



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**DISEÑO DE UN MÓDULO SEGUIDOR FOTOVOLTAICO PARA DETERMINAR
ÁNGULOS INCIDENTES DE RADIACIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA.**

Proyecto de titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros en
Electromecánica.

Autores:

Canchala Tipanluisa Jefferson Fabián

Chasi Toapanta Moisés Isaías

Tutor:

Ing. M. Sc Cristian Gallardo

LATACUNGA- ECUADOR

2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Canchala Tipanluisa Jefferson Fabian** con cédula de ciudadanía N° **055010935-9**, y **Chasi Toapanta Moisés Isaías** con cedula de ciudadanía N° **050362671-5** estudiantes de la Carrera de **Ingeniería Electromecánica** declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“DISEÑO DE UN MÓDULO SEGUIDOR FOTOVOLTAICO PARA DETERMINAR ÁNGULOS INCIDENTES DE RADIACIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”**, siendo el **M.Sc. Cristian Gallardo Molina**, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad

Canchala Tipanluisa Jefferson Fabian

055010935-9

Chasi Toapanta Moisés Isaías

050362671-5

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DISEÑO DE UN MÓDULO SEGUIDOR FOTOVOLTAICO PARA DETERMINAR ÁNGULOS INCIDENTES DE RADIACIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”, de Canchala Tipanluisa Jefferson Fabian, Chasi Toapanta Moisés Isaías estudiante de la carrera **Ingeniería Electromecánica**, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la **Facultad en Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas** de la **Universidad Técnica de Cotopaxi** designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto, 2021

M.Sc. Cristian Fabian Gallardo Molina

C.I.:0502847692

Tutor

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la **Facultad en Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**; por cuanto, los postulante: Canchala Tipanluisa Jefferson Fabian, Chasi Toapanta Moisés Isaías, estudiante de la carrera de **Ingeniería Electromecánica**, con el título de Proyecto de titulación: **“DISEÑO DE UN MÓDULO SEGUIDOR FOTOVOLTAICO PARA DETERMINAR ÁNGULOS INCIDENTES DE RADIACIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto 2021

Para constancia firman:

Lector 1(Presidente)
PhD. Enrique Torres Tamayo
C.C:175712194-0

Lector2
Ing. Luis Rolando Cruz Panchi: M. Sc
CC:050259517-6

Lector 3 (Secretario)
Ing. Edwin Homero Moreano Martínez; M. Sc
CC: 0502607500-0

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios quien me ha dado la oportunidad de lograr mis sueños; a mi madre Nelly Tipanluisa que con su apoyo incondicional me ayudo a culminar mis estudios. A mis tíos por su apoyo incondicional, y por ser quienes me incentivan a luchar por mis sueños, a mis entrañables amigos quienes me hicieron parte de sus vidas y fueron mis consejeros en momentos de angustia y mis cómplices en aquellos momentos de dicha, a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a sus docentes, que con su sabiduría me guiaron por el camino del saber y en especial a mi tutor el M.Sc. Cristian Fabian Gallardo Molina, quien me supo guiarme en el presente trabajo de investigación.

Jefferson Fabian Canchala Tipanluisa

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas. A mis padres y esposa por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron. Por otra parte, los docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi quienes me guiaron y compartieron sus conocimientos durante el proceso de aprendizaje, mediante el cual he conseguido finalizar una meta más.

Moisés Chasi

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada con mucho amor y cariño a los seres más preciados que Dios me ha dado a mis abuelitos Néstor y Ercelinda que son ejemplo de lucha y perseverancia que con su amor y dedicación me enseñaron a seguir adelante a no rendirme que su bendición fue eterna para seguir con tan anhelado sueño.

A mi familia, sin ellos nada de esto se llegaría a cristalizar, su amor, paciencia y dedicación constante, que no me permitieron renunciar a mi vida, me han enseñado a luchar y sonreír ante las adversidades de la vida, con amor y dedicación este trabajo es para cada uno de ustedes y en especial para mi tía Mariela Tipanluisa quien ha sido mi guía en este largo caminar, me apoyo en mis momentos de angustia y celebrando junto a mi cada uno de mis triunfos, por eso y muchas cosas más hoy te digo gracias tía.

Jefferson Fabian Canchala Tipanluisa

DEDICATORIA

A mi maravillosa familia que tengo, que han sido la base de mi formación, cada uno de ustedes ha aportado grandes cosas a mi vida, y me han ayudado a enfrentar y salir victorioso ante las diversas adversidades de la vida.

A mis padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más.

A mi esposa quien durante mi proceso de estudio me brindo su apoyo incondicional, por darme su fortaleza e inspiración. Por creer siempre en mí y decirme a diario que si podía lograrlo

Moisés Chasi

Índice General

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA.....	vi
Índice General	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
INDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
AVAL DE TRADUCCIÓN	xvi
1. INFORMACIÓN BÁSICA.....	1
1. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	1
1.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	1
1.2 TIPO DE ALCANCE	1
1.3 ÁREA DEL CONOCIMIENTO:.....	2
1.4 SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	2
1.5 OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN	2
1.5.1 Objeto de estudio.....	2
1.5.2 Campo de acción	2
1.6 SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA.....	3
1.6.1 Situación Problémica.....	3
1.6.2 Problema.....	3
1.7 Hipótesis	3
1.7.1 Variables.....	4
1.8 OBJETIVO(S)	4
1.8.1 Objetivo General.	4
1.8.2 Objetivos Específicos.	4
1.9 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS	4
2. Marco Teórico.....	6
2.1 Introducción general a la energía solar	6

3.2 Energías renovables y no renovables	6
3.3 Energía Solar.....	7
3.4 Radiación Solar.....	7
3.5 Equipos de Medición de Radiación Solar.....	8
3.5.1 Pirheliómetro o actinómetro.....	8
3.5.2 Piranómetro o solarímetro.....	8
3.5.3 Heliofanógrafo heliógrafo.....	8
3.6 Eficiencia Energética	8
3.7 Orientación e inclinación solar.	9
3.7.1 Posicionamiento solar	9
3.7.2 Variables.....	10
3.8 Trayectoria Solar.....	12
3.8.1 Movimiento de la tierra respecto al sol	12
3.8.2 Diagrama solar de Ecuador:	13
3.9 Energía Solar Fotovoltaica.....	14
3.10 Celdas y Paneles Solares Fotovoltaicos.....	14
3.10.1 Celdas solares.....	14
3.10.2 Paneles solares	15
3.10.3 Tipos de paneles solares.....	15
3.10.4 Comparación de los tipos de paneles	16
3.11 Ventajas de la energía solar fotovoltaica	17
3.12 Desventajas de la energía solar fotovoltaica.....	17
3.13 Sistemas fotovoltaicos	18
3.13 Componentes de los Sistemas Solares Fotovoltaicos	18
3.13.1 Generador fotovoltaico.....	18
3.13.2 Baterías.....	18
3.13.3 Reguladores de carga	18
3.13.4 Inversores	18
3.14 Captadores fijos y con seguimiento	19
3.15 Radiación solar sobre captadores fijos y en movimiento.....	19
3.15.1 Radiación solar sobre captadores fijos.....	19
3.15.2 Radiación solar sobre captadores en movimiento	20

3.16	Seguidor solar según el tipo de movimiento.....	22
3.16.1	Seguidor de un solo eje	22
3.16.2	Seguidor de dos ejes:	23
3.17	Tipos de seguidores solares	23
3.17.1	Seguidor solar pasivo	23
3.17.2	Seguidores Solares activos	25
3.17.3	Seguidor solar de un eje azimutal	25
3.17.4	Seguidor solar de un eje horizontal	26
3.17.5	Seguidor solar de un eje polar	26
3.17.6	Seguidor solar de dos ejes	27
3.17.8	Hidroseguidores solares	27
3.18	Funcionamiento y control de los seguidores solares.....	27
3.19	NORMATIVIDAD	28
4	METODOLOGIA	28
4.1	Indagación bibliográfica	28
4.2	Indagación de campo	28
4.3	Indagación empírica.....	29
4.4	Dimensionamiento y selección de componentes del seguidor.....	29
4.4.1	Estimación de consumo.....	29
4.4.2	Dimensionado del panel fotovoltaico.....	30
4.4.3	Dimensionamiento de los acumuladores o baterías	31
4.4.4	Dimensionamiento del regulador	33
4.4.5	Dimensionado de los cables	33
4.5	Dimensionamiento y del modelado de la Estructura	35
4.5.1	Grados De Libertad	35
4.6	Elementos Electrónicos que actúan en el seguidor	39
4.6.1	Microprocesador mega.....	39
4.6.2	La medida de la corriente del Panel Fotovoltaico (Sensor de corriente ACS712 ELCTR 10A ± 10A).....	40
4.6.3	Cálculo del ángulo de inclinación del panel solar fotovoltaico (Dispositivo acelerómetro y giroscopio 3 ejes MPU 6050).....	40
4.6.4	Sensores Ldr o Fotorresistencia	41
4.6.5	Motor Nema 23	42

4.6.6	Driver de referencia TB6600.....	43
4.6.7	Sensor luz ultravioleta GY-ML8511.....	44
4.7	Conexión De Elementos Electrónicos	45
4.8	Potencia Máxima Y Mínima De Los Actuadores.....	45
4.9	Cálculo del ángulo de incidencia	47
4.10	Software para el diseño Electrónico	48
4.11	Proteus Design Suite.....	48
4.12	Programación Del Seguidor Solar	49
5	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	50
5.1	ALCANCE.....	50
5.2	CALCULO DE LA ENERGIA TOTAL NECESARIA.....	50
5.2.1	Calculo del rendimiento con el panel a 0°	51
5.3	ESTRUCTURA DEL SEGUIDOR SOLAR TERMINADO	52
5.4	CÁLCULO ESTRUCTURAL.....	53
5.4.1	Ingeniería en Detalle	53
5.4.2	Incidencia solar sobre paneles con seguimiento en el Ecuador	53
5.4.3	Prueba preliminar con un ángulo a 0°.....	53
5.4.4	Día parcialmente nublado	55
5.4.5	Día Soleado	56
5.4.6	Pruebas con variación de ángulos	57
6	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	59
6.1.	PRESUPUESTO	60
6.6.1	Calculo del VAN y el TIR	62
6.2.	Análisis de impactos	62
6.2.1	Impacto tecnológico	62
6.2.2	Impacto económico	63
6.2.3	Impacto social	63
6.2.4	Impacto ambiental.....	63
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
7.1	CONCLUSIONES	63
7.2	RECOMENDACIONES.....	64
8.	REFERENCIAS	65

9. ANEXOS.....	69
----------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Tareas y actividades a realizar.....	5
Tabla 3.1. Rendimiento, ventajas y desventajas de los paneles solares	16
Tabla 4.1. Consumo en Wh de equipos en corriente continua (DC).....	30
Tabla 4.2. características del Panel.....	31
Tabla 4.3 Tamaño de los cables, la corriente máxima que puede fluir sin recalentar el cable y la cantidad de potencia que puede producirse a diferentes voltajes.	35
Tabla 4.4. Consumo de actuadores.....	46
Tabla 4.5. Consumo de corriente de los actuadores	46
Tabla 6.1. materiales y costos para la construcción	60
Tabla 6.2. Presupuesto del proyecto.....	62

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Tipos de radiaciones.....	8
Figura 3. 2 Ángulos de posicionamiento solar	10
Fig. 3.3 ángulos a tener en cuenta en una instalación fotovoltaica.	12
Figura 3.4 Movimiento de rotación de la tierra.....	12
Figura 3.5 movimiento del sol durante el año.	13
Figura 3.6 Variación del ángulo cenital en función de las fechas del año en Ecuador	13
Figura 3.7 (a) panel monocristalino, (b) panel policristalino, (c) panel amorfo.....	16
Figura 3.8 seguimiento cenital diario	20
Figura 3.9 seguimiento solar continuo.	21
Figura 3.10 Seguimiento azimutal continuo.....	21
Figura 3.11 Seguidor solar en dos ejes.....	22
Figura 3.12 Radiación solar incidente en superficies no horizontales	23
Figura 3.13 Primera etapa del seguidor solar pasivo.....	24
Figura 3.14 Segunda etapa seguidor pasivo	24
Figura 3.15 Tercera etapa del seguidor pasivo.....	25

Figura 3.16 seguidor azimutal en diferentes ángulos.	25
Figura 3.17 seguidor con eje horizontal	26
Figura 3.18 Seguidor con eje polar.....	26
Figura 3.19 Seguidor en dos ejes.....	27
Figura 4.1 Equivalencia cables AWG de calibre a milímetros, Calibre AWG a milímetros.	35
Figura 4.2 Diagrama cinemático realizado en AutoCAD.....	36
Figura 4.3 Diagrama de cuerpo libre de columna principal	37
Figura 4.4 Arduino mega.....	40
Figura 4.5 Sensor ACS712 de Allegro	40
Figura 4.6 giroscopio en 3 ejes (MPU 6050)	41
Figura 4.7 Representación del sensor LDR	41
Figura 4.8 motor nema 23	43
Figura 4.9 Driver TB6600	44
Figura 4.10 Sensor GY-ML8511	44
Figura 4.11 Entorno de simulación Proteus	49
Figura 5.1 Estructura terminada del seguidor.....	52
Figura 5.2 Grafica de radiación generada el 13 de junio del 2021	54
Figura 5.3 Grafica de radiación generada el 14 de junio del 2021	54
Figura 5.4 Grafica de radiación generada el 15 de junio del 2021	56
Figura 5.5 grafica de ángulo solar	56
Figura 5.6 Grafica de radiación generada el 16 de junio del 2021	57
Figura 5.7 Grafica de radiación generada el 13 de julio del 2021	58
Figura 5.8 Grafica eficiencia el 13 de julio del 2021	58
Figura 5.9 Grafica de radiación generada el 14 de julio del 2021	59
Figura 5.10 Grafica eficiencia el 14 de julio del 2021	59

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADA

TÍTULO: DISEÑO DE UN MÓDULO SEGUIDOR FOTOVOLTAICO PARA DETERMINAR ÁNGULOS INCIDENTES DE RADIACIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Autor/es:

Jefferson Fabian Canchala Tipanluisa Chasi Toapanta Moisés Isaías

RESUMEN

La energía fotovoltaica a nivel mundial se encuentra en crecimiento principalmente en los países asiáticos, además presenta un 2,6% de la demanda de energía eléctrica a nivel mundial, otro factor que influye en el crecimiento de la incorporación de fuentes de energía renovable utilizando como base la energía fotovoltaica es el desarrollo de la tecnología la cual ha conseguido reducir el precio de los implementos necesarios para su implementación. Ecuador es un país en el cual debido a su ubicación es privilegiado ya que posee una elevada radiación solar la cual puede ser utilizada para la generación de energía eléctrica. En el presente proyecto se detallan el diseño de un módulo seguidor para la toma de datos en tiempo real de voltaje, corriente y ángulos de incidencia para decidir la eficiencia y potencia generada, por medio de la visualización de las curvas de los paneles solares fotovoltaicos. Ya que en el territorio no hay estudios sobre la eficiencia de los mismos, la escasa inversión en la tecnología para el entorno de la indagación, el mismo que dificulta la utilización de esta clase de sistemas en los ángulos y coordenadas geográficas idóneas. El módulo didáctico está producido por medio del dimensionamiento de toda una composición fotovoltaica como generador fotovoltaico un panel policristalino de 30W, un regulador de carga de 12V, una batería de 12V y para la toma de datos de irradiancia por medio de ldrs ya que es de menor costo que un pirómetro, un sensor de corriente ACS712 y el sensor de voltaje FZ0430, por medio de la lógica de los cálculos estructurados, el mismo que posibilita visualizar el posicionamiento conveniente del panel solar fotovoltaico donde se llegue tener más grande eficiencia.

Palabras Claves: panel solar, voltaje, corriente, eficiencia.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: DESIGN OF A PHOTOVOLTAIC TRACKER MODULE TO DETERMINE INCIDENT ANGLES OF RADIATION IN THE GENERATION OF ELECTRICAL ENERGY.

Author / s:

Jefferson Fabian Canchala Tipanluisa

Chasi Toapanta Moisés Isaías

ABSTRACT

Photovoltaic energy worldwide is growing mainly in Asian countries, it also presents 2.6% of the demand for electricity worldwide, another factor that influences the growth of the incorporation of renewable energy sources using as The basis of photovoltaic energy is the development of technology which has managed to reduce the price of the implements necessary for its implementation. Ecuador is a country in which due to its location it is privileged since it has high solar radiation which can be used for the generation of electricity. In this project, the design of a tracker module is detailed for the collection of data in real time of voltage, current and incidence angles to decide the efficiency and power generated, by means of the visualization of the curves of the photovoltaic solar panels. Since there are no studies on their efficiency in the territory, the scarce investment in technology for the environment of the investigation, which makes it difficult to use this class of systems at the ideal geographic coordinates and angles. The didactic module is produced by sizing an entire photovoltaic composition as a photovoltaic generator, a 30W polycrystalline panel, a 12V charge regulator, a 12V battery and for taking irradiance data through ldrs since it is of lower cost than a pyrometer, an ACS712 current sensor and the FZ0430 voltage sensor, by means of the logic of structured calculations, the same one that makes it possible to visualize the convenient positioning of the photovoltaic solar panel where greater efficiency is achieved.

Keywords: solar panel, voltage, current, efficiency.

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“DISEÑO DE UN MÓDULO SEGUIDOR FOTOVOLTAICO PARA DETERMINAR ÁNGULOS INCIDENTES DE RADIACIÓN EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”** presentado por: **Canchala Tipanluisa Jefferson Fabian** y **Chasi Toapanta Moisés Isaías**, egresado de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad en Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, agosto del 2021

Atentamente,



Lic. Lidia Rebeca Yugla Lema

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CI: 0502652340



Firmado electrónicamente por:
MARCO PAUL
BELTRAN
SEMBLANTE



CENTRO
DE IDIOMAS

1. INFORMACIÓN BÁSICA

PROPUESTO POR:

Canchala Tipanluisa Jefferson Fabián, Chasi Toapanta Moisés Isaías

TEMA APROBADO: Diseño de un módulo seguidor fotovoltaico para determinar ángulos incidentes de la radiación en la generación de energía eléctrica.

CARRERA: Ingeniería Electromecánica

DIRECTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA: Ing. M.Sc. Cristian Gallardo

LUGAR DE EJECUCIÓN: Cotopaxi, Latacunga, Universidad Técnica de Cotopaxi

TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA: 6 meses

FECHA DE ENTREGA: Agosto 2021

LÍNEA(S) Y SUBLINEAS DE INVESTIGACIÓN A LAS QUE SE ASOCIA LA PROPUESTA TECNOLÓGICA:

Línea de investigación de la Universidad: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental

Sub línea de investigación 2: Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

Sub línea de investigación 3: Eficiencia energética en sistemas electromecánico y uso de fuentes renovables de energía.

TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA: La propuesta presentada consiste en desarrollar el diseño de un módulo seguidor fotovoltaico capaz de determinar ángulos incidentes de la radiación en la generación de energía eléctrica.

1. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

1.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Diseño de un módulo seguidor fotovoltaico para determinar ángulos incidentes de la radiación en la generación de energía eléctrica.

1.2 TIPO DE ALCANCE

- a) Multipropósito: El presente proyecto está enfocado a la medición de parámetros fotovoltaicos (radiación solar) confines de enseñanza –aprendizaje y/o actividades de investigación de la energía solar.

- b) Interdisciplinar: El aprendizaje y conocimiento de la ingeniería en las ciencias básicas, en las ciencias profesionalizarte y en la especialización se ha adquirido destreza y conocimiento en el área eléctrica, mecánica y electrónica entre otros los cuales nos permiten realizar dicho sistema.
- c) Integrador: La utilización de otra fuente de energía ayudaría a tratar de no depender de una energía no renovable y así evitar la contaminación con ese fin se realiza este módulo para futuras investigaciones y así realizarlo a gran escala.

1.3 ÁREA DEL CONOCIMIENTO:

Según la norma CINE – UNESCO la propuesta tecnológica que se realiza esta dentro de los siguientes campos; campo amplio 330000 Ciencia Tecnológicas, campos específicos 3322 Tecnología energética, 3311 Tecnología de la instrumentación, 3307 Tecnología electrónica; campos detallados 3322.03 Generadores de energía, 3322.05 Fuentes no convencionales de energía, 3311.01 Tecnología de la automatización, 3307.09 dispositivos fotoeléctricos.

1.4 SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

La energía solar fotovoltaica es una forma de energía limpia de simple montaje y mantenimiento, la cual tiene una larga vida útil, por lo que se ha observado la necesidad del diseño de un dispositivo experimental fotovoltaico con fines didácticos, propuestos a la formación y al adelanto tecnológico en la región, mediante el cual se determinara los ángulos incidentes para la generación de energía eléctrica de acuerdo a la posición del sol a distintas horas y épocas del año, el modulo contará con un software mediante el cual se realizara las gráficas del potencial energético y sus parámetros de generación , voltaje e intensidad y de esa modo comprobar el mejor posicionamiento en el cual se obtenga mayor eficiencia en la radiación obtenida.

1.5 OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN

1.5.1 Objeto de estudio

Ángulos de incidencia en sistemas fotovoltaicos

1.5.2 Campo de acción

Los recursos renovables existentes en el país son los adecuados para la transformación de la energía en nuestro caso la fotovoltaica enfocada a los rendimientos en función a los ángulos de incidencia solar en las diferentes regiones del país.

1.6 SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA

1.6.1 Situación Problemática

La utilización de las energías renovables en la provincia de Cotopaxi es bastante escaso, aunque, existe monumental potencial para desarrollar la energía fotovoltaica y la biomasa, conociendo que la cobertura eléctrica, en la zona de servicio de la ELEPCO SA. ha sido del 97%, conforme con El Proyecto Operativo Anual de la Organización Eléctrica Cotopaxi 2014 -2017, encontrando que, una de las superiores resoluciones para que la zona rural donde no llega el servicio de energía eléctrica logre disponer del servicio de energía fotovoltaica, debido a que es más costoso llevar por medio del cableado común la energía esencial para electrificar a los hogares que se hallan más alejados. Por consiguiente, queda una gigantesca obligación el averiguar y difundir sobre las superiores alternativas en la utilización de las energías renovables debido a que la provincia está en el sector ecuatorial donde la incidencia del sol es aventajado, lo mejor va a ser impulsar e impulsar la utilización de la energía solar fotovoltaica, la cual dejará resolver al 100% la carencia de cobertura en energía eléctrica en la provincia.

Nos proponemos a diseñar un sistema de seguimiento solar que se puede llevar a cabo en cualquier parte del territorio, la iniciativa central, es que el sistema posibilite tener la composición y los ángulos adecuados para sistemas fotovoltaicos a ser implementados a futuro, siendo de mucha utilidad para expertos y alumnos confines de educación –aprendizaje y/u ocupaciones de indagación.

1.6.2 Problema

Dentro de la caracterización de la energía fotovoltaica para la toma de datos de radiación solar y posicionamiento, no existe un sistema adecuado que permita la obtención de los mismos a diferentes ángulos de incidencia.

1.7 Hipótesis

El diseño de un mecanismo estructural de un seguidor solar de dos ejes permitirá, de una forma adecuada y técnica, la recopilación de datos de la radiación solar y el posicionamiento de los ángulos incidentes de los paneles solares, para tener un mejor rendimiento dentro del diseño de los sistemas fotovoltaicos.

1.7.1 Variables.

- **Variable Independiente**

Radiación solar, ángulos de incidencia

- **Variable dependiente**

El rendimiento del sistema fotovoltaico

1.8 OBJETIVO(S)

1.8.1 Objetivo General.

- Diseñar y Construir un seguidor solar de dos ejes mediante un mecanismo automático para orientar el posicionamiento de los ángulos incidentes en la generación fotovoltaica

1.8.2 Objetivos Específicos.

- Investigar sobre los ángulos de posicionamiento y tipos de radiación que intervienen en la generación fotovoltaica.
- Dimensionar el sistema electromecánico para el posicionamiento y recopilación de datos.
- Determinar los materiales adecuados para el diseño del seguidor fotovoltaico.
- Analizar el rendimiento de generación fotovoltaica mediante el posicionamiento a diferentes ángulos de incidencia con los datos obtenidos del seguidor solar.

1.9 DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

Es importante realizar la descripción del desarrollo de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos para orientar el proceso y cumplimiento del proyecto, cada actividad cumple un papel importante en la realización de la propuesta tecnológica.

Tabla 2.1. Tareas y actividades a realizar

Objetivos Específicos	Tareas	Resultados de la actividad	Métodos y Técnicas
Investigar sobre los ángulos de posicionamiento y tipos de radiación que intervienen en la generación fotovoltaica.	Indagación sobre los tipos de radiación y el posicionamiento de acuerdo a la latitud.	Datos de radiación e irradiación.	Investigación Bibliográfica y atlas solar.
Dimensionar el sistema electromecánico para el posicionamiento y recopilación de datos.	Mediante la simulación en el software determinar una infraestructura óptima para nuestro seguidor solar.	Pruebas de posicionamiento de la infraestructura del seguidor solar.	Simulación del sistema mediante un software.
Determinar los materiales adecuados para el diseño del seguidor fotovoltaico.	Investigar y seleccionar los materiales adecuados para la construcción del seguidor fotovoltaico.	Los materiales existentes en el mercado son de fácil adquisición.	Investigación Campo.
Analizar el rendimiento de generación fotovoltaica mediante el posicionamiento a diferentes ángulos de incidencia con los datos obtenidos del seguidor solar.	Realizar cálculos de incidencia solar y analizar entre un sistema fijo y un sistema seguidor quien tiene mayor rendimiento	Verificar los mejores ángulos de incidencia de la radiación solar para determinar el mejor rendimiento.	Cálculos realizados

Fuente: Autores

2. Marco Teórico

2.1 Introducción general a la energía solar

La Energía solar, es la energía adquirida mediante la captación de la irradiación y el calor emitido por el sol. La radiación solar que alcanza el planeta Tierra puede aprovechada por medio de la energía que produce, como además a través de la filtración de la radiación, por ejemplo, en dispositivos ópticos o de diferente tipo. Es una de las llamadas energías renovables exclusivamente del conjunto no contaminante, conocido como energía limpia o energía verde. Se puede tomar que en buenas condiciones de irradiación la equivalencia es de 1000 W/m² en la superficie terrestre. A esta potencia se la define como irradiación.

La radiación es aprovechable en sus elementos directa y difusa, o en la suma de las dos. La radiación directa es aquella que de manera directa de la luz solar. Sin reflexiones o refracciones intermedias. La refulgencia difusa es aquella que es emitida por la bóveda celeste diurna debido a los diversos fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y lo restante de medios atmosféricos y de la tierra. La refulgencia directa del sol puede reflejarse y concentrarse para su implementación, en lo que no es viable concentrar la luz solar difusa que nace de cada una de las posiciones que de la luz solar. La fluorescencia perpendicular a los rayos del sol fuera de la atmósfera, toma el nombre de constante solar y tiene un valor medio de 1354 W / m², que corresponda a un valor mayor en el perihelio de 1395 W / m² y un valor mínimo en el afelio de 1308 W / m²[1]

3.2 Energías renovables y no renovables

Se llaman energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales dichamente inagotable, esto se debe a la inmensa cantidad de energía que poseen o porque tienen la capacidad de regenerarse por medios naturales.

