

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,**  
**INFORMÁTICA Y MECÁNICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**TESIS**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR  
EMPLEANDO UN ACTUADOR LINEAL PARA LA OPTIMIZACIÓN  
DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, CUSCO 2018**

**PRESENTADO POR:**

Br. WILLIAM CLAUDIO CCAPA FERNANDEZ

Br. NESKIN ERIK TEJEDA SANCHEZ

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO ELECTRICISTA**

**ASESOR:**

Dr. BASILIO SALAS ALAGON

**CUSCO-PERÚ**

**2024**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR EMPLEANDO UN ACTUADOR LINEAL PARA LA OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, CUSCO 2018

presentado por: WILLIAM CLAUDIO SCAPA FERNANDEZ con DNI Nro.: 42435467 presentado por: NESKIN ERIK TEJEDA SANCHEZ con DNI Nro.: 23988290 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO ELECTRICISTA

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 3 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 18 de Octubre de 2024

  
Firma

Post firma Basilio Salas Aragón

Nro. de DNI 23821404

ORCID del Asesor 0000-0002-9795-8455

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:365989434

## NOMBRE DEL TRABAJO

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGURO SOLAR EMPLEANDO UN ACTUADOR LINEAL PARA LA OPTIMIZACIÓN DE UN**

## AUTOR

**William Claudio Ccapa Fernández**

## RECUENTO DE PALABRAS

**28852 Words**

## RECUENTO DE CARACTERES

**161487 Characters**

## RECUENTO DE PÁGINAS

**168 Pages**

## TAMAÑO DEL ARCHIVO

**7.8MB**

## FECHA DE ENTREGA

**Jul 12, 2024 5:20 PM GMT-5**

## FECHA DEL INFORME

**Jul 12, 2024 5:22 PM GMT-5**

● **3% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 3% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 25 palabras)

## PRESENTACIÓN

Señor: Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica.

Señores: Miembros del Dictamen de Tesis:

De acuerdo con el Reglamento de Títulos y Grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica, y con el fin de obtener el título profesional de ingeniero electricista, presentamos la presente tesis, intitulada: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR EMPLEANDO UN ACTUADOR LINEAL PARA LA OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, CUSCO 2018”**

En el siguiente trabajo se presenta el diseño y la implementación de un seguidor solar mediante el empleo de un actuador lineal, para mejorar la eficiencia en la captación de los paneles fotovoltaicos durante el día.

Este trabajo de tesis está relacionado con el diseño e implementación de un prototipo electromecánico, que se utiliza para orientar el panel fotovoltaico hacia la trayectoria del sol mediante un algoritmo basado en un modelo astronómico.

Como resultado se obtiene un sistema que se posiciona en forma automática mediante algoritmo de posicionamiento solar, en el punto de máxima irradiación a determinada hora, que mediante el uso de un controlador Arduino y a través de relés envía las órdenes hacia el actuador lineal.

Esperamos que este estudio e implementación sea un apoyo para trabajos posteriores en investigación y desarrollo.

Atentamente,

**Br. William Claudio Ccapa Fernández**

**Br. Neskin Erik Tejeda Sánchez**

## **DEDICATORIA**

El agradecimiento a nuestros padres por todo el apoyo incondicional en todos esos años de estudio, por su sacrificio y entusiasmo compartido.

**William Claudio Ccapa Fernández**

**Neskin Erik Tejeda Sánchez**

## **AGRADECIMIENTOS**

A los docentes de nuestra querida escuela profesional de Ingeniería Eléctrica por las enseñanzas aprendidas en las sacrosantas aulas de nuestra tricentenaria Universidad de San Antonio Abad del Cusco.

A los compañeros de aula que compartieron sus conocimientos, por su ayuda y por los momentos tan agradables que pasamos juntos.

Y por último a nuestros familiares que siempre están velando por que seamos hombres de bien y buenos profesionales para la sociedad y por la confianza que siempre nos demostraron.

**William Claudio Ccapa Fernández**

**Neskin Erik Tejeda Sánchez**

## PRÓLOGO

La creciente demanda por fuentes de energía renovable ha impulsado el desarrollo de tecnologías que maximicen la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos. Los seguidores solares son dispositivos diseñados para optimizar la captación de energía solar, ajustando continuamente la orientación de los paneles en función de la posición del sol. Estos sistemas pueden aumentar la generación de electricidad en comparación con los sistemas fijos, aprovechando mejor la luz solar a lo largo del día y en distintas estaciones del año.

Un enfoque habitual es el uso de seguidores solares de un solo eje, los cuales ofrecen un balance entre eficiencia y simplicidad. La implementación de estos seguidores con actuadores lineales controlados por microcontroladores como el Arduino permite movimientos precisos y automatizados, minimizando la necesidad de intervención humana. Además, con el uso de un RTC (Real Time Clock) permite que el sistema funcione mediante algoritmos astronómicos, calculando la posición del sol en cualquier momento y ajustando los paneles sin necesidad de sensores de luz, lo cual lo hace más robusto frente a condiciones climáticas adversas.

## RESUMEN

El presente trabajo de diseño e implementación de un sistema de seguidor solar con actuador lineal tiene como objetivo optimizar la eficiencia energética de un sistema fotovoltaico, maximizando la captación de luz solar mediante el ajuste de la orientación de los paneles. Este tipo de sistema de seguimiento utiliza un actuador lineal, que mueve los paneles en una trayectoria específica, permitiendo un cambio preciso de su inclinación a lo largo del día. La estructura de control se basa en un microcontrolador Arduino y en un reloj en tiempo real (RTC), lo cual permite al sistema realizar ajustes constantes sin depender exclusivamente de la luz visible.

El sistema funciona mediante un algoritmo astronómico que calcula la posición óptima del sol en función de la hora y la fecha; El Arduino procesa esta información y controla el actuador lineal para ajustar el ángulo del panel fotovoltaico, de modo que permanezca perpendicular a los rayos solares. Esta orientación óptima aumenta significativamente la eficiencia energética del sistema fotovoltaico al captar mayor cantidad de luz solar durante el día.

Al implementar un sistema de seguidor solar de un solo eje con actuador lineal, se reduce la dependencia de sensores de luz y se mejora la adaptabilidad en diferentes condiciones climáticas. Además, el uso de un sistema automático basado en Arduino y RTC permite una mayor autonomía y confiabilidad, al garantizar un ajuste preciso y continuo del ángulo de los paneles sin intervención constante.

**Palabras claves:** Paneles solares, seguidor solar, energía fotovoltaica, algoritmo astronómico, actuador lineal.

## ABSTRACT

The present work of design and implementation of a solar tracker system with linear actuator aims to optimize the energy efficiency of a photovoltaic system, maximizing the collection of sunlight by adjusting the orientation of the panels. This type of tracking system uses a linear actuator, which moves the panels in a specific path, allowing a precise change of their inclination throughout the day. The control structure is based on an Arduino microcontroller and a real-time clock (RTC), which allows the system to make constant adjustments without depending exclusively on visible light.

The system works through an astronomical algorithm that calculates the optimal position of the sun based on the time and date; the Arduino processes this information and controls the linear actuator to adjust the angle of the photovoltaic panel, so that it remains perpendicular to the sun's rays. This optimal orientation significantly increases the energy efficiency of the photovoltaic system by capturing a greater amount of sunlight during the day.

By implementing a single-axis solar tracker system with linear actuator, the dependence on light sensors is reduced and adaptability in different weather conditions is improved. In addition, the use of an automatic system based on Arduino and RTC allows for greater autonomy and reliability, by ensuring precise and continuous adjustment of the angle of the panels without constant intervention.

**Keywords:** Solar panels, solar tracker, photovoltaic energy, astronomical algorithm, linear actuator.

## ÍNDICE

<b>PRESENTACIÓN</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>PRÓLOGO</b> .....	vi
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>ÍNDICE</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xiv
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xv
<b>CAPITULO I</b> .....	1
<b>GENERALIDADES</b> .....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.  Ámbito Geográfico.....	2
1.2.  El Problema.....	2
1.2.1.  Planteamiento del Problema.....	2
1.3.  Formulación del Problema.....	8
1.4.  Pregunta de Investigación.....	10
1.4.1.  Problema General.....	10
1.4.2.  Problemas Específicos.....	10
1.5.  Objetivos.....	10
1.5.1.  Objetivo General.....	10
1.5.2.  Objetivos Específicos.....	11
1.6.  Alcances y Limitaciones de la Investigación.....	11
1.6.1.  Alcances.....	11
1.6.2.  Limitaciones.....	11
1.7.  Justificación del Estudio.....	12
1.7.1.  Justificación Académica.....	13
1.7.2.  Justificación Tecnológica.....	13
1.7.3.  Justificación Económica.....	13
1.7.4.  Justificación Social.....	14
1.7.5.  Justificación de Impacto Ambiental.....	14

1.7.6.	Justificación Eléctrica .....	15
1.8.	Hipótesis.....	15
1.8.1.	Hipótesis General.....	15
1.8.2.	Hipótesis Específicas .....	15
1.9.	Variables e Indicadores .....	16
1.9.1.	Variables Independientes .....	16
1.9.1.1.	Indicadores.....	16
1.9.2.	Variables Dependientes .....	16
1.9.2.1.	Indicadores.....	16
1.10.	Metodología Utilizada .....	16
1.11.	Técnicas de Recolección De Datos .....	16
1.12.	Población y Muestra .....	17
<b>CAPITULO II</b>	.....	<b>18</b>
<b>FUNDAMENTOS TEORICOS</b>	.....	<b>18</b>
2.	INTRODUCCIÓN.....	18
2.1.	Estado del Arte.....	18
2.1.1.	Primeras Células Fotovoltaicas.....	18
2.1.2.	Experiencias con Energía Solar .....	20
2.1.3.	Trabajos de Investigación Relacionados al Tema.....	22
2.2.	Definiciones Básicas .....	26
2.2.1.	Azimut.....	26
2.2.2.	Célula fotovoltaica .....	26
2.2.3.	Efecto fotovoltaico.....	27
2.2.4.	Eficiencia .....	28
2.2.5.	Elevación.....	28
2.2.6.	El sol .....	28
2.2.7.	Irradiación Solar.....	30
2.2.8.	Radiación Solar.....	30
2.2.9.	Watt Pico.....	32
2.3.	Sistema Fotovoltaico .....	33
2.3.1.	Componentes de un Sistema Fotovoltaico .....	34
2.4.	Eficiencia de los Sistemas Fotovoltaicos .....	37

2.5.	Seguidor Solar .....	38
2.5.1.	Tipos de Seguidores Solares .....	39
2.6.	Métodos y Algoritmos de Seguimiento Solar .....	43
2.7.	Microcontroladores .....	43
2.7.1.	Microcontrolador Arduino .....	43
2.7.2.	Familias de Arduino.....	44
2.8.	La Energía Solar en el Perú.....	48
2.9.	Carta Solar.....	52
2.10.	Coordenadas Geográficas .....	53
2.10.1.	Latitud .....	53
2.10.2.	Longitud .....	53
2.11.	Cálculo de la Altura y Azimut Solar .....	55
2.11.1.	Movimientos del Planeta con Respecto al Sol .....	55
2.12.	Ubicación de la Trayectoria Solar .....	57
2.13.	Trayectoria del Sol en la Ciudad del Cusco .....	61
2.14.	Ecuación del Tiempo .....	64
2.14.1.	Día Juliano.....	64
2.14.2.	Cálculos Generales de Posición Solar .....	66
2.14.3.	Cálculos de amanecer/atardecer .....	68
2.15.	Marco Legal.....	69
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>70</b>
<b>CÁLCULOS DE LA TRAYECTORIA DEL SOL .....</b>		<b>70</b>
3.	INTRODUCCIÓN.....	70
3.1.	Trayectoria del Sol en la Ciudad del Cusco .....	70
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>82</b>
<b>DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SEGUIDOR SOLAR.....</b>		<b>82</b>
4.	INTRODUCCION.....	82
4.1.	Diseño Mecánico.....	82
4.1.1.	Base y Estructura .....	82
4.1.2.	Eje de Rotación.....	95
4.1.3.	Actuador Lineal .....	95
4.1.4.	Esquema de Seguidor Solar .....	96

4.1.5.	Representación de Seguidor Solar .....	100
4.2.	Diseño Electrónico .....	101
4.2.1.	Arduino Uno .....	101
4.2.2.	Actuador Lineal y Motor .....	102
4.2.3.	Placa de Prototipado y Componentes Electrónicos .....	102
4.2.4.	Fuente de Energía .....	102
4.2.5.	Diseño del Circuito .....	102
4.2.6.	Programación del Arduino .....	102
4.2.7.	Sensores y Módulos .....	103
4.2.7.1.	Módulo pantalla lcd 16x2.....	103
4.2.7.2.	Módulo serial i2c para display lcd Arduino. ....	105
4.2.7.3.	Módulo regulador de voltaje.....	106
4.2.7.4.	Módulo de reloj en tiempo real.....	107
4.2.7.5.	Módulo de control Arduino. ....	108
4.2.7.6.	Módulo sensor de temperatura. ....	110
4.2.7.7.	Módulo relé.....	111
4.2.7.8.	Módulo de potencia – actuador lineal.....	113
4.2.8.	Diseño Circuito Impreso .....	114
<b>CAPITULO V</b> .....		116
<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL</b> .....		116
5.	INTRODUCCIÓN.....	116
5.1.	Algoritmo Astronómico .....	116
5.2.	Implementación del Algoritmo en Arduino .....	117
5.3.	Herramientas y Recursos.....	117
5.4.	Diagrama de Flujo.....	118
5.5.	Ejemplo de Implementación.....	119
5.6.	Interfaz de Monitoreo.....	121
<b>CAPITULO VI</b> .....		125
<b>PRUEBAS DEL SISTEMA Y RESULTADOS</b> .....		125
6.	INTRODUCCIÓN.....	125
6.1.	Montaje del Sistema Fotovoltaico con Seguimiento Solar .....	125
6.2.	Recopilación de Datos.....	127

6.3.	Análisis de Resultados .....	139
6.4.	Análisis Técnico Económico de un Sistema Fotovoltaico .....	140
6.4.1.	Cálculo de Potencia Nominal del Sistema Fotovoltaico .....	141
6.4.2.	Costo de Inversión del Sistema Fotovoltaico.....	143
6.4.3.	Mantenimiento del Sistema Fotovoltaico .....	143
6.4.4.	Ventajas y Desventajas de un Sistema Fotovoltaico.....	145
6.4.5.	Evaluación del Impacto Ambiental de un Sistema Fotovoltaico .....	145
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	148
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	149
	<b>REFERENCIAS</b> .....	151
	<b>ANEXOS</b> .....	155

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Instalaciones de Sistemas fotovoltaicos fijos en el Departamento del Cusco</i> .....	4
<b>Tabla 2</b> <i>Diferencias entre célula de silicio monocristalino y policristalino</i> .....	4
<b>Tabla 3</b> <i>Valores medios diarios mensuales de radiación solar en el cusco</i> .....	6
<b>Tabla 4</b> <i>Encuesta realizada</i> .....	9
<b>Tabla 5</b> <i>Resultados de encuesta</i> .....	10
<b>Tabla 6</b> <i>Resumen de las tecnologías de módulos fotovoltaicos de silicio</i> .....	20
<b>Tabla 7</b> <i>Radiación en el Perú kWh/m<sup>2</sup>/día</i> .....	32
<b>Tabla 8</b> <i>Características módulo pantalla</i> .....	104
<b>Tabla 9</b> <i>Especificaciones técnicas</i> .....	105
<b>Tabla 10</b> <i>Especificaciones técnicas</i> .....	107
<b>Tabla 11</b> <i>Características módulo regulador</i> .....	108
<b>Tabla 12</b> <i>Características módulo de reloj</i> .....	109
<b>Tabla 13</b> <i>Características módulo Arduino</i> .....	111
<b>Tabla 14</b> <i>Características módulo sensor de temperatura</i> .....	112
<b>Tabla 15</b> <i>Características del panel solar</i> .....	127
<b>Tabla 16</b> <i>Resultados de Panel Solar en modo Fijo</i> .....	128
<b>Tabla 17</b> <i>Resultados de Panel Solar en modo Móvil</i> .....	129
<b>Tabla 18</b> <i>Resultados de Software Controlador MPPT Epever</i> .....	131
<b>Tabla 19</b> <i>Tabla de potencia nominal</i> .....	142
<b>Tabla 20</b> <i>Matriz de mantenimiento</i> .....	144
<b>Tabla 21</b> <i>Ventajas y Desventajas de un Sistema Fotovoltaico</i> .....	145

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Departamento del Cusco</i> .....	2
<b>Figura 2</b> <i>Nivel de radiación solar – Ciudad del Cusco</i> .....	5
<b>Figura 3</b> <i>Generación de energía eléctrica en el Perú</i> .....	8
<b>Figura 4</b> <i>Instalación de Panel Solar – Ergon Perú</i> .....	9
<b>Figura 5</b> <i>Módulos fotovoltaicos fijos ELSE S.A.A.</i> .....	21
<b>Figura 6</b> <i>Instalación de sistemas fotovoltaicos fijos a viviendas en zonas rurales</i> .....	22
<b>Figura 7</b> <i>Prototipo desarrollado en tesis de maestría de Ciencias (CENIDET)</i> .....	23
<b>Figura 8</b> <i>Prototipo de seguidor solar (2012) desarrollado por Sumano, J., cuenta con dos grados de libertad.</i> .....	24
<b>Figura 9</b> <i>Prototipo seguidor solar automático para mejorar el rendimiento en la instalación fotovoltaica (2015)</i> .....	25
<b>Figura 10</b> <i>Prototipo de seguidor solar para optimizar captación de radiación solar. UNI Lima - Perú</i> .	26
<b>Figura 11</b> <i>Célula fotovoltaica</i> .....	27
<b>Figura 12</b> <i>Funcionamiento de la célula fotovoltaica</i> .....	28
<b>Figura 13</b> <i>Temperatura equivalente en la superficie del sol</i> .....	29
<b>Figura 14</b> <i>Comportamientos de la radiación solar afectados por las condiciones climáticas</i> .....	30
<b>Figura 15</b> <i>Composición de la radiación solar</i> .....	32
<b>Figura 16</b> <i>Horas solares pico</i> .....	33
<b>Figura 17</b> <i>Horas solares pico</i> .....	34
<b>Figura 18</b> <i>Elementos de un panel solar</i> .....	35
<b>Figura 19</b> <i>Diagrama de bloques del funcionamiento del Regulador de carga</i> .....	36
<b>Figura 20</b> <i>Eficiencia de un Sistema Fotovoltaico</i> .....	38
<b>Figura 21</b> <i>Seguidor pasivo</i> .....	39
<b>Figura 22</b> <i>Seguidor solar de un eje azimutal</i> .....	40
<b>Figura 23</b> <i>seguidor solar de un eje horizontal</i> .....	41
<b>Figura 24</b> <i>Seguidor solar de un eje polar</i> .....	42
<b>Figura 25</b> <i>Seguidor solar de dos ejes.</i> .....	42
<b>Figura 26</b> <i>Microcontrolador Arduino</i> .....	44
<b>Figura 27</b> <i>Partes de un Microcontrolador</i> .....	44
<b>Figura 28</b> <i>Familia nano</i> .....	45
<b>Figura 29</b> <i>Familia MKR</i> .....	45

<b>Figura 30</b> <i>Familia clásica</i> .....	46
<b>Figura 31</b> <i>Mapa de radiación solar en el Perú</i> .....	49
<b>Figura 32</b> <i>Potencial energético de radiación solar</i> .....	50
<b>Figura 33</b> <i>Radiación solar en el departamento de cusco</i> .....	51
<b>Figura 34</b> <i>Carta Solar Estereográfica</i> .....	52
<b>Figura 35</b> <i>Coordenadas Geográficas</i> .....	54
<b>Figura 36</b> <i>Coordenadas Geográficas Perú</i> .....	54
<b>Figura 37</b> <i>Movimiento de rotación de la Tierra</i> .....	55
<b>Figura 38</b> <i>Movimiento de Traslación de la Tierra</i> .....	56
<b>Figura 39</b> <i>Variación en la declinación por efecto del movimiento de traslación.</i> .....	56
<b>Figura 40</b> <i>Ubicación de un punto en la Tierra</i> .....	58
<b>Figura 41</b> <i>Declinación de la Tierra</i> .....	59
<b>Figura 42</b> <i>Posicionamiento del sol sobre la Tierra</i> .....	59
<b>Figura 43</b> <i>Ubicación del sol</i> .....	60
<b>Figura 44</b> <i>Diagrama solar</i> .....	63
<b>Figura 45</b> <i>Diagrama cartesiano solar</i> .....	63
<b>Figura 46</b> <i>Ecuación del tiempo</i> .....	64
<b>Figura 47</b> <i>Mapa de ubicación para evaluación del seguidor solar</i> .....	77
<b>Figura 48</b> <i>Gráfico cartesiano1</i> .....	78
<b>Figura 49</b> <i>Tabla de Posición del Sol</i> .....	78
<b>Figura 50</b> <i>Trayectoria del Sol</i> .....	79
<b>Figura 51</b> <i>Mapa de ubicación y trayectoria para evaluación del seguidor solar</i> .....	79
<b>Figura 52</b> <i>Gráfico cartesiano2</i> .....	80
<b>Figura 53</b> <i>Valores de K para obtener la longitud efectiva, para distintas conexiones en los extremos</i> .....	86
<b>Figura 54</b> <i>Componentes de la fuerza del viento</i> .....	90
<b>Figura 55</b> <i>Panel y estructura de soporte</i> .....	91
<b>Figura 56</b> <i>Diagrama de cuerpo libre seguidor posición N° 01</i> .....	92
<b>Figura 57</b> <i>Diagrama de cuerpo libre seguidor posición N° 02</i> .....	93
<b>Figura 58</b> <i>Medidas base de apoyo</i> .....	94
<b>Figura 59</b> <i>Base de apoyo</i> .....	95
<b>Figura 60</b> <i>Screw-Drive</i> .....	96
<b>Figura 61</b> <i>Actuador Lineal</i> .....	96

<b>Figura 62</b> <i>Rack de panel solar</i> .....	97
<b>Figura 63</b> <i>Rack de soporte</i> .....	97
<b>Figura 64</b> <i>Mástil de soporte</i> .....	98
<b>Figura 65</b> <i>Sistema mecánico de movimiento solar</i> .....	98
<b>Figura 66</b> <i>Sistema mecánico de movimiento solar</i> .....	99
<b>Figura 67</b> <i>Sistema mecánico de movimiento solar</i> .....	99
<b>Figura 68</b> <i>Prototipo Seguidor Solar</i> .....	100
<b>Figura 69</b> <i>Prototipo Seguidor Solar</i> .....	100
<b>Figura 70</b> <i>Prototipo Seguidor Solar</i> .....	101
<b>Figura 71</b> <i>Módulos del microcontrolador</i> .....	103
<b>Figura 72</b> <i>Pantalla LCD Arduino</i> .....	103
<b>Figura 73</b> <i>Pantalla LCD Arduino</i> .....	105
<b>Figura 74</b> <i>Regulador de Voltaje</i> .....	106
<b>Figura 75</b> <i>Reloj en tiempo real</i> .....	107
<b>Figura 76</b> <i>Módulo de control Arduino</i> .....	108
<b>Figura 77</b> <i>Modulo Sensor de Temperatura</i> .....	110
<b>Figura 78</b> <i>Modulo Relé</i> .....	111
<b>Figura 79</b> <i>Módulo de Potencia Actuador Lineal</i> .....	113
<b>Figura 80</b> <i>Imagen del diseño modular electrónico en Eagle Schematic</i> .....	114
<b>Figura 81</b> <i>Circuito Impreso</i> .....	114
<b>Figura 82</b> <i>Circuito Impreso</i> .....	115
<b>Figura 83</b> <i>Seguidor Solar con actuador lineal</i> .....	115
<b>Figura 84</b> <i>Diagrama de Flujo</i> .....	118
<b>Figura 85</b> <i>Implementación</i> .....	121
<b>Figura 86</b> <i>Controlador de Carga MPPT</i> .....	122
<b>Figura 87</b> <i>Interfaz de Comunicación Controlador</i> .....	122
<b>Figura 88</b> <i>Registrador de Datos eLog-01</i> .....	123
<b>Figura 89</b> <i>Interfaz de Comunicación Registrador</i> .....	124
<b>Figura 90</b> <i>Parámetros de inclinación</i> .....	126
<b>Figura 91</b> <i>Panel Solar con actuador Lineal</i> .....	126
<b>Figura 92</b> <i>Placa de expansión de prototipo de escudo UNO Proto</i> .....	127

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1. INTRODUCCIÓN.

“La energía solar es la principal fuente de energía renovable, debido a su amplia disponibilidad y viabilidad a largo plazo. A pesar del carácter esporádico del sol, la energía solar es accesible en abundancia y totalmente gratuita.” (Kroposki & DeBlasio, 2000)

“Los sistemas fotovoltaicos FV captan la energía solar para convertir la radiación en electricidad, generando energía limpia y confiable sin recurrir a combustibles fósiles. Estos sistemas poseen diversas aplicaciones”. (Castellanos & Escobedo, 1980)

El objetivo de los sistemas de captación de energía solar es maximizar la recogida de energía en un lugar determinado. Para alcanzar una captación óptima, es fundamental que la superficie colectora se mantenga constantemente perpendicular a los rayos solares. Este requisito se puede cumplir únicamente si la superficie cuenta con un mecanismo de seguimiento del sol. (López, 1985)

Al emplear un colector sobre orugas, la energía obtenida durante un día despejado puede incrementarse en aproximadamente un 35% en comparación con un colector fijo (Mosher et al., 1977; López, 1985), o incluso hasta un 40% (Naaijer, 1985).

En los sistemas de seguimiento solar, se destacan dos métodos principales para optimizar la captación de luz solar en áreas específicas: el seguimiento unieje, que sigue el movimiento solar de oriente a occidente, y el seguimiento bieje, que mantiene una alineación constante con el sol. El sistema de doble eje se considera altamente efectivo para aprovechar la radiación solar

durante todo el día, asegurando una captura óptima tanto de la energía directa como de la difusa.

(Madrid, 2009)

## 1.1. **Ámbito Geográfico**

El ámbito geográfico del presente estudio está ubicado en el departamento de Cusco.

**Figura 1**

*Departamento del Cusco*



Fuente: Atlas Perú

## 1.2. **El Problema**

### 1.2.1. *Planteamiento del Problema*

Actualmente, la radiación solar puede captarse mediante distintos sensores, como las células fotoeléctricas. Esta tecnología tiene potencial para resolver problemas relacionados con la

distribución de energía en zonas remotas y en áreas urbanas, donde el gasto energético es cada vez mayor.

El acceso a la energía se considera un requisito previo fundamental para el avance de las sociedades, y su disponibilidad está vinculada a la mejora de la educación y la sanidad, así como a la expansión de los esfuerzos industriales. El acceso universal a la electricidad es un aspecto crucial en el esfuerzo mundial por combatir la pobreza.

En los últimos años, el gobierno y la empresa privada (Ergon Perú), ha beneficiado a miles de familias con módulos fotovoltaicos domiciliarios en zonas rurales remotas que no se encuentran conectadas a la red eléctrica a nivel nacional (MINEM, 2018).

En el Departamento del Cusco se encuentran aproximadamente 5,815 sistemas fotovoltaicos domiciliarios instalados en diferentes provincias del Cusco como se muestra en la tabla 1; estos módulos fotovoltaicos o paneles solares, están instalados en estructuras fijas y no permiten aprovechar al máximo la radiación solar durante el día, por lo que provoca un bajo nivel de eficiencia en torno a un 26% menos comparado con un sistema fotovoltaico con seguidor solar según experiencias anteriores, y por consiguiente un sistema fotovoltaico fijo tendrá una baja acumulación de carga en la batería. (Gerencia de Regulación de Tarifas - División de Distribución Eléctrica, 2021).

Muchos son los casos en donde las familias beneficiadas con módulos fotovoltaicos, poseen radios, equipos celulares que tienen un mayor consumo y necesitan un mejor aprovechamiento de la radiación solar.

**Tabla 1***Instalaciones de Sistemas fotovoltaicos fijos en el Departamento del Cusco*

Provincia	Cantidad
Acomayo	66
Anta	302
Calca	927
Canas	619
Canchis	843
Chumbivilcas	626
Cusco	5
La Convención	528
Paruro	234
Paucartambo	965
Quispicanchi	700
<b>Total</b>	<b>5,815</b>

Fuente: (Gerencia de REgulación de Tarifas - División de Distribución Eléctrica, 2021)

Estos sistemas fotovoltaicos fueron instalados con paneles de célula de silicio policristalino en su totalidad, habiendo también los de célula de silicio monocristalino la cual se muestra en la tabla 2, beneficiando al mismo número de hogares cusqueños en lugares remotos e inaccesibles, donde no llegan las redes eléctricas convencionales.

**Tabla 2***Diferencias entre célula de silicio monocristalino y policristalino*

	Monocristalinos	Policristalinos
Precio	Son más caros	Más baratos
Eficiencia	Más eficientes	Menos eficientes
Estética	Mejor estética (óptimo para viviendas)	Aspecto azul
Vida útil	25-30 años (depende calidades)	25-30 años (depende de calidades)
Coefficiente de temperatura	Mejor comportamiento en calor (menos pérdidas)	Peor comportamiento en calor (más pérdidas)
Fabricación desde 2021	La gran mayoría de fabricantes solo fabrican mono	Fabricación casi parada
Fabricantes destacados	SunPower, REC, Meyer Burger, LG....	-

Fuente: (Alfonso Alonso, 2024)

Cusco aprovecha su estratégica ubicación geográfica, beneficiándose de su cercanía al Ecuador y la altitud de su territorio en la cordillera de los Andes. Como resultado, experimenta

altos niveles de radiación solar que oscilan entre 700 y 1500 W/m<sup>2</sup>. Esto se debe a la menor obstrucción atmosférica que debe atravesar la luz solar, lo que la hace muy adecuada para diversas aplicaciones tecnológicas. Además, la topografía de la región ofrece oportunidades para la instalación de paneles solares en terrenos en pendiente o inclinados que, de otro modo, quedarían inutilizados para fines agrícolas o de otro tipo (Figura 2).

**Figura 2**

*Nivel de radiación solar – Ciudad del Cusco*



Fotografía del 22/07/2021 Hora: 12:00 (1403.1 W/m<sup>2</sup>)

Según el X Simposio Peruano de Energía Solar Realizado en la ciudad del Cusco, la radiación solar en nuestra ciudad, se muestra en la tabla 3.

El departamento de Cusco tiene 13 provincias situadas en 4 zonas naturales diferenciadas.

La zona 1 incluye las provincias de Cusco, Anta y Canchis, con un promedio diario anual de radiación solar de 5,2 kWh/m<sup>2</sup>.

La zona 2 abarca Urubamba, Calca y Quispicanchis. Esta área es atravesada por el río Vilcanota, que atraviesa el Valle Sagrado de los Incas. Un producto agrícola notable de esta región es el gigantesco maíz de Urubamba, que presenta una variación única. La media diaria de energía solar recibida en esta zona es de 5,3 kWh/m<sup>2</sup> por día.

La zona 3 abarca Chumbivilcas, Canas y Espinar, con características meteorológicas y biológicas similares a las del altiplano del departamento de Puno. La radiación solar promedio diaria en esta zona es de 6,0 kWh/m<sup>2</sup>.

La zona 4 comprende Quillabamba y las zonas montañosas de Calca y Paucartambo. Aquí, el promedio anual de radiación solar es de 4,7 kWh/m<sup>2</sup> por día.

### Tabla 3

*Valores medios diarios mensuales de radiación solar en el cusco*

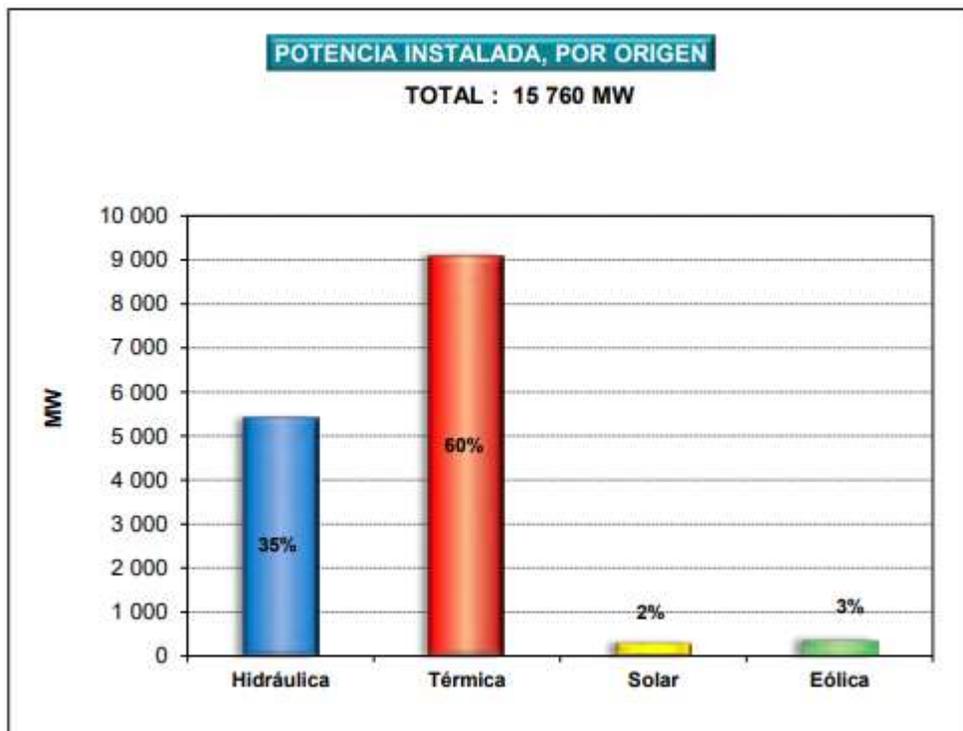
Mes	Zona 1 Kwh/m2	Zona 2 Kwh/m2	Zona 3 Kwh/m2	Zona 4 Kwh/m2
Enero	4,9	5,2	6,1	4,4
Febrero	5,2	5,6	6,2	4,3
Marzo	5,2	5,4	5,9	4,6
Abril	5,2	4,9	6,0	4,8
Mayo	5,0	5,0	5,7	4,8
Junio	4,5	4,4	5,2	4,4
Julio	4,8	4,8	5,2	4,6
Agosto	5,1	5,0	5,7	4,5
Setiembre	5,4	4,9	6,4	4,5
Octubre	5,8	6,1	6,6	5,0
Noviembre	5,9	5,9	6,6	4,9
Diciembre	5,7	5,7	6,2	4,4
Promedio	5,2	5,3	6,0	4,6

(Zanabria Pacheco, 2012)

En un sistema fotovoltaico fijo el aprovechamiento de la radiación electromagnética es variada a lo largo del día afectado por los ángulos de incidencia de la radiación solar, estos ángulos influyen considerablemente en la cantidad de energía generada por el panel que es alrededor de 0.2 voltios menos que en un panel móvil.

Sin embargo, la Tierra recibe una inmensa cantidad de radiación solar, un total de 120 mil teravatios, lo que supone 20 mil veces más que las necesidades energéticas mundiales. Por desgracia, un asombroso 95,3% de esta energía renovable y limpia se desperdicia. Este recurso sin explotar podría hacer frente a la creciente demanda de energía (Vigo, 2019).

La imagen proporcionada muestra el desglose de la producción de electricidad por tipo de combustible, según el anuario estadístico de electricidad 2023. Revela que la energía solar representa apenas el 2% de la energía total generada en el país. Por lo tanto, es fundamental maximizar el aprovechamiento de esta fuente de energía solar, que respeta el medio ambiente y no causa contaminación (Gobierno del Perú, 2023).

**Figura 3***Generación de energía eléctrica en el Perú*

Fuente: (Gobierno del Perú, 2023)

### 1.3. Formulación del Problema

Los módulos fotovoltaicos en su gran mayoría están instalados en estructuras fijas, provocando un menor nivel de eficacia en la captación de la irradiación solar. En ciertas épocas del año o momentos del día, pueden recibir menos luz solar directa, lo que reduce su producción de energía.

Según el proyecto de electrificación rural del Ministerio de Energía y Minas de Perú, el objetivo era “iluminar el interior de las viviendas de zonas rurales remotas que no están conectadas a la red eléctrica principal. Para ello se utilizaron sistemas fotovoltaicos aislados de la red, que consisten en paneles solares con almacenamiento y controlador interno. Los paneles solares se instalaron en estructuras fijas” (Ergon Perú, 2019).

**Figura 4**  
*Instalación de Panel Solar – Ergon Perú*



Fuente: (Responsable Social Empresarial (RSE), 2018)

Según muestras de consulta realizada a usuarios sobre su satisfacción por la instalación de paneles solares posteriores se manifestó que el 10% demanda más energía para el uso de sus aparatos electrónicos (Equipo de Sonido y/o TV), el sistema fotovoltaico fijo instalado, no pudo satisfacer completamente sus necesidades energéticas (Tabla 1 y Tabla 2).

**Tabla 4**

*Encuesta realizada*

<b>PREGUNTAS</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>No sabe / No opina</b>
¿La instalación del panel solar cubre de manera efectiva sus necesidades de energía eléctrica?			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5***Resultados de encuesta*

<b>RESPUESTAS</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>%</b>
<b>SI</b>	15	60
<b>NO</b>	2	10
<b>No sabe / No opina</b>	3	30
<b>TOTAL</b>	20	

Fuente: Elaboración propia

**1.4. Pregunta de Investigación****1.4.1. Problema General**

¿En qué medida el diseño e implementación de un seguidor solar empleando un actuador lineal permitirá optimizar la captación de la irradiación solar de un sistema fotovoltaico?

**1.4.2. Problemas Específicos**

- ¿De qué manera un seguidor solar empleando un actuador lineal permitirá optimizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica?
- ¿De qué manera la implementación de un algoritmo de control optimizará un sistema fotovoltaico de forma automática?
- ¿En qué medida la energía eléctrica generada por un Sistema Fotovoltaico con Seguidor Solar será favorable comparado con un Sistema Fotovoltaico Fijo?

**1.5. Objetivos****1.5.1. Objetivo General**

Diseñar e implementar un seguidor solar empleando un actuador lineal para optimizar la captación de la irradiación solar de un sistema fotovoltaico

### **1.5.2. *Objetivos Específicos***

- Implementar un seguidor solar empleando un actuador lineal que permitirá optimizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica.
- Implementar un algoritmo de control para optimizar un sistema fotovoltaico de forma automática.
- Determinar en qué medida la energía eléctrica generada por un Sistema Fotovoltaico con Seguidor Solar que será favorable comparado con un Sistema Fotovoltaico Fijo.

## **1.6. Alcances y Limitaciones de la Investigación**

Esta investigación sobre el sistema fotovoltaico con seguimiento solar pretende mejorar la eficacia de captación de la irradiación solar. Puede utilizarse en diversos ámbitos, como viviendas unifamiliares, autoconsumo fotovoltaico, bombeo y otras aplicaciones, utilizando paneles policristalinos.

