



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 560 W”

Propuesta tecnológica presentada previo a la obtención del Título de Ingenieros Electromecánicos.

Autores:

Vaca Padilla Gustavo Patricio

Vega Toaquiza José Sebastián

Tutor Académico:

Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina M.Sc.

Latacunga - Ecuador

Agosto - 2021



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Vaca Padilla Gustavo Patricio y Vega Toaquiza José Sebastián en calidad de estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 560 W”**, siendo el Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina M.Sc.; tutor del presente trabajo y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, agosto 2021

Vaca Padilla Gustavo Patricio

C.C. 171424467-8

Vega Toaquiza José Sebastián

C.C. 050409076-2



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo Tecnológico sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 560 W”, de Vaca Padilla Gustavo Patricio y Vega Toaquiza José Sebastián, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho documento cumple con los requerimientos metodológicos y aportes Científicos-Técnicos suficientes para ser sometidos a evaluación del Tribunal de Validación del proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto 2021

Tutor Académico

Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina M.Sc.

CC: 050284769-2



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad del Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe Tecnológico de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, los postulantes: Vaca Padilla Gustavo Patricio y Vega Toaquiza José Sebastián, con el Título de Proyecto de Titulación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 560W”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al acto de Sustentación del Proyecto.

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

Latacunga, agosto del 2021

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Ing. Luis Rolando Cruz Panchis M.Sc.

CC: 050259517-6

Lector 2

PhD. Enrique Torres Tamayo

CC: 175712194-0

Lector 3

Ing. Verónica Paulina Freire Andrade M.Sc.

CC:050205622-9



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Con el presente documento , se pone en constancia que los estudiantes; Vaca Padilla Gustavo Patricio y Vega Toaquiza José Sebastián, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, han desarrollado el proyecto tecnológico **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 560 W”** y realizaron la entrega del módulo para laboratorio de energías renovables cumpliendo así los objetivos propuestos al inicio del desarrollo del proyecto.

Sin otro particular autorizo para que usen el presente documento para cualquier fin legal pertinente de la Universidad.

Latacunga, agosto 2021

**DIRECTOR DE LA CARRERA
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina M.Sc.

C.C: 050284769-2

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida, a mi querida esposa Anita por el apoyo incondicional en estos años de esfuerzo, a mi querida Universidad Técnica de Cotopaxi por brindarme la oportunidad de haber sido parte de este sueño que se ha plasmado en realidad y hoy culmino mi carrera la cual siempre añore día tras día; también hago llegar mi agradecimiento efusivo a cada uno de mis maestros quienes compartieron sus conocimientos en este proceso y etapa de mi vida estudiantil, guiándome con principios y valores con el fin de ser un profesional capaz, transparente y humanitario con la sociedad, enseñanzas que siempre las llevare presente, a mis compañeros por ese apoyo incondicional en cada reto presentado, y a todas las personas que son parte de mi diario vivir y han estado apoyándome para cumplir con en el presente trabajo investigativo.

Gustavo Patricio Vaca Padilla

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a mis padres y hermanas por ser el principal motor que me empuja a seguir adelante inspirado y con ganas de romper obstáculos en el camino.

Segundo lugar a Dios, ya que sin la fuerza espiritual que me dio esto no hubiese sido posible.

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente con unas gratas experiencias, por permitirme conocer nuevas personas y amigos, como lo son Ingenieros Luigi Freire, Paúl Corrales, Jefferson Porras Wilson Guambo, Josue Landeta, Johana Chávez y Gustavo Vaca compañero de Tesis. Gracias a cada docente que hizo parte de este proceso de formación.

Quiero agradecer al Ingeniero Cristian Gallardo que me brindo sus consejos y las pautas para poder finalizar mi proceso profesional.

José Sebastián Vega Toaquiza

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico en primer lugar a mi madre por darme la vida y por ser un ejemplo de sacrificio esfuerzo y perseverancia; a mi amada esposa por estar siempre a mi lado siendo esa fortaleza y espejo a seguir y que un hombre necesita para llegar lejos, a mis hijos por ser esa fuerza de voluntad y superación a quienes pido perdón por quitarles parte de su tiempo mientras buscaba este objetivo, también agradezco a la vida por poner en mi camino un ángel que día a día está pendiente de que no nos falte un plato de comida en la mesa y echa sus bendiciones sobre mi familia para que nos vaya bien en nuestro diario vivir.

Gustavo Patricio Vaca Padilla

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada principalmente a mi familia, especialmente a mi madre Juliana Toaquiza que me brindo apoyo moral y económico cuando más lo necesite, también a mis hermanas que siempre estuvieron para darme esa mano para terminar mis estudios universitarios.

También a Dios ya que gracias a la fuerza y salud que me brindo cada día, he logrado permanecer junto a mi familia.

José Sebastián Vega Toaquiza

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN.....	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	IV
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	V
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA	VIII
RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT	XVIII
AVAL DE TRADUCCIÓN	XIX
1. INFORMACIÓN GENERAL	20
2. INTRODUCCIÓN.....	22
2.1. El Problema.....	22
2.1.1. Situación problemática.....	22
2.1.2. Formulación del problema:	23
2.2. Objetivo y campo de acción.....	23
2.2.1. Objeto de estudio.....	23
2.2.2. Campo de acción	23
2.3. Beneficiarios	23
2.3.1. Directos.	23
2.3.2. Indirectos.....	23
2.4. Justificación.....	24
2.5. Hipótesis.....	24
2.6. Objetivos	24
2.6.1. Objetivo general	24
2.6.2. Objetivos específicos.....	25
2.7. Sistema de tareas	25
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	26
3.1. Antecedentes de investigación	26
3.2. Energías Renovables	27
3.3. Energía Solar.....	27
3.3.1. Energía Solar Fotovoltaica	27
3.3.2. Efecto fotovoltaico	28
3.3.3. Paneles fotovoltaicos.....	28
3.4. Análisis solar del ecuador	29

3.4.1.	Descripción del recurso solar en el ecuador	29
3.4.2.	Trayectoria solar.....	30
3.4.3.	Coordenadas solares	32
3.5.	Radiación solar	33
3.6.	Seguidores Solares	34
3.6.1.	Tipos de seguidores	35
3.7.	Factores que afecta al sistema fotovoltaico	36
3.8.	Grado de Libertad.....	37
3.9.	Mecanismo y Movimientos	37
3.9.1.	Transmisión por engranaje	37
3.9.2.	Transmisión por cadena	38
3.10.	Motorreductor.....	39
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
4.1.	Metodología	40
4.1.1.	Tipos de investigación.....	40
4.2.	Métodos.....	40
4.2.1.	Método deductivo.....	41
4.2.2.	Método científico	41
4.2.3.	Método estadístico.....	41
4.3.	Declaraciones de variables	41
4.3.1.	Operacionalización de las variables	41
4.3.2.	Métodos, técnicas e instrumentos.....	42
4.4.	Análisis de orientación e inclinación.....	43
4.4.1.	Grados de libertad	45
4.5.	Diseño conceptual de la estructura mecánica.....	47
4.5.1.	Diseño del mecanismo de movimiento en dos ejes	48
4.5.2.	Análisis estático de ejes y estructura	48
4.5.3.	Selección de materiales.	49
4.5.4.	Cálculo para eje longitud.....	49
4.5.5.	Tensión de Von Mises.....	52
4.5.6.	Deformación unitaria.....	53
4.5.7.	Deformación unitaria del soporte de la estructura base.....	54
4.5.8.	Cálculo para la selección del motor	55
4.5.9.	Análisis para la selección del actuador lineal.....	56
4.6.	Diseño de un sistema de control.....	58
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.	60
5.1.	Construcción de la estructura base	60

5.2.	Construcción de soportes para paneles solares.....	61
5.3.	Construcción del eje principal.....	61
5.4.	Construcción de la canasta	63
5.5.	Construcción de acople mecánico	63
5.6.	Acople mecánico de actuadores	64
5.7.	Conexión eléctrica de actuadores y tablero de control.....	66
5.8.	Instalación y orientación del seguidor solar	66
5.9.	Presupuesto y análisis de impacto	68
5.9.1.	Presupuesto.....	68
5.9.2.	Gasto directo totales	69
5.9.3.	Gastos indirectos	69
5.10.	Análisis de impactos:	70
5.10.1.	Impacto práctico.....	70
5.10.2.	Impacto tecnológico	70
5.10.3.	Impacto ambiental	70
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
6.1.	Conclusiones	70
6.2.	Recomendaciones.....	71
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	72
8.	ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1 Clasificación de la energía renovable.....	27
Figura 3. 2 Carga de una célula fotovoltaica	28
Figura 3. 3 Panel monocristalino y policristalino.....	29
Figura 3. 4 Radiación solar global horizontal del ARCONEL	29
Figura 3. 5 Movimiento de Rotación de la Tierra	30
Figura 3. 6 Movimiento de traslación de la Tierra	31
Figura 3. 7 Ubicación de un punto en la Tierra	31
Figura 3. 8 Ubicación del sol	32
Figura 3. 9 Ángulos y coordenadas solar	33
Figura 3. 10 Espectro electromagnético de la radiación solar	34
Figura 3. 11 Trayectoria de los rayos solares	34
Figura 3. 12 Clasificación de los tipos de seguidores de un solo eje	35
Figura 3. 13 Clasificación de seguidores de dos ejes	35
Figura 3. 14 Perfil de obstáculos	37
Figura 3. 16 Transmisiones reductoras y multiplicadoras	38
Figura 3. 17 Relación de transmisión	38
Figura 4. 1 Metodología y fases para la implementación del seguidor solar de dos ejes.....	42

Figura 4. 2 Ubicación geográfica	43
Figura 4. 3 Análisis solar anual.....	44
Figura 4. 4 Irradiación global diaria sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi	44
Figura 4. 5 Altitud de sistema diario.....	45
Figura 4. 6 Grado de libertad	45
Figura 4. 7 Direcciones de giros de grados	46
Figura 4. 8 Orientación y sentido de giro.....	47
Figura 4. 9 Diseño conceptual de la estructura de dos ejes	48
Figura 4. 10 Mecanismo de giro de dos ejes	48
Figura 4. 11 Viga	50
Figura 4. 12 Diagrama de esfuerzo cortante y flector	52
Figura 4. 13 Tensión de Von Mises	52
Figura 4. 14 Deformación unitaria del elemento	53
Figura 4. 16 Análisis estructura de la base	54
Figura 4. 17 Deformación unitaria de la estructura base	54
Figura 4. 18 Diagrama eléctrico	59

Figura 5. 1 Estructura base	60
Figura 5. 2 Soporte de panel.....	61
Figura 5. 3 Eje principal.....	62
Figura 5. 4 Deformación elástica del eje principal	62
Figura 5. 5 Canasta	63
Figura 5. 6 Acople mecánico	63
Figura 5. 7 Anclaje de pistón eléctrico	64
Figura 5. 8 Transmisión piñón cadena	65
Figura 5. 9 Caja de control eléctrico	66
Figura 5. 10 Montaje y orientación de seguidor.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4. 1 Variable independiente.....	41
Tabla 4. 2 Variable dependiente	41
Tabla 4. 3 Métodos, Técnicas e Instrumentos	42
Tabla 4. 4 Diámetros del perfil de tubo cuadro	49
Tabla 4. 5 Elementos del actuador lineal	57
Tabla 4. 6 Dato del motor Monofásico marca Weg	57
Tabla 4. 7 Datos de la caja reductora	57
Tabla 5. 1 Materiales del acople mecánico.....	63
Tabla 5. 2 Presupuesto Global del Proyecto	68
Tabla 5. 3 Presupuesto de equipos directos	69
Tabla 5. 4 Gastos indirectos totales	69



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR DE 2 EJES PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 560 W”

Autores:

Vaca Padilla Gustavo Patricio

Vega Toaquiza José Sebastián

RESUMEN

El presente proyecto se enfoca en el diseño y construcción de un seguidor solar de dos ejes el cual permitirá la optimización de captación de energía en un sistema fotovoltaico de 560 W implementado en la Universidad Técnica de Cotopaxi, inicialmente se realizan cálculos sobre parámetros ambientales y físicos del lugar importantes para la selección de los materiales óptimos para la estructura mecánica del sistema de seguimiento solar y su construcción como la parte eléctrica de control. El diseño y la implementación del sistema de seguimiento solar de dos ejes se desarrollan sistemas electromecánicos mediante metodologías evolutivas para comprobar su funcionamiento basados en la radiación solar del lugar de ubicación, se diseña, construye y prueba teniendo en cuenta la información del análisis de radiación se planteó una orientación de movimiento diario y mensual.

Construir el sistema mecánico fue la parte desafiante de este sistema generalmente el motor que se utilizó, permitieron el seguimiento diario (movimiento este -oeste) y el elevador eléctrico realiza un seguimiento estacional (movimiento norte -sur) por lo tanto el motor de seguimiento diario funciona de forma continua y el actuador actúa con movimiento anual funciona solo unas pocas veces durante el año. El sistema fotovoltaico de seguimiento solar de dos ejes puede producir hasta un 30 % más energía eléctrica en un año en comparación con un sistema fotovoltaico de inclinación fija para ser económicamente factible, un seguidor solar también debe ser rentable, durabilidad y confiabilidad a largo plazo a pesar de la ganancia en rendimiento eléctrico.

Palabras claves: Panel Fotovoltaico, mecanismo, ejes, estructura.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: “IMPLEMENTATION OF A TWO-AXIS SOLAR TRACKER FOR A 560 W PHOTOVOLTAIC SYSTEM”.

Authors:

Vaca Padilla Gustavo Patricio

Vega Toaquiza José Sebastián

ABSTRACT

This project focuses on construction design of a two-axis solar tracker which will allow to optimize energy harvesting in a 560 W photovoltaic system implemented at Technical University of Cotopaxi, initially calculations are made on environmental and physical parameters from the site important for selection of optimal materials for mechanical structure of solar tracking system and its construction as the electrical part of control. The design and implementation of the two-axis solar tracking system electromechanical systems are developed using evolutionary methodologies to check their operation based on solar radiation of location site, it is designed, build and test taking into account the information from radiation analysis, a daily and monthly movement orientation was proposed. Building mechanical system was the challenging part of this system generally the motor that was used, allowed daily tracking (east - west movement) and electric elevator performs a seasonal tracking (north - south movement) therefore the daily tracking motor works continuously and the actuator acts with annual movement works only a few times during the year. The two-axis solar tracking PV system can produce up to 30% more electrical power in a year compared to a fixed-tilt PV system to be economically feasible, a solar tracker must be cost effective too, durable and reliable over the long term despite gain in electrical performance.

Keywords: Photovoltaic panel, mechanism, axes, structure.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DE TRADUCCIÓN

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título:

“Implementación de un seguidor solar de 2 ejes para un sistema fotovoltaico de 560 W”

Fecha de inicio:

Abril 2021

Fecha de finalización:

Agosto 2021

Lugar de ejecución:

Región: Zona 3

Provincia: Cotopaxi

Cantón: Latacunga

Lugar: Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicada

Carrera que auspicia:

Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado:

Energías Renovables

Equipo de Trabajo:

Tutor de la propuesta tecnológica, Asesor Técnico

Nombres: Cristian Fabian

Apellidos: Gallardo Molina

Cédula de identidad: 0502847692

Correo electrónico: Cristian.gallardo@utc.edu.ec

Coordinador 1:

Nombres: Gustavo Patricio

Apellidos: Vaca Padilla

Cédula de identidad: 1714244678

Correo electrónico: gustavo.vaca4678@utc.edu.ec

Coordinador 2:

Nombres: José Sebastián
Apellidos: Vega Toaquiza
Cédula de identidad: 0504090762
Correo electrónico: jose.vega0762@utc.edu.ec

Área de Conocimiento: Ciencias Tecnológicas

Tomando como referencia la norma CINE - UNESCO las áreas de conocimiento del proyecto se detallan a continuación:

- 3300. Ciencias tecnológicas
 - 3306. Ingeniería y Tecnología Eléctricas
 - 3306.02 Aplicaciones Eléctricas
 - 3306.03 Motores Eléctricos
 - 3311. Tecnología de la Instrumentación
 - 3311.05 Equipos eléctricos de Control
 - 3311.06 Instrumentos Eléctricos
 - 3322. Tecnología Energética
 - 3322.01 Distribución de la Energía
 - 3322.02 Generación de Energía
 - 3322.03 Generadores de Energía

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera:

Eficiencia energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía

2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el sector de la energía renovable está cobrando mayor importancia debido a los beneficios para la humanidad y su entorno, la principal preocupación es el agotamiento de los recursos no renovables ya que son limitados y su nivel de abundancia ha disminuido en las últimas décadas perjudicando al medio ambiente con el calentamiento global, es por ello que surge la necesidad de producir energía eléctrica de una forma más limpia y eficiente con el ambiente.

Ecuador cuenta en la actualidad con un marco legal capaz de implementar el desarrollo energético sostenible, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol y ésta se transforma en electricidad a través de sistemas fotovoltaicos, para captar la radiación solar que utilizan concentradores solares, pero la potencia y orientación de esta varía el día del año, la hora, las condiciones atmosféricas y la altitud del lugar de posición del concentrado solar [1].

Es por ello que se plantea la implementación de un seguidor solar cuya función es aumentar la producción de energía mediante la utilización de paneles fotovoltaicos y otros dispositivos de concentración como los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que siguen la trayectoria del sol permitiendo la captura máxima de radiación solar durante el día.

2.1.El Problema

2.1.1. Situación problemática

Ecuador debido a su ubicación geográfica posee 12 horas de luz solar constantemente durante el día y 12 horas de sombra en la noche, cumple una trayectoria de 180° durante esas 12 horas, por ello las tecnologías utilizadas en sistemas de captación solar como seguidores fijos, donde su posición estática provoca un desaprovechamiento del recurso energético, hace necesario implementar un seguidor de dos ejes la cual puede ser aplicada a grandes centrales fotovoltaicas [2].

Los sistemas fotovoltaicos convencionales utilizan los paneles solares de forma fija, pero teniendo una rigidez el sistema no presenta su máximo rendimiento de captación solar desperdiciando potencial energético, que según estudios como [3] las pérdidas por sistema

de captación estáticos son de alrededor del 30 % que en sistemas con inversiones elevadas como lo son las centrales fotovoltaicas representada un gran perjuicio económico.

Surge la necesidad de implementar un sistema de seguimiento solar de dos ejes el cual funcione con un mecanismo mecánico y automatizado para el funcionamiento óptimo del sistema fotovoltaico de 560W, que se encuentra ubicado en la Universidad Técnica de Cotopaxi pretendiendo que tenga sus dos grados de libertad siguiendo la trayectoria del sol en la dirección Norte-Sur y el otro en la posición Este-Oeste captando la máxima radiación solar incidente.

2.1.2. Formulación del problema:

La inexistencia de un sistema que permita dar una orientación a una estructura de generación fotovoltaica, impide el aprovechamiento máximo de la radiación solar incidente.

