

NOMBRE DEL TRABAJO

**SEGUIDOR SOLAR DE MOVIMIENTO AZI
MUTAL PARA CONCENTRADOR SOLAR
HÍBRIDO**

AUTOR

Wilson Ferney Mesa Mancipe

RECUENTO DE PALABRAS

18487 Words

RECUENTO DE CARACTERES

98006 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

117 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

83.8MB

FECHA DE ENTREGA

May 9, 2023 5:21 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 9, 2023 5:23 PM GMT-5**● 11% de similitud general**

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

- 11% Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- Material bibliográfico
- Material citado
- Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



**SEGUIDOR SOLAR DE MOVIMIENTO AZIMUTAL PARA CONCENTRADOR
SOLAR HÍBRIDO**

Wilson Ferney Mesa Mancipe

20451712472

35 Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2023

**SEGUIDOR SOLAR DE MOVIMIENTO AZIMUTAL PARA CONCENTRADOR
SOLAR HÍBRIDO**

Wilson Ferney Mesa Mancipe

21 Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

INGENIERO MECÁNICO

Director:

PhD. Carlos Ramón Batista Rodríguez

Línea de Investigación:

26 Tecnologías para el aprovechamiento de energías renovables.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

Seguidor solar de movimiento azimutal para concentrador solar híbrido,

²⁵ Cumple con los requisitos para optar

Al título de ingeniero mecánico.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Tunja, 9 de mayo de 2023.

Resumen		12
Abstract		13
Introducción		14
1. MARCO TEÓRICO		20
1.1.	Aprovechamiento de las energías renovables en el mundo	20
1.2.	Energía solar	20
1.2.1.	Tipos de energía solar	21
1.2.1.1.	Energía solar térmica	21
1.2.1.1.1.	Energía solar térmica pasiva	21
1.2.1.2.	Energía solar fotovoltaica	22
1.2.2.	Aprovechamiento de la energía solar	22
1.2.2.1.	Mediante paneles solares con células fotovoltaicas	22
1.2.2.2.	Mediante colectores solares	22
1.2.3.	Beneficios de la energía solar	22
1.2.4.	Energía solar FV en Colombia	23
1.2.5.	Importancia de la radiación solar	24
1.2.5.1.	Radiación solar en Tunja	25
1.3.	Posicionamiento del sol	26
1.3.1.	Coordenadas celestes ecuatoriales	26
1.3.2.	Dirección de la radiación del haz	27
1.3.3.	Coordenadas geográficas de Tunja	30
1.4.	Colectores solares	30
1.4.1.	Tipos de colectores solares	30
1.4.1.1.	Colectores solares usados para generar calor	30
1.4.1.2.	Colectores solares para generar electricidad	31
1.4.1.3.	Colectores solares para generar refrigeración	31
1.5.	Sistemas de seguimiento solar	32
1.6.	Herramientas CAD	35
1.7.	Transmisión de movimiento por engranajes	36
1.7.1.	Tipos de mecanismos de transmisión	37
1.7.1.1.	Engranaje-cadena	37
1.7.1.2.	Tren de engranajes	38
1.7.1.3.	Engranajes cónicos	38
1.7.1.4.	Engranaje-tornillo sin fin	39

1.7.1.5.	<i>Piñón-cremallera</i>	40
1.8.	Motor paso a paso	40
1.9.	Controlador Arduino	41
1.9.1.	<i>¿Qué es un Arduino?</i>	41
1.9.2.	<i>Cómo funciona Arduino</i>	42
2.	DISEÑO DE ESTRUCTURA DE SEGUIDOR SOLAR	43
2.1.	Requerimientos de diseño	43
2.1.1.	<i>Requerimientos estructurales</i>	43
2.1.2.	<i>Requerimientos de función y uso</i>	44
2.2.	Diseño conceptual	44
2.2.1.	<i>Cálculos</i>	45
2.2.1.1.	<i>Angulo horario</i>	45
2.2.1.2.	<i>Declinación</i>	45
2.2.1.3.	<i>Posición</i>	45
2.2.1.4.	<i>Angulo cenital</i>	46
2.3.	Diseño de los componentes del mecanismo	50
2.3.1.	<i>Riel guía</i>	51
2.3.2.	<i>Mecanismo de rodamientos</i>	52
2.3.3.	<i>Encaje y graduación de ángulo cenital del captador</i>	54
2.3.4.	<i>Base del captador</i>	55
2.3.5.	<i>Sistema de transmisión de movimiento azimutal</i>	56
2.3.6.	<i>Motor</i>	57
3.	CONSTRUCCION DEL MECANISMO DE SEGUIMIENTO SOLAR.	62
3.1.	Corte de materiales y ensamble de los componentes	62
Fuente: autor	62
3.1.1.	<i>Base del captador</i>	63
3.1.2.	<i>Riel guía</i>	64
3.1.3.	<i>Mecanismo de rodamientos</i>	66
3.1.4.	<i>Encaje y graduación de ángulo cenital del captador</i>	66
3.1.5.	<i>Montaje y adecuación de motor</i>	67
3.1.6.	<i>Montaje y adecuación del sistema de transmisión</i>	68
3.1.7.	<i>Detalles estructurales de la base del captador</i>	69
3.1.8.	<i>Recubrimiento y detallado de la estructura</i>	70
3.1.9.	<i>Montaje y conexiones del sistema de control</i>	71
4.	ENSAYO DEL SEGUIDOR SOLAR	75
4.1.	Programación del sistema de control	75
4.2.	Instalación de marquillas adhesivas	78
4.3.	Engrase de componentes del mecanismo	79
7.	Anexos	87

Anexo A.	Presupuesto	87
Anexo B.	Cálculo de declinación y ángulos cenitales para 365 días de 6am a 6pm	88
Anexo C.	Cálculo de posición y ángulos azimutales para 365 días de 6am a 6pm.....	95
Anexo D.	Simulación estática de las piezas del mecanismo	102
Anexo E.	Código de programación de la placa Arduino.....	106
Anexo F.	Elevación solar y azimut en Tunja	112
Anexo G.	Comportamiento de los rayos del sol tomando la ubicación de la UAN	113
8.	Referencias bibliográficas	114

1. Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Consumo de energías renovables para el año 2016.....	20
Figura 2. Ejemplo pronóstico de irradiación solar 19 de abril 2023.....	25
Figura 3. Promedio mensual de radiación global en Tunja.	26
Figura 4. Sistema Coordenadas celestes ecuatoriales.....	27
Figura 5. Angulo cenital, pendiente, ángulo azimutal de la superficie y ángulo azimutal solar para una superficie inclinada	28
Figura 6. Vista en planta que muestra el ángulo de azimut solar	29
Figura 7. Refrigerador solar por absorción para la producción de hielo (Centro de Investigación en Energía, UNAM). Izquierda: concentrador solar parabólico compuesto; derecha: caja frigorífica.	32
Figura 8. Software de modelado 3D	36
Figura 9. mecanismo Engranaje-cadena	37
Figura 10. mecanismo de tren de engranajes.....	38
Figura 11. mecanismo de engranajes cónicos.....	39
Figura 12. mecanismo engranaje - tornillo sin fin.....	39
Figura 13. mecanismo piñón - cremallera	40
Figura 14. Esquema motor paso a paso	41
Figura 15. Esquema de placa Arduino.....	42
Figura 16. bosquejo del captador de canal compuesto	43
Figura 17. Comportamiento de los ángulos azimutales con respecto al plano	49
Figura 18. Ensamble de componentes diseñados.....	51
Figura 19. Diseño de riel a detalle de guía para rodamientos.....	51
Figura 20. Diseño de estructura total para los rieles guía.....	52
Figura 21. Rodamiento para el sistema de rodamientos	53
Figura 22. Diseño de mecanismo de rodamientos	53
Figura 23. Diseño del encaje del captador.....	54
Figura 24. Diseño de graduación de ángulo cenital.....	54
Figura 25. Diseño de la base del captador (autoría propia)	55
Figura 26. Detalle de encajes de la base del captador	56
Figura 27. Mecanismo de transmisión piñón-cadena	56
Figura 28. Tracción ferroviaria y adherencia a la rodadura.....	57
Figura 29. Motor paso a paso nema 23 (autoría propia).....	58
Figura 30. Componentes de controlador de motor nema 23.....	59
Figura 31. Coeficiente de seguridad máximo y mínimo del ensamble estructural.....	60
Figura 32. Tensión de Von Mises máxima y mínima del ensamble estructural.....	60
Figura 33. Desplazamiento máximo y mínimo del ensamble estructural.....	61
Figura 34. Simulación con ajuste de visualización.....	61
Figura 35. Materiales para construcción de la estructura (Homecenter, 2022).....	62
Figura 36. Construcción de la base del captador	63
Figura 37. Detalle de construcción de encajes y soportes del captador.....	64

Figura 38. Curvatura y corte de los perfiles (autoría propia).....	64
Figura 39. Fijación de las medidas de los rieles guía	65
Figura 40. Ensamble de refuerzos y cadena en la estructura de rieles (autoría propia).....	65
Figura 41. Ensamble del mecanismo de rodamientos.....	66
Figura 42. Construcción de encajes y graduación del captador.....	67
Figura 43. Adecuación de motor nema 23 a caja reductora.....	67
Figura 44. Montaje carcasa y soporte de motor.....	68
Figura 45. Adecuación del motor al sistema de transmisión	69
Figura 46. Detalles estructurales de la base del captador	69
Figura 47. Estructura de anclaje del motor	70
Figura 48. Detalle de proceso de recubrimiento de la estructura metálica	70
Figura 49. Estructura metálica terminada	71
Figura 50. Caja de inspección hermética del sistema de control	72
Figura 51. Sistema de control con sus componentes (autoría propia)	72
Figura 52. Configuración del controlador del motor paso a paso (autoría propia).....	75
Figura 53. Marquillas operacionales y graduación cenital del mecanismo	78
Figura 54. Marquillas de posición azimutal.....	78
Figura 55. Engrase de encajes y tornillos pasantes de la estructura	79
Figura 56. Engrase del sistema de engranaje	79
Figura 57. Programación de prueba Arduino.....	80
Figura 58. Fuente de alimentación para pruebas del mecanismo	80
Figura 59. Prueba de posición de ángulos azimutales	81
Figura 60. Consumos amperimétricos del sistema de control	81
Figura 61. Prueba 2: peso de 110 lb soportado en la base.....	83
Figura 62. Prueba 2: peso de 55 lb soportado en el eje	83
Figura 63. tiempos cronometrados en el ensayo del mecanismo.....	84

2. ⁴² Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Potencial de la energía solar en Colombia.....	24
Tabla 2. Ángulos horarios entre las 6am y 6pm	45
Tabla 3. Resumen posición norte o sur durante el año (autoría propia)	46
Tabla 4. Cálculo de los ángulos cenitales para los días 1,2 y 3 en el horario de 6 a.m. a 6p.m ..	46
Tabla 5. Promedio de ángulos cenitales de 6 am - 6 pm.....	47
Tabla 6. Promedio de ángulos cenitales de 9 am - 3 pm (autoría propia).....	47
Tabla 7. Cálculo de los ángulos azimutales en el horario de 6 a.m. a 6p.m (autoría propia)	48
Tabla 8. Promedios de ángulos azimutales para la posición sur y norte.....	49
Tabla 9. Ángulos azimutales concluidos para el diseño del mecanismo (autoría propia)	50
Tabla 10. Herramientas y materiales de trabajo.....	62
Tabla 11. Descripción de conexiones para los componentes electrónicos del sistema de control	73
Tabla 12. Cálculos de programación para los ángulos azimutales en la posición SUR	77
Tabla 13. Cálculos de programación para los ángulos azimutales en la posición NORTE.....	77

(Dedicatoria)

Dedico el resultado de este trabajo a mi padre y madre quienes fueron el apoyo incondicional en lo moral y económico durante todo mi proceso académico. También, quiero dedicarle este trabajo a mi bebé que viene en camino que sin duda es lo mejor que me ha pasado, y ha llegado en el momento justo para darme el último empujón que me faltaba para terminar el proyecto.

“Lo que con mucho trabajo se obtiene, más se ama”

Aristóteles

Agradecimientos

Quiero en primer lugar agradecer a dios por regalarme la paciencia, sabiduría y entendimiento para sacar a flote este proyecto. Quiero dar las gracias a mi director de proyecto PhD. Carlos Ramón Batista Rodríguez por ser mi guía, brindándome sus conocimientos durante todo el proceso del desarrollo de este proyecto y lograr culminarlo con éxito. También quiero agradecer a todos los docentes de la UAN que estuvieron presentes durante mi formación académica, en especial al Ing. Omar Rojas quien estuvo presente guiándome desde un inicio de la tesis.

Quiero agradecer a mis padres por brindarme siempre su apoyo desde un inicio de mi carrera y quienes estuvieron insistiéndome siempre por la culminación del proyecto, colaborándome en todo lo que estuviera a su alcance, y enseñándome que nunca hay que renunciar a las metas por difíciles que sean de alcanzar.

