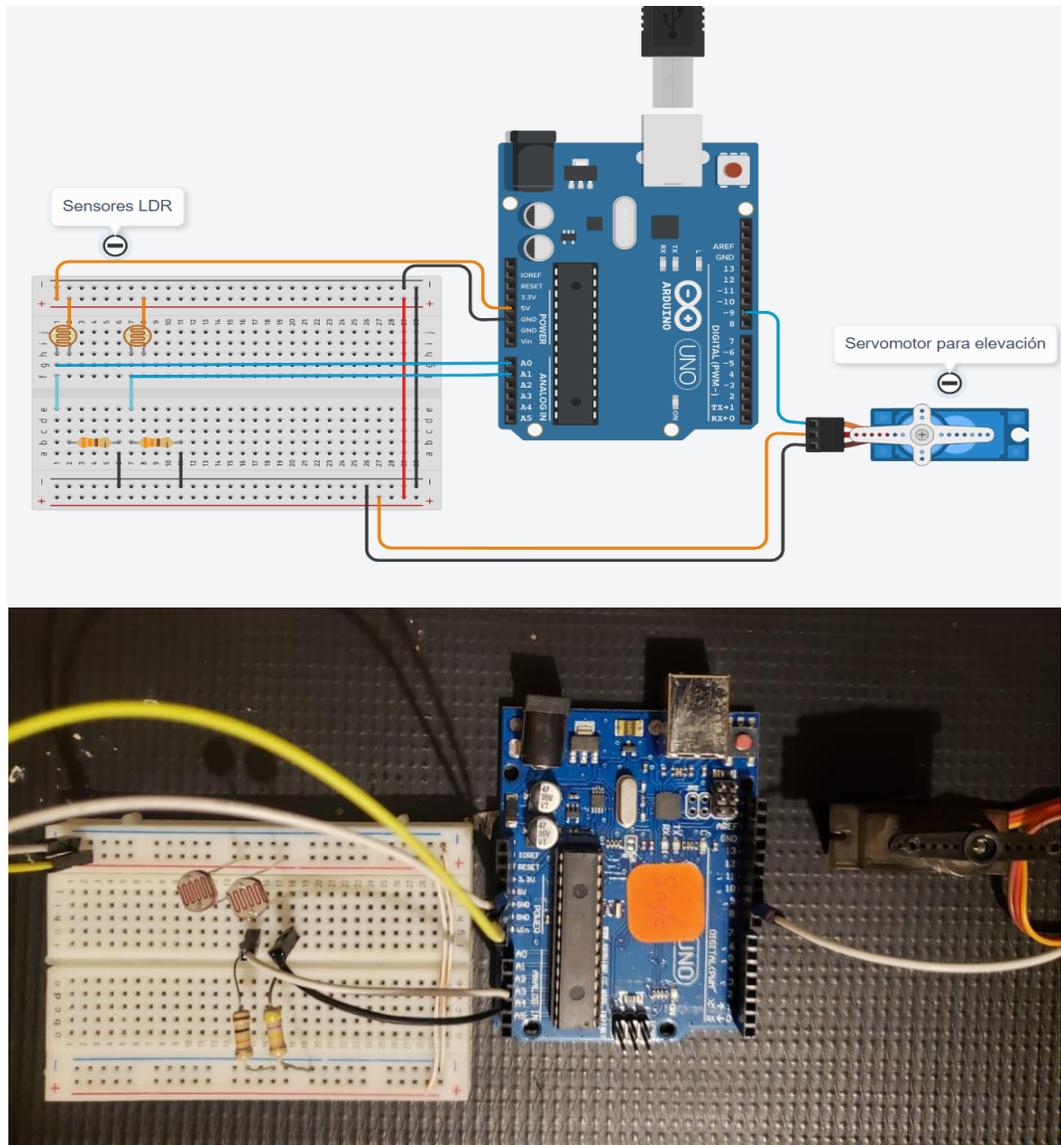
Una vez establecida la efectividad de los algoritmos de seguimiento descritos en la Metodología, se diseñó el sistema esquemático de los componentes electrónicos y sus interconexiones.

#### *Conexiones físicas*

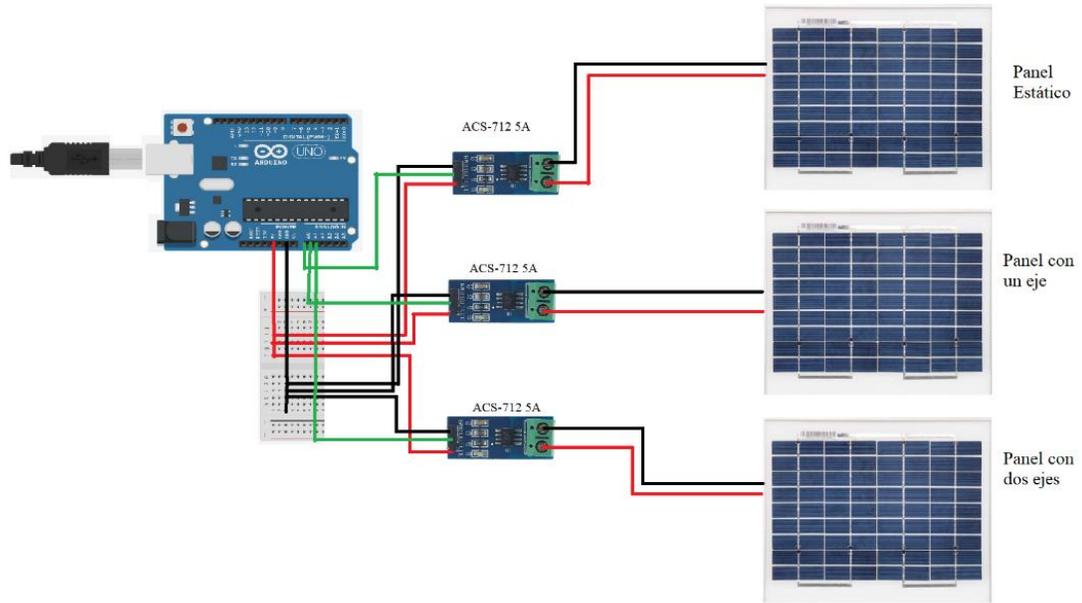
Los sensores, motores y los módulos solares están conectados en primera instancia a la placa de programación Arduino, en segunda fase a la laptop, en donde se registrará y almacenará los datos obtenidos. En la Figura 28, 29 y 30 se observa el diagrama de conexiones para que se realice con éxito las lecturas emitidas por los sensores.



**Figura 28.** a) Esquema de conexiones de servomotores y LDR's a placa de programación de seguidor solar de dos ejes. b) Conexiones de servomotores y LDR's a placa de programación de seguidor solar de dos ejes.