2.2. Objetivo y campo de acción

2.2.1. Objeto de estudio

Mecanismo para la estructura de un seguidor solar de 2 ejes.

2.2.2. Campo de acción

Los sistemas fotovoltaicos y mecanismo de seguimiento solar se encuentran en el campo de las Ciencias Tecnológicas donde sus principales áreas de desarrollo son: Ingeniería y Tecnología Eléctricas / Tecnología Energética.

2.3. Beneficiarios

2.3.1. Directos.

Se considera como beneficiarios directos de este proyecto a los usuarios, es decir:

- ✓ Universidad Técnica de Cotopaxi
- ✓ Estudiantes UTC
- ✓ Docentes UTC

2.3.2. Indirectos

Investigadores a nivel nacional e internacional.

- ✓ Estudiantes de otras universidades a nivel nacional e internacional
- ✓ Público en general

2.4.Justificación

Ecuador tiene un gran potencial para producir energía fotovoltaica por su ubicación geográfica que lo convierte en un país privilegiado en recurso solar, sin embargo, el ángulo de incidencia solar sobre captadores fotovoltaicos suele variar acorde a las estaciones del año además del ciclo diario del día y la noche [4].

Los paneles fotovoltaicos son los encargados en realizar la captación de la radiación solar directa e indirecta para transformar en corriente eléctrica, cuando la radiación solar incide de manera perpendicular sobre la superficie de los paneles fotovoltaicos el potencial de generación es máximo, lo cual solo se consigue con sistemas móviles de seguimiento solar, es decir que a lo largo del día los paneles y los rayos solares se encuentran de forma perpendicular, para lograr el objetivo se han creado los sistemas de posicionamiento solar de dos ejes los cuales tienen como prioridad simular el comportamiento de los girasoles, aprovechando de mejor manera el recurso natural [5].

Al conseguir un mejor índice de eficiencia energética mediante el uso de un seguidor solar de dos ejes, se brinda al sistema una mejor capacidad de generación lo cual se traduce en una mayor rentabilidad del sistema, contribuyendo notablemente en la recuperación del capital invertido, ya que este tipo de sistemas de generación suelen requerir de fuertes sumas de dinero para su construcción.

Con un enfoque adicional la implementación de este seguidor solar de dos ejes conlleva este tipo de proyecto dentro del ámbito de formación académica ya que permitirá a los estudiantes observar el funcionamiento de este tipo de mecanismo no muy convencional en el ámbito social.

2.5.Hipótesis

¿La construcción de un seguidor solar de dos ejes permitirá brindar los grados de libertad necesarios para realizar un posicionamiento acorde a las trayectorias solares existentes en la zona de implementación?

2.6.Objetivos

2.6.1. Objetivo general

Implementar un seguidor solar de 2 ejes para un sistema fotovoltaico de 560 W

2.6.2. Objetivos específicos

- Investigar fuentes bibliográficas e información acerca de los tipos de sistemas mecánicos para el movimiento de paneles fotovoltaicos.
- Diseñar la estructura mecánica y el modelo dinámico del seguidor solar teniendo en cuenta la ubicación y orientación del sol.
- Construir e instalar el sistema de seguimiento fotovoltaico en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.7.Sistema de tareas

Tabla 2.1. Descripción de objetivos y tareas

Objetivos específicos	Actividades	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Investigar fuentes bibliográficas e información acerca de los tipos de sistemas mecánicos para el movimiento de paneles fotovoltaicos.	1.-Recopilación bibliográfica de información acerca de tipos de seguidores solares.	1.-Teórica de funcionamiento de los mecanismos de seguimiento solares.	Artículos científicos, Tesis, Documentos, web, Libros y Biblioteca.
	2.-Revisión documental acerca del potencial energético.	2.-Estadísticas del potencial energético en el Ecuador.	
Diseñar la estructura mecánica y el modelo dinámico del seguidor solar teniendo en cuenta la ubicación y orientación del sol.	1.-Diseño de la estructura mediante un programa de dibujo asistido por computadora.	1.-Modelo y análisis estructural del mecanismo a implementar.	PC, Software AutoCAD, SolidWorks.
	2.-Dimensionamiento elementos electromecánicos del mecanismo de movimiento.	2.-Elementos adecuados para el sistema mecánico y eléctrico.	
Construir e instalar el sistema de seguimiento fotovoltaico en la Universidad Técnica de Cotopaxi.	1.-Cotización de materiales y equipos.	1.-Adquisición de materiales y equipos para la Construcción.	Informe final
	2.-Construcción de la estructura y mecanismo móvil.	2.-Mecanismo de seguimiento solar de 2 ejes.	

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. Antecedentes de investigación

Hoy en día, el uso de los paneles solares ya no es extraño, siendo una de las energías renovables más utilizadas, el uso de la energía solar no es algo nuevo, ya que los griegos, por ejemplo, diseñaron sus casas para aprovechar del sol forma pasiva, los romanos fueron los primeros en usar el vidrio en sus ventanas para iluminar sus hogares, el desarrollo de la tecnología ha permitido la creación de seguidores solares fotovoltaicos aprovechando la radiación solar.

Según Denis Javier Arrieta Morelo y Sara Yaneth Puello Bravo en su proyecto titulado “Diseño y Construcción de un seguidor solar para aumentar el rendimiento energético en paneles fotovoltaicos de un sistema de bombeo”, comenta que el elemento que soporta el mayor esfuerzo es la inclinación cuando el panel está totalmente inclinado en azimut y en latitud [3].

Por otra parte Gaete Hidalgo Adolfo Alonso en su proyecto titulado “Diseño de seguidor solar fotovoltaico de dos ejes de bajo costo”, manifiesta que este tipo de dispositivo en el territorio nacional es considerado como las distintas variables que ofrece el mercado en cuanto a los grados de libertad, tipos de células fotovoltaicas que puede transportar y los sistemas de monitoreo solar con el fin de verificar la utilidad que la tecnología puede aportar al desarrollo de la generación de energía a escala nacional [6].

Por último, José Reyes Amil en su proyecto de titulación “Diseño de un seguidor solar para cubierta a dos ejes y modular”, ha comprobado que el seguidor se ha diseñado de la manera que se pueda asociar con otro seguidor esto habría logrado modificar la longitud de la cadena de transmisión y colocar un motorreductor que se encargue del movimiento ascendiente y descendiente del nuevo seguidor aumentando de esta manera la productividad y un bajo costo el precio por kWh producido [7].

3.2. Energías Renovables

Se las denomina energías renovables la energía que se obtiene de fuentes naturales inagotables, esto se debe a la inmensa cantidad de energía que contienen o porque son capaces de regenerarse por medios naturales [8].

El principal beneficio de las energías renovables es su bajo impacto que tiene sobre el medio ambiente a diferencia de las energías no renovables como los combustibles fósiles, que son de uso limitado una vez consumido se agotan y no se regeneran como se muestra en la figura 3.1.

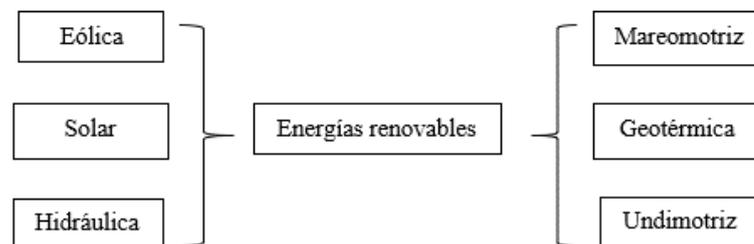


Figura 3. 1 Clasificación de la energía renovable

3.3. Energía Solar

La energía solar es la energía contenida de la radiación, que es la que se transforma en energía eléctrica o térmica dependiendo de las necesidades, mediante paneles solares o colectores solares respectivamente, hay que tomar en cuenta que la energía solar es la fuente de energía que más se ha desarrollado en los últimos años y que más expectativa tiene para el futuro [9].

3.3.1. Energía Solar Fotovoltaica

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad, esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos, en los paneles fotovoltaicos la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial [10].

Las instalaciones fotovoltaicas se caracterizan por:

- Simplicidad y fácil instalación
- Ser modulares.
- Vida útil superior a los 30 años.
- No produce ningún tipo de contaminación.
- Tienen un funcionamiento silencioso.

3.3.2. Efecto fotovoltaico

Permite convertir la energía luminosa que transporta los fotones de luz en energía eléctrica capaz de impulsar los electrones despididos del material semiconductor a través de un circuito externo, la luz del sol está compuesta por fotones o partículas energéticas [11]. Con esta nueva energía el electrón es capaz de escapar de una posición normal asociado con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico como se observa en la figura 3.2

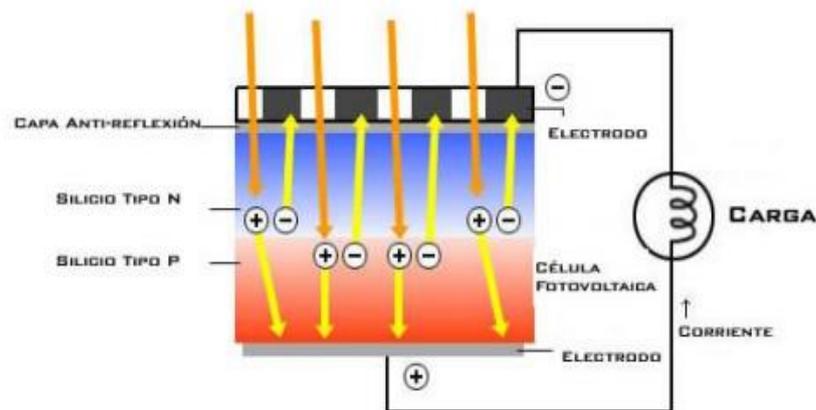


Figura 3. 2 Carga de una célula fotovoltaica [12]

Las ventajas que brinda el uso de energía solar fotovoltaica se enlistan a continuación:

- ✓ Son sistemas sencillos y fáciles de instalar con una elevada versatilidad, pueden situarse en casi cualquier lugar y en instalaciones de diferente tamaño.
- ✓ Se puede aumentar o reducir la potencia instalada fácilmente según las necesidades y a la vez instalada tiene un coste energético nulo.
- ✓ Mantenimiento y riesgo de avería muy bajo se trata de una tecnología en rápido desarrollo que tiende a reducir el coste y aumentar el rendimiento.

3.3.3. Paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos están constituidos por células fotovoltaicas construidas con cristales de silicio diferenciados en tres clases con una eficiencia o rendimiento las cuales son las siguientes [13]:

- Panel de silicio monocristalino su eficiencia de 12 - 16 %
- Panel de silicio policristalino su eficiencia de 10 – 12%
- Panel de silicio amorfo su eficiencia entre 6 – 8%



Figura 3. 3 Panel monocristalino y policristalino [13]

3.4. Análisis solar del ecuador

Los niveles de radiación solar en el Ecuador son suficientemente altos para implementaciones de tecnología solares térmicas y fotovoltaicas, el mapa de irradiación global horizontal anual tiene un 75% en el territorio ecuatoriano especialmente en las provincias de la sierra [14].

3.4.1. Descripción del recurso solar en el ecuador

Los niveles de radiación solar en Ecuador son suficientemente altos para amplios proyectos tecnológicos solares térmicos y fotovoltaicos, una vez conocida la precisión de las estimaciones satelitales, se usaron estas para actualizar el mapa solar del Ecuador como se observa en la figura 3.4, debió a la situación geográfica, el recurso solar es casi constante a lo largo del año esto puede representar una ventaja al evitar grandes acumulaciones de energía o equipos auxiliares sobredimensionados para cubrir la variabilidad anual del recurso [15].

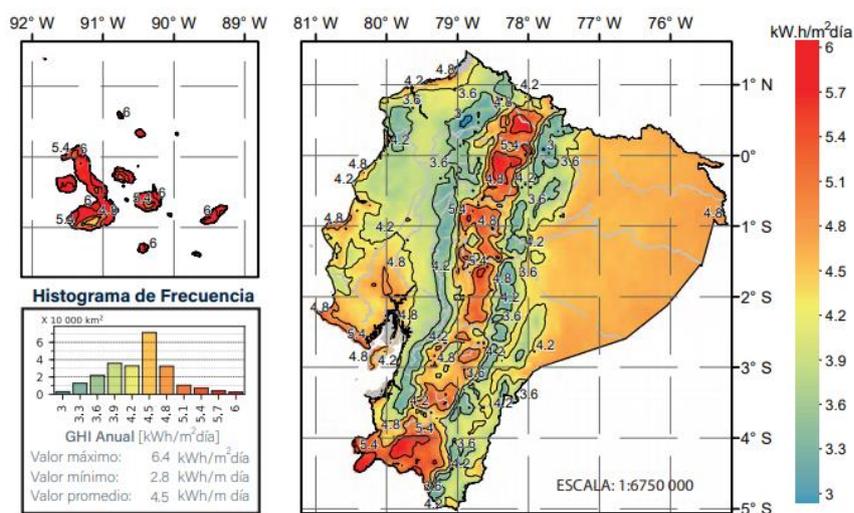


Figura 3. 4 Radiación solar global horizontal del ARCONEL [15]

3.4.2. Trayectoria solar

La tierra realiza dos movimientos que incide de forma directa en el posicionamiento de un punto en su superficie con respecto al sol, el movimiento que más afecta esta posición es de rotación, este movimiento realiza la tierra sobre su propio eje en un tiempo de 24 horas con la compensación del año bisiesto, debido a este movimiento se produce el día y la noche que se encuentra iluminado y la otra en la oscuridad [16].

El intervalo de tiempo del día y la noche es dependiendo de la localización geográfica del punto considerado solo en la línea del Ecuador los días y las noches duran 12 horas a lo largo de todo el año como se muestra en la figura 3.5 genera que el sol tenga una trayectoria circular en el espacio durante el periodo del día.

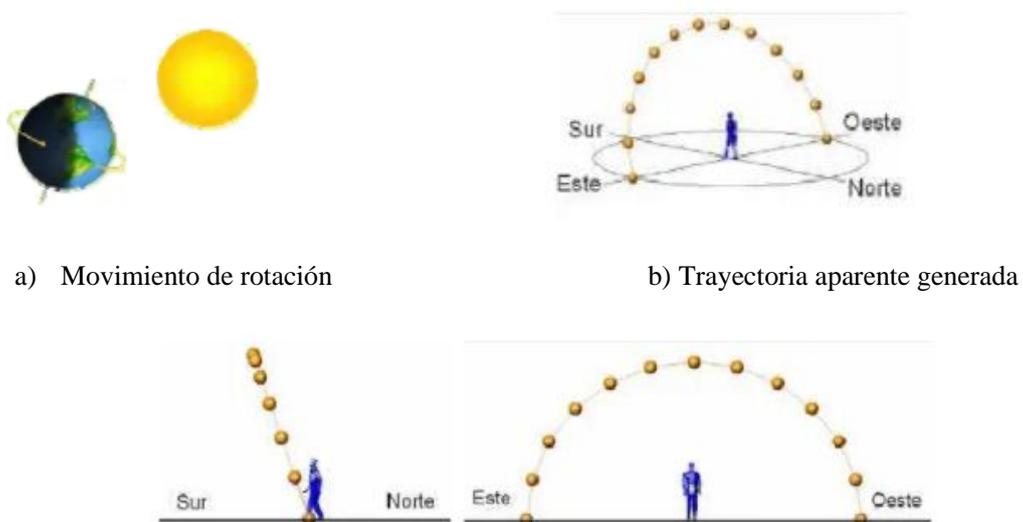


Figura 3. 5 Movimiento de Rotación de la Tierra [16]

El segundo desplazamiento de la tierra es de traslación que hace referencia al desplazamiento de la Tierra en torno al Sol esta trayectoria elíptica de la Tierra en torno al sol tiene un ángulo con relación a la horizontal del Ecuador solar de 23° como se observa en la figura 3.6.

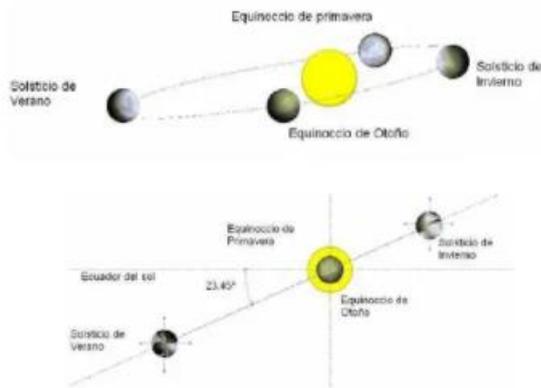


Figura 3. 6 Movimiento de traslación de la Tierra [16]

Este movimiento de traslación genera que la trayectoria aparente del sol ocasionada por el movimiento de rotación, presenta una variación a lo largo del año como se muestra en la Figura 3.6 esto quiere decir que la trayectoria aparente del sol varía a lo largo del día, incidiendo directamente en su declinación con respecto al observador, esta variación en la declinación afecta directamente en la duración del día y la noche haciendo que el sol siempre pase por un punto central orientado hacia el sur a las 12 horas del día solar [16].

En la figura 3.7 se muestra la ubicación de un punto de coordenadas de 20° latitud Norte y 80° de longitud Este, tal cual se puede ubicar geográficamente cualquier punto en la bóveda terrestre que se necesite conocer su trayectoria.

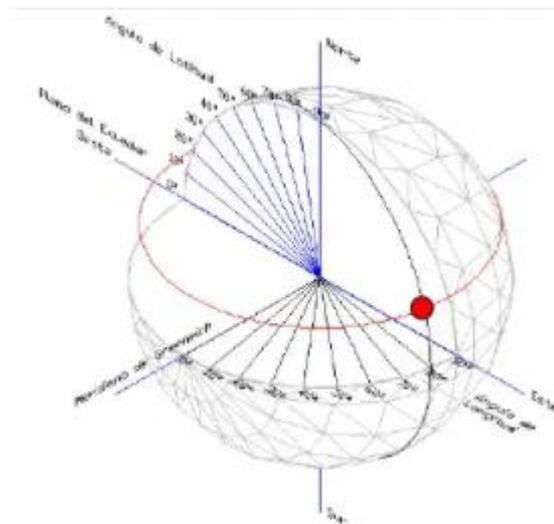


Figura 3. 7 Ubicación de un punto en la Tierra [16]

Para encontrar la posición del sol respecto a un punto en la Tierra se hace uso de dos ángulos el de altura que es el ángulo del sol con respecto al plano horizontal y el azimut que se mide en sentido horario a partir del sur hasta la proyección del sol en el plano horizontal como se observa en la figura 3.8.