Resumen

En la UAN se desarrolló un concentrador parabólico compuesto que actualmente concentra la energía solar estática y no presenta mayor eficiencia en la recolección de energía, para lo cual, se requiere realizar un diseño de un mecanismo que permita el seguimiento del movimiento cenital y azimutal del sol con el fin de aprovechar al máximo la energía directa que este emite y obtener una mayor cantidad de energía recolectada. El proyecto desarrollado tiene como objetivo el diseño, construcción y ensayo de un mecanismo de movimiento azimutal de un concentrador solar híbrido (canal compuesto parabólico), donde se llevará una metodología cualitativa y cuantitativa que permita de manera eficiente cumplir con la problemática existente. Este trabajo consta de 4 etapas. La primera se lleva a cabo las investigaciones con fuentes primarias y secundarias con relación al objetivo general, la cuales servirán como base para el desarrollo de la segunda, tercer y cuarta etapa que constan del diseño, construcción y como ultima el ensayo y simulación del mecanismo de movimiento azimutal del canal compuesto parabólico. Al realizar la construcción del mecanismo se analizaron y se buscaron estrategias para la posibilidad de utilizar materiales de segundo uso, como lo fueron las cadenas, ejes, platinas y reutilización de motores, disminuyendo considerablemente los costos totales del proyecto. También estuvo basado en la posibilidad de emplearse en zonas rurales, por lo que se analizaron datos obtenidos y se fijaron datos apropiados para un sencillo control del mecanismo. El mecanismo de seguimiento solar alcanza una alta precisión debido a que se usó un motor paso a paso controlado por Arduino, siendo ($1\text{paso}=0,045\text{ mm}=0,00117^\circ$); y también logra un bajo consumo de energía al día de (11,1 Watt) lo que hace el proyecto desarrollado sea eficiente.

Palabras clave: Movimiento cenital y azimutal, canal compuesto parabólico, seguidores solares, controlador Arduino.

Abstract

A compound parabolic concentrator was developed at UAN that currently concentrates static solar energy and does not present greater efficiency in energy collection, for which, it is required to design a mechanism that allows tracking the zenith and azimuthal movement of the sun in order to maximize the direct energy emitted by it and obtain a greater amount of energy collected. The objective of the project is the design, construction and testing of a mechanism of azimuthal movement of a hybrid solar concentrator (parabolic compound channel), where a qualitative and quantitative methodology will be used to efficiently meet the existing problems. This work consists of 4 stages. The first one is carried out the investigations with primary and secondary sources in relation to the general objective, which will serve as a base for the development of the second, third and fourth stages that consist of the design, construction and as a last one the test and simulation of the mechanism of azimuthal movement of the parabolic compound trough. In the construction of the mechanism, strategies were analyzed and sought for the possibility of using second use materials, such as chains, shafts, platens and reuse of motors, considerably reducing the total costs of the project. It was also based on the possibility of being used in rural areas, so data obtained were analyzed and appropriate data were set for a simple control of the mechanism. The solar tracking mechanism achieves high precision due to the use of a stepper motor controlled by Arduino, being (1 step=0.045 mm=0.00117°); and also achieves a low energy consumption per day of (11,1 Watt) which makes the developed project efficient.

Keywords: zenith and azimuthal movement, parabolic compound channel, solar trackers, Arduino controller.

Introducción

En la actualidad el mundo se enfoca en el aprovechamiento de las energías renovables, que no generan un impacto negativo en el medio ambiente y a su vez ayuda al potenciar el ahorro energético. En esta línea, se han llevado a cabo diferentes investigaciones que promueven la energía solar, dentro de las cuales están las dirigidas a mejorar su captación. En los últimos años existen diferentes tipos de concentradores solares térmicos como son captador plano, captador de tubo de vacío, plano para piscinas, espejos planos o lentes Fresnel lineales, canales parabólicos, concentrador solar lineal, puntual y circular, como también en función de su tecnología y rendimiento como son polimérico de una sola placa, polimérico multitubo, tubos de vacío de circulación directa y con sistema Heat-Pipes (Carbonell, 2022).

Dentro de las opciones que se estudian está el sistema de canal compuesto parabólico que permite que la radiación solar que incide paralela al eje focal de la parábola se concentre en su foco (UNAM, 2015). A partir de investigaciones que se han realizado en la UAN, se ha diseñado un sistema de captador de canal compuesto parabólico híbrido al cual se va a incorporar el mecanismo de seguimiento azimutal y de variación cenital que se va a diseñar. El mecanismo diseñado se basará en un seguidor de dos ejes, este tipo de sistemas son diseñados para maximizar la producción de energía durante todo el año. Los sistemas de seguidor mecánico pueden presentar sistemas de motor eléctrico que son los usados. Este tipo de sistemas ofrece un aumento de rendimiento del 30% a 45%. (sotysolar, 2020)

Sin embargo, para dar comienzo a cada una de las etapas del presente trabajo se realiza diferentes investigaciones en repositorios universitarios con el fin de tener un panorama más amplio y que servirán como referencia y base de discusión para el desarrollo del presente trabajo.

ANTECEDENTES

La transformación energética ha sido factor fundamental en el progreso económico del mundo. Desde la invención de la máquina de vapor a partir del siglo XVIII en Gran Bretaña, se produjo la capacidad de transformar el calor en tracción mecánica, incrementando la capacidad productiva de las primeras sociedades industriales y que durante el siglo XIX se extendió al resto de Europa y a América del Norte, teniendo como combustible básico el carbón. Esta transformación energética fue seguida unos cien años más tarde, por el uso generalizado de la energía eléctrica cuyos beneficios no solo aumentaron la versatilidad de las fuentes energéticas, sino que dio un gran impulso a los niveles de vida de las sociedades occidentales. Sin embargo, el uso del carbón fue disminuyendo cuando se comenzó a utilizar un nuevo combustible fósil, el petróleo, que modificaría radicalmente la estructura productiva de una buena parte de las economías del mundo, puesto que este combustible y sus derivados fomentaron el perfeccionamiento de los motores y en general de los medios de transportes como la aparición del automóvil, la aviación y el desarrollo de las industrias químicas (Chue, 2010).

En el 2018 Joel Hernández de la Universidad Tecnológica de Xicotepec realizó un ⁴⁴ **Diseño y construcción de un seguidor solar para aplicaciones en solarimetría”,** se basó en un prototipo de un sistema mecánico que sostiene a un panel solar fotovoltaico, así como a otros instrumentos especiales de medición y tiene la capacidad de orientarlos para lograr que estos permanezcan siempre perpendiculares a los rayos del sol mediante una trayectoria que permite seguir el movimiento del sol y a su vez la recolección de diferentes datos o variables solares y climáticas. Se usó un sistema integrados de tres partes: Una parte mecánica que consistía en tres eslabones articulados tipo esfera para logra el movimiento de configuración esférica, un diseño basado en el software SolidWorks, y una parte electrónica construida con sensores, un solarímetro, un panel

solar fotovoltaico, dos servomotores y una tarjeta electrónica. Con este dispositivo automatizado se logró crear una herramienta que permite la obtención y aportación de datos importantes para realizar cálculos para el correcto dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos (Hernandez, 2018).