Pero a medida que las poblaciones siguen creciendo, consumen mayor cantidad de energía. Pero las energías que se obtienen a partir de carbón, petróleo y gas no son renovables se van agotando a paso acelerado año tras año.[2]

Entonces la mejor opción es ir aprovechando otras fuentes de energía que se encuentran en nuestro medio: viento, sol, residuos, etc. las cuales se renuevan constantemente, y no se agotan y lo más importante hoy en día, no contaminan el medio ambiente, lo que significa una doble ventaja para los ciudadanos.

3.3 Energía Solar

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando. Hoy en día, el calor y la luz del Sol pueden aprovecharse por medio de diversos captadores como células fotoeléctricas, heliostatos o colectores solares, pudiendo transformarse en energía eléctrica o térmica. Tenemos que tomar un punto muy en especial que la energía solar es la fuente de energía que se va desarrollando a pasos agigantados con mayores adelantos tecnológicos y tiene mucha mayor proyección para el futuro.[3]

3.4 Radiación Solar

La radiación solar es el conjunto de ondas electromagnéticas las cuales van en todas las direcciones y se originan en la fuente solar mediante un proceso de fusión nuclear que las emite sin necesidad de un medio material o físico. Su unidad de medida es la irradiación W/m^2 y la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre es directamente proporcional a la altura sobre el nivel del mar.[4]

La radiación solar excita a los electrones del elemento semiconductor del que este hecho el módulo fotovoltaico que por lo general es silicio generando una diferencia potencial pequeña. La energía solar que llega a la superficie terrestre es 10 mil veces mayor que la que se consume en todo el planeta. Existen varios tipos de radiación y son:

- **Radiación directa:** Se identifica por proyectar una sombra del objeto que la intercepta porque llega directamente del sol sin sufrir un cambio de dirección.
- **Radiación reflejada:** Es la cantidad de radiación que es reflejada por la superficie, la cual depende del albedo o también conocido como coeficiente de reflexión.
- **Radiación difusa:** Es la radiación consecuencia de la reflectancia por las nubes, montañas, arboles e infraestructura; no tiene una dirección definida y no produce sombra. La radiación solar al ingresar por las capas atmosféricas se dispersa aproximadamente el 15% en días despejados mientras que en días nublados el porcentaje asciende [5]
- **Radiación Global:** Es la sumatoria de los tres tipos de radiación antes mencionadas.

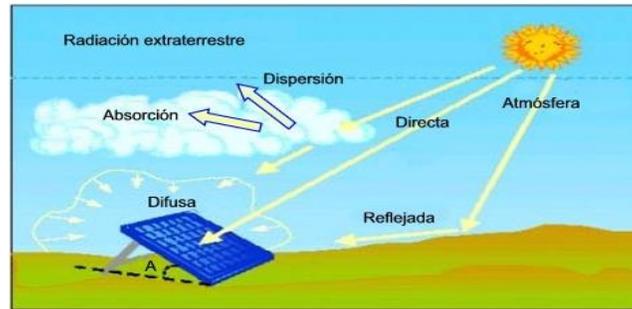


Figura 3.1. Tipos de radiaciones

Fuente:[6]

3.5 Equipos de Medición de Radiación Solar

Los equipos para la medición de la radiación son diversos de las cuales nombraremos unos pocos.

3.5.1 Pirheliómetro o actinómetro

Mide únicamente la radiación procedente directamente del sol y de una región angular muy próxima máximo de 2° [7].

3.5.2 Piranómetro o solarímetro

Mide la radiación hemisférica total del sol sobre una superficie horizontal. Este instrumento es capaz de medir la radiación solar global y también mide el albedo global [7].

3.5.3 Heliofanógrafo heliógrafo

Con este equipo se obtiene la insolación, es decir, las horas del sol brillante efectivas en el día [7].

3.6 Eficiencia Energética

la adopción de medidas de optimización de la energía trae beneficios directos al país y a su desarrollo sustentable en cuatro áreas básica las cuales son [8].

- **Estratégicos:** Reduce la dependencia de fuentes de combustibles fósiles.
- **Económicos:** Ahorrar energía permite también el ahorro económico.
- **Ambientales:** Disminuyen de la demanda de los recursos naturales no renovables, reducciones de emisiones del GEI los que conducen al calentamiento global en especial del dióxido de carbono.

- **Sociales:** Las familias de escasos recursos son las más beneficiadas por su inaccesibilidad a energía eléctrica debido a estar ubicados lejos de los centros poblados.

3.7 Orientación e inclinación solar.

Para conseguir un máximo aprovechamiento de la radiación solar, los paneles fotovoltaicos deben estar orientados de forma que la incidencia de la radiación sea lo más perpendicular posible a los mismos. Para aprovechar a lo largo del año más tiempo la luz solar, la orientación de los paneles se hace hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur. En definitiva, los paneles se instalarán siempre mirando hacia el Ecuador.

En invierno, el sol no alcanzará el mismo ángulo que en verano. Idealmente, en verano los paneles solares deberían ser colocados en posición ligeramente más horizontal para aprovechar al máximo la luz solar. Sin embargo, los mismos paneles no estarán, entonces, en posición óptima para el sol del invierno. Con el propósito de alcanzar un mejor rendimiento anual promedio, los paneles solares deberán ser instalados en un ángulo fijo, determinado en algún punto entre los ángulos óptimos para el verano y para el invierno.

3.7.1 Posicionamiento solar

Conjuntamente de las situaciones atmosféricas hay otro parámetro que puede perjudicar extremadamente a la incidencia de la radiación justo en un captador solar, este es el desplazamiento aparente del sol en todo el día y en todo el año, (Ver Figura 3.2) Se cuenta "aparente" pues en realidad la Tierra es la que está girando y no el Sol. La Tierra tiene 2 tipos de movimientos: uno cerca de su propio eje, el cual da sitio al día y la noche y el otro; en torno al sol siguiendo una trayectoria elíptica, el cual da sitio a las estaciones del año. [26]

Debido a la inclinación del eje de rotación de la tierra 23.5° en relación a su eje vertical y la manera elíptica de la órbita de traslación, la trayectoria del Sol con en relación a un observador ubicado en el área del mundo no es circular en un solo plano como ya se ha descrito, por lo cual se muestra cierta complejidad para determinarla. Por esto necesita de un modelo matemático más difícil que la describa desde la siguiente información:

- Posición geográfica del observador (latitud y longitud) · Fecha de observación (el día en el año) · Altitud del observador con respecto del grado del océano.

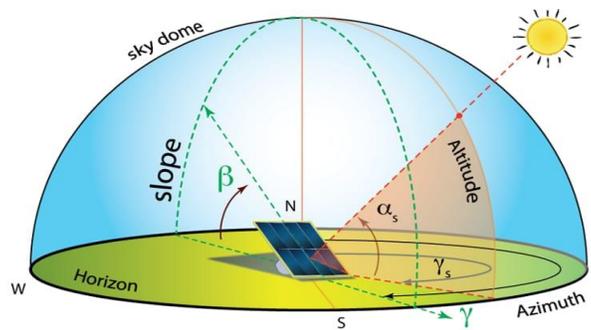


Figura 3.2. Ángulos de posicionamiento solar

Fuente: [27]

La resultante de posicionamiento solar se explica por medio de los ángulos acimutales que medidos partiendo del Norte hacia el Este hasta la proyección del vector de posición relativo al plano horizontal y de elevación o altitud medido a partir del horizonte del observador hacia el vector de perspectiva solar partiendo de su proyección. Este último es el complemento del ángulo cénit, Figura 3.2

Un arreglo fotovoltaico obtiene la máxima insolación una vez que se conserva apuntando de manera directa al sol. Para esto es necesario seguir la trayectoria al sol a lo largo del día ya lo largo de todo el año, requiriéndose el ajuste de 2 ángulos del arreglo: el de altura para continuar el desplazamiento diario del sol en la dirección norte-sur, y el ángulo azimut para continuar el desplazamiento anual de la trayectoria solar en la dirección este-oeste.

3.7.2 Variables

Latitud: Es la distancia angular medida desde el ecuador a cualquier punto de la superficie terrestre. Todos los que están en la línea ecuatorial están en 0° desde esta línea al norte ocupa un rango de 0 a 90 grados positivos mientras que hacia el sur el mismo rango, pero es negativo; por ende, en los polos tanto norte como sur tendría 90° .

Longitud: La longitud es la medida del arco comprendido entre el meridiano de Greenwich y el meridiano que pasa por el punto. Puede medir de 0 a 180 grados y ser Este u Oeste.

Irradiación: Es un fenómeno físico que se produce por emisiones de energía en forma de radiaciones electromagnética por parte del sol; y su unidad es el Wh/m^2 .

Irradiancia: Es una magnitud que se utiliza para describir la potencia que incide de las radiaciones provenientes del sol en una superficie. Se mide en W/m^2 .

Reflectancia: Es la capacidad que tiene un cuerpo para reflejar la luz solar, por lo tanto, la reflectancia es la relación entre la potencia electromagnética incidente con respecto a la potencia que es reflejada por una interface, se conoce como coeficiente de reflexión.

Índice de claridad del cielo: Se define como la relación entre la radiación global y la radiación extraterrestre.

Descripción de los ángulos utilizados como variables.

Ángulo de la hora solar (ω). Indica el desplazamiento angular del Sol sobre el plano de la trayectoria solar. Cada hora corresponde a 15° ($360^\circ/24$ horas). El ángulo horario es -180° a las 0h, 0° a mediodía (12h) y 180° al final del día (24h), su rango es $-180 \leq \omega \leq 180$.

Ángulo de declinación solar (δ). Es el ángulo que se forma entre la línea sol-tierra y el plano ecuatorial cuando se trata de zonas tropicales la declinación solar es igual a la latitud, su rango $-23,45 \leq \delta \leq 23,45$.

Ángulo acimut (γ). El acimut se cuenta a partir del norte en sentido de las manecillas del reloj formando una circunferencia de 360° donde $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ y 270° representan los puntos cardinales, su rango $0 \leq \gamma \leq 360$.

Ángulo cenital (θ_z). El cenit se cuenta desde la horizontal a la vertical. Si el sol está directamente encima del observador, el cenit es 90° . El oeste por donde sale el sol el cenit es 0° mientras que al este es 180° .

Ángulo de incidencia del sol (θ). Ángulo de incidencia formado por la normal a la superficie y el rayo solar de incidencia de ella.

Ángulo de inclinación de la superficie (β). Ángulo de ubicación del panel o módulo solar con respecto a la horizontal.

En la figura 3.3 se indica la ubicación de los ángulos anteriormente expuestos.

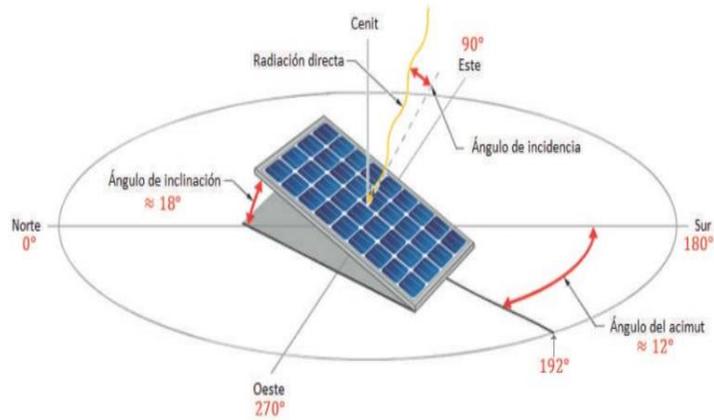


Fig. 3.3. ángulos a tener en cuenta en una instalación fotovoltaica.

Fuente:[14]

3.8 Trayectoria Solar

3.8.1 Movimiento de la tierra respecto al sol

La tierra con su movimiento de rotación que se da alrededor del sol con una órbita inclinada, es lo que da origen a las estaciones. Debido a esa trayectoria decimos que el sol no siempre sale y se oculta exactamente por el este-oeste respectivamente[15] (como se observa en la figura 3.4):

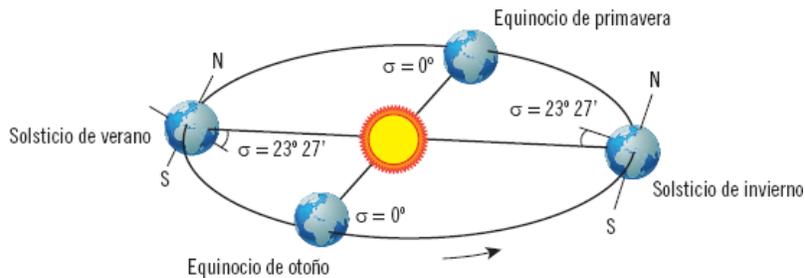


Figura 3.4. Movimiento de rotación de la tierra.

Fuente:[16]

Anualmente el sol tiene un movimiento de oriente a poniente con ciertas desviaciones ya sea hacia el norte o sur. Como todo fenómeno ocurre de forma contraria tanto en el hemisferio sur como en el norte. En el caso del hemisferio norte en época de verano el sol sale al norte del este y en época de invierno sale al sur del este y en el hemisferio sur de forma inversa. Movimiento del sol a lo largo del año: No siempre coincide la trayectoria solar de un año con

otro en cualquier punto del planeta, está relacionada íntimamente con la latitud del lugar. Cabe mencionar que la inclinación del trayecto solar estará en función de los equinoccios y los solsticios. El primero es cuando el sol sale exactamente por el este y se oculta por el oeste y el número de horas de luz es igual al número de oscuridad mientras que los solsticios son cuando los movimientos del sol están más dirigidos hacia el norte o sur (como podemos apreciar en la figura 3.5).

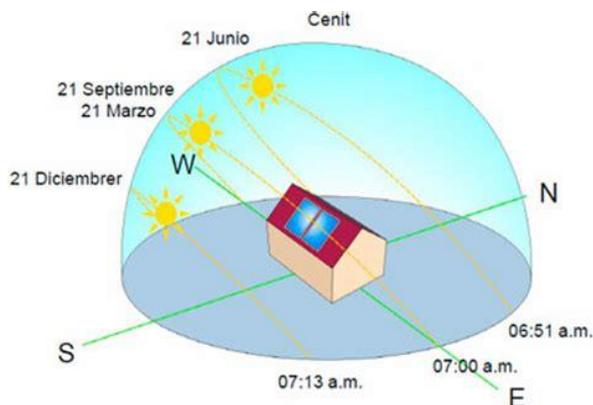


Figura 3.5. movimiento del sol durante el año.

Fuente:[17]

3.8.2 Diagrama solar de Ecuador:

Sobre el plano ecuatorial, la duración de los días y de las noches es invariablemente de doce horas. Del 21 de marzo al 21 de septiembre, está siempre al norte y en la otra mitad del año está siempre al sur

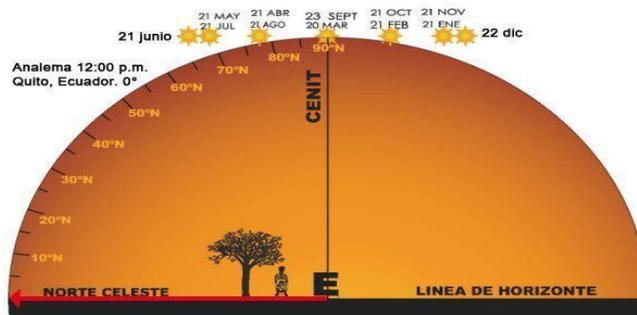


Figura 3.6. Variación del ángulo cenital en función de las fechas del año en Ecuador

Fuente: [18]

3.9 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es originaria del sol y genera energía eléctrica de forma directa, es decir, sin conversiones previas. Se trata de una fuente de energía totalmente limpia, que no necesita del uso de reacciones químicas ni provoca ningún tipo de residuos. Esta energía se produce a partir de módulos fotovoltaicos conectados entre sí; los cuales están formados por unidades básicas llamadas células solares[19].

Esta conversión se da aprovechando los materiales semiconductores mediante las células fotovoltaicas. Los fotones provenientes de la luz del sol chocan con la superficie de la célula y genera una corriente eléctrica. Esto se logra a través del denominado proceso de conversión fotovoltaica gracias al efecto fotoeléctrico de la luz solar.

La producción de energía eléctrica puede ser a gran escala en parques fotovoltaicos de magnas extensiones o a pequeña escala en comunidades, viviendas, radares de velocidad, alumbrado público, etc. Sus principales aplicaciones son:

- Venderla a grandes compañías generadoras de energía eléctrica.
- Métodos de abastecimiento de satélites en órbita
- Construcción de sistemas híbridos (solar-eólico y/o solar-fósil).
- Hoteles, viviendas, casas, etc.
- Señales y radares de tránsito
- Navegación aérea
- Equipos de transmisión y adquisición de datos
- Radioenlaces, telefonía móvil, postes S.O.S.

3.10 Celdas y Paneles Solares Fotovoltaicos

3.10.1 Celdas solares

Son los dispositivos que convierten la radiación solar en corriente eléctrica por medio de una unión P-N que es la que se expone a la luz. Consiste en una lámina con un espesor de 100 a 500 μm de un semiconductor como el silicio y una lámina de fósforo un no metal multivalente que tiene una superficie comprendida entre 100 y 225 m^2 . Una celda fotovoltaica típica mide 10*10 cm y genera una producción que oscila entre 1 o 2 W. En el mercado podemos encontrar módulos de 36 y 72 células conectadas en serie [20].

La célula solar se caracteriza por tener un efecto fotovoltaico que consiste en convertir de manera directa los fotones emitidos por la luz del sol en electricidad.

3.10.2 Paneles solares

También llamados módulos solares, son placas formadas por un conjunto de celdas fotovoltaicas, que son dispositivos compuestos de materiales semiconductores que captan la energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica, mediante el efecto fotovoltaico.

Estos dispositivos tienen una vida útil aproximadamente de 25 años, tiempos a partir del cual la eficiencia empieza a disminuir, pero se están desarrollando programas de reciclaje para después de su vida útil que además recuperan económicamente una parte importante de la inversión inicial [21].

3.10.3 Tipos de paneles solares

En cuanto a paneles, este dependerá de la tecnología utilizada para la célula solar.

Panel solar de silicio puro monocristalino: Formado por secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. Se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% en laboratorio y en paneles comerciales rendimientos del 16 %.

Panel solar de silicio puro policristalino: Los materiales son similares a los anteriores pero el proceso de cristalización del silicio es diferente. Se obtiene un rendimiento en laboratorio del 19% y en paneles comerciales un rendimiento del 14%, siendo su precio también más bajo.

Panel solar de silicio amorfo: Se llaman amorfos debido a que el silicio no ha cumplido su proceso de cristalización. No es muy comercial debido a que tiene una reducción de la inyección de potencia es por ello que se utilizan en pequeños aparatos electrónicos.

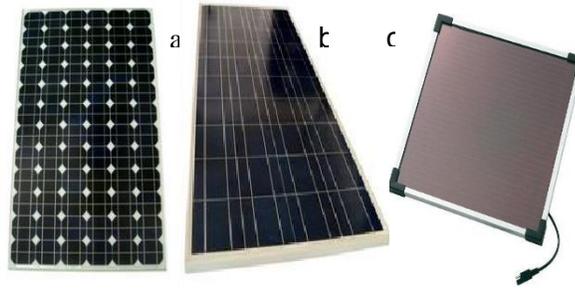


Figura 3.7. (a) panel monocristalino, (b) panel policristalino, (c) panel amorfo

Fuente: [21]

3.10.4 Comparación de los tipos de paneles

En la tabla 3.2 se refleja la comparación entre las tres tecnologías más utilizadas para la generación de energía eléctrica.

Tabla 3.1. Rendimiento, ventajas y desventajas de los paneles solares

	Rendimiento	Ventajas	Desventajas
Monocristalinos	14-17%	Tecnología estable y con un alto rendimiento.	Compleja implementación y un costo de energía inapropiado.
Policristalinos	12-14%	Su fabricación es sencilla y optimiza el espacio.	Sensible a impurezas y complejo de implementar.
Amorfos	4-6% individual y 7-10% asociados.	Bajo costo de materia y energía en su fabricación.	Deterioro con los años y un bajo rendimiento.

Fuente: Autores

3.11 Ventajas de la energía solar fotovoltaica

Entendemos que las fabricaciones de células fotovoltaicas necesitan la utilización de recursos tóxicos, si tomamos presente la era de vida de la tecnología fotovoltaica (desde la sustracción de la materia prima hasta el desenlace de su historia útil), el efecto sobre la naturaleza es incomparablemente menor que las tecnologías fundamentadas en combustibles fósiles. Además, muestra ventajas extras[22].

- Son sistemas fáciles y sencillos de instalar.
- Alta versatilidad: tienen la posibilidad de posicionarse en casi cualquier sitio y en instalaciones de distinto tamaño.
- Instalaciones de forma sencilla modulables, con lo cual se puede incrementar o reducirla potencia instalada de forma sencilla según las necesidades.
- Ingresos extras en la situación de las instalaciones conectadas a red.
- Mantenimiento y peligro de avería bastante bajo.
- Beneficios sociales, acerca al habitante al uso racional de la energía, respetando hábitos de consumo más respetuosos con el medioambiente.
- Hablamos de una tecnología en veloz desarrollo que tiende a minimizar el precio e incrementar el rendimiento.

En la situación de las instalaciones recluidas de la red tienen la posibilidad de aumentar además las próximas ventajas:

- Previene un costoso mantenimiento de líneas eléctricas en regiones de difícil ingreso.
- Borra los costes ecológicos y estéticos de la instalación de líneas en aquellas condiciones.
- Cooperera a eludir el despoblamiento progresivo de determinadas regiones.
- Es una energía descentralizada que podría ser tomada y usada a lo extenso del territorio.

3.12 Desventajas de la energía solar fotovoltaica.

Entre los problemas no equiparables con las fuentes de energías convencionales y más apropiadas de una instalación y de los parques solares, se hallan [22]:

- El efecto visual de los parques solares, que acostumbran emplear enormes zonas de captación.
- Sólo se crea energía a medida que hay luz y es dependiente del nivel de insolación.
- El lapso de amortización de la inversión es largo, de unos 10 años.
- El rendimiento es bastante bajo, gracias a la baja eficiencia de las células solares, en varios casos inferior al 40%.

3.13 Sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos son un grupo de equipos eléctricos y electrónicos que transforman la energía solar en energía eléctrica. El principal componente de generación es el panel fotovoltaico, el mismo que está compuesto por células que son capaces de captar radiación solar y transformarles en energía eléctrica de corriente continua

Los “FV” traen consigo varias ventajas como ser una tecnología aceptada internacionalmente, con altos índices de confiabilidad y limpia con el ambiente. Además presenta costos bajos de operación y mantenimiento aunque su coste de implementación sea elevado[23].

3.13 Componentes de los Sistemas Solares Fotovoltaicos

3.13.1 Generador fotovoltaico

Dispositivo formado por células fotovoltaicas que transforman la energía del sol en energía eléctrica, puede estar conectado en serie y/o paralelo.

3.13.2 Baterías

Su principal función es el almacenamiento de energía durante periodos de generación altos como el día y permitir su uso y funcionamiento en momentos cuando el generador no puede entregar la potencia necesaria como en la noche.

3.13.3 Reguladores de carga

Es el encargado de proteger de descargas o sobrecargas de corriente a las baterías cuidando así su vida útil.

3.13.4 Inversores

Es el aparato dedicado a cambiar el voltaje de corriente continua a un voltaje de salida de corriente alterna y así alimentar a la red eléctrica.

3.14 Captadores fijos y con seguimiento

Un seguidor solar es una estructura que es utilizado para seguir el sol, estos pueden girar en uno o dos ejes. Este-Oeste y Norte-Sur, los seguidores solares de dos ejes son los que permiten seguir el sol con una mayor precisión. El aumento de rendimiento que da esta estructura es del orden de un 34% más con respecto a los paneles que están colocados fijamente y con una inclinación óptima. En el caso de instalaciones fotovoltaicas, si consideramos el rendimiento de toda la instalación, es decir, paneles solares más inversores eléctricos, el incremento puede llegar a un 40%.

En seguidores de un solo eje (Norte-Sur) el rendimiento anual puede ser de un 30%. Con estos sistemas se amortizan más rápidamente el costo, debido a la mayor producción de electricidad [24].

Pero la mayoría de instalaciones se hacen habitualmente fijas quizás deberíamos tomar más en serio los seguidores solares, y si hablamos de seguidores solares que no consumen parte de su energía generada, ni ningún tipo de combustible fósil, entonces estamos hablando de un seguidor que no tiene nada que perder, pero si mucho por ganar, como son los hidroseguidores solares.

3.15 Radiación solar sobre captadores fijos y en movimiento

En un captador fijo el ángulo de inclinación de la superficie captadora debe ser óptima, porque debe proporcionarnos la orientación y el ángulo de inclinación idóneo para el mejor aprovechamiento de la radiación, siendo los encargados de hacer a los módulos y paneles fotovoltaicos resistentes a la acción ejercida por los agentes atmosféricos, y depende mucho si es un sistema híbrido, autónomo o está conectada a la red, pero el objetivo de la red es el que define el régimen de uso y consumo. En todo caso la eficiencia del sistema está directamente relacionado con el factor económico[24].

3.15.1 Radiación solar sobre captadores fijos

Los captadores fijos siempre van a poseer una inclinación que es igual a la latitud del lugar, entonces lo forma más conveniente de llamar este capítulo es “radiación solar sobre superficies inclinadas” si bien lo deseado sería partir del conocimiento de las componentes de radiación solar, pero esto no es muy frecuente, y tenemos que partir al menos de la radiación global sobre una superficie horizontal[24].

3.15.2 Radiación solar sobre captadores en movimiento

Los módulos solares siguen el sol para minimizar el ángulo de incidencia de la radiación directa en su superficie, y maximizar la radiación solar recibida por el sistema. Y los ángulos que intervienen en el movimiento y que por lo tanto varían con el tiempo, son el ángulo de incidencia (ángulo cenital de la superficie θ) y el ángulo azimutal (Ψ).

Hay varios sistemas de seguimiento, y estos están clasificados de acuerdo al movimiento de la superficie. La rotación puede ser sobre un eje, que puede tener cualquier disposición, pero en la práctica se dispone:

- Este-oeste horizontalmente.
- Norte –sur horizontalmente.
- Vertical.
- Paralelo al eje de la tierra.
- Dos ejes.

3.15.2.1 Seguimiento en un eje de rotación horizontal este-oeste, con ajuste diario

Es un sistema que se encuentra colocado con una inclinación fija, y que se modifica diariamente, de tal forma que la radiación directa sea perpendicular a la superficie captadora al medio día.



Figura 3.8. seguimiento cenital diario

Fuente:[25]

3.15.2.3 Seguimiento de un eje de rotación este-oeste, con ajuste continuo para minimizar el ángulo de incidencia

El seguimiento realizado por los colectores cilindro parabólicos. En el que se posee una disposición de eje este-oeste, la parábola se mueve de modo que su plano de apertura sea perpendicular a la altura solar o a lo largo del día.

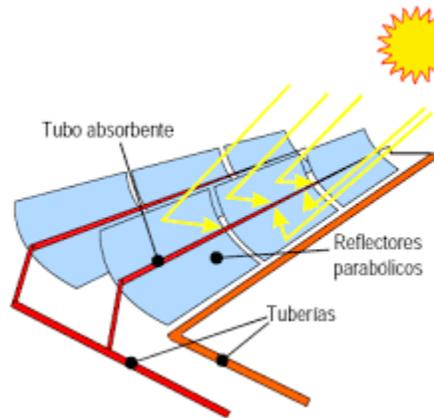


Figura 3.9. seguimiento solar continuo.

Fuente:[26]

3.15.2.4 Seguimiento de un eje horizontal norte-sur con ajuste continuo para minimizar el ángulo de incidencia

Se trata de un seguimiento que a medio día pasa por su superficie horizontal, pero la superficie captadora sigue perpendicularmente a la altura solar durante el día.