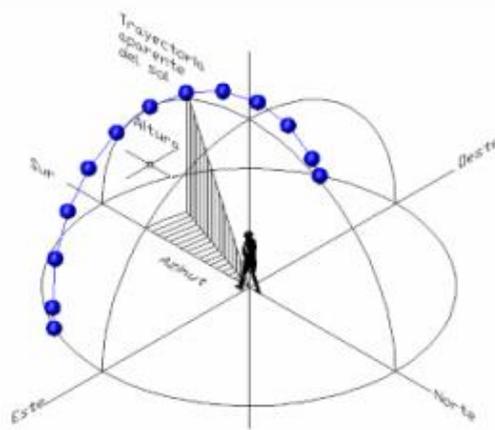


Figura 3. 8 Ubicación del sol [16]

3.4.3. Coordenadas solares

- **Latitud (ϕ)**

Es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera de la superficie terrestre, medida desde el ecuador hasta el punto en cuestión, y puede ser de latitud norte o latitud sur según el punto de ubicación, todos los puntos ubicados sobre paralelo tienen la misma latitud [17].

- **Longitud**

Es la distancia angular medida entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el meridiano de Greenwich, medida sobre el paralelo que pasa por dicho punto, divididos en dos hemisferios Este (oriental) y Oeste (occidental) se mide de 0° a 180° y también se denomina meridiano cero o base [17].

- **Ángulo de inclinación (β)**

Es el ángulo que forma los rayos solares sobre la superficie horizontal se mide del Sol con respecto al plano horizontal del observador esto quiere decir que cuando sale el sol la altura es cero, en verano se eleva más sobre el horizonte que en invierno [17].

- **Ángulo de azimut (α)**

Es el ángulo formado por la proyección del Sol sobre el plano horizontal con dirección Sur, este ángulo se toma positivo si es considerado en sentido Oeste y negativo en sentido Este, al mediodía el ángulo vale 0° es decir a la hora de la salida a puesta del sol varía cada día a lo largo del año como se aprecia en la figura 3.9 [17].

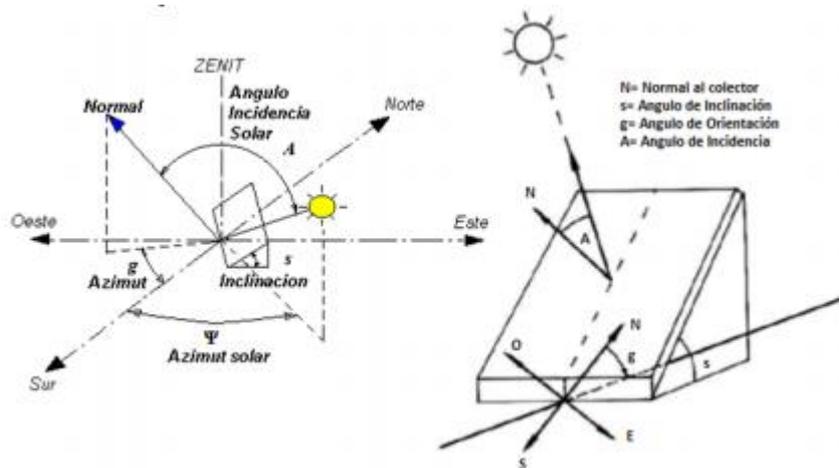


Figura 3. 9 Ángulos y coordenadas solar [17]

3.5.Radiación solar

Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, que son capaces de desplazarse por el espacio en cualquier dirección, es sometida a di referentes alteraciones esta intensidad depende de los factores como altura solar, ubicación del panel, condiciones atmosféricas y altura sobre nivel del mar, también la intensidad de la radiación solar incidente o global es la suma de la radiación solar directa, difusa y reflejada [18].

Esta energía conocida como radiación solar se transmite en forma de radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda que van de $0,15\mu\text{m}$ a $4\mu\text{m}$ como se observa en la siguiente figura 3.10

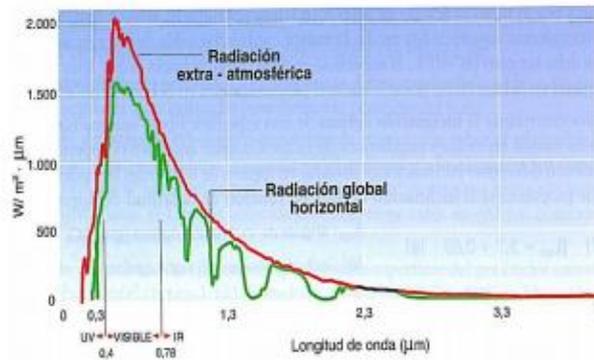


Figura 3. 10 Espectro electromagnético de la radiación solar [18]

3.5.1. Tipos de radiación solar

- **Radiación directa:** Se generan cuando los rayos atraviesan la atmósfera y llegan a la superficie terrestre de una manera directa sin ningún tipo de obstáculo.
- **Radiación difusa:** Atraviesa la atmósfera se refleja en las nubes partículas de polvo atmosférico y pueden ser absorbidas por las nubes y generarse un cambio en su trayectoria.
- **Radiación reflejada:** Se presenta al momento que parte de los rayos emitidos por el sol que atraviesa la atmósfera terrestre, se refleja en las nubes, montañas entre otros se conoce como la suma de las tres.

Como se aprecia en la figura 3.11 la radiación que se recibe en los paneles se clasifica en diferentes tipos que se necesita para la transformación eléctrica.

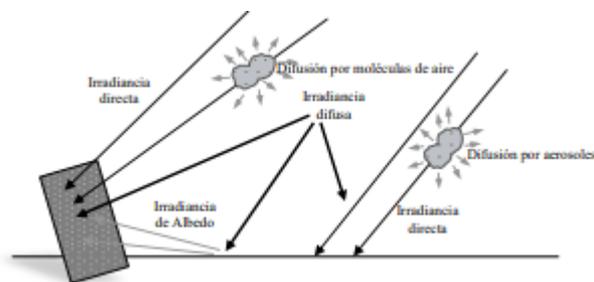


Figura 3. 11 Trayectoria de los rayos solares [18]

3.6. Seguidores Solares

Son estructuras que siguen la trayectoria del sol durante todo el año en ciclos diarios desde que sale hasta que se opone este sistema de seguimiento solar maximiza la producción de

electricidad de la instalación solar fotovoltaica mediante el movimiento de los paneles solares para que sigan la trayectoria del sol durante el día, lo que optimiza el ángulo con el que los paneles reciben la radiación solar [19].

3.6.1. Tipos de seguidores

- **Seguimiento en un eje**

Tiene una rotación de la superficie de captación se hace sobre un solo eje, que puede ser horizontal, vertical u oblicuo se mueven a lo largo del acimut de este a oeste durante el día los tipos de seguidores de un solo eje se clasifica de la siguiente manera como se observa en la figura 3.12.

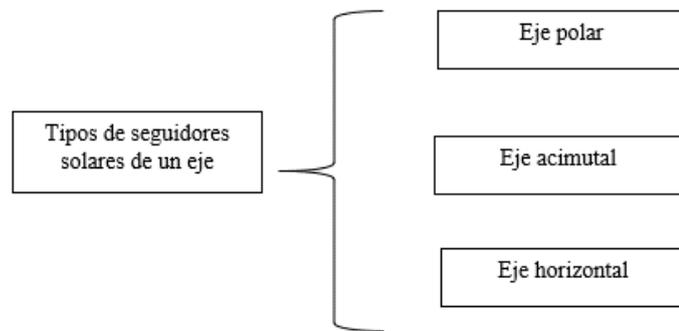


Figura 3. 12 Clasificación de los tipos de seguidores de un solo eje

- **Seguimiento en dos ejes**

Tienen un movimiento de dos grados de libertad o dos ejes de rotación estos ejes están perpendiculares el uno del otro, el eje primario es el que está fijo respecto a la tierra y el otro eje referenciado al eje primario que se denomina secundario en la figura 3.13 se clasifica de la siguiente manera.

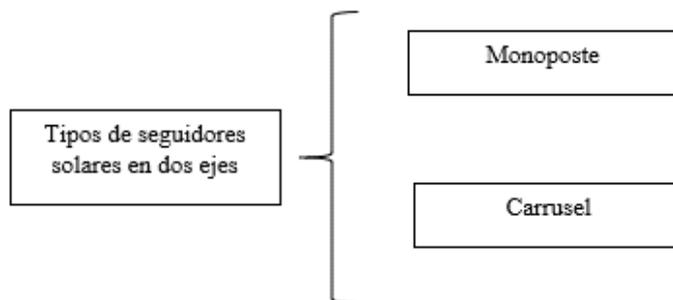


Figura 3. 13 Clasificación de seguidores de dos ejes

3.7. Factores que afectan al sistema fotovoltaico

- **Luz incidente**

Debido a que la luz incidente tiene distintas longitudes de onda cerca del 50% de la radiación recibida no está dentro del margen aceptado por los paneles solares comerciales por otro lado, la corriente es directamente proporcional a la radiación incidente y aceptada por el panel esto hace que tenga un bajo nivel de energía radiante provocando que sea baja la corriente generada [20].

- **Reflexión**

Este tipo de pérdida se produce en la superficie del panel debido a la reflexión de los rayos incidentes esto nos dice que la potencia de salida del módulo es directamente proporcional al nivel de irradiación solar [20].

- **Efecto de la orientación e inclinación**

Los paneles solares trabajan en forma óptima cuando su orientación es directa hacia el sol, es decir se sitúa perpendicularmente hacia el sol, en instalaciones fijas es imposible mantener el panel perpendicular al sol perdiendo factores [20].

- **Pérdida por sombra**

En función de la inclinación y el ángulo acimutal del módulo, las pérdidas por sombreado se determinan dibujando sobre la carta solar del emplazamiento el perfil de los obstáculos que afectan a los paneles, para calcular se superpone el perfil de obstáculos a la carta solar [21].

La representación del perfil de obstáculos sobre el diagrama del sol como se demuestra en la figura 3.14 permite calcular las pérdidas de irradiación solar por efecto de sombra, para conocer estas pérdidas se deben sumar los aportes de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el obstáculo, en aquellos casos en que la porción resulte parcialmente oculta se utilizará un factor de llenado el cual corresponde a una fracción estimada del total de la porción y debe ser lo más próximo a los valores como : 0.25,0.5,0.75,1. [20].

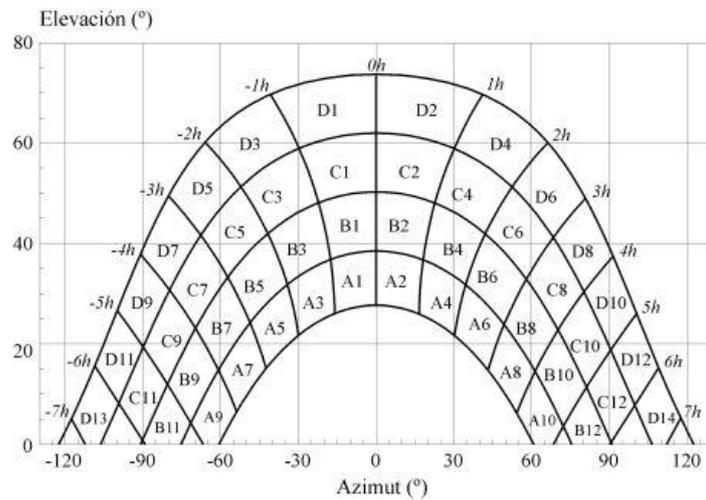


Figura 3.14 Perfil de obstáculos [21]

3.8. Grado de Libertad

Se entiende por grado de libertad al número de entradas independientes requeridas para determinar la posición de todos los eslabones del mecanismo respecto a tierra en cualquier instante, en muchos casos resulta posible conocer la movilidad de un mecanismo a partir del número de eslabones y la cantidad y tipo de los pares que los enlazan. El criterio de Gröbler para mecanismo planos establece la siguiente fórmula [22].

$$M = 3 * (L - 1) - 2(J_1 - J_2) \quad (3.1)$$

Donde:

$M =$ Grados de libertad

$L =$ Número de eslabones

$J_1 =$ Número de juntas

$J_2 =$ Número de semijuntas

3.9. Mecanismo y Movimientos

3.9.1. Transmisión por engranaje

Este tipo de transmisión se realiza mediante pares de engranajes de cualquier tipo, excepto los basados en tornillos sin fin y corona las mayores ventajas que brindan este tipo son las siguientes:

- ✓ Bajo mantenimiento
- ✓ Diseño compacto que se traduce en menor peso y espacio
- ✓ Buena potencia
- ✓ Buen torque
- ✓ Baja vibración y nivel sonoro

Estas transmisiones sirven para reducir la velocidad de una manera óptima, el eje de entrada del motor y el de salida de la transmisión están en planos paralelos, con esto se puede conseguir cajas reductoras muy planas con el fin de ocupar o utilizar menos espacio para el mecanismo como se demuestra en la figura 3.16 [23].

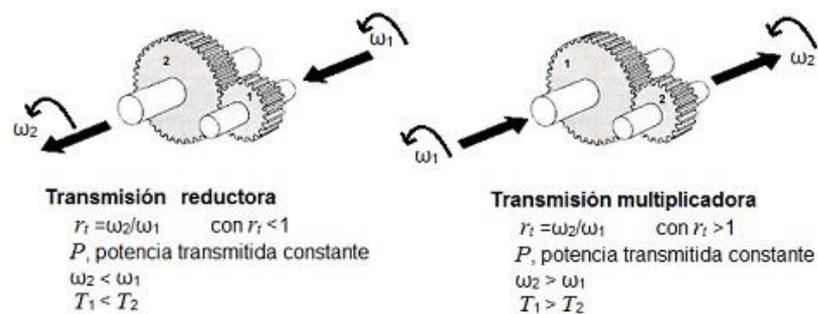


Figura 3. 15 Transmisiones reductoras y multiplicadoras [24]

3.9.2. Transmisión por cadena

Son transmisiones que se encargan de transmitir movimientos entre dos ejes paralelos que se encuentran alejados entre sí, aunque las diferentes configuraciones de los elementos pueden hacer variar la función final del sistema es decir puede tener la finalidad de transmitir movimiento entre los ejes y tener una elevación o ser un sistema transportador como se observa en la figura 3.17 [24].



Figura 3. 16 Relación de transmisión [24]

3.10. Motorreductor

Se componen de un motor eléctrico y una caja reductora a su vez la caja reductora está formado por trenes de engranaje que pueden ser simples o compuestos a la salida de la caja, las revoluciones disminuyen y se aumentan el torque de estos motorreductores son muy utilizados por su versatilidad y diseño compacto tienen las siguientes ventajas [23].

- Baja velocidad de salida
- Alto torque
- Bajo mantenimiento
- De fácil montaje

Toda máquina en la que su movimiento sea generado por un motor eléctrico necesita su correcto funcionamiento para que la velocidad de dicho motor se ajuste a la velocidad requerida por esta, este ajuste se lo realiza por medio de transmisiones las mismas que no solo regulan su velocidad del motor [23].

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. Metodología

La implementación de un seguidor solar de dos ejes en la Universidad Técnica de Cotopaxi conlleva aspectos técnicos y teóricos los cuales son sustentados en primera instancia, mediante investigación bibliográfica, en la cual recopila información acerca de las trayectorias y tipos de seguidores solares que serán necesarios para el posterior estudio y diseño del seguidor, en las siguientes etapas se utilizarán investigaciones de tipo descriptivo y de campo como de describe a continuación:

4.1.1. Tipos de investigación

- **Investigación documental**

Se requiere una investigación documental que constituye un mecanismo enfocado a recolectar información, para adquirir conocimientos sobre seguidores solares y sistemas fotovoltaicos, basados en referencias bibliográficas como artículos, revistas, libros, tesis entre otros.

- **Investigación descriptiva**

Esta investigación describe los niveles de radiación solar existente en la Universidad Técnica de Cotopaxi en diferentes horas y estaciones del año, para lo cual se utilizará un software de análisis solar el cual permite interpretar las trayectorias diarias y anuales, así como los ángulos azimut e inclinación; también se realizará un estudio que describa las condiciones de resistencia de materiales en el diseño de seguidor a desarrollar.

- **Investigación de campo**

La investigación de campo se utiliza para corroborar los datos arrojados por el programa de análisis solar, ya que generalmente estas trayectorias son referenciadas de puntos cercanos a la zona de estudio, por ende, es imprescindible verificar esta información mediante técnicas de observación en el sitio de implementación.

4.2. Métodos

Para la implementación del sistema fotovoltaico planteado se ha desarrollado la metodología detallando los pasos a seguir para su diseño y construcción de sistema de seguimiento solar de dos ejes, inicialmente se parte desde un estudio y el análisis de los factores y variables que influyen en el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

4.2.1. Método deductivo

Se utilizó para especificar los elementos que se necesita para el diseño de sistema de control, la base de datos y aplicación para la simulación mediante la indagación en las diferentes citas bibliográficas, con lo recopilado se logró tener un alto conocimiento para la ejecución del diseño.

4.2.2. Método científico

Este método permite una serie ordenada de procedimientos que hace uso la investigación para observar la extensión de nuestros conocimientos, que se puede concebir como una estructura formada por reglas a seguir, pero no se obtienen los resultados inmediatos de forma verdadera ya que existen errores, fallas y complejidad antes de su resultado final.

4.2.3. Método estadístico

El método se empleó para tabular y representar gráficamente los resultados obtenidos de los diferentes posiciones angulares y cálculos con el fin del aprovechamiento de la radiación solar que existe en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

4.3. Declaraciones de variables

- **Variable Independiente**

Construcción de un sistema de seguimiento solar

- **Variable Dependiente**

Posición y orientación de los paneles

4.3.1. Operacionalización de las variables

Tabla 4. 1 Variable independiente

Variable independiente	ítem	Indicador	Unidades	Instrumentos
Construcción de un sistema de seguimiento solar.	Estructura	Tensiones Deformaciones	N/m ² mm	SolidWorks

Tabla 4. 2 Variable dependiente

Variable dependiente	ítem	Indicador	Unidades	Instrumentos
Posición y orientación de los paneles	Azimut Longitud	Ángulos	Grados	Ficha de observación

4.3.2. Métodos, técnicas e instrumentos

Tabla 4. 3 Métodos, Técnicas e Instrumentos

Método	Técnica	Instrumentos
Deductivo	Modelación y simulación	Planos y diseños en SolidWorks
Científico	Observación y medición	Catálogos y equipos medición
Estadístico	Datos meteorológicos	Mapa Solar del Ecuador 2019 (ARCONEL)

La metodología planteada para la implementación de un seguidor solar de dos ejes contempla los aspectos que se centran fundamentalmente en el diseño de un mecanismo, capaz de brindar al sistema fotovoltaico los suficientes grados de libertad para posicionarse de acuerdo con la trayectoria solar. La Figura 4.1 muestra las diferentes fases para llegar a la implementación del seguidor y por ende conseguir cada uno de los objetivos propuestos.