### **1.6.1. *Alcances***

- El diseño del prototipo es de un seguidor solar con programación astronómica de posicionamiento solar y de un solo eje azimutal, diseñado con un panel solar menor a 100 vatios.
- Se realizan evaluaciones experimentales a escala piloto utilizando datos reales recogidos en la ciudad de Cusco.

### **1.6.2. *Limitaciones***

- El actuador lineal DC (Corriente Continua) por emplear es importado, no es de uso común y en nuestro caso tiene una carga máxima de 50Kgf.

- El acceso a la información sobre Instalaciones Fotovoltaicas por parte de la empresa “Electro Sur Este S.A.A.” es limitado.

### **1.7. Justificación del Estudio**

La energía solar es una fuente de energía beneficiosa para el medio ambiente que contribuye a mitigar el cambio climático. Sin duda, uno de sus beneficios es su capacidad para generar energía en zonas que carecen de acceso a las redes eléctricas. Para beneficiarse de este tipo de energía, basta con instalar un panel solar.

Un seguidor solar es un sistema electromecánico diseñado para seguir el movimiento del sol. Consta de una estructura que sostiene los paneles fotovoltaicos, un motor que ajusta la posición de la estructura para maximizar la exposición directa a la luz solar, un soporte para la estructura y unos cimientos como base.

Los seguidores solares equipados con programación astronómica utilizan un software que incorpora ecuaciones solares para determinar con precisión la ubicación del sol a cualquier hora. Estos seguidores se alinean en consecuencia para seguir el movimiento del sol. El objetivo principal de este dispositivo es optimizar la captación de energía fotovoltaica mediante paneles solares integrados, mejorando así la eficiencia de un sistema fotovoltaico.

El seguidor solar es adecuado tanto para instalaciones a gran escala como para viviendas aisladas, así como para autoconsumo fotovoltaico y bombas solares conectadas directamente. En ambas aplicaciones, el rendimiento de la instalación aumenta considerablemente. Todo el sistema debe tener capacidad para soportar precipitaciones, fuertes ráfagas de aire y precipitaciones heladas. La cantidad de energía producida varía en función del tipo concreto de

seguidor utilizado. El coste de un seguidor aumenta en proporción a su calidad, pero también lo hace la producción potencial del sistema.

Un seguidor azimutal tiene la capacidad de recoger un 10%-25% adicional de energía solar en comparación con una construcción estacionaria, y puede lograr hasta un 26% más de generación de energía eléctrica. El resto de los seguidores de dos ejes pueden obtener un rendimiento del 30% al 40% en la construcción de la instalación, en comparación con las estructuras fijas (Gregus, 2021).

### ***1.7.1. Justificación Académica***

El estudio se centrará en investigar y desarrollar métodos alternativos para potenciar la captación de energía solar, siguiendo cuidadosamente los principios académicos (Osinermig, 2017).

### ***1.7.2. Justificación Tecnológica***

Esta investigación utilizará modelos y teorías relacionados con los seguidores solares, junto con los avances técnicos actuales en la fabricación de módulos fotovoltaicos, desde una perspectiva tecnológica.

Mediante la evaluación del impacto de las condiciones externas en el rendimiento de los paneles solares, el uso de avances técnicos en autolimpieza, refrigeración y otras formas mejorará la eficiencia de los paneles fotovoltaicos (Repsol, 2023).

### ***1.7.3. Justificación Económica***

La construcción de sistemas fotovoltaicos aislados está justificada en regiones alejadas debido a los exorbitantes gastos asociados al suministro de energía convencional. Estos sistemas

son más rentables en términos de instalación y operación que la expansión de la red eléctrica pública hacia las viviendas periféricas. Además, integrar los sistemas fotovoltaicos con la red eléctrica existente mejorarían la confiabilidad del suministro de energía y reducirían los costos a largo plazo para las compañías eléctricas.

Los procedimientos de subasta implementados por OSINERMIN y el Protocolo de Kioto (1997) para incluir las energías renovables en la red energética peruana facilitan las inversiones internacionales y reducen los gastos asociados a la tecnología de las energías renovables. Las instalaciones de la red pública no obtienen estas ventajas (Osinermin, 2019).

#### ***1.7.4. Justificación Social***

En Perú viven actualmente 31.700.000 personas, de las cuales el 5,148% no tiene acceso a la electricidad. Dicho de otro modo, 1.648.000 personas en Perú carecen de acceso a la electricidad.

Las comunidades en Cusco podrán mejorar su calidad de vida al expandir sus actividades diarias mediante la electrificación solar y la formación. Esto les brindará acceso a oportunidades en educación, salud, comunicaciones y comercio. De esta manera, el aumento del Índice de Desarrollo Humano (IDH) y la participación social en estas comunidades se verán impulsados por la adopción de sistemas solares para la generación de electricidad (Informática, 2022).

#### ***1.7.5. Justificación de Impacto Ambiental***

La disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio climático son temas prioritarios en el siglo XXI. Por esta razón, la implementación de sistemas solares independientes de la red contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Además, con este tipo de instalación no habrá riesgos de contaminación acústica, vertidos al suelo y a los ríos, ni contaminación atmosférica (salud, s.f.).

### ***1.7.6. Justificación Eléctrica***

Aunque la región de Cusco se beneficia de la Central Hidroeléctrica Santa Teresa y forma parte del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), algunas áreas aún no están integradas en esta red debido a su ubicación remota, gran altitud o geografía difícil que dificulta la expansión de la red pública. La distribución de energía a los habitantes de estas zonas será más económica y eficiente gracias a la utilización de sistemas solares.

La instalación de sistemas solares se considera una opción eficiente desde el punto de vista energético, ya que los sistemas se adaptan a la demanda energética de una familia, lo que favorece el ahorro de energía (Enel, 2023).

## **1.8. Hipótesis**

### ***1.8.1. Hipótesis General***

El diseño e implementación de un seguidor solar empleando un actuador lineal, optimizará la generación del sistema fotovoltaico, entre un 10% a 25%.

### ***1.8.2. Hipótesis Específicas***

- El Diseño e implementación un seguidor solar empleando un actuador lineal permitirá optimizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica.
- La Implementación de un algoritmo de control para optimizar un sistema fotovoltaico de forma automática.

- La energía eléctrica generada por un Sistema Fotovoltaico con Seguidor Solar que será favorable comparado con un Sistema Fotovoltaico Fijo.

## **1.9. Variables e Indicadores**

### **1.9.1. Variables Independientes**

- El Seguidor Solar empleando un actuador lineal.

#### **1.9.1.1. Indicadores.**

- Diseño del Seguidor Solar.
- Algoritmo de Control.

### **1.9.2. Variables Dependientes**

- La Optimización del Sistema Fotovoltaico

#### **1.9.2.1. Indicadores.**

- Rendimiento.

## **1.10. Metodología Utilizada**

El estudio es de tipo descriptivo experimental, cuyo propósito es corroborar la optimización del módulo fotovoltaico y su funcionamiento; esto se logrará mediante el diseño e implementación del Seguidor solar utilizando materiales tecnológicos que simplifican costos.

## **1.11. Técnicas de Recolección De Datos**

Se utilizarán métodos directos de experimentación.

Se recolectarán datos de campo mediante pruebas experimentales del prototipo diseñado para tal fin.

### **1.12. Población y Muestra**

Será el área de influencia que abarca el departamento del Cusco, en el que se encuentran el estudio de este proyecto.

## CAPITULO II

### FUNDAMENTOS TEORICOS

#### 2. INTRODUCCIÓN

El efecto fotovoltaico es el proceso esencial que fundamenta la producción de energía solar fotovoltaica. Implica la transformación directa de la radiación luminosa en energía eléctrica. Este procedimiento se realiza mediante materiales que tienen la capacidad de captar fotones y liberar electrones. Al recoger estos electrones liberados, se produce una corriente eléctrica que puede ser utilizada como fuente de energía. (Sunedison 2010).

##### 2.1. Estado del Arte

###### 2.1.1. *Primeras Células Fotovoltaicas*

En 1953, los científicos Fuller, Pearson y Chapin concibieron la célula de silicio. Este dispositivo evidenció capacidad para producir potencia adecuada y exhibía notable rendimiento en la alimentación de artefactos eléctricos compactos. Dichos elementos fotovoltaicos ejercerían una influencia determinante en la evolución subsecuente de la tecnología solar como fuente energética alternativa.

Los módulos fotovoltaicos mercantilmente factibles no se lanzaron hasta 1956. No obstante, su valor permaneció inaccesible para el grueso poblacional hasta cerca de 1970, época en que el importe de estos dispositivos solares experimentó una disminución del 80% aproximadamente, haciéndolos más asequibles al público general.

La tecnología fotovoltaica irrumpió en el campo energético solar en 1838. El galó Alexandre Edmond Becquerel efectuó la detección primigenia del fenómeno fotovoltaico ese

año. Becquerel experimentó con una batería electrolítica de electrodos platinados, notando un incremento en la intensidad al exponerla a radiación solar. Este hecho marcó el génesis de la energía fotovoltaica solar. Posteriormente, en 1873, el ingeniero británico Willoughby Smith logró un avance significativo al identificar el efecto fotovoltaico en materiales sólidos, específicamente en el selenio.

En 1877, William Grylls Adams, catedrático de Filosofía Natural en el King's College londinense, en colaboración con su discípulo Richard Evans Day, constataron que la exposición del selenio a la luminosidad generaba electricidad. Consecuentemente, lograron fabricar con éxito el primer dispositivo fotovoltaico empleando selenio como material base para su construcción.

A principios de los años 80, comenzaron a surgir empresas fotovoltaicas en Estados Unidos. Durante este tiempo, el Instituto de Investigación de la Energía Solar (SERI), ahora conocido como Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL), desarrolló métodos de prueba y estándares para evaluar el desempeño de los módulos solares. Estas iniciativas ayudaron a reducir costos y mejoraron la eficiencia, rendimiento y confiabilidad de las empresas del sector. En la Tabla 1 se detallan las ventajas y desventajas de cada tecnología de módulos solares basados en silicio. Se proporciona información sobre la eficiencia de conversión tanto en condiciones de laboratorio como en producción comercial, junto con los principales fabricantes involucrados. (Andrade Aristizábal, De La Cruz Gamez, & Ramos Bonilla, 2017)

**Tabla 6**

*Resumen de las tecnologías de módulos fotovoltaicos de silicio*

Tipo de cedula	Eficiencia (%)		Ventajas	Desventajas
	Lab.	Prod.		
Silicio monocristalino	25	15 a 18	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología bien desarrollada y probada</li> <li>• Estable</li> <li>• Mayor eficiencia</li> <li>• Se fabrica en celdas cuadradas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emplea material caro</li> <li>• Se genera mucho desperdicio (casi la mitad)</li> <li>• Manufactura costosa</li> </ul>
Silicio policristalino	18	12 a 16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología bien desarrollada y probada</li> <li>• Estable</li> <li>• Mayor eficiencia</li> <li>• Se fabrica en celdas cuadradas</li> <li>• Menos costoso que el monocristal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material costoso</li> <li>• Se genera desperdicio</li> <li>• Manufactura costosa</li> <li>• Menor eficacia que el monos cristal</li> </ul>
Silicio laminado	16	11 a 14	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere rebanado</li> <li>• Menos material desperdiciado</li> <li>• Potencial para rapidez de manufactura</li> <li>• Buena eficiencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complejidad en crecimiento del cristal</li> </ul>
Silicio amorfo	12.5	6 a 9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza muy poco material</li> <li>• Alto potencial y producción rápida</li> <li>• Costo bajo, 50% del silicio cristalino</li> <li>• Menos afectado por bajos niveles de insolación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algo de degradación menor eficiencia</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### **2.1.2. Experiencias con Energía Solar**

El proyecto está ubicado en su local Av. Mariscal Sucre N° 400 Urbanización Bancopata Cusco y fue ejecutada gracias al Convenio que se suscribió con el Sistema de Cooperación Internacional del Japón.

La obra consta de 630 Módulos Fotovoltaicos instalados, los mismos que generan una potencia máxima de 130 kW., que son utilizados para abastecer la demanda energética de su local e incluso entregar el remanente a sus clientes. (Figura 5)

**Figura 5**

*Módulos fotovoltaicos fijos ELSE S.A.A.*



Fuente. (Electro Sur Este, 2023)

La energía limpia se ve cada vez más como la alternativa para proporcionar a millones de personas una mejor calidad de vida, por esto, Electro Sur Este comprometido con su comunidad ha instalado Sistemas Fotovoltaicos para 2585 familias, ubicadas en los lugares más alejados de las provincias de Chumbivilcas, Paucartambo, Calca donde las redes eléctricas convencionales no llegan, este esfuerzo de inclusión continuará ejecutándose para más familias de diversas zonas. (<http://else.com.pe> 2018)

**Figura 6**

*Instalación de sistemas fotovoltaicos fijos a viviendas en zonas rurales*



Fuente. (Ergon Perú, 2019)

### ***2.1.3. Trabajos de Investigación Relacionados al Tema***

Existen diversos trabajos de investigación relacionados al tema propuesto en esta tesis, a continuación, mostraremos algunos trabajos.

- Beltrán J. (2007), “prototipo fotovoltaico con seguimiento del sol para procesos electroquímicos. Tesis de maestría en ciencias. Centro Nacional de Investigación y desarrollo tecnológico” (CENIDET) México

En este trabajo de tesis se diseña y construye un sistema de seguimiento del sol de dos ejes que también emplea un algoritmo que usa controladores para los motores y una tarjeta de control y un microcontrolador como se puede observar en la siguiente figura.

**Figura 7**

*Prototipo desarrollado en tesis de maestría de Ciencias (CENIDET)*



Fuente: (Beltrán, 2007)

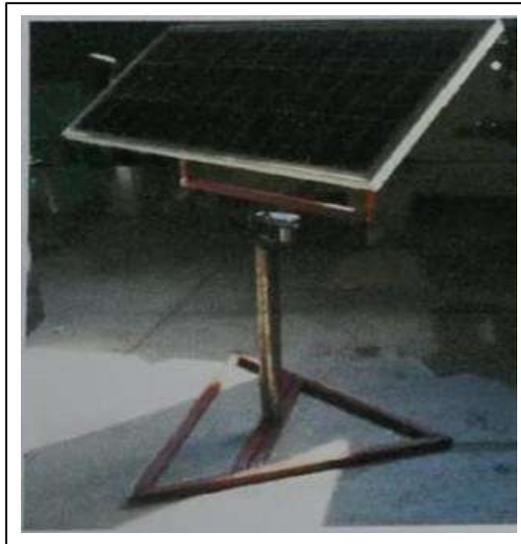
Este estudio incluyó el desarrollo y la construcción de un modelo funcional de un sistema fotovoltaico, destinado a ser utilizado como fuente de energía para procesos electroquímicos. Para optimizar su rendimiento, se integró al conjunto un rastreador heliostático. Se realizó un análisis de los paneles fotovoltaicos para estimar teóricamente el perfeccionamiento que se obtendría utilizando un dispositivo de seguimiento solar, así como la cuantía energética que el sistema generaría en dichas condiciones operativas.

- Sumano, J. (2012). “Diseño y construcción de un sistema de seguimiento fotovoltaico”  
Oaxaca – México Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Trabajo de investigación que fue publicada en marzo del 2012 (ver figura 1.2), se enfoca en el diseño y construcción de un prototipo de seguidor solar mediante un algoritmo basado en mapa o carta solar.

### **Figura 8**

*Prototipo de seguidor solar (2012) desarrollado por Sumano, J., cuenta con dos grados de libertad.*



Fuente: (Beltrán, 2007)

El diseño mecánico que propone el trabajo es de dos grados de libertad, los cuales son el ángulo de azimut y altura solar desarrollado en el software LabWIEV conectados a un microcontrolador ATMEGA 16.

- Franco Altamirano, F., Turpo Cama J. A. (2015)“Diseño y evaluación de un seguidor solar automático para mejorar el rendimiento en las instalaciones fotovoltaicas” UNSAAC CUSCO – PERU.

Se fabricó un prototipo de seguimiento solar funcional de dos ejes para dos paneles de 20 W. con un error de  $\pm 5^\circ$  en ambos ejes. Con rangos de movimiento de  $23^\circ$  a  $155^\circ$  en el eje de altura solar, y de  $35^\circ$  a  $145^\circ$  en el eje de azimut solar.

### Figura 9

*Prototipo seguidor solar automático para mejorar el rendimiento en la instalación fotovoltaica (2015)*



Fuente: (Franco Altamirano & Turpo Cama , 2015)

El algoritmo desarrollado en el software labview determina la posición del sol a partir de parámetros como latitud, fecha y hora en el cual se quiere analizar. Las cartas solares desarrolladas por el algoritmo se asemejan con las cartas extraídas de la universidad de Oregón con lo cual concluimos que el algoritmo es totalmente funcional.

- Julián Layme, A.A. (2017). Diseño e implementación de un seguidor solar para optimizar la captación de radiación solar de un módulo fotovoltaico” UNI LIMA – PERU

Se implementó un seguidor solar de un eje que es capaz de orientar el panel respecto al ángulo de seguimiento con un error menor a dos grados logrando una ganancia de 26% en energía generado por el panel móvil respecto a uno fijo.

**Figura 10**

*Prototipo de seguidor solar para optimizar captación de radiación solar. UNI Lima - Perú*



Fuente: (Julián Layme, 2017)

La utilización del seguidor solar logro una ganancia del 26.6 % en la energía generada por el panel móvil respecto a un fijo, de dicha energía el sistema electromecánico consume un 3.36% obteniéndose una ganancia energética neta del 23.24%. Esto demuestra que el seguidor solar puede autoalimentarse de la energía que genera a un bajo consumo.

## **2.2. Definiciones Básicas**

### **2.2.1. Azimut**

El azimut es la medida angular, medida en el sentido de las agujas del reloj alrededor del horizonte del observador, que indica el ángulo entre un cuerpo celeste y el Norte.

### **2.2.2. Célula fotovoltaica**

También denominada célula, fotocélula o célula fotoeléctrica, es un aparato eléctrico que permite convertir la energía solar o luminosa en electricidad mediante el uso del efecto fotovoltaico. En estas células, la iluminación incide sobre un aparato semiconductor de doble

capa que genera una tensión o diferencia de potencial eléctrico entre las capas, lo que permite el flujo de corriente eléctrica a través de un circuito externo. Un panel solar se crea ensamblando varias células fotovoltaicas (Figura 11).

**Figura 11**

*Célula fotovoltaica*

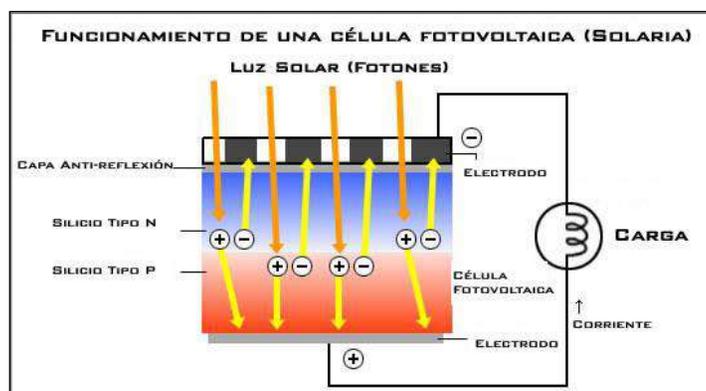


Fuente: (Greenheiss, 2024)

### **2.2.3. Efecto fotovoltaico**

El efecto fotovoltaico es el mecanismo fundamental por el que una célula fotovoltaica transforma la luz solar en energía eléctrica.

- La electricidad sólo es generada por los fotones que son absorbidos. Cuando se absorbe un fotón, su energía se convierte en un electrón dentro de un átomo de la célula fotovoltaica.
- Con la adquisición de esta nueva energía, el electrón tiene la capacidad de salir de su ubicación habitual dentro de un átomo y es impulsado posteriormente a través del campo eléctrico creado por la unión PN. Este proceso genera una diferencia de potencial dentro de la célula fotovoltaica (Figura 12).

**Figura 12***Funcionamiento de la célula fotovoltaica*

Fuente: (Greenheiss, 2024)

**2.2.4. Eficiencia**

La eficiencia se puede entender como la relación entre los recursos empleados en un proyecto y los resultados obtenidos. La eficiencia se refiere sobre todo a la consecución de un mismo objetivo minimizando el uso de recursos, o cuando se logran varios objetivos utilizando los mismos recursos o menos.

**2.2.5. Elevación**

La elevación se define como el ángulo vertical entre un objeto celeste y el horizonte local del observador, también conocido como el plano local. En el caso del Sol, la elevación desde nuestra perspectiva se refiere al ángulo formado entre la dirección de su centro geométrico y el horizonte local del observador.

**2.2.6. El sol**

Además de emitir luz, el Sol también emite calor y un flujo continuo de partículas cargadas llamado viento solar. El viento en el sistema solar tiene una velocidad de unos 450 kilómetros por segundo. Periódicamente, algunas partículas tienen el potencial de sufrir una

reacción explosiva dentro de una erupción solar, lo que provoca la interrupción de las comunicaciones por satélite y la pérdida de electricidad en la Tierra. Las erupciones suelen originarse por la actividad de las manchas solares, que son zonas más frías de la fotosfera asociadas al campo magnético del núcleo del Sol.

Al igual que otras fuentes de energía, el Sol no es infinito. A su edad actual de 4.500 millones de años, la estrella ha agotado más de la mitad del hidrógeno de su núcleo. Dentro de unos 5.000 millones de años, agotará por completo sus reservas de hidrógeno y pasará a utilizar el helio como principal fuente de combustible. El Sol experimentará una expansión significativa, aumentando hasta unas cien veces su magnitud actual, al tiempo que engullirá la Tierra y otros cuerpos celestes. La estrella atravesará la fase de gigante roja durante unos mil millones de años antes de sufrir una supernova y colapsar en una enana blanca con un tamaño comparable al del planeta Tierra (Figura 13).

### Figura 13

*Temperatura equivalente en la superficie del sol*



Fuente: (National Geographic, 2022)

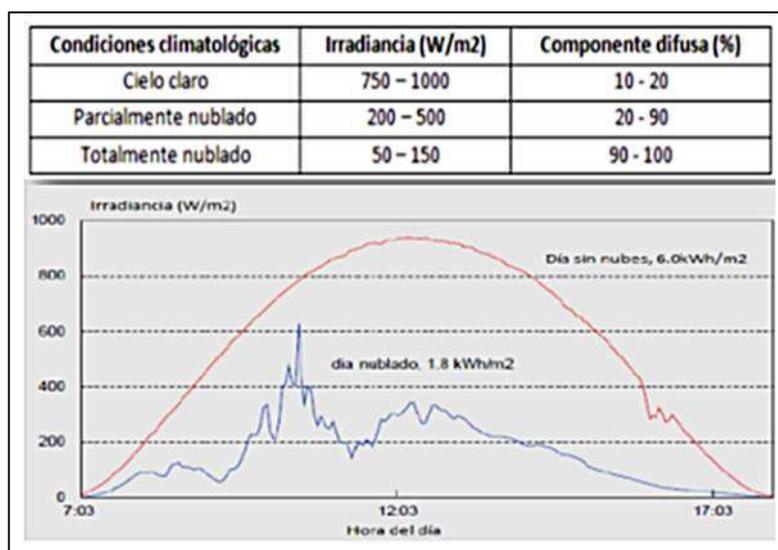
### 2.2.7. Irradiación Solar

La densidad de flujo radiante cuantifica la potencia incidente por área superficial de radiación electromagnética. Su unidad es vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).

La constante solar denota la radiación que incide en un plano ortogonal a los rayos solares extraatmosféricos, con valor medio de  $1354 W/m^2$ . La irradiancia solar máxima meridiana ecuatorial ronda los  $1000 W/m^2$  en superficies normales a los rayos solares a nivel marino, en condiciones atmosféricas diáfanas. (Figura 14)

**Figura 14**

*Comportamientos de la radiación solar afectados por las condiciones climáticas*



Fuente: SolarGis

### 2.2.8. Radiación Solar

El astro solar es un esferoide de materia gaseosa a temperaturas extremas, con diámetro cercano a 1,39 millones de km. Dista en promedio 150 millones de km de nuestro planeta.

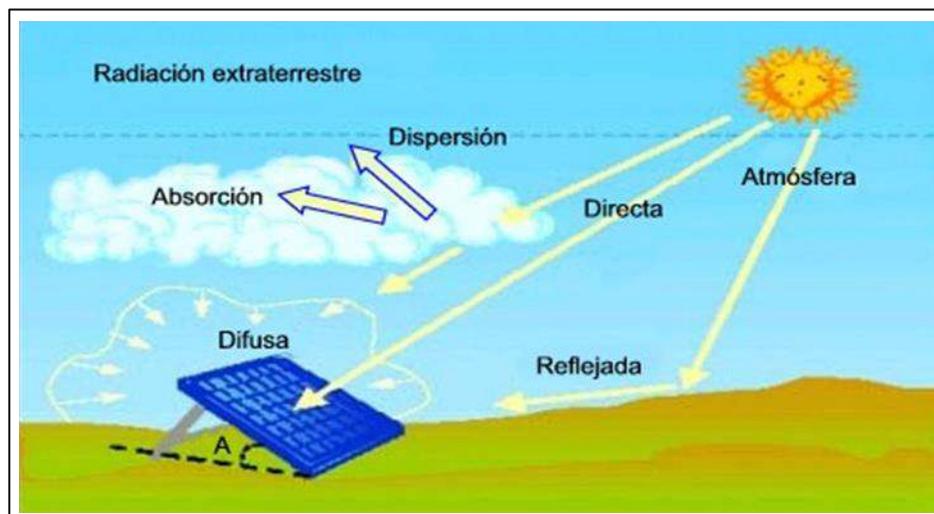
La fotosfera solar exhibe una temperatura efectiva de 5.762 K, mientras su núcleo oscila entre 8 y 40 millones de K. El Sol irradia energía mediante procesos termonucleares y exotérmicos. Esta radiación alcanza la Tierra en 8 minutos aproximadamente, a  $3 \times 10^5$  km/s. Solo 51,6% de la energía solar arriba a la superficie terrestre. Del total, 48,4% se dispersa por reflexión (31%) y absorción (17,4%) atmosférica.

La intensidad solar se cuantifica en kilovatios por metro cuadrado ( $\text{kW/m}^2$ ) o megajulios por metro cuadrado ( $\text{MJ/m}^2$ ). (Larrea & Bayas, 2011)

Dado que nuestro planeta describe una trayectoria levemente elipsoidal en torno al Sol, la separación entre ambos fluctúa entre el 98,3% de la distancia promedio en el perihelio y el 101,7% en el afelio. La Universidad Pontificia Católica del Perú inició sus actividades académicas en 1917, no en 2003 como se mencionó erróneamente.

La radiación solar es el conjunto de:

- Radiación directa: Se refiere al flujo radiante que incide sin alteraciones en la superficie terrestre. Las aplicaciones fotovoltaicas revisten gran relevancia.
- Radiación difusa: Corresponde al flujo radiante cuya trayectoria se ha modificado por fenómenos de dispersión y reflexión. En jornadas nubosas, únicamente se percibe esta radiación electromagnética.
- El albedo denota la fracción de radiación directa y difusa que una superficie refleja hacia el espacio.

**Figura 15***Composición de la radiación solar*

Fuente: (Movimiento Ondulatorio, 2010)

**Tabla 7***Radiación en el Perú kWh/m<sup>2</sup>/día*

Ica		Lima		Piura		Arequipa		Loreto	
Ene	7.36	Ene	7.24	Ene	5.21	Ene	6.57	Ene	5.74
Febr	7.44	Febr	7.32	Febr	5.77	Febr	6.32	Febr	6.23
Mar	7.23	Mar	7.14	Mar	6.01	Mar	6.12	Mar	6.36
Abr	6.5	Abr	6.35	Abr	5.61	Abr	5.53	Abr	6.04
May	5.3	May	4.94	May	4.86	May	4.89	May	5.42
Jun	3.97	Jun	3.4	Jun	4.44	Jun	4.49	Jun	4.79
Jul	3.63	Jul	3.1	Jul	4.32	Jul	4.64	Jul	4.73
Agos	4.01	Agos	3.49	Agos	4.6	Agos	5.19	Agos	4.94
Sept	5.21	Sept	4.35	Sept	4.97	Sept	6	Sept	5.39
Oct.	6.45	Oct.	5.34	Oct.	5.37	Oct.	6.73	Oct.	5.78
Nov.	6.93	Nov.	6.09	Nov.	5.37	Nov.	7.08	Nov.	5.85
Dic	7.23	Dic	6.83	Dic	5.48	Dic	7.04	Dic	5.99
<b>Anual</b>	<b>5.94</b>	<b>Anual</b>	<b>5.47</b>	<b>Anual</b>	<b>5.17</b>	<b>Anual</b>	<b>5.88</b>	<b>Anual</b>	<b>5.61</b>
Des Est	1.45	Des Est	1.59	Des Est	0.54	Des Est	0.92	Des Est	0.55

Fuente: (Movimiento Ondulatorio, 2010)

### 2.2.9. Watt Pico

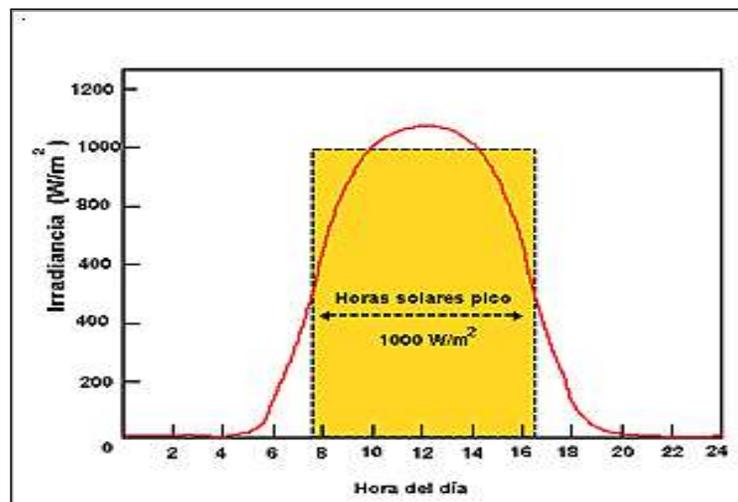
La capacidad de los módulos fotovoltaicos se expresa habitualmente en vatios pico [Wp], magnitud que representa la potencia eléctrica máxima producida por el dispositivo bajo condiciones de prueba estandarizadas por la industria solar:

- ❖ La radiación incidente es de 1000 vatios por metro cuadrado.
- ❖ El espectro de la luz es similar al de una masa de aire = 1,5.
- ❖ La temperatura de operación es de 25 °C.

Hora Solar Máxima (HSP) es una métrica que simplifica los cálculos al determinar las dimensiones óptimas de los paneles fotovoltaicos. Se define como las horas del día en las que se considera una irradiación imaginaria de 1000 W/m<sup>2</sup> que produciría la misma cantidad total de insolación diaria.

**Figura 16**

*Horas solares pico*



Fuente: (Movimiento Ondulatorio, 2010)

### 2.3. Sistema Fotovoltaico

Un conjunto fotovoltaico consta de diversos componentes que captan la radiación solar y la transforman en energía eléctrica aprovechable. Mediante las propiedades de las celdas fotovoltaicas, la radiación solar se convierte en flujo eléctrico de corriente continua (DC) para su posterior utilización. En sistemas conectados a la red eléctrica, esta corriente continua se

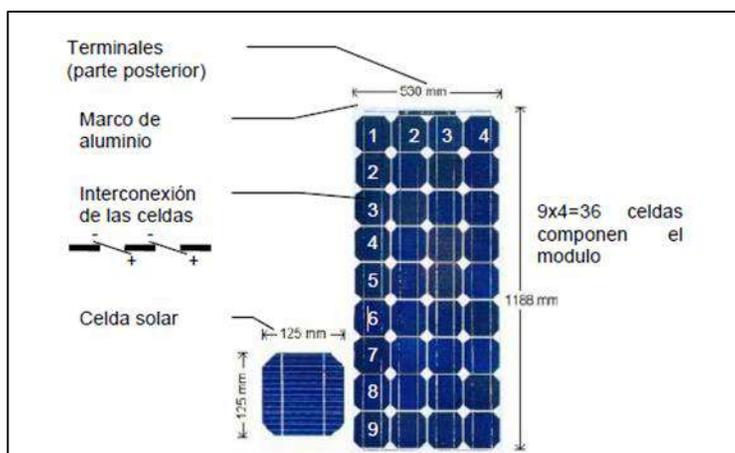
convierte en corriente alterna (AC) mediante un inversor, haciéndola adecuada para el consumo en hogares e industrias.

### 2.3.1. Componentes de un Sistema Fotovoltaico

Un módulo fotovoltaico, también llamado panel solar, se conforma por celdas que convierten la radiación solar en electricidad. Cada celda, el elemento básico de los sistemas fotovoltaicos, usualmente genera una potencia de 1.5 W, con un voltaje de 0.5 V y una intensidad de 3 A. Para incrementar la potencia, las células se interconectan en serie o en paralelo, formando módulos que tienen una potencia promedio que varía entre 50 y 100 W, y paneles fotovoltaicos que superan los 100 W de potencia.

**Figura 17**

*Horas solares pico*



Fuente: (Rodríguez, 2004)

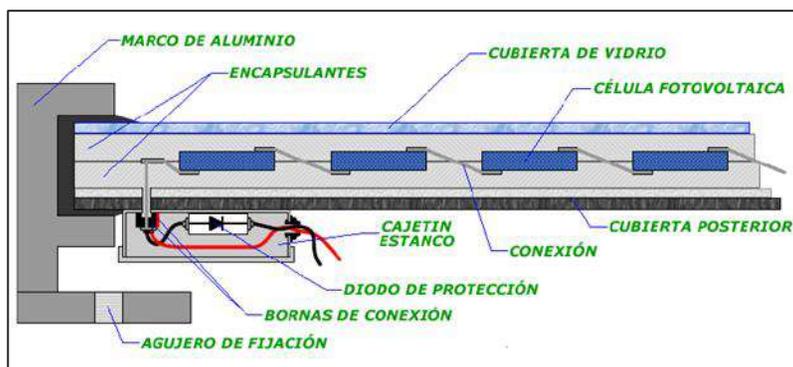
La eficacia de conversión energética de un módulo fotovoltaico (FV) es su principal característica, en la que influyen el material y la tecnología específicos empleados en su proceso de fabricación. En la actualidad, la tecnología de células basadas en silicio ha experimentado avances significativos, principalmente debido a su rentabilidad. Actualmente, estos avances han

dado lugar a la disponibilidad de tres tipos distintos de módulos fotovoltaicos para su compra (PVTRAC, 2005).

La energía generada por los módulos fotovoltaicos se presenta en forma de energía eléctrica de corriente continua, que puede utilizarse rápidamente o retenerse para un uso futuro durante los periodos de baja o nula exposición a la luz solar.

**Figura 18**

*Elementos de un panel solar*



Fuente: (Rodríguez, 2004)

Al incluir almacenamiento de energía, un regulador de carga y baterías en un sistema solar, se mejora significativamente su capacidad para producir y almacenar energía. Esto garantiza un suministro de energía fiable e ininterrumpido, incluso en condiciones meteorológicas adversas o con poca luz diurna. La confiabilidad del conjunto depende de la meticulosa elección de elementos para generación y acumulación energética.

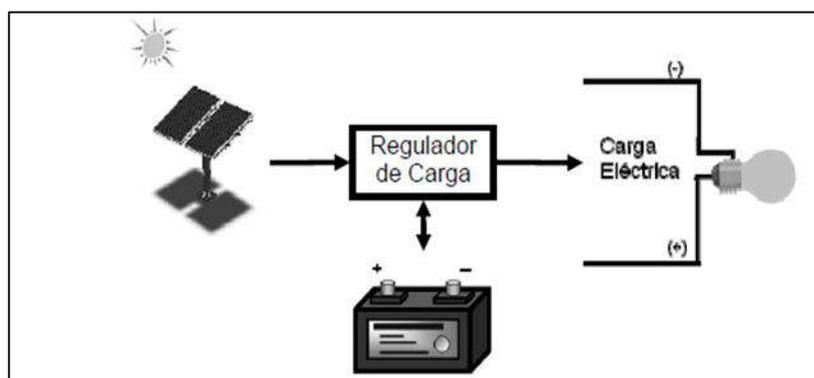
El módulo de acumulación energética de un sistema solar comprende dos componentes: el regulador de carga y los acumuladores. Un regulador de carga es un dispositivo que salvaguarda los acumuladores contra sobrecarga y descarga profunda, desconectándolos al superar cierto límite preestablecido. Mejora la eficacia de los paneles solares, selecciona la

técnica de carga más adecuada en función del tipo de batería y gestiona eficientemente la energía producida dirigiéndola a satisfacer la demanda y almacenando el exceso en la batería. El objetivo principal es mitigar el deterioro de la batería y aumentar su longevidad. La batería es el único componente del sistema solar que requiere mantenimiento y se encarga de almacenar energía durante los periodos de inactividad. La función principal de las baterías de automóvil y las baterías utilizadas en sistemas solares es diferente. Las baterías de automóvil están diseñadas con el propósito expreso de arrancar automóviles proporcionando una corriente elevada, normalmente de unos 1000 amperios, durante cortos periodos de tiempo. Estas baterías se recargan inmediatamente mientras el vehículo está en marcha.

Las baterías de los sistemas solares están especialmente diseñadas para proporcionar energía ininterrumpida durante largos periodos de tiempo sin necesidad de recarga. La calidad de estas baterías viene determinada por su capacidad de almacenamiento de energía y su capacidad para descargar una parte significativa de su energía total sin causar daños, normalmente en torno al 80%. Por eso se las conoce como baterías de ciclo profundo. (Chávez, 2005)

**Figura 19**

*Diagrama de bloques del funcionamiento del Regulador de carga*



Fuente: (Chávez, 2005)

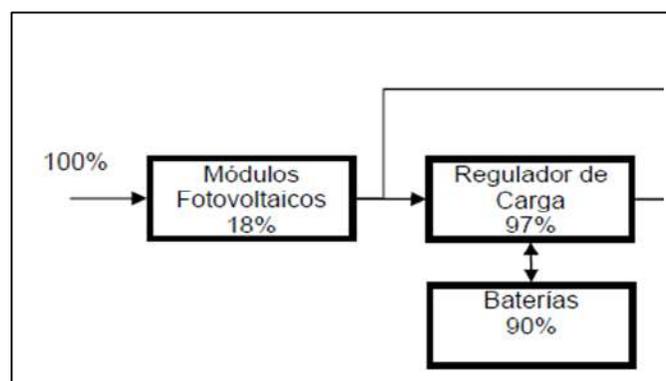
Normalmente, las baterías para sistemas solares que se venden en las tiendas tienen una capacidad de corriente máxima de 250 Ah. Esto significa que pueden soportar un periodo de descarga de 20 horas a su tensión estándar de 12 V, suministrando una corriente de 12,5 A (250 Ah / 20 h). Al final de este periodo de descarga, aún les quedará un 20% de su carga total. Las baterías de automóvil de alta calidad suelen tener una capacidad de 60 Ah. (Markvart, 2000)

Cada fabricante de acumuladores se caracteriza por sus propias especificaciones. Poseer baja densidad de corriente (en A/cm<sup>2</sup>) en acumuladores automotrices es esencial para reducir la caída de tensión al iniciar el vehículo. Para esto, la estructura emplea placas plúmbicas de textura porosa. En contraste, los acumuladores solares requieren mayor cantidad de material activo (plomo) para extender su durabilidad, lo que implica un incremento de peso y costo.