Figura 3.10. Seguimiento azimutal continuo

Fuente:[27]

3.16 Seguidor solar según el tipo de movimiento.

Este tipo de seguidores se basa en el tipo de estructura que posee y a los grados de libertad.

3.16.1 Seguidor de un solo eje

La rotación del área de captación tiene relación con un solo eje, este podría ser horizontal, vertical u oblicuo. Este tipo de seguidor solar representa un bajo nivel de problema y su precio es accesible comparativamente con otros tipos de seguimiento solar. La limitación de esta diversidad de seguidor se basa en que no puede innovar un seguimiento completo del sol debido a que solo puede continuar así sea de acuerdo con el ángulo de inclinación solar, sin embargo, no las dos[27].

Solamente se mueve de este a oeste, mejor dicho, solo poseen un grado de libertad. El movimiento horizontal que se da en esta clase de seguidores se le llama Azimut y su medida es en grados (de 0° a 360°) representado en la figura 3.11. Al movimiento vertical se le llama altura o elevación, no obstante, la elevación está en un ángulo fijo para esta clase de seguidores como se ve en la Figura 3.11, el giro se va ajustando para que la común a el sector coincida en todo momento con el meridiano terrestre que tiene al Sol, maximizando la incidencia de la luz que llega los paneles.



Figura 3.11. Seguidor solar en dos ejes

Fuente:[27]

3.16.2 Seguidor de dos ejes:

Esta clase de seguimiento solar cuenta con 2 grados de independencia y tiene la función de hacer un seguimiento total del sol, tanto en inclinación como en azimut, aun en comparación con otro tipo de seguidor la ganancia de la instalación podría ser superior comparativamente con los seguidores de un solo eje, es esencial nombrar que el de 2 ejes resulta ser más costoso en el momento de su implementación o adquisición[28].

Esta clase de seguidor tiene 2 grados de independencia y que combina el desplazamiento azimutal con el de norte a sur (elevación). De tal forma que el área se preserva continuamente perpendicular a la irradiación de la luz solar, Ver Figura 3.12.

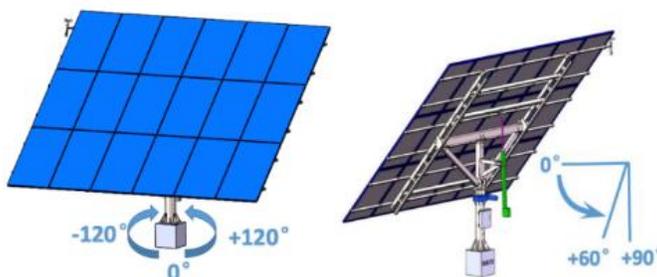


Figura 3.12. Radiación solar incidente en superficies no horizontales

Fuente:[28]

3.17 Tipos de seguidores solares

3.17.1 Seguidor solar pasivo

Estos seguidores son de eje polar que carece de un control electrónico para su funcionamiento, su funcionamiento está basado en el cambio de densidad de un líquido, de bajo punto de ebullición como es el freón. Estos líquidos se colocan en dos recipientes, que están orientados de este a oeste e interconectados entre sí. De tal modo que cuando el líquido recibe los rayos solares este se evapora y la diferencia de pesos provoca el movimiento de los paneles, los paneles están colocados de tal manera que se encuentran balanceado el peso y adicionalmente se colocan amortiguadores hidráulicos para contrarrestar la fuerza del viento[29].

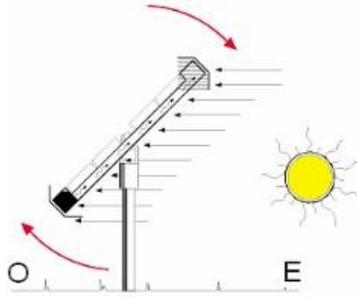


Figura 3.13. Primera etapa del seguidor solar pasivo

Fuente:[29]

El seguidor comienza orientado al oeste, pero con los primeros rayos del sol que recibe el refrigerante este comienza a evaporarse, Figura 3.13 y circula hacia el recipiente del lado este, al llegar ahí se vuelve a condensar y la diferencia de pesos provoca que el seguidor gire y quede orientado hacia el este.

Estos recipientes tienen en los extremos unas placas que originan sombra sobre ellos, de tal modo que el refrigerante que se encuentra en la sombra se condensa y el que está expuesto a los rayos solares se evapora, el equilibrio se alcanza cuando en ambos recipientes se encuentra la misma cantidad de líquido, lo que nos da que el seguidor se encuentra en forma perpendicular al sol, entonces con esto se dice que durante todo el día el líquido busca el equilibrio, lo que induce al seguimiento del sol.

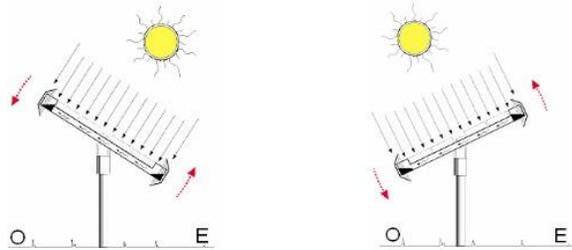


Figura 3.14. Segunda etapa seguidor pasivo

Fuente:[29]

Finalmente, al atardecer el seguidor llega a su límite mecánico, que significa que todo el líquido se encuentra en el recipiente este, y entonces el otro recipiente se encuentra en la sombra, con esto el seguidor ha culminado su ciclo de trabajo, como vemos en la figura 3.15.

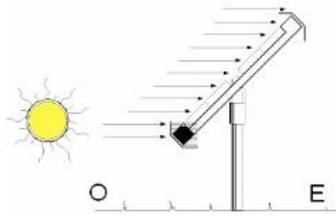


Figura 3.15. Tercera etapa del seguidor pasivo

Fuente:[29]

3.17.2 Seguidores Solares activos

Estos seguidores utilizan controles electrónicos para ubicar la posición del sol, estos controladores se retroalimentan a base de sensores y utilizan algún actuador para realizar el movimiento del seguidor, en el mercado existen varios tipos de seguidores activos que se diferencian por el número de movimientos automáticos que realizan y por el volumen de trabajo que pueden desarrollar[30].

3.17.3 Seguidor solar de un eje azimutal

Estos seguidores giran sobre un eje vertical, y los paneles deben estar orientados con un ángulo igual a la latitud del lugar, con esto se lograría un mayor rendimiento del sistema durante todo el año, el valor de giro sobre su eje vertical es determinado directamente por el valor del ángulo azimutal del sol. La curva que dibuja en el espacio presenta siempre la misma altitud con un volumen de trabajo reducido en comparación con los otros seguidores, Figura 3.16 su diseño es más simple por lo que su uso se ha extendido a otros fabricantes.

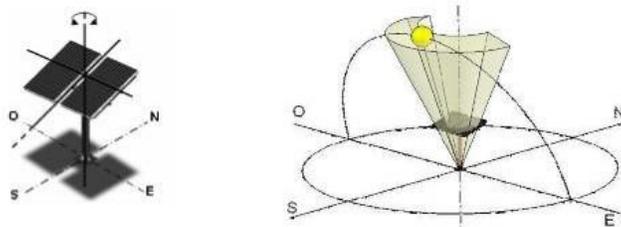


Figura 3.16. seguidor azimutal en diferentes ángulos.

Fuente:[31]

3.17.4 Seguidor solar de un eje horizontal

Esos seguidores giran sobre un eje horizontal norte-sur, los módulos se encuentran colocados de manera paralela al eje de giro. La trayectoria dibujada es siempre de este a oeste perpendicular al plano horizontal, que difiere de la trayectoria solar en la inclinación que se tiene, en la figura 3.17.

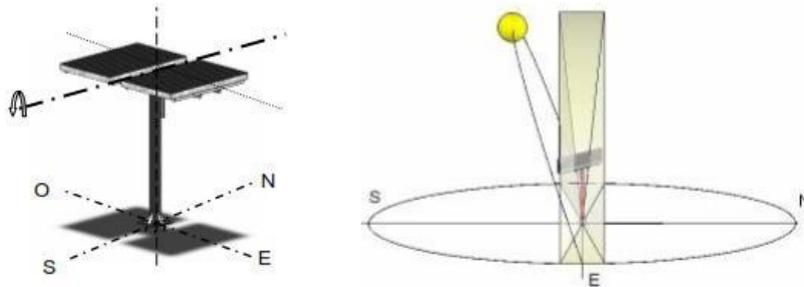


Figura 3.17. seguidor con eje horizontal

Fuente:[31]

3.17.5 Seguidor solar de un eje polar

Estos seguidores giran sobre un eje orientado en la dirección norte -sur que tiene una inclinación igual a la latitud del lugar, los módulos se colocan paralelos al eje de giro, la velocidad de giro es de unos 15°/hora. Muy parecido al seguidor horizontal pero su inclinación que es igual a la latitud del lugar hace que estos tengan una mayor ganancia por año, debido a que estos corrigen la declinación del sol, con respecto a este tipo de seguidor se tiene un diseño más elaborado, la inclinación de los módulos puede ajustarse manualmente debido a que su trayectoria descrita solo coincide finalmente con la del sol en el equinoccio de primavera y otoño, como se puede observar en la figura 3.18.

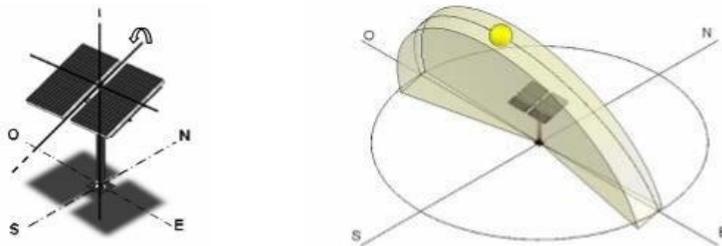


Figura 3.18. Seguidor con eje polar

Fuente:[31]

3.17.6 Seguidor solar de dos ejes

Estos seguidores tienden a realizar dos movimientos, para conseguir el seguimiento en los dos ángulos que determina la posición del sol. Son los únicos en los que la superficie de los módulos siempre es perpendicular al sol todo el día durante todo el año, su volumen de trabajo se extiende a lo largo de la trayectoria del sol en todo el año; se puede apreciar de la siguiente manera en la figura 3.19

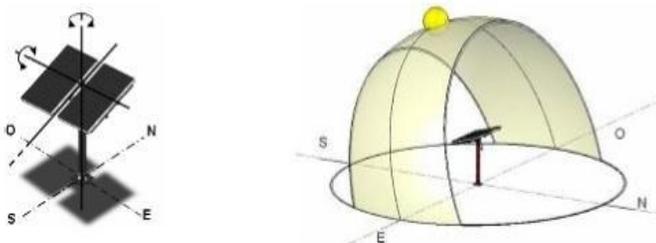


Figura 3.19. Seguidor en dos ejes

Fuente:[31]

3.17.8 Hidroseguidores solares

El desarrollo de la generación fotovoltaica con Hidroseguidores relativamente independiza la economía del país de las fluctuaciones del precio de los hidrocarburos en el mercado mundial. Los Hidroseguidores, son amplificadores hidráulicos programados accionados por la energía de la gravedad durante la descarga y carga libre de agua, están formados por dos recipientes: uno, trabaja por descarga libre de agua y acciona un módulo solar, y el otro, ubicado a menor altura, recibe por gravedad el agua del primer recipiente y acciona el otro modulo solar con un movimiento sincronizado con el sol [32].

3.18 Funcionamiento y control de los seguidores solares

El seguidor solar tiene que ir monitorizado por una central, y tener una estación meteorológica, que puede servir para uno o para varios seguidores. La forma por la que la central puede guiar el seguidor es de dos tipos[33].

Por sensores: las placas solares de cada seguidor llevan unos sensores, por los que detectan si los rayos de sol inciden perpendicularmente sobre las placas, o no. Mediante estos sensores la central va dando la orden a los motores de que muevan las placas solares o no, para que estas estén todo el tiempo perpendicular a los rayos de sol.

Por posición solar: de esta forma, la central da la orden de posición a las placas, por medio de una ecuación en la que, según la hora, un ordenador va calculando la posición del sol en todo momento. En este tipo de sistema se habrá de tener en cuenta el lugar donde se instale el sistema.

Todos estos componentes electrónicos, mandan la información a los motores que accionan los sistemas mecánicos, para hacer mover las placas. Las placas o parrillas de placas pueden moverse de dos formas, por medio de un eje que gira, o por medio de brazos actuadores.

Actualmente son múltiples los sistemas de seguimiento solar en dos ejes que se pueden encontrar en el mercado. En todos los casos utilizan el mismo principio de funcionamiento (mantener el ángulo de incidencia a 0°), diferenciándose básicamente en aspectos constructivos y de diseño tales como la mecánica del sistema de seguimiento adoptado (sistemas hidráulicos, tornillos de potencia, sistemas de tornillo sin fin, motor eléctrico con motorreductor, etc.) o el tipo de estructura adoptada (celosía o estructura tubular) entre otros.

3.19 NORMATIVIDAD

Todo sistema fotovoltaico que funcione en Ecuador debe cumplir con las características técnicas exigidas por la norma ecuatoriana de construcción (NEC-11) en el capítulo 14 y con los requerimientos de seguridad del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. Adicionalmente existe una Norma técnica universal para sistemas fotovoltaicos domésticos que es una recopilación de normas de diferentes países entre los cuales se encuentran Francia, Alemania, España, India, Brasil y México[34] .

4 METODOLOGIA

En la metodología se detalla las cambiantes, ecuaciones, materiales, grupos e artefactos y el diseño empírico que dejará un enfoque más extenso para la ejecución de esta iniciativa tecnológica.

4.1 Indagación bibliográfica

Para poder hacer el propósito del trabajo conlleva a comprobar trabajos semejantes, como artículos, libros, revistas que posibilite el mejoramiento de seguidores solares.

4.2 Indagación de campo

Con esta indagación de campo se analizará los distintos posicionamientos del seguidor solar y de esa forma ir con la toma de datos para realizar cambios en nuestra estructura.

4.3 Indagación empírica

En esta indagación posibilita hacer a los estudiosos la tabulación de datos de radiación solar para la creación del módulo didáctico, y para la utilización del sistema realizaremos algunas experimentaciones y toma de datos, con el fin de poder hacer los cambios respectivos para su óptimo desempeño.

4.4 Dimensionamiento y selección de componentes del seguidor

La selección de los componentes del sistema seguidor se hizo con base al método propuesto por Aguilera y Hontoria para el cálculo de sistemas fotovoltaicos autónomos, que tiene como finalidad de los componentes y se desarrolló por medio de los siguientes pasos.

4.4.1 Estimación de consumo

Se calculó la energía que se necesita diariamente durante 12 horas de funcionamiento el seguidor. Para ello se determinó la potencia de todos los elementos que forman la instalación, junto con el tiempo medio de uso de cada elemento.

Conocido los elementos que actúan en un seguidor solar, potencias y tiempos de uso; sé calculo por medio de la siguiente expresión la energía consumida en corriente continua.

$$E_{DC} = \sum P_{(DC)} * t_{di} \quad \text{Ecuación (4.1)}$$

E_{DC} : energía consumida en DC(Wh)

$P_{(DC)}$: Potencia nominal(W)

t_{di} : Tiempo diario de uso (h)

En la Tabla se resumen los resultados de la potencia W y el consumo en Wh de cada uno de los elementos.

Tabla 4.1. Consumo en Wh de equipos en corriente continua (DC)

Elemento	Número	Voltaje	Intensidad	Potencia (W)	Uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Arduino Mega	1	5	0,09	0,45	24	10,8
Motor Nema	1	7,4	1,6	11,84	12	142,08
Energía total diaria						152,88

Fuente: Autores

Para calcular el consumo total se tuvieron en cuenta los rendimientos de los elementos de la instalación aplicando la siguiente expresión.

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{BAT}} + \frac{E_{AC}}{\eta_{BAT} * \eta_{INV}} \quad \text{Ecuacion(4.2)}$$

E_T : Energía real requerida por el sistema (consumo) (Wh)

E_{DC} : Energía directa requerida por el sistema(Wh)

η_{BAT} : Rendimiento de la batería

E_{AC} : Energía alterna requerida por el sistema(Wh)

η_{INV} : Rendimiento del inversor

En el seguidor solar no se presentan cargas en AC por lo tanto se aplica la siguiente ecuación.

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{BAT}} \quad \text{Ecuacion(4.3)}$$

Se establece un rendimiento en la batería en un 90% y una profundidad de descarga del 60%, entonces la energía real requerida por el sistema es.

$$E_T = \frac{152.88}{0.9} = 169.86Wh$$

4.4.2 Dimensionado del panel fotovoltaico

El cálculo se hizo con base a la implementación de un solo modulo fotovoltaico, buscando que el diseño de la estructura mecánica del seguidor fuera lo más liviana y sencilla posible.

Los paneles policristalinos poseen una eficiencia aceptable para su adecuada aplicación, las propiedades técnicas del panel solar policristalino Gi-power se indican en la tabla 4.2.

Para calcular la zona de un panel fotovoltaico es dependiente de las celdas conectadas en serie o paralelo según las especificaciones técnicas de los paneles, en esta situación es un panel policristalino Gi-power de 30 Vatios figura 4.2, el mismo permanecen conectadas en serie de 36 celdas (18*2), para calcular la zona del panel, se usa la ecuación (4.4).

$$A = l * a \quad \text{Ecuacion(4.4)}$$

Donde A es área del panel fotovoltaico (m²), l es el extenso del panel fotovoltaico (m) a es el ancho del panel fotovoltaico (m).

Tabla 4.2. características del Panel

Policristalino (Gi-power)	
Características técnicas	
Especificaciones eléctricas	
Modelo	GP-030P-36
Potencia máxima	30 W
Eficiencia de celdas	17,63%
Voltaje a potencia máxima	18,7 V
Corriente a potencia máxima	1,61 A
Voltaje a circuito abierto	22,3 V
Voltaje de cortocircuito	1,71 A
Tolerancia de potencia	±3%
Voltaje máximo del sistema	600 V
Coefficiente de temperatura	
Coefficiente de la corriente térmico $\alpha(I_{sc})$	0,08 %/°C
Coefficiente del voltaje térmico $\beta(V_{oc})$	(-0,32%/°C)
Coefficiente de potencia térmica	(-0,38%/°C)
Temperatura nominal de celdas	46±2°C

Fuente: Autores

4.4.3 Dimensionamiento de los acumuladores o baterías

En el siguiente proyecto se utilizó almacenamiento por baterías para el funcionamiento autónomo del seguidor solar durante pruebas en lugares donde no exista suministro eléctrico.

Para hallar la capacidad necesaria de la batería en Wh (Watios hora) y en Ah (Amperios hora) se utilizó la máxima profundidad de descarga, definida en un 60% según las recomendaciones y dos días de autonomía para asegurar la disposición de energía para el funcionamiento del sistema en presencia de días nublados. Los acumuladores se eligieron de forma que se aproxime al valor calculado de capacidad nominal en amperios hora.

Se utilizó la siguiente expresión para hallar la capacidad de la misma, tanto en Wh (Watios hora) como en Ah (Amperios hora):

$$C_n(Wh) = (E_T * N) / P_d \quad \text{Ecuacion(4.5)}$$

$$C_n(Ah) = C_n(Wh) / V_{bat} \quad \text{Ecuacion(4.6)}$$

Siendo:

C_n : Capacidad nominal de la batería (Wh o Ah)

E_T : Energía real requerida (Wh)

P_d : Máxima profundidad de descarga de la batería

V_{Bat} : Tensión nominal en la batería(V)

Máxima profundidad de descarga (P_d):90%

Días de autonomía(N):2

Por lo tanto, la capacidad nominal de la batería es:

$$C_n(Wh) = \frac{169.86Wh * 2}{0.9} = 188.73 Wh$$

$$C_n(Ah) = \frac{188.73Wh}{12} = 15,7Ah$$

De acuerdo al cálculo seleccionamos una batería más adecuada para nuestro sistema la cual es de 7 Ah a 12 v.

4.4.4 Dimensionamiento del regulador

A la hora de dimensionar el regular, el objetivo principal fue obtener la corriente máxima que va circular por la instalación. Se calculó la corriente que produce el generador y esa corriente es la que va soportar el regulador en funcionamiento.

La intensidad de corriente que produce el panel es la suma de intensidad que produce el modulo funcionando a pleno rendimiento, en este caso solo se utiliza un solo modulo, por lo tanto, la máxima corriente es la que produce el panel funcionando a pleno rendimiento.

$$I_G = I_R * N_R \rightarrow I_R = (P_P * n_m) / V_m \quad \text{Ecuacion(4.7)}$$

Siendo:

I_G : corriente producida por el generador (A)

I_R : corriente producida por cada rama en paralelo del Generador (A)

N_N : número de ramas en paralelo del generador

P_P : Potencia pico del módulo fotovoltaico(W)

n_m : Rendimiento del modulo

V_m : tensión nominal de los módulos

$$I_R = \frac{30 * 17.63\%}{1.61A} = 3.24A$$

Como se utiliza solo un panel no hay conexión en paralelo, por lo tanto:

$$I_G = I_R = 3.24A$$

Debido a que debe soportar 3.24 A el regulador se escoge de acuerdo a las especificaciones que hay en él es de 10 A ver las características en los anexos.

4.4.5 Dimensionado de los cables

Se seleccionó el calibre y el tipo del cable para la corriente, voltaje, y condiciones de operación. Todos los cables expuestos se seleccionaron para uso en intemperie y se protegieron con termoencogibles.

La selección del cable se realizó por medio de la metodología implementada por el código eléctrico, quien calcula la potencia consumida por cada elemento utilizando el amperaje máximo y el voltaje requerido, con este valor se elige el área para la sección del cable entre cada componente del sistema fotovoltaico (del panel al regulador; de la batería al regulador; y de los elementos de consumo al regulador)[35].

Los cables utilizados para el sistema FV se dimensionaron teniendo en cuenta que el voltaje que se maneja es bajo: 12V, por tanto, la corriente que fluirá a través de los cables es mucho más altas que las de los sistemas con voltaje de 110 ó 220V AC.

La cantidad de potencia en watts producida por la batería y módulo FV está dada por la siguiente fórmula:

$$P(\text{Watts}) = V * I \quad \text{Ecuacion(4.8)}$$

Donde

V es la tensión en voltios (V)

I es la corriente en amperios (A)

4.4.5.1 Sección de cable entre panel y regulador

$$P = U * I \quad \text{Ecuacion(4.9)}$$

Donde:

U es el voltaje del panel

I es la intensidad del panel

$$P = 12V * 1.56 A = 18.72W$$

Se seleccionó el área en mm² de la Tabla 4 de acuerdo a la corriente de flujo y la potencia necesaria, se tomó un valor arriba, es decir se utilizó una sección de cable de 1.5 mm².

Con este valor se eligió su equivalencia en calibre para un cable AGW de la Figura 21. De este modo se hizo la conexión entre el panel y regulador con un cable AGW calibre 12.

4.4.5.2 Sección entre baterías y regulador

$$P = U * I = 12V * 20 A = 240W$$

Se utilizó el mismo principio del procedimiento anterior para seleccionar una sección de 2.5 mm², su equivalencia en calibre para AGW es 10. También se realizó la conexión en paralelo de las baterías con este cable.

Para la sección de las baterías a los equipos de consumo y del regulador a los equipos de consumo, se utilizó cable calibre 16 porque la corriente máxima es de 6 A.

Tabla 4.3 Tamaño de los cables, la corriente máxima que puede fluir sin recalentar el cable y la cantidad de potencia que puede producirse a diferentes voltajes.

Tamaño del cable, corte de área seccional (mm ²)	Corriente máxima (A)	Potencia generada (W)		
		12 V	24 V	220 V
1	10	120	240	2200
1,5	15	180	360	3300
2,5	20	240	480	4400
4	30	360	720	6600
6	35	420	840	7700
10	50	600	1200	11000
16	70	840	1680	15400
25	90	1080	2160	19800

Fuente:[35]

AWG	Diam. mm	Area mm ²	AWG	Diam. mm	Area mm ²
1	7.35	42.40	16	1.29	1.31
2	6.54	33.60	17	1.15	1.04
3	5.86	27.00	18	1.024	0.823
4	5.19	21.20	19	0.912	0.653
5	4.62	16.80	20	0.812	0.519
6	4.11	13.30	21	0.723	0.412
7	3.67	10.60	22	0.644	0.325
8	3.26	8.35	23	0.573	0.259
9	2.91	6.62	24	0.511	0.205
10	2.59	5.27	25	0.455	0.163
11	2.30	4.15	26	0.405	0.128
12	2.05	3.31	27	0.361	0.102
13	1.83	2.63	28	0.321	0.0804
14	1.63	2.08	29	0.286	0.0646
15	1.45	1.65	30	0.255	0.0503

Figura 4.1. Equivalencia cables AWG de calibre a milímetros, Calibre AWG a milímetros.

Fuente:[35]

4.5 Dimensionamiento y del modelado de la Estructura

Para el diseño de la estructura primeramente vamos a ver los siguientes puntos:

4.5.1 Grados De Libertad

En esta parte del documento se procede a mostrar gráficamente una aproximación virtual de la estructura que será diseñada posteriormente, para lo cual se debe partir por establecer los grados de libertad en base al diagrama de eslabones y respectivos cálculos de movilidad.

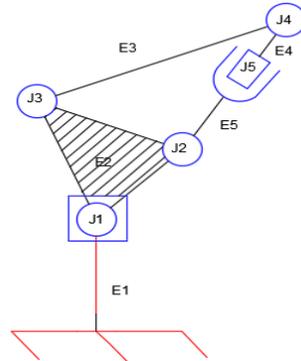


Figura 4.2. Diagrama cinemático realizado en AutoCAD

Fuente: Autores

En la figura se puede mirar el esquema del grupo de eslabones del seguidor solar, el cual consta de 5 eslabones y 5 juntas de las cuales cabe destacar que la junta J1 es giratoria y la junta J5 es lineal y que el eslabón E1 tiene color rojo debido a que representa la bancada, adicionalmente se tiene un eslabón ternario el cual es E2 debido a que este se conectan 3 eslabones diferentes. Con base al número de juntas y eslabones se puede calcular los grados de independencia del seguidor solar postulado implementando la ley de Kutzbah's [36].

$$M = 3 * (L - 1) - 2J1 - J2(1) \quad \text{Ecuacion (4.10)}$$

Donde:

M=Grados de libertad

L=Numero de eslabones

J1= Numero de juntas

J2=Numero de semijuntas

Empleando los valores de la estructura propuesta se tiene el siguiente número de grados de libertad:

$$E=5$$

$$J1=5$$

$$J2=0$$

$$M=3* (5-1) -2* (5) -0 =2$$

Como se muestra en la fórmula anterior se obtienen 2 grados de independencia, por lo que con base al diseño de eslabones y movilidad el modelo planteado cumple con la condición de ser un seguidor de 2 ejes. Consecutivamente se proviene a establecer el material del soporte primordial de la composición el cual podría ser de aluminio o acero para tomar una elección se proviene a evaluar los esfuerzos sobre la composición y ver la resistencia de los materiales hacia los mismos.

Para empezar, se procede a realizar un diagrama de cuerpo libre del soporte principal y de esta manera determinar las cargas máximas sobre el mismo.