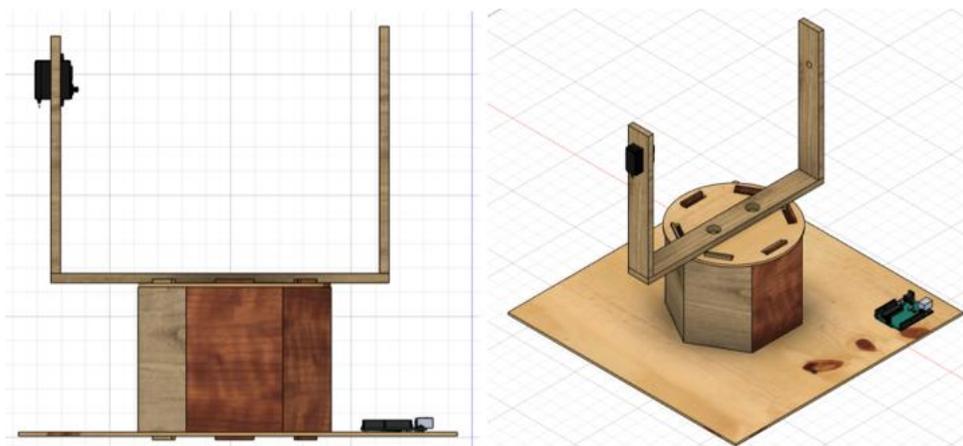


**Figura 29.** a) Esquema de conexiones seguidor solar de un eje. b) conexiones físicas de seguidor solar de un eje.

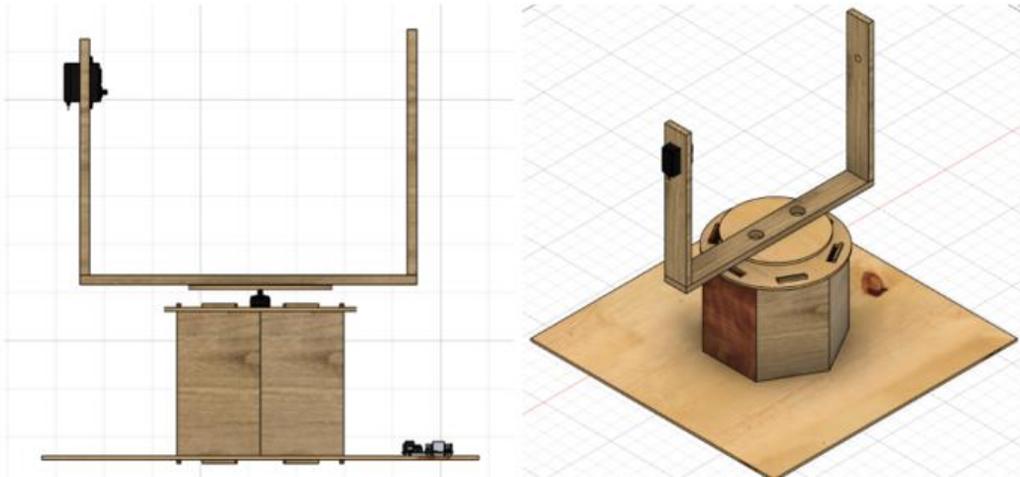


**Figura 30.** Esquema de conexión de módulos solares y sensores de corriente a placa de programación.

Establecido el esquema de interconexión entre los componentes electrónicos y la placa contenedora de los algoritmos de funcionamiento se diseñó la estructura que servirá de soporte los paneles solares junto a los motores que le permitirán el seguimiento de la intensidad de luz. El diseño se lo realizó en el software de modelado 3D *Fusion 360*, en las Figuras 31 y 32 se muestra el resultado final del diseño de seguidor de uno y dos ejes respectivamente y en la Figura 33 sus medidas.

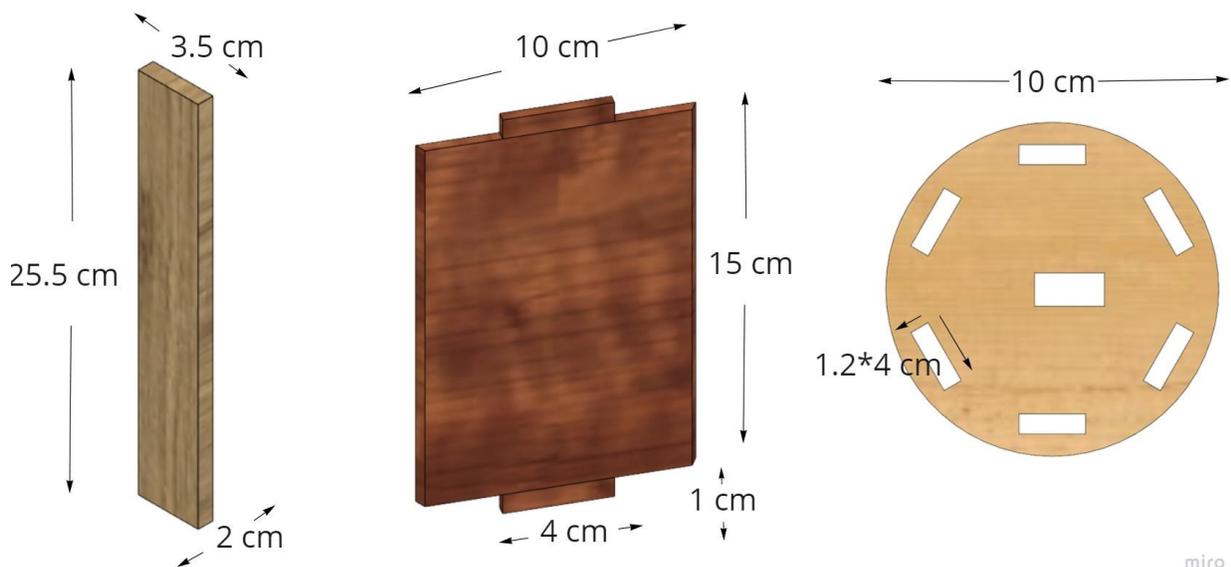


**Figura 31.** Diseño de estructura de seguidor de un eje en software *Fusion360*.

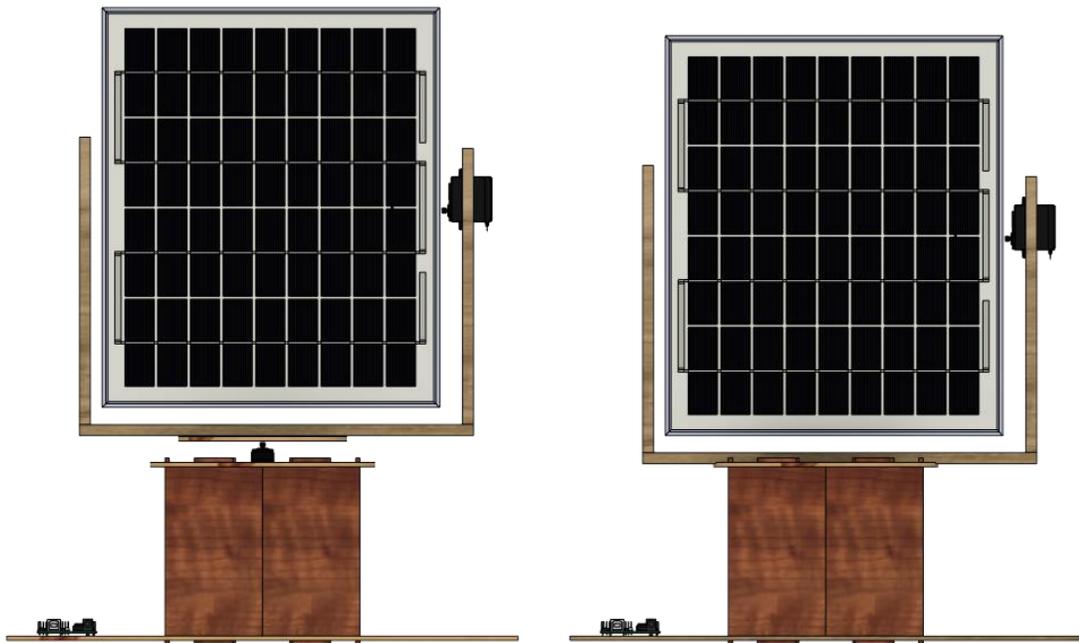


**Figura 32.** *Diseño de estructura de seguidor de dos ejes en software Fusion360.*

Teniendo como base el diseño establecido en el software *Fusion 360* se procedió con la construcción de las estructuras, se hizo uso de madera con un acabado de barniz para impermeabilizar y no sufran daños por las condiciones medioambientales a las que se encuentran expuestos, además que no presenta mayor esfuerzo al realizar el movimiento los servomotores.



**Figura 33** *Medidas de estructura*



**Figura 34.** Esquema de estructura final un eje y dos ejes en Fusion360.



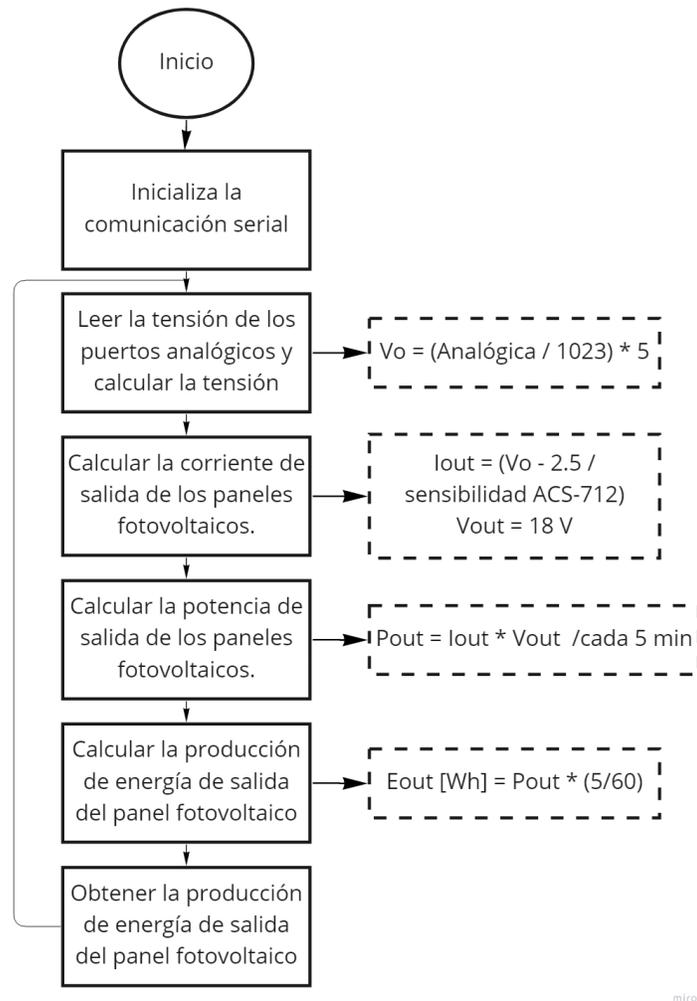
**Figura 35.** Seguidor a un dos ejes y un eje contruidos.