Un actuador lineal es un dispositivo eléctrico que convierte el giro rotacional de un motor DC de bajo voltaje en desplazamiento rectilíneo, incluyendo movimientos de empuje y tracción.

#### **2.4. Eficiencia de los Sistemas Fotovoltaicos**

La efectividad de un conjunto fotovoltaico (FV) está supeditada al rendimiento de sus elementos constitutivos. La figura 20 muestra los máximos niveles de eficiencia logrados por los componentes del sistema, conforme a una investigación de 2007 conducida por Sandia. El rendimiento de un sistema interconectado a la red supera al de uno autónomo con acumulación energética, pues las mermas se incrementan con la incorporación de cada componente adicional.

**Figura 20***Eficiencia de un Sistema Fotovoltaico*

Fuente: (Sandia, 2007)

Los paneles fotovoltaicos se identifican como el elemento más crucial, caracterizado por una eficiencia muy pobre y la susceptibilidad a las circunstancias de funcionamiento. Dada la imposibilidad de manipular las condiciones climáticas, la única opción viable es ajustar la orientación de los paneles solares en relación con el sol. Este enfoque es el que se está siguiendo en los últimos avances, en los que se ha alcanzado una eficiencia en laboratorio del 42,8% (VHESC, 2007), aunque con el requisito de un seguidor solar.

Las baterías presentan una eficiencia excelente; sin embargo, sus dimensiones y masa considerables pueden plantear dificultades para su uso en aplicaciones móviles. Por ello, se están creando nuevos métodos para facilitar el almacenamiento y la distribución de la energía generada por los sistemas solares. Una forma de crear energía química consiste en recoger hidrógeno directamente de un sistema solar mediante electrólisis. (Rzayeva, Salamov, & Kerimov, 2001)

## 2.5. Seguidor Solar

Un rastreador solar es un mecanismo empleado para orientar los módulos fotovoltaicos de modo que permanezcan cuasi perpendiculares a los rayos solares, siguiendo la trayectoria del astro desde el oriente al alba hasta el occidente tras el ocaso. La fotovoltaica convencional, la

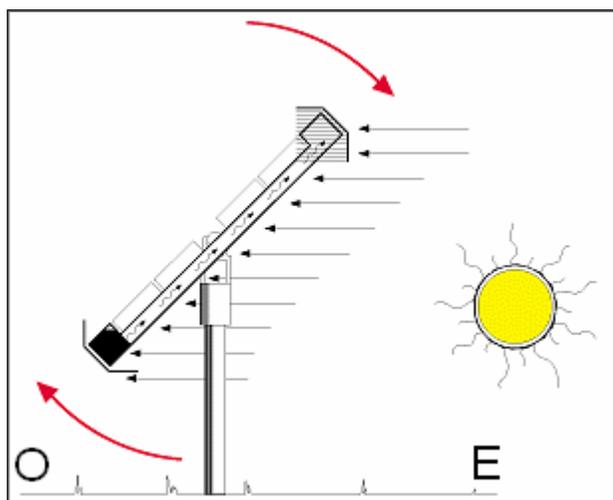
fotovoltaica de concentración y la termosolar de concentración son algunas de las variadas modalidades de sistemas de rastreo solar que implementan dispositivos de seguimiento heliostático.

### 2.5.1. Tipos de Seguidores Solares

**Seguidores solares pasivos.** El seguidor solar pasivo es un mecanismo uniaxial sin control eléctrico. Su diseño se fundamenta en la fluctuación de densidad de un fluido con bajo punto de ebullición, frecuentemente freón. El líquido se confina en dos recipientes interconectados dispuestos en orientación este-oeste. El desplazamiento inducido por la alteración de masa se debe a la vaporización del fluido confinado al exponerse a la radiación solar. Se incorporan amortiguadores hidráulicos para mitigar el efecto de las ráfagas eólicas, y los módulos se ubican meticulosamente para preservar el equilibrio del conjunto. (Zomeworks, 2007)

**Figura 21**

*Seguidor pasivo*



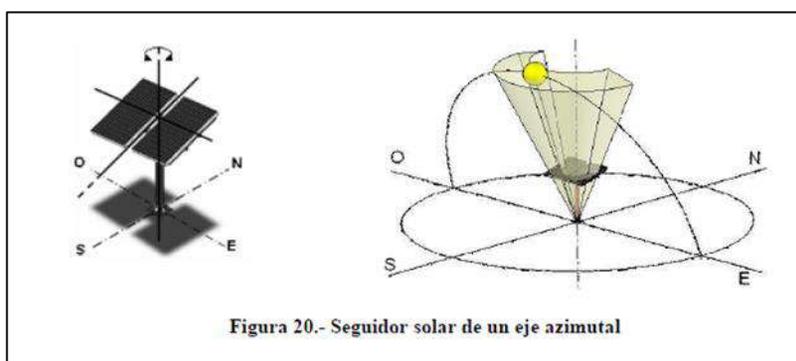
Fuente: (Beltrán, 2007)

**Seguidores solares en Activos.** Este seguidor utiliza un sistema de control eléctrico para determinar con precisión la posición exacta del sol. El sistema de control está influido por sensores o cálculos numéricos, como se ha mencionado anteriormente, y utiliza un actuador para realizar los movimientos necesarios del seguidor (Pastrana, Oviedo, & Cogollo, 2006). Hay varios tipos de seguidores activos que se pueden comprar, cada uno con capacidades diferentes en cuanto a movimientos automatizados y mano de obra (Iowa Energy Center, 2007).

- **Seguidor solar de un eje, azimutal.** - La superficie de los módulos está inclinada a una velocidad que corresponde a la latitud del emplazamiento, lo que garantiza un rendimiento óptimo durante todo el año. El sensor solar azimutal gira sobre un eje vertical. Este movimiento está directamente influenciado por el ángulo acimutal del Sol. El diseño de este seguidor suele ser el más sencillo, por lo que es muy utilizado entre los fabricantes. Su trayectoria en el espacio muestra siempre la misma altitud con un volumen de trabajo reducido en comparación con otros seguidores.

**Figura 22**

*Seguidor solar de un eje azimutal*



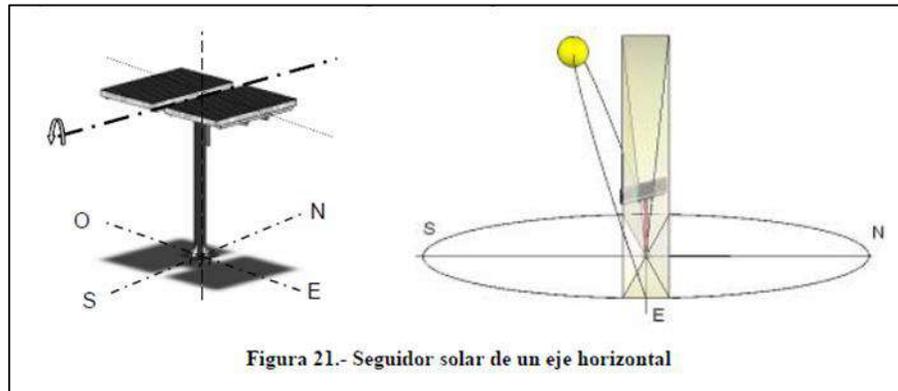
Fuente: (Beltrán, 2007)

- **Seguidor solar de un eje, horizontal.** - La orientación del seguidor solar gira en torno a un eje horizontal alineado con la dirección norte-sur, mientras que los módulos se colocan en

paralelo a este eje. La trayectoria mostrada es consistentemente un arco horizontal orientado en dirección este-oeste, perpendicular al plano horizontal. Esta trayectoria se desvía de la trayectoria solar en cuanto a su inclinación.

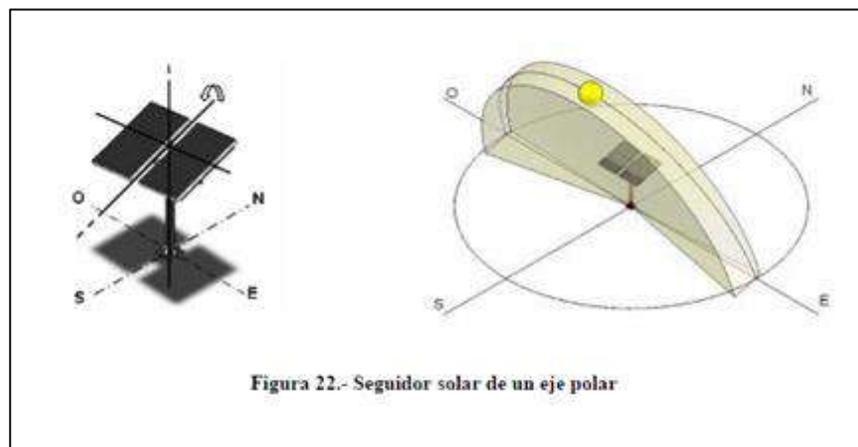
### Figura 23

*seguidor solar de un eje horizontal*



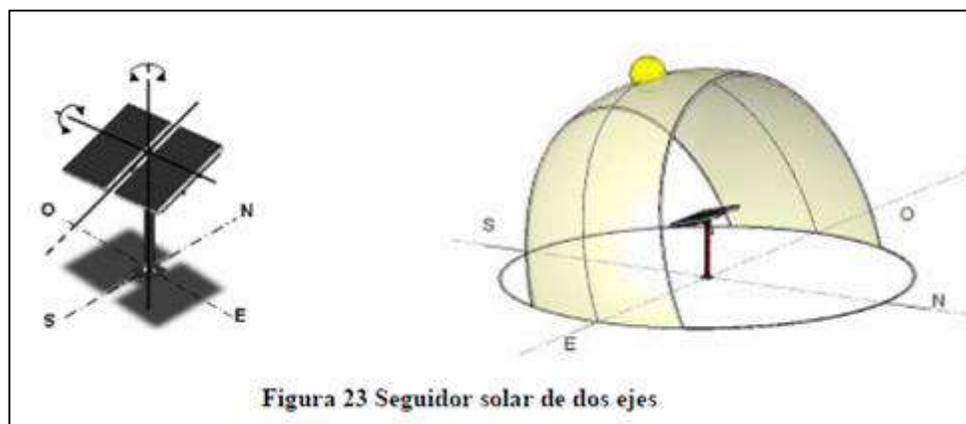
Fuente: (Beltrán, 2007)

- Seguidor solar de un eje, polar. - Los módulos se colocan en paralelo al eje de rotación, y el seguidor solar gira a una velocidad aproximada de 15° por hora. El eje está orientado de Norte a Sur, y la inclinación del eje es equivalente a la latitud del emplazamiento. Es sorprendentemente similar al seguidor horizontal; sin embargo, su inclinación produce una ganancia anual mayor que la del primero, ya que alinea la declinación de la trayectoria con la del Sol. A la inversa, su diseño es más complejo. Es opcional que la inclinación de los módulos se corresponda con la del Sol durante los equinoccios de primavera y otoño.

**Figura 24***Seguidor solar de un eje polar*

Fuente: (Beltrán, 2007)

- Seguidor solar de dos ejes. - El seguidor solar de dos ejes emplea dos movimientos automáticos para controlar con precisión la posición del Sol de acuerdo con los dos ángulos que definen su ubicación. Estos módulos se distinguen porque sus superficies están perpetuamente perpendiculares a los rayos del Sol, independientemente de la hora del día o del año. A lo largo del año, su ubicación laboral se corresponde con la trayectoria del Sol.

**Figura 25***Seguidor solar de dos ejes.*

Fuente: (Beltrán, 2007)

## 2.6. Métodos y Algoritmos de Seguimiento Solar

El coste del seguidor solar disminuye al utilizar un método astronómico para calcular la ubicación del Sol en el cielo. Esto simplifica los protocolos de comunicación entre el microcontrolador y el PC y elimina la necesidad de sensores y circuitos específicos.

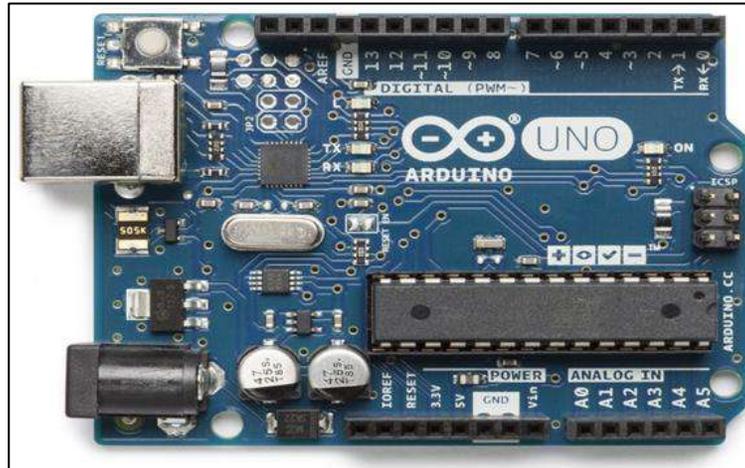
## 2.7. Microcontroladores

Un microprocesador ( $\mu$ P, UP o MPU) es un chip programable que puede realizar órdenes guardadas en su almacenamiento. Está constituido por diversos elementos operativos, cada uno de los cuales desempeña una labor particular.

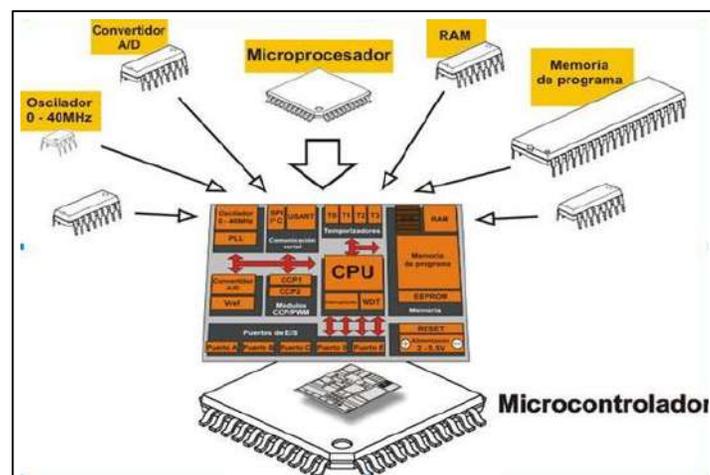
### 2.7.1. *Microcontrolador Arduino*

Se trata de una plataforma de creación de prototipos electrónicos de código abierto basada en un microcontrolador y compatible con el lenguaje de programación Processing. La plataforma cuenta con un entorno de desarrollo integrado que dispone de una interfaz para entradas y salidas analógicas y digitales. La placa Arduino UNO tiene las siguientes características principales:

- El microcontrolador es un circuito integrado programable con capacidad para realizar cálculos matemáticos complejos con rapidez.
- La interfaz USB funciona como fuente de alimentación de una placa Arduino mientras se está programando. Tras la programación, el Arduino puede desconectarse del ordenador y utilizarse de forma autónoma. Arduino se alimenta de una pila de 9 V o de una fuente de alimentación.
- - El sistema recibe información y realiza determinadas acciones basándose tanto en las entradas como en las salidas.

**Figura 26***Microcontrolador Arduino*

Fuente: (Arduino, 2024)

**Figura 27***Partes de un Microcontrolador*

Fuente: (Arduino, 2024)

## 2.7.2. Familias de Arduino

### Familia Nano

La familia Nano es un conjunto de placas que ocupan un espacio reducido

**Figura 28***Familia nano*

Fuente: (Arduino, 2024)

**Familia MKR**

La familia MKR cuenta con una gama de placas, escudos y soportes que pueden interconectarse para fabricar diversas aplicaciones.

**Figura 29***Familia MKR*

Fuente: (Arduino, 2024)

## Familia Clásica

La familia Classic incluye placas de renombre como la icónica Arduino UNO, así como otros modelos conocidos como la Leonardo y la Micro.

**Figura 30**

*Familia clásica*



Fuente: (Arduino, 2024)

## Productos Retirados

- LilyPad Arduino USB
- LilyPad Arduino SimpleSnap
- LilyPad Arduino Simple
- LilyPad Arduino Main Board
- Arduino Yún with PoE
- Arduino Yún Mini
- Arduino Yún
- Arduino USB 2 Serial Micro
- Arduino USB
- Arduino Uno WiFi
- Arduino UNO Rev3 with Long Pins
- Arduino Tre

- Arduino Tian
- Arduino Pro Mini
- Arduino Pro
- Arduino Primo Core
- Arduino Primo
- Arduino NG
- Arduino Mini 05 without header
- Arduino Mini 05
- Arduino Mega ADK Rev3
- Arduino M0 Pro
- Arduino M0
- Arduino Leonardo ETH 2 with PoE
- Arduino Leonardo ETH
- Arduino ISP
- Arduino Industrial 101
- Arduino Gemma
- Arduino Fio
- Arduino Ethernet Rev3 without PoE
- Arduino Ethernet Rev3 with PoE
- Arduino Esplora
- Arduino Duemilanove
- Arduino Diecimila
- Arduino BT v1
- Arduino BT (Bluetooth)
- Arduino Board Serial Single Sided v3
- Arduino Board Serial Single Sided
- Arduino Board Serial
- Arduino 101

## 2.8. La Energía Solar en el Perú

El programa PER/98/G31, titulado "Electrificación rural basada en energía fotovoltaica en Perú", tiene por objeto promover el uso extensivo de la energía solar en las regiones rurales de la nación. Esta iniciativa aboga por la adopción de fuentes de energía limpias, ecológicas y que no emitan gases de efecto invernadero. Este esfuerzo será llevado a cabo por la Dirección de Proyectos Ejecutivos (DEPMEM) del Ministerio de Energía y Minas. El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) se financia mediante un esfuerzo de cooperación entre el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el propio Ministerio. En 2003 se publicó el Atlas de energía solar del Perú, titulado "Atlas de energía solar del Perú 2003".

Como alternativa a la energía producida mediante la combustión de combustibles fósiles, actualmente se está investigando la energía solar. A diferencia de los países nórdicos, la región peruana recibe abundante luz solar durante la mayor parte del año debido a su proximidad a la línea ecuatorial. El Atlas Solar de Perú del Ministerio de Energía y Minas sugiere que la nación recibe una inmensa cantidad de radiación solar anualmente. En concreto, la sierra recibe aproximadamente entre 5,5 y 6,5 kWh/m<sup>2</sup>, la costa entre 5,0 y 6,0 kWh/m<sup>2</sup>, y la selva entre 4,5 y 5,0 kWh/m<sup>2</sup>.

En Perú, la aplicación principal de la energía solar se centra en la captación de energía térmica de aguas geotérmicas en las regiones del sur, como Puno y Arequipa. En estas áreas, aproximadamente 30 empresas se dedican a la fabricación y mantenimiento de estos sistemas. No obstante, aún se requiere un esfuerzo considerable para fomentar la adopción extendida de paneles solares con propósitos térmicos tanto en entornos urbanos como rurales. Dado que el calentador de agua eléctrico es una fuente importante de consumo de energía para un hogar, esto supondría una disminución del consumo energético doméstico. Además, sus aplicaciones

prácticas no se limitarían al uso doméstico; también podrían integrarse a los secadores de granos agrícolas (en la región sur, donde el cultivo de cereales andinos como kiwicha, quinua y kañihua es significativo) y a la purificación de agua en regiones que lo requieran.

**Figura 31**

*Mapa de radiación solar en el Perú*



Fuente: (ResearchGate, 2024)

Figura 32

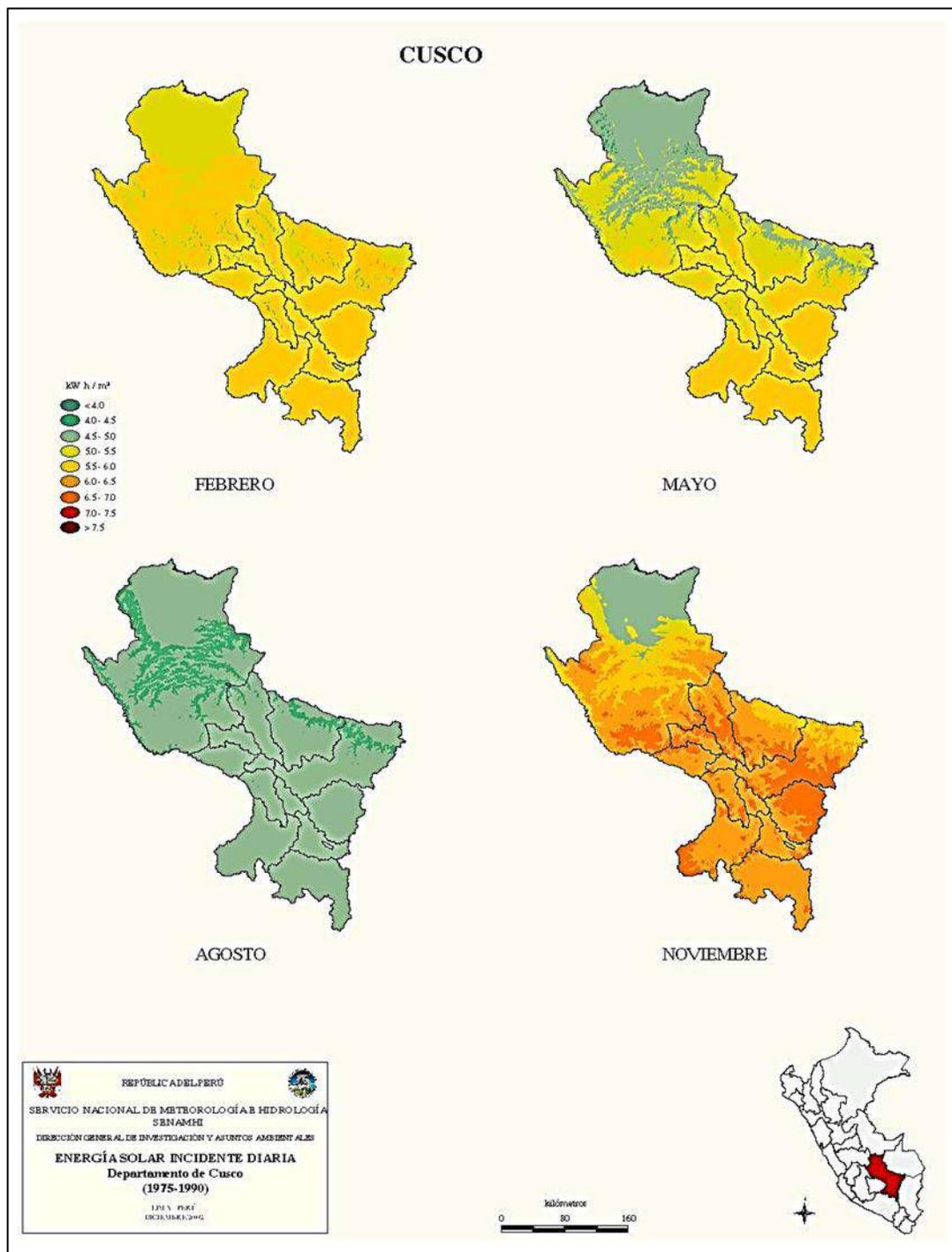
Potencial energético de radiación solar



Fuente: (Zanabria Pacheco, 2012)

Figura 33

Radiación solar en el departamento de cusco



Fuente: (ResearchGate, 2024)

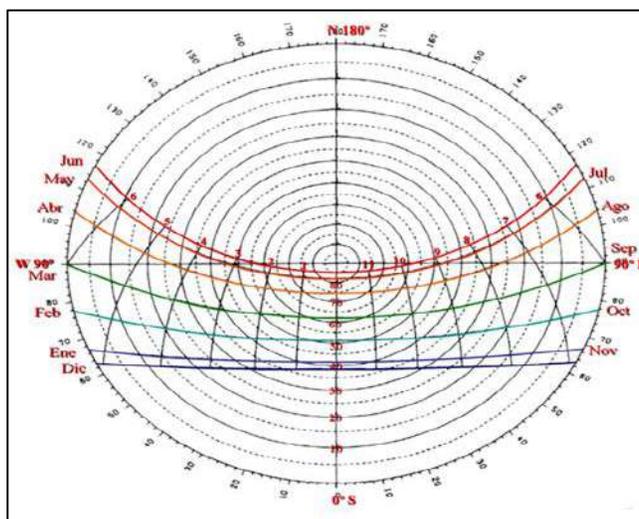
## 2.9. Carta Solar

Las gráficas geométricas, desarrolladas de acuerdo con los conceptos anteriormente expuestos, permiten aproximarse a la trayectoria del Sol.

La carta Solar Estereoscópico de Fisher-Mattioni es un paradigma tradicional que utiliza un esquema de referencias angulares. En este método, la elevación del astro rey se simboliza mediante el radio, mientras que su orientación se indica por los ángulos. El azimut se mide desde el sur ( $0^\circ$ ) hasta el norte ( $180^\circ$ ).

**Figura 34**

*Carta Solar Estereográfica*



Fuente: (Instituto de Tecnologías Educativas, 2023)

En este sistema de coordenadas, la altura y la dirección del sol para una latitud específica indican los meses y las horas. Donde se encuentran la curva correspondiente a la fecha (el día 21 de cada mes) y el punto de la hora solar efectiva determina tanto la dirección del amanecer y del atardecer en el borde del gráfico, como la altura del sol en los círculos concéntricos.

## **2.10. Coordenadas Geográficas**

Las coordenadas geográficas son utilizadas para precisar la localización precisa de cualquier punto en la Tierra mediante una combinación de números, letras o símbolos.

Generalmente, estas coordenadas se eligen de manera que dos de ellas determinen la posición horizontal, mientras que la tercera indica la elevación.

### **2.10.1. Latitud**

La separación angular entre el Ecuador y cualquier paralelo, medida en grados. La latitud de un lugar se define por su distancia al ecuador, medida en grados norte o sur. La región estudiada se sitúa en el hemisferio Norte cuando la latitud está en el Norte, y en el hemisferio Sur cuando la latitud está en el Sur, la latitud se mide normalmente en grados ( $^{\circ}$ ) y abarca de 0 a  $90^{\circ}$ .

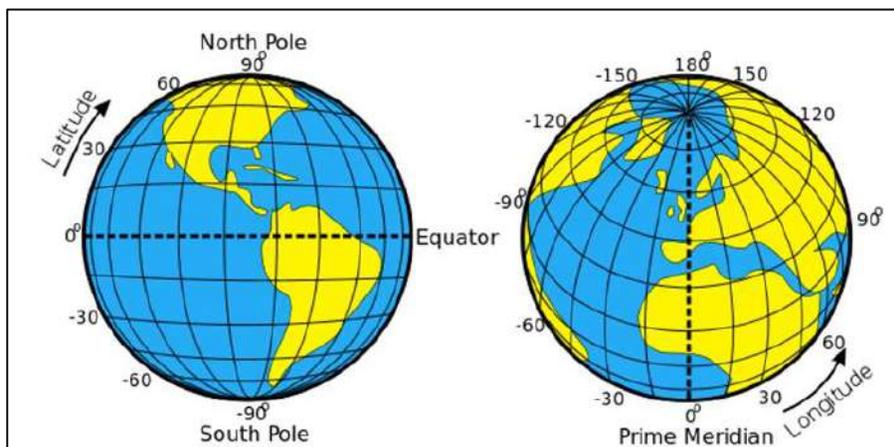
Se puede indicar el hemisferio de la coordenada indicándolo. Además, los valores positivos pueden representar el norte, mientras que los negativos pueden representar el sur.

Por lo tanto, la latitud de diez grados norte puede denotarse como  $10^{\circ}\text{N}$  o  $+10^{\circ}$ , mientras que la latitud de diez grados sur puede denotarse como  $10^{\circ}\text{S}$  o  $-10^{\circ}$ .

### **2.10.2. Longitud**

La longitud es la distancia angular entre el primer meridiano (también llamado meridiano de Greenwich o meridiano cero) y el meridiano que pasa por un lugar determinado. Dependiendo de la posición del punto en relación con el meridiano de Greenwich, la orientación del ángulo puede ser Este u Oeste, y su rango de medida va de  $0^{\circ}$  a  $180^{\circ}$ .

**Figura 35**  
*Coordenadas Geográficas*



Fuente: (Atlas Perú, 2022)

**Figura 36**  
*Coordenadas Geográficas Perú*



Fuente: (danarebeccadyer, 2021)

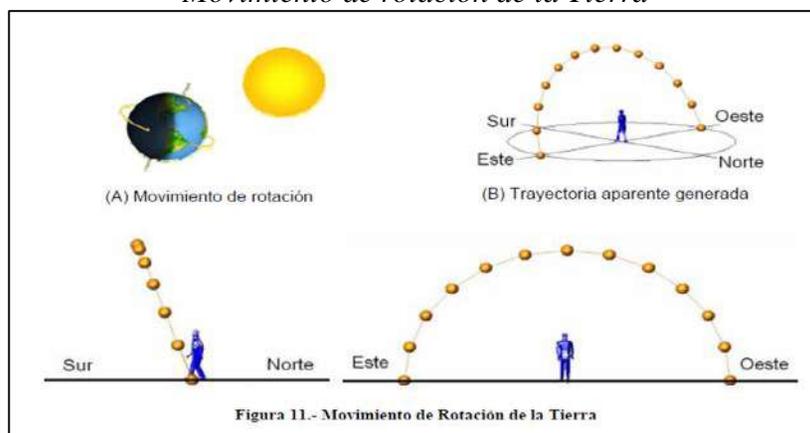
## 2.11. Cálculo de la Altura y Azimut Solar

### 2.11.1. Movimientos del Planeta con Respecto al Sol

Según Dutch (2004), la Tierra experimenta dos movimientos que influyen la ubicación de un punto específico en su superficie en relación con la posición solar. El principal elemento que influye en su ubicación es la rotación, concretamente la rotación de la Tierra sobre su eje. La duración de esta revolución es aproximadamente de 24 horas, 0 minutos y 57,33 segundos, aunque a menudo se simplifica a 24 horas para tener en cuenta los años bisiestos. Este fenómeno surge debido a la rotación de la Tierra, que hace que una mitad del globo se ilumine mientras la otra mitad permanece en la oscuridad.

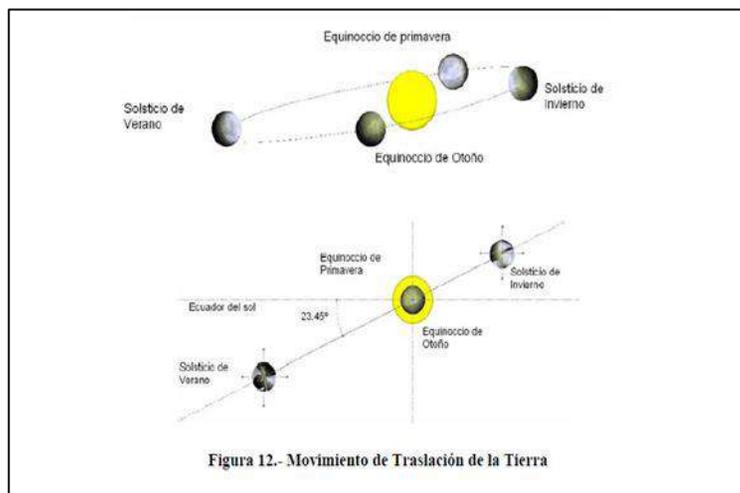
**Figura 37**

*Movimiento de rotación de la Tierra*



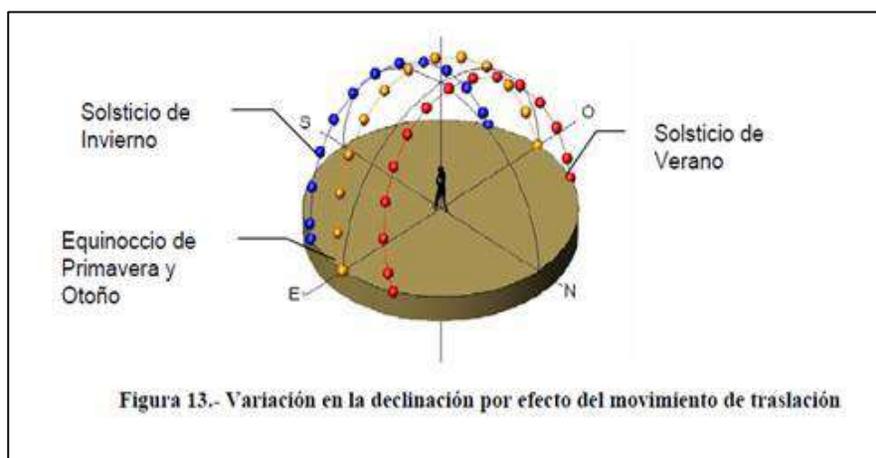
Fuente: (Dutch, 2004)

El movimiento de traslación de la Tierra es el término utilizado para describir su órbita alrededor del Sol. A efectos prácticos, el movimiento de traslación se aproxima a 365 días, con un día adicional cada cuatro años (año bisiesto) para convertirlo en 366 días. La duración real del movimiento es de 365,2422 días. En su desplazamiento, la Tierra sigue una órbita elíptica alrededor del Sol. La Tierra está inclinada un ángulo de  $23,45^\circ$  respecto al plano horizontal del ecuador solar y traza una órbita elíptica alrededor del Sol.

**Figura 38***Movimiento de Traslación de la Tierra*

Fuente: (Dutch, 2004)

La posición angular del Sol a lo largo del día varía en declinación con respecto al observador, lo que influye en la duración de la luz diurna y la oscuridad, como se ilustra en la figura 26. Este cambio en la trayectoria aparente del Sol a lo largo del año se debe al movimiento de la Tierra, resultando en un desplazamiento de su posición angular. Durante el día solar, al mediodía, el Sol siempre se desplaza a través de un punto focal que apunta hacia el sur.

**Figura 39***Variación en la declinación por efecto del movimiento de traslación.*

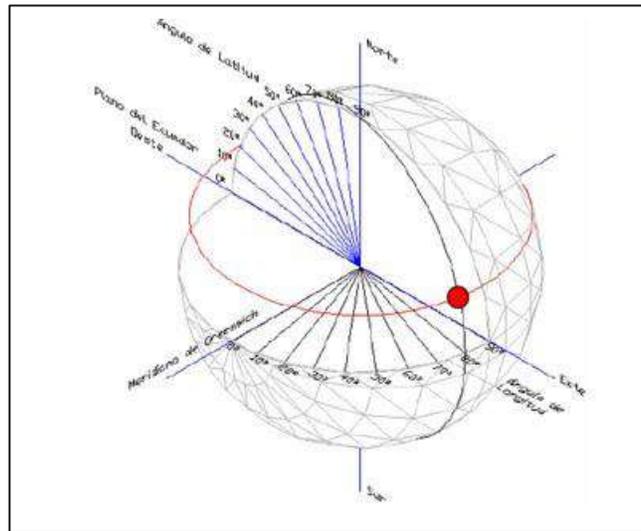
Fuente: (Dutch, 2004)

## 2.12. Ubicación de la Trayectoria Solar

Para calcular la trayectoria solar, es esencial comenzar por conocer nuestra ubicación precisa en el planeta. Determinar la posición exacta de cualquier punto en la Tierra implica utilizar las coordenadas de latitud y longitud específicas asociadas a ese lugar. El ángulo de longitud sirve como punto de referencia global para establecer la hora estándar, indicando la posición relativa al meridiano de Greenwich. Por otro lado, el ángulo de latitud indica la distancia con respecto al ecuador.

A modo de ejemplo, si se proporcionan las coordenadas específicas de un lugar, como 20° de latitud Norte y 80° de longitud Este, es posible determinar la trayectoria aparente del Sol señalando cualquier punto de la superficie terrestre.

Dado que el ángulo de longitud, perpendicular al eje de rotación, se emplea exclusivamente para conocer la hora del día, la posición de la trayectoria viene determinada por el ángulo de latitud. En consecuencia, las comunidades situadas a la misma latitud experimentarán valores de radiación solar muy similares como consecuencia de la trayectoria del Sol.

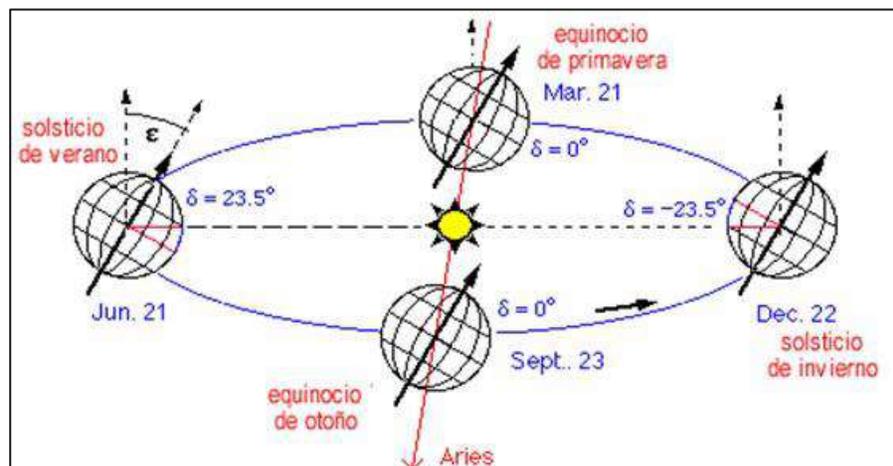
**Figura 40***Ubicación de un punto en la Tierra*

Fuente: (Dutch, 2004)

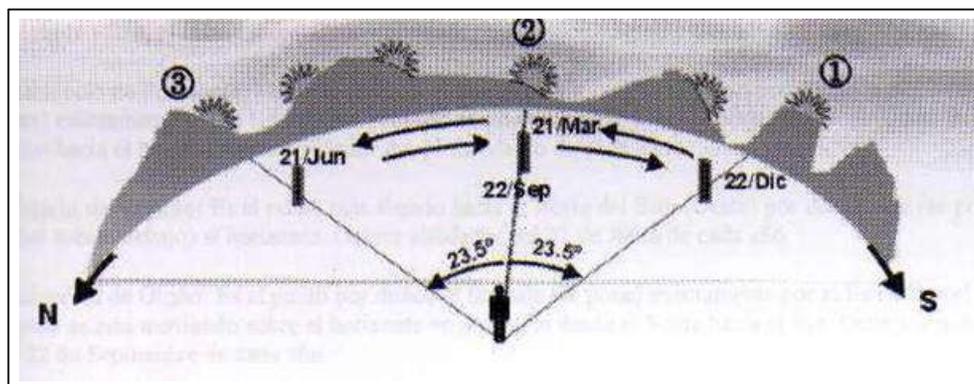
Para calcular la posición solar en relación con un punto específico en la Tierra, se emplean dos ángulos. El ángulo azimutal ( $as$ ) representa la dirección angular desde el hemisferio sur en sentido horario hasta el punto donde la proyección del Sol cruza el plano horizontal. El ángulo de elevación ( $h$ ) se utiliza para determinar la altura del Sol respecto al plano horizontal.