De igual forma, la investigación de diseño y construcción de seguimiento fotovoltaico, realizada por Jonathan Sumano, el cual tiene como objetivo seguir la trayectoria del sol, posicionándose en el punto de máxima irradiación solar, usando una carta solar para calcular los ángulos de posicionamiento requeridos, y así mejorar la potencia eléctrica generada por un panel fotovoltaico. La metodología tuvo 11 variables las cuales fueron: determinación de las variables de entrada y salida, diseño y construcción del sistema activo, construcción de piezas, diseño asistido por computadora, Implementación del algoritmo, comunicación puerto serie y pruebas, Diseño y simulación del sistema electrónico, simulación, construcción del sistema electrónico, Ensamble final y prueba final y correcciones. Como resultado se obtiene un sistema que se posiciona en forma automática en el punto de máxima irradiación solar a través del algoritmo que calcula los ángulos de azimut y de elevación necesario. Los ángulos así calculados y parámetros de ganancia de los controladores que permiten posicionar los motores de cada eje del sistema, son enviados a un microcontrolador ATmega16 mediante el puerto serie de una PC (Sumano, 2012).

Adicionalmente en la investigación de Velázquez tuvo como objetivo construir e instrumentar un robot seguidor solar de dos grados de libertad de cadena cinemática abiertas por juntas independientes para determinar la orientación de un sistema Grid de paneles fotovoltaicos, con el fin de incrementar la captación de energía solar garantizando una mayor conversión energética, adicionalmente diseñar el efector final del robot. La investigación se realizó en dos ámbitos principales el primero y más importante se asocia al desarrollo de un sistema robótico

seguidor robótico solar capaz de obtener la mejor orientación en un sitio cualquiera sin importar si se encuentra despejado o en zona urbana usando un arreglo de paneles fotovoltaicos. Dicha orientación se obtiene mediante la búsqueda del área mínima del medio a través de la adquisición y procesamiento de las señales salida de un conjunto de sensores instalados en el efector final del robot. De manera secundaria a propuesta también resuelve la accesibilidad al sistema fotovoltaico; instala sistema robótico en conjunto con la " Grid " a nivel del suelo, promueve mantenimiento adecuado del equipo, así como planeación de trayectorias accesible al usuario encargado de manipular al sistema. Esta investigación proporciona resolver una problemática en tiempo real y en la generación una trayectoria limpia que aproveche la máxima captación de radiación solar (Velazquez, 2018).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en la Universidad Antonio Nariño se están llevando a cabo proyectos de investigación que buscan aprovechar al máximo las energías limpias y amigables con el medio ambiente, logrando un impacto positivo con el mismo. Uno de los proyectos de investigación adelantados por la UAN consiste en un canal compuesto parabólico que se encarga de captar energía solar directa. Dicho captador actualmente lo hace de forma estática y no presenta mayor eficiencia en la recolección de energía, para lo cual, se requiere realizar un diseño de un mecanismo que permita el seguimiento del movimiento azimutal del ³²sol con el fin de aprovechar al máximo la energía directa que este emite y obtener una mayor cantidad de energía recolectada.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué mecanismo de seguimiento azimutal requiere el canal de compuesto parabólico, para que pueda obtener una funcionalidad altamente eficiente?

OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un mecanismo de movimiento azimutal para un captador de canal compuesto parabólico que permita el seguimiento de la radiación directa del sol.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar mecanismos que permitan realizar movimientos azimutales y variación cenital.
- Simular estáticamente el mecanismo en un software CAD que permita conocer los esfuerzos, desplazamiento y factor de diseño.
- Construir un mecanismo de seguimiento de radiación solar directa para modelo a escala del captador de canal compuesto parabólico.
- Ensayar el modelo de seguimiento de radiación solar directa.

JUSTIFICACION

En los últimos años, las investigaciones con respecto a los sistemas solares se han dirigido al desarrollo de nuevas aplicaciones, así como en el creación y utilización de componentes que permitan una ⁵⁴ mayor eficiencia en la captación de energía. Este trabajo de investigación se enfoca en el diseño de un mecanismo para un colector solar de canal compuesto parabólico, que logre el seguimiento del movimiento azimutal del sol, ²⁸ con el fin de mejorar la captación de la radiación solar directa. Además, en la UAN se han creado programas que van enfocados a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, para el aprovechamiento de las energías renovables con el objetivo de crear nuevas alternativas de producción de energía. Este proyecto va orientado al aprovechamiento de la radiación solar, desarrollando nuevos modelos de colección de energía mitigando el impacto por el consumo excesivo de los combustibles fósiles.

ALCANCE

Con la realización de este proyecto de investigación se pretende alcanzar un diseño de un mecanismo de seguimiento solar para un captador de canal compuesto parabólico. Solo se simulará el movimiento mecánico del seguidor solar utilizando un movimiento azimutal que recorrerá 180° , y un movimiento cenital que recorrerá 60° , se fabricará el dispositivo a escala por costos, y se realizará la parte mecánica y electrónica que permitan la demostración del funcionamiento del seguidor solar diseñado. El desarrollo del mecanismo en el presente proyecto tiene como método un análisis de datos calculados, un diseño de acuerdo a requerimiento, una simulación de las estructuras diseñadas, la construcción de la totalidad del mecanismo y por último un ensayo de funcionamiento y desplazamiento del captador.