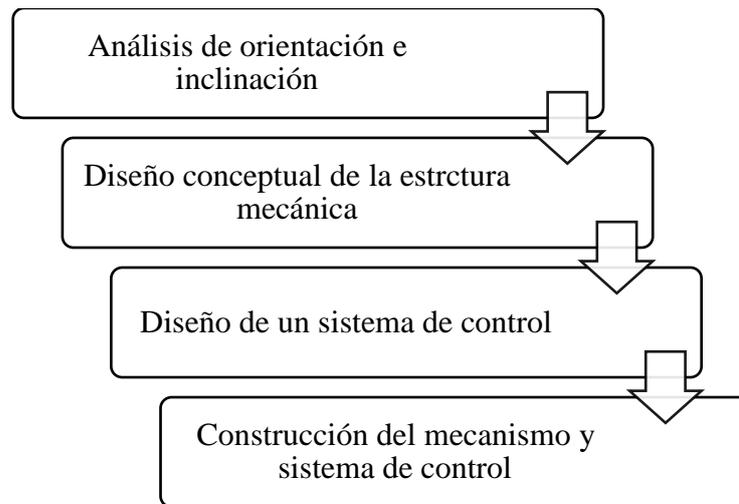
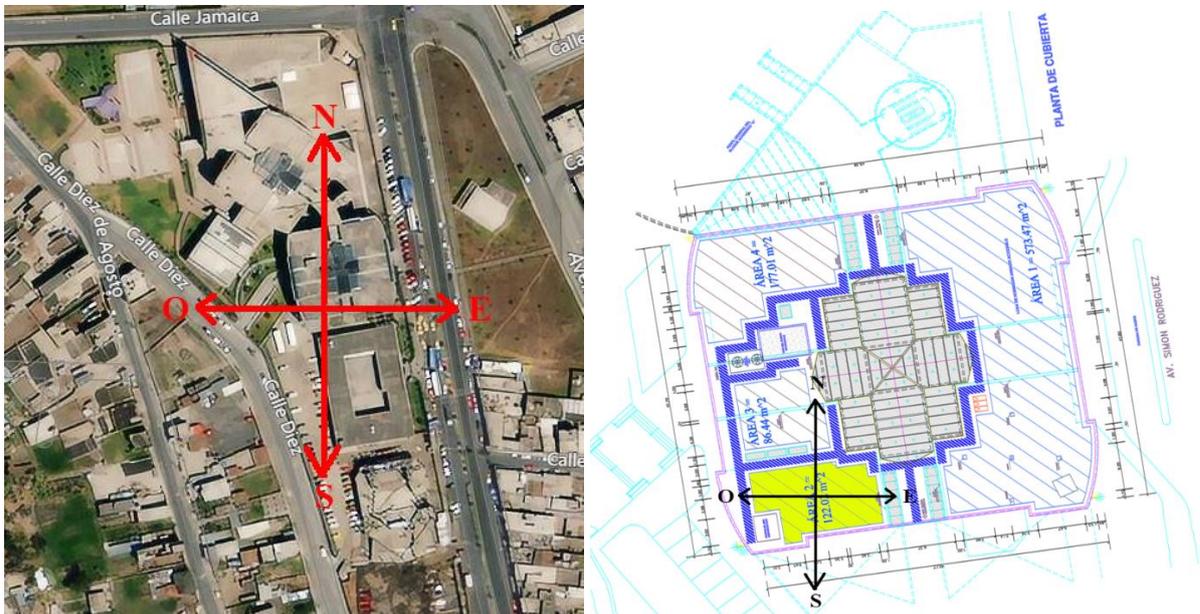


Figura 4. 1 Metodología y fases para la implementación del seguidor solar de dos ejes

En primera instancia se realizará un análisis de la trayectoria solar con respecto a la ubicación del sistema fotovoltaico para determinar el ángulo de giro en cada uno de los ejes, una vez obtenido estos ángulos la siguiente etapa consiste en el diseño como tal del mecanismo y el análisis estructural del mismo para posteriormente diseñar un circuito de control que permita controlar las acciones de los actuadores.

4.4. Análisis de orientación e inclinación

La ubicación geográfica del presente proyecto se encuentra dentro de las instalaciones del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi, misma que se encuentra ubicada con las siguientes coordenadas: Latitud 0.917342° S; Longitud 78.633058° O. En la figura 4.2 (a) se observa la ubicación de la Universidad con respecto a los ejes o puntos cardinales así mismo en la gráfica 4.2 (b) se ilustra la ubicación propuesta dentro de la azotea del bloque B para la localización del mecanismo de seguimiento solar la cual se eligió por ser la zona en la que existe menor interferencia entre la trayectoria solar y la estructura propia del edificio lo cual ayuda reducir las pérdidas por sombra.



a) Ubicación de la Universidad Técnica de Cotopaxi b) Ubicación de la azotea del bloque B

Figura 4. 2 Ubicación geográfica [18]

Para determinar tanto la orientación como la inclinación se utilizará principalmente datos estadísticos, software, análisis solar y método de observación, en primera instancia con la ayuda de un software de análisis solar se obtiene los datos y gráficas de la trayectoria de referencia, es decir el movimiento que realiza la tierra con respecto al sol, a lo largo del año con una orientación en el sentido Norte – Sur y con un periodo de tiempo que va desde 20 de Junio (solsticio Invierno) hasta 21 de Diciembre (solsticio Verano) y viceversa, los solsticios son los puntos de la trayectoria solar en los que el sol alcanza la máxima latitud Norte ($+23.43^{\circ}$) o sur (-23.43°) con respecto al ecuador terrestre como se demuestra en la siguiente figura 4.3.

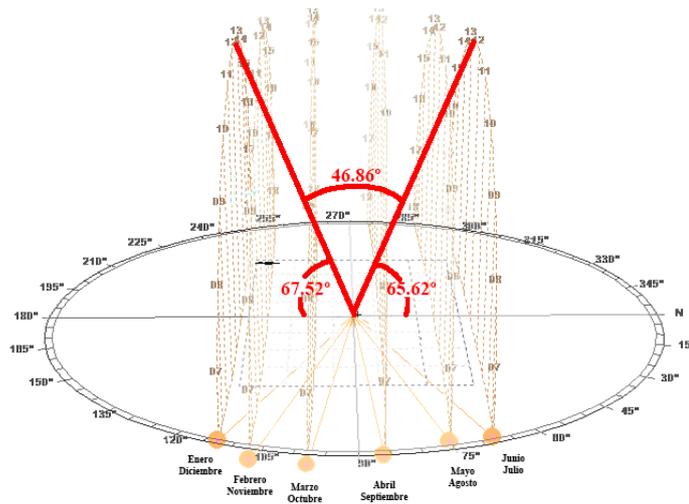


Figura 4. 3 Análisis solar anual

Al tener una inclinación de 23.43° tanto al norte como al sur, estos puntos determinan el radio de giro que tendrá el seguidor solar a lo largo del año es decir un total 46.86° , este valor se tendrá en cuenta para el diseño del seguidor solar. El siguiente valor a tomar en cuenta en el diseño es la inclinación que irá adoptando los paneles solares a lo largo del día, esta trayectoria diaria tiene un sentido este – oeste saliendo por el Este en la mañana y ocultándose por el Oeste en la tarde. Idealmente la trayectoria diaria debería recorrer 180° en Altitud sin embargo este recorrido no es recomendable basados principalmente en los índices de irradiación y la geografía montañosa de la zona, lo cual provoca que en horas de la mañana lo que se percibe son destellos luminosos al igual que en la tarde, no así en la franja horaria comprendida entre las 9:00 am y 17:00 pm donde los índices de radiación superan los 300 W/m^2 , como se puede evidenciar en la figura 4. 4.

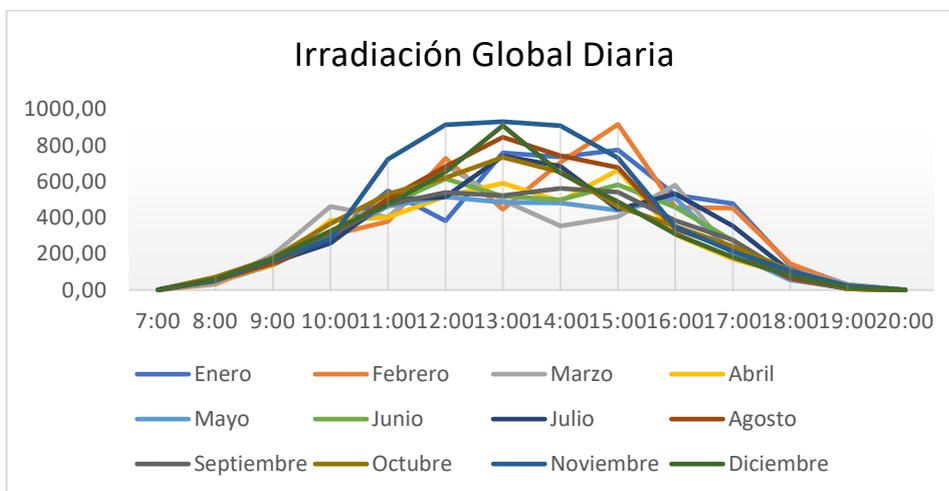


Figura 4. 4 Irradiación global diaria sobre la azotea del Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi [18]

Basados en los índices de la figura 4.5 y con la ayuda de un programa de análisis solar se determina el radio de giro que tendrá el seguidor a lo largo del día. En la figura 4.5 se aprecia los ángulos de incidencia en cada una de las horas, empezando a las 6:00 am y terminando a las 18pm en una trayectoria de 180° sin embargo, como se ha mencionado no todo este recorrido es totalmente útil por lo cual el rango útil queda delimitado entre las 9:00 am (39.6°) y las 16:00 pm (144.6°) es decir un recorrido de 105° en total.

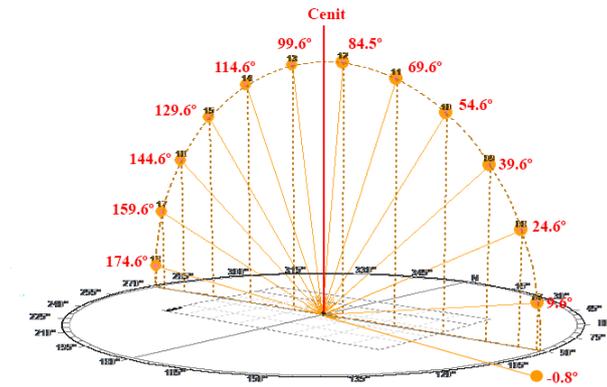


Figura 4. 5 Altitud de sistema diario

4.4.1. Grados de libertad

El diseño conceptual del mecanismo de seguimiento parte por el análisis de los grados de libertad en base al conjunto de eslabones y juntas respectivas, para lo cual se plantea el siguiente diagrama cinemático:

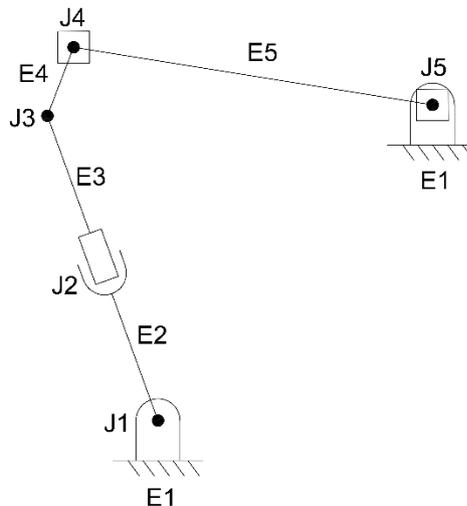


Figura 4. 6 Grado de libertad

El conjunto está conformado por cinco eslabones y cinco juntas, de las cuales J4 y J5 son juntas giratorias, mientras que J2 es una junta lineal, de todo este conjunto el movimiento principal se concentra en el eslabón E5 que será el encargado de brindar movimiento en el ángulo azimutal y su rotación permitirá dar movimiento en el ángulo Altitud. Para determinar si el mecanismo planteado cumple con los grados de libertad propuestos y definidos en el apartado anterior se aplica la ley de Kuzbass expresada por la ecuación 3.1.

Aplicando la ecuación 3.1 y los valores del diagrama cinemático se obtiene:

$$L = 5$$

$$J_1 = 5$$

$$J_2 = 0$$

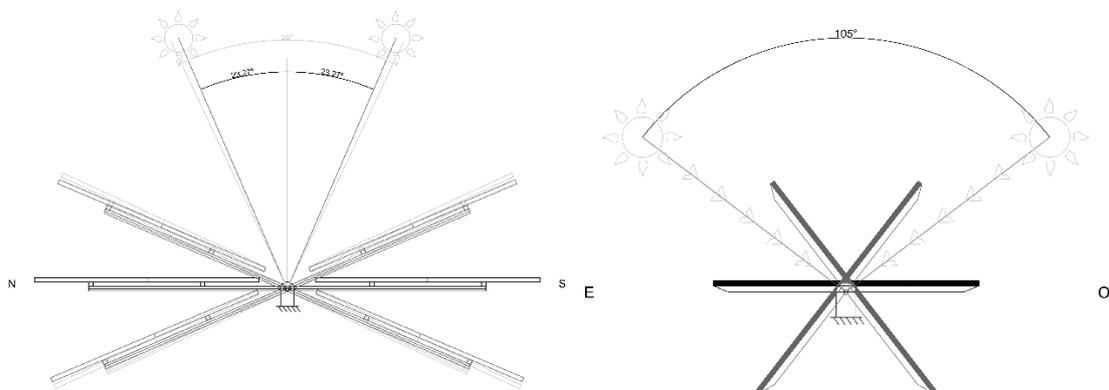
$$M = 3 * (5 - 1) - 2(5 - 0)$$

$$M = 3 * (4) - 2(5)$$

$$M = 12 - 10$$

$$M = 2$$

El resultado obtenido son dos grados de libertad, cumpliendo así la condición de movilidad para la estructura de un seguidor solar de dos ejes. El primer eje o grado de libertad permitirá a los paneles moverse en el sentido Norte-Sur y viceversa en un ángulo mínimo de 50° capaz de abarcar los 46.54° requeridos por la trayectoria solar a lo largo del año. El segundo grado de libertad corresponde al movimiento diario del sol, es decir en un sentido Este-Oeste con un ángulo de apertura idealmente de 180° sin embargo este ángulo se ve reducido a 105° por factores anteriormente descritos. En la figura 4.7 se puede apreciar lo descrito anteriormente.



a) Giro Norte – Sur

b) Giro Este – Oeste

Figura 4. 7 Direcciones de giros de grados

Finalmente, en la figura 4.8 se muestra la orientación y el sentido de giro que tendrá los paneles en cada uno de los ejes de acuerdo a la carta solar de la ubicación geográfica del proyecto.

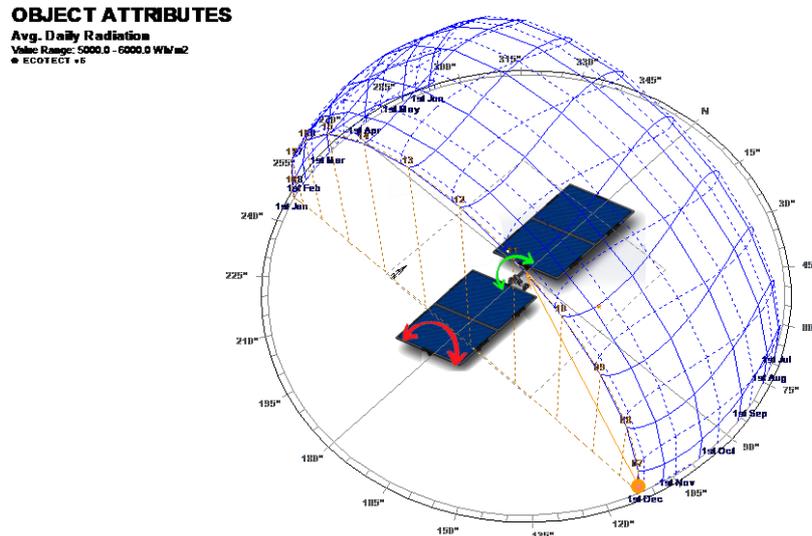


Figura 4. 8 Orientación y sentido de giro

4.5. Diseño conceptual de la estructura mecánica.

En esta sección del trabajo de diseño se busca definir la geometría, dimensiones, materiales, manufactura de los elementos mecánicos en función de las cargas y esfuerzos a los que se encuentran sometidos. Para empezar con el diseño que permita mostrar una aproximación virtual de lo que posteriormente se construirá en la realidad, una vez definidos los grados de libertad con la ayuda del diagrama cinemático y determinado el radio de giro que tendrán los paneles en cada eje, la siguiente etapa del diseño se enfoca en obtener un mecanismo que sea capaz de cumplir con estos requerimientos.

En la figura 4.9 se presenta el diseño conceptual para el seguidor solar, así como la descripción de cada una de sus partes para así tener una clara idea de cómo tanto del mecanismo como de la estructura.

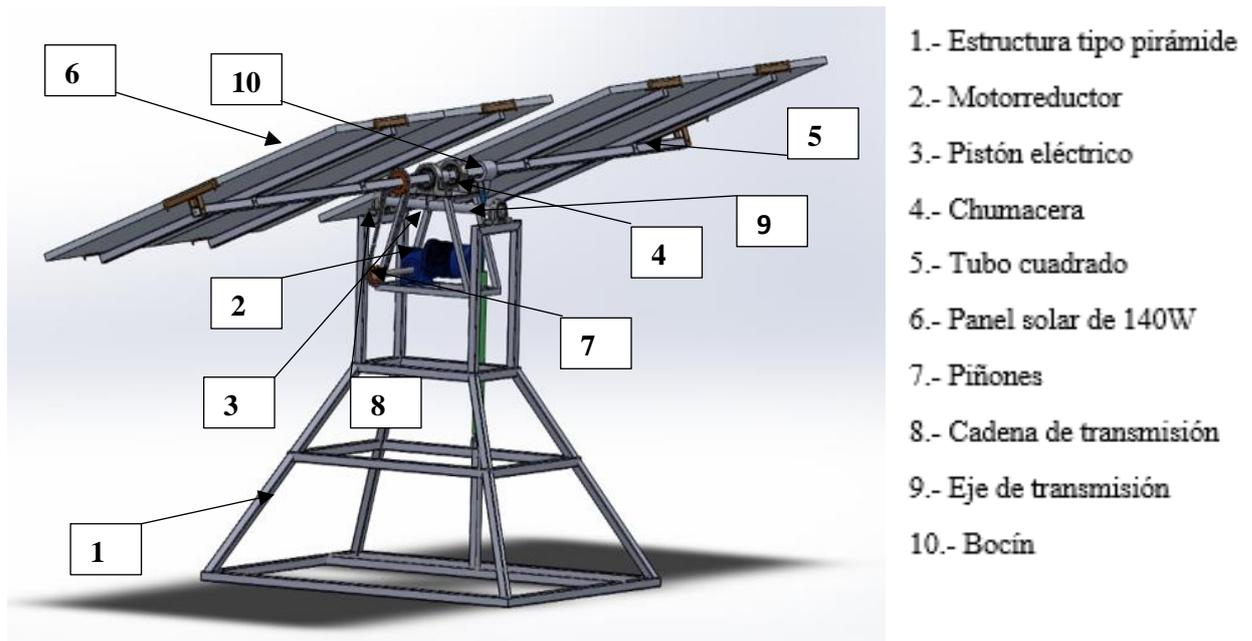


Figura 4. 9 Diseño conceptual de la estructura de dos ejes

4.5.1. Diseño del mecanismo de movimiento en dos ejes

Haciendo uso de un software de CAE como se aprecia en la figura 4.10 se diseña un acople mecánico utilizando chumaceras las cuales permiten entrelazar los dos ejes necesarios para conseguir posicionar a los paneles solares de acuerdo a la trayectoria solar.