### **Declinación solar**

La superficie orbital es el área donde nuestro planeta gira en torno al astro rey. El eje terrestre presenta una inclinación angular de  $23,5^\circ$  respecto a la normal de dicha superficie orbital. Las fluctuaciones diarias de la radiación son el resultado de la rotación de la Tierra sobre su eje. Las fluctuaciones estacionales de la radiación solar son consecuencia de la orientación del eje con respecto al Sol. El ángulo entre el plano ecuatorial y la línea que une los centros del Sol y de la Tierra está en un estado de flujo perpetuo. La declinación solar es el término empleado para describir este ángulo. El valor máximo es de  $+23,5^\circ$  durante el solsticio de invierno, mientras que el valor mínimo es de  $-23,5^\circ$  durante el solsticio de verano.

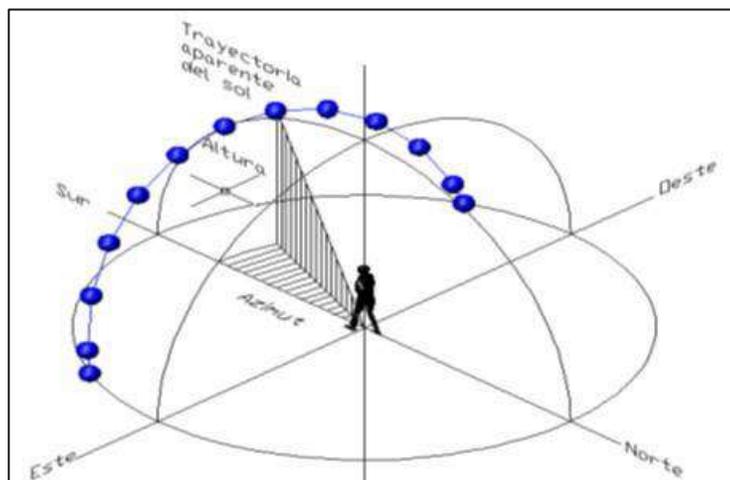
**Figura 41***Declinación de la Tierra*

Fuente: (Dutch, 2004)

**Figura 42***Posicionamiento del sol sobre la Tierra*

Fuente: (Dutch, 2004)

Para calcular la posición del Sol en relación con un lugar específico en la Tierra se emplean dos ángulos. El primer ángulo, conocido como ángulo de elevación ( $h$ ), representa la altura del Sol respecto al plano horizontal. El segundo ángulo, denominado ángulo de azimut ( $as$ ), se mide desde el sur hacia la proyección del plano horizontal del Sol en el sentido de las agujas del reloj (véase la figura N° 31).

**Figura 43***Ubicación del sol*

Fuente: (Dutch, 2004)

Las técnicas numéricas permiten calcular la altitud y el ángulo acimutal, que dependen de la latitud, el día del año y la hora del lugar [Plasencia, 2001]. Inicialmente, la velocidad de traslación se utiliza para determinar el ángulo de declinación ( $d$ ) de la Tierra:

$$d = 23.45 \sin \left[ (284 + N) \frac{360}{365} \right] \quad (1)$$

Donde  $N$  representa el día consecutivo del año.

El ángulo horario ( $hs$ ) es el ángulo que se forma entre el meridiano local y la hora de observación. Este ángulo específicamente indica la diferencia angular entre el mediodía solar y la hora de referencia. Estos datos se obtienen mediante métodos intelectuales.

$$hs = (12 - \text{hora deseada}) \times 15 \quad (2)$$

Con estos datos se obtiene el ángulo de la altura del Sol ( $h$ ):

$$\sin(h) = \cos(L) \cos(d) \cos(hs) + \sin(L) \sin(d) \quad (3)$$

Y el ángulo de azimut del Sol ( $as$ ):

$$\sin(as) = \frac{\cos(d)\sin(hs)}{\cos(h)} \quad (4)$$

Conviene aplicar una operación recíproca cuando la medida acimutal supera los  $90^\circ$  y la posición del astro rey excede el eje o superficie vertical oriente-occidente. Este escenario se evidencia en el razonamiento subsiguiente:

$$\cos(hs) < \frac{\tan(d)}{\tan(L)} \Rightarrow as = \sin^{-1} \left[ \frac{\cos(d)\sin(hs)}{\cos(h)} \right] \quad (5)$$

$$\cos(hs) < \frac{\tan(d)}{\tan(L)} \Rightarrow as = 180^\circ - \sin^{-1} \left[ \frac{\cos(d)\sin(hs)}{\cos(h)} \right]$$

Ahora podemos investigar los distintos tipos de seguidores solares comprendiendo el curso aparente del Sol, sus causas y su comportamiento.

### 2.13. Trayectoria del Sol en la Ciudad del Cusco

Entender y evaluar la radiación solar disponible en un lugar específico es crucial para el diseño, la construcción y la evaluación de sistemas solares. Sin embargo, la información actual sobre la radiación solar es muy limitada, confusa y desorganizada. La estación meteorológica de la Granja Kayra (UNSAAC) está situada en la ciudad de Cusco. Además, varias provincias (La Convención, Paruro, Paucartambo, Quispicanchi) cuentan con estaciones meteorológicas adicionales que miden la duración de la luz solar o la intensidad solar. Sin embargo, un número importante de estas estaciones ha sido dado de baja. Ninguna de las estaciones meteorológicas registra mediciones de la radiación solar directa o difusa, lo cual es esencial para ciertas aplicaciones.

Dado que existe abundante bibliografía sobre el tema, que es muy técnica, complicada y amplia, en este estudio nos limitaremos a resumir algunas conclusiones y normas fundamentales necesarias para comprender la radiación solar.

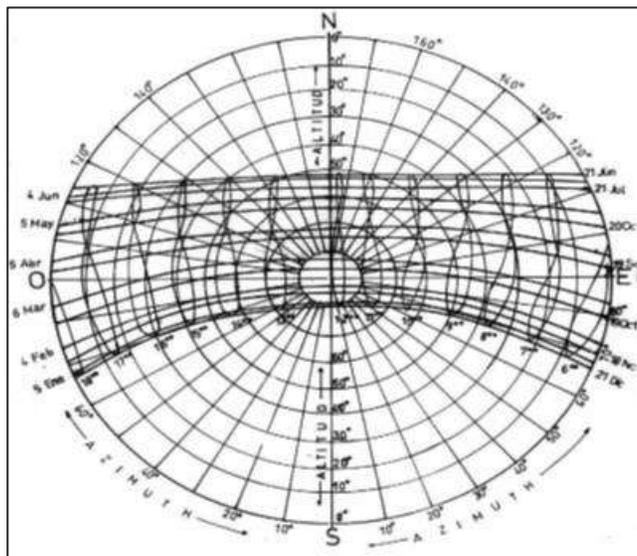
Utilizando los datos actualmente disponibles, se muestra una relación entre el índice de transparencia atmosférica ( $K_t$ ) y la fracción de horas de sol ( $i$ ) para el departamento de Puno, las provincias de Quillabamba, Urubamba y Cusco. Para Cusco, se han realizado dos mapas de la trayectoria solar. Estos datos permiten calcular la energía solar total, directa y difusa en cualquier época del año.

Cusco está situado a 13° 31' Sur, 71° 58' Longitud Oeste y 75° Longitud Meridiano Estándar Oeste en la región suroeste de Perú. Se han creado dos mapas de trayectoria solar para estas ubicaciones geográficas.

**DIAGRAMA POLAR:** Sistema de coordenadas en el que el ángulo polar y la distancia al centro definen la ubicación de un punto.

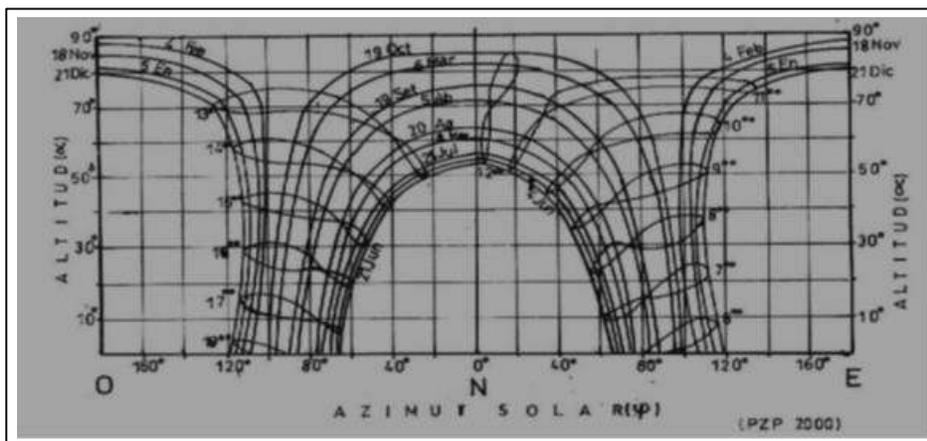
La altura solar está representada por la distancia al centro en esta imagen, mientras que el horizonte, o  $a=0$ , está representado por el círculo exterior en el diagrama de posición del sol. La vertical sobre la posición de observación designa el centro.

El ángulo acimutal del sol, que se mide desde el S hacia el este por la mañana y hacia el oeste después del mediodía, es el mismo que el ángulo polar en el diagrama de posición del sol.

**Figura 44***Diagrama solar*

Fuente: sunearthtool.com

**DIAGRAMA CARTESIANO:** Un diagrama cartesiano es un sistema de coordenadas en el que el ángulo acimutal ( $\gamma$ ), que se mide con respecto a la dirección Norte, avanza hacia el Este por la mañana y hacia el Oeste por la tarde. El eje vertical representa la altitud del sol ( $\alpha$ ). Si conoce el azimut y la altura del edificio, puede utilizar este mapa para localizar sus sombras.

**Figura 45***Diagrama cartesiano solar*

Fuente: sunearthtool.com

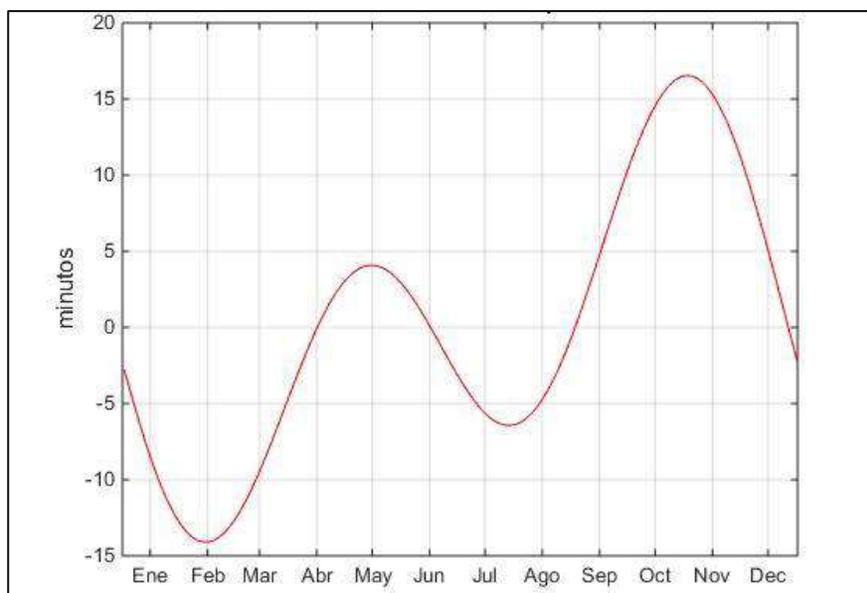
## 2.14. Ecuación del Tiempo

Dado que el movimiento aparente del Sol no es uniforme, la duración de un día solar fluctúa a lo largo del año. La discrepancia entre el movimiento medio del Sol y su movimiento observado se indica mediante la ecuación del tiempo.

Mediante estos cálculos podemos encontrar el amanecer, el atardecer, el mediodía solar y la posición solar para cualquier lugar de la Tierra.

**Figura 46**

*Ecuación del tiempo*



Fuente: (Franco García, 2016)

### 2.14.1. Día Juliano

El calendario juliano establece el día actual contando el número de días que han transcurrido desde una fecha anterior elegida. Día juliano, a veces conocido como DJ, es la frase designada para denotar el recuento numérico de días. El origen del calendario DJ es el 1 de enero de 4713 a.C. (o el 1 de enero de -4712, ya que no existía el año 0), con un valor DJ de 0. Los días

julianos son útiles porque simplifican el cómputo del número de días entre dos sucesos restando los días julianos de cada suceso.

El calendario convencional (gregoriano) plantea una notable dificultad para realizar este cómputo debido a que los días se dividen en meses que tienen un número variable de días, lo que también se complica por la ocurrencia de años bisiestos. (Ibrahim Reda and Afshin Andreas 2008)

$$JD = [365.25(Y + 4716)] + [30.6001(M + 1)] + D + B - 1524.5 \quad (6)$$

Dónde:

M: es el número de mes de la fecha a convertir (marzo=3, abril=4, etc.).

El valor del mes se incrementa en 12 si el mes es enero o febrero (1 y 2, respectivamente).

Y: es el año. Si la fecha a convertir es en enero o febrero, se le resta 1 al valor del año.

D: es el día del mes a las 00:00:00 UTC. Para calcular la fecha en una hora específica se utiliza la fórmula:

$$D = Dm + \frac{h}{24} + \frac{m}{1440} + \frac{s}{86400} \quad (7)$$

donde Dm es el día del mes, h es el número de horas, m es el número de minutos y s es el número de segundos.

A: es la primera cantidad auxiliar. Se calcula de la forma:

$$A = \frac{Y}{100} \quad (8)$$

B es la segunda cantidad auxiliar. Se calcula de la forma:

$$B = 2 - A + \left[\frac{A}{4}\right] \quad (9)$$

Nota: B para el 15 de octubre de 1582 o fechas posteriores. Si la fecha a convertir es anterior o igual al 4 de octubre de 1582, el valor de B es igual a 0.

Otra Ecuación:

$$DJ = D - 32075 + 1461 * (Y + 4800 + (M - 14) / 12) / 4 + 367 * (M - 2 - (M - 14) / 12 * 12) / 12 - 3 * ((Y + 4900 + (M - 14) / 12) / 100) / 4 \quad (10)$$

donde D es el día (1-31), M es el mes (1-12) y A es el año (1801-2099).

Tenga en cuenta que esta fórmula sólo es válida entre los años 1801 y 2099.

Un día juliano de ejemplo es: DJ = 2440588, que corresponde al 1 de enero de 1970.

### 2.14.2. Cálculos Generales de Posición Solar

Primero, se calcula el año fraccionario ( $\gamma$ ), en radianes.

$$\gamma = \frac{2\pi}{365} * (\text{día\_del\_año} - 1 + \frac{\text{hora} - 12}{24}) \quad (11)$$

(Para los años bisiestos, use 366 en lugar de 365 en el denominador).

A partir de  $\gamma$ , podemos estimar la ecuación del tiempo (en minutos) y el ángulo de declinación solar (en radianes).

$$\begin{aligned} eqtime = & 229.18 * (0.000075 \\ & + 0.001868\cos(\gamma) - 0.032077\sin(\gamma) - 0.014615\cos(2\gamma) - 0.040849\sin(2\gamma)) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} declive = & 0,006918 - 0,399912\cos(\gamma) + 0,070257\sin(\gamma) - 0,006758\cos(2\gamma) + \\ & 0,000907\sin(2\gamma) - 0,002697\cos(3\gamma) + 0,00148\sin(3\gamma) \end{aligned} \quad (13)$$

A continuación, la hora solar verdadera se calcula en las siguientes dos ecuaciones.

Primero el desplazamiento de tiempo es encontrado, en minutos, y luego el tiempo solar verdadero, en minutos.

$$time\_offset = eqtime + 4 * longitud - 60 * zona\ horaria \quad (14)$$

Donde: eqtime está en minutos, la longitud está en grados (positivo al este del primer meridiano), la zona horaria está en horas desde UTC (hora estándar de las montañas de EE. UU. = -7 horas).

$$tst = hr * 60 + mn + sc/60 + time\_offset \quad (15)$$

donde hr es la hora (0 - 23), mn es el minuto (0 - 59), sc es el segundo (0 - 59).

El ángulo horario solar, en grados, es:

$$ha = (tst / 4) - 180 \quad (16)$$

El ángulo cenital solar ( $\emptyset$ ) se puede encontrar a partir del ángulo horario (ha), la latitud (lat) y la declinación (decl) usando la siguiente ecuación:

$$\cos(\emptyset) = \sin(lat) \sin(decl) + \cos(lat) \cos(decl) \cos(ha) \quad (17)$$

Y el azimut solar ( $\theta$ , grados en el sentido de las agujas del reloj desde el norte) se encuentra a partir de:

$$\cos(180 - \theta) = \frac{-\sin(lat) \cos(\emptyset) - \sin(decl)}{\cos(lat) \sin(\emptyset)} \quad (18)$$

### 2.14.3. Cálculos de amanecer/atardecer

Para el caso especial de salida o puesta del sol, el cenit se establece en  $90.833^\circ$  (la corrección aproximada para refracción atmosférica al amanecer y al atardecer, y el tamaño del disco solar), y el ángulo horario se convierte en:

$$ha = \pm \arccos \left\{ \frac{\cos(90.833)}{\cos(lat) \cos(decl)} - \tan(lat) \tan(decl) \right\} \quad (19)$$

Donde el número positivo corresponde a la salida del sol, el negativo a la puesta del sol.

Entonces la hora UTC del amanecer (o del atardecer) en minutos es:

$$amanecer = 720 - 4 * (longitud + ha) - eqtime \quad (20)$$

Donde la longitud y el ángulo horario están en grados y la ecuación del tiempo está en minutos.

El mediodía solar para una ubicación dada se encuentra a partir de la longitud (en grados, positiva al este de la Prime Meridian) y la ecuación del tiempo (en minutos):

$$snoon = 720 - 4 * longitud - eqtime \quad (21)$$

Fuente: NOAA Global Monitoring Division

## 2.15. Marco Legal

- “Resolución Ministerial R.M. N° 037-2006-MEM/DM Código Nacional de Electricidad”.
- “Norma Técnica Peruana NTP 399.403 2006: Sistemas Fotovoltaicos hasta 500Wp. Especificaciones Técnicas y Método para la Calificación Energética”.
- “Norma Técnica de Edificación EM080. Instalaciones con energía solar.Ley General de Electrificación Rural LEY N° 28749”.
- “Reglamento Técnico, Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para la Electrificación Rural (Resolución Directoral N° 003-2007-EM/DGE)”.

## CAPITULO III

### CÁLCULOS DE LA TRAYECTORIA DEL SOL

#### 3. INTRODUCCIÓN

En este capítulo determinaremos la trayectoria del sol para la ciudad del Cusco utilizando coordenadas específicas, para fines de estudio dentro del distrito de San Sebastián para un momento del día, para luego comprobar estos resultados con una aplicación web de referencia esto para consolidar la posición del panel solar a lo largo de un año.

##### 3.1. Trayectoria del Sol en la Ciudad del Cusco

Para calcular la posición del sol en un lugar y momento específicos, podemos utilizar las ecuaciones del movimiento aparente del sol en el cielo. Existen diferentes fórmulas para este propósito, pero una de las más comunes es la llamada "Ecuación del tiempo" y las ecuaciones de coordenadas ecuatoriales del sol.

Primero, necesitamos calcular el ángulo horario, que es la medida angular del arco de la esfera celeste entre el meridiano local y el círculo horario del sol en el momento deseado. Luego, podemos usar este ángulo para calcular la altura y el azimut del sol en el cielo.

Aquí desarrollamos paso a paso el cálculo de la posición del sol a las 10:00 AM, 11:00 AM, 12:00 PM, 13:00 PM y 14:00 PM del 22/11/2021 para las coordenadas (-13.540031, -71.934818) ubicadas en la ciudad del Cusco - Perú.

**Datos para utilizar:**

Coordenadas: (Ubicación para los cálculos iniciales)

Latitud = -13.540031;

Longitud = -71.934818;

Zona Horaria = -5;

Día de prueba:

22 de noviembre de 2021

Hora = 10:00 AM a 14:00 PM

- **Calcular el día del año (Día juliano):**

**Variables**

Día = 22

M = 11 (Número del mes)

Y = 2021 (Año)

**Variables Auxiliares**

A = Año/100

B = ((2-A) + (A/4))

D = (Día + 0.5)

- **Día Juliano para el 22 de noviembre de 2021**

$$JD = [365.25(Y + 4716)] + [30.6001(M + 1)] + D + B - 1524.5$$

$$JD = 2459541$$

**Siglo Juliano**

$$SJ = ((DJ - 2451545) / 36525)$$

$$SJ = 0.2189$$

- **Calcular la ecuación del tiempo (ET):**

$$B = \frac{360 \times (N - 81)}{365}$$

$$E = 9.87 \times \sin(2B) - 7.53 \times \cos(B) - 1.5 \times \sin(B)$$

Donde  $N = 2459540$

$$B = \frac{360 \times (2459540 - 81)}{365}$$

$$B \approx 297.624$$

$$E \approx 9.87 \times \sin(2 \times 297.624) - 7.53 \times \cos(297.624) - 1.5 \times \sin(297.624)$$

$$E \approx -14.26 \text{ minutos}$$

- **Calcular la declinación solar ( $\delta$ ):**

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (N - 81)\right)$$

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (2459540 - 81)\right)$$

$$\delta = -20.86^\circ$$

- **Calcular el ángulo horario (H):**

Para cada hora local  $t$ , calculamos  $H$  usando:

$$H = 15^\circ \times (t - 12) + E$$

Para las 10:00 am

$$H1 = 15 \times (10 - 12) + 0.238$$

$$H1 \approx -29.762^\circ$$

Para las 11:00 am

$$H2 = 15 \times (11 - 12) + 0.238$$

$$H2 \approx -14.762^\circ$$

Para las 12:00 pm

$$H3 = 15 \times (12 - 12) + 0.238$$

$$H3 \approx 0.238^\circ$$

Para las 13:00 pm

$$H4 = 15 \times (13 - 12) + 0.238$$

$$H4 \approx 15.238^\circ$$

Para las 14:00 pm

$$H5 = 15 \times (14 - 12) + 0.238$$

$$H5 \approx 30.238^\circ$$

- **Calcular la altura solar (h):**

**10:00 AM:**

$$h1 = \arcsin(\sin(-13.540031^\circ) \times \sin(-20.44^\circ)$$

$$+ \cos(-13.540031^\circ) \times \cos(-20.44^\circ) \times \cos(-29.753^\circ))$$

$$h1 = \arcsin(-0.2343 \times -0.3499 + 0.9722 \times 0.9368 \times 0.8706)$$

$$h1 = \arcsin(0.0820 + 0.7914) \approx \arcsin(0.8734) \approx 60.96^\circ$$

**11:00 AM:**

$$h2 = \arcsin(\sin(-13.540031^\circ) \times \sin(-20.44^\circ)$$

$$+ \cos(-13.540031^\circ) \times \cos(-20.44^\circ) \times \cos(-14.753^\circ))$$

$$h2 = \arcsin(-0.2343 \times -0.3499 + 0.9722 \times 0.9368 \times 0.9673)$$

$$h2 = \arcsin(0.0820 + 0.8802) \approx \arcsin(0.9622) \approx 74.30^\circ$$

**12:00 PM:**

$$\begin{aligned}
 h3 &= \arcsin(\sin(-13.540031^\circ) \times \sin(-20.44^\circ) \\
 &\quad + \cos(-13.540031^\circ) \times \cos(-20.44^\circ) \times \cos(0.247^\circ)) \\
 h3 &= \arcsin(-0.2343 \times -0.3499 + 0.9722 \times 0.9368 \times 0.9999) \\
 h3 &= \arcsin(0.0820 + 0.9126) \approx \arcsin(0.9946) \approx \mathbf{82.87^\circ}
 \end{aligned}$$

**1:00 PM:**

$$\begin{aligned}
 h4 &= \arcsin(\sin(-13.540031^\circ) \times \sin(-20.44^\circ) \\
 &\quad + \cos(-13.540031^\circ) \times \cos(-20.44^\circ) \times \cos(15.247^\circ)) \\
 h4 &= \arcsin(-0.2343 \times -0.3499 + 0.9722 \times 0.9368 \times 0.9657) \\
 h4 &= \arcsin(0.0820 + 0.8763) \approx \arcsin(0.9583) \approx \mathbf{73.88^\circ}
 \end{aligned}$$

**2:00 PM:**

$$\begin{aligned}
 h5 &= \arcsin(\sin(-13.540031^\circ) \times \sin(-20.44^\circ) \\
 &\quad + \cos(-13.540031^\circ) \times \cos(-20.44^\circ) \times \cos(30.247^\circ)) \\
 h5 &= \arcsin(-0.2343 \times -0.3499 + 0.9722 \times 0.9368 \times 0.8630) \\
 h5 &= \arcsin(0.0820 + 0.7875) \approx \arcsin(0.8695) \approx \mathbf{60.41^\circ}
 \end{aligned}$$

- **Calcular el azimut solar (A):**

$$\begin{aligned}
 A1 &= \arctan\left(\frac{-\sin(-29.753^\circ)}{\cos(-29.753^\circ) \times \sin(-13.540031^\circ) - \tan(-8.17^\circ) \times \cos(-13.540031^\circ)}\right) \\
 A1 &= \arctan\left(\frac{0.4986}{0.8677 \times -0.2343 - (-0.1438) \times 0.9722}\right) \\
 A1 &\approx 248.10^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A2 &= \arctan\left(\frac{-\sin(-14.753^\circ)}{\cos(-14.753^\circ) \times \sin(-13.540031^\circ) - \tan(-8.17^\circ) \times \cos(-13.540031^\circ)}\right) \\
 A2 &= \arctan\left(\frac{0.2554}{0.9686 \times -0.2343 - (-0.1438) \times 0.9722}\right) \\
 A2 &\approx 244.34^\circ
 \end{aligned}$$

$$A3 = \arctan\left(\frac{-\sin(0.247^\circ)}{\cos(0.247^\circ) \times \sin(-13.540031^\circ) - \tan(-8.17^\circ) \times \cos(-13.540031^\circ)}\right)$$

$$A3 = \arctan\left(\frac{-0.0043}{0.9999 \times -0.2343 - (-0.1438) \times 0.9722}\right)$$

$$A3 \approx 272.14^\circ$$

$$A4 = \arctan\left(\frac{-\sin(15.247^\circ)}{\cos(15.247^\circ) \times \sin(-13.540031^\circ) - \tan(-8.17^\circ) \times \cos(-13.540031^\circ)}\right)$$

$$A4 = \arctan\left(\frac{-0.2634}{0.9682 \times -0.2343 - (-0.1438) \times 0.9722}\right)$$

$$A4 \approx 115.66^\circ$$

$$A5 = \arctan\left(\frac{-\sin(30.247^\circ)}{\cos(30.247^\circ) \times \sin(-13.540031^\circ) - \tan(-8.17^\circ) \times \cos(-13.540031^\circ)}\right)$$

$$A5 = \arctan\left(\frac{-0.5041}{0.8666 \times -0.2343 - (-0.1438) \times 0.9722}\right)$$

$$A5 \approx 111.90^\circ$$

### Cálculo del tiempo sideral medio en Greenwich.

```
float MediaGeo = (280.46646 + SJ*(36000.76983 + SJ*0.0003032));
```

```
MediaGeomS = fmod (MediaGeo,360);
```

### Cálculo de la anomalía media del sol.

```
float MediaSol = 357.52911+SJ*(35999.05029 - 0.0001537*SJ);
```

### Órbita Terrestre

```
float Orbitterr = 0.016708634-SJ*(0.000042037+0.0000001267*SJ);
```

```
//Ecuacion de control Solar
```

```
float SolEq = sin(radians(MediaSol))*(1.914602-SJ*(0.004817+0.000014*SJ)) +
sin(radians(2*MediaSol))*(0.019993-0.000101*SJ)+ sin(radians(3*MediaSol))*0.000289;
```

```
//Longitud Verdadera del Sol
```

```
float SolTrueL = (MediaGeomS + SolEq);
```

```
//Anomalia Verdadera del Sol
```

```
float SolAnoL = (MediaSol + SolEq);
```

```
//Radio Vector del Sol
```

```

float RvecSol = (1.000001018*(1 - sq (Orbitterr)))/(1+Orbitterr*cos(radians(SolAnoL)));
//Aplicación solar larga
float SunApp = SolTrueL-0.00569-0.00478*sin(radians(125.04-1934.136*SJ));
//Eclíptica Obliq Media
float EcliOM = 23+(26+((21.448-SJ*(46.815+SJ*(0.00059-SJ*0.001813))))/60)/60;
//Obliq Corregida
float ObliqC = EcliOM+0.00256*cos(radians(125.04-1934.136*SJ));
//Ascenso del Sol
floatSunAscen= =
degrees(atan2(cos(radians(SunApp)),cos(radians(ObliqC))*sin(radians(SunApp))));
//Declinacion Solar
float DecSun = degrees(asin(sin(radians(ObliqC))*sin(radians(SunApp))));
//Var Y
float Vary = tan(radians(ObliqC/2))*tan(radians(ObliqC/2));
//Eq del Tiempo
Float Eqtime = 4*degrees(Vary*sin(2*radians(MediaGeomS))-
2*Orbitterr*sin(radians(MediaSol))+4*Orbitterr*Vary*sin(radians(MediaSol))*cos(2*radians(M
ediaGeomS))-0.5*Vary*Vary*sin(4*radians(MediaGeomS))-
1.25*Orbitterr*Orbitterr*sin(2*radians(MediaSol)));
//HA Amanecer
float HASun = degrees(acos(cos(radians(90.833))/(cos(radians(Lat))*cos(radians(DecSun)))-
tan(radians(Lat))*tan(radians(DecSun))));
//Medio Día Solar
float MESun = (720-4*Long-Eqtime+ZonaH*60)/1440;
//Amanecer

```

```
float Sunris = MESun - HASun*4/1440;
```

```
float Sunrise = Sunris*24;
```

```
int Hora = Sunrise; //Hora
```

```
float Sunr = Sunrise - Hora;
```

```
float Minut = Sunr*60;
```

```
int Minuto = Minut; //Minuto
```

Por lo tanto, la hora de salida del sol para la fecha dada será:

Hss: 05:40 am

### Figura 47

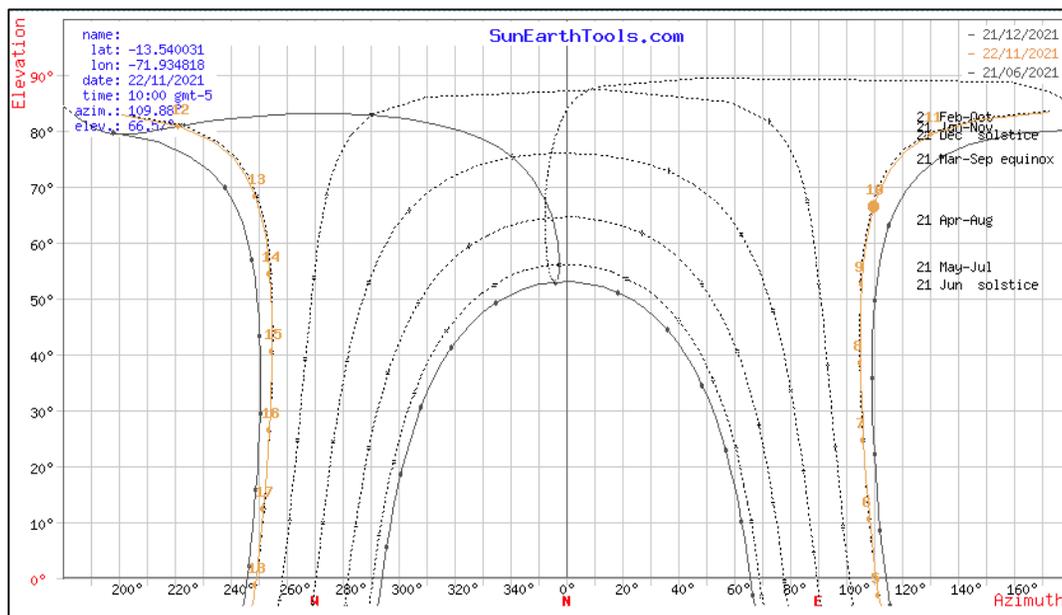
*Mapa de ubicación para evaluación del seguidor solar*



Fuente: [sunearthtools.com](http://sunearthtools.com)

Figura 48

Gráfico cartesiano1



Fuente: sunearthtools.com

Figura 49

Tabla de Posición del Sol

sol* posición	Elevación	Azimet	latitudes	longitudes
22/11/2021 12:00   GMT-5	80.83°	221.8°	13.5400310° S	71.9348180° W
crepúsculo	Sunrise	Puesta de sol	Azimet Sunrise	Azimet Puesta de sol
crepúsculo -0.833°	05:09:53	17:58:13	111.04°	248.84°
crepúsculo civil -6°	04:46:59	18:21:06	112.5°	247.38°
Náutica" crepúsculo -12°	04:20:04	18:48:03	114.49°	245.38°
El crepúsculo astronómico -18°	03:52:41	19:15:29	116.86°	242.99°
la luz del día	hh:mm:ss	diff. dd+1	diff. dd-1	Mediodía
22/11/2021	12:48:20	00:00:29	-00:00:29	11:34:03

Fuente: sunearthtools.com

**Figura 50***Trayectoria del Sol*

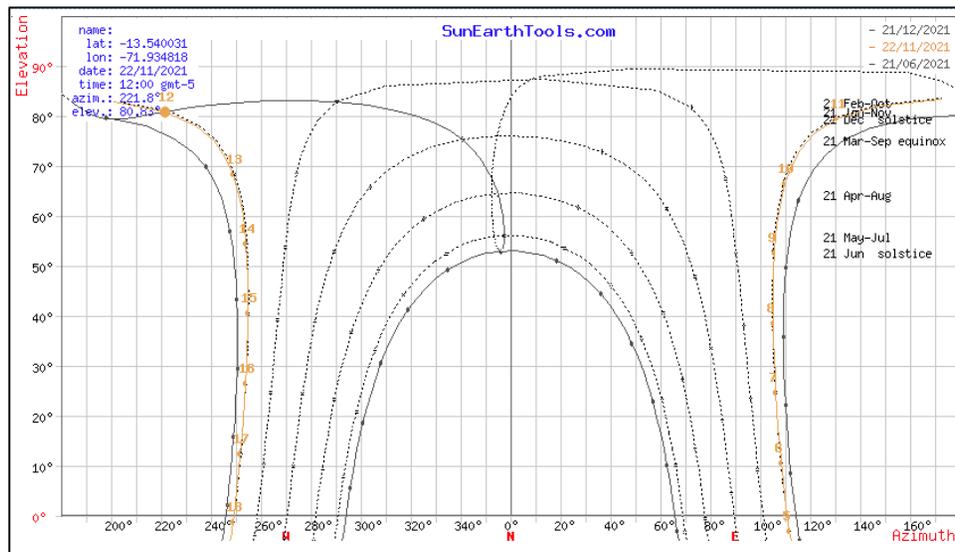
Fecha:	22/11/2021   GMT-5	
coordinar:	-13.540031, -71.934818	
ubicación:	-13.54003100,-71.93481800	
hora	Elevación	Azimut
05:09:53	-0.833°	111.04°
6:00:00	10.63°	108.46°
7:00:00	24.55°	106.33°
8:00:00	38.59°	105.26°
9:00:00	52.65°	105.74°
10:00:00	66.57°	109.88°
11:00:00	79.45°	130.79°
12:00:00	80.83°	221.8°
13:00:00	68.38°	248.88°
14:00:00	54.51°	253.93°
15:00:00	40.46°	254.71°
16:00:00	26.42°	253.79°
17:00:00	12.49°	251.79°
17:58:13	-0.833°	248.84°

Fuente: sunearthtools.com

**Figura 51***Mapa de ubicación y trayectoria para evaluación del seguidor solar*

Fuente: sunearthtools.com

**Figura 52**  
Gráfico cartesiano2



Fuente: sunearthtools.com

### Ángulos de movimiento de 10:00 a 14:00 horas donde se aprovechan la hora pico

Para calcular cuántos grados se mueve el sol desde tu punto de vista cada hora, necesitamos entender cómo varía el azimut y la altitud del sol a lo largo del día. En este caso, calcularemos el movimiento del sol en términos de azimut entre las 10:00 am y las 14:00 pm en la ciudad del Cuzco a 3300 msnm, el 22 de noviembre de 2021.

#### Cálculos Preliminares

Ya calculamos previamente los azimut a las 10:00 am y a las 14:00 pm:

Azimut a las 10:00 am: 108.14°

Azimut a las 14:00 pm: 251.86°

La diferencia total en azimut entre estas dos horas es 143.72°.

#### Movimiento por Hora

Dado que el intervalo de tiempo es de 4 horas, podemos calcular el movimiento promedio del sol por hora en términos de azimut dividiendo la diferencia total por el número de horas:

$$\text{Movimiento por hora} = \frac{143.72^\circ}{4 \text{ horas}} = 35.93^\circ/\text{hora}$$

### Resultado

El sol se mueve aproximadamente 35.93 grados en azimut cada hora desde las 10:00 am hasta las 14:00 pm en la ciudad del Cuzco a 3300 msnm, el 22 de noviembre de 2021.

Este cálculo es una aproximación y puede variar ligeramente debido a la inclinación de la órbita de la Tierra y otros factores astronómicos. Sin embargo, proporciona una buena estimación del movimiento del sol en el cielo desde tu punto de vista durante ese intervalo de tiempo.

## CAPITULO IV

### DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SEGUIDOR SOLAR

#### 4. INTRODUCCION

En este capítulo se desarrolla el diseño e implementación del seguidor solar y se define los requerimientos mecánicos y electrónicos.

##### 4.1. Diseño Mecánico

Para el modelado de diseños mecánicos en 2D y 3D se utilizó el programa de CAD SOLIDWORD. Se basa en el modelado paramétrico, lo que reduce la cantidad de trabajo necesario para crear y modificar distintas opciones de diseño.

SOLIDWORKS proporciona a ingenieros y diseñadores herramientas potentes y un software de diseño fácil de usar que les permite gestionar todo el proceso de desarrollo del producto (incluyendo la creación, validación, comunicación y administración) para garantizar la corrección del producto antes de su fabricación. Al mejorar la difusión de la información y la comunicación sobre el diseño de productos dentro de la organización y entre proveedores y clientes, es posible disminuir los costes de producción y acelerar el lanzamiento de nuevos artículos al mercado. Dibujos de taller, montaje, diseño mecánico y producto.

##### 4.1.1. Base y Estructura

La base proporciona la plataforma sobre la cual se monta el sistema de seguimiento. Debe ser lo suficientemente robusta para soportar el peso de los paneles solares y resistir las fuerzas del viento. La estructura suele ser metálica para garantizar la estabilidad y durabilidad.

**a.- Cálculo de peso de la estructura de soporte.**

Para la fabricación del soporte se utilizó angular de 1"x1"x3mm.