LIMITACIONES

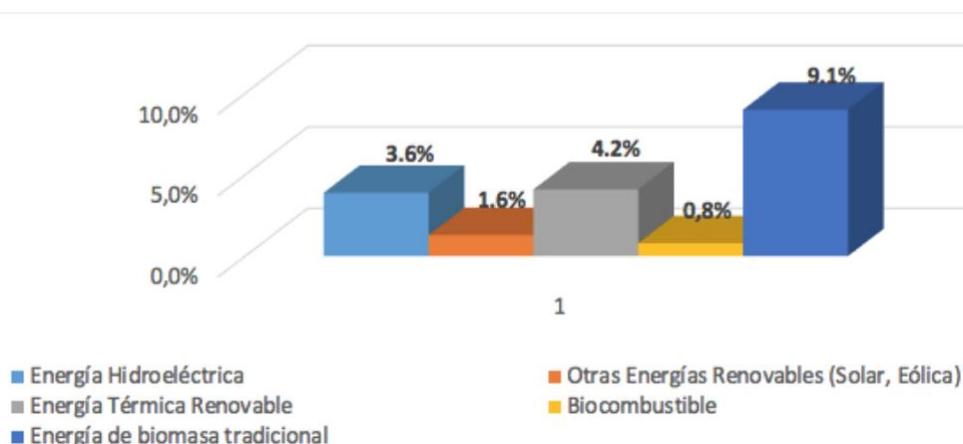
No se acoplará el captador al mecanismo desarrollado y solo se harán pruebas necesarias con pesos similares al del captador para permitir observa el funcionamiento del mecanismo.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Aprovechamiento de las energías renovables en el mundo

Según la Agencia Internacional de Energías Renovables, en el año 2016 las ER proporcionaron un estimado de 19.3% del consumo mundial de energía. Se destaca la producción de energía a partir de la biomasa para calefacción y cocina en las áreas rurales en los países en vía de desarrollo con una representación alrededor del 9.1%, y una participación del 10.2% para las ER modernas como la energía solar fotovoltaica, eólica, hidroeléctrica, solar térmica y biocombustibles, representados en la **Figura 1** (Collart Dutilleul, 2019).

Figura 1. Consumo de energías renovables para el año 2016



Fuente: (Collart Dutilleul, 2019)

1.2. Energía solar

De acuerdo a (Meinel, 1982), la energía solar es una energía renovable obtenida a partir de la radiación electromagnética del Sol. Por tanto, el Sol es la fuente de energía que mantiene en el planeta vivo, este emite 62.600 KW por cada metro cuadrado, esto seguirá ocurriendo por unos 5 mil millones de años. La energía que brinda el Sol es tan grande que en solo 2 días se recibe lo equivalente a la reserva de carbón, gas y petróleos existentes lo cual resulta 60 veces lo que

consume la humanidad en un año. Es por esto que el Sol cumple un papel importante donde su energía llega a satisfacer las demandas energéticas del mundo.

Asimismo el libro realizado por (Sabry, 2022), dice que la energía solar es una energía renovable la cual el ser humano tiene intención de obtenerla de manera eficiente para su uso y aprovechamiento mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el paso del tiempo. Este tipo de energía es inagotable y muy abundante y por ello además de ser una fuente renovable, es una energía limpia y supone una alternativa a otros tipos de energía no renovables como la energía fósil o la energía nuclear.

1.2.1. Tipos de energía solar

Según el fin o aplicación para el que se genere, existen tres tipos de energía solar:

1.2.1.1. Energía solar térmica

El sistema de energía solar térmica aprovecha la capacidad calorífica del Sol. La radiación solar se convierte en energía térmica para calentar un fluido que se puede utilizar para calefacción, agua caliente sanitaria. En las centrales termosolares se genera vapor y, posteriormente, electricidad. (Monge Malo, 2013). De acuerdo a la página Repsol existe otra variante llamada energía termosolar de concentración. Este sistema funciona con una serie de lentes o espejos que concentran la luz solar en una superficie concreta. La energía que se genera a través de este procedimiento se destina a la producción de electricidad, utilizando el calor para hervir agua que produzca vapor y movilice, por ejemplo, las turbinas de un generador (REPSOL, 2022).

1.2.1.1.1. Energía solar térmica pasiva

La arquitectura bioclimática es uno de los principales recolectores de energía solar pasiva. Las viviendas con este tipo de diseño están construidas con materiales específicos y orientaciones

especiales. La energía que capta la vivienda a lo largo del día sirve para mantenerla a buena temperatura durante la noche, pero también evita el exceso de calor en las horas de sol intenso (Monge Malo, 2013).

1.2.1.2. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina (Aguilar, F.J. Aledo, S. y Quiles, P. V, 2016).

1.2.2. Aprovechamiento de la energía solar

De acuerdo a (Planas, 2019), cuando esta energía llega a la Tierra, se puede aprovechar de muchas maneras:

1.2.2.1. Mediante paneles solares con células fotovoltaicas

Los paneles fotovoltaicos están compuestos por un material que al recibir la luz directamente se ionizan y liberan un electrón. De esta forma la radiación solar es transformada en energía eléctrica.

1.2.2.2. Mediante colectores solares

Los colectores solares están diseñados para convertir la radiación solar en energía térmica. Su propósito es calentar un fluido que circula por dentro. En este caso, no hay electricidad, pero si un fluido a una alta temperatura que se puede aprovechar en muchas aplicaciones.

1.2.3. Beneficios de la energía solar

De acuerdo a (Acevedo, 2012), la popularidad de este tipo de energía ha incitado que se democratice el acceso a fuentes de energía más verde. La producción de electricidad a través de la luz solar cuenta con múltiples ventajas y beneficios.

- Es una fuente de energía ecológica y cuya producción no produce residuos.
- ³⁴ El impacto de la energía solar fotovoltaica es mucho menor que, incluso, otras energías renovables como la eólica.
- Gracias al avance tecnológico, la energía solar es reaprovecharle. Y es que se puede almacenar energía solar para transformarla en energía eléctrica aprovechando así cualquier tipo de excedente generado.
- Contribuye al desarrollo sostenible.
- Ayuda a reducir el uso de combustibles fósiles

1.2.4. Energía solar FV en Colombia

En Colombia el potencial de la energía FV se ha calculado tomando como referencia la información suministrada por las estaciones meteorológicas instaladas por el Instituto de Estudios Ambientales (IDEAM). La UPME tiene a disposición de la comunidad general el atlas de radiación solar en Colombia, el cual fue realizado utilizando estaciones de brillo solar y estaciones radiométricas. A partir de esta información, se calculó el potencial solar para cada una de las regiones colombianas según se puede observar en la Tabla. (Collart Dutilleul, 2019).

⁶ Existe gran potencial de este recurso en el país, dada su localización entre latitudes 5 grados de latitud Sur (Leticia) y 13,5 grados de latitud Norte (San Andrés), un régimen de radiación solar con muy poca variación durante el año, y con promedios diarios mensuales que varían de región a región entre 4 kWh/día/m² y 6 kWh/día/m² según el Atlas de Radiación Solar de Colombia. Si se comparan estos valores con los de regiones ⁶ de máxima radiación a nivel mundial (por ejemplo, desierto del Sahara), se encuentra que el país tendría entre el 58% y el 85% de estos valores máximos. Las regiones con potencial más elevado son la Costa Atlántica al norte del país,

especialmente La Guajira, la región de Arauca y parte del Vichada, los valles del río Cauca y del río Magdalena y la región insular de San Andrés y Providencia. (CORPOEMA, 2010).