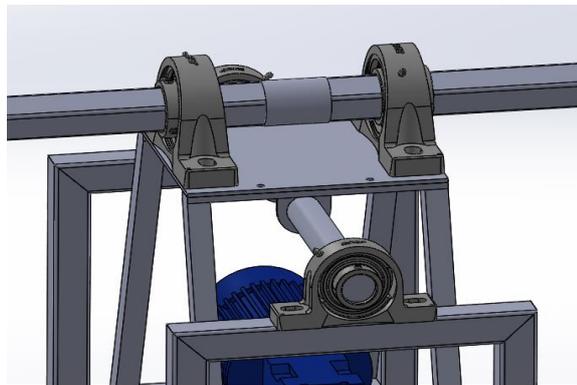


Figura 4. 10 Mecanismo de giro de dos ejes

4.5.2. Análisis estático de ejes y estructura

Aunque en principio el análisis se plantea como un diseño de ejes este en realidad se lo realizará como un estudio de vigas debido a que estos ejes no estarán sometidos a grandes velocidades de giro, no así con las cargas estáticas que si actuaran constantemente sobre el eje pudiendo causar deflexiones sobre el mismo.

4.5.3. Selección de materiales.

Para la selección del material en primera instancia se toma en cuenta tres aspectos: disponibilidad en el mercado, ligereza y adaptabilidad a los elementos mecánicos, esta última se refiere a la forma que brinda mayor facilidad para la sujeción de los paneles solares. Tomando en cuenta lo anteriormente dicho se opta por un tubo cuadrado cuya sección se determinará en base al catálogo de uno de los principales proveedores de la región como se muestra en la tabla 4.4

De todos los perfiles ofertados por este proveedor se elige uno que se encuentra en el punto intermedio de toda la gama, con el objetivo de realizar un análisis estático de tensiones y deformaciones cuyo resultado determinará si se debe incrementar, mantener o reducir la sección del material.

Tabla 4. 4 Diámetros del perfil de tubo cuadrado

Diámetro nominal (mm)	Espesor (mm)	Peso (kp/m)
20	2.0	1.15
25	2.0	1.47
30	2.0	1.78
40	3.0	3.54
50	3.0	4.48
60	3.0	5.42
75	4.0	8.59
100	5.0	14.40

4.5.4. Cálculo para eje longitud

En esta viga se sujetarán los paneles solares los cuales tienen una masa de 12 kg, adicional a esta masa también se considera la estructura que sujeta el panel a la viga, aumentando así la masa del panel a 16 kg cada uno. El conjunto de generación fotovoltaica lo conforman cuatro paneles distribuidos equitativamente dos a cada lado de la viga, como se observa en la figura 4.11

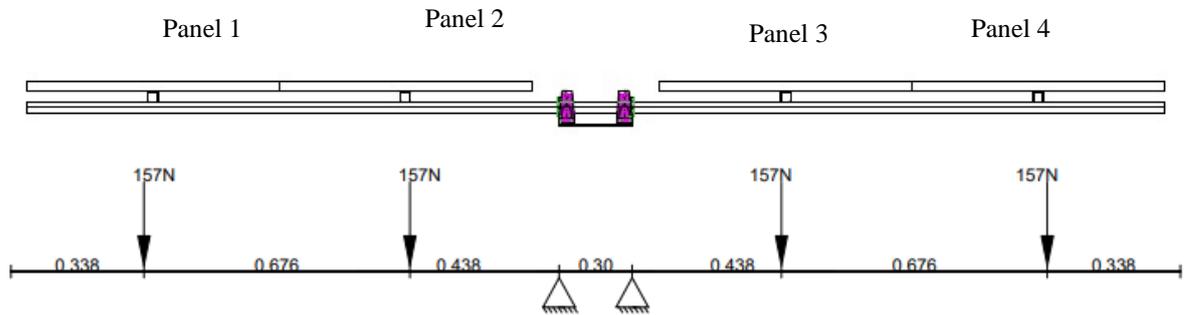


Figura 4. 11 Diagrama de fuerza ejercidas sobre el eje principal

El diagrama de la distribución de fuerzas se muestra en la parte inferior de la figura 4.11 en la cual además de la fuerza que ejerce los paneles solares se tiene dos apoyos fijos donde se concentran las reacciones. El análisis que se desarrollará sobre esta viga se enfoca en determinar las deformaciones, tensiones y reacciones sobre los apoyos como se muestra a continuación.

$$+\uparrow \Sigma Ma = 0$$

$$+157(1.114) + 157(0.438) + Ray(0.30) - 157(0.738) - 157(1.414) = 0$$

$$174.898 + 68.766 + 0.30Ray = 115.866 + 221.998$$

$$Ray = \frac{-243.664 + 337.864}{0.30}$$

$$Ray = 314 \text{ N}$$

$$+\uparrow \Sigma Fy = 0$$

$$-157 - 157 - 157 - 157 + Ray + Rby = 0$$

$$Rby = 628 - 314$$

$$Rby = 314 \text{ N}$$

Las reacciones sobre los apoyos ascienden a 314 N para cada uno de ellos es decir que la fuerza se ha distribuido equitativamente en ambos apoyos al tener una distribución simétrica de las cargas. El siguiente paso consiste en determinar los de diagramas esfuerzo cortante y momento flector.

$$\text{Intervalo } [0 - x - 0.676]$$

$$+\uparrow \Sigma M = 0$$

$$M + 157 X = 0$$

$$M = -157 X$$

$$M1 = 0$$

$$M2 = -106.132$$

$$\text{Intervalo } [0.676 - X - 1.114]$$

$$+\uparrow \Sigma M = 0$$

$$M + 157 (X) + 157(X - 0.676) = 0$$

$$M = -157 X - 157 X + 106.132$$

$$M = -314 X + 106.132$$

$$M1 = -106.132$$

$$M2 = -243.664$$

$$\text{Intervalo } [1.014 - x - 1.414]$$

$$+\uparrow \Sigma M = 0$$

$$M + 157 X + 157(X - 0.676) - 314(X - 1.114) = 0$$

$$M + 157X + 157X - 106.132 - 314X + 349.796 = 0$$

$$M = - 243.664$$

Al tener una viga con apoyos y cargas distribuidas simétricamente basta con el análisis de la mitad de la viga ya que los resultados del otro lado de la viga serán los mismos, pero con signo contrario. Con la ayuda de un programa de análisis estructural se corrobora los resultados antes calculados mediante las gráficas de momento flector y esfuerzo cortante mostrado a continuación.

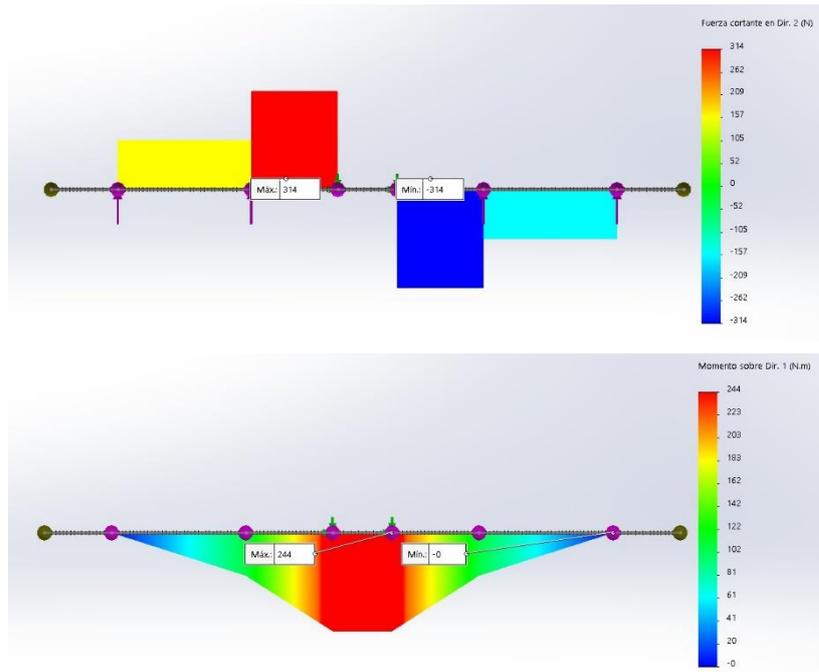


Figura 4. 12 Diagrama de esfuerzo cortante y flector en el eje principal

4.5.5. Tensión de Von Mises

Del análisis tensiones realizado por un software de simulación se tiene que las tensiones de la viga se acumulan en la zona central que es punto más cercano al límite elástico con un valor de $0.463 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, sin embargo, este no llega a superar el límite elástico del material el cual tiene un valor de $2.50 \times 10^8 \text{ N/m}^2$.

Límite elástico del material	Límite elástico a soportar
$2.50 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	$0.463 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

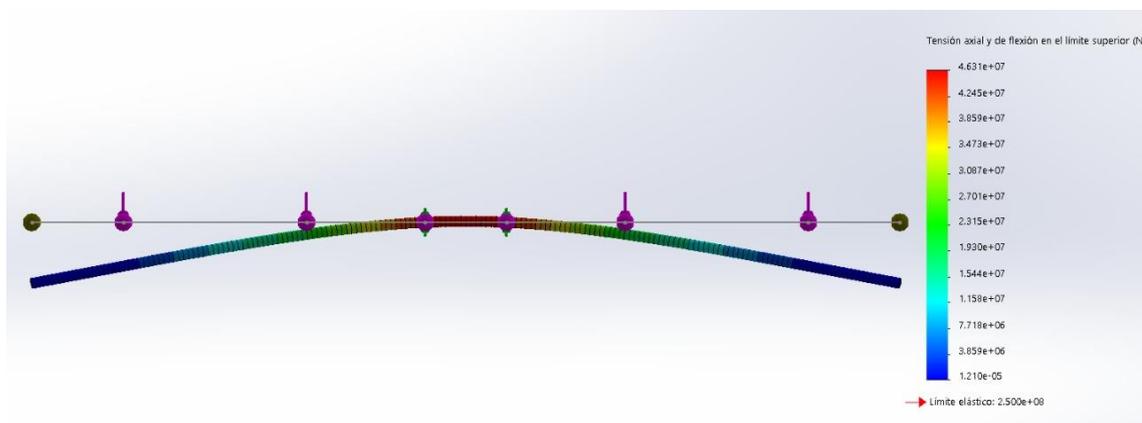


Figura 4. 13 Tensión de Von Mises en el eje principal

4.5.6. Deformación unitaria

La deformación unitaria es la relación existente entre la deformación total y la longitud inicial del elemento, la cual permite determinar la deformación del elemento sometido a esfuerzos de tensión o compresión, por ello la escala de colores indica el módulo cuando tenga una deformación unitaria máxima de 8.47×10^0 mm en la zona de color rojo señalado en los extremos de la viga, como se aprecia el estudio indica que tendrá una deformación de 8.47 mm en consideración a su estado inicial.

Al no tener una deformación considerable y al encontrarse dentro de la zona elástica se opta por utilizar el material seleccionado para la posterior construcción de este eje.

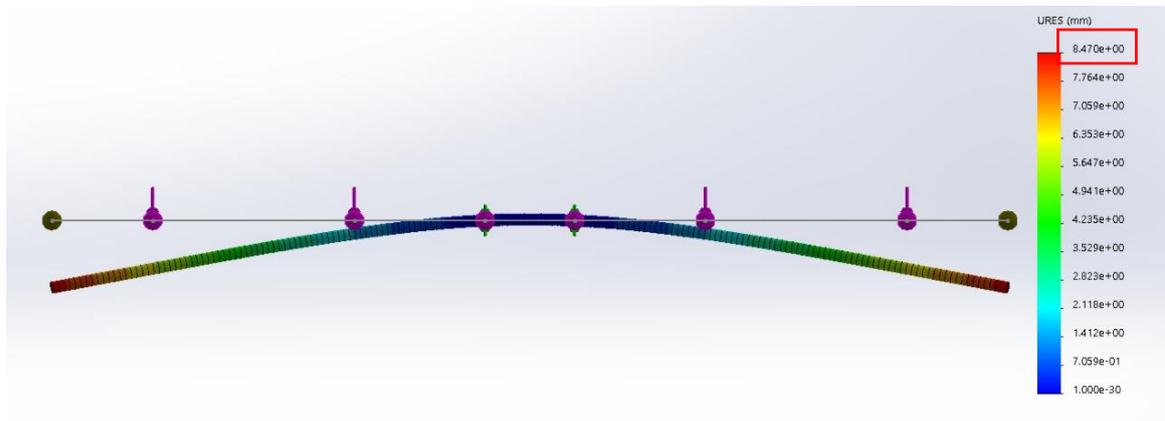


Figura 4. 14 Deformación unitaria del elemento en el eje principal

Análisis estructural de la base de soporte

Tensión de Von Mises

El análisis tensiones realizado por un software de simulación se tiene que las tensiones de la viga se acumulan en la zona central que es punto más cercano al límite elástico con un valor de 0.374×10^8 N/m², sin embargo, este no llega a superar el límite elástico del material el cual tiene un valor de 2.50×10^8 N/m².

Límite elástico del material	Límite elástico a soportar
2.50×10^8 N/m ²	0.3744×10^8 N/m ²

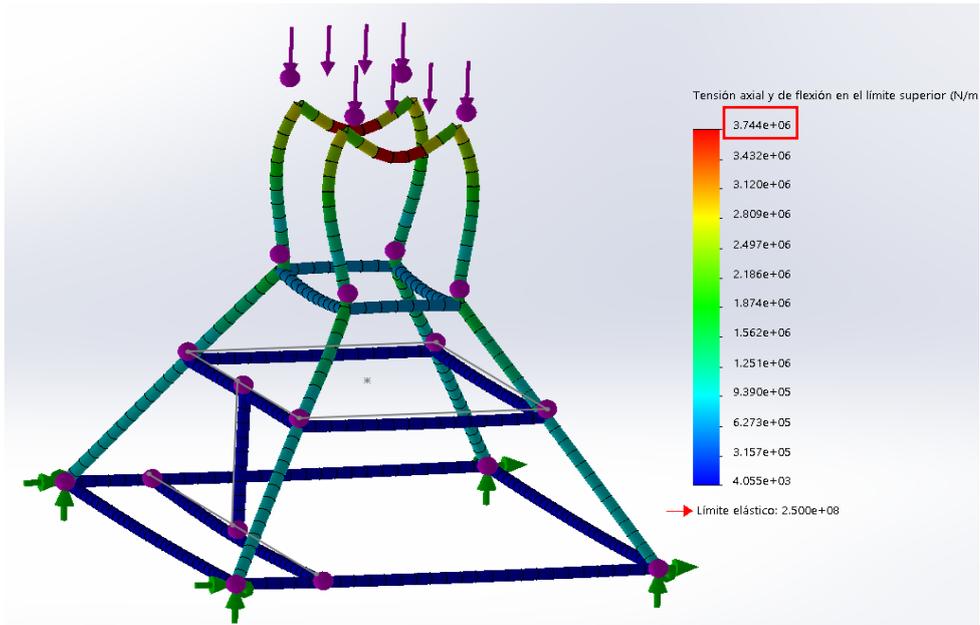


Figura 4. 15 Tensión de Von Mises en la estructura base

4.5.7. Deformación unitaria del soporte de la estructura base

Para en caso de las deformaciones de la estructura base se presentan una deformación de 0.0264 mm la cual es totalmente despreciable es decir que la estructura soportara adecuadamente las cargas que están presentes como se observa en la figura 4.17.

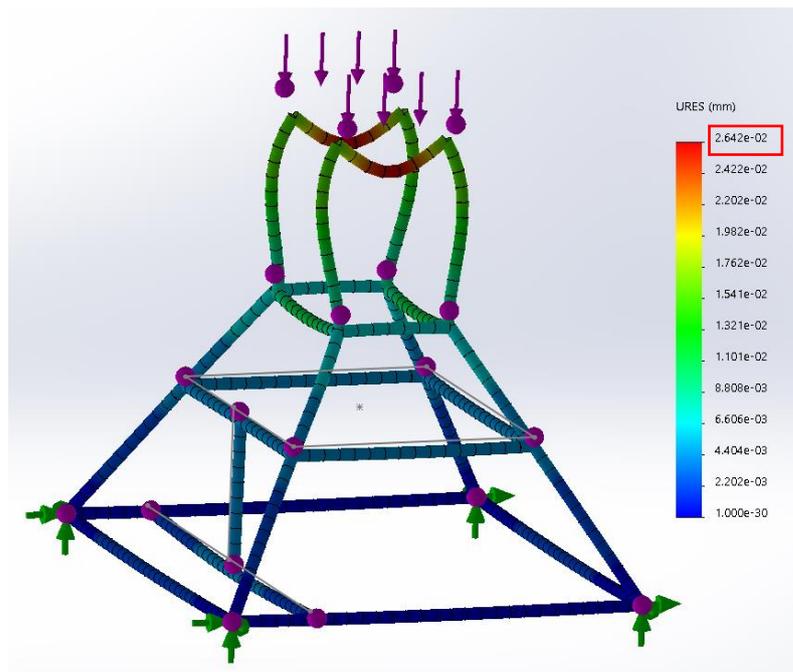


Figura 4. 16 Deformación unitaria de la estructura base

4.5.8. Cálculo para la selección del motor

Se necesita determinar el tipo y tamaño de un motorreductor adecuado para accionar un eje cuadrado con paneles solares, deberá girar en su propio eje la velocidad de giro esperado será de 0.19 m/seg con una fuerza de 200 kg, el diámetro del piñón es de 85.61 mm de diámetro, la temperatura ambiente 20 °C y la altitud sobre el nivel del mar es 2750 m, el montaje del motor será en posición horizontal, la unión del motorreductor y el eje del mando se ejecutará a través de cadena ANSI.