Peso de soporte de inclinación 01 (P01)

	<b>MEDIDA (M)</b>	<b>N° VECES</b>	<b>PESO UNITARIO Kg/M</b>	<b>PESO TOTAL (Kg)</b>
ANCHO	0.2	4	0.75	0.6
LARGO	0.52	2	0.75	0.78
				1.38

PESO DE SOPORTE DE INCLINACION 02 (P02)

	<b>MEDIDA (M)</b>	<b>N° VECES</b>	<b>PESO UNITARIO Kg/M</b>	<b>PESO TOTAL (Kg)</b>
ANCHO	0.52	2	0.75	0.78
LARGO	0.52	4	0.75	1.56
				2.34

**PESO DEL PANEL FOTOVOLTAICO**

$$P_{pf} = 8 \text{ kG} \quad (22)$$

**PESO TOTAL QUE SOPORTA LA ESTRUCTURA DE SOPORTE**

$$P_t = P_{01} + P_{02} + P_{pf} + f_{ly} \quad (23)$$

$$P_t = (1.38 + 2.34 + 8) * 9.8 \text{ m/s}^2 = 114.85 \text{ Kg.}$$

### b.- Cálculo de soporte base

El soporte base soporta el peso de la estructura, el panel y los accesorios, se consideró el tubo circular como una columna y utilizando la relación de esbeltez se determinó si es una columna larga o corta, para calcular la carga crítica y verificar que no se presenta el fenómeno de pandeo. Para determinar si la columna se considera corta o larga se utiliza la ecuación de la relación de esbeltez transicional o constante de columna,  $C_c$ , que se define como sigue:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad (24)$$

Si  $SR > C_c$ , entonces, la columna es larga, y se utiliza la fórmula de Euler.

Si  $SR < C_c$ , entonces, la columna es corta, y se utiliza la fórmula de J.B. Johnson.

Donde  $SR$  es la relación de esbeltez que viene dada por la siguiente ecuación:

$$SR = \frac{L_e}{r_{min}} = \frac{KL}{r_{min}} \quad (25)$$

En nuestro caso se seleccionó para el diseño conceptual un tubo circular en acero estructural

ASTM A-500 con un esfuerzo a la fluencia ( $S_y$ ) de 230 MPa

TUBO A500 GRADO B SIN COSTURA

E	190	GPA
$S_y$	230	MPA
Longitud	2	M
Diámetro Exterior	0.0603	m
Diámetro Interior	0.0543	m
Espesor	0.003	m

$$Cc = \sqrt{\frac{2x\pi^2x190x10^9}{230x10^6}}$$

$$Cc = 127.69$$

Para determinar el valor de SR tenemos en cuenta que se ha seleccionado para el diseño conceptual un tubo circular de 2 pulgadas y un espesor de 3.0 mm con una longitud real de 2 metros.

Ahora para obtener el valor de SR necesitamos saber el valor del radio de giro mínimo ( $r_{min}$ ) determinado por la ecuación:

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (26)$$

Donde:

$r_{min}$ : Radio de giro o radio de inercia mínimo

A: Área sección transversal

I: Momento de inercia de la sección transversal anular

D: Diámetro exterior de la sección circular (el diámetro externo del tubo o anillo).

d: Diámetro interior de la sección circular (el diámetro interno del tubo o anillo).

Estos últimos determinados por las fórmulas:

$$A = \frac{\pi}{4}D^2 - \frac{\pi}{4}d^2 \quad (27)$$

$$I = \frac{\pi}{64}D^4 - \frac{\pi}{64}d^4 \quad (28)$$

Reemplazando datos obtenemos:

$$A = 0.000540041 \text{ m}^2$$

$$I = 2.22246E - 07 \text{ m}^4$$

$$r_{min} = \sqrt{\frac{2.22246E - 07 \text{ m}^4}{0.000540041 \text{ m}^2}}$$

$$r_{min} = 0.020286356 \text{ m}$$

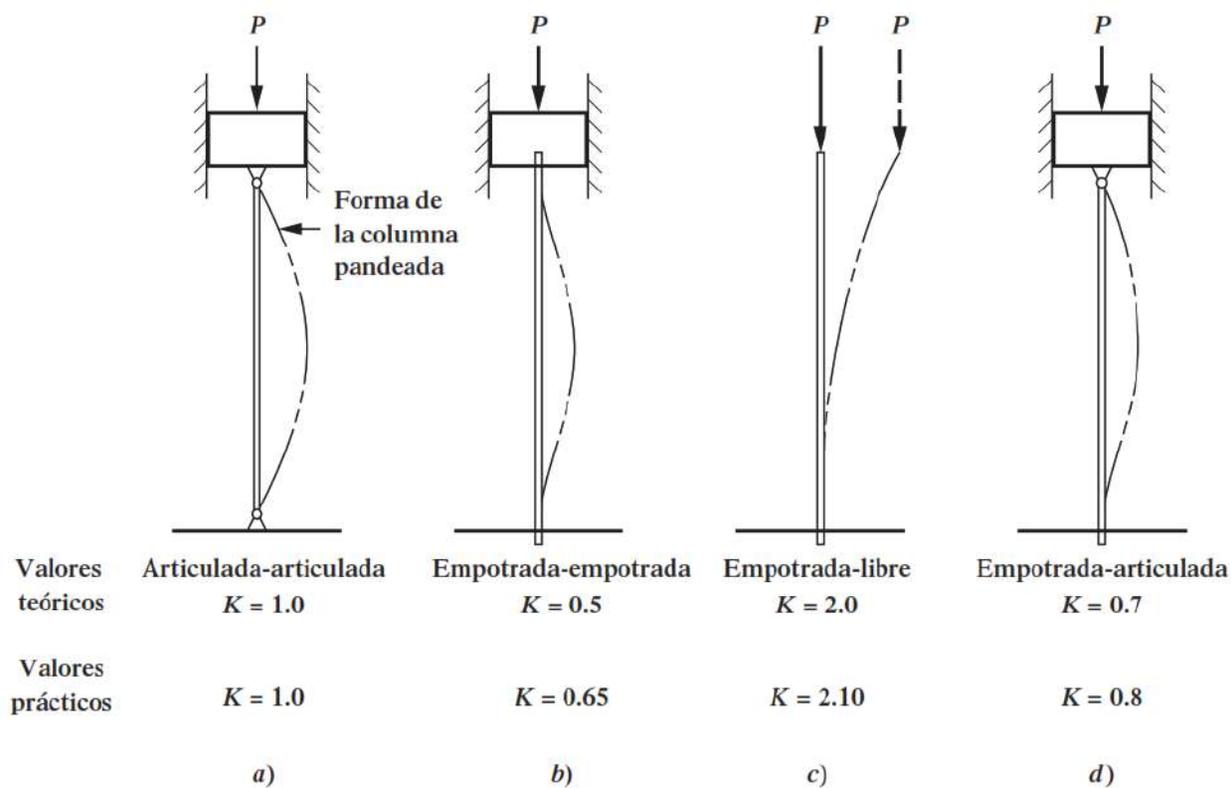
Determinando que el tubo esta fija en un extremo y libre en el otro y reemplazar estos valores en la siguiente ecuación podemos calcular SR Para una columna con un extremo empotrado y otro libre se tiene que  $K=2$  (ver Figura 01)

$$SR = \frac{L_e}{r_{min}} = \frac{KL}{r_{min}} \quad (29)$$

Determinación de la longitud efectiva

**Figura 53**

Valores de K para obtener la longitud efectiva, para distintas conexiones en los extremos



**Fuente:** (Mott, 2006)

Para una columna con un extremo empotrado y otro libre se tiene que  $K=2$

$$SR = \frac{Le}{r_{min}} = \frac{KL}{r_{min}} = \frac{2 \times 2m}{0.020286356 \text{ m}}$$

$$SR = \frac{Le}{r_{min}} = \frac{KL}{r_{min}} = \frac{2 \times 2m}{0.020286356 \text{ m}}$$

$$SR = 197.17$$

Tenemos que  $SR > Cc$  ( $197,17 > 127,69$ ) lo que nos indica que la columna es larga y se utilizara para nuestro caso la ecuación de Euler Reemplazando valores:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_e^2} \quad (30)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 190 \times 10^9 \text{ Pa} \times 2.22246 \text{ E} - 07 \text{ m}^4}{(2 \times 2 \text{ m})^2}$$

$$P_{cr} = 26.04 \text{ KN}$$

Después de hallar la carga critica ( $P_{cr} = 26,04 \text{ kN}$ ) a la cual empieza a pandearse la columna debemos encontrar una carga admisible ( $P_a$ ) que tendría un valor más pequeño y se calcula aplicando un factor de diseño ( $N$ ) a la carga critica. Para nuestro caso emplearemos un factor de diseño de  $N=3$  para calcular dicha carga.

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N} = \frac{26.04 \text{ KN}}{3} = 8.68 \text{ KN}$$

El soporte base del seguidor va a resistir el peso del panel, de la estructura donde está montado el panel y los accesorios. A este peso le aumentamos un 20% para seguridad.

$$P_{total} = [(P_{panel} + P_{estructura} + P_{accesorios}) * 1,2] (9,81)$$

$$P_{total} = 11.72 * 1.2 * 9.8 = 137.83 \text{ N}$$

Esto quiere decir que  $P_{total} \ll pa$  ( $137.83 N \ll 8680 N$ ) dejando claro que la columna seleccionada no va a fallar por el fenómeno de pandeo.

### c.- Diseño y cálculo de la placa base

#### Datos

Carga Última		
Pu	11.72	Kg
Propiedades geométricas		
Diámetro tubería	6.03	cm

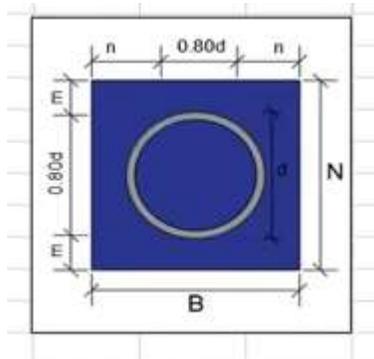
Propiedades de material		
Plancha base		
Tipo de acero	ASTM A-36	
fy	2530	kg/cm <sup>2</sup>

Concreto		
fy	210	kg/cm <sup>2</sup>

Predimensionamiento		
Plancha base		
d	22	cm
B-H	50.03	cm
Área	2503.0009	cm <sup>2</sup>
Pedestal		
d	5	cm
B-H	60.03	cm
Área	3603.6009	cm <sup>2</sup>

#### Espesor de la placa base

Longitud de placa en voladizo		
m-n	22.603	cm



$$m = n = \frac{N - 0.8d}{2} \quad (31)$$

$$m = n = \frac{50.03 - 0.8 \times 6.03}{2} = 22.603$$

### Cálculo del espesor de la placa base

$$t_p \geq n \sqrt{\frac{2P_u}{\phi f_y B N}}$$

$$t_p \geq 22.603 \times \sqrt{\frac{2 \times 11.72 \text{ Kg}}{0.90 \times 2530 \text{ kg/cm} \times 2 \times 50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}}}$$

$$t_p \geq 0.46 \text{ mm}$$

De acuerdo al cálculo del espesor de la plancha base se seleccionó una placa de acero ASTM A36 de 2mm de espesor de 50 cm x 50 cm.

### d.- Selección del actuador lineal

#### Cálculo de fuerza del viento

Por tanto, la fuerza que actúa sobre la proyección de una superficie inclinada debida a la presión del viento está dada por:

$$F = P * S * \text{sen } \alpha$$

( 32 )

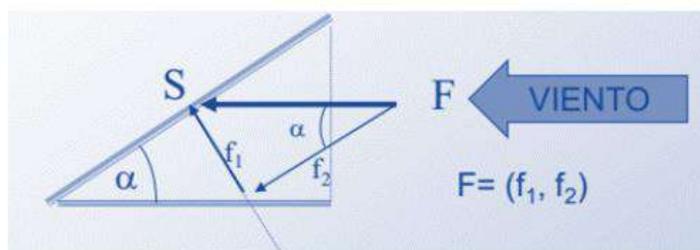
La fuerza F debido al viento que actúa sobre la proyección vertical de la superficie S se descompone en dos fuerzas:

$f_1 = F * \sin \alpha$  Que actúa perpendicularmente a la superficie, e intentará levantar la estructura actuando sobre el anclaje de ésta.

$f_2 = F * \cos \alpha$  Que lo hace paralelamente y sus efectos se desvanecen en rozamientos y remolinos a lo largo de la superficie.

**Figura 54**

Componentes de la fuerza del viento



Fuente: Elaboración Propia.

La fuerza  $f_1$  que actúa en sentido normal al panel es la única a tener en cuenta. De acuerdo a lo anterior un arreglo FV está sometido a una fuerza debido a la presión frontal del viento dada por:

$$f_1 = P * S * (\sin \alpha)^2 \quad (33)$$

Dónde: S: superficie del colector  $\alpha$ : Ángulo de inclinación con la horizontal P: presión frontal del viento, presión que ejercería sobre una superficie perpendicular al mismo. Depende de la velocidad.

Para un valor de 12 m/s en la ciudad de cusco se tiene que la presión del viento de acuerdo a la siguiente tabla.

#### Presión frontal del viento en función de su velocidad

V (m/s)	V (Km/h)	P (N/m <sup>2</sup> )	P (kp/m <sup>2</sup> )
5	18	15	1.6
6	21.6	22	2.2
7	25.2	30	3.1
8	28.8	39	4
9	32.4	50	5.1
10	36	61	6.2
11	39.6	74	7.5
12	43.2	88	9
13	46.8	103	10.5
14	50.4	120	12.2
15	54	138	14
16	57.6	157	16
17	61.2	177	17
18	64.8	198	20.2

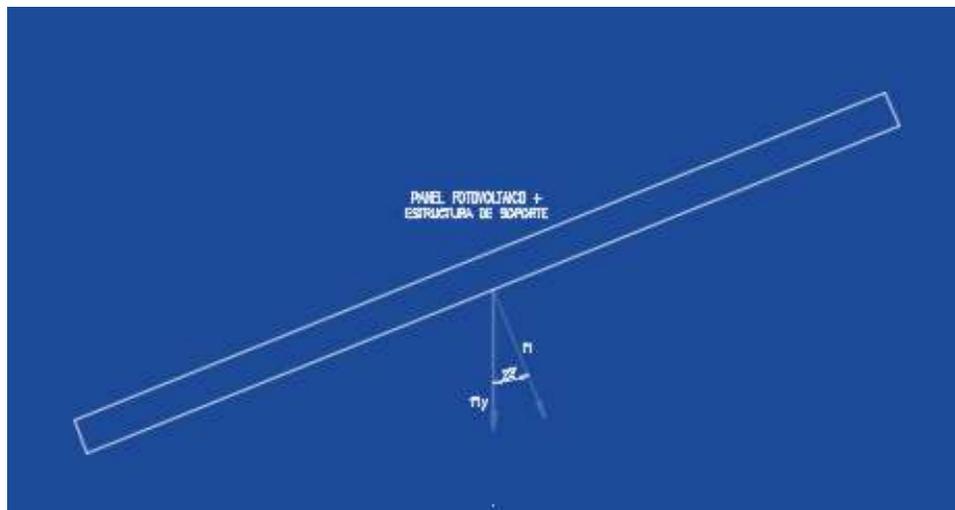
Longitud de panel	1 m
ancho	0.5 m
velocidad del viento	12 m/s
Angulo de panel	30°

$$f1 = 88 \text{ N/m}^2 \times 0.5 \times 1 * x \sin(22^\circ)^2$$

$$f1 = 7.71 \text{ N}$$

### Figura 55

Panel y estructura de soporte



Fuente: Elaboración Propia.

$$f1y = f1 \times \cos 22^\circ$$

$$f1y = 7.71 \times \cos 22^\circ$$

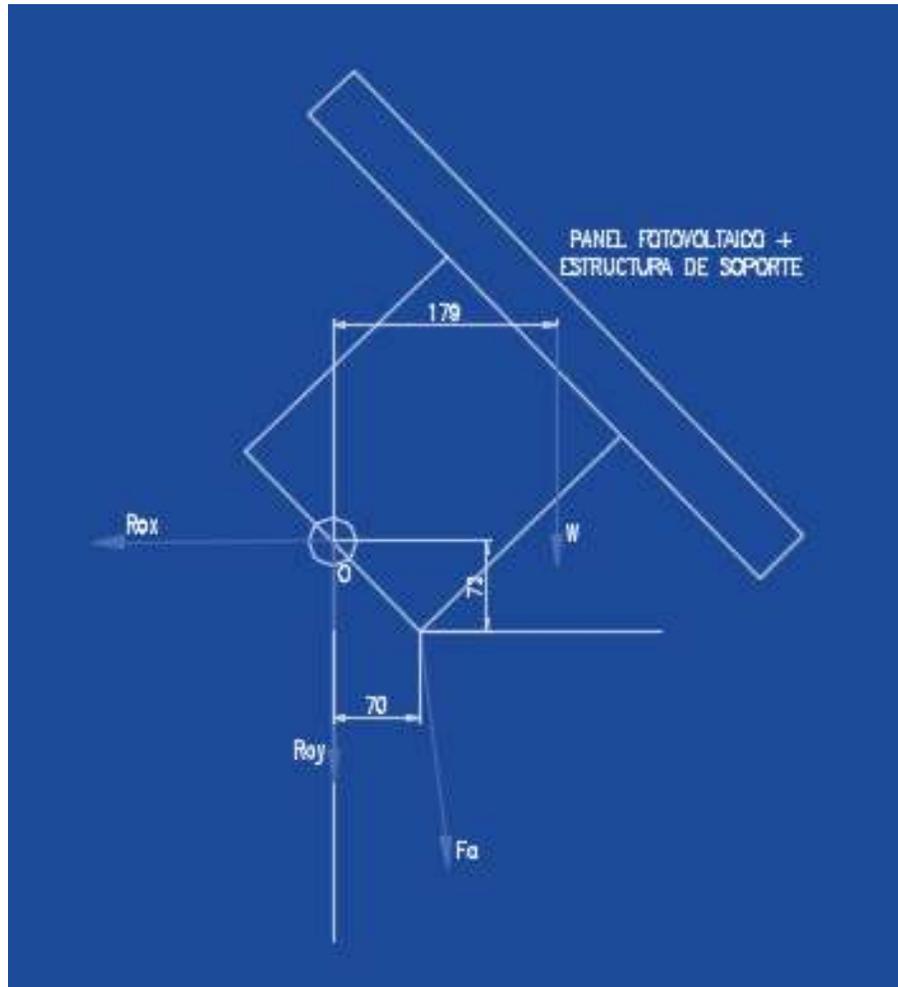
$$f1y = 7.14 \text{ N}$$

### Calculo y selección del actuador

El actuador se seleccionó teniendo en cuenta la carrera y fuerza necesaria para mantener la estructura estática en la posición óptima, soportando la presión ejercida por el viento y la ejercida por el peso de toda la estructura incluyendo el panel.

**Figura 56**

Diagrama de cuerpo libre seguidor posición N° 01



Fuente: Elaboración Propia.

Diagrama de cuerpo libre seguidor posición N° 01 Fuente: Elaboración propia

$$W = ((2.34 \text{ Kg} + 8 \text{ Kg}) \times (9.8 \text{ m/s}^2)) + f_{ly}$$

$$W = ((2.34 \text{ Kg} + 8 \text{ Kg}) \times (9.8 \text{ m/s}^2)) + 7.14 \text{ N}$$

$$W = 108.48$$

$$\sum M_o = 0$$

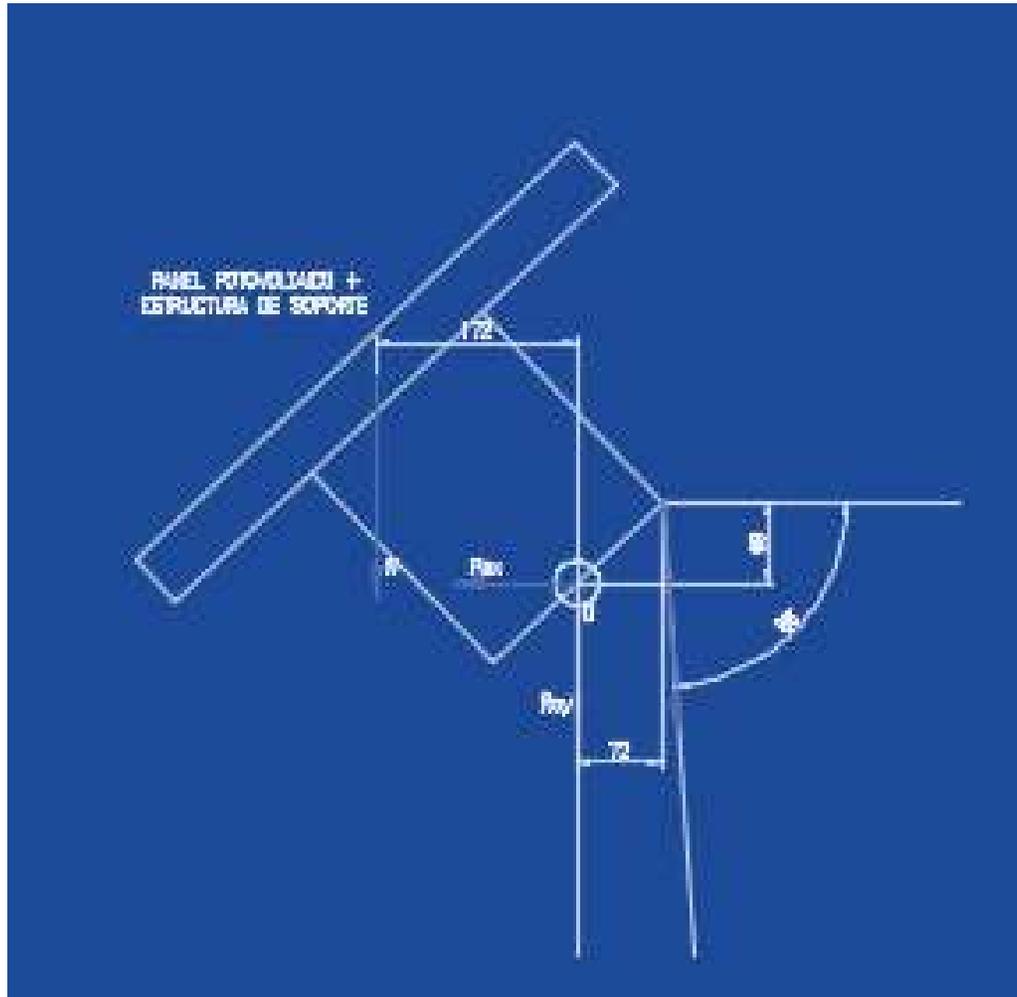
$$-W \times 179 \text{ mm} - F_a \times \cos 7^\circ \times 70 \text{ mm} + F_a \times \cos 83^\circ \times 72 \text{ mm} = 0$$

$$-108.48 \times 179 \text{ mm} - F_a \times \cos 4^\circ \times 70 \text{ mm} + F_a \times \cos 83^\circ \times 72 \text{ mm} = 0$$

$$F_a = 142.50 \text{ N}$$

**Figura 57**

Diagrama de cuerpo libre seguidor posición N° 02



Fuente: Elaboración Propia.

Diagrama de cuerpo libre seguidor posición N° 02 Fuente: Elaboración propia

$$\sum M_o = 0 \quad (34)$$

$$W \times 172 \text{ mm} - F_a \times \cos 4^\circ \times 72 \text{ mm} - F_a \times \cos 86^\circ \times 69 \text{ mm} = 0$$

$$+108.48 \times 172 \text{ mm} - F_a \times \cos 4^\circ \times 72 \text{ mm} - F_a \times \cos 86^\circ \times 69 \text{ mm} = 0$$

$$F_a = 147.84 \text{ N}$$

De acuerdo a los cálculos realizados en ambos casos la fuerza máxima requerida por el actuador es:

$$F_{a \text{ max}} = 147.84 \text{ N}$$

**De acuerdo al cálculo de la fuerza requerida por el actuador se seleccionó 01 actuador con capacidad de carga de 500 N.**

Por otro lado, el actuador lineal tiene que trabajar de una manera segura durante un largo período de tiempo y bajo condiciones ambientales adversas. Los actuadores lineales utilizados vienen con protección IP65, la cual se traduce en una protección completa contra contacto, sedimentaciones de polvo en el interior y contra chorros de agua en diferentes direcciones.

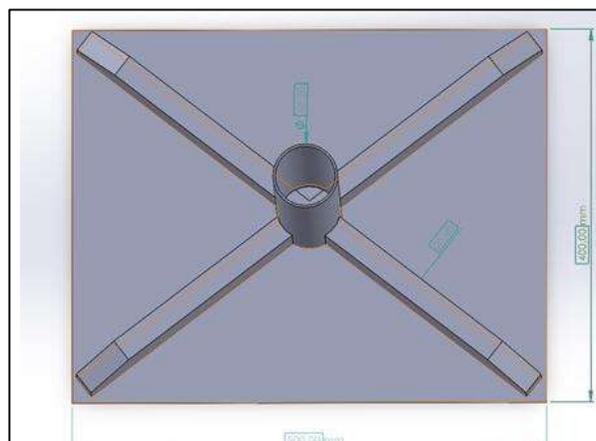
#### **e.- Elaboración de la estructura base**

Materiales utilizados:

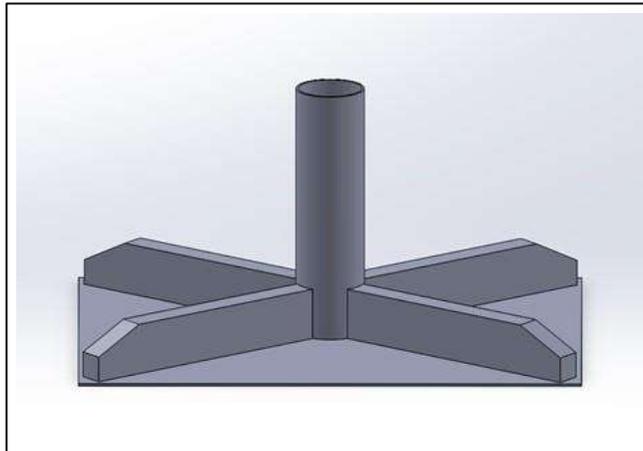
- Plancha metálica de 400mm x 500mm, e= 4.76 mm
- Tubo rectangular 25.4mm x 50.8mm, e= 1.5 mm
- Tubo redondo 250mm,  $\varnothing = 57.15 \text{ mm}$ , e= 2.0 mm

**Figura 58**

*Medidas base de apoyo*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 59***Base de apoyo*

Fuente: Elaboración propia

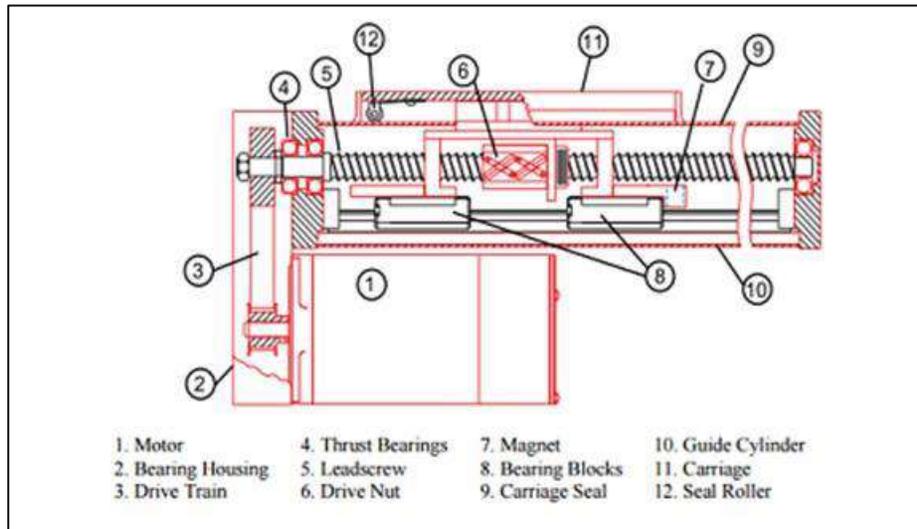
#### ***4.1.2. Eje de Rotación***

Este eje es el componente principal alrededor del cual gira el seguidor solar para seguir el movimiento del sol a lo largo del día. Debe ser resistente y preciso para garantizar un seguimiento preciso del sol.

#### ***4.1.3. Actuador Lineal***

El actuador lineal es el dispositivo responsable de ajustar la inclinación del panel solar a lo largo del eje de rotación. Consiste en un motor eléctrico que impulsa un husillo o una barra roscada para mover el panel hacia arriba o hacia abajo, permitiendo así optimizar la exposición solar.

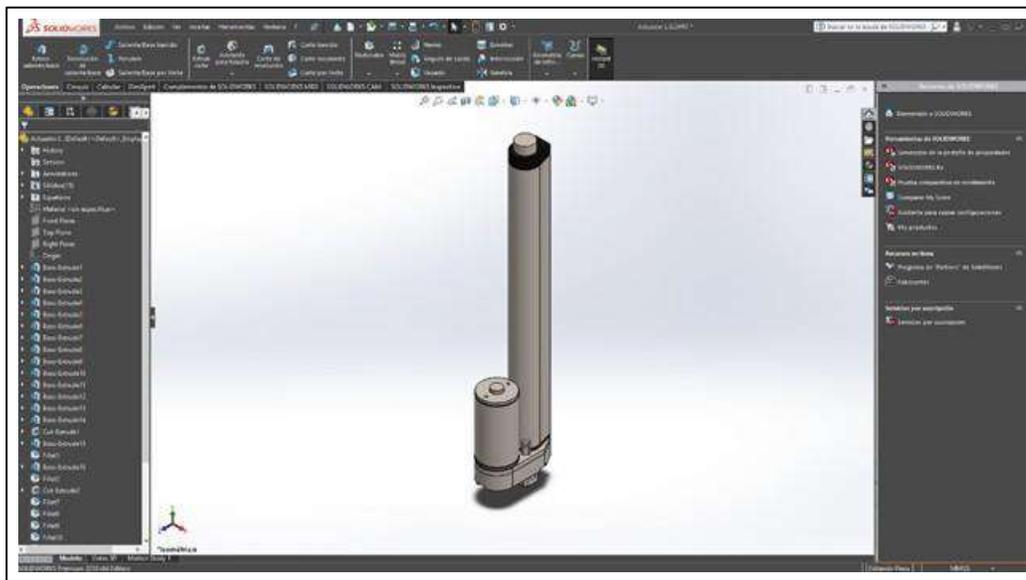
**Figura 60**  
*Screw-Drive*



Fuente: (Stack Exchange, 2016)

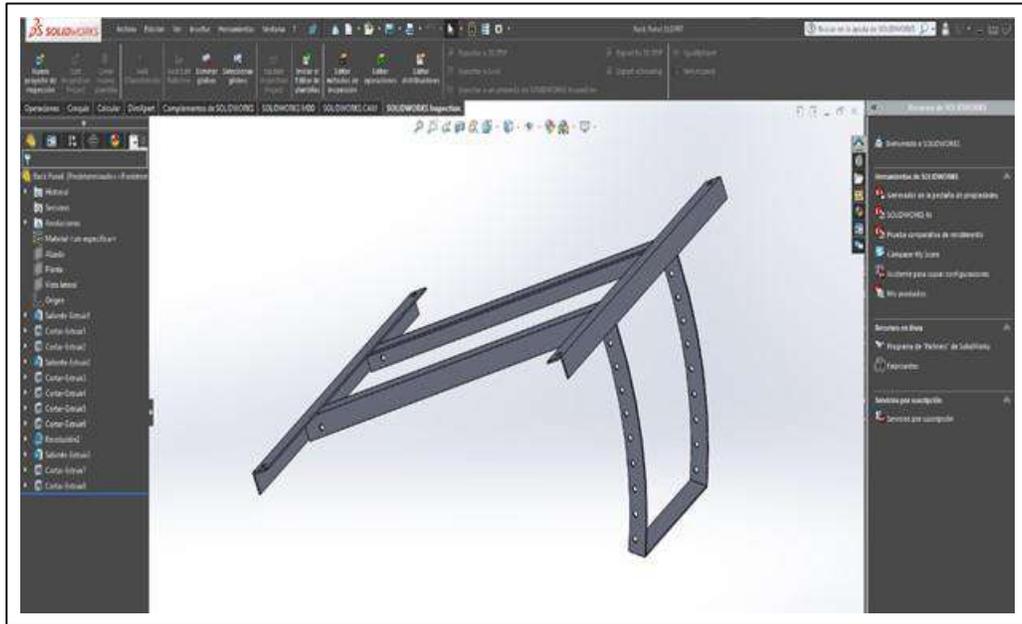
#### 4.1.4. Esquema de Seguidor Solar

**Figura 61**  
*Actuador Lineal*



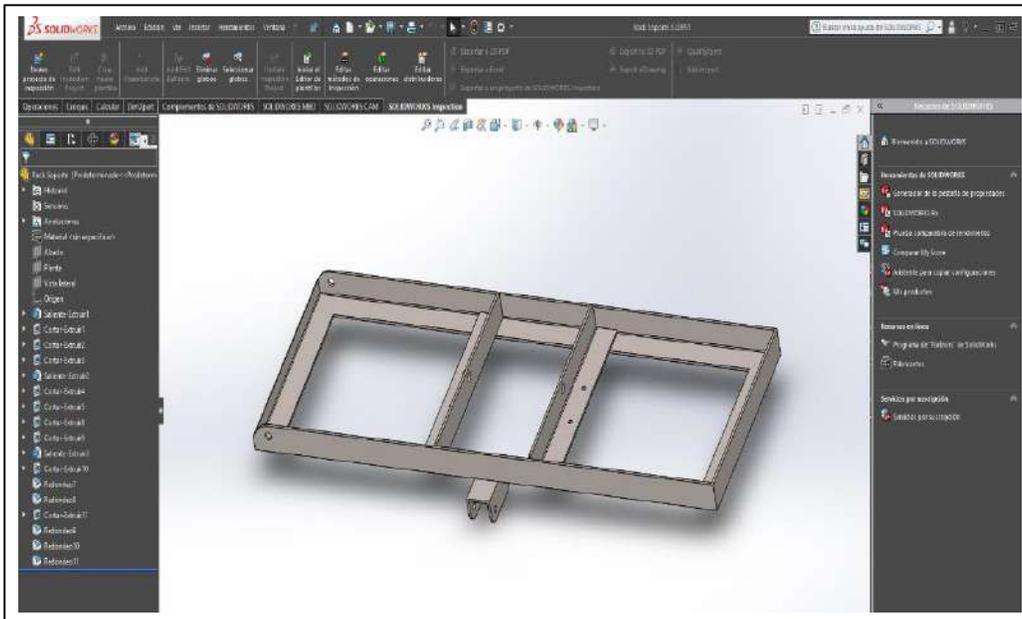
Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 62**  
*Rack de panel solar*



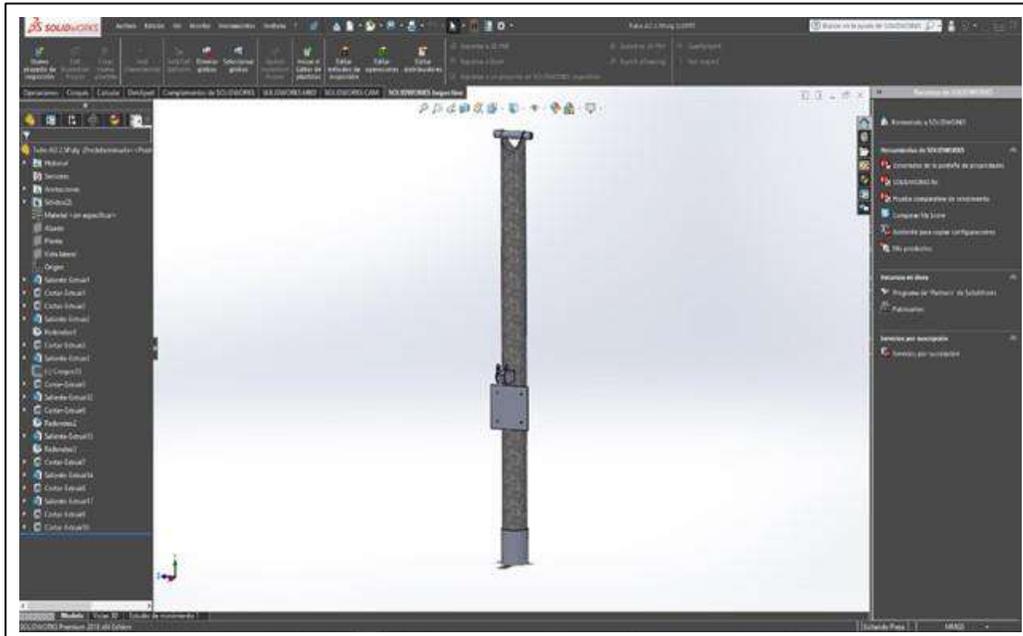
Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 63**  
*Rack de soporte*



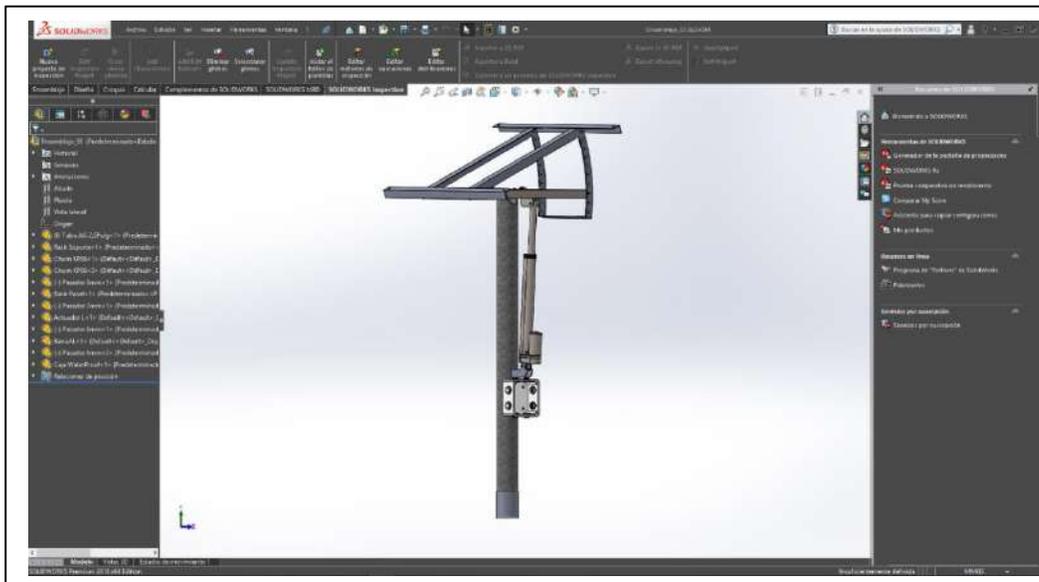
Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 64**  
*Mástil de soporte*



Fuente: Elaboración Propia.