Una vez culminada la etapa de construcción de los sistemas de seguimiento, se procedió a identificar y seleccionar el área más adecuada donde se instalarán los sistemas de tal forma que no tengan ninguna obstrucción externa que provoque sombra sobre la superficie de los paneles

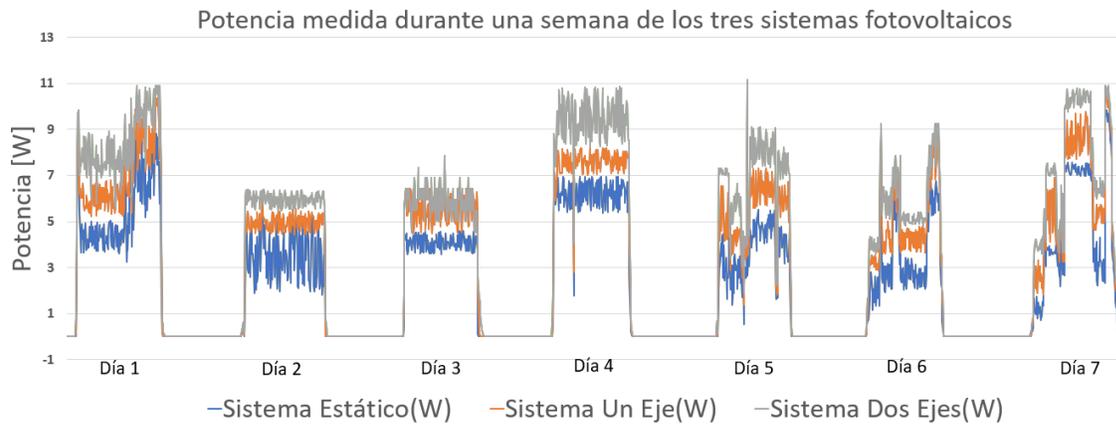
fotovoltaicos, de manera que los tres sistemas tengan las mismas condiciones. La ubicación se estableció en el barrio Ciudad Alegría de la Ciudad de Loja en la Región Sur del Ecuador con Latitud de  $-4.033917824266262^\circ$  y Longitud:  $-79.20585747363256^\circ$ .

## 6.2 Análisis de datos

Los sistemas de seguimiento solar desarrollados y construidos se presentan en la Figura 35, una vez que terminó la construcción y las pruebas necesarias para garantizar el correcto funcionamiento, se procedió a la toma, análisis y comparación de datos de sistemas de seguimiento solar a un eje y dos ejes respecto a un sistema estático, en la Figura 36 se establece el proceso general de adquisición y análisis de datos de los sistemas de seguimiento.

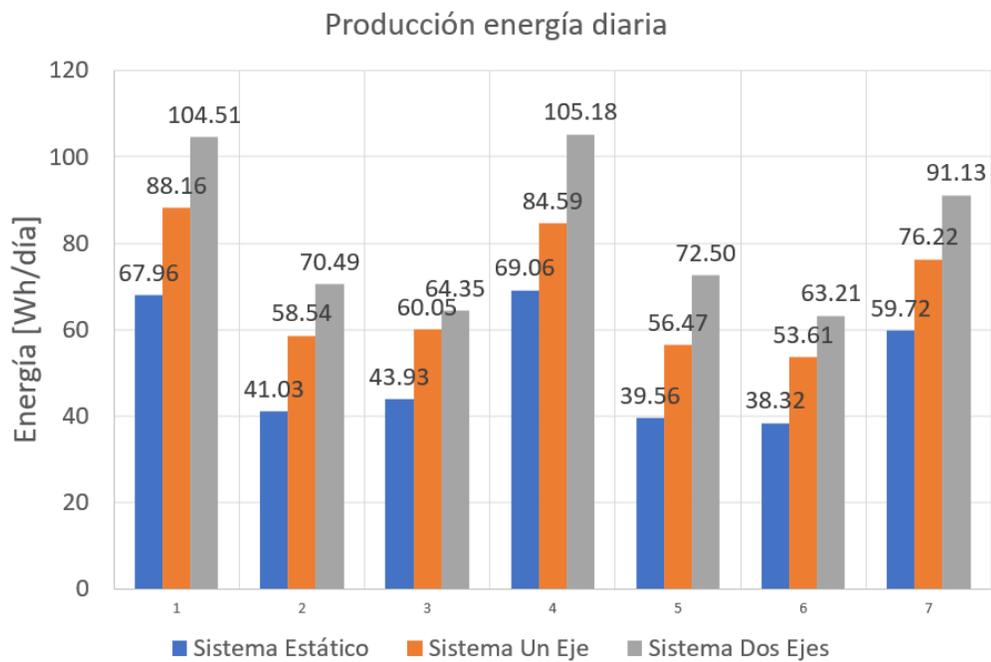


**Figura 36.** Diagrama general de adquisición y análisis de datos



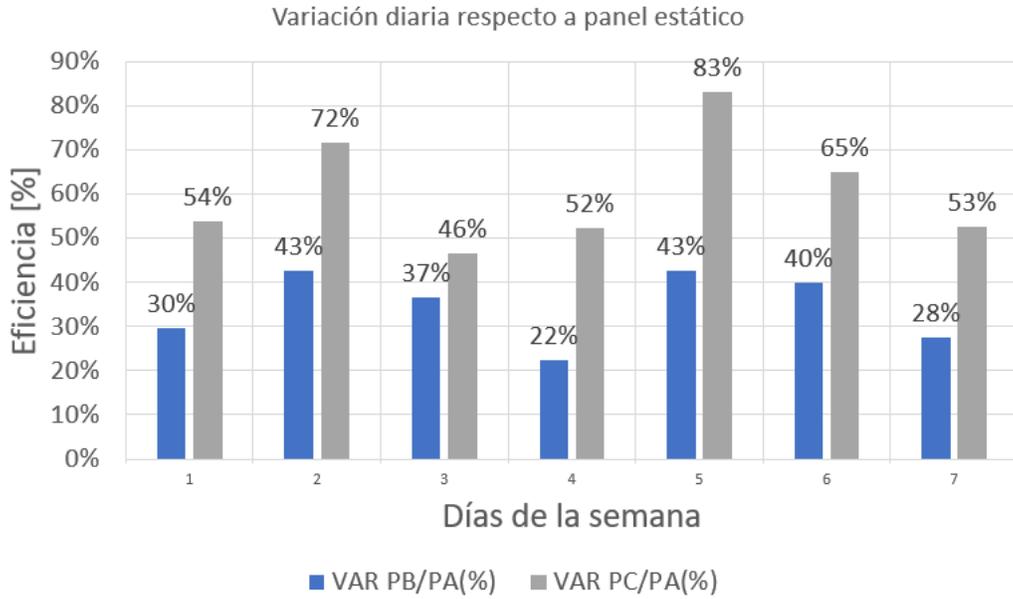
**Figura 37.** Potencia medida durante una semana de los tres sistemas fotovoltaicos

La Figura 37 muestra la medición de potencia generada durante una semana por parte de los tres sistemas medida en Vatios, en azul el sistema estático, naranja sistema un eje y gris sistema dos ejes.