Pasos para la selección de motor reductor:

- **Potencia de cálculo:**

$$P = \frac{w}{t}$$

$$P = \frac{F * d}{t}$$

$$P = \frac{200kg * \frac{9.81m}{s^2} * d}{t}$$

$$P = \frac{1962N * d}{t}$$

$$P = 1962N * 0.19 \frac{m}{s}$$

$$P = 372.78Watt = 0.37KWatt$$

$$P = \frac{372.78Watt}{\frac{746Watt}{HP}} = 0.50HP$$

$$P = 0.50HP$$

- **Potencia de entrada:**

El fabricante nos indica un rendimiento del 98.5 % de acuerdo al catálogo: **Anexo I**

$$Ne = \frac{Na}{r} \frac{98.5 \%}{100\%}$$

$$r = 0.985$$

$$Ne = \frac{0.50HP}{0.985}$$

$$Ne = 0.51 HP$$

$N_e = 0.37 \text{ KW}$ Acorte al catálogo busquemos un motor con las siguientes características **Anexo II**

- **Velocidad de salida:**

$$\omega = \frac{Vt}{r}$$

$$\omega = \frac{0.19 \text{ m/s}}{0.042 \text{ m}}$$

$$\omega = 4.52 \frac{1}{\text{seg}}$$

$$\omega = 4.52 \frac{\text{Rad}}{\text{seg}}$$

$$\omega = 4.52 \frac{\text{rev}}{\text{seg}}$$

$$\omega = 4.52 \frac{\text{rev}}{\text{seg}} * \frac{60 \text{seg}/\text{min}}{2\pi}$$

$$\omega = 43.19 \text{ rev}/\text{min}$$

$$\omega = 43.19 \text{ r.p.m}$$

- **Relación de transmisión:**

$$i = \frac{n_e}{n_s} = \frac{1700}{18}$$

Siendo:

Vt : Velocidad en punto tangente al radio del tambor

ω : Velocidad angular del tambor

r : Radio del tambor

4.5.9. Análisis para la selección del actuador lineal

Se requiere de un actuador lineal cuya capacidad de esfuerzo mecánico supere los 784 N que ejerce el conjunto de paneles ubicados sobre el soporte del eje acimut, para lo cual se tomó en cuenta las siguientes consideraciones.

- Recorrido del actuador 500 mm
- Fuerza mayor a 784 N

En base a los requerimientos antes mencionados y después de haber realizado la búsqueda en el mercado local como internacional se eligió los elementos a continuación detallados.

Tabla 4. 5 Elementos del actuador lineal

Actuador lineal eléctrico	
Recorrido	500 mm
Velocidad	5mm/s
Voltaje	12 V Dc
Fuerza	6000 N
Corriente	8 A

Tabla 4. 6 Dato del motor Monofásico marca Weg

Motor monofásico	
Potencia	0.5 Hp
Voltaje	220V
RPM	1700

Tabla 4. 7 Datos de la caja reductora

Caja reductor simple corona	
Carcasa	Aluminio
Torque operación	107.78N.m
Velocidad de salida	18 r.p.m
I de relación de reducción	100

4.5.10. Calculo para la selección del servomotor

Se realiza el cálculo en caso de trabajar con un servomotor.

Se pretende mover una masa de 200 kg a una velocidad de 2 m/s con un diámetro de piñón de 7 cm, calcular las prestaciones mecánicas útiles del motor necesario para desplazar este peso.

Datos

Fm = Fuerza de movimiento

Vm = Velocidad de movimiento

D1 = Diámetro piñón

Se considera un rendimiento del 95% y 1 kg - 10 Newtons

$$\text{Par motor } Mb = \frac{d1}{2} \times \frac{Fm}{n}$$

$$Mb = \frac{0,07m}{2} \times \frac{2000 N}{0,95} = 73.69 Nm$$

$$1 rpm = \frac{1rev}{1min} \times \frac{2\pi}{1min} = 7,396 \times 10^{-4} Nm$$

$$\text{Velocidad del motor } Nb = \frac{60}{\pi} \times \frac{Vm}{d1}$$

$$Nb = (60 \times 3.1416) \times (2 m/s/0,07m) = 545,68 r.p.m$$

Potencia mecánica útil

$$P = \frac{\pi}{30000} \times M \times n$$

$$P = 0,000105 \times 7,396 \times 10^{-4} mNm \times 545,68 r.p.m = 4237,64 W = 4,237 KW$$

$$I = \frac{d2}{d1} = \frac{16}{7} = 2,28$$

4.6.Diseño de un sistema de control

Una vez seleccionado los dos tipos de actuadores que se utilizarán el mecanismo de seguimiento la siguiente etapa consiste en diseñar un diagrama eléctrico de control capaz de garantizar el correcto funcionamiento de estos elementos y por ende del mecanismo.

Al tener dos actuadores con diferentes características se debe diseñar un diagrama para cada elemento, como se muestra en la figura 4.17.

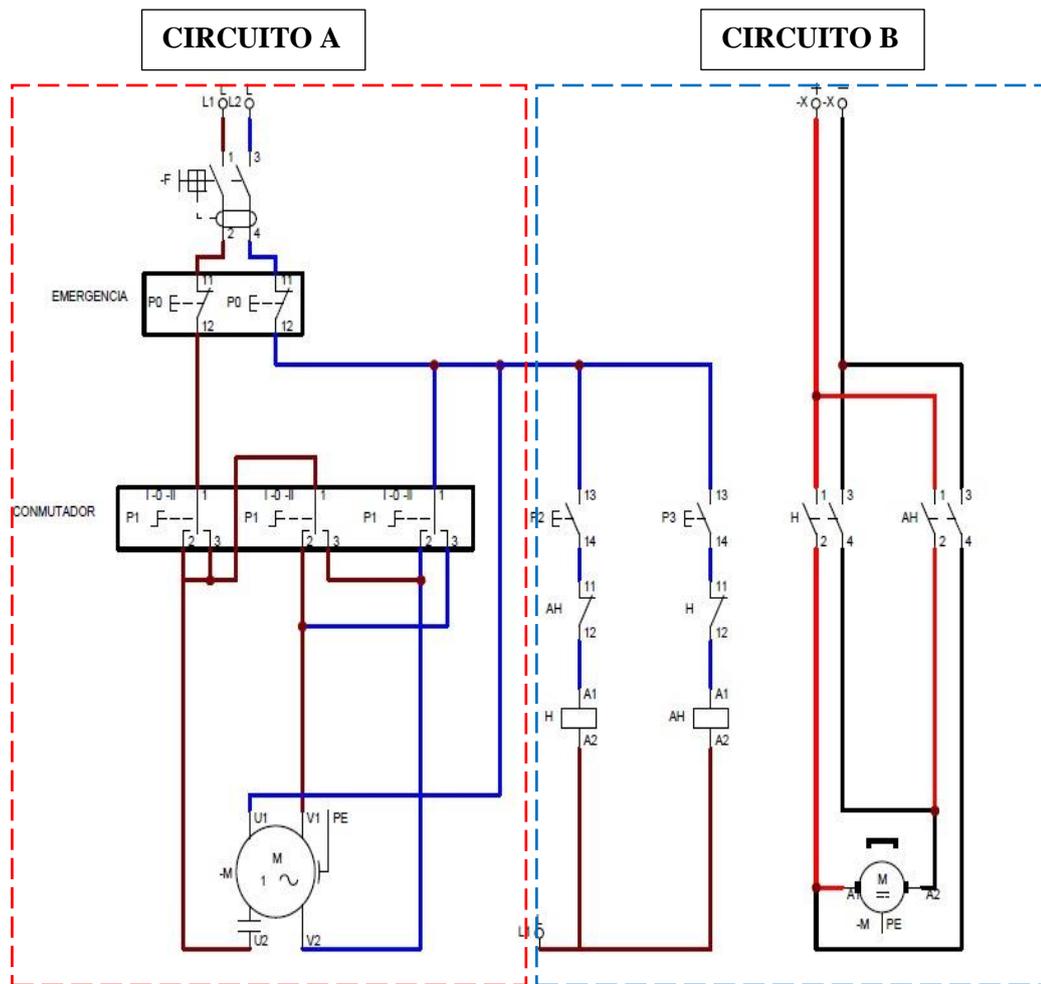


Figura 4. 17Diagrama eléctrico

Ambos circuitos se basan en el principio de inversión de giro accionados por botoneras o conmutadores, en el caso de circuito A diseñado para controlar las acciones del motor de 220 V mediante la utilización de un conmutador de dos posiciones diseñados específicamente para inversión de giro en motores bifásicos, la hoja de datos proporcionada por el proveedor se encuentra en el anexo 9.

En el caso de circuito B la inversión de giro del motor de corriente continua de 12 V consiste en alternar la polaridad con la que se alimenta el motor para lo cual se utilizan dos relés para que realicen la conmutación respectiva según se presione P2 para extender el pistón o P3 para retraer el pistón.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

La construcción del seguidor solar de dos ejes se basará en los planos obtenidos del diseño conceptual desarrollado en el capítulo anterior, partiendo por el armado de la estructura base hasta culminar con su implementación en la azotea de la Universidad Técnica de Cotopaxi, dentro de este proceso se han puesto en práctica operaciones de mecanizado como taladrado, limado, torneado, fresado, entre otros. Así también se han utilizado procesos de soldadura y corte que se describirán en cada una de las etapas constructivas.

5.1.Construcción de la estructura base

Para la construcción de la base se utilizó tubo cuadrado estructural de 40 mm de diámetro y 2 mm de espesor, el cual fue sometido a un análisis estático (Figura 4.15) cuyo resultado avala el proceso constructivo. Para la construcción de esta estructura base se utilizó principalmente un proceso de soldadura por arco eléctrico mediante electrodo 6011 que es un electrodo de revestimiento empleado para soldadura de acero al carbono.

La forma piramidal de la estructura base atiende principalmente a dos factores: en primer lugar, brindar estabilidad al seguidor debido a que las cargas que se soportan sobre la estructura constantemente se posicionaron de forma oblicua, a esto también se suma la fuerza que puede ejercer el viento sobre la superficie de los paneles, siendo de vital importancia contar con una buena superficie de contacto a fin de evitar que el seguidor sea derribado. La segunda razón es porque se requiere que el mecanismo tenga suficiente altura para que el eje principal no toque el piso cuando realice el giro. Las medias y ángulos constructivos se detallan en los planos adjuntos en el Anexo 3



Figura 5. 1 Estructura base

5.2. Construcción de soportes para paneles solares

Para la sujeción de los paneles solares se utiliza un pedazo de tubo cuadrado de la misma longitud que el panel como elemento base, en la parte media del tubo se suelda dos patinas perforadas a fin de sujetarse mediante un perno al eje principal. Con la ayuda de dos prensas soldadas a los extremos del tubo se sujeta el panel a esta estructura para que finalmente este sea fijado en el eje principal, en la figura 5.2 se observa el detalle constructivo de este elemento.

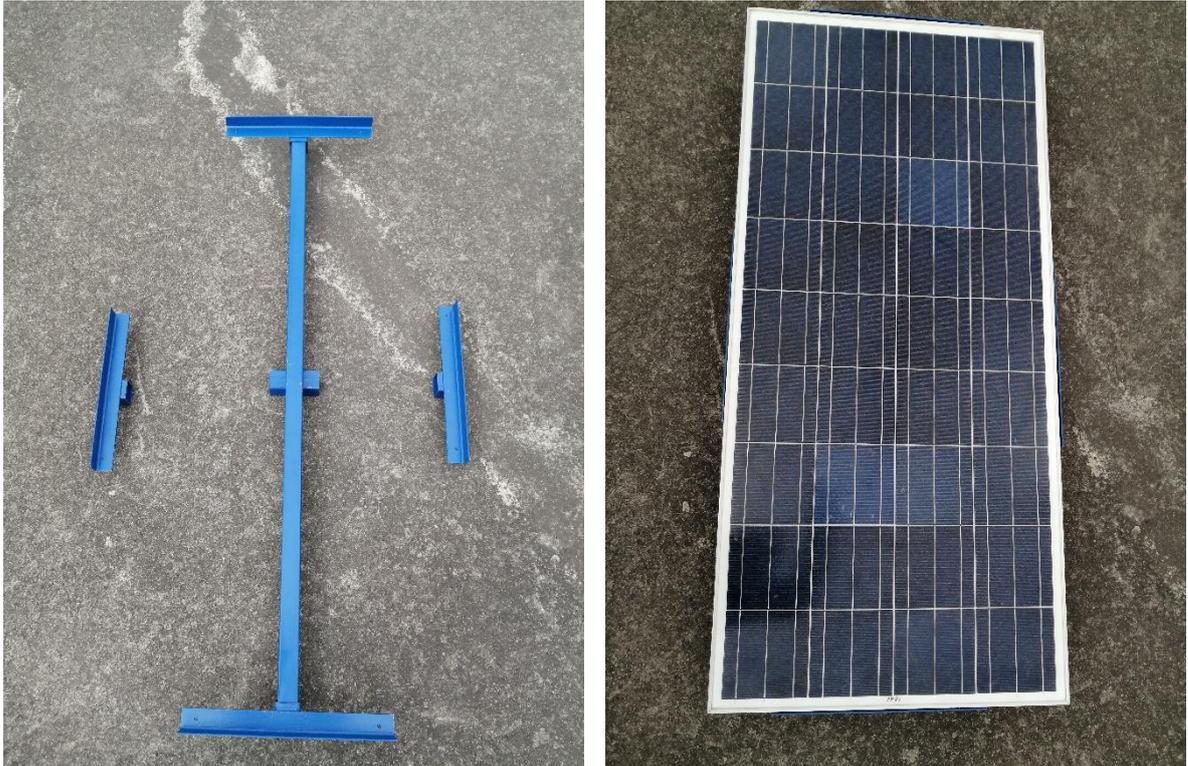


Figura 5. 2 Soporte de panel

La colocación de prensas como elementos sujetadores se debe principalmente a la facilidad y rapidez que brindan dichos elementos para la ejecución de labores de mantenimiento,

5.3. Construcción del eje principal

El eje principal es el elemento que estructuralmente está sometido a la mayor cantidad de fuerzas, principalmente en su zona media donde se acumulan todas las tensiones, sin embargo, los resultados del análisis estático dejan ver que estas tensiones se encontraron debajo del límite elástico. Con la finalidad de realizar una adecuada sujeción entre el eje y las chumaceras se construyen bocines de duralon mismo que sirven para central y fijar el eje como se observa en la figura 5.3.



Figura 5. 3 Eje principal

Para comprobar los resultados de las simulaciones se procede a medir la deformación en el eje, recordando que la simulación estática arrojaba una deformación elástica de aproximadamente 4mm en cada uno de sus extremos, sin embargo, en la realidad este valor asciende a 4 mm (Figura 5.4) deformación que no representa ningún riesgo para la estructura, además de que esta se encuentra dentro de la zona elástica del material.

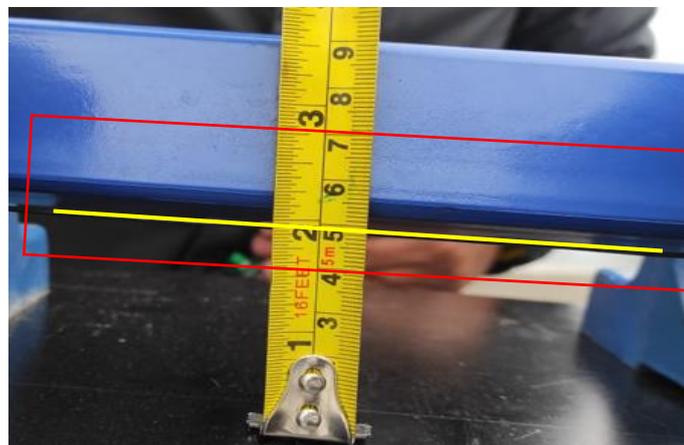


Figura 5. 4 Deformación elástica del eje principal

5.4. Construcción de la canasta

Se denomina canasta a la estructura que aloja al motor-reductor construida con ángulo de 11/4 por 1/8 de espesor las medidas se detallan en el Anexo 4. El objetivo de la canasta es sujetar al motor y mantener paralelo el eje del motor con el eje principal que soporta a los paneles, de esta manera se puede transmitir la potencia de giro del motor hacia el eje utilizando piñones y cadena; para sujetar la canasta al mecanismo principal se utilizan pernos de 3/8.



Figura 5. 5 Canasta

5.5. Construcción de acople mecánico

El acople mecánico entre los dos ejes del mecanismo se lo realiza utilizando una plancha de acero de 6 mm de espesor soldada al eje circular y dos chumaceras de 55 mm de diámetro que se sujetan a esta plancha con pernos 3/8 como se observa en la figura 5.6.



Figura 5. 6 Acople mecánico

Este acople permite al mecanismo girar tanto en el eje azimut como en el eje longitud, es decir realizar un seguimiento diario y así mismo posicionarse acorde a la trayectoria anual. El detalle de los elementos utilizados en este acople se detalla en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Materiales del acople mecánico

NOMBRE	CÓDIGO	DIÁMETRO
Chumacera	UCP2007	31.75 mm
Chumacera	UCP 213	55mm
Perno	HEXAGONAL	1/2"
Arandelas	PLANA GALV	33.64 mm
Tuerca	132031540	12.7 mm
Eje cromado	1 1/4	31.75
Plancha laminada en caliente	ASTM A 36	6mm(espesor)

5.6. Acople mecánico de actuadores

▪ Pistón eléctrico

La base del pistón eléctrico es anclada a la estructura mediante un pasador de ½” de diámetro el cual transmite las fuerzas hacia la estructura base, de la misma manera el vástago del pistón es anclado al eje principal mediante el uso de un eslabón conformado por un bocín auto lubricado y una base que se une al vástago mediante un pasador, permitiendo así articular el movimiento del eje principal sin restringir su giro. En la figura 5.7 se observa el detalle de los puntos de anclaje.



Figura 5.7 Anclaje de pistón eléctrico

- **Motorreductor**

El motor de ½ HP de potencia con su caja reductora de velocidad es fijada en la canasta utilizando pernos de 3/8”, una vez fijado el motor se instalan los piñones tanto en el eje de la caja reductora como en el eje principal que soporta a los paneles, los cuales se unen mediante una cadena para así transmitir la potencia del motor al eje principal. A fin de reducir aún más la velocidad angular del eje principal los piñones utilizados mantienen una relación de transmisión reductora cuya velocidad final de giro se describe a continuación:

$$D1 * N1 = D2 * N2$$

Donde:

D1 = N° de dientes del piñón motriz

D2 = N° de dientes del piñón conducido

N1 = Velocidad de giro eje del piñón motriz

N2 = Velocidad de giro eje piñón conducido

$$10 * 17 = 14 * N2$$

$$N2 = \frac{170}{14} = 12.14 \approx 12rpm$$

En la figura 5.8 se muestra el acople mecánico piñón-cadena para la transmisión de giro entre ejes.



Figura 5. 8 Transmisión piñón cadena

5.7. Conexión eléctrica de actuadores y tablero de control

El control y accionamiento de los actuadores se lo realiza siguiendo el diagrama eléctrico mostrado anteriormente en la figura 4.17 donde la principal acción es el arranque y la inversión de giro de cada uno de los actuadores, en la figura 5.9 se muestra el tablero eléctrico instalado en la base del seguidor solar.