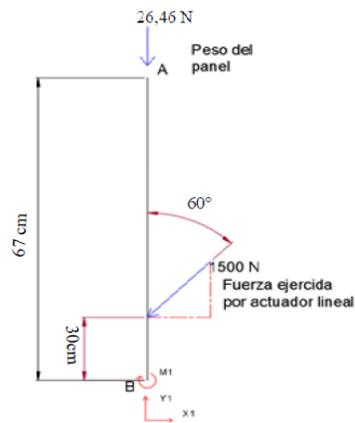


Figura 4.3. Diagrama de cuerpo libre de columna principal

Fuente: Autores

En la figura se logre ver el diagrama de cuerpo humano independiente de la composición primordial o eslabón ternario el cual considerando el ancho del panel solar de 35 centímetros implantada en las especificaciones del panel fotovoltaico, tiene una longitud de 67 centímetros para comprender el pistón el cual de acuerdo con la IDAE debería posicionarse en funcionalidad de que el panel capte la luz solar en un ángulo de 60 grados para que sea más eficiente, con base a esto la fuerza de 1500 N que es la que practica el pistón, está a 60 grados, conformando un triángulo isósceles con el panel solar.

La figura muestra las fuerzas que trabajan sobre la columna en el instante más crítico el cual corresponde al levantamiento del panel una vez que el pistón debería derrotar la inercia y consumiendo de 3 a 4 A produciendo una fuerza máxima de 1500 N, datos que se registran de acuerdo a sus características.

Con las próximas ecuaciones tenemos la posibilidad de sacar las actitudes de empotramiento de la composición del seguidor solar.

$$\sum f_x = F * \cos \theta \quad \text{Ecuación (4.11)}$$

Donde:

$\sum F_x =$ sumatoria de fuerzas en x

F1= fuerza aplicada (Newton)

$\cos \theta =$ ángulo θ

$$\sum F_y = F + F_x \quad \text{Ecuación (4.12)}$$

Donde:

$\sum F_y =$ sumatoria de fuerzas en y

F2= fuerza aplicada (Newton)

$F_x =$ fuerza en x

$$\sum M = F + d \quad \text{Ecuación (4.13)}$$

Donde:

$\sum M =$ sumatoria de momentos

F= fuerza aplicada (Newton)

d = distancia en metros

aplicando las formulas podemos obtener las sumatorias de fuerzas en (x, y) y la sumatoria de momentos del diseño de nuestro seguidor.

$$\sum F_x = F * \cos \theta$$

$$\sum F_x = 1500 N * \cos(60)$$

$$\sum F_x = 750 N$$

Con la ecuación (4.14) tenemos la sumatoria de fuerzas en y.

$$\sum F_y = F * F_x$$

$$\sum F_y = 26,46 N * 750 N$$

$$\sum F_y = 776,46 N$$

Con la ecuación (4.15) obtenemos la sumatoria de momentos.

$$\sum M = F + d$$
$$\sum M = 1500 N + 0,3 m$$
$$\sum M = 450 Nm$$

Una vez determinados las fuerzas y los momentos se proceden a hacer un primer ejemplar virtual en un programa SOLIDWORK y simular estos esfuerzos, así como su funcionamiento con cada material para revisar y equiparar resultados con los del sistema con base a un mallado detallado el cual se explicará más adelante y adicionalmente revisar que no existan colisiones en el modelo postulado anterior a ser posteriormente construido (ver anexos).

4.6 Elementos Electrónicos que actúan en el seguidor

Los elementos electrónicos son los encargados tanto de brindar los grados de independencia, así como de la conversión de energía solar en eléctrica y la conversión de corriente continua en alterna, a continuación, se presentarán los resultados referente a la funcionalidad de carga del panel con base al voltaje entregado, el consumo de energía más alto y mínimo de los actuadores, los cuales en esta situación son el motor y el pistón y la era de carga de la batería según las condiciones climáticas.

4.6.1 Microprocesador mega

Arduino Mega es una placa electrónica basada en el microprocesador Atmega 2560, figura 4.4. Cuenta con 54 pines digitales de entrada y salida (de los cuales 15 tienen la posibilidad de ser usados como salidas como un modulador de ancho o más conocido como PWM), 16 entradas analógicas, una conexión USB, un conector de ingesta de alimentos, y un botón de reinicio, el programa IDE usa una versión de lenguaje de programación C++ el cual se ejecutan en un computador donde se puede planear y cargar los códigos a partir del computador a la placa, las especificaciones técnicas se detallan en la tabla 4.1.



Figura 4.4. Arduino mega

Fuente:[37]

4.6.2 La medida de la corriente del Panel Fotovoltaico (Sensor de corriente ACS712 ELCTR 10A \pm 10A)

Para la medición de la corriente que se crea en el panel fotovoltaico en el que se necesita hacer una conexión en serie al panel fotovoltaico. El sensor ACS712 de Allegro, es un sensor de corriente por choque hall, que sirve para la medición de la corriente en DC y AC, su comienzo de maniobra es cambiar el campo magnético surgido del paso de la corriente por un alambre de cobre interno en el sensor, convirtiendo en el campo magnético en un voltaje variable, es el sensor que mide hasta 10 amperios dependiendo del amperaje censado la variación del voltaje en su pin de salida analógica es de a 10 voltios.



Figura 4.5. Sensor ACS712 de Allegro

Fuente:[38]

4.6.3 Cálculo del ángulo de inclinación del panel solar fotovoltaico (Dispositivo acelerómetro y giroscopio 3 ejes MPU 6050)

EL MPU6050 figura 4.6, es un dispositivo que posibilita la medición inercial, de 6 grados de independencia, los mismos que combinan un acelerómetro de 3 ejes, con el que medimos los 3 elementos X, Y y Z de la aceleración, y un giroscopio de 3 ejes, con el que tenemos la posibilidad de medir la rapidez angular como se sugiere en la figura 4.6, en nuestro caso tiene

la mezcla interna de giroscopio y acelerómetro para sacar el ángulo en el cual se refleja, la programación para combinar está en los anexos.

Propiedades: Voltaje de ingesta de alimentos 3-5V, interfaz digital: I2C Digital, sensor angular de 3 ejes (giroscopio), acelerómetro de 3 ejes con una presión y programables magnitudes 14mm x 21mm.

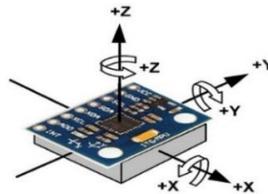


Figura 4.6. giroscopio en 3 ejes (MPU 6050)

Fuente:[39]

4.6.4 Sensores Ldr o Fotorresistencia

Es un componente electrónico cuya resistencia disminuye con el aumento de intensidad de luz incidente. Puede también ser llamado concha de day coronel fotorresistor, fotoconductor, célula fotoeléctrica o resistor dependiente de la luz, cuyas siglas, LDR, se originan de su nombre en inglés light-dependent resistor. Su cuerpo está formado por una célula o celda y dos patillas[40].

En nuestro modulo se utiliza 4 ldr para la captación de luz en diferentes posiciones y de esa forma el panel pueda seguir al sol a lo largo del día.

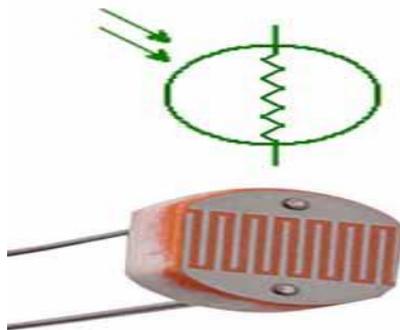


Figura 4.7. Representación del sensor LDR

Fuente:[40]

4.6.4.1 Características de las fotorresistencias

Un fotorresistor está hecho de un semiconductor de alta resistencia como el sulfuro de cadmio, CdS. Si la luz que incide en el dispositivo es de alta frecuencia, los fotones son absorbidos por la elasticidad del semiconductor dando a los electrones la suficiente energía para saltar la banda de conducción. El electrón libre que resulta, y su hueco asociado, conducen la electricidad, de tal modo que disminuye la resistencia.

En resumen, se puede decir que una fotorresistencia es una resistencia cualquiera que varía su valor dependiendo la cantidad de luz que lo ilumina, en especial, disminuye cuando aumenta la intensidad de luz incidente.

4.6.5 Motor Nema 23

Los motores paso a paso son motores de control que cuentan con una gran precisión, pueden encontrarse en impresoras de escritorio, plotters, impresoras 3D, fresadoras CNC y lo que sea que requiera preciso control de posición. Los motores paso a paso son un segmento especial perteneciente a los motores Brushless, que están contruidos específicamente para aplicaciones de mantenimiento de altos niveles de torque. Este torque otorga la capacidad de moverse mediante pasos entre posiciones, lo que resulta en un sistema de posicionamiento simple que no requiere de un codificador, lo que hace que los controladores de motores paso a paso sean muy simples de construir y usar.

En el módulo se utiliza un motor nema 23 el cual es un actuador eléctrico que ayuda al panel a girar dependiendo a qué hora del día y el que se va utilizar es Los motores paso a paso son ideales en todas aquellas aplicaciones donde se necesita de fuerza al mismo tiempo que precisión. Este motor unipolar tiene una fuerza de 125 oz/inc (9Kg/cm) con un diámetro de eje de 6mm y en formato NEMA 23.



Figura 4.8. motor nema 23

Fuente:[41]

Especificaciones:

Dimensiones: 56.4 x 56.4 x 56 mm, sin incluir el eje (NEMA 23)

Peso: 0.7 kg

Diámetro de eje: 6.35 mm (0.25") Tipo D

Pasos por vuelta: 200

Corriente: 1 A por bobina

Voltaje nominal: 7.4 V

Resistencia: 7.4 Ω por bobina

Holding torque: 9 kg-cm (125 oz-in)

Inductancia: 10 mH por bobina

4.6.6 Driver de referencia TB6600

Este driver de referencia TB6600 4.0A basado en el chip TB6600 es un módulo controlador de motor paso a paso de tipo bipolar que permite varios modos micro-paso. Compatible con motores de 2 y 4 fases de 12V a 40V de tensión, la corriente de excitación máxima es de menos de 5 A.



Figura 4.9. Driver TB6600

Fuente:[42]

Características del Stepper Driver TB6600

- Alto rendimiento y eficiencia.
- La tensión de alimentación de 20 V CC a 42V CC.
- La corriente de salida de 0,2 A 5A.
- Adecuado para motores de 2 fases y 4-fase.
- Entrada de señal de aislamiento optoelectrónico de alta velocidad.

4.6.7 Sensor luz ultravioleta GY-ML8511

Sensor de luz ultravioleta Fácil de usar. Detecta la luz 280-390nm. La salida es analógica relacionada, linealmente con la intensidad UV medida, Este sensor puede ser muy útil en la creación de dispositivos que visualizan o informan al usuario el índice UV en lo que respecta a las condiciones climáticas.



Figura 4.10. Sensor GY-ML8511

Fuente:[43]

Características

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Salida analógica
- Longitud de onda: 280-390nm
- Consumo ultrabajo de energía
- Aplicaciones Meteorológicas, cuidado de la piel, medición industrial de nivel UV.

4.7 Conexión De Elementos Electrónicos

Para la conexión de los elementos electrónicos se debería continuar un orden debido al flujo invertido de corriente que puede existir, con el objetivo de defender los recursos electrónicos más delicados como es el panel.

En este caso de estabilidad ejecuta un cargo bastante fundamental el regulador de voltaje, debido a que impide el retorno de energía a partir de la batería al panel solar y otorga los datos acerca del almacenamiento de la batería y el voltaje que está entregando el panel. Y sobre este regulador de cargar se hacen las condiciones en el siguiente orden:

1. Conexión de la batería al regulador de voltaje
2. Conexión en paralelo los pines del inversor de corriente a la batería
3. Conectar el panel fotovoltaico al regulador de carga.

4.8 Potencia Máxima Y Mínima De Los Actuadores

Los actuadores tanto lineal como rotativo muestran un consumo de corriente en funcionalidad del voltaje solicitado. Y este cambia conforme con la condición del actuador, de la carga a tolerar y de la inercia que es la carga que se opone al desplazamiento natural del actuador.

Con la fórmula de potencia electrónica anterior se calcula el consumo más alto de cada actuador con los valores de corriente y voltaje conseguidos con multímetro y a partir de una fuente electrónica para decidir si la batería va a poder abastecer o necesitará de un ascensor de voltaje y se obtuvieron los próximos resultados:

Tabla 4.4. Consumo de actuadores

Actuador	Corriente	Voltaje	Potencia	Potencia
	Min/Max(A)	Min/Max(V)	Mínima(W)	Máxima (W)
Pistón	1.78/3.02	7.05/12.00	12.55	36.24
Motor	0.78/2.00	8.00/11.42	6.24	22.84

Fuente: Autores

Con base a los datos de la tabla 4.10 y las propiedades de la composición se proviene a calcular el consumo de corriente por los actuadores a lo largo del día y ver si es aceptable o desmesurado, para lo que se tomaron las próximas consideraciones:

1. El motor se evaluará en funcionalidad de su punto más leve debido a que la composición muestra rodamientos en el anclaje al motor en la extensión para minimizar la carga sobre el mismo.
2. El motor se desplaza entre 3 a 4 veces al día, y para evaluar la situación más crítica se tomará presente los 4 desplazamientos al día
3. El pistón se eleva un más alto de 6 veces al día, y desciende un mayor de 4 veces y bajo aquellas condiciones de evaluará el consumo.

Con base a las consideraciones anteriores se obtuvo los próximos resultados de consumo.

Tabla 4.5. Consumo de corriente de los actuadores

Actuador	Acción realizada	Corriente requerida(A)	Repeticiones al día	Consumo total(A)
Motor	Rotación	0.78	3	2,34
Pistón	Elevación del panel	1.02	4	4.8
Pistón	Descenso del panel	1,3	4	5.2

Fuente: Autores

En base a los datos de la tabla 4.11, se procede a calcular el consumo de los componentes a partir del almacenamiento de la batería y determinar si es un consumo adecuado.

$$I_{\text{actuador}} = 2.34 + 4.8 + 5.2 = 12.34 \text{ A} \quad \text{Ecuación (4.14)}$$

Con la intensidad total calculada podemos conocer la intensidad de la batería con la siguiente ecuación.

$$I_B = I^B - I_a \quad \text{Ecuación (4.15)}$$

Donde:

I_B = Intensidad de la batería

I_a = intensidad de los actuadores

$$I_B = I^B - I_a$$

$$I_B = 15.7 \text{ A} - 12.34 \text{ A}$$

$$I_B = 3.36 \text{ A}$$

En base a los cálculos anteriores el almacenamiento real de la batería después del consumo diario de los actuadores es de 3.36 amperios equivalente al 80% lo cual es aceptable ya que el 20% se perderá como calor según Jordi Serra autor de la guía técnica de eficiencia energética.

4.9 Cálculo del ángulo de incidencia

Para el cálculo de incidencia se va calcular de la siguiente manera tomando en cuenta algunas variables necesarias para su resolución.

Es el ángulo de incidencia debido a que el sol tiene una trayectoria elíptica, el ángulo de incidencia del sol en el colector variara a lo largo del día y está dado por la siguiente formula [44].

$$\cos\theta = \text{sen}\delta \text{ sen}\phi \cos\beta - \text{sen}\delta \text{ sen}\phi \cos\gamma + \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \text{ sen}\phi \text{ sen}\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \text{ sen}\beta \text{ sen}\gamma \text{ sen}\omega \quad \text{Ecuación (4.16)}$$

Donde:

ϕ : Latitud

β : inclinación de la superficie

γ Es el ángulo acimut de orientación.

cos θ_z : Es el ángulo cenital y está en función del ángulo de declinación solar, el ángulo de la hora solar y de la latitud y está definida por:

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad \text{Ecuación (4.17)}$$

El ángulo de declinación solar está conformado entre los rayos del sol y el plano ecuatorial de la tierra y está representado por la ecuación:

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \left(\frac{281+n}{365} \right) \right] \quad \text{Ecuación (4.18)}$$

Donde:

n: Es el día del año.

El ángulo de la hora solar ω es la distancia angular entre el círculo de la hora del sol y el meridiano local. Conociendo la hora solar y sabiendo el origen de las coordenadas del meridiano local que corresponde a 15° se lo encuentra mediante la siguiente formula.

$$\omega = 13 * (Hs - 0,5) + 12 \quad \text{Ecuación (4.20)}$$

Donde:

HS: Es la hora solar.

Con las siguientes formulas se procederá a calcular el ángulo incidente.

4.10 Software para el diseño Electrónico

Para el diseño electrónico utilizamos el software de diseño de circuitos Proteus y para la programación el software Arduino.

4.11 Proteus Design Suite

Proteus es una aplicación para la ejecución de proyectos de creación de grupos electrónicos en cada una de sus fases: diseño del esquema electrónico, programación del programa, creación de la placa de circuito impreso, simulación de todo el grupo, depuración de errores, documentación y creación, que tiene dos programas primordiales: Ares e Isis, y los módulos VSM y Electra, en la siguiente imagen podemos ver el entorno de Proteus.

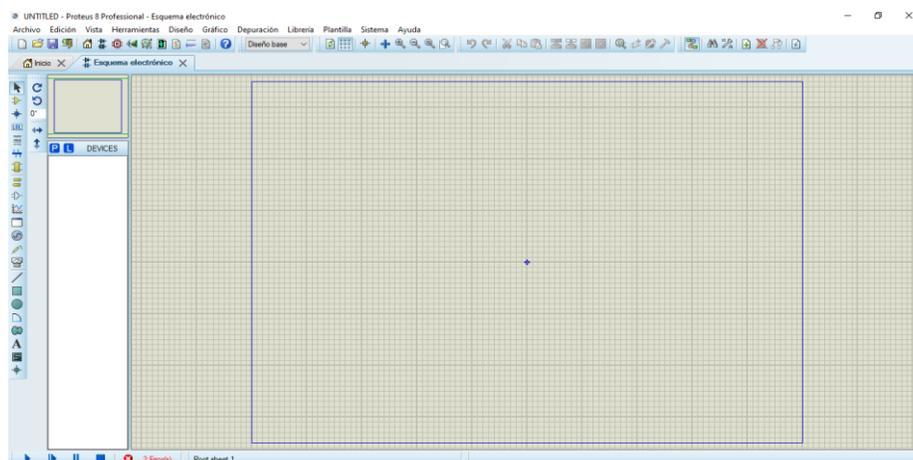


Figura 4.11. Entorno de simulación Proteus

Fuente: Autores

4.12 Programación Del Seguidor Solar

Anterior a la redacción de la programación del seguidor, es fundamental destacar que esta parte ha sido elaborada como un extra para intentar de asemejar el modelo a su desempeño, no obstante, no es un área de enfoque prioritario, ya que el asunto del plan es diseño de una composición. La programación se hizo en Arduino y la lógica de programación del seguidor se basa en la comparación de valores de los sensores fotovoltaicos en dirección norte sur este y oeste, así como un rango de tiempo obtenido del análisis solar del territorio transformado en delay en programación o tiempo de espera, a continuación, se muestra el diagrama de flujo de la, lógica empleada para planear (ver anexos I).

5 ANALISIS Y RESULTADOS

5.1 ALCANCE

En el siguiente capítulo vamos a detallar la selección de los materiales haciendo un detallado análisis estáticos. A continuación, se propone realizar la simulación de esfuerzo virtualmente sobre la columna primordial, considerando un mallado de 8 y 4 mm justificando este proceso en que conforme el criterio de diseño estructural mundial para una composición ligera se emplea mallado de 8 mm y para una de más grande peso o dificultad se estima de 4 mm el mallado, y en caso de mediación de individuos en la composición para más grande estabilidad un mallado de 2 mm, debido a que en la composición presente no influye la existencia de individuos se desecha la malla de 2mm empero se efectúan las demás 2 como punto de comparación y evaluación y por la exactitud de la convergencia en cada nodo de la composición efectuado por el programa y procesador de la computadora(ver anexos).

De acuerdo a las características de los diferentes tipos de elementos que existen en el mercado y los requerimientos dados según el fabricante y en función a la carga máxima de trabajo, el diseño del seguidor solar se llevará a cabo con las siguientes dimensiones que serán de 0.67 centímetros para el alto, 0.40 centímetros de ancho.

El seguidor solar se utilizará para medir la radiación solar y de esa manera tomar datos de voltajes y corrientes según el día que se generé mediante las funciones que están programadas según un selector el cual es automático de seguidor solar y el otro es de función horaria la estructura está diseñada para soportar 26.76N.

5.2 CALCULO DE LA ENERGIA TOTAL NECESARIA

Los siguientes cálculos son datos tomados con un multímetro para conocer la energía que utiliza el sistema seguidor la cual nos da los siguientes resultados.

Datos del seguidor funcionando.

I: 0.60 A

V batería: 12V

Entonces nos da los siguientes resultados:

$$0.70 A * 12 V = 8.4 W$$

Datos que consume solo el circuito.

I: 0.40 A

V batería: 12V

Entonces nos da el siguiente valor:

$$0.40 A * 12 V = 4.8 W$$

De esta manera podemos decir que la energía total necesaria diaria para que el sistema seguidor esté en funcionamiento es:

$$(8.4 + 4.8)W = 13.2W$$
$$13.2W * \frac{12h}{dia} = 158.4 Wh/dia$$

Calculo de la energía que produce el sistema de seguimiento.

Datos:

I: 1.60 A

V: 12 V

$$1.60 A * 12 V = 19.2 W$$

La energía que produce el sistema a pleno funcionamiento es:

$$19.2W * \frac{12h}{dia} = 230.4 Wh/dia$$

Y de esta forma se puede calcular el rendimiento que va a tener nuestro sistema de seguimiento solar.

$$\frac{Energia consumida}{energia generada} * 100\%$$
$$\frac{158.4 Wh/dia}{230.4Wh/dia} * 100\% = 68,8$$

Y vemos que nuestro sistema tiene un rendimiento del 68.8%

5.2.1 Calculo del rendimiento con el panel a 0°

I:3,64 A

V= 12 V

Para el cálculo se tomó los datos cuando el sistema estaba posicionada en un ángulo de 0° durante todo el día.

$$3,64 A * 12 V = 43,68 W$$

La energía que produce el sistema a pleno funcionamiento es:

$$43,68W * \frac{12h}{dia} = 524,16 Wh/dia$$

Y de esta forma se puede calcular el rendimiento que va a tener nuestro sistema con el panel fijo.

$$\frac{\text{Energía consumida}}{\text{energía generada}} * 100\%$$
$$\frac{158.4 Wh/dia}{524,16 Wh/dia} * 100\% = 30,21$$

Y vemos que nuestro sistema tiene un rendimiento del 30,21 % en nuestro sistema con el panel fijo y vemos que nuestro sistema seguidor es el más eficiente.

5.3 ESTRUCTURA DEL SEGUIDOR SOLAR TERMINADO

Se ha realizado la siguiente estructura preliminar que nos servirá como referencia para la construcción del seguidor solar el cual cumple con los parámetros de diseño según el análisis realizado a los diferentes materiales véase en la figura 5.1



Figura 5.1. Estructura terminada del seguidor

Fuente: Autores.

5.4 CÁLCULO ESTRUCTURAL

5.4.1 Ingeniería en Detalle

Para esto se usa un programa de diseño mecánico por medio de un programa CAD, el cual posibilita bosquejar el diseño de una máquina eficiente en composición y desempeño. En todos los recursos que compone la máquina va a ser diseñado detallando las medidas con las que se va hacer la creación, a la vez el diseño y la selección de materiales permanecen según los requerimientos sugeridos según la necesidad (ver anexos II).

5.4.2 Incidencia solar sobre paneles con seguimiento en el Ecuador

Es lógico que el ángulo de incidencia entre los módulos y el sol varíe según el lapso del día. La finalidad fundamental de los seguidores es conseguir que este ángulo sea del todo perpendicular; a lo largo de las 10 horas de luz natural.

Para diseños referidos a necesidades energéticas de domicilios, el seguimiento solar se centra únicamente en módulos fotovoltaicos, debido a que en casos de la energía solar térmica se usa seguidores de sol en paneles de alta concentración, los cuales son usados en otros objetivos.

En un diseño de seguimiento solar influye bastante las propiedades de la localidad en relación a sus alrededores, como, ejemplificando, presencia de montañas, inmuebles cercanos, bosques, etcétera.

La información expuesta en este trabajo corresponde a la radiación tomada con el prototipo a diferentes ángulos en los siguientes días, es decir, un día parcialmente nublado y un día soleado para conocer a qué hora del día hay mayor radiación solar.

5.4.3 Prueba preliminar con un ángulo a 0°.

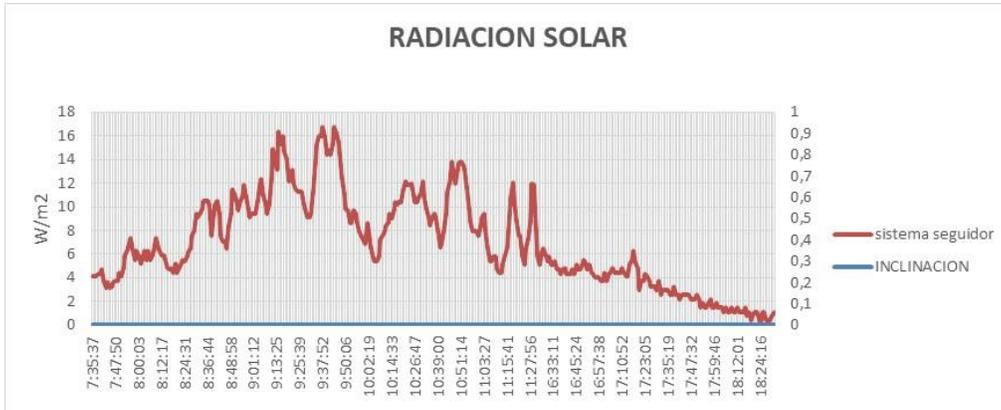


Figura 5.2. Grafica de radiación generada el 13 de junio del 2021

Fuente: Autores.

En la figura 5,2 se demuestra la gráfica de la radiación tomada por el panel con una inclinación de 0° , en la cual el día estuvo parcialmente nublado, obteniendo como resultado una radiación promedio de $6,97 \text{ W/m}^2$; siendo el valor máximo de $16,8 \text{ W/m}^2$ y el mínimo de $0,4 \text{ W/m}^2$; de los datos obtenidos en la gráfica se observa que durante las 8:20 hasta las 11:20 aproximadamente; es el periodo en el cual el panel recibió mayor captación de radiación solar, mientras que en el transcurso de la tarde debido a la nubosidad el panel captó menos radiación.

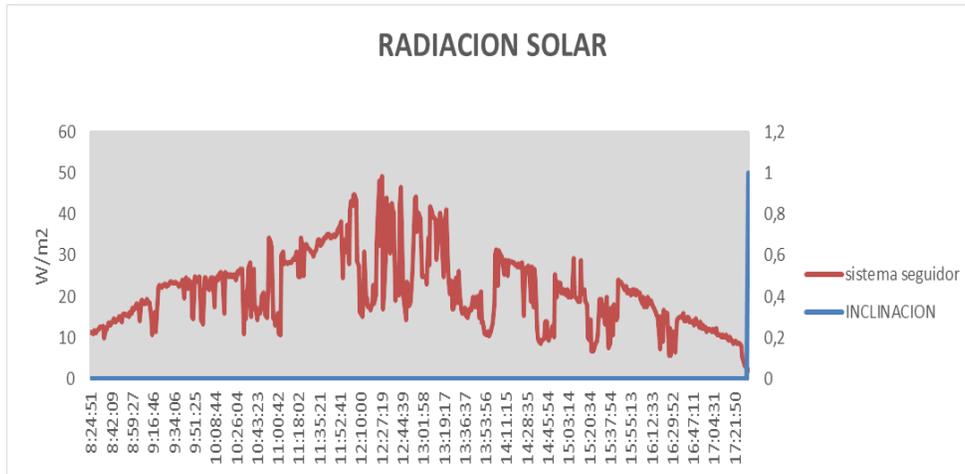


Figura 5.3. Grafica de radiación generada el 14 de junio del 2021

Fuente: Autores.