²³ **Tabla 1. Potencial de la energía solar en Colombia**

Región	kWh/m²/año
Guajira	2.190
Costa atlántica	1.825
Orinoquia	1.643
Amazonia	1.551
Andina	1.643
Costa pacifica	1.278

Fuente: (Collart Dutilleul, 2019)

1.2.5. ² **Importancia de la radiación solar**

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se dispersa ² a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La energía procedente del Sol es radiación electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrogeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar.

Medir la radiación solar es importante para un amplio rango de aplicaciones, en las áreas de ingeniería, arquitectura, agricultura, ganadería, salud humana y meteorología, dentro de las cuales se destacan: su empleo como fuente alternativa de energía en la generación de electricidad y en el diseño y uso de sistemas de calentamiento de agua, el diseño de edificios e infraestructura, el monitoreo del crecimiento de plantas, la deshidratación de alimentos, implicaciones en la salud, el análisis de la evaporación e irrigación, su importante rol en los modelos de calidad del aire y de

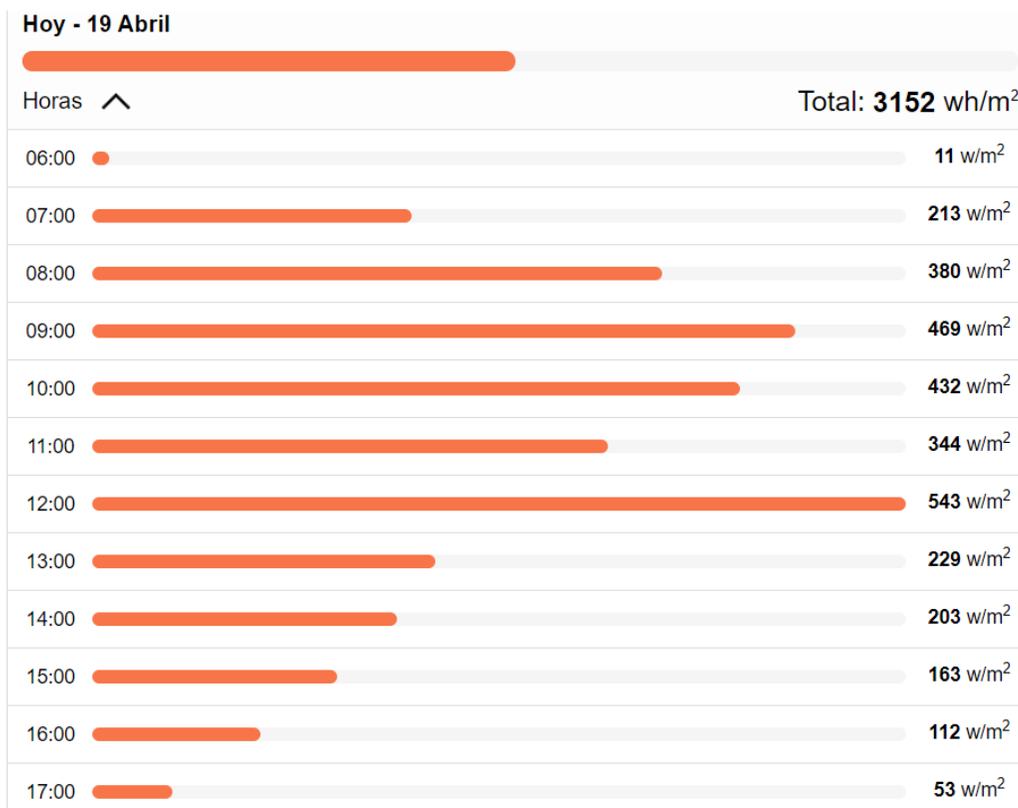
predicción del tiempo y el clima y muchas otras aplicaciones y usos que emplean la radiación solar como una de sus fuentes de energía (Ideam, 2023).

1.2.5.1. Radiación solar en Tunja

De acuerdo a (TuTiempo, 2023), se puede conocer el pronóstico de la radiación solar prevista. Si se dispone de algún sistema de placas solares estos datos serán útiles para prever la energía que producirá. La unidad de medida de la radiación solar se expresa en W/m² (Wattios por metro cuadrado). Se habla de radiación solar en términos generales, pero para referirse a las magnitudes hay que hablar de Irradiancia o de Irradiación.

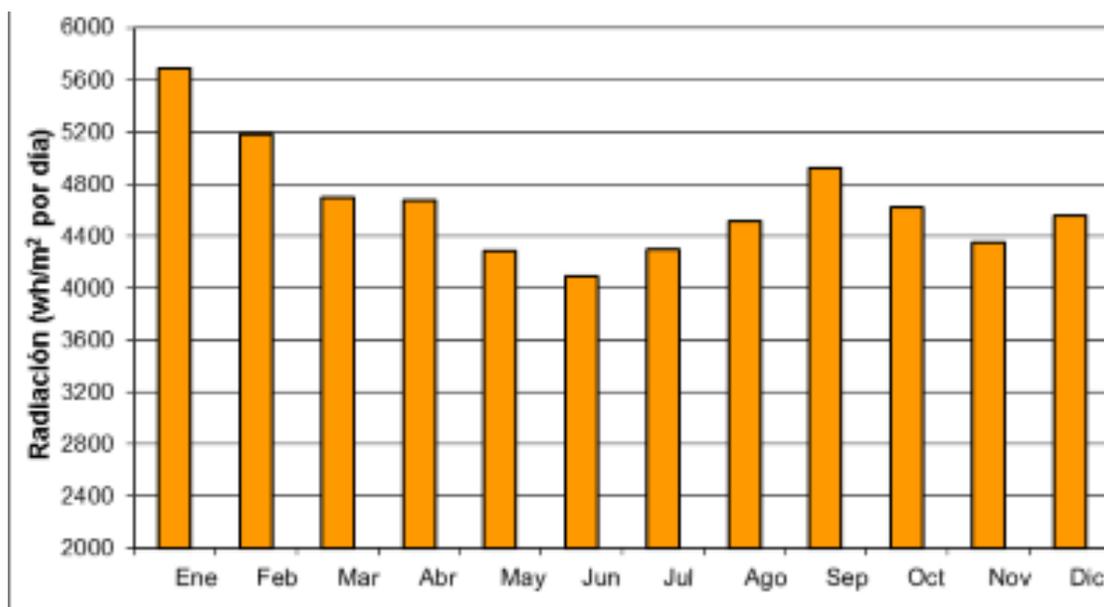
- **Irradiancia:** potencia de la radiación solar por unidad de área (W/m²).
- **Irradiación:** energía por unidad de área (Wh/m²).

Figura 2. Ejemplo pronóstico de irradiación solar 19 de abril 2023



Fuente: (TuTiempo, 2023)

Figura 3. Promedio mensual de radiación global en Tunja.