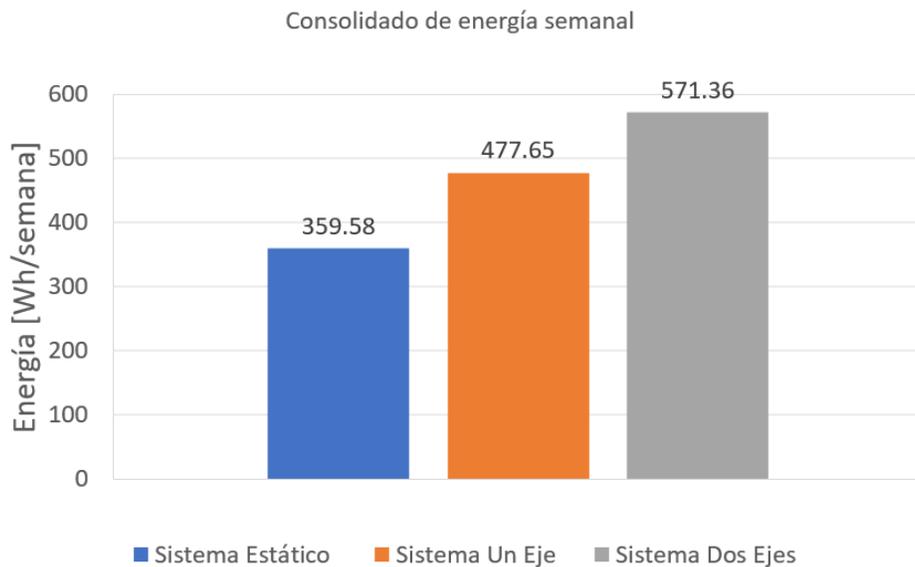
**Figura 38.** Consolidado de producción de energía diaria

La Figura 38 muestra la producción de energía diaria medida durante siete días medida en Wh/día, en azul que representa el sistema estático, en naranja el sistema a un eje y en gris el sistema a dos ejes.

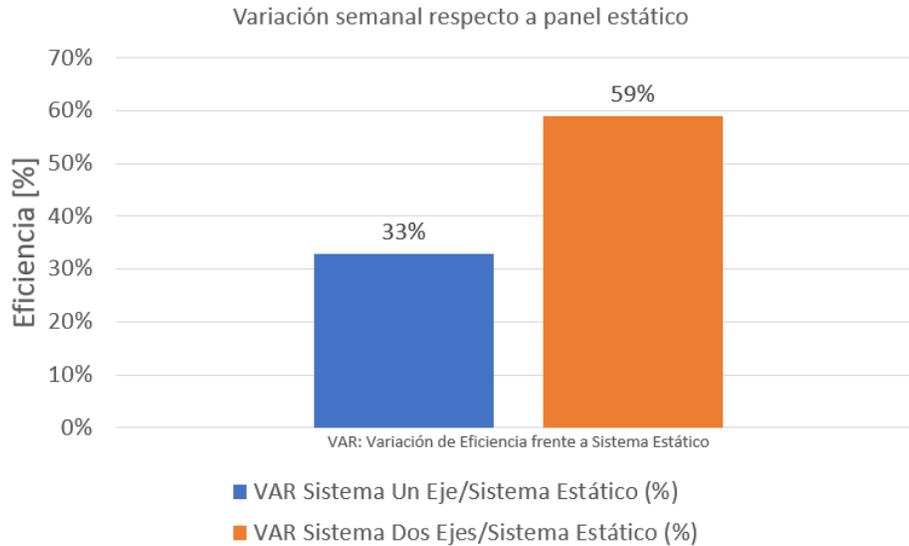


**Figura 39.** Variación de energía diaria con respecto a panel estático.

La Figura 39 se muestra la eficacia o variación (VAR) existente entre los sistemas de seguimiento con respecto al sistema estático, en azul la eficacia entre sistema de un eje con respecto a sistema estático y en gris la eficacia entre sistema de dos ejes respecto a panel estático.



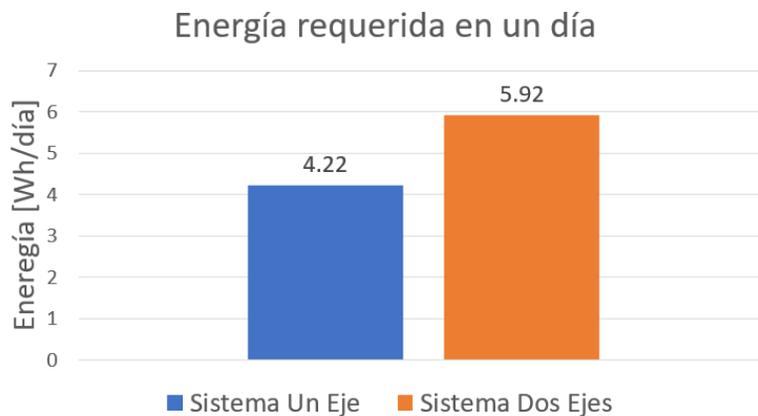
**Figura 40.** Consolidado de energía producida a la semana medida en Wh/semana.



**Figura 41.** Variación de energía acumulada a la semana respecto a sistema estático.

La Figura 40 muestra el consolidado semanal de energía almacenada durante la medición durante el transcurso de una semana medido en [Wh/día], mientras que en la Figura 41 muestra la eficacia o variación (VAR) de los sistemas de seguimiento respecto a sistema estático medido a la semana, en azul la eficacia de sistema un eje respecto a sistema estático y en naranja la eficacia de sistema dos ejes respecto a sistema estático.

Para determinar si es factible la implementación de seguidores es necesario conocer el consumo que tienen los seguidores, para determinar el consumo se utilizó de sensor de corriente ACS-712 y así determinar la energía en necesaria para funcionar en el transcurso del día. En la Figura 42 se muestra el consolidado de energía consumida por los seguidores el cual fue medido desde las de cinco de la mañana hasta las ocho de la noche.



**Figura 42.** Energía utilizada por los seguidores

## 7. Discusión

El desarrollo de las actividades efectuadas en este trabajo de titulación, se encaminarán al cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente, las mismas que serán de manera planificada y secuencial logrando así alcanzar resultados satisfactorios. Como se estableció en la metodología, para el desarrollo de este trabajo de titulación se realizó una revisión del estado del arte referente a los distintos sistemas de seguimiento solar. De esta manera, las características de los principales estudios revisados se exponen en la Tabla 3.

### 7.1 Análisis con otras investigaciones

De la revisión sistemática de literatura basadas en estudios previos, trabajos de titulación, artículos científicos enfocadas al manejo y estudio de seguimiento solar además de las diferentes tecnologías e instrumentos disponibles para la medición de la radiación solar y eficiencia de seguidores solares.

De esta revisión sistemática es pertinente contrastar los mejores resultados de estos trabajos con los resultados del trabajo de titulación desarrollado, destacando el trabajo '*Comparison of Efficiencies of Single-Axis Tracking System and Dual-Axis Tracking System with Fixed Mount*' desarrollado por Dhanabal et al. en el año 2013 en este trabajo, se hizo uso de una metodología similar a la expuesta en este documento, ya que, elabora dos sistemas de seguimiento de un eje y dos ejes. No obstante, el algoritmo del sistema es implementado en un microcontrolador PIC y motores DC, dando como resultado una eficiencia de 13% para el seguidor de un eje y 25% para el de dos ejes. contrastando con los resultados obtenidos y al algoritmo empleado en el presente trabajo de titulación tuvo un 20% y 34% más de eficiencia en la energía acumulada en los sistemas de uno y dos ejes respectivamente.

En el trabajo '*Design and Implementation of a Two Axis Solar Tracking System Using PLC Techniques by an Inexpensive Method*' desarrollado por Asaaf, E Michael en el año 2014, se obtuvo un 30% más de eficiencia en su sistema de dos ejes, el cual hizo uso de una metodología similar al expuesto en este trabajo. No obstante, el controlador lógico usado es un PLC y en el presente trabajo de titulación es un Arduino, los impulsores usados son servomotores y el análisis de eficiencia se llevó a cabo durante dos semanas, de las cuales una consistió en datos de prueba y la segunda en datos oficiales, demostrado ser mucho más eficiente ya que en las semanas de

funcionamiento aparte de ser bastante preciso y fiable, se probó en condiciones meteorológicas adversas (condiciones nubladas y parcialmente nubladas).

En el trabajo de Huang Y, et al. denominado ‘*The design and implementation of a solar tracking generating power system*’ en el año 2009. En este trabajo al tener una metodología similar al presentado en este trabajo, con el uso de *FPGA* y como impulsores motores paso a paso, logran obtener un 6.70% de eficiencia en su sistema de dos ejes comparado a con uno estático. Esto hace que los sistemas implementados en el presente trabajo, gracias a la simplicidad del diseño, el bajo costo, la disponibilidad de materiales, bajos requerimientos para su mantenimiento, facilidad de instalación y operación hacen que este sistema de seguimiento solar basado en Arduino sea más efectivo y a su vez competitivo frente a otros sistemas de seguimiento.