En la figura 5,3 se presenta la gráfica de los datos obtenido de la radiación captada por el panel solar en el cual el día no tuvo mucha presencia de nubosidad, de igual manera el panel

se ubicó a 0° para la toma de datos durante todo el día en el cual la radiación máxima fue de 49.1 W/m^2 y la radiación mínima 2.3 W/m^2 ; la mayor captación del panel estuvo entre el periodo de 11:00 a 13:00; las bajas bruscas de radiación durante este día se debe a la presencia de nubosidad durante el día lo cual interviene en la radiación emitida por el sol.

5.4.4 Día parcialmente nublado

En la siguiente grafica podemos observar que durante un día parcialmente nublado (el día 23 de julio del 2021) como se muestra en la figura 5.4. En esta se puede observar que desde 10.15 horas hasta las 11.33 horas el sistema fotovoltaico genero mayor radiación solar. Esto se debió a que todos los días, con la puesta el sol, el panel fotovoltaico con seguimiento terminaba orientado hacia el oeste(poniente), de manera que al día siguiente el solo no irradiaba lo suficiente las celdas utilizadas como sensores. Esto ocasionaba que no se transmitiera al motor la energía necesaria para hacer girar el panel fotovoltaico hacia el oriente (donde inicia el sol). También se observó que para el resto de este día (excepto algunos periodos donde se presentaron intensas nubosidades) el sistema fotovoltaico genero una mayor radiación. De hecho, a las 10.44 horas de ese día con un ángulo de hora solar de -40° el sistema solar fotovoltaico alcanzo su máxima radiación de 59.9 W/m^2 con un ángulo incidente de 19° , mientras que a las 16.54 horas con un ángulo de hora solar de 60° se registra una radiación mínima de 0.7 W/m^2 con un ángulo incidente de 39° .

En cuanto al promedio de ese día tenemos una radiación de 15.35 W/m^2 con un ángulo incidente de 22.3° . Esto demuestra que en días con diversas nubosidades hay muchas variaciones con respecto a la radiación y no con el ángulo.

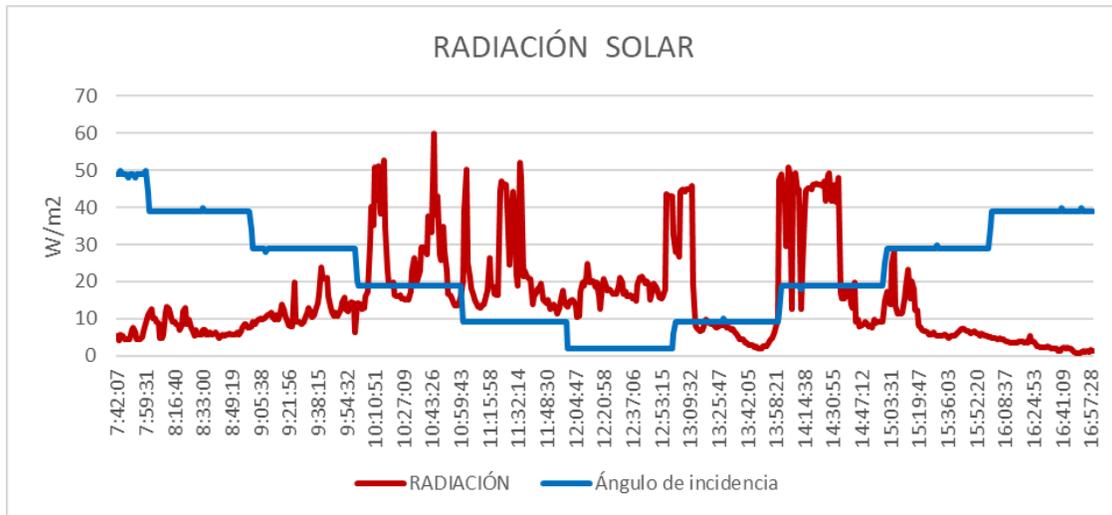


Figura 5.4. Grafica de radiación generada el 15 de junio del 2021

Fuente: Autores.

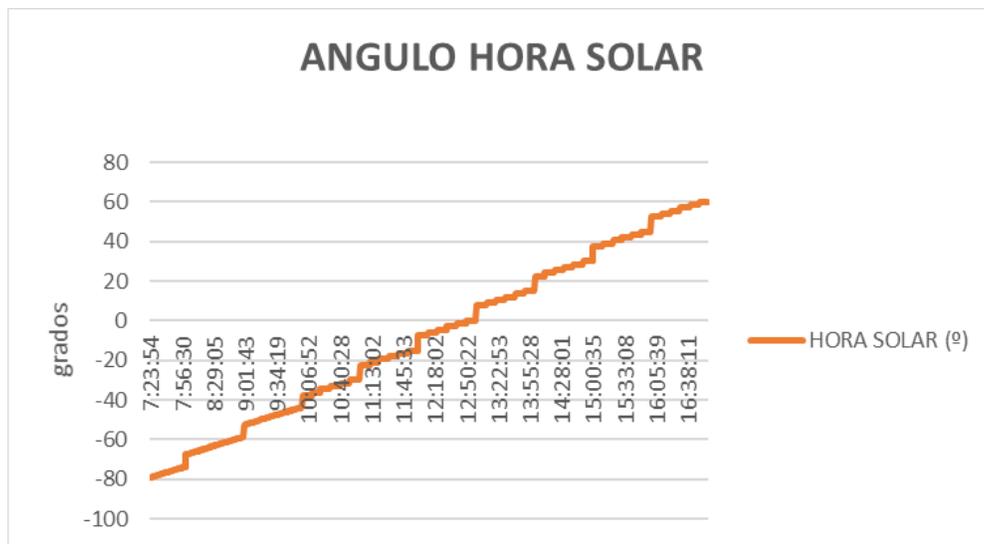


Figura 5.5. grafica de ángulo solar

Fuente: Autores.

5.4.5 Día Soleado

en esta investigación se consideró como día soleado el 16 de junio del 2021 debido a que ese día la nubosidad era casi nula en la ciudad de Latacunga. La radiación obtenida en el sistema seguidor durante ese día se muestra en la figura 5.6. En esta se observa que entre las 8.58 horas se dio la primera máxima radiación.

Así mismo se puede apreciar que a las 12.23 horas podemos captar una radiación máxima de 44W/m^2 con un ángulo de 2° y al atardecer se observa una radiación mínima de 1.5 W/m^2 con un ángulo de 40° con eso se puede decir que a menor ángulo este posesionado el panel solar hay una mejor captación de energía.

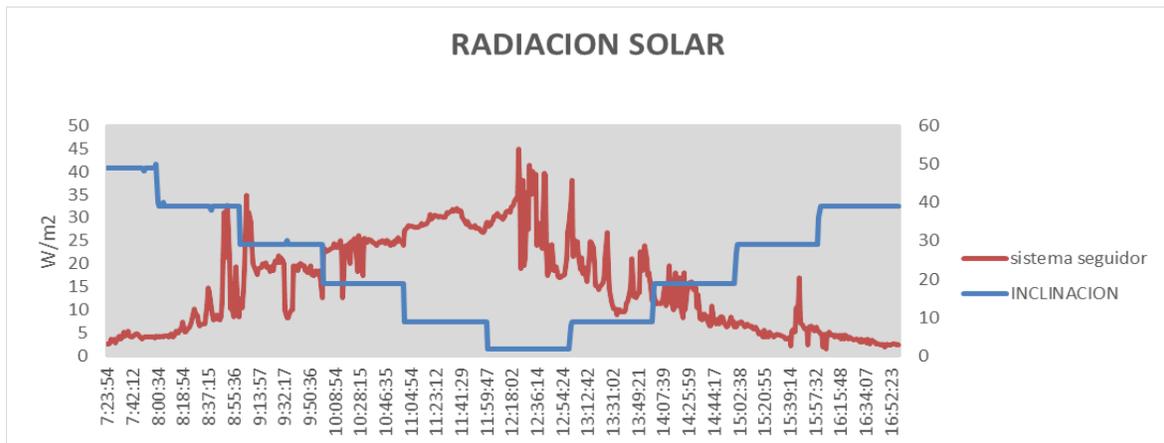


Figura 5.6. Grafica de radiación generada el 16 de junio del 2021

Fuente: Autores.

De acuerdo a los datos tabulados podemos observar los cambios que existe a diversas horas del día y dependiendo del clima si esta nublado o soleado podemos obtener una mejor radiación y vemos también que al medio día se puede obtener una máxima radiación con un ángulo menor y en cambio a un mayor ángulo la radiación es mínima.

5.4.6 Pruebas con variación de ángulos

El día 13 de julio del 2021 se realizó la variación del ángulo de inclinación del prototipo el cual genero los datos expuestos en la figura 5.7, los cuales muestran que en un lapso de 1 hora aproximadamente al variar el ángulo de inclinación se pudo apreciar que el colector recibe una mayor cantidad de radiación solar a un ángulo de 15° , con una radiación de $54,8\text{W/m}^2$.

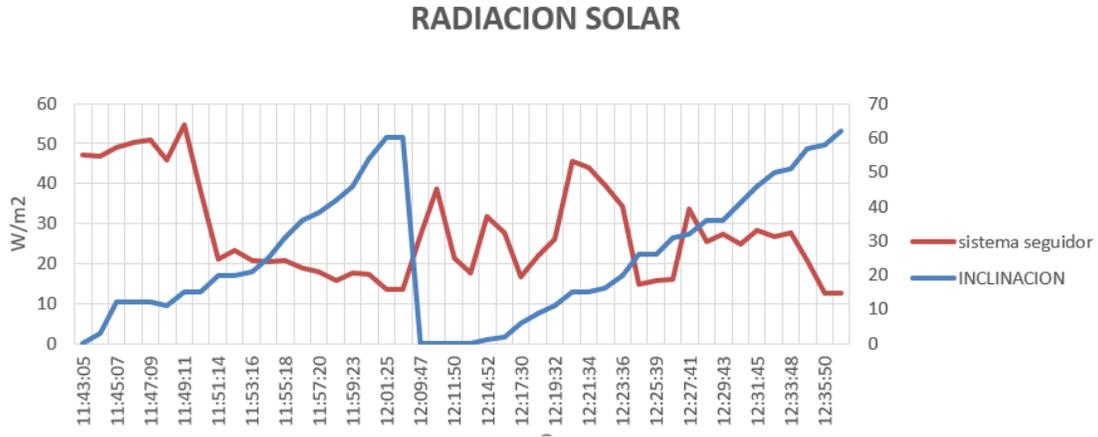


Figura 5.7. Grafica de radiación generada el 13 de julio del 2021

Fuente: Autores.

En la siguiente grafica 5.8, podemos observar la eficiencia que tuvo el sistema cuando se hizo la prueba a diferentes ángulos conociendo una mayor eficiencia es de 94.01 % a las 11:44 horas con un ángulo de 3° y una mínima eficiencia que observamos de 40.80% a las 12:02 horas cuando el panel está posicionado con un ángulo de 60° y la eficiencia promedio tenemos entre un valor de 50.96%.



Figura 5.8. Grafica eficiencia el 13 de julio del 2021

Fuente: Autores.

Igualmente, el 14 de julio se realizó el mismo procedimiento expuesto anteriormente, el cual a una inclinación de 15° se obtiene la mayor radiación en la hora que se tomó los datos

variando el ángulo, se obtuvo un máximo de 46,2 W/m²; estos datos se observan en la figura 5.9.

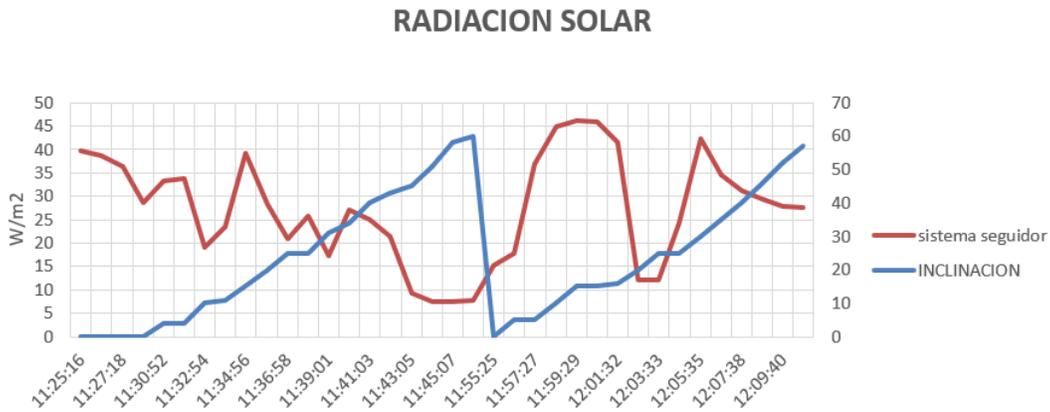


Figura 5.9. Grafica de radiación generada el 14 de julio del 2021

Fuente: Autores.

En la siguiente grafica 5.10, podemos observar la eficiencia que tuvo el sistema cuando se hizo la prueba a diferentes ángulos conociendo una mayor eficiencia de 86.67 % a las 12:07 horas con un ángulo de 40° y una mínima eficiencia que observamos es de 40.57% a las 11:46 horas cuando el panel está posicionado con un ángulo de 60° y la eficiencia promedio tenemos entre un valor de 49.25%.



Figura 5.10. Grafica eficiencia el 14 de julio del 2021

Fuente: Autores.

6 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.1. PRESUPUESTO

Materiales y costos para la construcción

Tabla 6.1. materiales y costos para la construcción

Cantidad	Material	Cantidad	Valor Unitario \$	Valor Total \$
1	ángulo de 30x4mm ASTM A 36	1	13,50	13,50
2	Rodamientos lineales SC10UU	2	7,00	14,00
1	Actuador lineal eléctrico 12 V 1500N 100mm Stroke DC Motor Lineal Carril de Guía con Kit de fuente de Alimentación	1	74,90	74,90
1	Chumacera plana KFL 000	1	5,25	5,25
2	Chumaceras de rodamiento KP 000	2	5,25	10,50
1	Motor nema 23	1	51,80	51,80
1	Eje de 10mm	1	23,50	23,50
5	Binchas de retención de 10mm	5	0,20	1,00
4	Pernos M6x20mm	4	0,10	0,40
2	Rodelas planas para eje de 10mm	2	0,10	0,20
4	Pernos M7x30mm mas rodela plana y tuercas.	4	0,10	0,40
1	Rueda dentada Gt2x30 dientes x 6mm (para el nema)	1	10,15	10,15
1	Rueda dentada Gt2x30 dientes x 10 mm (para el eje)	1	16,70	16,70
1	Correa cerrada Gt2x280mm	1	3,50	3,50
1	Panel solar Gy-Power 030p 36	1	90,70	90,70
1	Arduino mega 280	1	19,60	19,60
4	Resistencias de 220Ω	4	0,05	0,20

4	LDR	4	1,70	6,80
1	Sensor de corriente ACS712 ELCTR 5A ± 5 ^a	1	5,00	5,00
1	Sensor de voltaje FZ0430	1	5,40	5,40
1	Puente H	1	3,45	3,45
1	Dispositivo acelerómetro y giroscopio 3 ejes MPU 6050	1	8,50	8,50
1	Driver A4988	1	2,50	2,50
1	Módulo RTC DS1307 + EEPROM AT24C32 (I2C)	1	3,00	3,00
1	LCD LM016L	1	7,00	7,00
2	Resistencias de 330Ω	2	0,05	0,10
1	selector switch de 3 posiciones	1	1,50	1,50
	Total de los materiales a utilizar			352,05
	Útiles y Suministros de Oficina	Cantidad	Valor Unitario \$	Valor Total \$
	Material Bibliográfico y fotocopias. (impresiones)	1	80	80
	Total, Útiles y Suministros de Oficina			80
	Capital de Trabajo			
	Ingeniería que se Aplica en la realización del proyecto	1	250	250

Presupuesto	Subtotal
Activos Fijos	432,05
Capital de Trabajo	250
Subtotal	682,05
Imprevistos (del 12%)	73,08
Total	755.13

6.6.1 Calculo del VAN y el TIR

Se procede a realizar el cálculo del VAN y TIR mediante Excel.

Tabla 6.2. Presupuesto del proyecto

FLUJO DE CAJA				
periodos	inversión inicial	ingresos	Egresos	FNE
0	755,13			-755,13
1		650	100	550
2		663	102	561
3		676,26	104,04	572,220
4		689,7852	106,04	583,7452
5		703,780904	108,04	595,740904
Porcentaje de Incremento		2%		
Tasa		10%		
VAN		\$1.407,04		
TIR		69%		

Fuente: Autores

Realizamos para 5 años y comprobamos la factibilidad con un interés del 10% y un incremento del 2%.

Con los resultados calculados del proyecto observamos que es viable y tendrá una rentabilidad durante un periodo de cinco años, en donde se puede decir que la inversión ha sido un éxito.

6.2. Análisis de impactos

En siguiente capítulo se detallan los impactos técnico, económico y social del proyecto en la sociedad de la implementación del módulo del seguidor solar que permite la visualización de las curvas de efectividad de los paneles fotovoltaicos, de tal modo que servirá para el análisis si es posible la implementación del sistema

6.2.1 Impacto tecnológico

La implementación del seguidor solar para la visualización de las curvas de eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos, ayuda a la formación práctica de los profesores demostrando los cálculos hechos en los salones , con la preparación de las prácticas de laboratorio los estudiantes determinarán las ventajas y desventajas de la utilización del sistemas solares, de esta modalidad los estudiantes analizarán las propiedades técnicas de la capacidad del panel

fotovoltaico, posterior a ello se planteará una mejora para su montaje y su beneficio de energía solar

6.2.2 Impacto económico

Con la implementación de este seguidor solar tendremos la posibilidad de medir la eficiencia de los paneles fotovoltaicos y de esta forma además la porción de energía generada, con ello conseguir entablar que tan posible es tanto técnico como económico, de esa forma los estudiantes de la Carrera Ingeniería Electromecánica y Eléctrica, no invertirán en la compra de materiales para la indagación y ejecución de las prácticas, principalmente en la compra del pirómetro, ya que dichos instrumentos es bastante costoso.

6.2.3 Impacto social

La implementación del módulo para la visualización de las curvas de eficiencia de los paneles fotovoltaicos tiene una serie de resultados que provocan un impacto importante en el campo social, la mayoría de los resultados son directos pues el módulo permite que se mejore en diversos aspectos, los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicada permanecen entre los más beneficiados por el plan puesto que mejoran sus condiciones debido a que tienen la posibilidad de tomar datos en tiempo real del potencial energético del panel solar y de esta forma comprobar su eficiencia

6.2.4 Impacto ambiental

La energía fotovoltaica que se crea por medio de paneles solares se contempla como una energía limpia con el medio ambiente, sin sonido ni contaminación química e ideal para los ambientes urbanos, la producción de energía eléctrica de modo directo desde la luz solar no necesita ningún tipo de ignición, por lo cual no se crea efusión térmica ni emisiones de CO₂ que favorezcan el impacto invernadero.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Según los datos obtenidos por el seguidor solar implementado en la ciudad de Latacunga el mejor ángulo de captación para obtener una mejor radiación es de 15°.

De acuerdo con los datos tabulados se puede apreciar los cambios que existen a diversas horas del día, dependiendo del clima si está nublado o soleado, se puede obtener una mejor radiación, además se observa que al medio día se puede obtener una máxima radiación con un ángulo menor y en cambio a un mayor ángulo la radiación es mínima.

Al realizar una comparación con los datos obtenidos durante un día nublado con el panel ubicado a un ángulo de 0° y un día similar de igual manera nublado posicionando el panel en modo seguidor el cual varía el ángulo según la posición del ángulo de la hora solar, se aprecia una diferencia entre el promedio de captación de la radiación de 6.97 W/m^2 con el ángulo de 0° y los 15.35 W/m^2 en modo seguidor en días similares, por ende un seguidor solar obtiene una mayor captación de la radiación que un módulo fijo durante días con presencia de alta nubosidad.

De igual manera al realizar la misma comparación antes mencionada, pero en un día soleado sin presencia de mucha nubosidad la radiación promedio a un ángulo de 0° es de $21,17 \text{ W/m}^2$, mientras que en modo seguidor es de 15.53 W/m^2 , en este caso el panel fijo recibe mayor captación promedio; por la variación del clima un seguidor solar tendría mayor beneficios en un sistema fotovoltaico ya que no todos los días del año se presentan días despejados en los cuales el panel fijo presenta una mayor eficiencia.

La eficiencia en el sistema seguidor implementado lo obtenemos con los datos tomados por el sistema con una máxima eficiencia de 94.01% a las 11:44 horas con un ángulo de 3° y una mínima de 40.80% a las 12:02 horas cuando el panel está posicionado con un ángulo de 60° y la eficiencia promedio 50.96% al extraer más energía del panel fotovoltaico con seguimiento solar durante un tiempo mayor, ocasiona que el sistema propuesto sea más eficiente con la que se logra con paneles solares fijos.

7.2 RECOMENDACIONES

Tener conocimiento de la tecnología al momento de adquirir los componentes para armar un seguidor ya que de esto depende el costo que conlleva realizar un sistema fotovoltaico con seguidor solar.

La ubicación del módulo seguidor debe realizarse en una zona donde no exista obstáculos como sombras u objetos que intervengan en la captación solar del panel fotovoltaico, para la obtención apropiada de los datos de radiación emitida por el sol.

Realizar un mantenimiento periódico tanto del panel fotovoltaico y de las partes móviles del módulo para evitar daños en el mismo y obtener datos eficientes.

8. REFERENCIAS

- [1] D. Barberá Santos, “Introducción a La Energía Fotovoltaica,” pp. 1–20, 2014, [Online]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCIÓN+A+LA+ENERGÍA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducción+a+la+Energía+Fotovoltaica.pdf>.
- [2] V. A. Choca Yupa, “Inversión pública en energía renovable para el cambio de la matriz energética del Ecuador,” 2016, [Online]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/18776>.
- [3] J. M. Fernández Salgado, “GUÍA COMPLETA DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y TERMOELÉCTRICA (Adaptada al Código Técnico de la Edificación y al nuevo RITE) Edición 2010.”
- [4] “Radiación solar horaria: modelos de estimación a partir de variables meteorológicas básicas.” [Online]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/102488>.
- [5] J. C. Rufasto Castro, “Diseño de un Sistema Fotovoltaico Autónomo para el Suministro de Energía Eléctrica a la Sala de Cómputo de la Universidad Nacional de Jaén,” *Repos. Inst. - UNJ*, Mar. 2019, Accessed: Jun. 05, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/70>.
- [6] “Donde estudiar: Qué es la radiación solar. Tipos de radiación solar.” [Online]. Available: <http://espacioteca.blogspot.com/2010/09/que-es-la-radiacion-solar-tipos-de.html>.
- [7] “(No Title).” [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2252/1/CD-2992.pdf>.

- [8] M. De *et al.*, “Ing. Adrián David Sandoya Unamuno.”
- [9] “Significado de Latitud (Qué es, Concepto y Definición) - Significados.” [Online]. Available: <https://www.significados.com/latitud/>.
- [10] “Definición de longitud - Qué es, Significado y Concepto.” [Online]. Available: <https://definicion.de/longitud/>.
- [11] “Radiación solar.” [Online]. Available: <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/glosario.php>.
- [12] “Aprovechando la reflectancia - Iluminica.” [Online]. Available: <http://iluminica.com/aprovechando-la-reflectancia/>.
- [13] “Atlas de radiación solar - MeteoGalicia.” [Online]. Available: https://www.meteogalicia.gal/observacion/atlasrs/atlasrsMensual.action?tipo=KT&request_locale=es.
- [14]? “▷ **【 Trayectoria del sol - Energía solar fotovoltaica 1 】** .” [Online]. Available: <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-fotovoltaica-1/trayectoria-del-sol-137869>.
- [15] S. Ceballos, “Trayectoria De La Órbita Terrestre Alrededor Del Sol.,” *Sci. Tech.*, vol. 2, no. 31, pp. 241–246, 2006, doi: 10.22517/23447214.6435.
- [16] “Navegación GPS off-road → Tema 2 – Vivir en un mundo esférico - Bici Rutas Valencia.” [Online]. Available: <https://bicirutasvalencia.com/curso/navegacion-gps-offroad/tema/2-vivir-en-un-mundo-esferico/>.
- [17] “Trayectoria solar.” [Online]. Available: <https://www.arqhys.com/arquitectura/trayectoria-solar.html>.
- [18] “Cómo entender una carta solar - sergioperezarq.com.” [Online]. Available: <http://www.sergioperezarq.com/como-entender-una-carta-solar/>.
- [19] “Energía solar fotovoltaica y su contribución | ACCIONA | Business as unusual.” [Online]. Available: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/>.

- [20] “#CIENCIAIBERO ¿Qué son y cómo funcionan las celdas fotovoltaicas? | IBERO.” [Online]. Available: <https://ibero.mx/prensa/que-son-y-como-funcionan-las-celdas-fotovoltaicas>.
- [21] “Tipos de paneles solares.” [Online]. Available: <https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/tipos-de-paneles-solares/>.
- [22] “Energía solar: Ventajas y desventajas.” [Online]. Available: <https://www.otovo.es/blog/energia/energia-solar-ventajas-y-desventajas/>.
- [23] “Modelado y análisis de sistemas fotovoltaicos.” [Online]. Available: <https://www.tdx.cat/handle/10803/7037#page=1>.
- [24] “(PDF) SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR PARA PANELES FOTOVOLTAICOS.” [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/331175353_SISTEMA_DE_SEGUIMIEN TO_SOLAR_PARA_PANELES_FOTOVOLTAICOS](https://www.researchgate.net/publication/331175353_SISTEMA_DE_SEGUIMIEN_TO_SOLAR_PARA_PANELES_FOTOVOLTAICOS).
- [25] “Soportes para placas solares ✨ El patito feo de las instalaciones solares ★.” [Online]. Available: <https://www.solarmat.es/blog/soportes-para-placas-solares-el-patito-feo-de-las-instalaciones/>.
- [26] “(No Title).” [Online]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70237/fichero/4.%2BCAPITULO%2B2.%2BINTRODUCCI%25C3%2593N.pdf>.
- [27] “Seguidores solares o fotovoltaicos - Cambio Energético.” <https://www.cambioenergetico.com/88-seguidores-solares-o-fotovoltaicos> (accessed Jun. 07, 2021).
- [28] I. M. Roberto, N. Lovo, I. F. Antonio, A. Sandoval, I. Julio, and A. Portillo, “DR. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DECANO.”
- [29] “(PDF) DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR PASIVO PARA SU USO CON DIVERSOS PÁNELES DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR.” [Online]. Available:

https://www.researchgate.net/publication/294581402_DISENO_DE_UN_SEGUIDO_R_SOLAR_PASIVO_PARA_SU_USO_CON_DIVERSOS_PANELES_DE_CAPTACION_DE_ENERGIA_SOLAR.