Fuente: (IDEAM A. , 2023)

1.3. Posicionamiento del sol

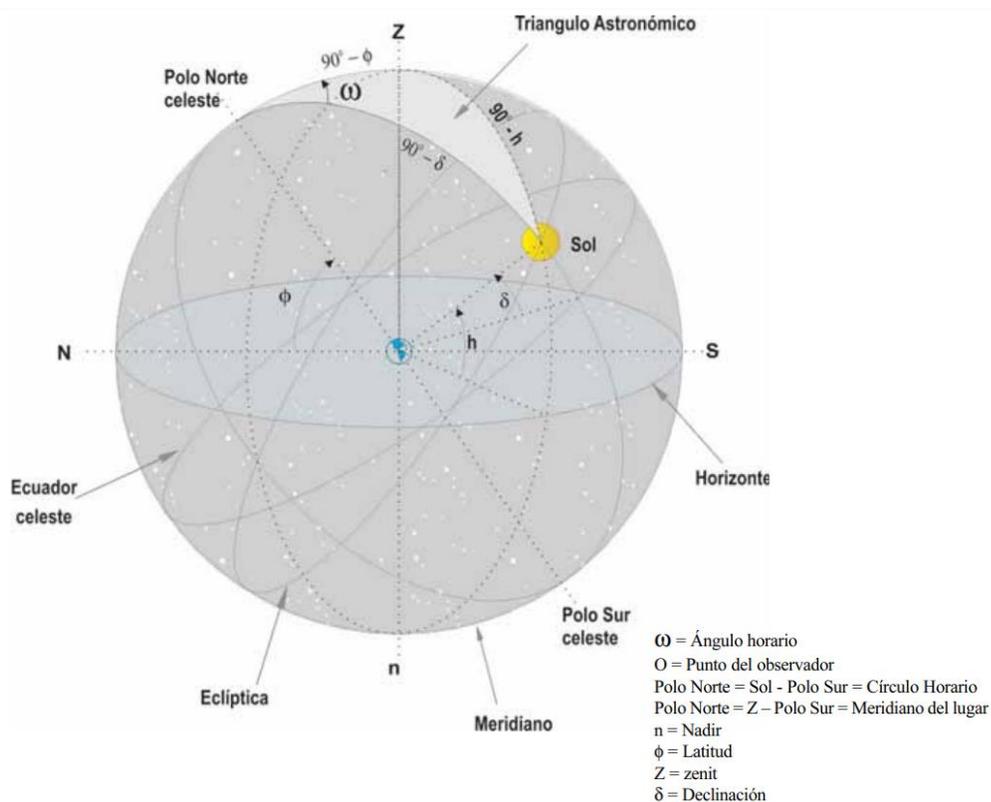
1.3.1. ²⁹ *Coordenadas celestes ecuatoriales*

En el sistema ecuatorial, la posición del Sol está determinada por la declinación (δ) y el ángulo horario (ω). El ángulo horario (ω) es el ángulo formado en el polo por la intersección entre el meridiano del observador y el meridiano del Sol (**Figura 4**); se expresa en unidades de arco (grados) o en unidades de tiempo (horas); su conversión es: 1 hora = 15° (IDEAM, 2005).

$$\omega = \frac{360^\circ}{24} (t - 12) \quad (1)$$

donde t es la hora local.

Figura 4. Sistema Coordenadas celestes ecuatoriales



Fuente: (IDEAM, 2005)

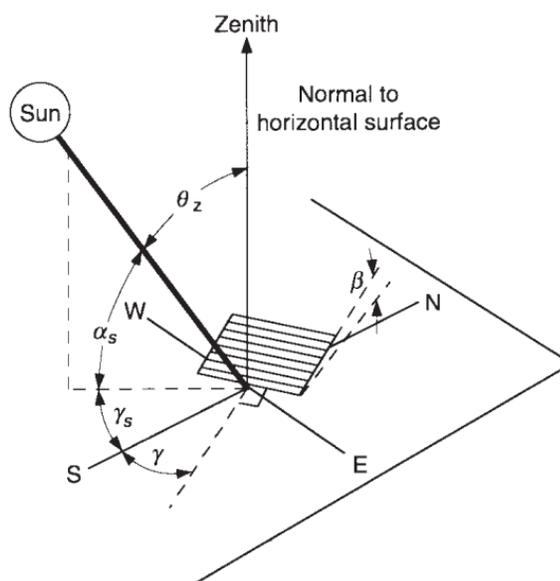
1.3.2. Dirección de la radiación del haz

Según (John A. Duffie, 2013), las relaciones geométricas entre un plano de cualquier orientación particular con respecto a la tierra en cualquier momento se puede describir en términos de varios ángulos (ya sea que ese plano esté fijo o en movimiento con respecto a la tierra). Los ángulos y un conjunto de convenciones de signos consistentes son los siguientes:

- ϕ Latitud, la ubicación angular al norte o al sur del ecuador, norte positivo; $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$.
- δ Declinación, la posición angular del sol en el mediodía solar (es decir, cuando el sol está en el meridiano local) con respecto al plano del ecuador, norte positivo; $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$.

- β Pendiente, el ángulo entre el plano de la superficie en cuestión y la horizontal; $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$. ($\beta > 90^\circ$ significa que la superficie tiene un componente que mira hacia abajo).

Figura 5. Ángulo cenital, pendiente, ángulo azimutal de la superficie y ángulo azimutal solar para una superficie inclinada



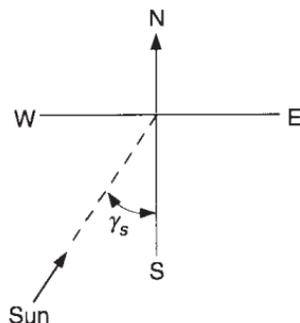
Fuente: (John A. Duffie, 2013)

- ¹¹ γ Ángulo de azimut de la superficie, la desviación de la proyección en un plano horizontal de la normal a la superficie desde el meridiano local, con cero hacia el sur, este negativo y oeste positivo; $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.
- ³ ω Ángulo horario, el desplazamiento angular del sol al este o al oeste del meridiano local debido a la rotación de la tierra sobre su eje a 15° por hora; negativo por la mañana, positivo por la tarde.
- θ Ángulo de incidencia, el ángulo entre la radiación del haz sobre una superficie y la normal a esa superficie.

Se definen ángulos adicionales que describen la posición del sol en el cielo:

- θ_z Ángulo cenital, el ángulo entre la vertical y la línea al sol, es decir, el ángulo de incidencia de la radiación del haz sobre una superficie horizontal.
- α_s Ángulo de altitud solar, el ángulo entre la horizontal y la línea al sol, es decir, el complemento del ángulo cenital.