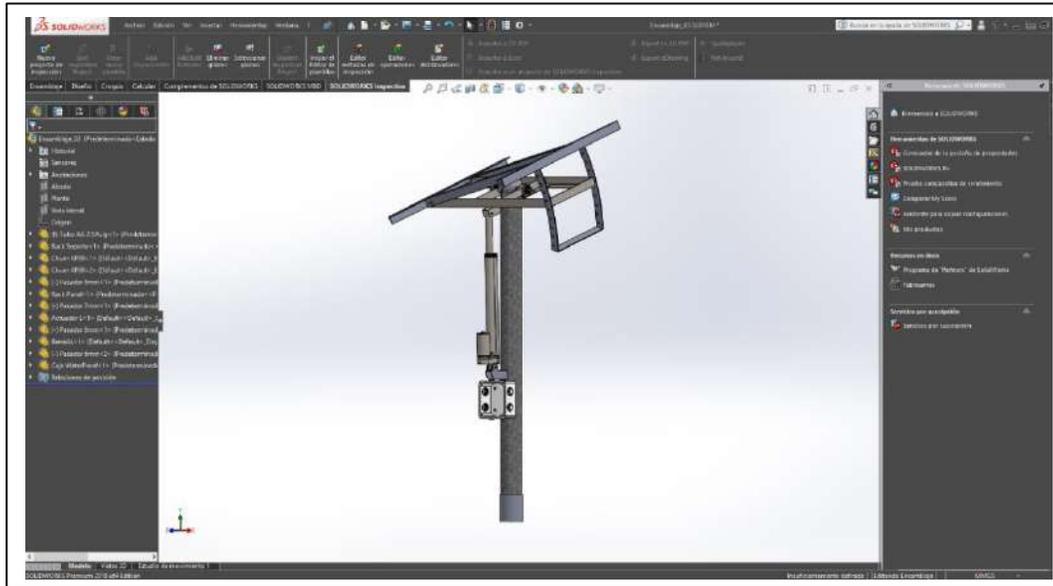
**Figura 65**  
*Sistema mecánico de movimiento solar*



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 66

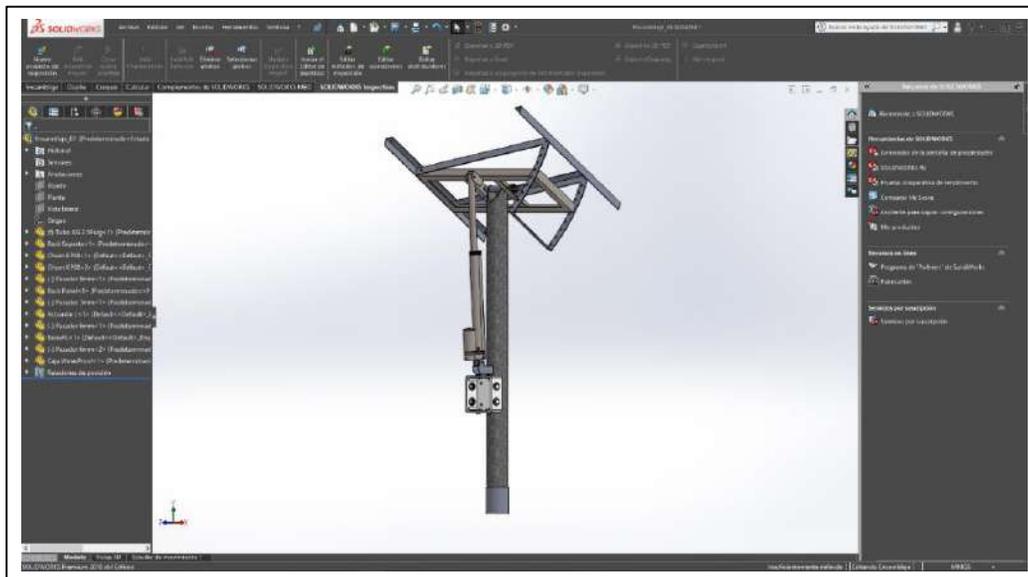
*Sistema mecánico de movimiento solar*



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 67

*Sistema mecánico de movimiento solar*



Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.5. Representación de Seguidor Solar

**Figura 68**

*Prototipo Seguidor Solar*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 69**

*Prototipo Seguidor Solar*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 70***Prototipo Seguidor Solar*

Fuente: Elaboración Propia.

## **4.2. Diseño Electrónico**

El diseño electrónico de un seguidor solar utilizando un módulo Arduino se basa en la determinación de la posición del sol mediante cálculos de elevación y azimuth. Estos cálculos se realizan utilizando la hora del día, la latitud y longitud geográfica, y otros parámetros astronómicos. Una vez determinada la posición del sol, el Arduino controla un actuador para ajustar la orientación de los paneles solares y maximizar la captación de energía solar.

### **4.2.1. Arduino Uno**

El Arduino actúa como el controlador central del sistema, calculando la posición del sol y controlando el actuador en consecuencia.

#### **4.2.2. Actuator Lineal y Motor**

El motor eléctrico del actuador lineal es controlado por el controlador y se encarga de ajustar la posición de los paneles solares según las instrucciones recibidas.

#### **4.2.3. Placa de Prototipado y Componentes Electrónicos**

Se necesitarán resistencias, cables y otros componentes para conectar el actuador y otros componentes al Arduino.

#### **4.2.4. Fuente de Energía**

El sistema requiere una fuente de energía para alimentar el controlador (Arduino Uno), los sensores y el actuador lineal. Esto puede ser proporcionado por una batería recargable conectada a paneles solares adicionales.

#### **4.2.5. Diseño del Circuito**

El diseño del circuito implica conectar el actuador al Arduino y proporcionar la alimentación necesaria para ambos. Se pueden utilizar salidas digitales del Arduino para controlar el actuador.

#### **4.2.6. Programación del Arduino**

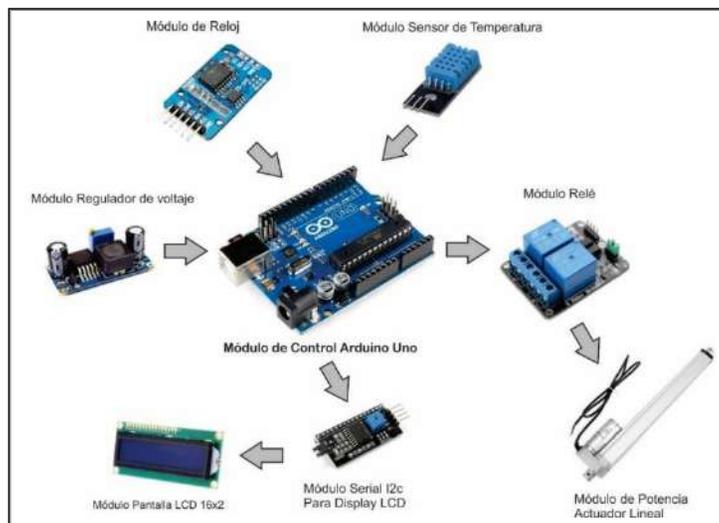
La programación del Arduino es esencial para el funcionamiento del seguidor solar. El programa debe realizar las siguientes tareas:

- Calcular la posición del sol utilizando la hora del día, la latitud y longitud geográfica, y otros parámetros astronómicos.
- Utilizar estos cálculos para determinar la orientación óptima de los paneles solares.

- Controlar el actuador para ajustar la orientación de los paneles solares en consecuencia.
- El código debe ejecutarse continuamente para garantizar un seguimiento en tiempo real del sol.

**Figura 71**

*Módulos del microcontrolador*



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.7. Sensores y Módulos

##### 4.2.7.1. Módulo pantalla lcd 16x2.

**Figura 72**

*Pantalla LCD Arduino*



Fuente: (Tecnopura, 2012)

Con un proceso de instalación sencillo, esta pantalla LCD con una configuración de 16 caracteres x 2 líneas es totalmente compatible con Arduino, Raspberry Pi y otras plataformas de microcontroladores. Es totalmente compatible con cualquier biblioteca LCD de compiladores que están actualmente disponibles en el mercado. Esta pantalla de cristal líquido (LCD) se emplea en diversos dispositivos, como equipos de pruebas industriales, impresoras láser, faxes, fotocopiadoras y equipos de red como routers y dispositivos de almacenamiento. Un potenciómetro es un instrumento fundamental que se emplea para modificar el contraste de las letras.

**Tabla 8**

*Características módulo pantalla*

Especificaciones técnicas	
Módulo de pantalla lcd 16x2 de luz de fondo azul.	
Construcción	Cob (chip-on-board)
Formato de presentación	Carácter 16x2
Tipo de pantalla	Stn, reflectivo, azul negativo,
Controlador	Splc780d1 o controlador equivalente
Interfaz	4-bit 8-bit de interfaz paralelo
Color carácter	Blanco
Dirección de la vista	6:00
Esquema de conducción	1/16 ciclo de trabajo, 1/5 bias
Voltaje de alimentación	5,0 v
V <sub>lcd</sub> ajustable para el mejor contraste	5,0 v (v <sub>op</sub> ).
Temperatura de funcionamiento	-10 ° c a +60 ° c
Temperatura de almacenamiento	-20 ° c a +70 ° c

Fuente: (Tecnopura, 2012)

#### 4.2.7.2. Módulo serial i2c para display lcd Arduino.

**Figura 73**

*Pantalla LCD Arduino*



Fuente: (Tecnopura, 2012)

Muchas veces la cantidad de pines disponibles en Arduino es limitada, por tanto, después de conectar display y sensores solo quedan unos pocos pines para su uso.

El Módulo Adaptador LCD a I2C que emplearemos está basado en el controlador I2C PCF8574, que funciona como un Expansor controlado por I2C para Entradas y Salidas Digitales. Debido a la arquitectura única del PCB, este módulo es especialmente adecuado para operar un LCD Alfanumérico.

**Tabla 9**

*Especificaciones técnicas*

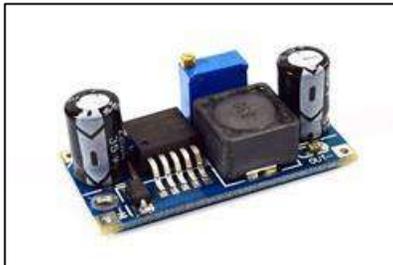
Especificaciones técnicas	
Voltaje de operación:	5v
Peso:	6g
Tamaño:	54mm/19 mm (largo/ancho)
Pines:	16
Dirección i2c:	0x20~0x27
Compatible con display 16x2 y display 20x4	

Fuente: Elaboración propia.

### 4.2.7.3. Módulo regulador de voltaje

**Figura 74**

*Regulador de Voltaje*



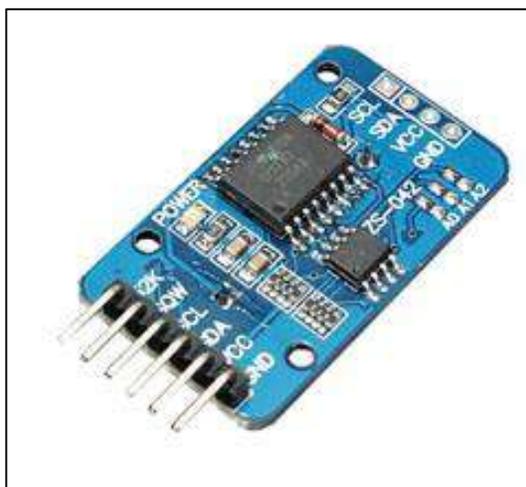
Fuente: (Tecnopura, 2012)

Este módulo facilita el control de una tensión a partir de una fuente de alimentación que tenga una tensión mayor. Algunos ejemplos de dispositivos que pueden utilizarse para gestionar una fuente de alimentación de 12 V y ajustarla a 9 V, 5 V, 3,3 V o 2,2 V son microcontroladores, Arduino, PIC, Raspberry Pi, fuentes variables y controladores LED.

Este módulo utiliza el regulador reductor CC-CC LM2596, un circuito integrado de un solo chip muy adecuado para la construcción sencilla y directa de una fuente de alimentación conmutada de tipo buck. Tiene la capacidad de generar una corriente de hasta 3A. Gestiona eficazmente una carga manteniendo una gran regulación de línea y minimizando la tensión de rizado. Este gadget está equipado con una función de tensión de salida variable. El módulo reduce la dependencia de componentes externos para agilizar el diseño de la fuente de alimentación.

**Tabla 10***Especificaciones técnicas*

Especificaciones Técnicas	
Voltaje de entrada:	3.2V a 40V
Voltaje de salida:	1.25V a 35V regulable
Corriente de salida máxima:	3A (para mantenerlos es necesario añadir un disipador)
Eficiencia máxima de conversión:	92%
Rizado:	<30mV
Frecuencia de conmutación:	65KHz
Temperatura de funcionamiento:	-45° a 85° C
Dimensiones:	43 x 21 x 14 (mm)

**4.2.7.4. Módulo de reloj en tiempo real.****Figura 75***Reloj en tiempo real*

Fuente: (Tecnopura, 2012)

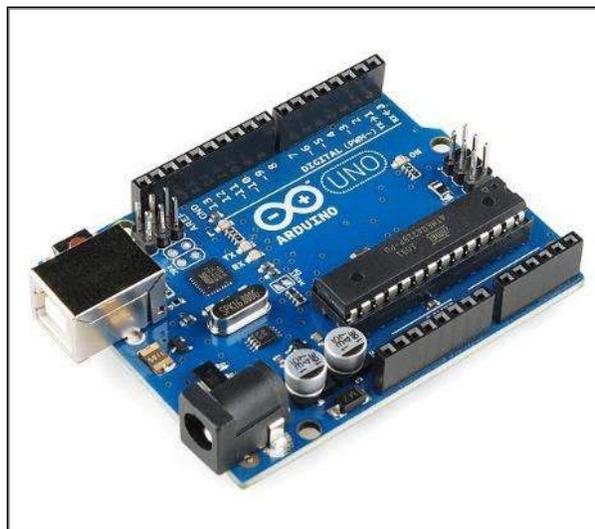
El Módulo DS3231 AT24C32 IIC es un Módulo de reloj en tiempo real, de alta precisión para Arduino

El módulo DS3231 nos permite monitorizar y documentar con precisión el paso del tiempo en nuestro microcontrolador. El módulo ofrece diversas posibilidades de proyecto, como instrumentos de registro de datos, alertas y estaciones de sensores.

**Tabla 11***Características módulo regulador*

Especificaciones Técnicas	
Voltaje de Operación:	3.3V - 5V
RTC de alta precisión:	DS3231 con oscilador interno
Exactitud Reloj:	2ppm
Dirección I2C del DS3132:	Read (11010001), Write (11010000)
Memoria EEPROM AT24C32	4K * 8bit = 32Kbit = 4KByte
Comunicación I2C	Solo utiliza 2 cables.
Salida de onda cuadrada	Programable
Tiempo de vida de la batería	Puede mantener al RTC funcionando por 10 años.
Puede ser usado en cascada con otro dispositivo I2C.	La dirección del AT24C32 puede ser modificada (por defecto es 0x57)

Fuente: (Tecnopura, 2012)

**4.2.7.5. Módulo de control Arduino.****Figura 76***Módulo de control Arduino*

Fuente: (Unit Electronics, 2021)

El Arduino Uno R3 es una placa eléctrica que utiliza el microprocesador Atmega328 e incorpora un módulo USB mejorado. El dispositivo tiene un total de 14 entradas/salidas digitales, con seis de ellas con capacidad para generar salidas PWM. Además, dispone de un oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una interfaz ICSP, un pulsador de reinicio y seis entradas analógicas. La placa se suministra con todos los componentes

necesarios para proporcionar asistencia al microcontrolador. Para empezar a utilizar la placa, conéctela al ordenador mediante una conexión USB o cárguela utilizando un adaptador de corriente CA/CC. Para iniciar la función, también es posible alimentarla mediante una batería. El UNO no utiliza el conversor de USB a serie de FTDI, que es una característica destacada del UNO. En su lugar, incluye el microprocesador Atmega8U2 que ha sido programado para funcionar como conversor USB a serie. La UNO es la última iteración de placas Arduino USB y actúa como modelo estándar de la plataforma Arduino.

**Tabla 12**

*Características módulo de reloj*

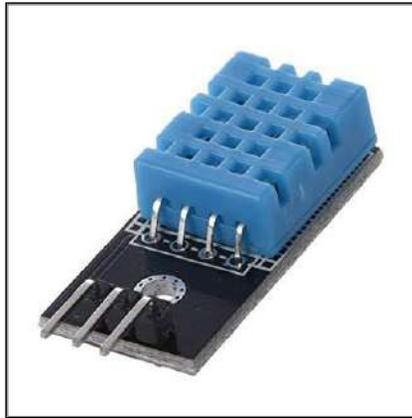
Especificaciones Técnicas	
Microcontrolador	ATmega328P
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pernos digitales de E / S	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
PWM Digital I / O Pins	6
Clavijas de entrada analógica	6
Corriente DC por Pin de E / S	20 mA
Corriente DC para 3.3V Pin	50 mA
Memoria flash	32 KB (ATmega328P) de los cuales 0.5 KB utilizados por el cargador de arranque
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Velocidad de reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Longitud	68.6 mm
Anchura	53.4 mm
Peso	25 g

Fuente: (Unit Electronics, 2021)

#### 4.2.7.6. Módulo sensor de temperatura.

**Figura 77**

*Modulo Sensor de Temperatura*



Fuente: (Unit Electronics, 2021)

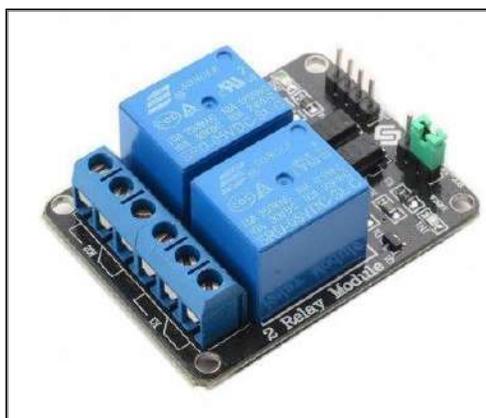
El DHT11 es un sensor que cuantifica la temperatura y la humedad y proporciona una salida digital calibrada. La tecnología utilizada garantiza un alto grado de fiabilidad y una notable durabilidad a largo plazo. Esta tecnología es compatible con Arduino, PIC, AVR, COP, DSP, STM32 y otras tecnologías comparables. Este producto ofrece una calidad excelente, una respuesta rápida, una gran resistencia a las interferencias y una excelente relación coste-eficacia, todo ello a un precio razonable.

El rango de medición de temperatura de este sensor es de 0 a 50 °C, con una precisión de  $\pm 2,0$  °C. El dispositivo también incluye un rango de humedad que va del 20% al 90% de humedad relativa (HR) y tiene una precisión del 4% de HR. Los ciclos de lectura deben tener una duración mínima de 1 ó 2 segundos.

**Tabla 13***Características módulo Arduino*

Especificaciones Técnicas	
Voltaje de Operación:	3V - 5V DC
Rango de medición de temperatura:	0 a 50 °C
Precisión de medición de temperatura:	±2.0 °C
Resolución Temperatura:	0.1°C
Rango de medición de humedad:	20% a 90% RH.
Precisión de medición de humedad:	5% RH.
Resolución Humedad:	1% RH
Tiempo de sensado:	1 seg.
Interface digital:	Single-bus (bidireccional)
Modelo:	DHT11
Dimensiones:	16*12*5 mm
Peso:	1 gr.
Carcasa:	plástico celeste

Fuente: (Unit Electronics, 2021)

**4.2.7.7. Módulo relé.****Figura 78***Modulo Relé*

Fuente: (Tecnopura, 2012)

Los relés son dispositivos electromecánicos que permiten a los procesadores, como el Arduino, manejar cargas con tensiones o corrientes superiores a las que pueden soportar sus circuitos.

Los relés están colocados en una placa de 4 pines que puede conectarse directamente a tu placa Arduino utilizando cables dupont.

Para controlar los dos relés, basta con proporcionar 5VDC directamente a los pines VCC y GND del módulo desde tu placa Arduino. Los pines IN1 e IN2 están listos para su uso. El relé correspondiente será conmutado por un nivel alto.

Para acceder a las salidas COM, NC y NO, utiliza un bloque de terminales de tornillo. Cuando el pin IN está bajo, las salidas NC y COM están siempre cerradas; cuando el pin IN está alto, las salidas NO y COM conmutan.

Cada relé tiene un LED que muestra cuando el relé está cerrado (pin IN alto).

**Tabla 14**

*Características módulo sensor de temperatura*

Especificaciones Técnicas	
Voltaje de Operación:	5V DC
Señal de Control:	TTL (3.3V o 5V)
Nº de Relays (canales):	2 CH
Capacidad máx:	10A/250VAC, 10A/30VDC
Corriente máx:	10A (NO), 5A (NC)
Tiempo de acción:	10 ms / 5 ms
Para activar salida NO:	0 voltios

Fuente: (Tecnopura, 2012)

#### 4.2.7.8. Módulo de potencia – actuador lineal.

**Figura 79**

*Módulo de Potencia Actuador Lineal*



Fuente: (Unit Electronics, 2021)

Los actuadores lineales se utilizan ampliamente en muchas aplicaciones industriales debido a su elevada fuerza de salida y su excepcional precisión. Esto les ha permitido sustituir a los equipos hidráulicos, que suelen ser mucho más costosos y complicados de mantener.

#### **Características Técnicas del Actuador Lineal**

Material: aleación de aluminio

Capacidad de carga: 750N/160LBS (puede levantar/empujar hasta 75kg)

Velocidad: 10 mm/s

Voltaje de entrada: 12V DC

Frecuencia de trabajo: 20%

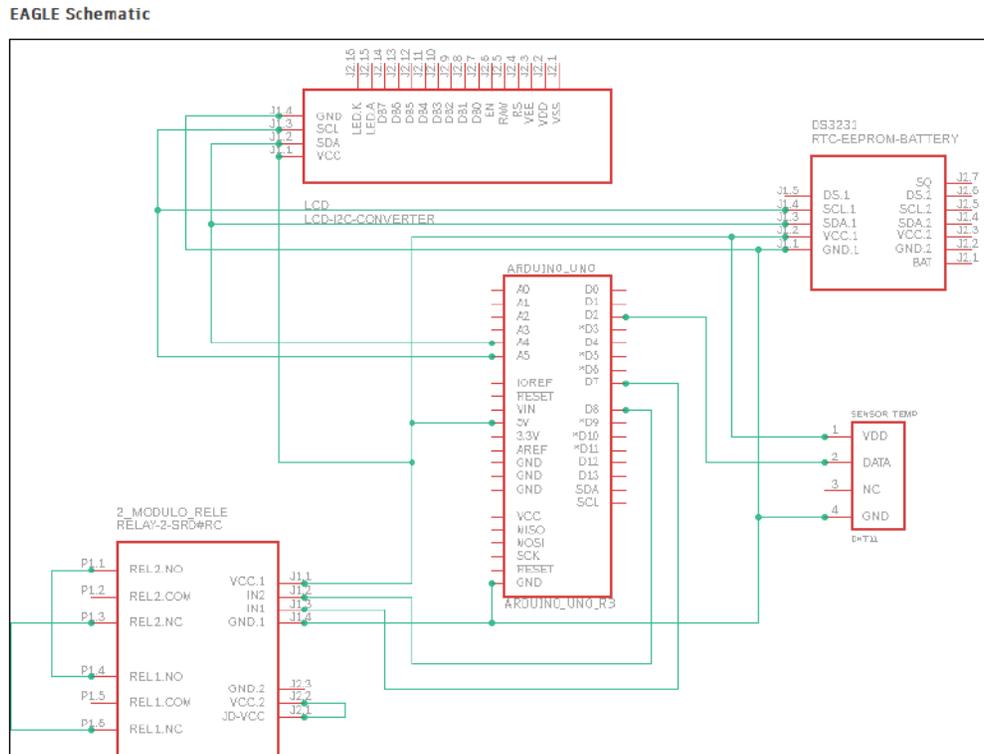
Longitud de la carrera: 200mm

Potencia nominal: 20W, máximo 30W.

Barra de empuje Cada lado contiene un interruptor de límite de recorrido. Cuando la barra telescópica llegue a la parte superior, desconectará automáticamente la electricidad.

**Figura 80**

*Imagen del diseño modular electrónico en Eagle Schematic*

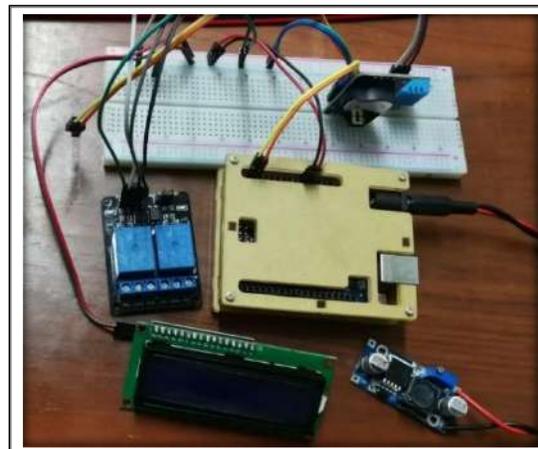


Fuente: Elaboración Propia

**4.2.8. Diseño Circuito Impreso**

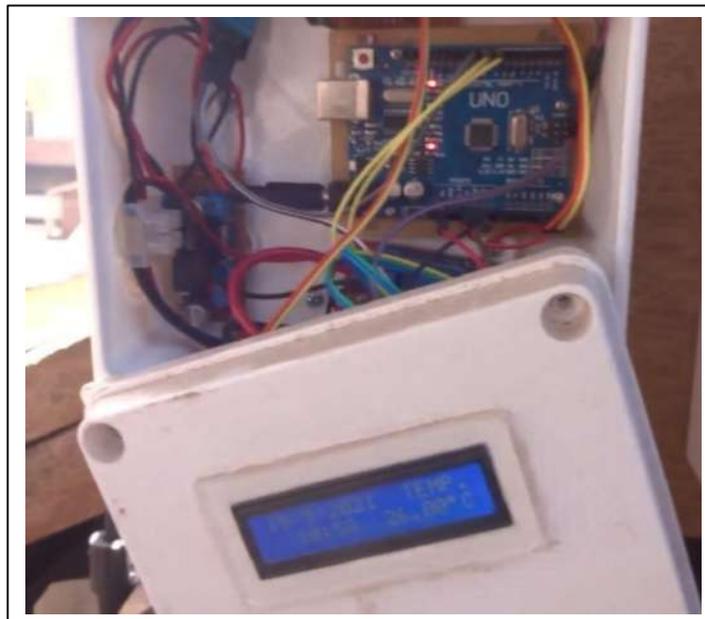
**Figura 81**

*Circuito Impreso*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 82**  
*Circuito Impreso*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 83**  
*Seguidor Solar con actuador lineal*



Fuente: Elaboración Propia

## CAPITULO V

### DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

#### 5. INTRODUCCIÓN

Para desarrollar el diseño del sistema de control mediante un algoritmo astronómico para el seguimiento solar, primero debemos comprender los cálculos astronómicos involucrados. Luego, podemos traducir estos cálculos en un algoritmo que se pueda implementar en un Arduino utilizando herramientas como el lenguaje de programación C/C++ y bibliotecas específicas para cálculos astronómicos.

##### 5.1. Algoritmo Astronómico

Los algoritmos astronómicos son los algoritmos que se utilizan para calcular efemérides, calendarios y posiciones (como en la navegación celeste o la navegación por satélite). Ejemplos de algoritmos astronómicos grandes y complejos son los que se utilizan para calcular la posición de la Luna. Un ejemplo sencillo es el cálculo del día juliano.

**Hora del día:** Obtener la hora actual del día es esencial para calcular la posición del sol en el cielo.

**Latitud y Longitud:** La latitud y la longitud geográficas del lugar determinarán la posición del sol en el cielo en relación con el horizonte local.

**Elevación y Azimut del Sol:** Utilizando la hora del día, la latitud, la longitud y otros parámetros astronómicos, podemos calcular la elevación del sol sobre el horizonte y su azimut (su posición en el plano horizontal).

Alba: Del latín albus, es el periodo que transcurre desde que aparece en el horizonte la luz del sol o para mejor entendimiento es la primera luz del día.

## **5.2. Implementación del Algoritmo en Arduino**

Obtención de la Hora del Día: Utiliza el reloj en tiempo real (RTC) o la función millis() para obtener la hora actual del día.

Cálculos Astronómicos: Utiliza fórmulas y algoritmos específicos para calcular la elevación y el azimut del sol. Se puede encontrar bibliotecas específicas de cálculo astronómico para Arduino, como "SunMoonCalc" o "SunPosition", que simplificarán estos cálculos.

Control del Actuador: Una vez que se tenga la elevación y el azimut del sol calculados, compáralos con la posición actual de los paneles solares y determina la cantidad de ajuste necesario. Controla el actuador (servomotor o motor paso a paso) para realizar estos ajustes y mantener los paneles solares orientados hacia el sol.

## **5.3. Herramientas y Recursos**

Arduino IDE: Utiliza el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino para escribir, compilar y cargar el código en tu placa Arduino.

Bibliotecas Astronómicas: Busca y utiliza bibliotecas específicas para cálculos astronómicos en Arduino. Asegúrate de revisar la documentación y ejemplos proporcionados para comprender cómo usarlas correctamente.

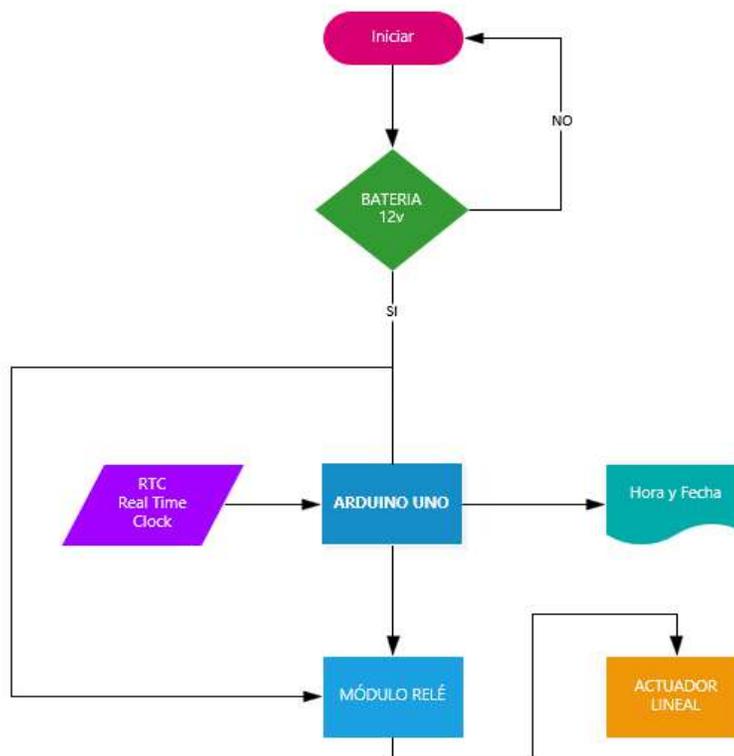
Referencias y Fórmulas: Utiliza referencias confiables y fórmulas astronómicas bien establecidas para garantizar la precisión de tus cálculos. Puedes encontrar muchas de estas fórmulas en línea o en libros de referencia sobre astronomía y navegación astronómica.

#### 5.4. Diagrama de Flujo

Diseño del sistema de control de un seguidor solar con Arduino basado en un algoritmo astronómico y de Control Discreto que es un enfoque útil para mover el actuador lineal a intervalos específicos para ajustar la posición de los paneles solares en función de la posición del sol calculada con datos astronómicos, optimizando la energía sin perder precisión.

**Figura 84**

*Diagrama de Flujo*



Fuente: Elaboración Propia

## 5.5. Ejemplo de Implementación

Aquí se tiene un ejemplo simplificado de cómo se podría estructurar el código en Arduino para realizar el seguimiento solar:

```
#include <SunPosition.h> // Biblioteca para cálculos astronómicos

void setup() {

    // Inicializar la comunicación serial para la depuración

    Serial.begin(9600);

}

void loop() {

    // Obtener la hora actual del día

    unsigned long currentTime = millis();

    // Calcular la posición del sol en el cielo

    double latitude = -13.540031; // Latitud de Cusco

    double longitude = -71.934818; // Longitud de Cusco

    SunCoordinates sunCoords = SunPosition::calculate(currentTime, latitude, longitude);

    // Mostrar la elevación y el azimut del sol en la consola serial

    Serial.print("Elevacion del sol: ");

    Serial.print(sunCoords.elevation);

    Serial.print(" grados - Azimut del sol: ");
```

```
Serial.print(sunCoords.azimuth);

Serial.println(" grados");

// Controlar el actuador para ajustar la orientación de los paneles solares

ajustarPanelesSolares(sunCoords);

// Esperar un tiempo antes de realizar el próximo cálculo

delay(1000); // Esperar 1 segundo

}

void ajustarPanelesSolares(SunCoordinates sunCoords) {

// Implementar lógica para ajustar la orientación de los paneles solares

// Comparar la elevación y el azimut del sol con la posición actual de los paneles

// Controlar el actuador para realizar los ajustes necesarios

}
```

**Figura 85**  
*Implementación*

```

1 //SEGUIDOR SOLAR MEDIANTE EL CALCULO DEL ALBA O SALIDA DEL SOL
2 //CONTROL DISCRETO
3 -----
4 //Declaración de puertos y entrada
5 //-----
6 // Incluimos librería
7 #include <Wire.h>
8 #include "RTClib.h"
9 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
10 #include <DHT.h>
11
12 //Definimos Variables
13 //Ubicación Cusco
14 float Lat = -13.540031;
15 float Long = -71.934818;
16 int ZonaH = -5;
17
18 //Hora para el calculo del día juliano
19 int h = 12, m = 0, s = 0;
20
21 int d = 0, a = 0;
22 float D = 0.0000;
23
24 float MediaSenS = 8.0000;
25
26 // Definimos el pin digital donde se conecta el sensor
27 #define DHTPIN 2
28 #define DHTTYPE DHT11 // Dependiendo del tipo de sensor
29
30 // Inicializamos los Modulos
31 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Inicializamos el sensor DHT11
32 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // inicializa la interfaz I2C del LCD 16x2
33 RTC_DS3231 RTC; // inicializa el modulo RTC
34
35 // Definimos el pin digital
36 int hora=0;
37 int minutos=0;
38 int segundos=0;
39 const int actuador=7; // Pin 7 encargado de activar el actuador por horas
40 const int actuadoreset=8; // Pin 8 encargado de regresar el actuador a posición inicial
41
42 //const int apulsador=13; // Pin 13 encargado de avanzar según hora del día (mantenimiento)
43
44 //-----
45 //Función Principal
46 //-----

```

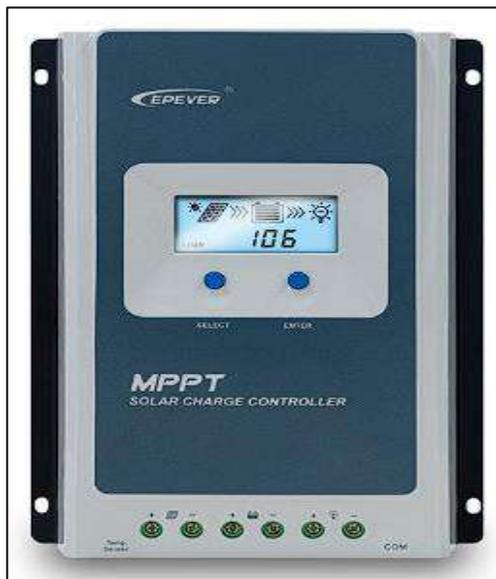
Fuente: Elaboración Propia

## 5.6. Interfaz de Monitoreo

Para fines de estudio, se utilizó un controlador de carga de la marca Epever de la serie Tracer-AN20A adopta la tecnología MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia) y su respectivo software de estación de monitoreo.

Figura 86

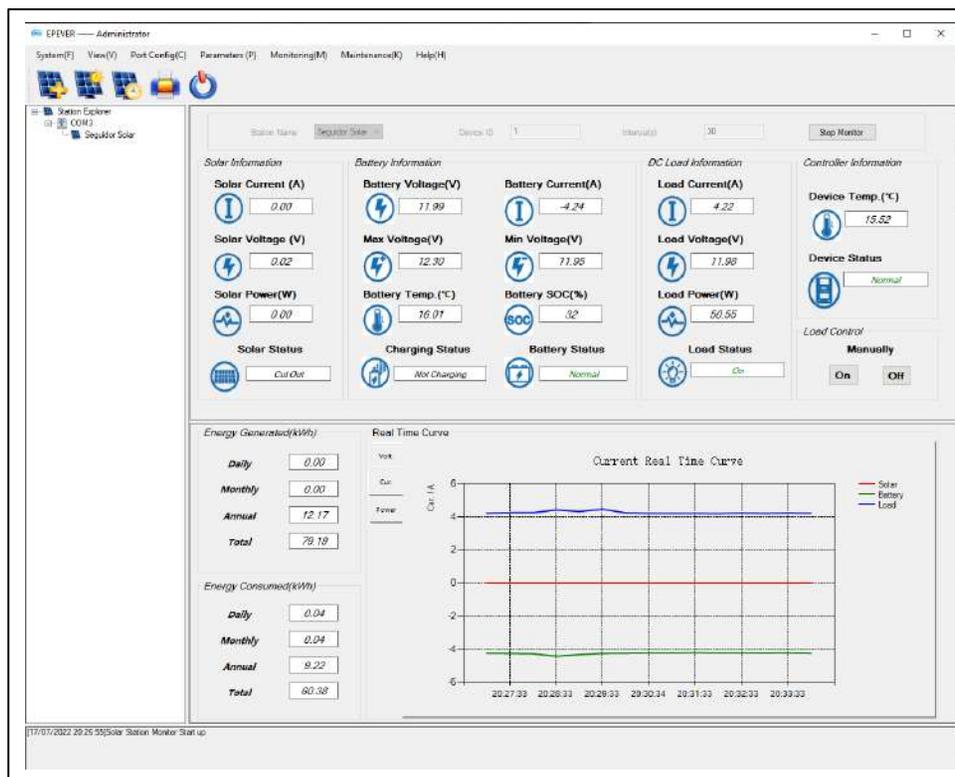
Controlador de Carga MPPT



Fuente: Elaboración Propia

Figura 87

Interfaz de Comunicación Controlador



Fuente: Elaboración Propia

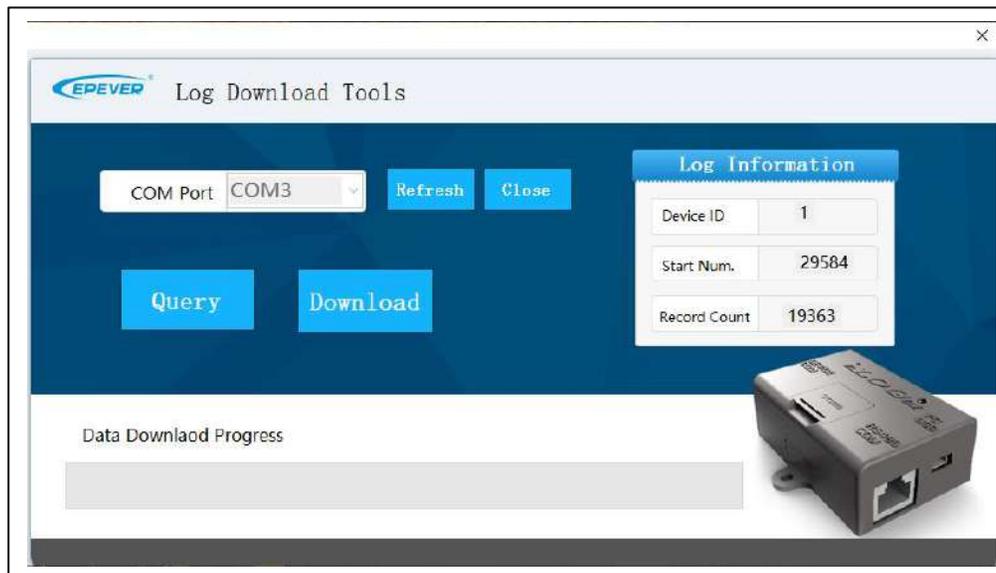
Para el registro de datos se empleó el registrador eLOG-01, un dispositivo de registro incorporado al controlador de interfaz RS485. El sistema es capaz de registrar datos operativos del sistema solar y proporcionar vigilancia en tiempo real de su estado utilizando un PC o el software MT50. Por defecto, el intervalo de registro está fijado en 10 minutos, y el rango de registro es de 4 meses.