- [30] J. M. Espinal and I. R. Malpartida, “Seguidor solar adaptativo basado en un controlador lógico programable para paneles fotovoltaicos Adaptive solar tracker based in a programable logic controller for photovoltaic panels,” vol. 02, no. 02, 2012.
- [31] “(No Title).” [Online]. Available: <http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2016/CID36.Propuesta.de.Diseño.de.un.Seguidor.Solar.de.dos.y.tres.ejes.pdf>.
- [32] I. R. Barreto Calle, M. A. E. I. Edgar, and T. Fernandez, *Area De La Energia, Las Industrias Y Los Recursos Naturales No Renovables Loja Ecuador*. 2010.
- [33] F. José, G. Lineros, and A. Corral Aguilar, “Sistema electrónico para el control de plataformas fotovoltaicas.”
- [34] “NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN NEC-11 CAPÍTULO 14 ENERGÍAS RENOVABLES.”
- [35] Q. -Ecuador and P. Edición, “INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN CÓDIGO DE PRÁCTICA ECUATORIANO CPE INEN 19:2001 CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL.”
- [36] “Grados de Libertad - Máquinas y Mecanismos.” [Online]. Available: <http://www.upv.es/vltmodels/grados-de-libertad.html>.
- [37] “Arduino Mega 2560 Rev3 | Tienda oficial Arduino.” [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>.
- [38] “Tutorial sensor de corriente ACS712.” [Online]. Available: https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-acs712.html.
- [39] “MPU-6050 Hoja de datos, PDF - alldatasheet.com.” [Online]. Available: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Mpu-6050>.
- [40] “Módulo Bluetooth 4.0 BLE HM-10.” [Online]. Available:

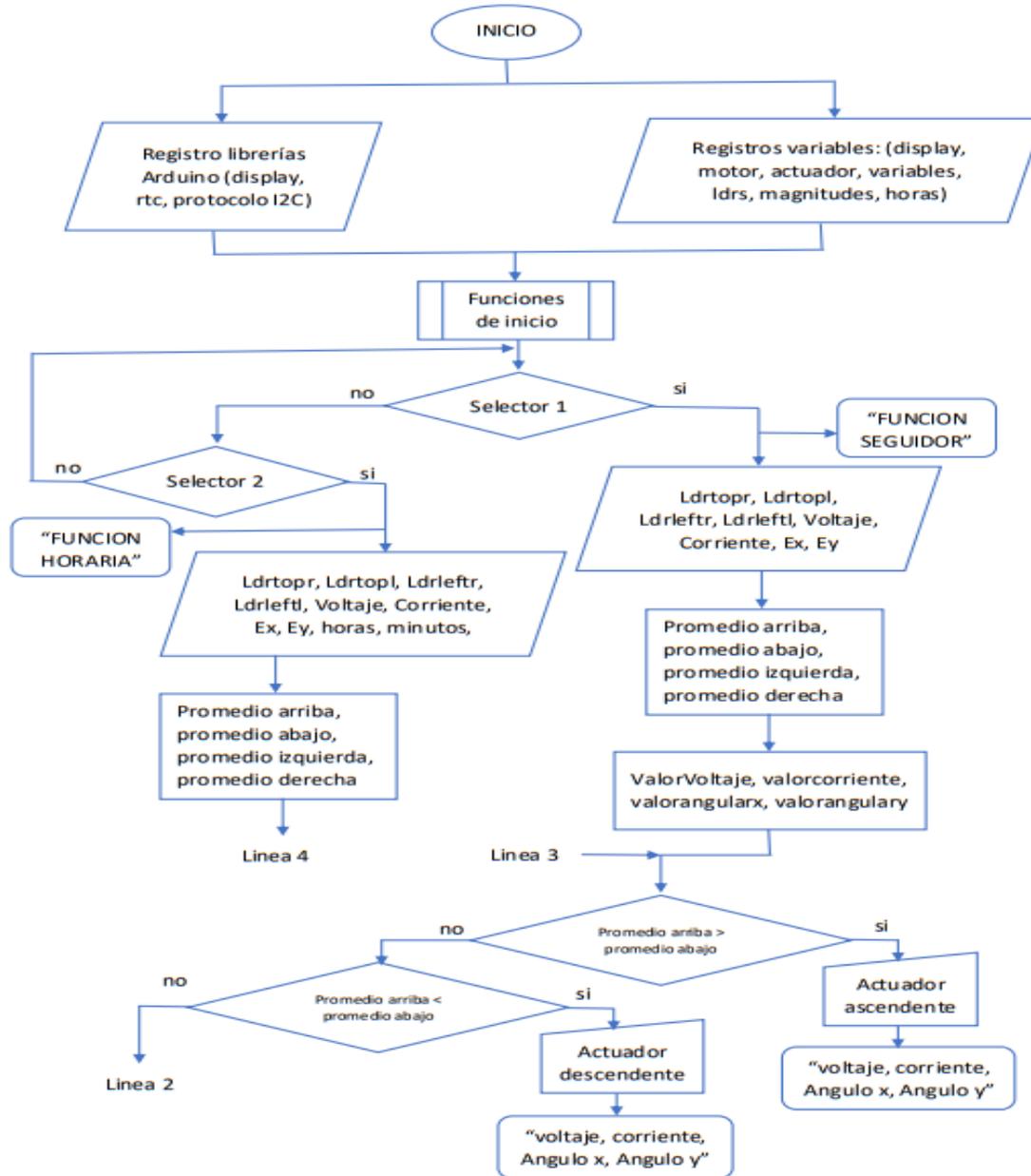
<https://naylampmechatronics.com/inalambrico/133-modulo-bluetooth-40-ble-hm-10.html>.

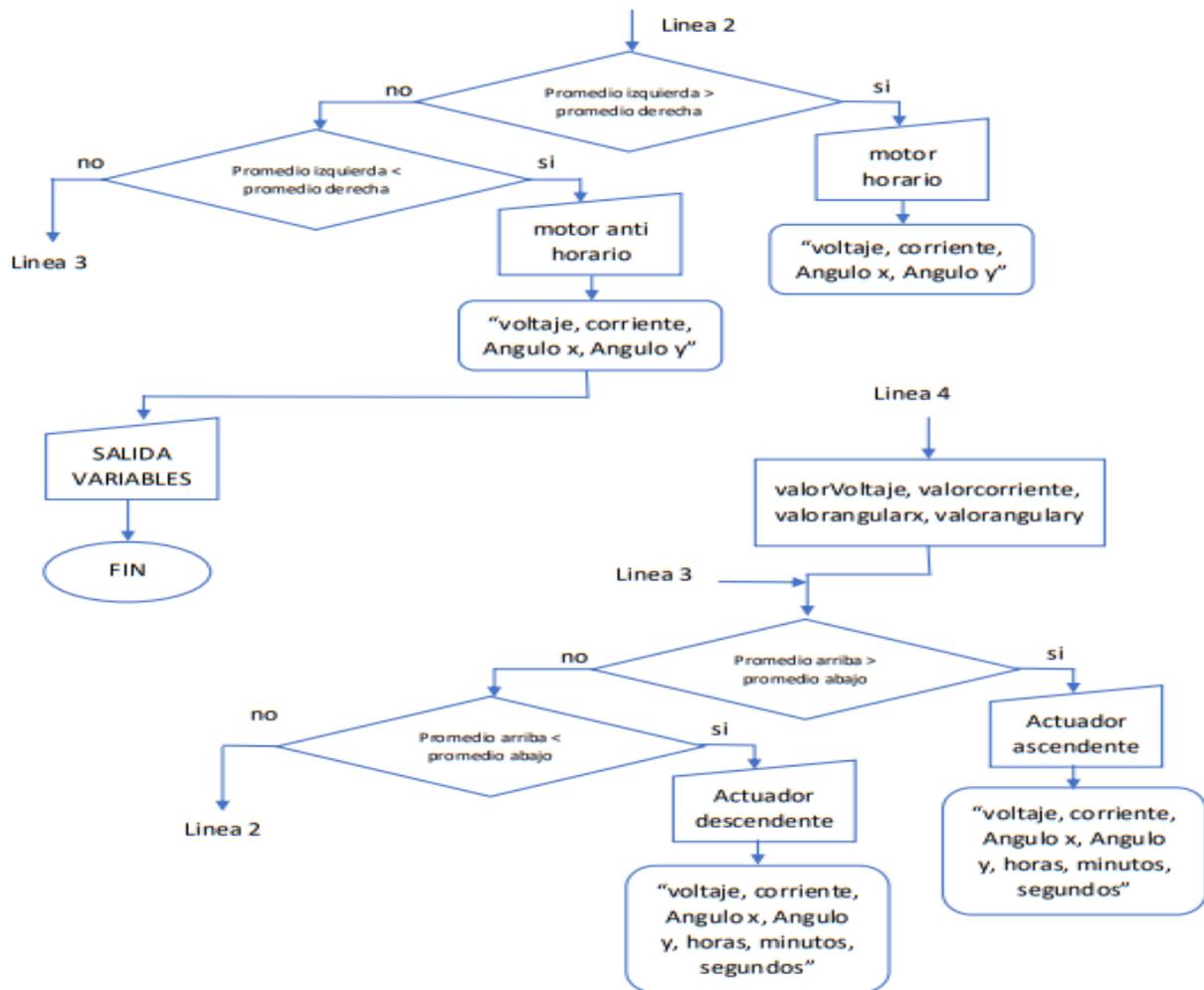
- [41] “NodeMcu V3 Lua ESP8266 ESP12E Wifi CH340 » IBEROBOTICS.” [Online]. Available: <https://www.iberobotics.com/producto/modulo-wifi-nodemcu-v3-lua-esp12e-ch340/>.
- [42] “Driver Microstepper Motor Paso a Paso - TB6600 - 0.5-4A 12-40VDC - Electronilab.” [Online]. Available: <https://electronilab.co/tienda/driver-microstepper-motor-paso-paso-tb6600-0-2-5a-12-48vdc/>.
- [43] “Sensor luz ultravioleta GY-ML8511 - Moviltronics.” [Online]. Available: <https://moviltronics.com/tienda/sensor-gyml8511/>.
- [44] P. Axaopoulos, “3. Principios de la Geometría Solar.”

9. ANEXOS

ANEXO I:

ANEXO I: flujogramas de la secuencia de programación



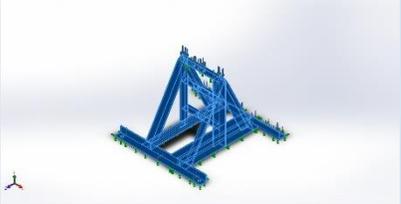


Anexo I Flujograma del funcionamiento del seguidor solar

Fuente: Autores

En el Anexo I se puede observar la lógica de operaciones y condiciones que rigen al seguidor sin embargo el código completo de programación se encuentra en el apartado de anexos.

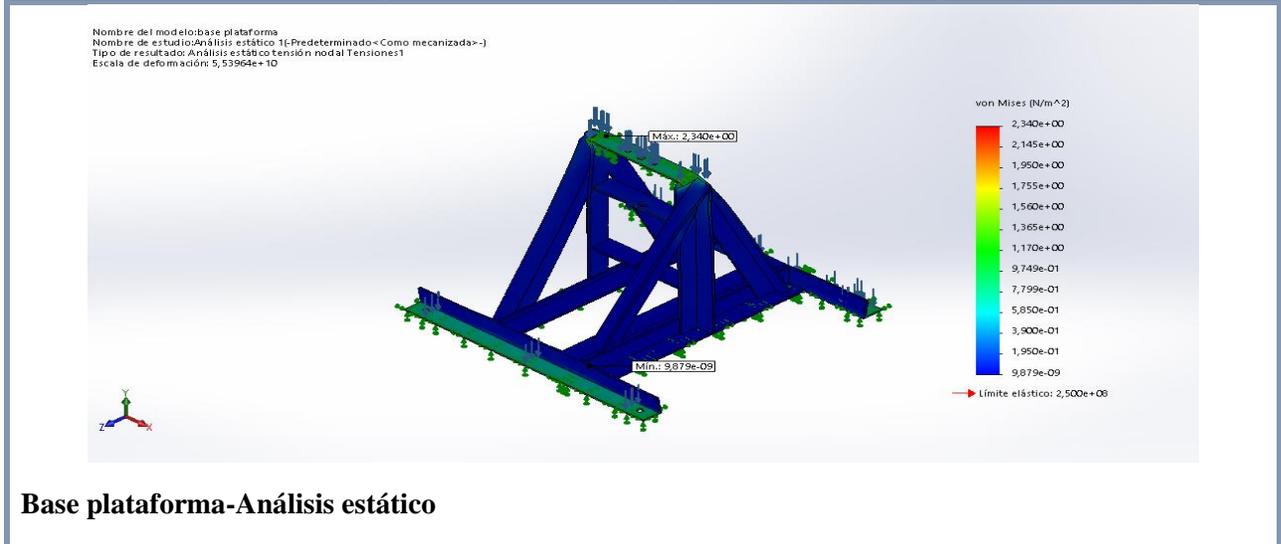


Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ASTM A36 Acero</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 2,5e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,26</p> <p>Densidad: 7.850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7,93e+10 N/m²</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir33)(base plataforma)</p>

Propiedades de la materia de la estructura

Fuente: Autores.

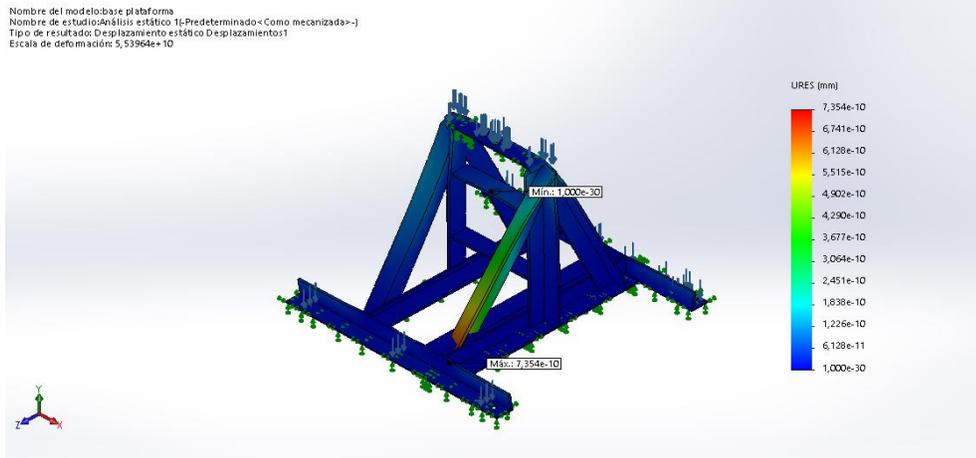
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	9,879e-09 N/m ²	2,340e+00 N/m ²
		Nodo: 12881	Nodo: 39894



Resultados del Análisis de Tensiones

Fuente: Autores.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1	7,354e-10 mm Nodo: 10477

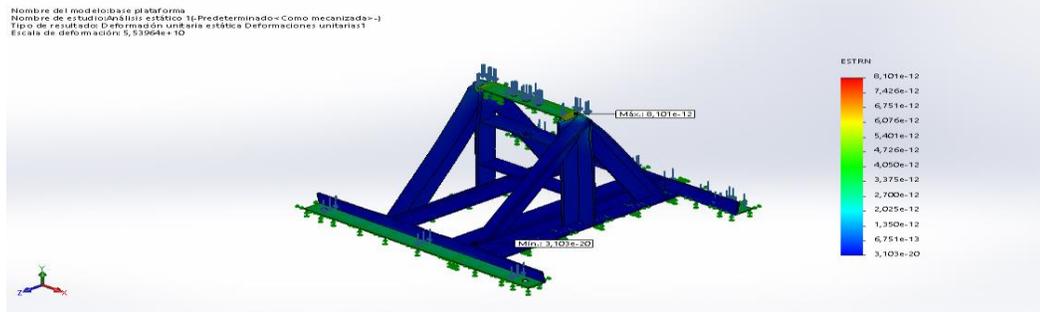


Base plataforma-Análisis estático

Resultado del Análisis de desplazamientos.

Fuente: Autores.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3,103e-20 Elemento: 21067	8,101e-12 Elemento: 15391

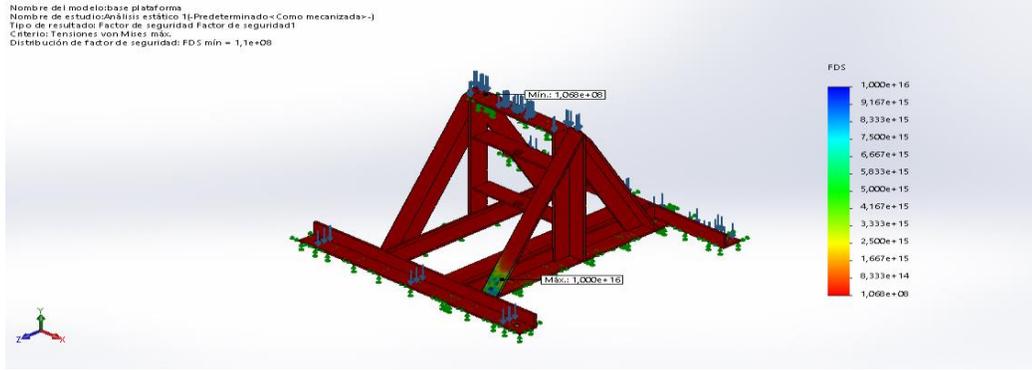


Base plataforma-Análisis estático

Resultado del Análisis de deformaciones unitarias

Fuente: Autores.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,068e+08 Nodo: 39894	1,000e+16 Nodo: 10467



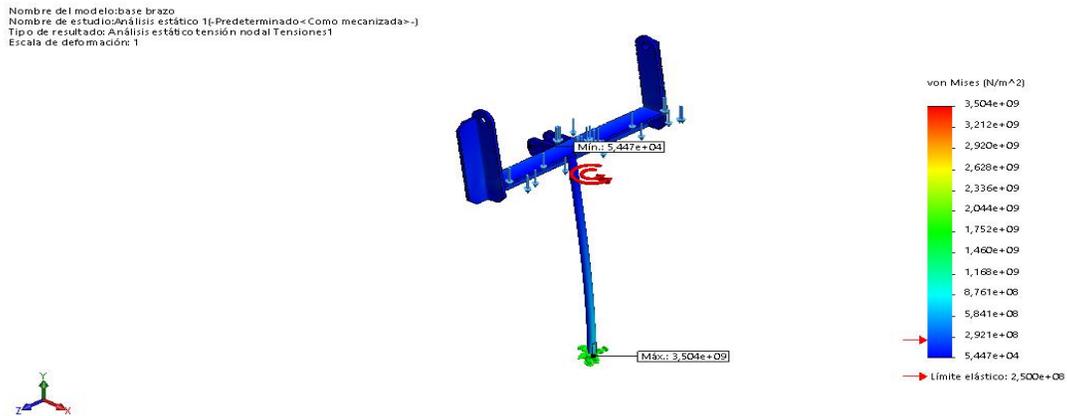
Base plataforma-Análisis estático

Resultado del Análisis del Factor de Seguridad

Fuente: Autores.

Análisis y Resultados en el Brazo Móvil

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	5,447e+04 N/m ² Nodo: 33389	3,504e+09 N/m ² Nodo: 934

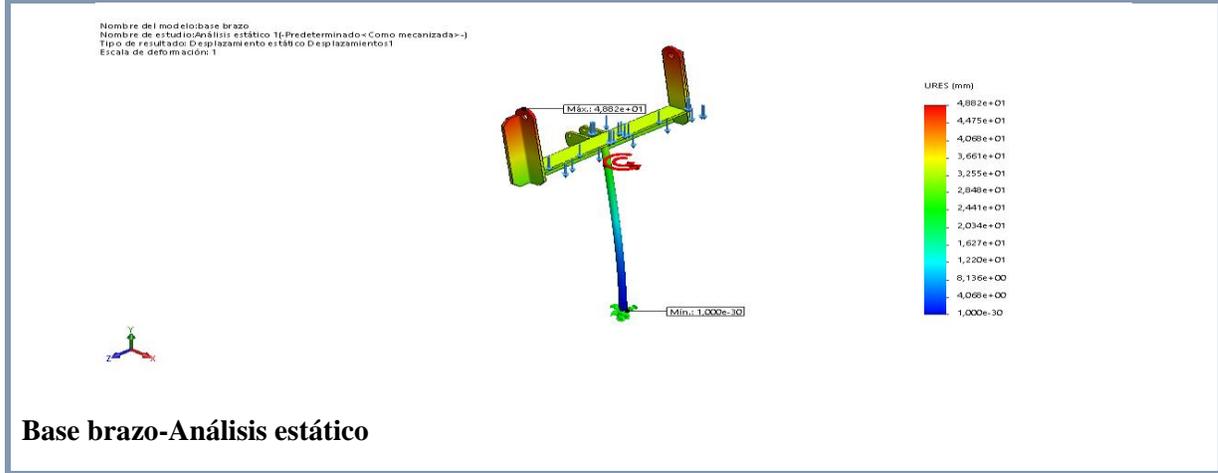


Base brazo-Análisis estático

Figura Resultado del análisis de tensiones

Fuente: Autores.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 307	4,882e+01 mm Nodo: 124



Resultado del análisis de Desplazamientos

Fuente: Autores.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2,604e-07 Elemento: 19394	7,316e-03 Elemento: 9902

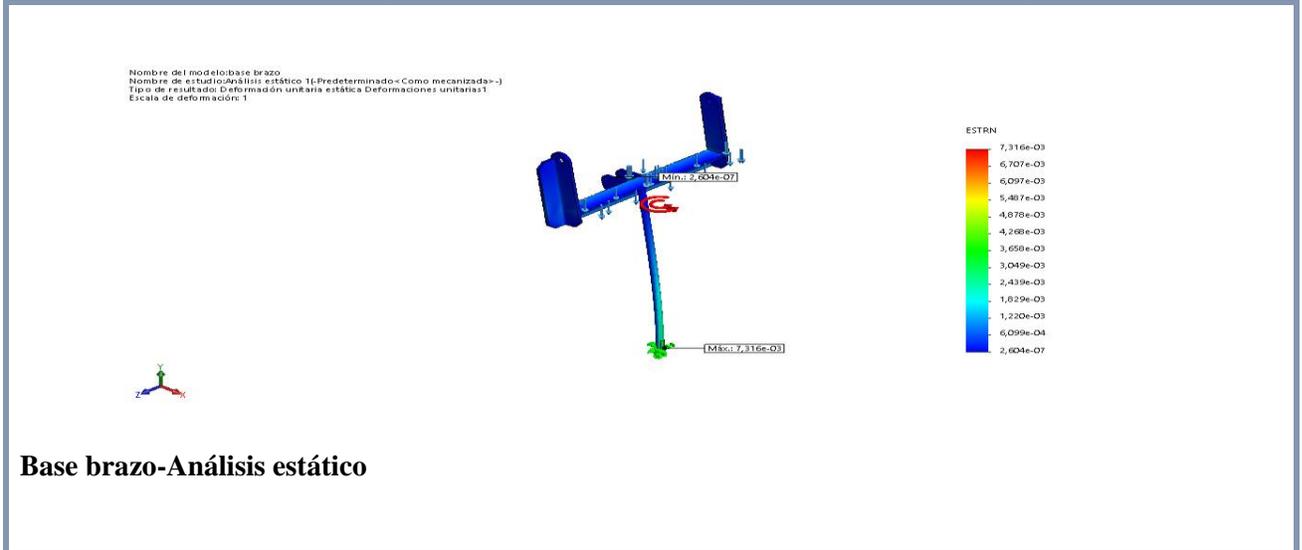
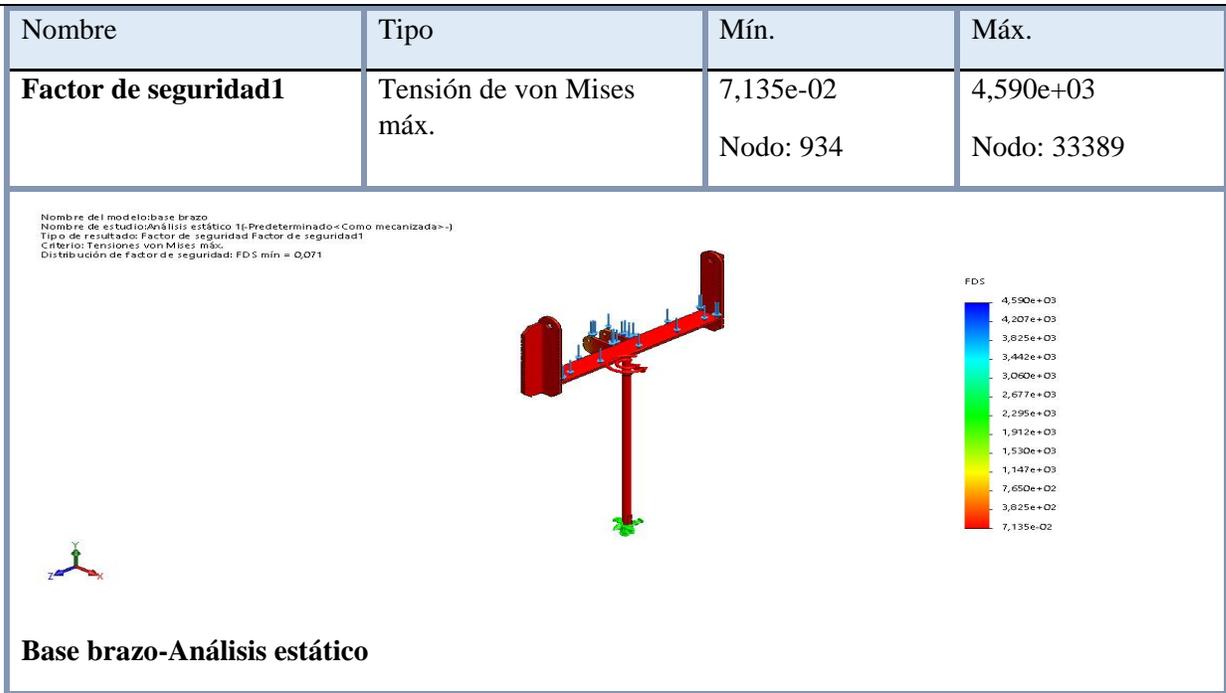


Figura 5.9 Resultado del análisis de Deformaciones Unitarias

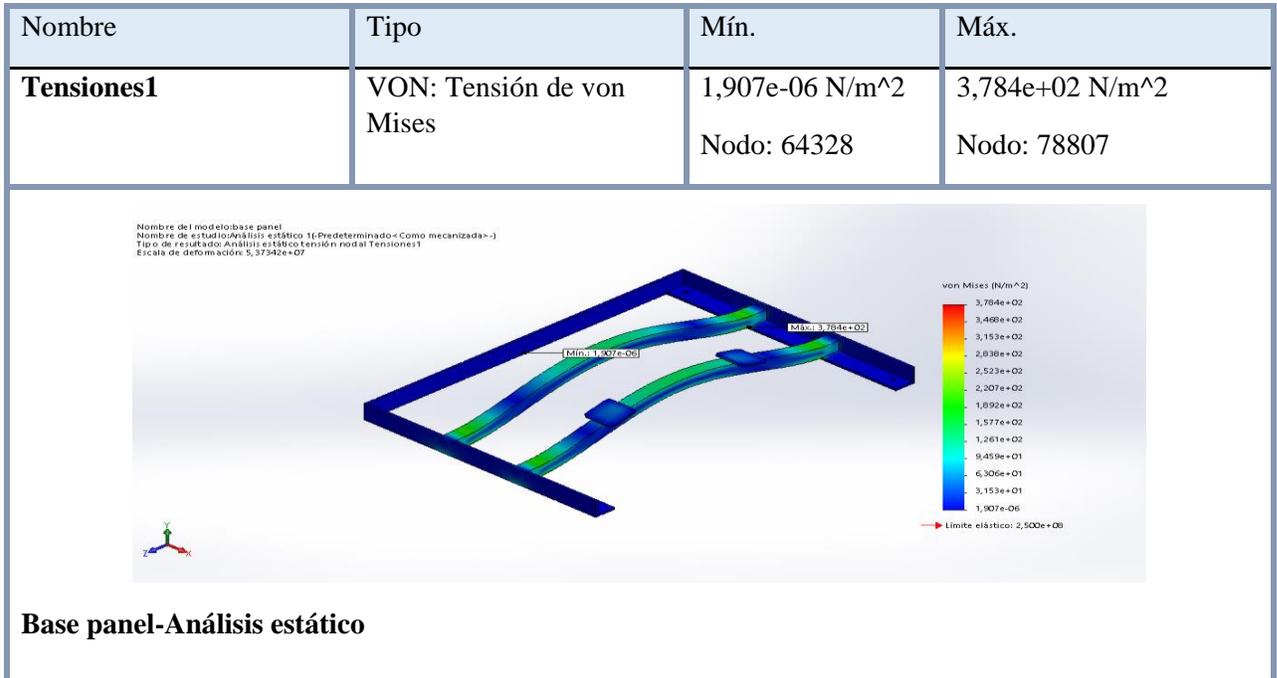
Fuente: Autores.