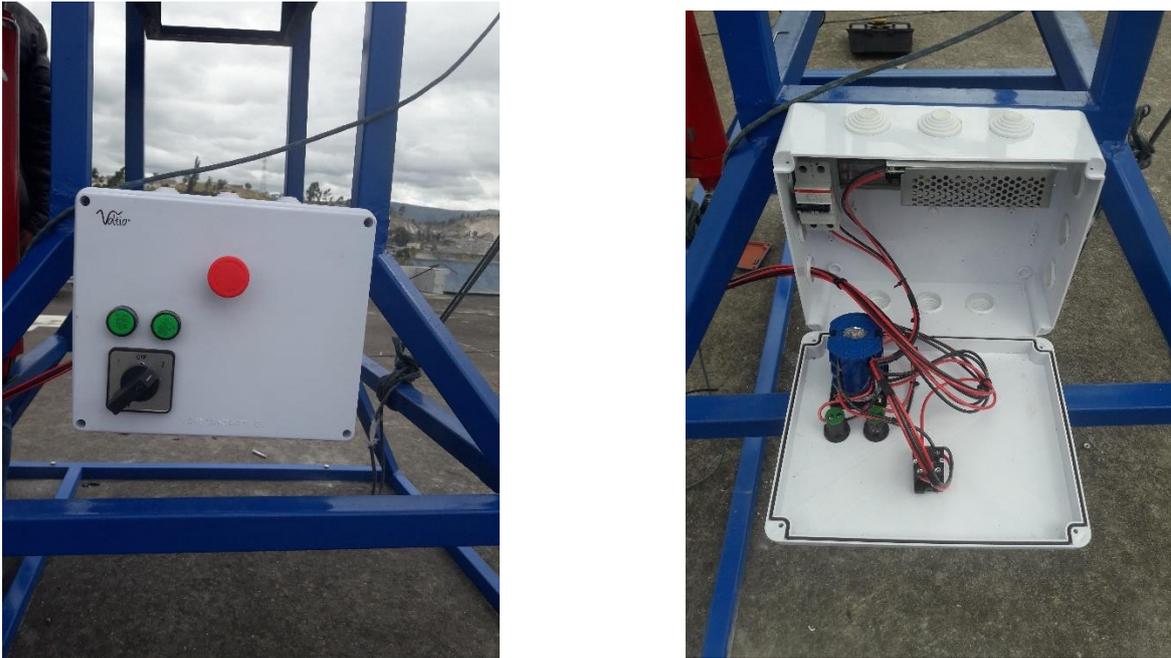


Figura 5. 9 Caja de control eléctrico

5.8. Instalación y orientación del seguidor solar

La etapa final del proyecto consiste en el armado de toda la estructura del seguidor solar en la azotea del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para lo cual en primer lugar se procede a fijar la estructura al piso con ayuda de tirafondos o tacos de expansión. Antes de realizar el anclaje definitivo de la estructura base se orienta la misma de acuerdo a los cuatro puntos cardinales con la ayuda de una brújula como se observa en la figura 5.10 Con la base instalada se procede al montaje de los demás elementos para finalmente realizar las respectivas pruebas de funcionamiento, en las cuales se verifica el adecuado arranque de los actuadores y que el ángulo de giro en cada eje tenga la suficiente amplitud para posicionarse acorde a los grados requeridos.



Figura 5. 10 Montaje y orientación de seguidor

5.9. Análisis de generación eléctrica

Como se planteó estas mediciones son realizadas mediante dos conjuntos de generación fotovoltaica de la misma potencia uno fijo posicionado en sentido este -oeste con una inclinación de 10° y por otro conjunto de paneles con seguimiento propuesto en el presente proyecto.

Para efectos demostrativos se optó por medir voltaje generados, la obtención de los datos se la realizó el mismo día para ambos sistemas como fijo y móvil además se realizaron en un día soleado y los resultados obtenidos de la medición se muestran a continuación.

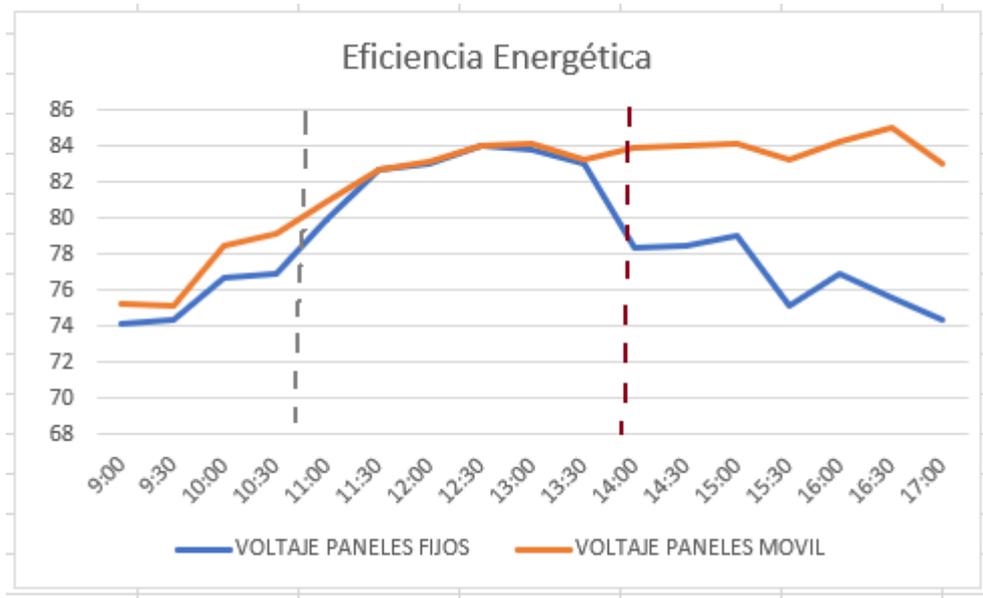


Figura 5. 11 Curva de las generaciones eléctricas de los sistemas de seguimiento fijo y móvil

1ra zona: La primera zona presenta una diferencia en mínima, ya que la orientación de panel fijo tiene cierto ángulo que permite recibir una radiación casi igual a la del panel móvil, por ende, su generación no varía mucho.

2da Zona: En esta parte de día ambos sistemas de posicionamiento (fijo y móvil) tienen una generación igual al tener un ángulo de inclinación con pequeñas variaciones y al ser la zona horaria donde mayor radiación existe

3ra zona: En la zona número tres que corresponde al transcurso de la tarde la diferencia se hace notoria y se puede apreciar las ventajas del uso de un sistema de seguimiento solar al tener una generación casi constante hasta las 16:30 no así con las generaciones de los paneles con posición fija, los cuales empiezan a disminuir considerablemente su producción de energía fotovoltaica.

La eficiencia del sistema de seguimiento solar de dos ejes implementado en comparación con el sistema solar fijo es del 25 % de eficiencia en condiciones ideales este valor de da en relación a los datos obtenidos que se generaron en las dos posiciones tanto fijo como móvil.

5.10. Presupuesto y análisis de impacto

5.10.1. Presupuesto

El presupuesto del proyecto se estima en **1.770,22** dólares, tomando en consideración los costos asociados para un sistema fotovoltaico y sus equipos tomando en cuenta las fluctuaciones del mercado de los diferentes elementos.

Tabla 5. 2 Presupuesto Global del Proyecto

Rubros	Total
Materiales y Suministró	\$ 1.220,22
Gastos Indirectos y Profesionales	\$ 500,00
Gastos imprevistos	\$ 50,00
TOTAL	\$ 1.770,22

El presupuesto del proyecto está dividido en dos partes:

5.10.2. Gasto directo totales

Tabla 5. 3 Presupuesto de equipos directos

Materiales y Suministros	Cantidad	Precio	Precio total
Chumacera de piso eje de 1-1/4	2	\$ 28,00	\$ 56,00
Chumacera de piso eje de 55 mm	2	\$ 68,00	\$ 136,00
Piñón de paso 40 en 10 dientes	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Piñón de paso 40 en 15 dientes	1	\$ 16,00	\$ 16,00
Cadena paso 40 (1/2 de 10 ft)	1	\$ 32,00	\$ 32,00
Reductor FCNDK63-1000/0.5HP	1	\$ 159,52	\$ 159,52
Pistón Eléctrico	1	\$ 280,00	\$ 280,00
Tubo Cuadrado de 40x40x3mm	10	\$ 25,00	\$ 250,00
Pintura	2	\$ 30,00	\$ 60,00
Elementos eléctricos (botoneras, cables entre otros)		\$ 80,00	\$ 80,00
Motor 1F WFF2 IP55 0.5 HP/1800RPM	1	\$ 135,70	\$ 135,70
TOTAL			\$ 1.220,22

5.10.3. Gastos indirectos

Dentro de los gastos indirectos están las horas trabajadas en el diseño, construcción, tiempo empleado y corrección, todo aquello mencionado se las detalla para determinar el costo de la mano de obra según el salario mínimo en Ecuador por un ayudante electromecánico que es 400 dólares americanos, que se realiza un cálculo de acuerdo al código de trabajo que se debe trabajar 40 horas semanales.

$$\# \text{horas} = 8 \text{ horas} \times 20 \text{ días}$$

$$\# \text{ horas} = 160 \text{ horas}$$

$$\text{Costo} = \frac{400}{160}$$

$$\text{Costo por hora} = 2.5 \$$$

Tabla 5. 4 Gastos indirectos totales

Horas de trabajo	Actividad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
80	Diseño estructural	\$ 2,50	\$ 200,00
70	Construcción	\$ 2,50	\$ 175,00
50	Pruebas de funcionamiento	\$ 2,50	\$ 125,00
Total			\$ 500,00

Se obtuvo un gasto indirecto de \$ 500,00 total (**Quinientos**) dólares americanos.

5.11. Análisis de impactos:

5.11.1. Impacto práctico

El presente proyecto se constituye de la base de una mini central fotovoltaica en la cual se permitirá tener una observación clara de los movimientos de la trayectoria solar mediante el seguidor de dos ejes implementado y prácticas a futuros del aprovechamiento del recurso solar.

5.11.2. Impacto tecnológico

La implementación de un seguidor solar de dos ejes conlleva a la tecnología de hoy en día permitiendo a los estudiantes como docentes tener como objetivo mejorar los conocimientos sobre los sistemas fotovoltaicos permitiendo la relación de costo beneficio a largo plazo de estos sistemas en particular.

5.11.3. Impacto ambiental

Mediante la implementación del seguidor solar siendo una de las energías renovables aporta al cuidado del medio ambiente ya que el principal funcionamiento es utilizar directamente la energía del sol para la de generación de energía eléctrica pura y limpia.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- La revisión bibliográfica de trabajos relacionados con el tema propuesto permitió consolidar nociones y fundamentos acerca de las trayectorias solares y mecanismo de seguimientos similares, que sirvieron como base para llevar a cabo un diseño conceptual y presentar una solución innovadora en lo que se refiere mecanismo de seguimiento.
- Mediante un análisis de las trayectorias solares y los niveles de radiación se determinó que en el eje acimut el seguidor solar tendrá un radio de giro de 50° el cual cubre el movimiento semestral que tiene de junio a diciembre y viceversa, así mismo la irradiación diaria y la geografía local determinaron un radio de giro en eje longitud de 105° que representa un movimiento desde las 9 am hasta 16 pm ángulo en el cual la irradiación es superior 300 W/m^2 .
- La simulación del diseño de la estructura del mecanismo permite obtener una lista de elementos a utilizar, el análisis estructural y su factor de seguridad arrojando resultados en cuanto al peso que soportara la estructura y su eje principal el cual presenta una deformación elástica de aproximadamente de 4 mm inferior al valor arrojado por la simulación estática.

- El presente trabajo constituye la primera etapa de un proyecto formativo de investigación de la Carrera Electromecánica enfocado al uso y aprovechamiento de energía renovables por ende al ser una etapa inicial no se han considerado análisis en cuanto a la generación eléctrica.
- El mecanismo instalado motor reductor es de velocidad lineal llamado también velocidad tangencial no cumple como se esperaba con las condiciones de giro diario, para este trabajo el actuador ideal sería un servomotor que nos da el cambio de posición angular de un cuerpo, la velocidad permanece constante y tiene una dirección tangente al círculo.

6.2.Recomendaciones

- Dentro del proceso de automatización que tendrá el proyecto se recomienda tomar en cuenta los índices de irradiación útil durante el transcurso del día debido a que, en las primeras horas de la mañana, así como el ocaso de la tarde la radiación incidente disminuye considerablemente.
- Para realizar un acoplamiento de paneles adicionales se recomienda bloquear el movimiento azimut, es decir deshabitar el accionamiento del pistón eléctrico de esta manera se podrá incrementar la cantidad de paneles con un desplazamiento diario perpendicular al sol.
- En cuanto al mantenimiento la recomendación se enfoca principalmente en la lubricación y engrasamiento periódicamente en sus partes móviles como chumaceras, piñones y cadena del sistema de reducción mecánica, para evitar deterioro y asegurar un correcto funcionamiento del sistema mecánico.
- Con la finalidad de tener una mejor eficiencia energética este prototipo construido puede ser utilizado en otras aplicaciones que requieran una actividad de seguimiento solar como colectores solares, hornos solares entre otros permitiendo una comparación con un seguidor fijo convencional.
- En la parte instalada el seguidor solar las corrientes de viento son fuertes debido a esto se recomienda ayudar al actuador lineal en su periodo estático sujetar a la base un cable de acero.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. R. Loayza Ochoa, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA EL CONTROL ELECTRÓNICO DE UN REFLECTOR SCHEFFLER, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA, 2012.
- [2] L. R. MIRANDA ARMAS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE SEGUIMIENTO DEL SOL PARA EL CONCENTRADO SOLAR DE LA UTE, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL, FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA, 2015.
- [3] D. J. ARRIETA MORELO y S. Y. PUELLO BRAVO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA AUMENTAR EL RENDIMIENTO ENERGÉTICO EN PANELES FOTOVOLTAICOS DE UN SISTEMA DE BOMBEO, UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA, FACULTAD DE INGENIERÍA , 2015.
- [4] J. I. Alonso Montes, A. Fernández Durán, C. Jiménez Suárez, A. Lecuona Ribot, F. Medallo García, J. F. Plaza Fernández, V. Ramos González y G. Sala Pano, Energía Solar Fotovoltaica, Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, 2007.
- [5] R. Bhuvanewari.C, «ANALYSIS OF SOLAR ENERGY BASED STREET LIGHT WITH AUTO TRACKING SYSTEM,» *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, vol. II, nº 7, pp. 1-7, 2013.
- [6] A. A. Gaete Hidalgo, Diseño de seguidor solar fotovoltaico de dos ejes de bajo costo, Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Ingeniería Mecánica, 2019.
- [7] J. REYES AMIL, DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA CUBIERTA A DOS EJES Y MODULAR, UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA, INSTITUTO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO MASTER EN ENERGÍAS RENOVABLES DISTRIBUIDAS, 2013.
- [8] J. R. Viloría, «ENERGÍAS RENOVABLES,» de *ENERGÍAS RENOVABLES Lo que hay que saber*, España, Ediciones Paraninfo, S.A., 2013, pp. 40-47.
- [9] J. Roldán Viloría, «ENERGÍAS RENOVABLES Lo que hay que saber,» de *ENERGÍAS RENOVABLES Lo que hay que saber*, España, Paraninfo, S.A., 2013, pp. 6-12.
- [10] A. M. Peña Gallo, D. A. Gutierrez Hernandez y F. G. Caldas Lujan, Diseño e implementación de un sistema solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica con potencia activa de 1KW, Universidad Cooperativa de Colombia ,Facultad de Ingeniería Civil, 2017.
- [11] M. F. Barrera, «Energía solar: Electricidad Fotovoltaica,» de *Energía solar: Electricidad Fotovoltaica*, Madrid, Liber factory, 2010, pp. 13-15.
- [12] A. D. PILATASIG MONTALUISA, EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CONECTADAS A LA RED DE BAJO VOLTAJE, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, 2015.
- [13] W. P. Llano Iza y S. P. Monta Iza, IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ENERGIZAR UN SISTEMA DE OXIGENACIÓN DE AGUA EN LA CRIANZA Y

REPRODUCCIÓN DE TRUCHAS, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS, 2016.

- [14] D. Vaca Reveló y F. Ordoñez, MAPA SOLAR del Ecuador 2019, SCINERGY, RESEARCH IN ALTERNATIVE ENERGY, 2019.
- [15] D. Vaca Reveló y F. Ordoñez, MAPA SOLAR del Ecuador 2019, SCINERGY, 2019.
- [16] J. Beltrán Adán, Prototipo fotovoltaico con seguimiento del Sol para procesos electroquímicos, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Coordinación de Mecatrónica, 2007.
- [17] V. M. Mateo, «Instalaciones generadoras fotovoltaicas,» de *Instalaciones generadoras fotovoltaicas*, Primera ed., Madrid, Ediciones Paraninfo, SA, 2015, pp. 24-26.
- [18] P. W. Potes Valencia, DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED EN EL BLOQUE B DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS, 2019.
- [19] J. T. Montecelos, «Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas,» de *Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas UF 0150*, Primera ed., Madrid, Ediciones Paraninfo, SA, 2021, pp. 107-111.
- [20] J. M. Sosa, Sistemas de iluminación de bajo consumo, utilizando paneles fotovoltaicos, Proyecto Simec Chile, 2010.
- [21] M. M. Vallina, «Instalaciones solares fotovoltaicas,» de *Electricidad y Electrónica, Instalaciones solares fotovoltaicas*, Segunda ed., Madrid, Ediciones Paraninfo, SA, 2018, p. 139.
- [22] D. Gonzales, «Grados de Libertad,» Instituto Tecnológico de Tijuana, 2018.
- [23] R. A. TAPIA CRUZ, DISEÑO ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SOPORTE MECÁNICO CON DOS GRADOS DE LIBERTAD PARA POSICIONAMIENTO PERPENDICULAR A LA LUZ DE UN PANEL FOTOVOLTAICO DE 100 W, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 2018.
- [24] L. V. V. Useche, TRANSMISIONES POR CADENA, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2009.

Vaca Padilla Gustavo Patricio
Proponente 1
Email: gustavo.vaca4678@utc.edu.ec
Celular: 0983581941

Vega Toaquiza José Sebastián
Proponente 2
Email: jose.vega0762@utc.edu.ec
Celular: 0984305237

Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina M.Sc
Tutor Académico
Email: Cristian.gallardo@utc.edu.ec
Celular: 0984698851

8. ANEXOS.

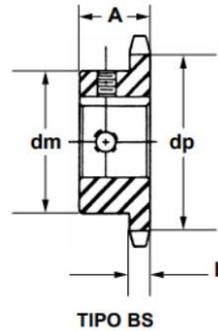
Anexo 1. Ficha técnica de los piñones

Piñones mecanizados *Martin* Tipo BS

Le entregamos los piñones con el agujero acabado H7, chavetero y dos tornillos prisioneros a 90°.