**Tabla 3**

*Resumen experimentos de seguidores solares*

N°	Autor	Diseño implementado	[%]
1	(Wu et al., 2022)	Sistema de seguimiento de doble eje con dos receptores GPS y reloj en tiempo real, LDR y Arduino	38.72
2	(Assaf, 2014)	Sistema de seguimiento solar de doble eje, consta de cuatro sensores LDR y un PLC	40
3	(Anusha & Chandra Mohan Reddy, 2013)	En este trabajo se describe el diseño de un sistema de seguimiento solar eficiente basado en un reloj en tiempo real (RTC) utilizando un procesador ARM	40
4	(Dhanabal et al., 2013)	Sistemas de seguimiento de uno y dos ejes con LDRs y PIC	13 25
5	(Tudorache et al., 2012)	Sistema de seguimiento de un eje con uso de LEDs luminiscentes y PLC	57.55
6	(Huang et al., 2009)	Sistema de seguimiento de doble eje LDRs de sulfuro de cadmio con <i>FPGA</i>	6.70
7	(Rizk & Chaiko, 2008)	Sistema de seguimiento de un eje con uso de LDRs y motor DC	30
8	(Yao et al., 2014)	Sistema de seguimiento de doble eje con sistema de montaje de reloj de declinación	23.6
9	(Abdallah & Nijmeh, 2004)	Seguidor solar de doble eje con PLC para controlar el movimiento del seguimiento solar sistema	41.34

10	(Sungur, 2009)	Sistema de seguimiento solar de doble eje usando un PLC con un programa basado en los cálculos matemáticos de ángulos solares de acimut y altitud	42.6
11	(Zhang et al., 2013)	Sistema de seguimiento solar de doble eje, seguimiento basado en el tiempo, soporte con batería, sensores fotosensibles y temperatura sensores para una farola solar activa	36

## 7.2 Diseño y construcción

Para su cumplimiento se realizó una investigación rigurosa que permita seleccionar los instrumentos que mejor se ajusten a la relación calidad/precio. A partir de esta relación se destacó características más relevantes las mismas que se ajusten a los requerimientos necesarios para seguimiento solar.

Una vez establecido las características del funcionamiento, diseño de estructura de seguimiento, la adquisición del sensor y la programación empleando los softwares *Fusion 360*, *Tinkercad* y Arduino IDE se procedió con la construcción de la estructura de seguimiento. Se tuvo en cuenta que, para realizar un sistema de seguimiento, su estructura debe ser resistente a las condiciones climáticas adversas, de manera que no llegue a interferir en el correcto funcionamiento del mismo, el cual consistió en una estructura de madera que tuvo un tratamiento de impermeabilización garantizando su durabilidad, ya que el fin es analizar y comparar los datos de energía acumulados con un sistema fijo.

Para el correcto funcionamiento del seguidor de dos ejes, la estructura se diseñó con una base geométrica hexagonal de manera que no se presente trabas en el giro correspondiente al eje azimutal, y en el eje correspondiente a la elevación se diseñó la estructura de manera que el módulo solar encaje desde su punto de equilibrio para que no represente esfuerzo a los servomotores al girar. En la parte superior de los paneles se diseñó una base en donde se alojarán los respectivos sensores *LDR*'s que mandarían la señal al Arduino de manera que se orienten los paneles de manera perpendicular a los rayos del sol.

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de medición y monitoreo, se realizaron pruebas de durante una semana constatando su efectividad, y durante otra semana para

la toma de datos oficiales que constan en la sección 6 de resultados en los que se comparan ambos sistemas de seguimiento respecto a uno fijo.

### 7.3 Comparación estadística

Como se mencionó en la metodología el experimento se llevó a cabo durante dos semanas, en la primera se calibró y corrigió detalles, para la comparación estadística la segunda semana fue la primordial ya que los datos de esta serían los oficiales. Los datos se recopilaron de cada sistema (estático, un eje y dos ejes) a partir de las 05h00 monitoreando los datos de corriente de cada módulo fotovoltaico cada cinco minutos hasta las 20h00, en la Figura 43 se puede apreciar una muestra de los datos de tres días de la corriente de salida de cada sistema junto con sus gráficas.

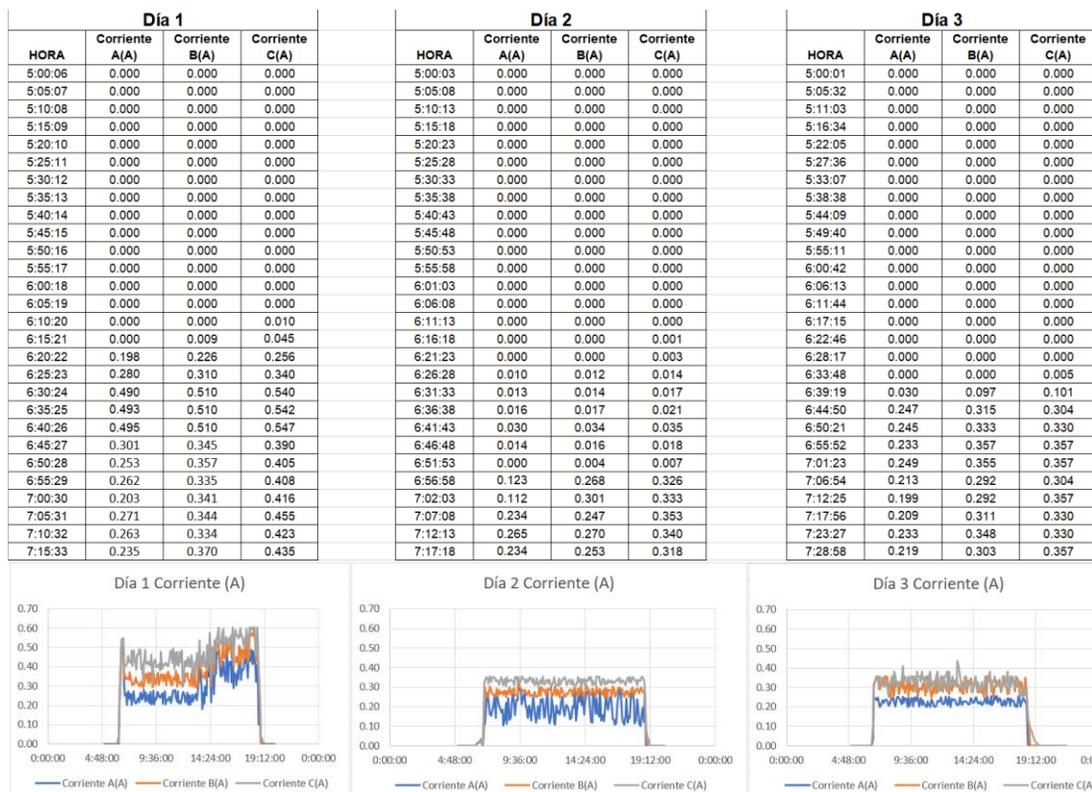


Figura 43. Muestra de datos de corriente de 3 días

Una vez con los datos de corriente en el horario establecido durante los 7 días, se calcula la potencia generada por los paneles, esto con la ayuda de la tabla de especificaciones de cada panel el voltaje óptimo de cada panel que es 18V, al multiplicar este valor con cada dato muestreado del corriente obtenemos la potencia, con la ayuda de estos datos de potencia se procedió a la obtención de la energía, ya que se tiene los valores en vatios y el muestreo fue cada

cinco minutos y la con una regla de tres para que los valores nos den en vatios/hora al día Wh/día, y con ese consolidado hacer una comparación con el sistema fijo de la energía acumulada diaria, como se puede apreciar en la Tabla 4 y una comparación de energía acumulada semanal, como se aprecia en la Tabla 5.

**Tabla 4**

*Comparación estadística de energía acumulada diariamente*

<b>Energía Diaria VAR (%)</b>		
<b>Día</b>	<b>VAR PB/PA (%)</b>	<b>VAR PC/PA (%)</b>
1	30%	54%
2	43%	72%
3	37%	46%
4	22%	52%
5	43%	83%
6	40%	65%
7	28%	53%

**Tabla 5**

*Comparación estadística de energía acumulada a la semana*

<b>Energía Semanal VAR (%)</b>		
<b>Semana</b>	<b>VAR Sistema Un Eje/Sistema Estático (%)</b>	<b>VAR Sistema Dos Ejes/Sistema Estático (%)</b>
1	33%	59%

Al culminar la semana se realizó un consolidado semanal, ya con estos datos se pudo analizar la eficiencia de los seguidores respecto al sistema fijo. Por último punto para considerar un análisis completo, se procedió con la medición de la energía consumida por los seguidores aplicando el sensor de corriente en el inicio del circuito es decir en la fuente de alimentación, tenido como resultado un consumo mínimo por cada uno respecto al almacenado durante el día en Wh/día y analizar si es rentable en este caso su implementación.