Resultado del análisis de Deformaciones Unitarias

Fuente: Autores.

Análisis y Resultados en la Base que se Asienta el Panel Solar

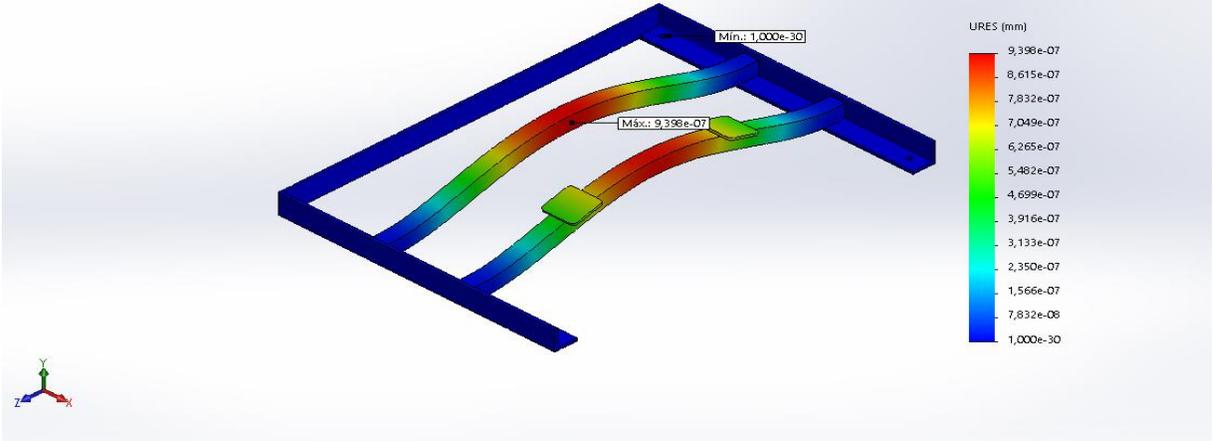


Resultado del análisis de tensiones

Fuente: Autores.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1	9,398e-07 mm Nodo: 6355

Nombre del modelo: base panel
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-< Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 5,37342e+07



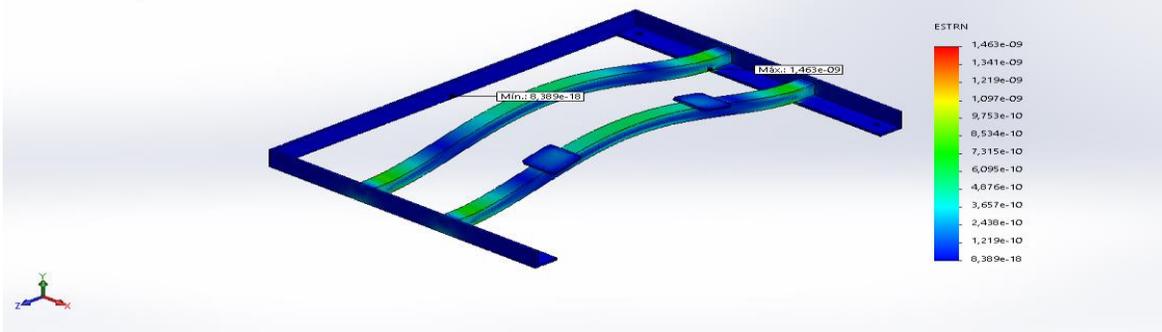
Base panel-Análisis estático

Resultado del análisis de Desplazamientos

Fuente: Autores.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	8,389e-18 Elemento: 38958	1,463e-09 Elemento: 43061

Nombre del modelo: base panel
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-< Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 5,37342e+07



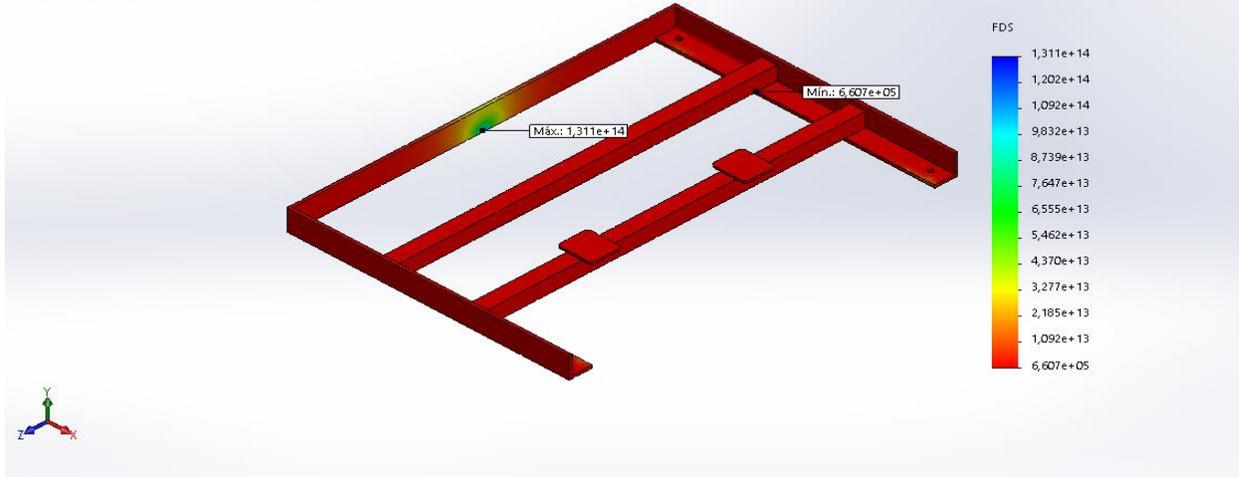
Base panel-Análisis estático

Figura. Resultado del análisis de Deformaciones unitarias

Fuente: Autores.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	6,607e+05 Nodo: 78807	1,311e+14 Nodo: 64328

Nombre del modelo: base panel
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-< Como mecanizada->-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 6,6e+05



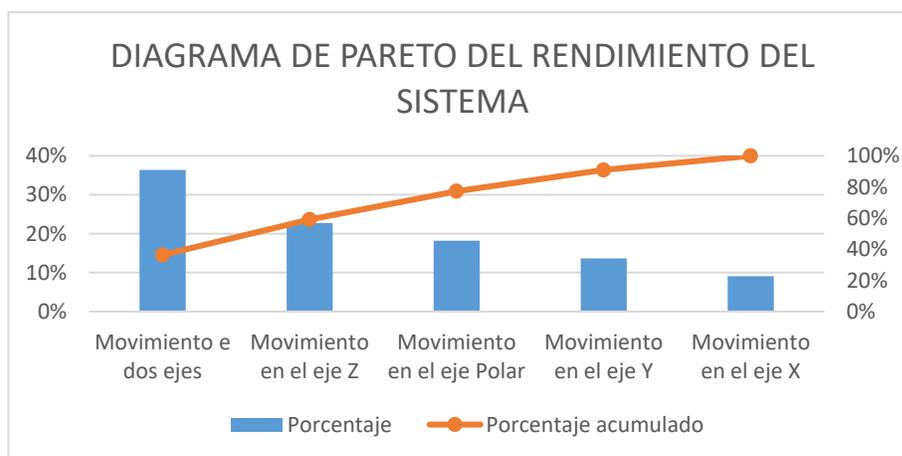
Base panel-Análisis estático

Figura: Resultado del análisis del Factor de seguridad.

Fuente: Autores.



Tipo de configuración	Aumento del rendimiento	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Movimiento e dos ejes	40	36%	36%
Movimiento en el eje Z	25	23%	59%
Movimiento en el eje Polar	20	18%	77%
Movimiento en el eje Y	15	14%	91%
Movimiento en el eje X	10	9%	100%
Total	110		



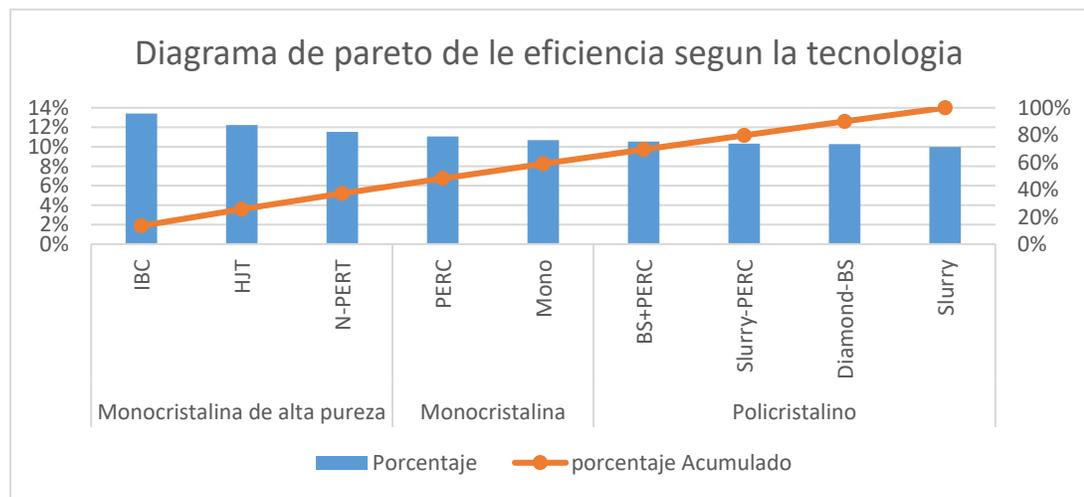
Anexo III: Aumento del rendimiento del sistema fotovoltaico según su movimiento

Fuente: Autores

Realizada el siguiente análisis podemos observar el comportamiento del rendimiento solar según el movimiento y de esta manera elegimos para nuestro seguidor el movimiento de dos ejes ya que es el que tiene mayor eficiencia.



Tecnología		Potencia	Eficiencia de la célula	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Monocrystalina de alta pureza	IBC	364	24,50	13%	13%
	HJT	332	22,50	12%	26%
	N-PERT	313	21,50	12%	37%
Monocrystalina	PERC	300	21,40	11%	48%
	Mono	290	20,40	11%	59%
Policristalino	BS+PERC	286	19,80	11%	69%
	Slurry-PERC	280	19,40	10%	80%
	Diamond-BS	279	19,20	10%	90%
	Slurry	271	18,50	10%	100%
Total		2715	187,2	100%	

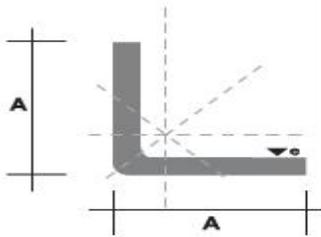


Del análisis que se realiza de los tipos de paneles solares que existen en el mercado se opta a elegir un panel solar policristalino de la marca Gy-power de modelo GP-030P-36 acorde a nuestra necesidad y el peso que va soportar la estructura.

PERFILES ESTRUCTURALES ÁNGULOS IMPORTADOS

Especificaciones Generales:

Calidad:	ASTMA36 SAE J 1403 1008
Largo Normal:	6.00m
Espesores:	Desde 2mm a 12 mm
Acabado:	Acero Negro



Denominación	Dimensiones		Peso		Área
	mm		kg/m	kg/6m	
AL 20X2	20	2	0,60	3,62	0,76
AL 20X3	20	3	0,87	5,27	1,11
AL 25X2	25	2	0,75	4,56	0,96
AL 25X3	25	3	1,11	6,68	1,41
AL 25X4	25	4	1,45	8,75	1,84
AL 30X3	30	3	1,36	8,13	1,71
AL 30X4	30	4	1,77	10,63	2,24
AL 40X3	40	3	1,81	11,00	2,31
AL 40X4	40	4	2,39	14,34	3,04
AL 40X6	40	6	3,49	21,34	4,44
AL 50X3	50	3	2,29	13,85	2,91
AL 50X4	50	4	3,02	18,33	3,84
AL 50X6	50	6	4,43	26,58	5,64
AL 60X6	60	6	5,37	32,54	6,84
AL 60X8	60	8	7,09	42,54	9,03
AL 65X6	65	6	5,84	35,25	7,44
AL 70X6	70	6	6,32	38,28	8,05
AL 75X6	75	6	6,78	40,65	8,64
AL 75X8	75	8	8,92	54,18	11,36
AL 80X8	80	8	9,14	55,84	11,60
AL 100X6	100	6	9,14	55,84	11,64
AL 100X8	100	8	12,06	74,05	15,36
AL 100X10	100	10	15,04	90,21	19,15
AL 100X12	100	12	18,26	109,54	22,56

También en galvanizado e inoxidable

www.dipacmanta.com



EJES ACERO DE TRANSMISIÓN

Especificaciones Generales:

Norma: AISI 1018

Descripción: Es un acero de cementación no aleado principalmente utilizado para la elaboración de piezas pequeñas, exigidas al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante.

Aplicaciones: Levas uniones, bujes, pines, pivotes, pernos grado 3.

Largo: 6 mts



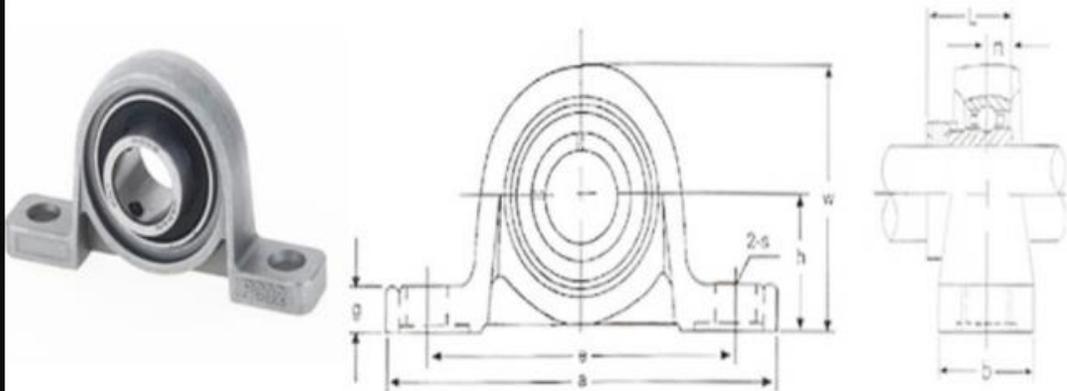
COMPOSICIÓN QUÍMICA				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0 - 0,20	0 - 0,25	0 - 0,70	0 - 0,04	0 - 05

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm ²)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm ²)	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
410 - 520	235	20	143

DIMENSIONES

DIÁMETRO
3/8"
1/4"
5/8"
3/4"
7/8"
1"
1-1/4"
1-1/2"
1-3/4"
2"
2-1/4"
2-1/2"
2-3/4"
3"
3-1/2"
4"
4-1/2"
5"
6"





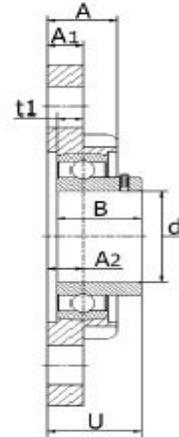
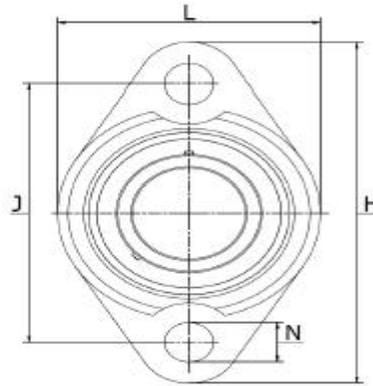
Size	Bearing	mm									Screw
	d	H	A	E	B	S	G	W	Bi	N	
	(mm)										
KP000	10	18	67	53	16	7	6	35	14	4	M6
KP001	12	19	71	56	16	7	6	38	14.5	4	M6
KP002	15	22	80	63	16	7	7	43	16.5	4.5	M6
KP003	17	24	85	67	18	7	7	47	17.5	5	M6
KP004	20	28	100	80	20	10	9	55	21	6	M8
KP005	25	32	112	90	20	10	10	62	22.5	6	M8
KP006	30	36	132	106	26	13	11	70	24.5	6.5	M10





KFL 000 - 2-Bolt Flanged Housing Series

Silver Series, rustproof zinc aluminium housing, high carbon chromium bearings, set screw locking, solid base.

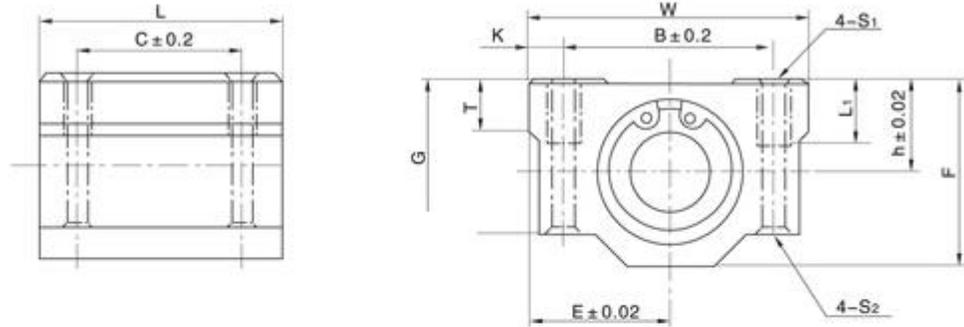


Type	Dimensions (mm)											Bolt Size	Mass
	d	H	J	A2	A1	A	N	L	U	B	t1		
KFL 08	8	48	37	4,5	4,0	8,5	4,8	27	12,0	11,5	3,5	M 4	0,08
KFL 000	10	60	45	5,5	5,5	11,5	7	36	15,5	15,0	5,0	M 6	0,10
KFL 001	12	63	48	5,5	5,5	11,5	7	38	15,5	15,0	5,0	M 6	0,10
KFL 002	15	67	53	6,5	6,5	13,0	7	42	17,5	16,5	5,5	M 6	0,10
KFL 003	17	71	56	7,0	7,0	14,0	7	46	18,5	17,5	6,0	M 6	0,20
KFL 004	20	90	71	8,0	8,0	16,0	10	55	22,0	21,0	7,0	M 8	0,20
KFL 005	25	95	75	8,0	8,0	16,0	10	60	23,5	22,5	7,0	M 8	0,20
KFL 006	30	112	85	9,0	9,0	18,0	13	70	26,0	24,5	7,5	M 10	0,30
KFL 007	35	122	95	10,0	10,0	20,0	13	80	31,5	29,5	8,0	M 10	0,30

technical changes reserved, some items may not be available from stock.

PTI Europa A/S - pt1.eu



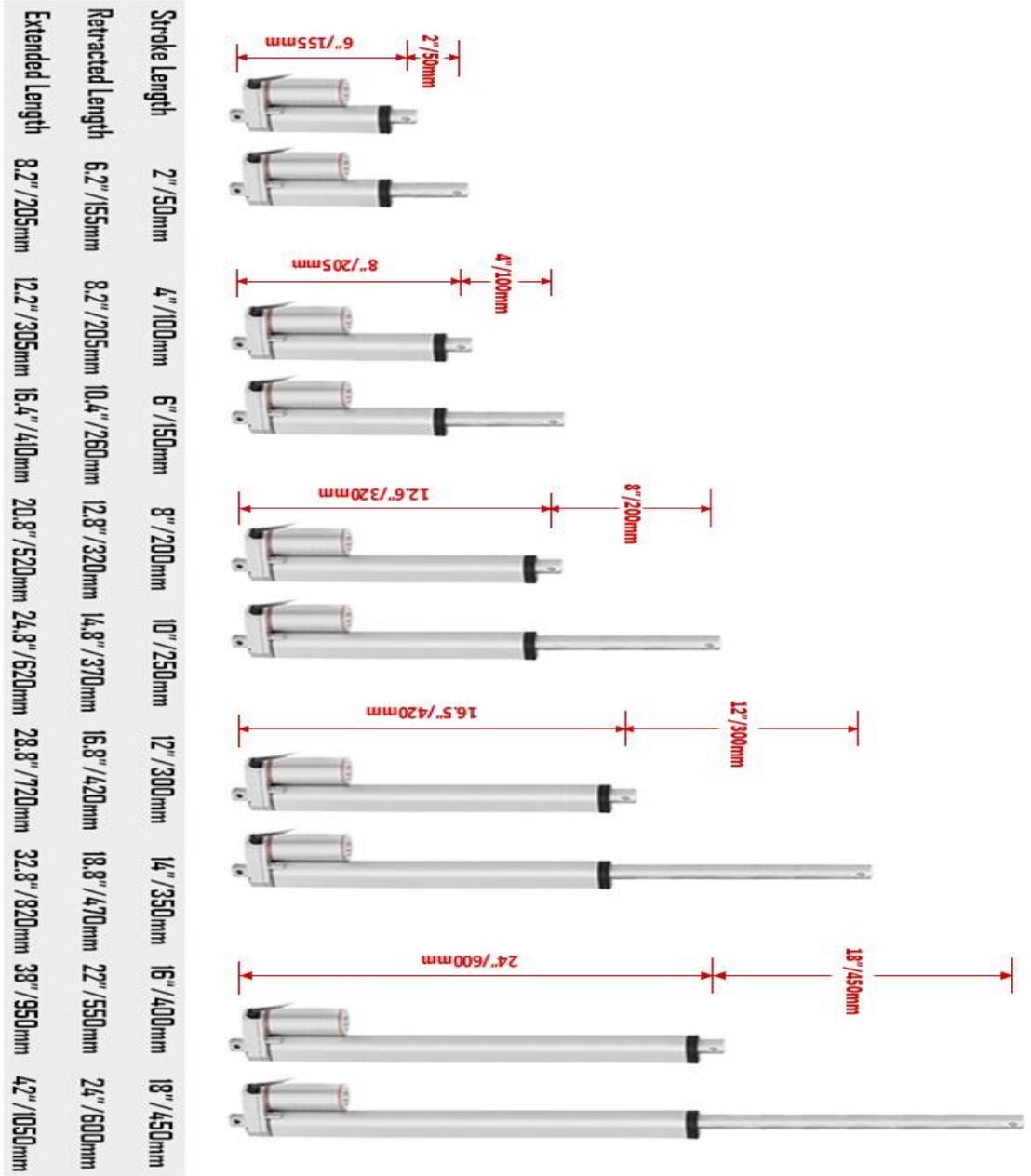


Unit Designation	Dimensions (mm)													Slide bush			
	T	h	E	W	L	F	G	B	C	K	S1	S2	L1	Designation	基本負荷率 Basic load rating 静 dynamic CN	静負荷率 Static load rating 静 static CON	Weight (kg/m)
SCS 6UU	6	9	15	30	25	18	15	20	15	5	M4	3.4	8	LM 6UU	206	265	34
SCS 8UU	6	11	17	34	30	22	18	24	18	5	M4	3.4	8	LM 8UU	274	392	52
SCS 10UU	8	13	20	40	35	26	21	28	21	6	M5	4.3	12	LM 10UU	372	549	92
SCS 12UU	8	15	21	42	36	28	24	30.5	26	5.75	M5	4.3	12	LM 12UU	510	784	102
SCS 13UU	8	15	22	44	39	30	24.5	33	26	5.5	M5	4.3	12	LM 13UU	510	784	120
SCS 16UU	9	19	25	50	44	38.5	32.5	36	34	7	M5	4.3	12	LM 16UU	774	1180	200
SCS 20UU	11	21	27	54	50	41	35	40	40	7	M6	5.2	12	LM 20UU	882	1370	255



Anexo X

Figura 6: selección del actuador lineal según la necesidad.