Características

- Calidad, dimensiones y acabados según norma DIN 8187 ISO / R606.
- El chavetero está alineado con el diente.
- Fabricados en calidad de acero F-114.
- Pavonados color negro.



Equivalencias de material

UNE: F-1140
 DIN: CK45
 UNI: C45
 BS: 080 M 46
 AFNOR: XC45
 AISI / SAE: 1045

Piñones mecanizados *Martin* Tipo BS

# 08B-1		PASO 12.70 mm (1/2")		SIMPLE
Nº dientes	dp Diámetro prim.	A Ancho total	b Ancho diente	Agujeros en mm. Incluye chavetero y tornillos prisioneros
10	41,10	25	7,2	*12 - 14 - 16 - 19
11	45,07	25	7,2	*12 - 14 - 16 - 19 - 20 - 22
12	49,07	28	7,2	*12 - 14 - 16 - 19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28
13	53,06	28	7,2	*12 - 14 - 16 - 19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28
14	57,07	28	7,2	*12 - 14 - 16 - 19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28
15	61,09	28	7,2	*12 - 14 - 16 - 19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32
16	65,10	28	7,2	16 - 19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32
17	69,11	28	7,2	16 - 19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32
18	73,14	28	7,2	16 - 19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38
19	77,16	28	7,2	16 - 19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38
20	81,19	28	7,2	16 - 19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38
21	85,22	28	7,2	16 - 19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38
22	89,24	28	7,2	16 - 19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38
23	93,27	28	7,2	19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38
24	97,29	28	7,2	19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38
25	101,33	28	7,2	19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38

* Indica sin chavetero. Sólo tornillos prisioneros en agujero.
 Los diámetros de los cubos varían según los diferentes agujeros.

Piñones mecanizados *Martin* Tipo BS

12B-1

PASO

19.05 mm (3/4")

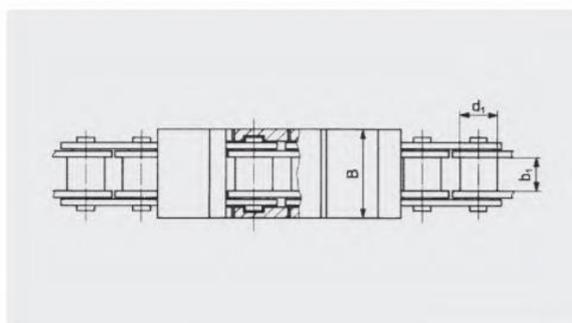
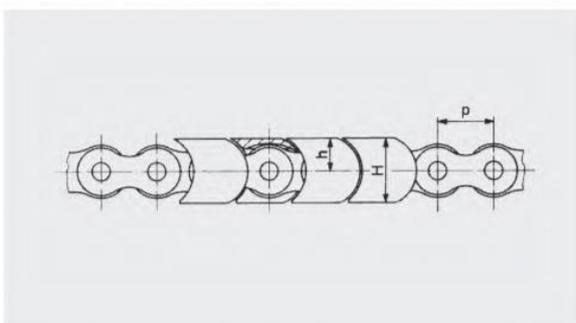
SIMPLE

Nº dientes	dp Diámetro prim.	A Ancho total	b Ancho diente	Agujeros en mm. Incluye chavetero y tornillos prisioneros
10	61,64	30	11,1	19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32
11	67,61	35	11,1	19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32
12	73,61	35	11,1	19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38
13	79,59	35	11,1	19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38
14	85,61	35	11,1	19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38 - 40
15	91,63	35	11,1	19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38 - 40
16	97,65	35	11,1	19 - 20 - 22 - 24 - 25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38 - 40
17	103,67	35	11,1	25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38 - 40 - 42
18	109,71	35	11,1	25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38 - 40 - 42
19	115,75	35	11,1	25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38 - 40 - 42 - 45 - 48 - 50
20	121,78	35	11,1	25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38 - 40 - 42 - 45 - 48 - 50
21	127,82	40	11,1	25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38 - 40 - 42 - 45 - 48 - 50
22	133,86	40	11,1	25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38 - 40 - 42 - 45 - 48 - 50
23	139,90	40	11,1	25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38 - 40 - 42 - 45 - 48 - 50
24	145,94	40	11,1	25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38 - 40 - 42 - 45 - 48 - 50
25	152,00	40	11,1	25 - 28 - 30 - 32 - 35 - 38 - 40 - 42 - 45 - 48 - 50

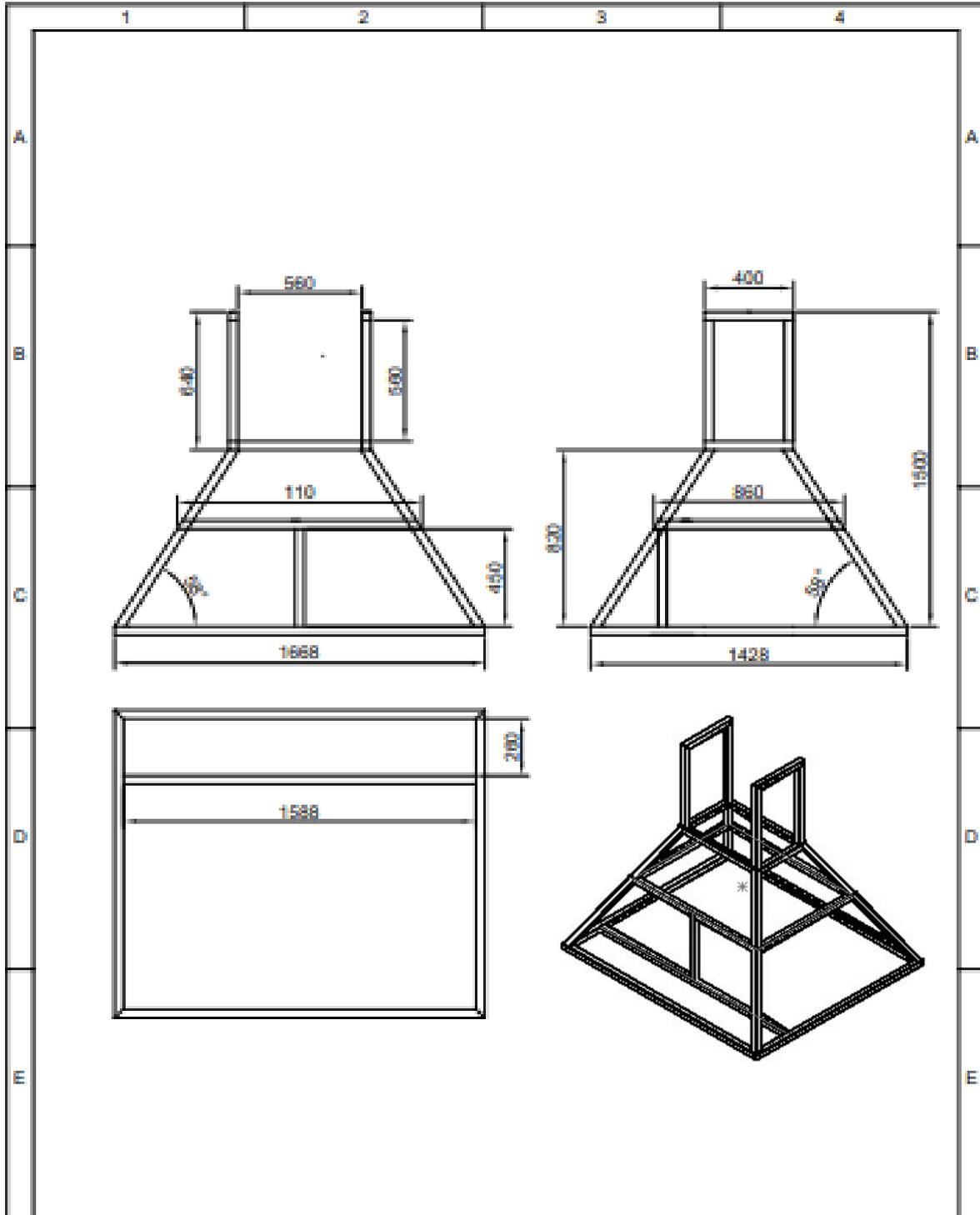
Los diámetros de los cubos varían según los diferentes agujeros.

Anexo 2. Ficha técnica de la cadena

ISO no.	Ref. no. Iwis	Standard chain	Pitch p (mm)	Breaking load FB (N)	Inner width b1 (mm)	Roller dia. d1 (mm)	Width B (mm)	Height H (mm)	Height above of pin h (mm)	max. centre load per chain (N)	max. permissible load per attachment (N)	max permissible surface pressure (N/mm ²)	Weight (kg/m)
08 B-1	L85 TF	L85 SL	12,7	22.000	7,75	8,51	19,8	15,2	8	6250	12	4,42	0,82
10 B-1	M106 TF	M106 SL	15,875	27.000	9,65	10,16	24,8	17,5	9,5	8000	26	4,72	1,18
12 B-1	M127 TF	M127 SL	19,05	34.000	11,75	12,07	29,8	19,8	11	9750	43	4,95	1,59

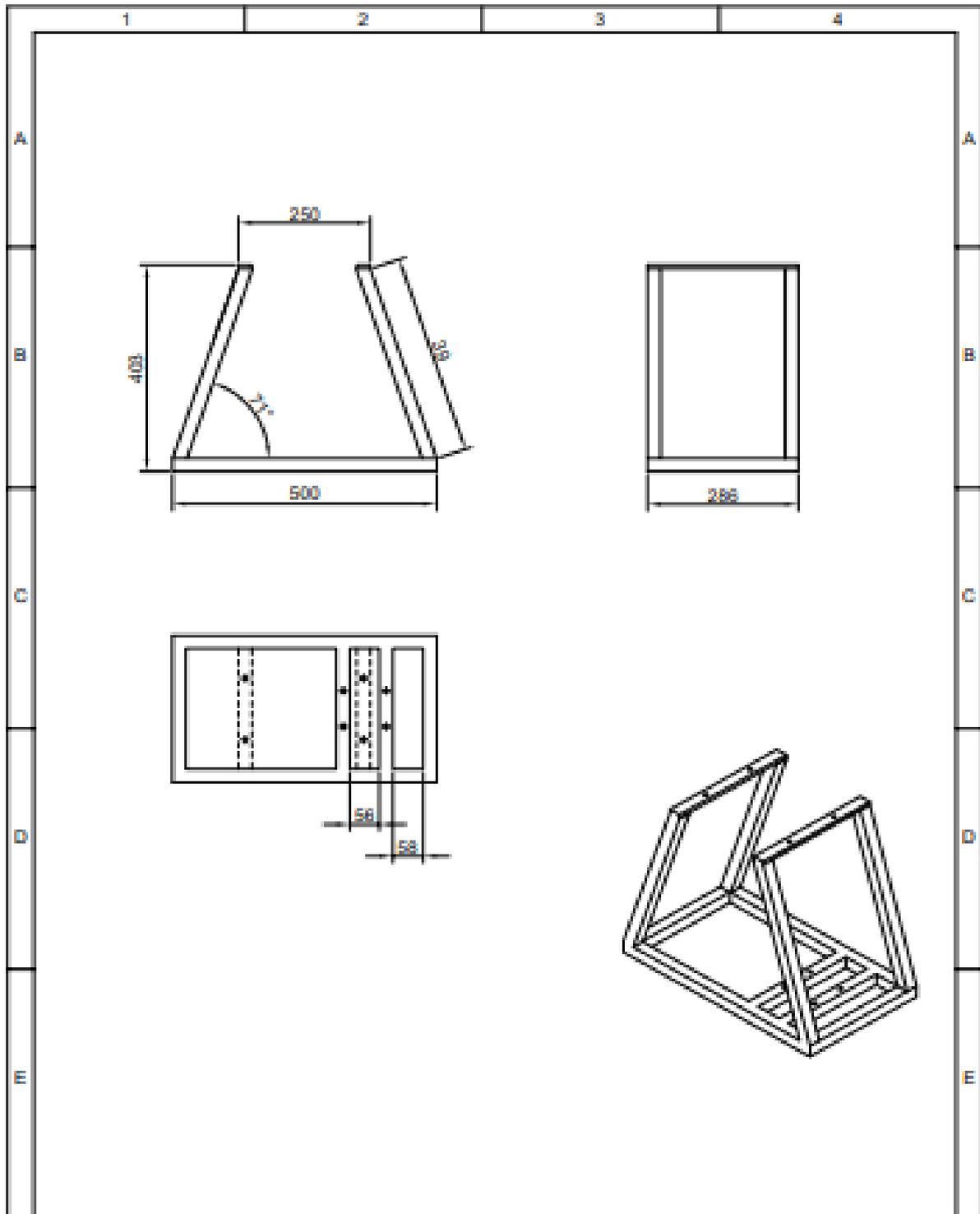


Anexo 3. Plano de estructura base



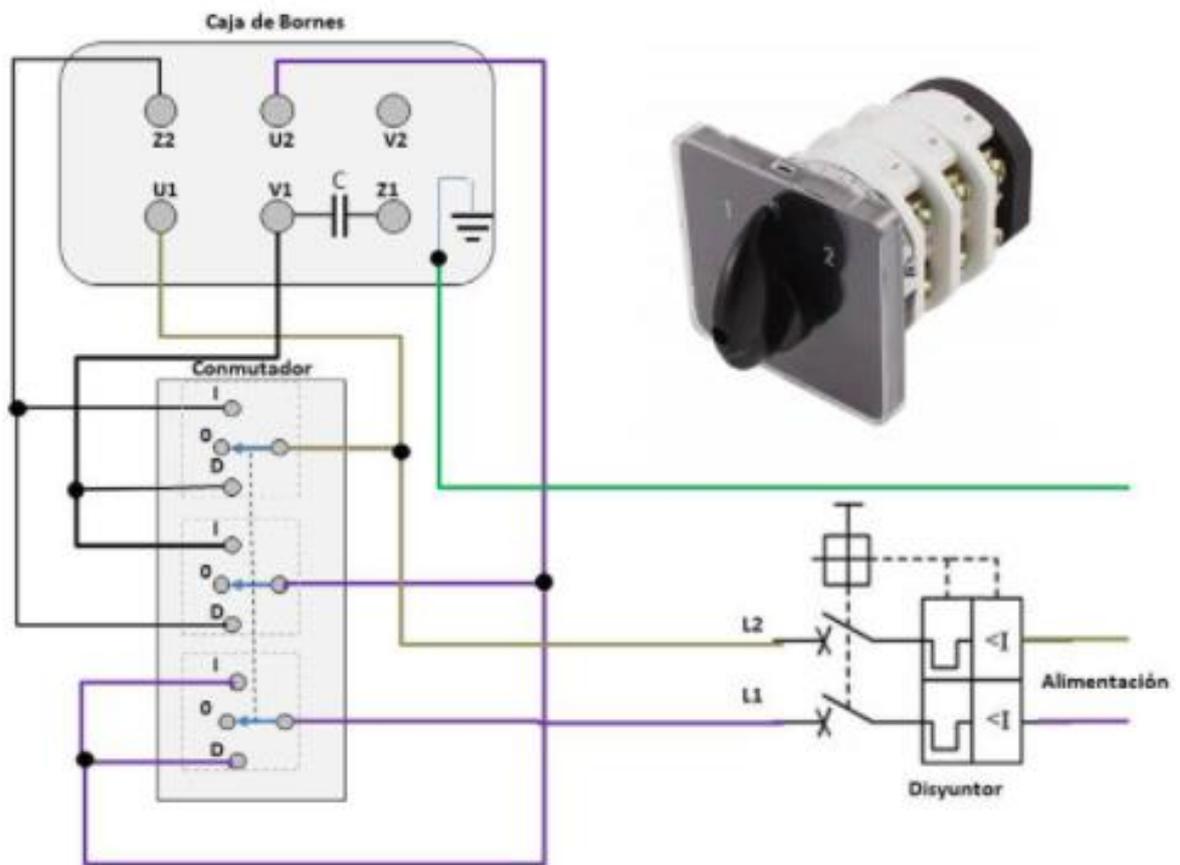
				Tolerancia:	Peso(kg):	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA	
				Material:			
				Dib:	Fecha:	Nombre:	Conjunto:
				Rev:			Estructura Base
				Apro:			Elemento:
Edic.	Modificación	Fecha	Resp.				Escala:
							1:1
							Nº 1
							Observaciones:

Anexo 4. Canasta de soporte



				Tolerancia:	Peso(kg):	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA	
				Material:			
				Fecha:	Nombre:	Conjunto: Canasta	Escala:
				Dib:			1:1
				Rev:			
				Apro:		Elemento:	N° 2
Edic.	Modificación	Fecha	Resp.			Observaciones:	

Anexo 9. Diagrama de motor



Anexo 10. Posicionamiento del movimiento diario (Este – Oeste)



Anexo 11. Posicionamiento del movimiento anual (Norte – Sur)



PLAN DE MANTENIMIENTO SEGUIDOR SOLAR

Tarea de mantenimiento (Cada 24 horas)	Control	Cambio/Servicio/Limpieza	Tome nota	Código(s) del ítem
Ruidos anormales mecanismo móviles	x			
Inspección visual de pernos o elementos sueltos	x			
temperatura anormal motores (tacto)	x			
Limpieza				
limpieza de paneles solares		x		
Tarea de mantenimiento (Cada 50 horas)	Control	Cambio/Servicio/Limpieza	Tome nota	Código(s) del ítem
Revisión visual de terminales eléctricos	x			
Revisión de niveles de aceite en cajas reductoras	x	x		
sensores electrónicos		x		
Lavado & Limpieza				
limpieza exceso de grasa en las chumaceras		x		
Lubricación				
Engrasado de chumaceras movimiento diario	x	x		
Engrasado de chumaceras movimiento trimestral	x	x		
ajuste tablero eléctrico		x		
Tarea de mantenimiento (Cada 200 horas)	Control	Cambio/Servicio/Limpieza	Tome nota	Código(s) del ítem
sistema eléctrico Ajuste de partes y terminales	x	x		

Tarea de mantenimiento (Cada 600 horas)	Control	Cambio/Servicie/Limpieza	Tome nota	
cambio de aceite en las cajas reductoras	x	x		Código(s) del ítem
Motores Eléctricos analisis de temperatura	x	x		
Tarea de mantenimiento (Cada 1200 horas)	Control	Cambio/Servicie/Limpieza	Tome nota	Código(s) del ítem
Pintura de estructura		x		
Tarea de mantenimiento (Cada 2000...2500 horas)	Control	Cambio/Servicie/Limpieza	Tome nota	Código(s) del ítem
Cambio chumaceras bandas		x		
Cambio de rodamientos motor y caja reductora		x		

Horas de funcionamiento trabajando en un turno / día: Diario = aprox.8 horas, Semanal= ~40horas, Mensual= ~150horas, Trimestral= ~450horas, Anual= ~1500...1800horas

REALIZADO POR:

Gustavo Patricio Vaca
José Sebastián vega

REVISADO POR:

Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina M.Sc.
Tutor Académico
CC: 050284769-2