## 8. Conclusiones

Esta investigación tuvo por objetivo principal el análisis de eficiencia de seguidores solares (un eje y dos ejes) respecto a uno estático. Para ello se implementó una serie de procesos haciendo uso de software y hardware tanto para diseño y construcción como para el análisis de eficiencia. Estos incluyeron un diseño de estructura con ayuda del software *Fusión 360* en el cual además del diseño se usó para simulación del mismo, una selección de materiales a implementar, seguido de su construcción y programación para su correcto seguimiento solar, finalizando con un proceso de análisis estadístico de los resultados obtenidos, donde se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- En la Región Sur del Ecuador los sistemas de seguimiento solar cumplen con el propósito de maximizar la eficiencia de energía generada por los módulos solares ya que, con el sistema de un eje se consiguió el 33% más de energía frente a al sistema estático, mientras que el seguidor de dos ejes alcanzó el 59% de incremento de energía frente a al sistema estático.
- Durante los días de funcionamiento del sistema se procuró cubrir la mayoría de condiciones meteorológicas (lluvia, nublado, parcialmente nublado, soleado y parcialmente soleado)
- El arreglo de fotorresistencias que se usó como sensores de luz para los datos de entrada del sistema permitió identificar de forma satisfactoria la variación de luminosidad y así dar señal a los motores y efectuar su movimiento.
- La simplicidad del diseño, el bajo costo, la disponibilidad de materiales, los bajos requerimientos de mantenimiento, la facilidad de instalación y operación hace que este sistema de seguimiento basado en Arduino sea más efectivo y competitivo frente a otros sistemas de seguimiento.
- Los sistemas de seguimiento se implementaron en la Ciudad de Loja a una distancia relativamente cercana al Ecuador Terrestre con Latitud  $-4.033917824266262^\circ$  y Longitud  $-79.20585747363256^\circ$  en donde las investigaciones son escasas pudiendo así extrapolar los resultados de este trabajo de titulación a latitudes similares.
- La elaboración de los sistemas de seguimiento tanto de un eje y dos ejes, con todo el material electrónico (paneles de 10 W, estructura, placa de Arduino, motores, resistencias, etc.) tuvo un costo total de aproximadamente \$421, lo cual hace que sea un precio relativamente accesible para replicar el experimento en cualquier parte del mundo.

- Con los resultados obtenidos es conveniente concluir que, en la Región Sur del Ecuador, en latitudes cercanas a cero es factible la implementación de sistemas de seguimiento solar en lugares que requieran energía eléctrica mediante el uso de energías renovables.

## 9. Recomendaciones

A partir de las conclusiones descritas, se presentan las siguientes recomendaciones a considerar en futuros trabajos.

La elección de los materiales tanto para la estructura como los electrónicos es un proceso fundamental para el desarrollo del proyecto. Si bien en este trabajo de titulación el propósito es realizar un análisis en un lapazo de tiempo, en instalaciones donde el propósito es la generación de energía, la estructura debe tener la suficiente resistencia para soportar las condiciones meteorológicas adversas y a su vez soportar el peso de las placas solar y demás elementos electrónicos, por lo que es recomendable el uso de acero galvanizado o aluminio para la estructura.

En el diseño de los seguidores se debe contemplar la ubicación de los sensores ya que estos son de vital importancia para la detección de intensidad de luz, a su vez de implementar protección en sus pines a fin de evitar cortocircuitos cuando las condiciones climáticas presenten precipitaciones.

El lugar de implementación debe ser óptimo de manera que no exista obstáculos que generen sombra en los módulos solares a fin de captar la máxima energía posible.

En una instalación más grande es conveniente calcular la potencia de consumo, para tener en cuenta con exactitud el número de paneles requeridos que compensen las necesidades requeridas como también la elección del tipo de seguidor de un eje o dos ejes, de manera que se justifique su precio, ya que instalaciones más grandes requieren elementos más potentes.

## 10. Referencias Bibliográficas

- Abdallah, S., & Nijmeh, S. (2004). Two axes sun tracking system with PLC control. *Energy Conversion and Management*, 45(11–12), 1931–1939.  
<https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2003.10.007>
- Altamirano, I. R., Bolaños, M. H., & Rivera Zárate, I. (2019). ROBOT MÓVIL MANIPULADOR PARA EL MANEJO DE MATERIALES CORROSIVOS. *Humanidades, Tecnología y Ciencia, Del Instituto Politécnico Nacional*.
- Anusha, K., & Chandra Mohan Reddy, S. (2013). Design and Development of Real Time Clock based efficient Solar Tracking System. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 3(1), 1219–1223. [www.ijera.com](http://www.ijera.com)
- Arbab, H., Jazi, B., & Rezagholizadeh, M. (2009). A computer tracking system of solar dish with two-axis degree freedoms based on picture processing of bar shadow. *Renewable Energy*, 34(4), 1114–1118. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2008.06.017>
- Assaf, E. M. (2014). Design and Implementation of a Two Axis Solar Tracking System Using PLC Techniques by an Inexpensive Method. *International Journal of Academic Scientific Research*, 2(3), 54–65. [www.ijasjournal.org](http://www.ijasjournal.org)[www.ijasjournal.org](http://www.ijasjournal.org)54%7C
- Bione, J., Vilela, O. C., & Fraidenraich, N. (2004). Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and V-trough generators. *Solar Energy*, 76(6), 703–711. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2004.01.003>
- Canaza Chique, D. (2018). *Desarrollo de un sistema de control para la medición experimental de la eficiencia en tiempo real de un sistema fotovoltaico (38.4 Watts) en el departamento de Puno* [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO].  
<http://tesis.unap.edu.pe/handle/UNAP/8052>
- Cardenete García, S. (2011). Sol, Tierra y Luna. Movimientos relativos y sus consecuencias. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 8(0), 512–518.  
<https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2747>
- Carlos, J. (2018, December 10). *Fototransistor*. Ingtelecto. <https://ingtelecto.com/fototransistor/>
- Crespo, E. (2016, July 4). *Servo con Arduino*. Aprendiendo Arduino.  
<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/servomotor/>
- Dhanabal, R., Ponni, A., Ranjitha, R., & Deepthi, S. (2013). Comparison of Efficiencies of Single-Axis Tracking System and Dual-Axis Tracking System with Fixed Mount. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, 2(2).  
[http://www.ijesit.com/Volume 2/Issue 2/IJESIT201302\\_66.pdf](http://www.ijesit.com/Volume%20Issue%20IJESIT201302_66.pdf)