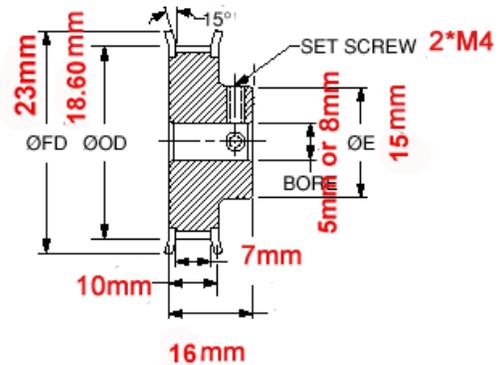


30-2GT-6BF Timing Belt Pulley

For width 6mm Belt



MATERIAL: 2024-T4 or 2024-T351
Aluminum Alloy



Note:

ØOD is Outside Diameter ØE is Hub Diameter ØFD is Flange Diameter



2GT-30T-BF

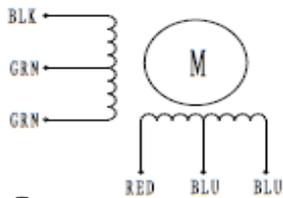
Belt width: 6 mm



HIGH TORQUE HYBRID STEPPING MOTOR SPECIFICATIONS

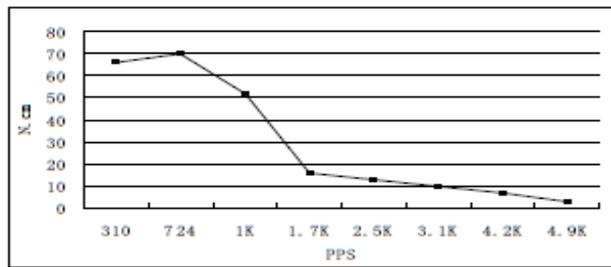
General specifications		Electrical specifications	
Step Angle (°)	1.8	Rated Voltage (V)	7.4
Temperature Rise (°C)	80 Max (rated current, 2 phase on)	Rated Current (A)	1
Ambient Temperature (°C)	-20~+50	Resistance Per Phase ($\pm 10\% \Omega$)	7.4 (25°C)
Number of Phase	2	Inductance Per Phase ($\pm 20\% mH$)	10
Insulation Resistance (M Ω)	100 Min (500VDC)	Holding Torque (N.cm)	90
Insulation Class	Class B		
Max. radial force (N)	28 (20mm from the flange)		
Max. axial force (N)	10		

● Wiring Diagram :

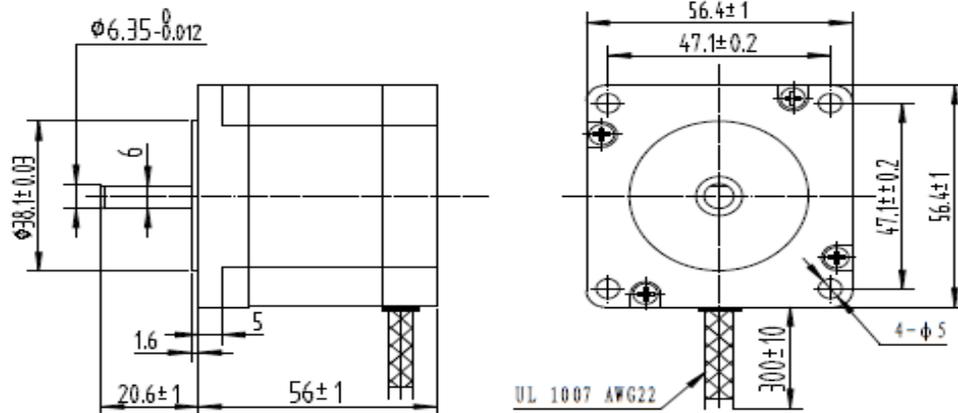


● Pull out torque curve :

VOLTAGE: 10VAC, CONSTANT CURRENT: 1A, HALF STEP



● Dimensions:
(unit=mm)



REV	REVISIONS	DESCRIPTION	BY	DATE	SY57STH56-1006A	TECHNICAL CONDITIONS
DRAW	2013/06/12				CHANGZHOU SONGYANG MACHINERY & ELECTRONICS NEW TECHNIC INSTITUTE	080056087
CHECK						
APPROVE						





Electrical Specifications

*STC : irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, module temperature 25°C

Model type	GP-030P-36
Peak power (Pmax)	30W
Cell Efficiency	17.63%
Maximum power voltage (Vmp)	18.7V
Maximum power current (Imp)	1.61A
Open circuit voltage (Voc)	22.3V
Short circuit current (Isc)	1.71A
Power Tolerance	±3%
Maximum system voltage	600V
Series fuse rating (A)	0
Number of bypass diode	0

Temperature Coefficients

Current Temperature Coefficient α(Isc)	0.08%/°C
Voltage Temperature Coefficient β(Voc)	-0.32%/°C
Power Temperature Coefficient	-0.38%/°C
Nominal Temperature Of Cells(NOTC)	46±2°C
Application Temperature Range	-40~+85°C

Mechanical Characteristics

Dimensions:	670x350x18mm (26.34x13.78x0.71 inch)
Weight:	2.7 kg (5.99 lbs)
Solar Cells:	36 cells in series(2 x 18)
Construction:	High-transmission low-iron tempered glass , EVA, TPT
Frame:	Anodized aluminum is mainly for improving corrosion resistance. Color: silver

Output(Optional)

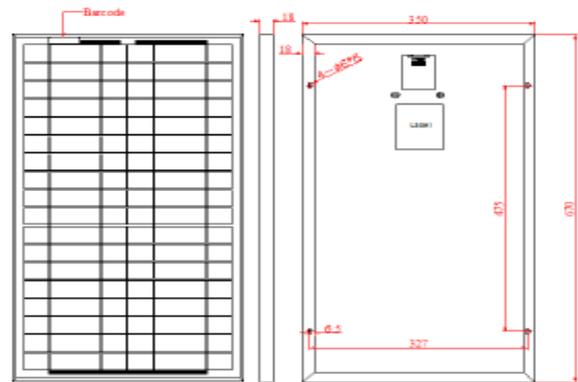
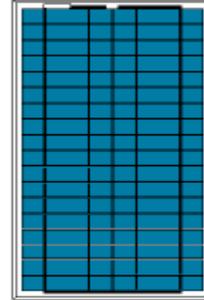
Cable	
Lengths	
Connector	

Module Warranty:

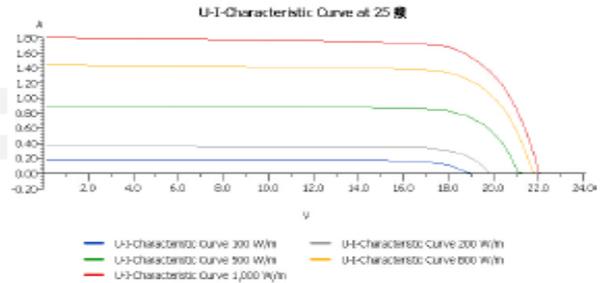
- 25-year limited warranty of 80% power output;
- 10-year limited warranty of 90% power output;
- 5-year limited warranty of materials and workmanship.

Note: This publication summarizes product warranty and Specifications which are subject to change without notice

www.gi-power.com



Module Diagram

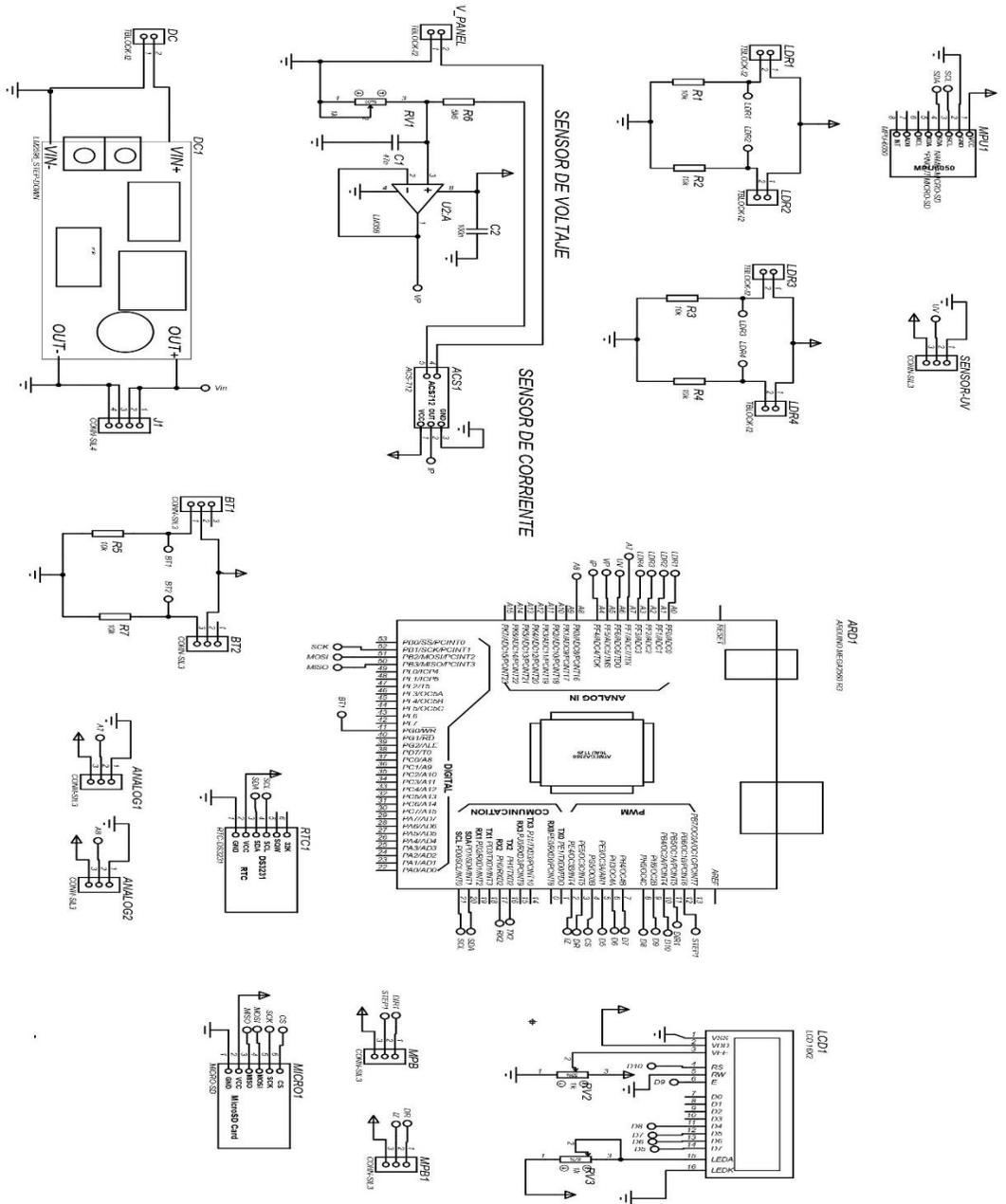


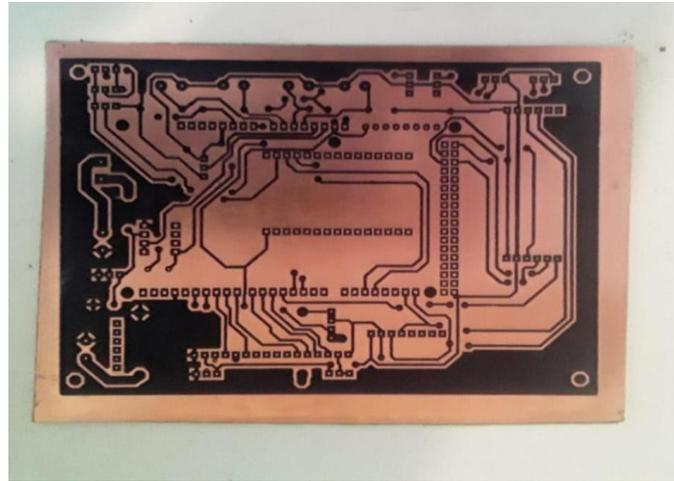
Electrical Performance

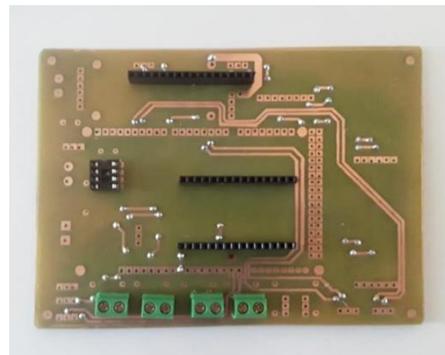
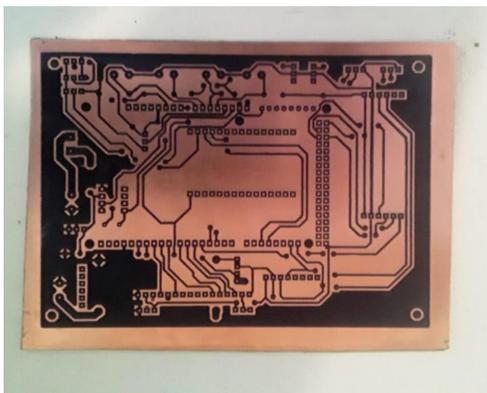
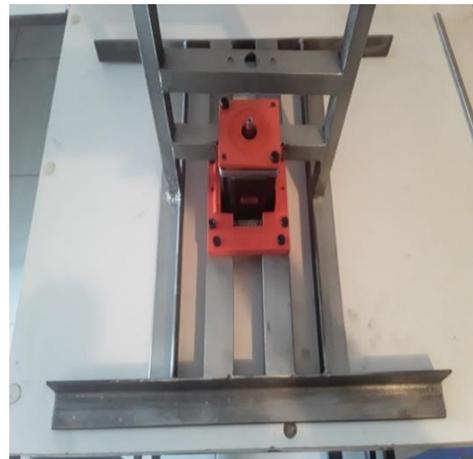


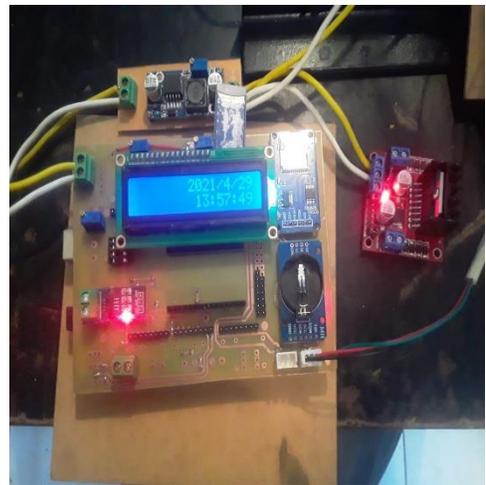
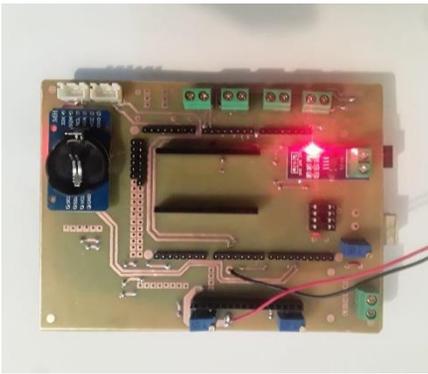
Figura 10: Diseño electrónico en Proteus

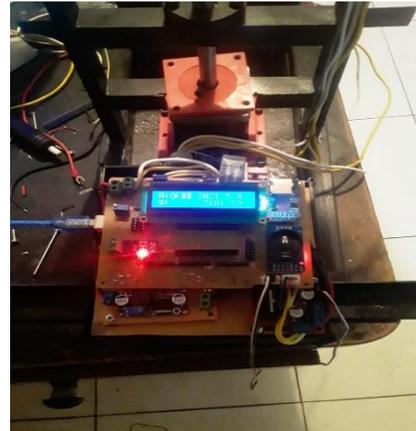
Anexo XV











UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <RTCLib.h>
#include <Wire.h>

const int rs = 6, en = 7, d4 = 8, d5 = 9, d6 = 10, d7 = 11;

LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
RTC_DS1307 RTC;

//Asignacion pulsadores

int s1 = 12;
int s2 = 13;

int fn1; //guardan las lecturas interruptores
int fn2;

//variables de uso

int i = 0;
int j = 0;
int l = 0;
int m = 0;
int n = 1;

//Asignacion actuador lineal

int in1 = 2;
int in2 = 3;

//Asignacion motor a pasos

int paso = 4;
int direccion = 5;

//Asignacion LDRs

int ldrtopl = A0; //top left LDR
int ldrtopr = A1; //top right LDR
int ldrbotl = A2; // bottom left LDR
```

```
int ldrbotr = A3; // bottom right LDR

//Asignacion magnitudes

float voltaje = A4; //lectura voltaje

float corriente = A5; //lectura corriente

int ejex = A8; //pin del acelerometro MPU6050

int ejey = A9; //pin del acelerometro MPU6050

//variables tiempo

int segundos;

int minutos;

int horas;

//Funciones de las horas

int hi = 8; int mi = 0; int si = 0;

int hm = 12; int mm = 30; int sm = 0;

int hf = 19; int mf = 0; int sf = 0;

void setup ()

{

  lcd.begin(16, 2);

  Wire.begin(); //inicia el puerto I2C

  RTC.begin(); //iniciamos la comunicacion con el RTC

  RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__)); //establece la fecha y hora , en la vida real solo se carga
una vez

  Serial.begin(9600);

  pinMode(s1,INPUT);

  pinMode(s2,INPUT);

  pinMode(in1,OUTPUT);

  pinMode(in2,OUTPUT);

  pinMode(paso,OUTPUT);
```

```
pinMode(direccion,OUTPUT);

delay(500);

lcd.setCursor(7,0);

lcd.print("UTC");

lcd.setCursor(1,1);

lcd.print("ELECTROMECHANICA");

    delay(500);

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("      ");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("      ");

    delay(500);

lcd.setCursor(2,0);

lcd.print("SELECCIONE");

lcd.setCursor(4,1);

lcd.print("FUNCION");

    delay(500);

}

void loop()

{

    DateTime now = RTC.now(); //obtiene la fecha y hora del rtc

    fn1 = digitalRead(s1);

    fn2 = digitalRead(s2);

    segundos = now.second();

    minutos = now.minute();

    horas = now.hour();
```

```
if (fn1 == LOW and fn2 == HIGH and i == LOW) {  
  Serial.print("funcion seguidor");  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print("      ");  
  lcd.setCursor(0,1);  
  lcd.print("      ");  
  delay(500);  
  lcd.setCursor(4,0);  
  lcd.print("FUNCION");  
  lcd.setCursor(5,1);  
  lcd.print("SEGUIDOR");  
  delay(1000);  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print("      ");  
  lcd.setCursor(0,1);  
  lcd.print("      ");  
  delay(500);  
  i = 1;  
  j = 0;  
}  
if (fn2 == LOW and fn1 == HIGH and j == LOW) {  
  Serial.print("funcion horas");  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print("      ");  
  lcd.setCursor(0,1);  
  lcd.print("      ");  
  delay(500);  
  lcd.setCursor(4,0);
```

```

lcd.print("FUNCION");

lcd.setCursor(4,1);

lcd.print("HORARIA");

    delay(1000);

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("      ");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("      ");

    delay(500);

i = 0;

j = 1;

}

if (i == HIGH)

{

    //capturando valores analogicos de cada LDR

    int topl = analogRead(ldrtopl);

    int topr = analogRead(ldrtopr);

    int botl = analogRead(ldrbotl);

    int botr = analogRead(ldrbotr);

    float vol = analogRead(voltaje);

    float corr = analogRead(corriente);

    int ex = analogRead(ejex);

    int ey = analogRead(ejey);

    // calculando el Promedio

    int avgtop = (topl + topr) / 2; //Promedio del top LDRs

    int avgbot = (botl + botr) / 2; //Promedio del bottom LDRs

    int avgleft = (topl + botl) / 2; //Promedio del left LDRs

```

```
int avgright = (topr + botr) / 2; //Promedio del right LDRs
```

```
vol = (vol*24)/1000;
```

```
corr = (corr*5.00)/1023;
```

```
ex = map(ex, 0, 1023, 60, 0);
```

```
ey = map(ey, 0, 1023, 0, 180); //mapeo de los ejes
```

```
Serial.print(avgtop);
```

```
Serial.print("/");
```

```
Serial.print(avgbot);
```

```
Serial.print("/");
```

```
Serial.print(avgleft);
```

```
Serial.print("/");
```

```
Serial.print(avgright);
```

```
Serial.print("/");
```

```
Serial.print(vol);
```

```
Serial.print("..");
```

```
Serial.print(corr);
```

```
Serial.print("..");
```

```
Serial.print(ex);
```

```
Serial.print("..");
```

```
Serial.print(ey);
```

```
Serial.println("..");
```

```
lcd.setCursor(0,0);
```

```
lcd.print("V:");
```

```
lcd.print(vol);
```

```
lcd.setCursor(8,0);  
lcd.print("C:");  
lcd.print(corr);  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("ejex:");  
lcd.print(ex);  
lcd.setCursor(8,1);  
lcd.print("ejey:");  
lcd.print(ey);  
    delay(100);  
  
if (avgtop < avgbot)  
{  
    digitalWrite(in1, HIGH);  
    digitalWrite(in2, LOW);  
    delay(10);  
}  
else if (avgbot < avgtop)  
{  
    digitalWrite(in1, LOW);  
    digitalWrite(in2, HIGH);  
    delay(10);  
}  
else  
{  
    digitalWrite(in1, LOW);  
    digitalWrite(in2, LOW);  
    delay(10);  
}
```

```
if (avgleft > avgright)
{
    digitalWrite(direccion, HIGH);
    for(int k = 0 ; k < 200; k++){
        digitalWrite(paso, HIGH);
        delay(10);
        digitalWrite(paso, LOW);
        delay(10);
    }
}
else if (avgright > avgleft)
{
    digitalWrite(direccion, LOW);
    for(int k = 0 ; k < 200; k++){
        digitalWrite(paso, HIGH);
        delay(10);
        digitalWrite(paso, LOW);
        delay(10);
    }
}
else
{
    digitalWrite(direccion, LOW);
    digitalWrite(paso, LOW);
}
delay(50);
}
```

```

if (j == HIGH and hi < horas and mi < minutos and si < segundos) //para proteus eliminar n==low
{
  Serial.print(now.year(),DEC); //año
  Serial.print('/');
  Serial.print(now.month(),DEC); //año
  Serial.print('/');
  Serial.print(now.day(),DEC); //año
  Serial.print(' ');
  Serial.print(now.hour(),DEC); //año
  Serial.print(':');
  Serial.print(now.minute(),DEC); //año
  Serial.print(':');
  Serial.print(now.second(),DEC); //año
  Serial.println("***");

  //capturando valores analogicos de cada LDR
  int topl = analogRead(ldrtopl);
  int topr = analogRead(ldrtopr);
  int botl = analogRead(ldrbotl);
  int botr = analogRead(ldrbotr);
  float vol = analogRead(voltaje);
  float corr = analogRead(corriente);
  int ex = analogRead(ejex);
  int ey = analogRead(ejey);

  // calculando el Promedio
  int avgtop = (topl + topr) / 2; //Promedio del top LDRs
  int avgbot = (botl + botr) / 2; //Promedio del bottom LDRs
  int avgleft = (topl + botl) / 2; //Promedio del left LDRs

```

```
int avgright = (topr + botr) / 2; //Promedio del right LDRs
```

```
vol = (vol*24)/1000;
```

```
corr = (corr*5.00)/1023;
```

```
ex = map(ex, 0, 1023, 60, 0);
```

```
ey = map(ey, 0, 1023, 0, 180);
```

```
Serial.print(avgtop);
```

```
Serial.print("/");
```

```
Serial.print(avgbot);
```

```
Serial.print("/");
```

```
Serial.print(avgleft);
```

```
Serial.print("/");
```

```
Serial.print(avgright);
```

```
Serial.print("/");
```

```
Serial.print(vol);
```

```
Serial.print("..");
```

```
Serial.print(corr);
```

```
Serial.print("..");
```

```
Serial.print(ex);
```

```
Serial.print("..");
```

```
Serial.print(ey);
```

```
Serial.println("..");
```

```
lcd.setCursor(0,0);
```

```
lcd.print("V:");
```

```
lcd.print(vol);
```

```
lcd.setCursor(8,0);
```

```
lcd.print("C:");  
lcd.print(corr);  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("ejex:");  
lcd.print(ex);  
lcd.setCursor(8,1);  
lcd.print("ejey:");  
lcd.print(ey);  
  delay(100);  
  
if (avgtop < avgbot)  
{  
  digitalWrite(in1, HIGH);  
  digitalWrite(in2, LOW);  
  delay(10);  
}  
else if (avgbot < avgtop)  
{  
  digitalWrite(in1, LOW);  
  digitalWrite(in2, HIGH);  
  delay(10);  
}  
else  
{  
  digitalWrite(in1, LOW);  
  digitalWrite(in2, LOW);  
  delay(10);  
}
```

```
l = 1;
}

if (l == HIGH and hm == horas and mm == minutos and sm == segundos)
{
  Serial.print(now.year(),DEC); //año
  Serial.print('/');
  Serial.print(now.month(),DEC); //año
  Serial.print('/');
  Serial.print(now.day(),DEC); //año
  Serial.print(' ');
  Serial.print(now.hour(),DEC); //año
  Serial.print(':');
  Serial.print(now.minute(),DEC); //año
  Serial.print(':');
  Serial.print(now.second(),DEC); //año
  Serial.println();

  digitalWrite(direccion, HIGH);
  for(int k = 0 ; k < 200; k++){
    digitalWrite(paso, HIGH);
    delay(10);
    digitalWrite(paso, LOW);
    delay(10);
  }
  m = 1;
  n = 0;

}
```

```
if (m == HIGH and hf == horas and mf == minutos and sf == segundos)
{
  Serial.print(now.year(),DEC); //año
  Serial.print('/');
  Serial.print(now.month(),DEC); //año
  Serial.print('/');
  Serial.print(now.day(),DEC); //año
  Serial.print(' ');
  Serial.print(now.hour(),DEC); //año
  Serial.print(':');
  Serial.print(now.minute(),DEC); //año
  Serial.print(':');
  Serial.print(now.second(),DEC); //año
  Serial.println();
  digitalWrite(direccion, LOW);
  for(int k = 0 ; k < 200; k++){
    digitalWrite(paso, HIGH);
    delay(10);
    digitalWrite(paso, LOW);
    delay(10);
  }
  l = 0;
  m = 0;
  n = 1;
}
delay(1000);
}
```

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ANEXO: Datos Promedios y Cálculos del ángulo de incidencia

TÍTULO:

Diseño de un módulo seguidor fotovoltaico para determinar ángulos incidentes de radiación en la generación de energía eléctrica.

AUTORES:

Canchala Tipanluisa Jefferson Fabian

Chasi Toapanta Moisés Isaías

Datos del 13 de junio del 2021

HORA (24h)	RADIACION (Wh/m²)	GIRO (°)	INCLINACION (°)	Angulo de incidencia Solar (°)
7	4,65	-3,08	0,00	76,71
8	7,65	-16,90	0,00	65,49
9	12,12	-33,68	0,00	52,26
10	9,76	-50,73	0,00	40,45
11	7,20	-47,07	0,00	31,43
16	5,30	51,87	0,00	60,99
17	3,29	45,84	0,00	73,05
18	1,05	32,81	0,00	84,75
PROMEDIO	6,97	-4,84	0,00	59,65

Datos del 14 de junio del 2021

HORA (24h)	RADIACION (Wh/m²)	GIRO (°)	INCLINACION (°)	Angulo de incidencia Solar (°)
8	13,63	-5,49	0,00	63,78
9	20,44	-17,59	0,00	52,19
10	22,20	-33,07	0,00	40,34
11	30,80	-48,44	0,00	29,90
12	29,88	-64,02	0,00	24,24
13	23,03	-74,71	0,00	26,55
14	21,74	-94,63	0,00	35,25
15	17,88	-91,05	0,00	46,85
16	14,61	-59,46	0,00	59,53
17	9,12	-70,61	0,03	71,32
PROMEDIO	21,17	-57,41	0,00	42,92

Datos del 15 de junio del 2021

HORA (24h)	RADIACION (Wh/m²)	GIRO (°)	INCLINACION (°)	Angulo de incidencia Solar (°)
7	5,40	-3,24	49,00	78,84
8	7,63	-12,79	39,10	64,28
9	12,28	-28,02	29,07	46,61
10	24,37	-43,43	19,02	33,83
11	22,20	-58,64	9,00	26,77
12	19,15	-74,36	2,00	24,27
13	31,82	-85,00	8,97	31,24
14	29,81	-105,19	18,86	49,75
15	9,39	-56,64	28,95	68,94
16	2,74	-70,12	38,97	93,28
PROMEDIO	17,36	-57,70	22,34	49,63

Datos del 16 de junio del 2021

HORA (24h)	RADIACION (Wh/m²)	GIRO (°)	INCLINACION (°)	Angulo de incidencia Solar (°)
7	3,99	-5,61	49,00	78,01
8	9,10	-17,86	39,02	61,48
9	18,56	-33,32	29,02	44,50
10	23,79	-48,57	19,00	32,78
11	29,24	-64,02	9,00	26,58
12	28,25	-79,39	2,00	24,36
13	17,39	-94,88	8,98	31,35
14	10,88	-90,20	18,92	49,04
15	5,82	-59,73	28,97	69,78
16	3,79	-76,57	38,95	94,12
PROMEDIO	15,54	-59,09	23,26	50,07

Datos del 17 de junio del 2021

HORA (24h)	RADIACION (Wh/m²)	GIRO (°)	INCLINACION (°)	Angulo de incidencia Solar (°)
7	4,99	5,00	48,96	86,11
8	9,05	5,00	39,12	74,09
9	9,96	5,00	29,07	59,83
10	16,07	5,00	19,07	45,38
11	20,74	5,00	9,05	31,66
12	17,18	5,00	2,03	24,03
13	9,90	5,00	8,92	27,31
14	6,94	5,00	18,76	38,17
15	5,36	5,00	28,92	51,36
16	3,72	5,00	38,92	64,25
17	2,06	5,00	39,00	74,02
18	1,11	5,00	38,09	84,22
PROMEDIO	8,99	5,00	26,47	54,69



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ANEXO I: PLANOS MECÁNICOS DEL SEGUIDOR SOLAR

TÍTULO:

Diseño de un módulo seguidor fotovoltaico para determinar ángulos incidentes de radiación en la generación de energía eléctrica.

AUTORES:

Canchala Tipanluisa Jefferson Fabian

Chasi Toapanta Moisés Isaías