**Figura 88**

*Registrador de Datos eLog-01*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 89***Interfaz de Comunicación Registrador*

Fuente: Elaboración Propia

## CAPITULO VI

### PRUEBAS DEL SISTEMA Y RESULTADOS

#### 6. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realiza las pruebas de validación y funcionamiento tanto del actuador lineal y la programación del Arduino, comparando resultados con un panel solar fijo.

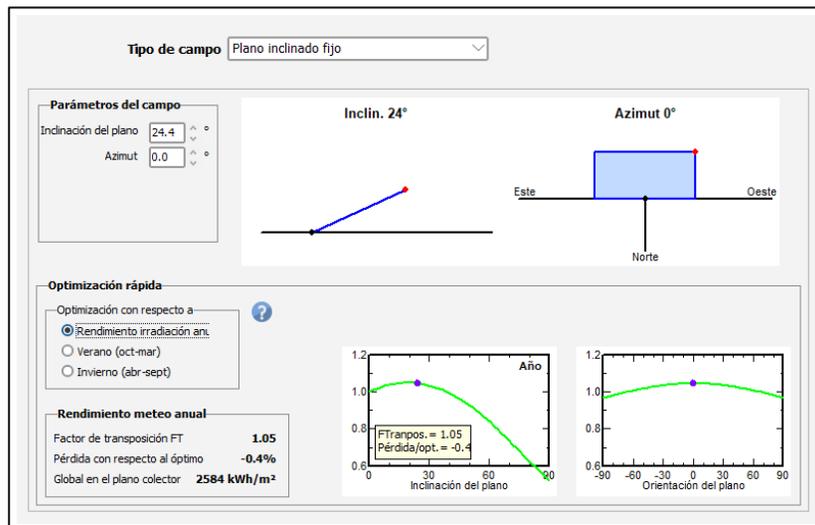
Los Instrumentos Utilizados fueron un Multímetro digital de marca TESTECH modelo KT-810A certificado que nos proporciona el Voltaje y la Corriente del panel solar en vacío y un Medidor De Energía Solar, modelo SM206, el cual nos proporciona mediciones de la irradiancia solar ( $w/m^2$ ) en el panel solar, tanto en el panel fijo como en el panel móvil.

#### 6.1. Montaje del Sistema Fotovoltaico con Seguimiento Solar

El montaje se realizó en varias etapas, primero orientando el panel solar y dando el ángulo correspondiente.

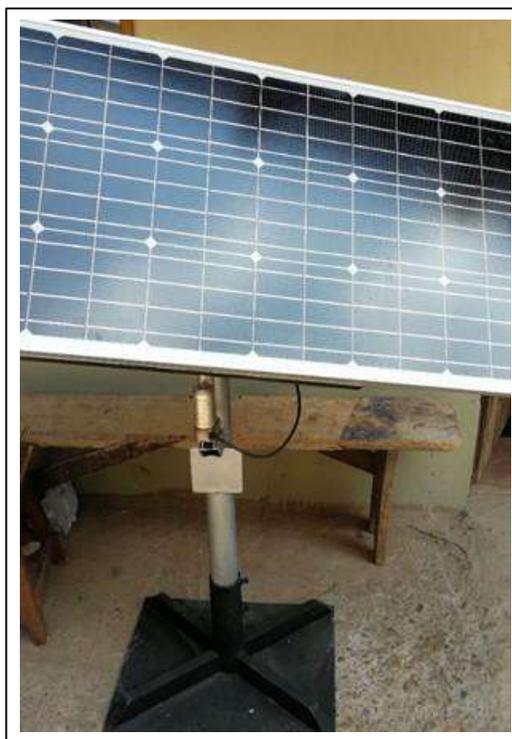
Para la optimización de los parámetros principales del Panel solar se utilizó el Software PVsyst 7.2, una herramienta que permite el análisis, la simulación y el estudio exhaustivos de los sistemas fotovoltaicos.

**Figura 90**  
*Parámetros de inclinación*



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 91**  
*Panel Solar con actuador Lineal*

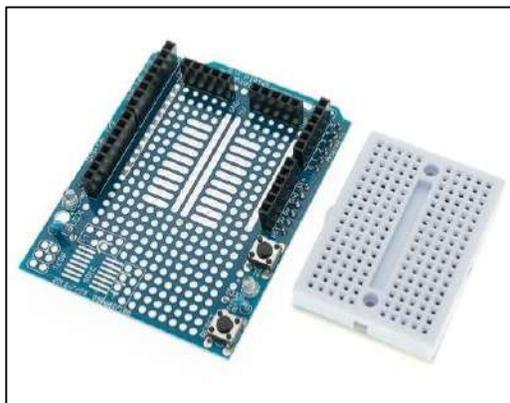


Fuente: Elaboración Propia

Para la disposición de los módulos y la programación del microcontrolador Arduino se utilizaron placas y módulos disponibles en el mercado, evitando crear circuitos impresos que complican el reemplazo de cualquier modulo utilizado ante alguna posible falla.

**Figura 92**

*Placa de expansión de prototipo de escudo UNO Proto*



Fuente: Elaboración Propia

La placa de expansión de prototipo de escudo UNO y Protoboard

## 6.2. Recopilación de Datos

Pruebas efectuadas el 22 de agosto de 2022.

Las características del panel solar son las siguientes:

**Tabla 15**

*Características del panel solar*

Características Del Panel Solar	
Potencia Máxima (Pmax)	80 W
Tensión de Potencia Max. (Vmp)	17.80 V
Corriente de Potencia Max. (Imp)	4.50 A
Voltaje de Circuito abierto. (Voc)	21.40 V
Corriente de Corto circuito. (Isc)	5.00 A

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 16***Resultados de Panel Solar en modo Fijo*

Hora	Panel modo fijo			Rendimiento fijo	W/m2
	Corriente	Tensión	Potencia		
08:00	1.68	24.80	41.66	-48%	612.8
08:15	1.98	24.80	49.10	-39%	799.2
08:30	2.72	24.70	67.18	-16%	827.7
08:45	2.87	24.70	70.89	-11%	896.4
09:00	3.05	24.90	75.95	-5%	920.1
09:15	3.37	23.70	79.87	0%	1,098.5
09:30	3.53	23.30	82.25	3%	1,110.5
09:45	3.64	23.10	84.08	5%	1,163.1
10:00	3.75	23.10	86.63	8%	1,248.0
10:15	3.80	23.00	87.40	9%	1,304.2
10:30	3.91	23.10	90.32	13%	1,358.0
10:45	4.07	23.70	96.46	21%	1,344.6
11:00	4.21	23.10	97.25	22%	1,404.9
11:15	4.27	22.80	97.36	22%	1,433.8
11:30	4.29	22.50	96.53	21%	1,258.6
11:45	4.31	22.60	97.41	22%	1,443.5
12:00	4.29	22.50	96.53	21%	1,427.5
12:15	4.24	22.40	94.98	19%	1,421.1
12:30	4.05	22.40	90.72	13%	1,340.2
12:45	4.03	22.40	90.27	13%	1,290.3
13:00	4.01	22.40	89.82	12%	1,229.6
13:15	3.97	22.30	88.53	11%	1,220.5
13:30	3.40	22.20	75.48	-6%	1,165.2
13:45	3.35	23.50	78.73	-2%	980.7
14:00	3.25	25.00	81.25	2%	885.1
14:15	3.14	23.80	74.73	-7%	878.2
14:30	2.86	22.90	65.49	-18%	715.0
14:45	3.07	22.60	69.38	-13%	803.7
15:00	2.97	22.88	67.95	-15%	650.0
15:15	2.61	23.00	60.03	-25%	660.4
15:30	2.47	23.40	57.80	-28%	620.3
15:45	2.31	23.42	54.10	-32%	614.0
16:00	2.10	23.59	49.54	-38%	599.7

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 17***Resultados de Panel Solar en modo Móvil*

Hora	Panel móvil			Rendimiento móvil	W/m2	Incremento
	Corriente	Tensión	Potencia			
08:00	3.20	24.80	79.36	-1%	1,175.7	48%
08:15	3.42	24.80	84.82	6%	1,218.1	42%
08:30	3.44	24.80	85.31	7%	1,238.9	21%
08:45	3.61	24.80	89.53	12%	1,252.8	21%
09:00	3.68	24.90	91.63	15%	1,275.3	17%
09:15	3.65	24.10	87.97	10%	1,296.4	9%
09:30	3.81	23.30	88.77	11%	1,221.5	7%
09:45	3.89	23.20	90.25	13%	1,306.6	7%
10:00	3.92	23.10	90.55	13%	1,287.0	4%
10:15	3.92	23.00	90.16	13%	1,381.0	3%
10:30	4.03	23.10	93.09	16%	1,362.0	3%
10:45	4.17	23.70	98.83	24%	1,344.6	2%
11:00	4.28	23.10	98.87	24%	1,404.9	2%
11:15	4.27	22.80	97.36	22%	1,433.8	0%
11:30	4.29	22.50	96.53	21%	1,258.6	0%
11:45	4.31	22.60	97.41	22%	1,443.5	0%
12:00	4.32	22.50	97.20	22%	1,427.5	1%
12:15	4.28	22.40	95.87	20%	1,421.1	1%
12:30	4.09	22.40	91.62	15%	1,340.2	1%
12:45	4.13	22.40	92.51	16%	1,290.3	2%
13:00	4.17	22.40	93.41	17%	1,229.6	4%
13:15	4.18	22.30	93.21	17%	1,220.5	5%
13:30	3.75	22.20	83.25	4%	1,165.2	9%
13:45	3.78	23.50	88.83	11%	1,160.8	11%
14:00	3.71	25.00	92.75	16%	1,160.0	12%
14:15	3.61	23.80	85.92	7%	1,229.1	13%
14:30	3.64	23.10	84.08	5%	1,126.0	22%
14:45	3.67	22.90	84.04	5%	1,001.4	17%
15:00	3.54	23.00	81.42	2%	960.4	17%
15:15	3.48	23.40	81.43	2%	977.8	26%
15:30	3.29	23.64	77.78	-3%	980.1	26%
15:45	3.15	23.76	74.84	-6%	960.0	28%
16:00	3.05	23.80	72.59	-9%	950.9	32%
<b>Incremento total</b>						<b>13%</b>

Fuente: Elaboración Propia

El Controlador utilizado para la carga de la batería fue el MPPT Epever Tracer, que rastrea el punto de máxima potencia del conjunto fotovoltaico y obtiene la máxima energía en cualquier situación. En comparación con el método de carga PWM, como dato adicional los controladores solares MPPT pueden aumentar la tasa de utilización de energía entre un 10 %.

Los Resultados del Software del Controlador MPPT Epever Tracer, utilizado en la recopilación de Datos para nuestro seguidor solar se muestran para el día 22 de agosto del 2022.

**Tabla 18***Resultados de Software Controlador MPPT Epever*

Item	Array Current (A)	Array Voltage (V)	Array Power (W)	Load Current (A)	Load Voltage (V)	Load Power (W)	Battery Current (A)	Battery Voltage (V)	Battery Temp. (°C)	Battery SOC (%)	Battery Max. Voltage (V)	Battery Min. Voltage (V)	Array Status	Charging Status	Battery Status	Load Status	Device Status	Daily Energy Generated (kWh)	Fecha
1	0	0.15	0	0	12.35	0	0	12.35	13.05	44	12.37	12.33	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 00:08
2	0	0.14	0	0	12.36	0	0	12.36	12.88	45	12.38	12.33	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 00:19
3	0	0.14	0	0	12.33	0	0	12.33	12.84	44	12.38	12.32	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 00:30
4	0	0.16	0	0	12.36	0	0	12.36	12.69	45	12.38	12.31	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 00:41
5	0	0.15	0	0	12.33	0	0	12.33	12.61	44	12.38	12.31	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 00:52
6	0	0.16	0	0	12.35	0	0	12.35	12.33	44	12.38	12.31	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 01:03
7	0	0.14	0	0	12.32	0	0	12.32	12.21	44	12.38	12.31	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 01:14
8	0	0.17	0	0	12.35	0	0	12.35	12.16	43	12.38	12.31	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 01:25
9	0	0.14	0	0	12.35	0	0	12.35	12.05	43	12.38	12.31	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 01:36
10	0	0.18	0	0	12.35	0	0	12.35	11.85	44	12.38	12.31	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 01:47
11	0	0.15	0	0	12.35	0	0	12.35	11.74	44	12.38	12.31	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 01:58
12	0	0.14	0	0	12.34	0	0	12.34	11.7	44	12.38	12.31	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 02:09
13	0	0.16	0	0	12.34	0	0	12.34	11.64	44	12.38	12.31	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 02:20
14	0	0.16	0	0	12.31	0	0	12.31	11.74	44	12.38	12.3	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 02:31
15	0	0.17	0	0	12.3	0	0	12.3	11.69	44	12.38	12.3	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 02:42

16	0	0.16	0	0	12.33	0	0	12.33	11.56	44	12.38	12.3	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 02:53
17	0	0.16	0	0	12.3	0	0	12.3	11.51	43	12.38	12.3	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 03:04
18	0	0.17	0	0	12.33	0	0	12.33	11.6	44	12.38	12.3	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 03:15
19	0	0.2	0	0	12.33	0	0	12.33	11.71	44	12.38	12.29	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 03:26
20	0	0.21	0	0	12.32	0	0	12.32	11.78	43	12.38	12.29	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 03:37
21	0	0.21	0	0.01	12.3	0.12	0	12.3	11.75	43	12.38	12.29	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 03:48
22	0	0.2	0	0	12.31	0	0	12.31	11.64	43	12.38	12.29	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 03:59
23	0	0.2	0	0	12.32	0	0	12.32	11.55	43	12.38	12.29	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 04:10
24	0	0.22	0	0	12.32	0	0	12.32	11.58	43	12.38	12.28	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 04:21
25	0	0.23	0	0	12.32	0	0	12.32	11.64	43	12.38	12.28	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 04:32
26	0	0.21	0	0	12.29	0	0	12.29	11.5	42	12.38	12.28	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 04:43
27	0	0.22	0	0.01	12.31	0.12	0	12.31	11.49	43	12.38	12.28	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 04:54
28	0	0.2	0	0	12.31	0	0	12.31	11.52	43	12.38	12.28	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 05:05
29	0	0.24	0	0	12.31	0	0	12.31	11.48	43	12.38	12.27	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 05:16
30	0	0.5	0	0	12.28	0	0	12.28	11.51	43	12.38	12.27	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 05:27
31	0	2.83	0	0	12.31	0	0	12.31	11.52	43	12.38	12.27	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 05:39
32	0	12.09	0	0	12.3	0	0	12.3	11.46	42	12.38	12.27	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 05:50
33	0	12.21	0	0	12.31	0	0	12.31	11.54	43	12.38	12.26	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 06:01

34	0	12.27	0	0	12.29	0	0	12.29	11.47	42	12.38	12.26	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 06:12
35	0	13.07	0	0	12.32	0	0	12.32	11.3	43	12.38	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 06:23
36	0	13.41	0	0	12.32	0	0	12.32	11.49	43	12.38	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 06:34
37	0.02	13.51	0.37	0	12.35	0	0.03	12.35	11.47	44	12.38	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 06:45
38	0.03	13.55	0.49	0	12.38	0	0.04	12.38	11.33	45	12.39	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 06:56
39	0.09	13.63	1.36	0.01	12.41	0.12	0.11	12.41	11.35	46	12.44	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 07:07
40	0.14	13.71	1.99	0	12.48	0	0.16	12.48	11.64	48	12.51	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 07:18
41	0.21	13.84	3.01	0	12.58	0	0.24	12.58	11.66	51	12.58	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 07:29
42	0.34	14.02	4.81	0	12.67	0	0.38	12.67	11.83	55	12.69	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 07:40
43	0.45	14.16	6.5	0.01	12.76	0.12	0.51	12.76	12.03	58	12.78	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 07:51
44	0.48	14.2	6.91	0	12.81	0	0.54	12.81	12.33	59	12.82	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 08:02
45	0.6	14.29	8.6	0	12.85	0	0.67	12.85	12.66	61	12.87	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 08:13
46	0.83	14.35	12.02	0	12.93	0	0.93	12.93	13.16	64	12.94	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0	22/08/2022 08:24
47	1.31	21.81	28.73	0	13.18	0	2.18	13.18	13.49	72	13.21	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.01	22/08/2022 08:35
48	3.86	20.71	79.96	0	13.74	0	5.82	13.74	14.02	92	13.87	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.01	22/08/2022 08:46
49	2.05	21.14	43.44	0	13.41	0	3.24	13.41	14.39	80	13.87	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.02	22/08/2022 08:57
50	3.71	20.18	74.99	0	13.76	0	5.45	13.76	14.74	93	13.88	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.03	22/08/2022 09:08
51	2.7	21.18	57.34	0	13.59	0	4.22	13.59	15.11	86	13.88	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.04	22/08/2022 09:19

52	2.75	20.15	55.43	0	13.62	0	4.07	13.62	15.25	87	13.93	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.05	22/08/2022 09:30
53	2.2	20.89	46.03	0	13.58	0	3.39	13.58	15.83	87	13.96	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.06	22/08/2022 09:41
54	3.73	20.17	75.42	0	13.89	0	5.43	13.89	16.51	97	13.96	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.07	22/08/2022 09:52
55	3.82	19.51	74.63	0	13.95	0	5.35	13.95	17.26	100	13.96	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.09	22/08/2022 10:03
56	3.86	19.71	76.16	0	14	0	5.44	14	17.72	100	14.03	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.1	22/08/2022 10:14
57	3.81	19.19	73.14	0	14.04	0	5.21	14.04	18.36	100	14.06	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.11	22/08/2022 10:25
58	3.72	19.97	74.46	0	14.13	0	5.27	14.13	18.98	100	14.13	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.13	22/08/2022 10:36
59	3.77	19.62	74.12	0	14.2	0	5.22	14.2	19.55	100	14.22	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.14	22/08/2022 10:47
60	3.69	19.92	73.65	0	14.33	0	5.14	14.33	19.84	100	14.34	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.15	22/08/2022 10:58
61	3.7	19.38	71.77	0	14.47	0	4.96	14.47	20.29	100	14.48	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.17	22/08/2022 11:09
62	2.98	21.61	64.55	0	14.54	0	4.44	14.54	20.35	100	14.59	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.18	22/08/2022 11:20
63	2.36	22.46	53.14	0	14.56	0	3.65	14.56	20.79	100	14.59	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.19	22/08/2022 11:31
64	1.88	22.44	42.22	0	14.51	0	2.91	14.51	21.02	100	14.59	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.2	22/08/2022 11:43
65	1.49	23.36	34.84	0	14.52	0	2.4	14.52	21.19	100	14.59	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.21	22/08/2022 11:54
66	1.17	23.63	27.85	0	14.51	0	1.92	14.51	21.86	100	14.59	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.21	22/08/2022 12:05
67	0.94	23.44	22.22	0	14.43	0	1.54	14.43	21.89	100	14.59	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.22	22/08/2022 12:16
68	0.79	23.82	18.86	0	14.51	0	1.3	14.51	22	100	14.59	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.22	22/08/2022 12:27
69	0.65	23.9	15.68	0	14.52	0	1.08	14.52	22.6	100	14.59	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.22	22/08/2022 12:38

70	0.53	23.7	12.67	0	14.4	0	0.88	14.4	22.62	100	14.59	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.22	22/08/2022 12:49
71	0.48	23.91	11.6	0	14.5	0	0.8	14.5	23.03	100	14.59	12.26	Input	Raising Charge	Normal	On	Normal	0.23	22/08/2022 13:00
72	0.17	23.79	4.12	0	13.75	0	0.3	13.75	23.41	97	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.23	22/08/2022 13:11
73	0.24	24.16	5.82	0	13.87	0	0.42	13.87	23.88	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.23	22/08/2022 13:22
74	0.21	24.15	5.27	0	13.88	0	0.38	13.88	23.66	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.23	22/08/2022 13:33
75	0.19	23.99	4.71	0	13.86	0	0.34	13.86	23.64	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.23	22/08/2022 13:44
76	0.19	23.85	4.58	0	13.88	0	0.33	13.88	23.52	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.23	22/08/2022 13:55
77	0.17	24.25	4.3	0	13.9	0	0.31	13.9	23.26	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.23	22/08/2022 14:06
78	0.16	24	3.88	0	13.88	0	0.28	13.88	23.9	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.23	22/08/2022 14:17
79	0.15	24.05	3.61	0	13.9	0	0.26	13.9	23.75	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.23	22/08/2022 14:28
80	0.13	24.11	3.33	0	13.89	0	0.24	13.89	23.37	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 14:39
81	0.13	24.22	3.19	0	13.9	0	0.23	13.9	23.74	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 14:50
82	0.13	24.42	3.19	0	13.9	0	0.23	13.9	23.73	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 15:01
83	0.1	24.27	2.49	0	13.84	0	0.18	13.84	23.9	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 15:12
84	0.11	24.27	2.91	0	13.88	0	0.21	13.88	23.33	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 15:23
85	0.1	24.29	2.63	0	13.85	0	0.19	13.85	23.57	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 15:34
86	0.1	24.28	2.49	0	13.86	0	0.18	13.86	23.36	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 15:45
87	0.1	24.33	2.5	0	13.89	0	0.18	13.89	22.63	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 15:56

88	0.08	23.35	2.06	0	13.79	0	0.15	13.79	22.15	98	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 16:07
89	0.1	23.44	2.36	0	13.89	0	0.17	13.89	21.66	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 16:18
90	0.1	23.43	2.36	0	13.91	0	0.17	13.91	21.48	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 16:29
91	0.08	23.23	2.07	0	13.85	0	0.15	13.85	21.34	100	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 16:40
92	0.08	23.08	2.07	0	13.84	0	0.15	13.84	20.87	98	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 16:51
93	0.09	22.77	2.07	0	13.83	0	0.15	13.83	20.36	98	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 17:02
94	0.08	21.61	1.93	0	13.82	0	0.14	13.82	20.04	97	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 17:13
95	0.05	14.75	0.81	0	13.55	0	0.06	13.55	19.67	87	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 17:24
96	0	14.63	0	0	13.45	0	0	13.45	19.16	84	14.59	12.26	Input	Float Charge	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 17:36
97	0	13.38	0	0	13.43	0	0	13.43	18.81	83	14.59	12.26	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 17:47
98	0	12.67	0	4	12.8	51.2	0	12.8	18.55	61	14.59	12.26	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 17:58
99	0	4.27	0	3.92	12.76	50.01	0	12.76	18.29	59	14.59	12.26	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 18:09
100	0	0.74	0	3.92	12.7	49.78	0	12.7	18.1	58	14.59	12.26	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 18:20
101	0	0.12	0	3.94	12.66	49.88	0	12.66	17.62	56	14.59	12.26	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 18:31
102	0	0.04	0	3.98	12.58	50.06	0	12.58	17.33	53	14.59	12.26	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 18:42
103	0	0.03	0	3.98	12.54	49.9	0	12.54	17.07	51	14.59	12.26	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 18:53
104	0	0.02	0	4.02	12.48	50.16	0	12.48	16.73	49	14.59	12.26	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 19:04
105	0	0.14	0	4.03	12.41	50.01	0	12.41	16.54	47	14.59	12.26	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 19:15

106	0	0.15	0	4.09	12.35	50.51	0	12.35	16.17	45	14.59	12.26	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 19:26
107	0	0.17	0	4.12	12.29	50.63	0	12.29	16.02	43	14.59	12.26	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 19:37
108	0	0.13	0	4.13	12.24	50.55	0	12.24	15.92	41	14.59	12.21	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 19:48
109	0	0.15	0	4.14	12.17	50.38	0	12.17	15.83	39	14.59	12.15	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 19:59
110	0	0.14	0	4.17	12.1	50.45	0	12.1	15.65	36	14.59	12.08	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 20:10
111	0	0.14	0	4.21	12.06	50.77	0	12.06	15.53	34	14.59	12.03	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 20:21
112	0	0.16	0	4.23	12	50.76	0	12	15.42	33	14.59	11.98	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 20:32
113	0	0.14	0	4.28	11.96	51.18	0	11.96	15.17	31	14.59	11.93	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 20:43
114	0	0.14	0	4.38	11.91	52.16	0	11.91	15.19	30	14.59	11.87	CutOut	Not Charging	Undervoltage	On	Normal	0.24	22/08/2022 20:54
115	0	0.14	0	4.45	11.83	52.64	0	11.83	15.07	27	14.59	11.82	CutOut	Not Charging	Undervoltage	On	Normal	0.24	22/08/2022 21:05
116	0	0.15	0	4.35	11.8	51.33	0	11.8	14.92	26	14.59	11.77	CutOut	Not Charging	Undervoltage	On	Normal	0.24	22/08/2022 21:16
117	0	0.14	0	0	12.25	0	0	12.25	14.49	41	14.59	11.71	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 21:27
118	0	0.13	0	0	12.34	0	0	12.34	14.53	44	14.59	11.71	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 21:38
119	0	0.15	0	0	12.38	0	0	12.38	14.33	45	14.59	11.71	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 21:49
120	0	0.15	0	0	12.39	0	0	12.39	14.34	46	14.59	11.71	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 22:00
121	0	0.13	0	0	12.4	0	0	12.4	14.1	45	14.59	11.71	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 22:11
122	0	0.15	0	0	12.41	0	0	12.41	13.98	46	14.59	11.71	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 22:22
123	0	0.17	0	0	12.39	0	0	12.39	13.82	46	14.59	11.71	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 22:33

124	0	0.15	0	0	12.41	0	0	12.41	13.64	47	14.59	11.71	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 22:44
125	0	0.16	0	0	12.39	0	0	12.39	13.61	46	14.59	11.71	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 22:55
126	0	0.16	0	0	12.41	0	0	12.41	13.33	46	14.59	11.71	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 23:06
127	0	0.15	0	0	12.39	0	0	12.39	13.15	46	14.59	11.71	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 23:17
128	0	0.13	0	0	12.42	0	0	12.42	13.06	46	14.59	11.71	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 23:28
129	0	0.14	0	0	12.4	0	0	12.4	12.76	46	14.59	11.71	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 23:39
130	0	0.15	0	0	12.41	0	0	12.41	12.67	46	14.59	11.71	CutOut	Not Charging	Normal	On	Normal	0.24	22/08/2022 23:51

### 6.3. Análisis de Resultados

De acuerdo con las comparativas entre el panel solar fijo y el seguidor solar con actuador lineal de un eje, el incremento promedio de la irradiancia solar es de un 13%.

Con la implementación del seguidor solar utilizando un actuador lineal de bajo costo se mejora la instalación de paneles solares.

El uso del microcontrolador Arduino, su implementación, configuración y programación, hace factible el seguimiento solar y su uso doméstico, el cual garantiza un promedio de 3 años de uso continuo.

La implementación del seguidor solar haciendo uso del actuador lineal y el microcontrolador Arduino es económico y factible y deja abierto la mejora continua tanto en el hardware como en el software de programación.

Como sabemos el mantenimiento de una instalación de paneles solares es constante y periódica de acuerdo al lugar y las condiciones meteorológicas, sobre todo en la limpieza del cristal o colector del panel solar, por ello al utilizar el actuador lineal que está preparado para polvo y lluvia con clase IP65, garantizamos su uso exterior y solo necesita una inspección periódica, así como el microcontrolador Arduino que es fácilmente desmontable, reemplazable y programable.

Bien es cierto que esta implementación y/o sistema de seguimiento solar no está diseñado para una instalación industrial, pero si cumple con nuestras expectativas para su uso domiciliario en la electrificación rural y entusiastas de la ciudad que buscan mejorar su instalación fotovoltaica.

#### **6.4. Análisis Técnico Económico de un Sistema Fotovoltaico**

Los sistemas eléctricos aislados se refieren a sistemas que no están físicamente vinculados a la red de distribución, lo que significa que están completamente separados de los sistemas eléctricos convencionales. Normalmente, estos sistemas se despliegan en zonas donde no es práctico instalar una red de distribución o donde no hay acceso terrestre, ya que la red eléctrica tradicional se construye debajo o en edificios subterráneos. Históricamente, los sistemas independientes se han utilizado para suministrar energía a un área singular, como una residencia, empleando pequeños generadores que producen una cantidad restringida de energía para satisfacer necesidades modestas.

Con el fin de proporcionar un servicio ininterrumpido durante todo el día, deben cumplirse ciertas condiciones para que los sistemas aislados mantengan la continuidad del servicio durante el máximo tiempo posible. Una de las consideraciones técnicas que deben tenerse en cuenta son los métodos para almacenar la energía generada. Históricamente, se han utilizado baterías para este objetivo, permitiendo la utilización continua de la energía durante todo el día. Estos sistemas suelen diferenciarse en función de su tensión de funcionamiento. Además, el correcto funcionamiento de la red aislada requiere la inclusión de inversores, sistemas de control y otros componentes esenciales.

Para que una instalación autónoma funcione eficazmente, es esencial tener en cuenta factores específicos tanto en la fase de diseño como en la de explotación, siendo los paneles solares fotovoltaicos el principal elemento productor.

Entre esos factores importantes para la determinación del análisis técnico económico de un sistema aislado podemos nombrar los siguientes:

- Calcular la potencia nominal del sistema: Esto se determina mediante un análisis del lugar de instalación, las condiciones climáticas y los factores que afectan la producción de energía.
- Determinar el costo de inversión: Esto incluye los costos de los paneles solares, los inversores, los materiales de montaje, la instalación y cualquier otro costo relacionado con la construcción del sistema.
- Evaluar los costos de operación y mantenimiento: Esto incluye los costos de seguimiento y monitoreo del sistema, la limpieza y el mantenimiento preventivo.
- Calcular la producción esperada de energía: Esto se puede hacer utilizando un modelo de simulación del sistema, considerando factores como el ángulo de inclinación, la orientación, las condiciones climáticas, entre otros.
- Determinar el valor de la energía producida: Esto se puede hacer comparando el costo de la energía de la red con el costo de la energía producida por el sistema fotovoltaico.
- Evaluar el impacto ambiental y social

Con esta información, se puede determinar la rentabilidad y viabilidad del sistema fotovoltaico y tomar decisiones informadas sobre su implementación

#### **6.4.1. Cálculo de Potencia Nominal del Sistema Fotovoltaico**

Para calcular la potencia nominal de un sistema fotovoltaico se suma la salida de cada panel fotovoltaico multiplicado por la cantidad de paneles en el sistema. En nuestro caso el sistema fotovoltaico de estudio cuenta con un solo panel de una potencia de 80 W, con un promedio de vida de 25 años.

$$P_n = N \times P \quad (35)$$

N=Numero de paneles

P= Potencia del panel solar

Pn=Potencia Nominal

$$Pn=1 \times 80 = 80w$$

**Tabla 19**

*Tabla de potencia nominal*

Hora	Panel móvil			Rendimiento movil	W/m2	Incremento
	Corriente	Tensión	Potencia			
08:00	3.20	24.80	79.36	-1%	1,175.7	48%
08:15	3.42	24.80	84.82	6%	1,218.1	42%
08:30	3.44	24.80	85.31	7%	1,238.9	21%
08:45	3.61	24.80	89.53	12%	1,252.8	21%
09:00	3.68	24.90	91.63	15%	1,275.3	17%
09:15	3.65	24.10	87.97	10%	1,296.4	9%
09:30	3.81	23.30	88.77	11%	1,221.5	7%
09:45	3.89	23.20	90.25	13%	1,306.6	7%
10:00	3.92	23.10	90.55	13%	1,287.0	4%
10:15	3.92	23.00	90.16	13%	1,381.0	3%
10:30	4.03	23.10	93.09	16%	1,362.0	3%
10:45	4.17	23.70	98.83	24%	1,344.6	2%
11:00	4.28	23.10	98.87	24%	1,404.9	2%
11:15	4.27	22.80	97.36	22%	1,433.8	0%
11:30	4.29	22.50	96.53	21%	1,258.6	0%
11:45	4.31	22.60	97.41	22%	1,443.5	0%
12:00	4.32	22.50	97.20	22%	1,427.5	1%
12:15	4.28	22.40	95.87	20%	1,421.1	1%
12:30	4.09	22.40	91.62	15%	1,340.2	1%
12:45	4.13	22.40	92.51	16%	1,290.3	2%
13:00	4.17	22.40	93.41	17%	1,229.6	4%
13:15	4.18	22.30	93.21	17%	1,220.5	5%
13:30	3.75	22.20	83.25	4%	1,165.2	9%
13:45	3.78	23.50	88.83	11%	1,160.8	11%
14:00	3.71	25.00	92.75	16%	1,160.0	12%
14:15	3.61	23.80	85.92	7%	1,229.1	13%
14:30	3.64	23.10	84.08	5%	1,126.0	22%
14:45	3.67	22.90	84.04	5%	1,001.4	17%
15:00	3.54	23.00	81.42	2%	960.4	17%
15:15	3.48	23.40	81.43	2%	977.8	26%
15:30	3.29	23.64	77.78	-3%	980.1	26%
15:45	3.15	23.76	74.84	-6%	960.0	28%
16:00	3.05	23.80	72.59	-9%	950.9	32%
Incremento total						13%

Fuente: Elaboración Propia

#### **6.4.2. Costo de Inversión del Sistema Fotovoltaico**

La electricidad fotovoltaica es la opción económicamente más ventajosa en Perú. Según el Atlas de Energía Solar, nuestro país tiene uno de los mayores niveles de radiación solar del mundo, en torno a 6,5 kW/m<sup>2</sup>. En consecuencia, esto mejora el retorno de la inversión para cualquier empresa al maximizar la producción de energía por panel solar.

Los paneles solares son una inversión ventajosa desde el punto de vista financiero, ya que permiten reducir los costes de energía. La mayor parte del coste de los paneles solares se centra en la inversión inicial, mientras que los gastos de funcionamiento y mantenimiento son insignificantes, los equipos tienen una vida útil máxima de 25 años..

#### **6.4.3. Mantenimiento del Sistema Fotovoltaico**

Los sistemas fotovoltaicos requieren un mantenimiento preventivo mínimo. Los componentes mecánicos susceptibles de desgaste debido al movimiento no necesitan mantenimiento ni sustitución de piezas, ya que tienen una vida útil prolongada especificada por el fabricante.

Es imprescindible realizar inspecciones rutinarias de las instalaciones para garantizar que todos los componentes funcionan correctamente. Es esencial garantizar que las caras de los módulos estén libres de suciedad y que no haya obstrucciones que proyecten sombras sobre los módulos.

**Tabla 20***Matriz de mantenimiento*

Dispositivo	Objetivo	Mantenimiento preventivo			
		Actividad	Responsable	Frecuencia	Mantenimiento correctivo
Panel fotovoltaico	Mantener de manera óptima el tiempo de vida útil del panel fotovoltaico	Limpieza con agua (sin uso de agentes abrasivos ni objetos metálicos)	Propietario	Mensual	Limpieza en caso de lluvias y presencia de polvo.
		Inspección visual de degradaciones en el panel: roturas en el vidrio, desgaste de las células, deformaciones/roturas del marco.	Propietario	Trimestral	Inspección visual de roturas y deformaciones en el panel en casos de accidentes o sismos. Cambio del mismo
Actuador lineal	Mantener de manera óptima el funcionamiento del actuador lineal	Limpieza con un paño mojado no utilizar objetos metálicos	Propietario	Semestral	Corrección y /o limpieza de las piezas.
		Inspección visual de deformaciones u otros del actuador lineal	Propietario	Trimestral	Sustitución de piezas en mal estado.

Fuente: Elaboración Propia

#### 6.4.4. *Ventajas y Desventajas de un Sistema Fotovoltaico*

**Tabla 21**

*Ventajas y Desventajas de un Sistema Fotovoltaico*

Ventajas	Desventajas
Energía limpia y renovable.	La radiación solar es discontinua, algunos días se puede presentar nubosidad o lluvia reduciendo su efectividad.
No consume combustibles, por ende, no genera residuos contaminantes para el medio ambiente.	Las fabricaciones de algunos paneles solares son de materiales raros como: telurio de cadmio o selenio, galio, indio y cobre.
Tiene bajo costo de operación, disminuyendo los costos de consumo de energía eléctrica.	Requiere de una inversión inicial alta, ya que, tienen un costo de instalación alto.
Requiere de un mantenimiento mínimo durante su vida útil.	En caso de desperfectos tiene un costo de mantenimiento alto.
Es ideal para zonas en donde es inaccesible la energía eléctrica.	La instalación de los paneles es limitada en algunas zonas. Si se desea obtener energía a gran escala, se requiere de terrenos extensos.

Fuente: Elaboración Propia

#### 6.4.5. *Evaluación del Impacto Ambiental de un Sistema Fotovoltaico*

El uso de la energía solar ofrece la posibilidad de reducir en gran medida las emisiones de gases de efecto invernadero y, por tanto, sus consecuencias medioambientales.

El año pasado, el Ministerio de Medio Ambiente declaró que el país se está preparando para pasar a un futuro sin emisiones de carbono en el año 2050. Durante ese periodo, se producirá un aumento del 80% en el uso de energías renovables. La implicación y el compromiso del sector empresarial son esenciales para alcanzar este objetivo.

El uso de fuentes de energía puras y renovables, como la luz solar, reduce significativamente la huella de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que supone un gran beneficio medioambiental en comparación con las fuentes de energía tradicionales.

La energía solar fotovoltaica, junto con otras energías renovables, ofrece una alternativa superior a los combustibles fósiles, ya que promueve la independencia energética nacional y de la sociedad, al tiempo que causa mucho menos daño al medio ambiente en comparación con las fuentes de energía tradicionales. A continuación, se describen las repercusiones de la energía solar fotovoltaica en las principales cuestiones medioambientales:

- **Clima:** Como la combustión no forma parte del proceso de obtención de energía eléctrica a partir de la luz solar, se evitan la contaminación térmica y la emisión de CO<sub>2</sub>, que contribuye al efecto invernadero.
- **Geología:** Las células fotovoltaicas están compuestas de silicio, un elemento que predomina en la naturaleza y no requiere cantidades significativas. El silicio se obtiene de los sedimentos. Por consiguiente, las características litológicas, topográficas o estructurales del suelo no se alteran durante la producción de paneles fotovoltaicos.
- **Medio social:** La necesidad de suelo para instalar una instalación solar de tamaño medio no es lo suficientemente importante como para tener un impacto significativo en el medio ambiente.
- **Suelo:** Si no hay contaminantes, fugas o alteraciones del suelo, las propiedades físicas y químicas del suelo y su vulnerabilidad a la erosión permanecen inalteradas. Aguas superficiales y subterráneas: Los residuos o vertidos no contaminan ni agotan los acuíferos ni las aguas superficiales.
- **Aguas superficiales y subterráneas:** El consumo o la contaminación causados por los residuos o los vertidos involuntarios no provocan ningún cambio en las fuentes de agua subterráneas o superficiales.
- **Flora y fauna:** La vegetación no sufre daños y los cables eléctricos se retiran para mitigar cualquier peligro para las aves.