- Díaz, S. (2020, May). *Qué es y cómo funciona una LDR*. Tecnosalva. <https://www.tecnosalva.com/que-es-y-como-funciona-una-ldr/>
- Enríquez Herrador, R. (2009). *Guía de Usuario de Arduino*. [https://foros.giltesa.com/otros/arduino/fc/docs/01-guia\\_de\\_usuario\\_arduino.pdf](https://foros.giltesa.com/otros/arduino/fc/docs/01-guia_de_usuario_arduino.pdf)
- Estudio, E., & González, W. (2018, October 17). *Que es un microcontrolador? Que Es Un Microcontrolador*. <https://www.estudioelectronica.com/que-es-un-microcontrolador/>
- Hon, S., & Kolte, M. (2013). FPGA Based Standalone Solar Tracking System. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(10). <https://www.ijsrp.org/research-paper-1013/ijsrp-p2253.pdf>
- Honsberg, C., & Bowden, S. (2019). *Photovoltaics Education*. PVCDROM. [www.pveducation.org](http://www.pveducation.org)
- Huang, Y., Kuo, T., Chen, C., Chang, C., Wu, P., & Wu, T. (2009). The Design and Implementation of a Solar Tracking Generating Power System. *Engineering Letters*, 17(4), 253–256. [http://www.engineeringletters.com/issues\\_v17/issue\\_4/EL\\_17\\_4\\_06.pdf](http://www.engineeringletters.com/issues_v17/issue_4/EL_17_4_06.pdf)
- IIGE. (2021). *Balance Energético Nacional 2020*. [www.rekursosyenergia.gob.ec](http://www.rekursosyenergia.gob.ec)
- Ingeniería, M. (2018, January 25). *El fotodiodo ¿que es y para que sirve? ¿Qué Es Un Fotodiodo?* <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/fotodiodo/>
- Jones, D. W. (2001). Control of stepping motors. In *Handbook of small electric motors*. McGraw-Hill.
- Kumar, D., Ahasan, H., & Mohammed, M. (2015, June). Microcontroller Based Automatic Solar Tracking System with Mirror Booster. *International Journal of Sustainable and Green Energy*. [https://www.researchgate.net/publication/293174199\\_Microcontroller\\_Based\\_Automatic\\_Solar\\_Tracking\\_System\\_with\\_Mirror\\_Booster](https://www.researchgate.net/publication/293174199_Microcontroller_Based_Automatic_Solar_Tracking_System_with_Mirror_Booster)
- Lacasa Ferrer, E., & Santolaya Sáenz, J. L. (2012). *Diseño y fabricación de un seguidor solar de un eje* [Universidad de Zaragoza]. <https://zaguan.unizar.es/record/8798?ln=es>
- Landbell. (2022). *Paneles fotovoltaicos*. European Recycling Platform Company. <https://erp-recycling.org/es-es/concienciacion-recursos-3/que-ocurre-con-nuestros-residuos/paneles-fotovoltaicos/>
- Ludt, B. (2020, February 16). *What is a solar tracker and how does it work?* Solar Power World. <https://www.solarpowerworldonline.com/2020/01/what-is-a-solar-tracker-and-how-does-it-work/>
- Lyon, G. (2021, December 31). *MAX471*. Small Arduino Library for the MAX471 Current and

- Voltage Sensor. <https://github.com/gavinlyonsrepo/MAX471>
- Manuel, J., Marquez, A., Enrique, J. M., & Angel Martínez Bohórquez, M. (2004). *Sistema para la generación automática de curvas I-V, P-V y monitorización de módulos fotovoltaicos*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3849.4487>
- Marsh, A. (2014). *Earth/Sun*. <https://drajmarsh.bitbucket.io/earthsun.html>
- Montecinos Geisse, S., & Carvajal Araneda, D. (2018). *Energías renovables: Escenario actual y perspectivas futuras* (Primera, Vol. 1). Universidad de La Serena. [https://www.researchgate.net/publication/343922050\\_Energias\\_renovables\\_Escenario\\_actu\\_al\\_y\\_perspectivas\\_futuras](https://www.researchgate.net/publication/343922050_Energias_renovables_Escenario_actu_al_y_perspectivas_futuras)
- Mpodi, E. K., Tjiparuro, Z., & Matsebe, O. (2019). Review of dual axis solar tracking and development of its functional model. *Procedia Manufacturing*, 35, 580–588. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2019.05.082>
- Naciones Unidas. (2022a). *¿Qué son las energías renovables?* Acción Por El Clima. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- Naciones Unidas. (2022b, May 27). *Energías renovables: energías para un futuro más seguro*. Acción Por El Clima. <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
- Pedrerá, A. C. (2017). *Arduino para Principiantes: 2ª Edición*. IT Campus Academy. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Fw\\_RDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=arduino+microcontrolador&ots=QVjuVjs452&sig=7YzfgcOAIq8-Yx8K2wphP9Ywyjo#v=onepage&q=arduino+microcontrolador&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Fw_RDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=arduino+microcontrolador&ots=QVjuVjs452&sig=7YzfgcOAIq8-Yx8K2wphP9Ywyjo#v=onepage&q=arduino+microcontrolador&f=false)
- Pons, R. (2014, February 11). *Entendiendo el Azimut y la Elevación*. PhotoPills. <https://www.photopills.com/es/articulos/entendiendo-el-azimut-la-elevacion>
- Prathik, A., Prince, K., Ahiraj, S., & Harsha, Y. (2022). IoT based Smart Power Extender with Timer Feature Controlled through a Mobile App. *Journal of Information Technology and Digital World*, 4(2), 61–73. <https://doi.org/10.36548/jitdw.2022.2.001>
- Racharla, S., & Rajan, K. (2017). Solar tracking system—a review. *International Journal of Sustainable Engineering*, 10(2), 72–81. <https://doi.org/10.1080/19397038.2016.1267816>
- Ratnawati, N., & Sunardi, S. (2020). Load Characteristics with Current Detection Using an Arduino Based ACS712 Sensor. *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, 2(2), 83–90. <https://doi.org/10.12928/BISTE.V2I2.1522>
- Rizk, J., & Chaiko, Y. (2008). Solar Tracking System: More Efficient Use of Solar Panels. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2(5). <https://doi.org/10.5281/ZENODO.1075038>

- Seror, M. (2019, October 18). *¿Por qué no notamos la rotación de la Tierra?* Mc Graw Hill - Física y Química. <https://www.mheducation.es/blog/por-que-no-notamos-la-rotacion-de-la-tierra>
- Sungur, C. (2009). Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey. *Renewable Energy*, 34(4), 1119–1125. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2008.06.020>
- Swami, R. (2012). Solar Cell. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(7). [www.ijsrp.org](http://www.ijsrp.org)
- Tudorache, T., Oancea, C., & Kreindler, L. (2012). Performance evaluation of a solar tracking PV panel. *UPB Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering*, 74(1). [https://www.researchgate.net/publication/265025963\\_Performance\\_evaluation\\_of\\_a\\_solar\\_tracking\\_PV\\_panel](https://www.researchgate.net/publication/265025963_Performance_evaluation_of_a_solar_tracking_PV_panel)
- Vargas Augusta Abrahamse, T., & Privada Boliviana, U. (2014). *AN OPEN-SOURCE HARDWARE I-V CURVE TRACER FOR MONITORING PV OUTPUT IN BOLIVIA*. 1(14), 100–116. [http://www.appropedia.org/I-V\\_Curve\\_tracer](http://www.appropedia.org/I-V_Curve_tracer).
- Velasco, G. F., & Cabrera, E. (2009). *Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura* [Escuela Politécnica del Ejército]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9350>
- Wu, C. H., Wang, H. C., & Chang, H. Y. (2022). Dual-axis solar tracker with satellite compass and inclinometer for automatic positioning and tracking. *Energy for Sustainable Development*, 66, 308–318. <https://doi.org/10.1016/J.ESD.2021.12.013>
- Yao, Y., Hu, Y., Gao, S., Yang, G., & Du, J. (2014). A multipurpose dual-axis solar tracker with two tracking strategies. *Renewable Energy*, 72, 88–98. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2014.07.002>
- Zhang, P., Zhou, G., Zhu, Z., Li, W., & Cai, Z. (2013). Numerical study on the properties of an active sun tracker for solar streetlight. *Mechatronics*, 23(8), 1215–1222. <https://doi.org/10.1016/J.MECHATRONICS.2013.08.007>

## 11. Anexos

### Anexo 1. Código de seguidor un eje

```
#include <Servo.h>
Servo myservo;
int initial_position = 90;
int LDR1 = A0;
int LDR2 = A1;
int error = 5;
int servopin=9;
void setup()
{
  myservo.attach(servopin);
  pinMode(LDR1, INPUT);
  pinMode(LDR2, INPUT);
  myservo.write(initial_position);
  delay(2000);
}

void loop()
{
  int R1 = analogRead(LDR1);
  int R2 = analogRead(LDR2);
  int diff1= abs(R1 - R2);
  int diff2= abs(R2 - R1);

  if((diff1 <= error) || (diff2 <= error)) {

  } else {
    if(R1 > R2)
    {
      initial_position = --initial_position;
    }
    if(R1 < R2)
    {
      initial_position = ++initial_position;
    }
    if(R1 = R2)
    {
    }
  }
  myservo.write(initial_position);
  delay(100);
}
```