- Paisaje: Los paneles solares pueden incorporarse y mezclarse a la perfección en muchos tipos de estructuras, minimizando su impacto visual gracias a sus posibilidades de integración adaptables. Además, la presencia de postes y líneas de energía no altera el paisaje, ya que funcionan de forma autónoma.
- Ruidos: El sistema fotovoltaico funciona de forma suave, lo que le confiere una clara ventaja frente a los motogeneradores en viviendas aisladas.

## CONCLUSIONES

- 1) La implementación de un seguidor solar con actuador lineal en el sistema fotovoltaico resultó en una optimización significativa de la generación de energía eléctrica en comparación con un sistema fotovoltaico fijo.
- 2) El diseño e implementación de un seguidor solar con actuador lineal demostró ser una herramienta eficaz para optimizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica. A través de la orientación dinámica de los paneles solares, el sistema permitió mantener una posición óptima respecto al sol durante todo el día, lo que maximizó la incidencia directa de los rayos solares sobre los paneles.
- 3) El sistema fotovoltaico optimizado con el algoritmo de control mostró una mayor eficiencia en la producción de energía en comparación con sistemas sin control automatizado. A lo largo del periodo de prueba, se registró un incremento en la generación eléctrica de un 13%, lo que confirma que el algoritmo ajustó de forma precisa y oportuna los ángulos de los paneles para captar la máxima irradiación solar en todo momento.
- 4) Se concluye que el Sistema Fotovoltaico con Seguidor Solar genera una cantidad significativamente mayor de energía en comparación con un sistema fijo, validando así la hipótesis específica de que el seguidor solar es una opción más favorable en términos de producción energética.
- 5) La flexibilidad del diseño permite adaptar el seguidor solar a diferentes ubicaciones geográficas y necesidades específicas del proyecto, lo que lo convierte en una solución versátil para una amplia gama de aplicaciones.

## RECOMENDACIONES

- 1) El Seguidor solar es altamente mejorable con la programación adecuada y el uso de un módulo GPS para Arduino como por ejemplo el GPS NEO-6M; con el uso de este módulo podemos determinar la ubicación del panel solar en provincias altas y automáticamente determinar la hora y el minuto de salida del sol para la aproximación del panel solar a la posición del sol.
- 2) Se pueden implementar funciones adicionales, como la corrección de errores y la protección contra condiciones climáticas adversas, según las necesidades específicas del proyecto.
- 3) Es fundamental realizar una calibración meticulosa del sistema para asegurar una respuesta precisa a los cálculos de posición solar. Ajustar con precisión los parámetros de latitud y longitud, así como los algoritmos de cálculo utilizados en el Arduino, puede mejorar significativamente la eficiencia del seguidor solar.
- 4) Integrar sensores adicionales para detectar condiciones climáticas adversas, como lluvia, viento fuerte o nieve, es recomendable. Estos sensores pueden ser utilizados para detener temporalmente el seguimiento solar y proteger los componentes del sistema de posibles daños.
- 5) Implementar estrategias de ahorro de energía puede optimizar el funcionamiento del sistema. Utilizar sensores de movimiento para activar el seguimiento solar solo durante el día y en momentos específicos puede ayudar a conservar la energía de la batería, especialmente en aplicaciones fuera de la red eléctrica.

- 6) Realizar un mantenimiento regular del sistema es crucial para garantizar su funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo. Limpiar los paneles solares para eliminar la suciedad y los escombros, así como inspeccionar y lubricar el actuador, pueden prevenir el desgaste prematuro y los fallos del sistema.
- 7) Seguir prácticas de seguridad eléctrica adecuadas es imprescindible al trabajar con componentes electrónicos. Utilizar fusibles, disyuntores y aislamientos adecuados para proteger el sistema contra sobrecargas y cortocircuitos es esencial para garantizar la seguridad del usuario y la integridad del sistema.
- 8) Mantener registros detallados del diseño, la programación y el rendimiento del sistema es recomendable. Participar en comunidades en línea y grupos de discusión relacionados con la energía solar y la electrónica puede proporcionar oportunidades para aprender y mejorar continuamente el diseño y la implementación del seguidor solar.

## REFERENCIAS

- Alfonso Alonso, J. (12 de Junio de 2024). *Monocristalino o Policristalino: Diferencias, pros y contras*. Obtenido de [www.sfe-solar.com](https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/monocristalino-vs-policristalino-diferencias-pros-y-contras/): <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/monocristalino-vs-policristalino-diferencias-pros-y-contras/>
- Andrade Aristizábal, L., De La Cruz Gamez, D., & Ramos Bonilla, Y. (2017). *Diseño De Un Sistema De Energía Fotovoltaica Para El Bloque seis De La Universidad De La Guajira En El Distrito De Riohacha*. Universidad de la Guajira. Obtenido de [es.scribd.com](https://es.scribd.com/document/403670375/Trabajo-Final): <https://es.scribd.com/document/403670375/Trabajo-Final>
- Arduino. (Marzo de 2024). *www.arduino.cc*. Obtenido de What is Arduino?: <https://www.arduino.cc/>
- Atlas Perú. (2022). *Convierte Coordenadas Geográficas a UTM y Viceversa*. Obtenido de [padeepro.com](https://padeepro.com/converterutm.html): <https://padeepro.com/converterutm.html>
- Beltrán, J. (2007). Prototipo fotovoltaico con seguimiento del sol para procesos electroquímicos. *Tesis de maestría en ciencias*. Centro Nacional de Investigación y desarrollo tecnológico (CENIDET), México.
- Castellanos, A., & Escobedo, M. (1980). *La energía solar en México; situación actual y perspectivas*. (1a Edición. ed.). México: Centro de Ecodesarrollo. D.F.
- Chávez, A. (2005). *Sistemas de Electricidad Solar*. Habana: Grupo de Energía Solar: CITMA. Obtenido de [www.cubasolar.cu](http://www.cubasolar.cu)
- danarebeccadyer. (2021). *Localización geográfica del Perú*. Obtenido de [danarebeccadyer.blogspot.com](https://danarebeccadyer.blogspot.com/2022/08/longitud-y-latitud-de-peru.html): <https://danarebeccadyer.blogspot.com/2022/08/longitud-y-latitud-de-peru.html>
- Dutch, S. I. (2004). *Earth*. Obtenido de [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)
- Electro Sur Este. (Febrero de 2023). *Plan Ambiental Detallado Del Sistema Fotovoltaico De Las Instalaciones Sede De Electro Sur Este S.A.A. De La Región De Cusco*. Obtenido de [www.else.com.pe](https://www.else.com.pe/else/media/4193/pad-sistema-fotovoltaico-sede-de-electro-sur-este-cusco.pdf): <https://www.else.com.pe/else/media/4193/pad-sistema-fotovoltaico-sede-de-electro-sur-este-cusco.pdf>
- Enel. (28 de junio de 2023). *Preguntas frecuentes*. Obtenido de ¿Qué es la eficiencia de los paneles solares?: <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/are-solar-panels-energy-efficient>
- Ergon Perú. (Octubre de 2019). *Il sistema solare di Tozzi Green porta l'energia nel Perù rurale*. Obtenido de [www.tozzigreen.com](https://www.tozzigreen.com/wp-content/uploads/2023/10/20191110_IlSole24Ore.pdf): [https://www.tozzigreen.com/wp-content/uploads/2023/10/20191110\\_IlSole24Ore.pdf](https://www.tozzigreen.com/wp-content/uploads/2023/10/20191110_IlSole24Ore.pdf)
- European Commission. (Enero de 2024). *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM*. Obtenido de [re.jrc.ec.europa.eu](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP): [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP)
- Franco Altamirano, F., & Turpo Cama, J. A. (2015). "Diseño y evaluación de un seguidor solar automático para mejorar el rendimiento en las instalaciones fotovoltaicas". *Tesis de Titulación*. Universidad San Antonio Abad del Cusco, Cusco.

- Franco García, Á. (Febrero de 2016). *La ecuación del tiempo*. Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/>: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/celeste/tiempo/tiempo.html>
- García Mendoza, R. (2013). *Tesis Que Como Requisito Para Obtener El Grado De Maestría En Ciencias En Energías Renovables Presenta*. Entro De Investigación En Materiales Avanzados, S.C., Chihuahua. Obtenido de chrome-extension://mhnlakgilnojmhinhkckjpnpcpbhabphi/pages/pdf/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fcimav.repositorioinstitucional.mx%2Fjspui%2Fbitstream%2F1004%2F456%2F1%2FTesis%2520Rufino%2520Garc%25C3%25ADa%2520Mendoza.pdf
- Gerencia de REgulación de Tarifas - División de Distribución Eléctrica. (2021). *Resolución de los Recursos de Reconsideración Interpuestos contra la Resolución Osinergmin N° 075-2021-OS/CD*. Obtenido de chrome-extension://mhnlakgilnojmhinhkckjpnpcpbhabphi/pages/pdf/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fcdn.www.gob.pe%2Fuploads%2Fdocument%2Ffile%2F2464241%2FOsinergmin-444-2021-GRT-IT.pdf.pdf
- Gobierno del Perú. (1 de Enero de 2023). *Anuario Estadístico de Electricidad 2022*. Obtenido de [www.gob.pe](http://www.gob.pe): <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/4742711-anuario-estadistico-de-electricidad-2022>
- Greenheiss. (2024). *Energía solar: aprovecha el sol para generar energía*. Obtenido de [www.greenheiss.com/](http://www.greenheiss.com/): <https://www.greenheiss.com/energia-solar/>
- Gregus, N. (26 de octubre de 2021). *EnergyLink*. Obtenido de 3 Benefits of Single Axis Solar Trackers: <https://goenergylink.com/blog/single-axis-solar-trackers/>
- Informática, I. N. (setiembre de 2022). *Acceso a los servicios básicos en el Perú, 2021*. Obtenido de ELECTRIFICACIÓN: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1863/cap04.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1863/cap04.pdf)
- Instituto de Tecnologías Educativas. (2023). *Cartas solares*. Obtenido de [fjerrer.webs.ull.es](http://fjerrer.webs.ull.es): [https://fjerrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/31\\_cartas\\_solares.html](https://fjerrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/31_cartas_solares.html)
- Iowa Energy Center. (2007). *solar energy*. Obtenido de <http://www.energy.iastate.edu>
- Julián Layme, A. A. (2017). Diseño e implementación de un seguidor solar para optimizar la captación de radiación solar de un módulo fotovoltaico. *U.N.I Lima – Peru*. Tesis de Titulación.
- Kroposki, B., & DeBlasio, R. (2000). Technologies for the new millennium: photovoltaics as a distributed resource. *Transactionson Consumer Electronics*, 37(4), 913-917.
- La energiasolar. (Enero de 2024). *Seguidor Solar*. Obtenido de [laenergiasolar.org](http://laenergiasolar.org): <https://laenergiasolar.org/energia-fotovoltaica/seguidor-solar/>
- Larrea, G., & Bayas, H. (2011). *iseño de un sistema solar térmico para la producción de*. Ecuador.
- López, A. G. (1985). *Sistemas de seguimiento del sol*. Mompin, P. J. (Ed.). *Energía solar fotovoltaica. Segunda (Ed.)*. Barcelona: Marcombo Boixareu Editores.
- Madrid, V. A. (2009). *Curso energía solar*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

- Markvart. (2000). *Solar Electricity*. Edit. John Wiley and Sons.
- MINEM. (21 de setiembre de 2018). *Ministerio de Energía y Minas*. Obtenido de Instalan más de 80 mil paneles solares en zonas rurales del Perú:  
<https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias/19215-instalan-mas-de-80-mil-paneles-solares-en-zonas-rurales-del-peru>
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de maquinaria*. Mexico: PEARSON Educación.
- Movimiento Ondulatorio. (Octubre de 2010). *Transferencia de Calor*. Obtenido de tranferenciadecolor.blogspot.com:  
[https://tranferenciadecolor.blogspot.com/p/radiacion\\_09.html](https://tranferenciadecolor.blogspot.com/p/radiacion_09.html)
- National Geographic. (2022). *Temperatura equivalente en la superficie del sol*. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.es/>
- Osinermin. (noviembre de 2019). *ENERGÍAS RENOVABLES*. Obtenido de EXPERIENCIA Y PERSPECTIVAS EN LA RUTA DEL:  
[https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinermin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf](https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinermin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf)
- Osinermig. (marzo de 2017). *Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería*. Obtenido de La industria de la energía renovable en el Perú:  
[https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinermin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf](https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinermin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf)
- Pastrana, Y., Oviedo, J., & Cogollo, R. (2006). *Diseño y construcción de un circuito de control para seguidores solares electrónicos*. Universidad de Córdoba, Montería.
- Pino Gotuzzo, R. (2018). *Metodología de la investigación*. . Ed. San Marcos.
- Repsol. (15 de setiembre de 2023). *Seguidores solares*. Obtenido de Innovación bajo el sol:  
<https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/seguidores-solares/index.cshtml>
- ResearchGate. (2024). *Mapa del Perú para el promedio anual de energía solar incidente diaria*. Obtenido de [www.researchgate.net](https://www.researchgate.net): [https://www.researchgate.net/figure/Mapa-del-Peru-para-el-promedio-anual-de-energia-solar-incidente-diaria-2\\_fig4\\_315643456](https://www.researchgate.net/figure/Mapa-del-Peru-para-el-promedio-anual-de-energia-solar-incidente-diaria-2_fig4_315643456)
- Responsable Social Empresarial (RSE). (18 de Octubre de 2018). *Proyecto De Electricidad Con Paneles Solares De Ergon Perú Beneficiará A Más De 600 Mil Personas*. Obtenido de [noticias.rse.pe](https://noticias.rse.pe):  
<https://noticias.rse.pe/proyecto-de-electricidad-con-paneles-solares-de-ergon-peru-beneficiara-a-mas-de-600-mil-personas/>
- Rodríguez, L. (2004). *Componentes De Un Sistema Fotovoltaico*. España: Universidad de Jae.
- Rzayeva, M. P., Salamov, O. M., & Kerimov, M. K. (2001). *Modeling to get hydrogen and oxygen by solar water electrolysis*. International Journal of Hydrogen Energy 26.
- salud, O. p. (s.f.). *Temas*. Obtenido de Cambio climático y salud:  
<https://www.paho.org/es/temas/cambio-climatico-salud>

Sandia. (2007). *hotovoltaic Systems Research & Development*. Sandia National Laboratories, 2007. Obtenido de <http://photovoltaics.sandia.gov/>

Stack Exchange. (16 de Enero de 2016). *¿Cómo funciona un actuador lineal eléctrico sin vástago?* Obtenido de [engineering.stackexchange.com](http://engineering.stackexchange.com):  
<https://engineering.stackexchange.com/questions/2409/how-does-a-rodless-electrical-linear-actuator-work>

Sumano, J. (2012). "Diseño y construcción de un sistema de seguimiento fotovoltaico". *Tesis de Investigación. Oaxaca – México*. Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca.

SunEarthTools.com. (Febrero de 2024). *Posición del Sol*. Obtenido de [www.sunearthtools.com](http://www.sunearthtools.com):  
[https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php?lang=es](https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es)

Tafur Portilla, R. (1995). *La Tesis Universitaria*. Ed. Mantaro, 1995.

Tecnopura. (2012). *Adaptador Serial 12C para pantalla LCD de 16\*2 o 20\*4*. Obtenido de [www.tecnopura.com](http://www.tecnopura.com): <https://www.tecnopura.com/producto/arduino-uno-r3-mega328p-atmega16u2-incluye-cable-usb/>

Trebejo Varillas, I. (2003). "Atlas De Energía Solar Del Perú". Obtenido de [http://www.senamhi.gob.pe/pdf/Atlas%20de\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/Atlas%20de_Radiacion_Solar.pdf)

Unit Electronics. (Febrero de 2021). *Arduino Uno Rev3*. Obtenido de [uelectronics.com](http://uelectronics.com):  
<https://uelectronics.com/producto/arduino-uno-rev3/>

VHESC. (2007). *Proyecto "Célula Solar de Muy alto Rendimiento (VHESC)"*. Universidad de Delaware. Obtenido de [www.radiaciones.net](http://www.radiaciones.net)

Vigo, U. d. (Mayo de 2019). *EPhysLab*. Obtenido de Balance Energético de la Tierra:  
[https://ephyslab.uvigo.es/wp-content/uploads/2019/05/Tema3\\_Balance\\_energ%C3%A9tico.pdf](https://ephyslab.uvigo.es/wp-content/uploads/2019/05/Tema3_Balance_energ%C3%A9tico.pdf)

Zanabria Pacheco, P. (2012). *X Simposio Peruano de Energía Solar* (Primera Edición ed.). Lima: Guzlop. Obtenido de <https://studylib.es/doc/7564181/radiaci%C3%B3n-solar-en-el-cusco>

Zomeworks. (2007). *Zomeworks Track Rack, Passive Energy Products*. Obtenido de [www.zomeworks.com](http://www.zomeworks.com)

## **ANEXOS**

<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>					
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPOTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
<b>PROBLEMA GENERAL</b> ¿En qué medida el diseño e implementación de un seguidor solar empleando un actuador lineal permitirá la optimización de un sistema fotovoltaico?	<b>OBJETIVO GENERAL</b> • Diseñar e implementar un seguidor solar empleando un actuador lineal para la optimización de un sistema fotovoltaico	<b>HIPOTESIS GENERAL</b> • El diseño e implementación de un seguidor solar empleando un actuador lineal, optimizará la generación del sistema fotovoltaico.	<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b> • El Seguidor Solar empleando un actuador lineal.	• Diseño del Seguidor Solar.  • Algoritmo de control.	• Estudio y Simulación
<b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>	<b>VARIABLES DEPENDIENTES</b> • La Optimización del Sistema Fotovoltaico	• Rendimiento	• Reportes y Simulación
• ¿De qué manera un seguidor solar empleando un actuador lineal permitirá optimizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica?	• Implementar un seguidor solar empleando un actuador lineal que permitirá optimizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica.	• El Diseño e implementación un seguidor solar empleando un actuador lineal permitirá optimizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica.			
• ¿De qué manera la implementación de un algoritmo de control optimizará un sistema fotovoltaico de forma automática?	• Implementar un algoritmo de control para optimizar un sistema fotovoltaico de forma automática.	• La Implementación de un algoritmo de control para optimizar un sistema fotovoltaico de forma automática.			
• ¿En qué medida la energía eléctrica generada por un Sistema Fotovoltaico con Seguidor Solar será favorable comparado con un Sistema Fotovoltaico Fijo?	• Determinar en qué medida la energía eléctrica generada por un Sistema Fotovoltaico con Seguidor Solar que será favorable comparado con un Sistema Fotovoltaico Fijo.	• La energía eléctrica generada por un Sistema Fotovoltaico con Seguidor Solar que será favorable comparado con un Sistema Fotovoltaico Fijo.			

<b>MATRIZ DE OPERACIONALIDAD DE VARIABLES</b>						
<b>VARIABLES DE ESTUDIO</b>		<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ESCALA DE MEDICIÓN</b>
<b>Variable Independiente.</b>	Posición del sol	La posición del sol cambia constantemente a lo largo del día y del año, y afecta directamente la cantidad de irradiación solar recibida por los paneles fotovoltaicos.	La posición del sol se determinará usando un software astronómico basadas en la hora del día, la latitud y la longitud del lugar.	Ángulo de incidencia solar	Ángulo en grados	Grados
<b>Variable Independiente.</b>	Ángulo de inclinación del panel	El ángulo se ajusta dinámicamente para seguir al sol. Este ángulo afecta la cantidad de energía captada por el panel.	En el sistema con seguidor solar, se registrarán los ángulos a lo largo del día usando transportadores para determinar cómo varía en comparación con el fijo.	Ángulo de inclinación del panel	Ángulo en grados	Grados
<b>Variable Independiente.</b>	Algoritmo de control	El algoritmo decide cómo y cuándo ajustar el ángulo del panel para seguir la trayectoria del sol, con el objetivo de maximizar la captación de energía solar.	El algoritmo de control se implementará en un microcontrolador que ajustará el ángulo del panel en función de la hora del día que calcule la dirección de la mayor irradiación solar.	Algoritmo de control	Precisión en la orientación	Grados

<b>MATRIZ DE OPERACIONALIDAD DE VARIABLES</b>						
<b>VARIABLES DE ESTUDIO</b>		<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ESCALA DE MEDICIÓN</b>
<b>Variable Dependiente.</b>	Producción de energía eléctrica	Mide la cantidad de energía generada por el sistema fotovoltaico con el seguidor solar comparado con uno fijo.	Se medirá utilizando un medidor de energía eléctrica conectado al sistema fotovoltaico para registrar la cantidad de kilovatios-hora (kWh) generados por los paneles solares durante un día. Los datos serán recolectados y comparados entre el sistema con seguidor solar y el sistema fijo.	Producción de energía	Cantidad de energía generada kWh	kWh
<b>Variable Dependiente.</b>	Eficiencia del sistema fotovoltaico	Es la relación entre la cantidad de energía captada por los paneles solares y la cantidad de irradiancia solar disponible en una superficie dada	La eficiencia se calculará dividiendo la energía producida por el sistema fotovoltaico (en kWh) entre la irradiancia solar recibida (en W/m <sup>2</sup> ), multiplicado por la superficie del panel y el tiempo de exposición.	Eficiencia energética	Porcentaje de eficiencia energética.	%
<b>Variable Dependiente.</b>	Ahorro energético	Es la diferencia entre la energía adicional generada por el sistema fotovoltaico con el seguidor solar y el consumo de energía utilizado para mover el seguidor.	Se calculará restando el consumo energético del actuador lineal (medido en kWh mediante un medidor de potencia) de la energía adicional generada por el sistema con el seguidor solar.	Ahorro energético	Diferencia neta entre la energía generada y el consumo del actuador.	kWh

## ANEXO 2

### //SEGUIDOR SOLAR MEDIANTE EL CALCULO DEL ALBA O SALIDA DEL SOL

#### Programación en el módulo Arduino Uno

```
//-----
//Declaración de puertos y entrada
//-----
// Incluimos librería
#include <Wire.h>
#include "RTCLib.h"
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DHT.h>

//Definimos Variables
//Ubicación CUSCO
float Lat = -13.5169353;
float Long = -71.9792738;
int ZonaH = -5;

//Hora para el cálculo del día juliano
int h = 12, m = 0, s = 0;

int A = 0, B = 0;

float D = 0.0000;

float MediaGeomS = 0.0000;

// Definimos el pin digital donde se conecta el sensor
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11          // Dependiendo del tipo de sensor

// Inicializamos los Módulos
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);      // Inicializamos el sensor DHT11
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // inicializa la interfaz I2C del LCD 16x2
RTC_DS3231 RTC;                // inicializa el modulo RTC
```

```

// Definimos el pin digital
int hora=0;
int minutos=0;
int segundos=0;
const int actuador=7;      // Pin 7 encargado de activar el actuador por horas
const int actuadoreset=8;  // Pin 8 encargado de regresar el actuador a posición inicial

//-----
//Función Principal
//-----
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  lcd.begin(16,2);          //Inicializamos el puerto serie, wire y el modulo RTC
  Serial.begin(9600);       // Inicializamos comunicación serie
  lcd.init();               // Inicializa LCD
  lcd.backlight();          // Coloca luz de fondo al LCD
  lcd.clear();              // Borra el LCD
  dht.begin();              // Comenzamos el sensor DHT
  Wire.begin();
  RTC.begin();              // Comenzamos el sensor RTC

  //Si quitamos el comentario de la línea siguiente, se ajusta la hora y la fecha con la del
ordenador
  // RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));

  pinMode(actuador,OUTPUT); // Configura como salida el pin 7
  pinMode(actuadoreset,OUTPUT); // Configura como salida el pin 8
  //Poner los relés como apagados
  digitalWrite(actuador, HIGH);
  digitalWrite(actuadoreset, HIGH);

}
//-----
//Función Cíclica
//-----
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  DateTime now = RTC.now();
  hora=(now.hour(),DEC);
  minutos=(now.minute(),DEC);
}

```

```

segundos=(now.second(),DEC);
float h = dht.readHumidity(); // Leemos la humedad relativa
float t = dht.readTemperature(); // Leemos la temperatura en grados centígrados (por defecto)

// Calcular el índice de calor en grados centígrados
float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);

// Obtener el día
int Dia = now.day();
int Mes = now.month();
int Ano = now.year();
int Dmes = Mes;

if (Mes == 1 || Mes == 2) {
    Mes = Mes + 12;
    Ano = Ano - 1;
}
A = Ano/100;
B = ((2-A) + (A/4));
D = (Dmes + 0.5)/(h/24) + (m/1440) + (s/86400);

//Dia Juliano
long Var1 = 365.25 * (Ano + 4716);
long Var2 = 30.6001 * (Mes + 1);
float DJ = (Var1+Var2)+D+(B)-1524.5;

//Siglo Juliano
float SJ = ((DJ - 2451545) / 36525);

//Calculo del tiempo sideral medio en Greenwich.
float MediaGeo = (280.46646 + SJ*(36000.76983 + SJ*0.0003032));
MediaGeomS = fmod (MediaGeo,360);

//Calculo de la anomalía media del sol.
float MediaSol = 357.52911+SJ*(35999.05029 - 0.0001537*SJ);

//Orbita Terrestre
float Orbiterr = 0.016708634-SJ*(0.000042037+0.0000001267*SJ);

//Ecuacion de control Solar

```

```

float SolEq = sin(radians(MediaSol))*(1.914602-SJ*(0.004817+0.000014*SJ)) +
sin(radians(2*MediaSol))*(0.019993-0.000101*SJ)+ sin(radians(3*MediaSol))*0.000289;

//Longitud Verdadera del Sol
float SolTrueL = (MediaGeomS + SolEq);

//Anomalia Verdadera del Sol
float SolAnoL = (MediaSol + SolEq);

//Radio Vector del Sol
float RvecSol = (1.000001018*(1 - sq (Orbitterr)))/(1+Orbitterr*cos(radians(SolAnoL)));

//Aplicación solar larga
float SunApp = SolTrueL-0.00569-0.00478*sin(radians(125.04-1934.136*SJ));

//Eclíptica Obliq Media
float EcliOM = 23+(26+((21.448-SJ*(46.815+SJ*(0.00059-SJ*0.001813)))/60)/60;

//Obliq Corregida
float ObliqC = EcliOM+0.00256*cos(radians(125.04-1934.136*SJ));

//Ascenso del Sol
float SunAscen =
degrees(atan2(cos(radians(SunApp)),cos(radians(ObliqC))*sin(radians(SunApp))));

//Declinacion Solar
float DecSun = degrees(asin(sin(radians(ObliqC))*sin(radians(SunApp))));

//Var Y
float Vary = tan(radians(ObliqC/2))*tan(radians(ObliqC/2));

//Eq del Tiempo
float Eqtime = 4*degrees(Vary*sin(2*radians(MediaGeomS))-
2*Orbitterr*sin(radians(MediaSol))+4*Orbitterr*Vary*sin(radians(MediaSol))*cos(2*radians(M
ediaGeomS))-0.5*Vary*Vary*sin(4*radians(MediaGeomS))-
1.25*Orbitterr*Orbitterr*sin(2*radians(MediaSol)));

//HA Amanecer
float HASun = degrees(acos(cos(radians(90.833))/(cos(radians(Lat))*cos(radians(DecSun)))-
tan(radians(Lat))*tan(radians(DecSun))));

```

```
//Medio Día Solar
float MESun = (720-4*Long-Eqtime+ZonaH*60)/1440;
```

```
//Amanecer
float Sunris = MESun - HASun*4/1440;
float Sunrise = Sunris*24;
int Hora = Sunrise; //Hora
float Sunr = Sunrise - Hora;
float Minut = Sunr*60;
int Minuto = Minut; //Minuto
```

```
//Ubicamos el cursor
lcd.setCursor(0,0);
//lcd.print("F:");
    //Imprimimos el dia
lcd.print(now.day(), DEC);
lcd.print('/');
    //Imprimimos el mes
lcd.print(now.month(), DEC);
lcd.print('/');
    //Imprimimos el año
lcd.print(now.year(), DEC);
```

```
    //Imprimimos la hora
lcd.setCursor(11,0);
lcd.print(now.hour(), DEC);
lcd.print(':');
    //Imprimimos los minutos
lcd.print(now.minute(), DEC);
```

```
    //Imprimimos la temperatura
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("T:");
lcd.print(t,1);
lcd.print("\337C");
    //Imprimimos la humedad
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print("RH:");
lcd.print(h,0);
```

```
lcd.print("%");
```

```
Serial.print("Dia Juliano: "); Serial.println(DJ, 0);  
Serial.print("Amanecer Hora: "); Serial.println(Hora);  
Serial.print("Amanecer Minutos: "); Serial.println(Minuto);
```

```
//Variables
```

```
int hora_1 = Hora + 3;  
int hora_2 = hora_1 + 2;  
int hora_3 = hora_2 + 1;  
int hora_4 = hora_3 + 1;  
int hora_5 = hora_4 + 2;  
int hora_6 = hora_5 + 3;  
int return = hora_6 + 1;
```

```
//Hora 1
```

```
if (now.hour()== hora_1 && now.minute() == Minuto && now.second() == 0)  
{  
  digitalWrite(actuador,LOW);  
  delay(500);  
}
```

```
//Hora 2
```

```
else if (now.hour()== hora_2 && now.minute() == Minuto && now.second() == 0)  
{  
  digitalWrite(actuador,LOW);  
  delay(500);  
}
```

```
//Hora 3
```

```
else if (now.hour()== hora_3 && now.minute() == Minuto && now.second() == 0)  
{  
  digitalWrite(actuador,LOW);  
  delay(500);  
}
```

```
//Hora 4
```

```
else if (now.hour()== hora_4 && now.minute() == Minuto && now.second() == 0)  
{  
  digitalWrite(actuador,LOW);  
  delay(500);  
}
```

```
//Hora 5
```

```

else if (now.hour()== hora_5 && now.minute() == Minuto && now.second() == 0)
{
digitalWrite(actuador,LOW);
delay(500);
}
//Hora 6
else if (now.hour()== hora_6 && now.minute() == Minuto && now.second() == 0)
{
digitalWrite(actuador,LOW);
delay(500);
}
//Retorno
else if (now.hour()== retorn && now.minute() == Minuto && now.second() == 0)
{
digitalWrite(actuadoreset,LOW);
delay(10000);
}
else
{
digitalWrite(actuador,HIGH);
digitalWrite(actuadoreset,HIGH);
}

Serial.print("Hora_1: "); Serial.println(hora_1);
Serial.print("Hora_2: "); Serial.println(hora_2);
Serial.print("Hora_3: "); Serial.println(hora_3);
Serial.print("Hora_4: "); Serial.println(hora_4);
Serial.print("Hora_5: "); Serial.println(hora_5);
Serial.print("Hora_6: "); Serial.println(hora_6);
Serial.print("Retorno: "); Serial.println(retorn);

delay(1000); // Tiempo en el que refresca la información
lcd.clear();
}
//Fin Programa

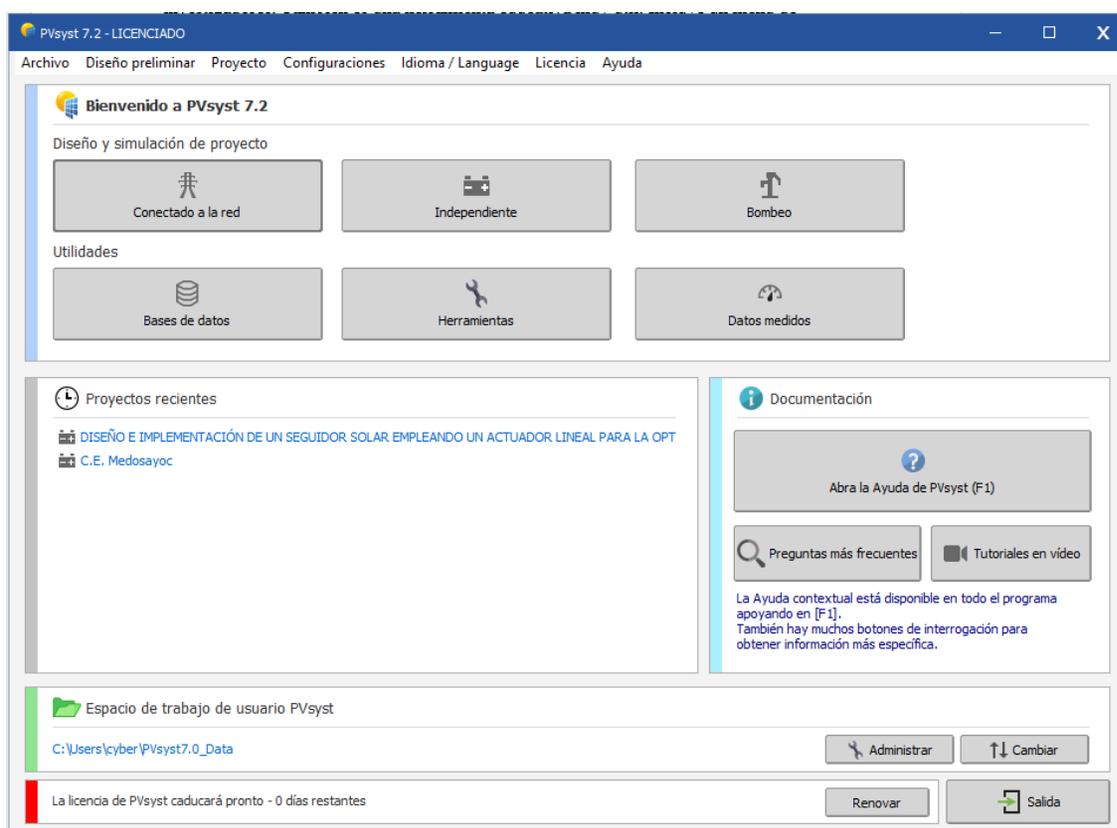
```

## ANEXO 3

### SOFTWARE PARA EL CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS.

#### PVSYST

PVsysst está diseñado para ser utilizado por arquitectos, ingenieros e investigadores. También es una herramienta educativa muy útil. Incluye un menú de ayuda contextual detallado que explica los procedimientos y modelos que se utilizan, y ofrece un enfoque fácil de usar con una guía para desarrollar un proyecto. PVsysst puede importar datos meteorológicos, así como datos personales de muchas fuentes diferentes.



Proyecto: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR.PRU

Proyecto Sitio Variante

**Proyecto** Nuevo Carga Guardar Configuración del proyecto Eliminar Cliente

Nombre del proyecto: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR EMPLEANDO UN ACTUADOR LINE Nombre del cliente: No definido

Archivo del sitio: Cusco - Los Nogales\_MN80.SIT Meteonorm 8.0 (1996-2015), Sat=100% Perú

Archivo meteo: Cusco - Los Nogales.MET Meteonorm 8.0 (1996-2015), Sat=100% Simetico

**Simulación realizada**  
(versión 7.2.8, fecha 03/07/22)

**Variante** Nuevo Guardar Importar Eliminar Administrar

Variante n°: VCO : Nueva variante de simulación

**Resumen de resultados**

**Tipo de sistema** Sistema independiente con baterías

Producción del sistema	142 kWh/año
Producción específica	1769 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento	0.229
Producción normalizada	1.61 kWh/kWp/día
Pérdidas del conjunto	5.26 kWh/kWp/día
Pérdidas del sistema	0.16 kWh/kWp/día

**Parámetros principales**

- Orientación
- Necesidades usuario
- Sistema
- Pérdidas detalladas

**Opcional**

- Horizonte
- Sombreados cercanos
- Evaluación económica

**Simulación**

- Ejecutar simulación
- Simulación avanzada
- Informe
- Resultados detallados

**Salida**

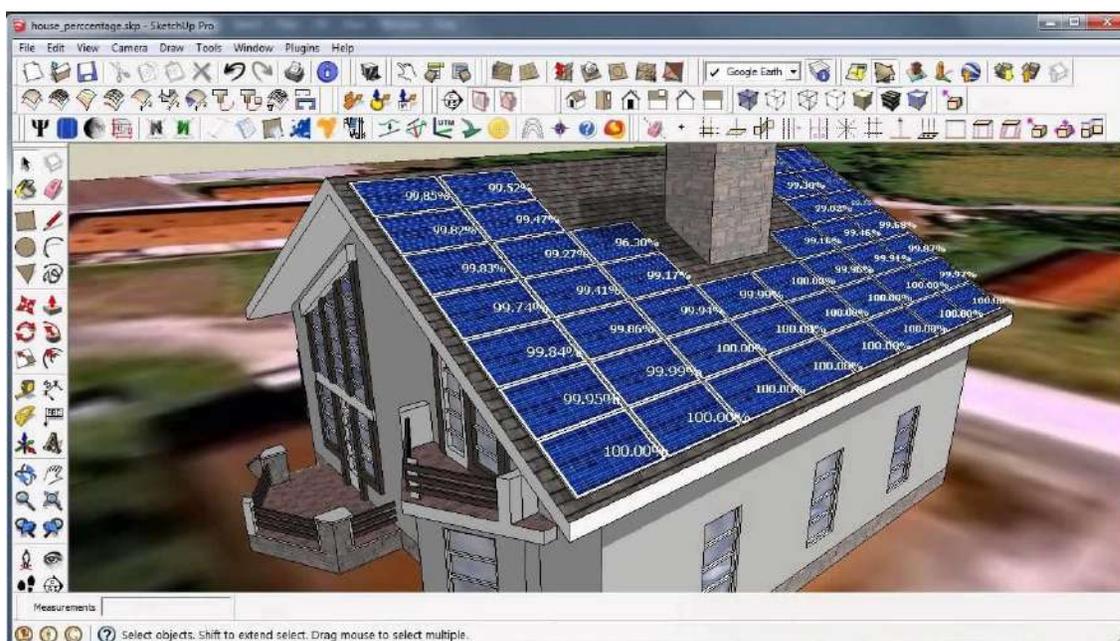
## SKELION PLUGIN DE DISEÑO DE SISTEMAS SOLARES PARA SKETCHUP

### SKELION

Diseña instalaciones solares térmicas o solares fotovoltaicas a partir de un modelo 3d.

Reduce el costo del diseño ahorrando horas de tiempo de modelado.

Hace presentaciones y propuestas profesionales atractivas.



## HERRAMIENTAS WEB Y DATOS DE RECURSOS SOLARES.



**NREL** proporciona datos y herramientas de recursos solares para ayudar a los diseñadores de sistemas de energía, arquitectos e ingenieros de edificios, analistas de energía renovable y otros a acelerar la integración de tecnologías solares en la red.



**PVGIS** proporciona información sobre la radiación solar y el rendimiento del sistema fotovoltaico (PV) para cualquier lugar de Europa y África, así como de gran parte de Asia y América. Está disponible en inglés, francés, italiano, español y alemán.



**PVcase** Ground Mount es un software de diseño solar que lo ayuda a crear diseños 3D detallados y superar los desafíos específicos del sitio por adelantado.



Colección de herramientas con la energía solar.

Análisis económico de una instalación fotovoltaica

Cálculo de la posición del sol en el cielo para cada lugar de la tierra.