## Anexo 2. Código seguidor dos ejes

```
#include<Servo.h>
// 180 horizontal MAX
Servo horizontal; //horizontal servo
int servoh = 90;
int servohLimitHigh = 180;
int servohLimitLow = 0;
// 65 degrees MAX
Servo vertical; //vertical servo
int servov = 45;
int servovLimitHigh = 180;
int servovLimitLow = 0;
void setup () {
  // put your setup code here, to run once:
  horizontal.attach(9);
  vertical.attach(10);
  horizontal.write(90);
  vertical.write(90);

  delay (3000);
}

void loop() {
  // put your setup code here, to run repeatedly:
  int dtime = 10; int tol = 50;
  int lt = analogRead(0);
  int rt = analogRead(1);
  int ld = analogRead(2);
  int rd = analogRead(3);

  int avt = (lt + rt) / 2;
  int avd = (ld + rd) / 2;
  int avl = (lt + ld) / 2;
  int avr = (rt + rd) / 2;

  int dvert = avt - avd;
  int dhoriz = avl - avr;

  if (-1*tol > dvert || dvert > tol)
  {
    if(avt<avd)
    {
      servov = servov + 1;
      if(servov > servovLimitHigh)
      {
        servov = servovLimitHigh;
      }
      vertical.write(servov);
      delay(20);
    }
    else if(avt>avd)
    {
      servov = servov - 1;
      if(servov < servovLimitLow)
      {
```

```

        servov = servovLimitLow;
    }
    vertical.write(servov);
    delay(20);
}
else if(avt == avd)
    {
    }
}
if (-1*tol > dhoriz || dhoriz > tol)
{
    if(avl>avr)
    {
        servoh = servoh - 1;
        if(servoh > servohLimitHigh)
        {
            servoh = servohLimitHigh;
        }
        horizontal.write(servoh);
        delay(20);
    }
    else if(avl<avr)
    {
        servoh = servoh + 1;
        if (servoh < servohLimitLow)
        {
            servoh = servohLimitLow;
        }
        horizontal.write(servoh);
        delay(20);
    }
    else if(avl==avr)
    {
    }
}
}
delay(100);
}

```

### Anexo 3. Código comunicación Arduino a Excel

```
//Arduino a excel
float sensibilidad = 0.185; // (V/A) sensibilidad en Voltios/Amperio para
sensor de 5 A

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,HORA,Corriente 0(A),Corriente 1(A),Corriente 2(A)");
  Serial.println("RESETTIMER");
}
void loop() {
  int sensorValue0 = analogRead(A0); // lectura del sensor A0
  int sensorValue1 = analogRead(A3); // lectura del sensor A1
  int sensorValue2 = analogRead(A5); // lectura del sensor A2

  float voltaje0 = (sensorValue0) * (5.0 / 1023.0); // fórmula para pasar a
tensión entre 0 a 2.5 V
  float corriente0 = (voltaje0 - 2.5) / sensibilidad; // corriente en
amperios

  float voltaje1 = (sensorValue1) * (5.0 / 1023.0); // fórmula para pasar a
tensión entre 0 a 2.5 V
  float corriente1 = (voltaje1 - 2.5)/sensibilidad; // corriente en amperios

  float voltaje2 = (sensorValue2) * (5.0 / 1023.0); // fórmula para pasar a
tensión entre 0 a 2.5 V
  float corriente2 = (voltaje2 - 2.5)/sensibilidad; // corriente en amperios

  Serial.print("DATA,TIME,");
  Serial.print(corriente0);
  Serial.print(",");
  Serial.print(corriente1);
  Serial.print(",");
  Serial.println(corriente2);

  delay(1000);
}
```

**Anexo 4.** Funcionamiento de seguidores



## Anexo 5. Datasheet de sensor de corriente ACS-712-5A



# ACS712

## Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kV<sub>RMS</sub> Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### FEATURES AND BENEFITS

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5  $\mu$ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at T<sub>A</sub> = 25°C
- Small footprint, low-profile SOIC-8 package
- 1.2 m $\Omega$  internal conductor resistance
- 2.1 kV<sub>RMS</sub> minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



TUV America  
Certificate Number:  
UBV 15 05 54214 038  
CB 13 06 54214 026

### PACKAGE: 8-Lead SOIC (suffix LC)



Not to scale

### DESCRIPTION

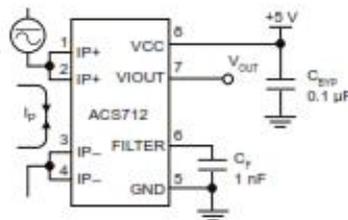
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ( $>V_{IOUT(Q)}$ ) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m $\Omega$  typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

*Continued on the next page...*

### Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V<sub>OUT</sub>, that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I<sub>p</sub>, within the range specified. C<sub>p</sub> is recommended for noise management, with values that depend on the application.

# ACS712

## Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kV<sub>RMS</sub> Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### DESCRIPTION (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

### SELECTION GUIDE

Part Number	Packing*	T <sub>A</sub> (°C)	Optimized Range, I <sub>P</sub> (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

\*Contact Allegro for additional packing options.

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		5	V
Reverse Supply Voltage	V <sub>RCC</sub>		-0.1	V
Output Voltage	V <sub>IOUT</sub>		5	V
Reverse Output Voltage	V <sub>RIOU</sub>		-0.1	V
Output Current Source	I <sub>IOUT(SOURCE)</sub>		3	mA
Output Current Sink	I <sub>IOUT(SINK)</sub>		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I <sub>P</sub>	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T <sub>J(MAX)</sub>		165	°C
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>		-65 to 170	°C

### ISOLATION CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V <sub>ISO</sub>	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V <sub>WFSI</sub>	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V <sub>PK</sub>
Working Voltage for Reinforced Isolation	V <sub>WFR</sub>	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V <sub>PK</sub>

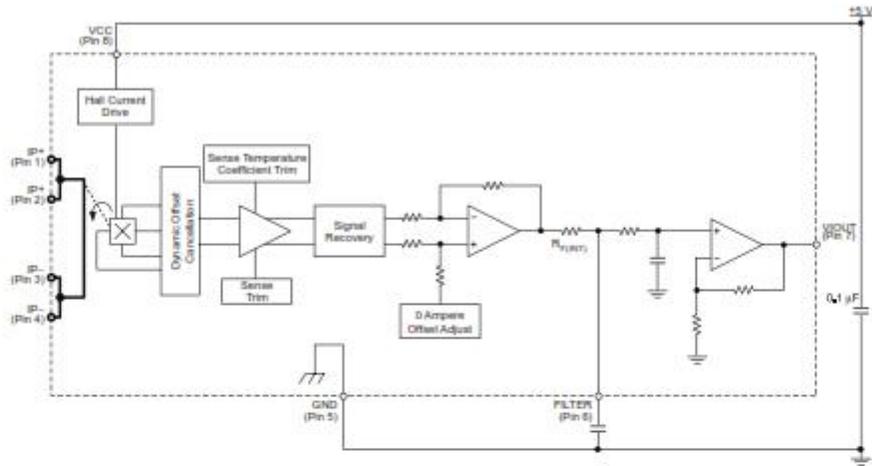
\* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

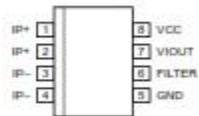
# ACS712

Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kV<sub>RMS</sub> Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

## FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



## Pinout Diagram



## Terminal List

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal



## Anexo 7. Datasheet Arduino

### Arduino Uno



Arduino Uno R3 Front

Arduino Uno R3 Back



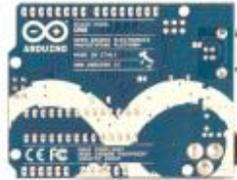
Arduino Uno R2 Front



Arduino Uno SMD



Arduino Uno Front



Arduino Uno Back

### Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

| [Revision 2](#) of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into [DFU mode](#).

| [Revision 3](#) of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

### Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

## Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

**Note:** The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328, Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

## Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

## Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the Atmega8, 168, and 328 is identical.

## Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

## Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available . The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

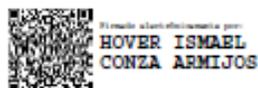
## Anexo 8. Certificado de traducción del abstract

Loja, 09 de agosto de 2022

HOVER ISMAEL CONZA ARMIJOS, Licenciado en Ciencias de la Educación, Mención Idioma Inglés por la Universidad Nacional de Loja (UNL), y Magíster en Enseñanza de Inglés como Lengua Extranjera por la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

### **CERTIFICA. –**

Que el resumen de tesis titulada “Diseño, construcción y análisis de eficiencia de seguidores solares a un eje y dos ejes con fines de generación fotovoltaica” a cargo del estudiante Johan Alexander Medina Sánchez con cédula de identidad 1105776528 ha sido debidamente traducido y revisado por mi persona.



Mgs. Hover Ismael Conza Armijos

C.I. 1104809155

REGISTRO SENESCYT N°: 1021-2022-2412387

---

*Instructor del Centro de Idiomas de la Universidad Nacional de Educación (UNAE)*

*[hover.conza@unae.edu.ec](mailto:hover.conza@unae.edu.ec)*