Figura 6. Vista en planta que muestra el ángulo de azimut solar



Fuente: (John A. Duffie, 2013)

- γ_s Ángulo de azimut solar, el desplazamiento angular desde el sur de la proyección del haz de radiación en el plano horizontal, que se muestra en la **Figura 6**. Los desplazamientos al este del sur son negativos y al oeste del sur son positivos.
- La declinación δ se puede encontrar a partir de la ecuación aproximada de Cooper donde n es el día del año para el cual se calcula.

$$\delta = 23.45 \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2)$$

Para superficies horizontales, el ángulo de incidencia es el ángulo cenital del sol, θ_z . Su valor debe estar entre 0° y 90° cuando el sol está sobre el horizonte.

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \quad (3)$$

El ángulo de azimut solar γ_s puede tener valores en el rango de 180° a -180° . Para latitudes tropicales, γ_s es negativo cuando el ángulo horario es negativo y positivo cuando el ángulo horario

es positivo. La función de signo en la ecuación 4 es igual a +1 si ω es positivo y es igual a -1 si ω es negativo (John A. Duffie, 2013).

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_z \sin \varphi - \sin \delta}{\sin \theta_z \cos \varphi} \right) \right| \quad (4)$$

1.3.3. Coordenadas geográficas de Tunja

Tunja se encuentra en la latitud 5.53528 y longitud -73.36778. Hace parte del continente de América del Sur y está ubicado en el hemisferio norte (Ramírez Hernández, 2021).

1.4. Colectores solares

Según (Valdez Sals, 2006), un colector solar térmico es un componente de una instalación solar térmica encargado de capturar la radiación solar y transformarla en térmica. Este tipo de placa solar también se conoce con el nombre de captador solar térmico o panel solar térmico.

1.4.1. Tipos de colectores solares

Existen diferentes tipos de colectores solares en el mercado. Para lo cual considera (ROLDÁN VILORIA, 2022), tener en cuenta la función para la que se buscan los diferentes tipos de colectores solares y darle su debido uso según el tipo que sea:

1.4.1.1. Colectores solares usados para generar calor

- **No concentradores:** el área colectora (la que intercepta la radiación solar) es la misma que la que se encarga de absorber el calor.
- **Colectores con almacenamiento interno:** tienen una capacidad térmica adicional sin requerir un tanque de almacenamiento por separado.
- **Colectores planos y de tubos de vacío:** se usan para calentar o enfriar espacios y agua.

- **De aire:** calientan el aire directamente. Son usados en los sistemas comerciales e industriales de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Se clasifican en dos categorías: **Con cristal:** es un tipo de colector solar o captador solar que minimiza la pérdida de calor. **Sin cristal:** plato absorbente que deja pasar el aire a través del mismo y de esta forma separar el calor.
- **Tazón:** opera de forma similar al plato parabólico, sólo que tiene un espejo esférico con un receptor de seguimiento.

1.4.1.2. Colectores solares para generar electricidad

- **Colectores cilindro-parabólicos:** generalmente usados en plantas de energía solar. Están compuestos por un reflector parabólico en forma de canal que se utiliza para concentrar la luz solar en un tubo aislado o de calor, colocando un refrigerante en el punto focal, mismo que transfiere el calor de los colectores a las calderas en la estación de energía.
- **Plato solar parabólico:** este es el tipo de colector más poderoso. Consta de una o más parábolas que concentran la energía solar en un solo punto focal.
- **Torre de poder:** es una gran torre rodeada de espejos, que se alinean y concentran la luz solar sobre el receptor en la parte superior de la torre, el calor se transfiere a una estación eléctrica de potencia situada al pie de la torre.

1.4.1.3. Colectores solares para generar refrigeración

De acuerdo a un artículo publicado por la revista ciencia (Brown, 2010), una aplicación nada obvia de los colectores solares térmicos es la refrigeración y el aire acondicionado solares (**Figura 7**). Aunque resulte sorprendente, se puede producir enfriamiento usando el calor del Sol. De hecho, mientras más calor solar se tenga y mayor sea la temperatura que se alcance en el

colector solar, más frío se puede producir con el refrigerador. Para enfriar, hay que extraer calor del interior de la cámara frigorífica (un lugar frío), para depositarlo en el aire que lo rodea (un lugar más caliente). Las leyes básicas de la termodinámica establecen que para lograr este comportamiento “anómalo” se requiere invertir energía. En los refrigeradores convencionales esto se hace suministrando energía eléctrica a un compresor, mientras que en la refrigeración por absorción se usa calor.

Figura 7. Refrigerador solar por absorción para la producción de hielo (Centro de Investigación en Energía, UNAM). Izquierda: concentrador solar parabólico compuesto; derecha: caja frigorífica.



Fuente: (Brown, 2010)

1.5. Sistemas de seguimiento solar

Un artículo de la Universidad Guadalajara y departamento de ingeniería, publicado en 2020 por Rojano Cobián trata de un “Sistema de seguimiento solar de un eje para aumentar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos bajo distintas condiciones climáticas”, con el objetivo de mejorar la eficiencia de paneles solares fotovoltaicos. Este tipo de sistema está compuesto por cuatro partes básicas: soporte metálico del seguidor solar, el sistema de control de movimiento, la transmisión por cadena de rodillos y un panel solar fotovoltaico. Se comparó la eficiencia del sistema diseñado

con la de un sistema fotovoltaico fijo. Los resultados demostraron que la máxima eficiencia alcanzada por ambos sistemas fotovoltaicos se obtuvo entre las 14:00 y 14:15 horas, alcanzando valores por encima del 95 % para la condición de día soleado. Finalmente, el porcentaje promedio de la eficiencia del sistema de seguimiento solar fue mayor que el sistema fijo en un 20 %, aproximadamente. Al extraer más energía del panel fotovoltaico con seguimiento solar durante un tiempo mayor, promueve que el sistema propuesto sea más rentable comparado con la energía que se logra con paneles solares fijos (Cobián, 2020).

Debido a la cantidad de avances que se han dado a nivel energético el repositorio de la Universidad Nacional de Salta, Argentina señala lo siguiente “la conversión de energía solar es uno de los tópicos más importantes de investigación en energías renovables. Existen diversas formas de realizar esta transformación, una de ellas consiste en convertir la energía solar en energía térmica, utilizando concentradores solares, los mismos necesitan seguir la trayectoria del sol. Así mismo, existen diversos tipos de sistemas que cumplen este objetivo, los sistemas pasivos y los activos: que utilizan motores para orientarse. Básicamente los sistemas activos son dispositivos mecatrónicos que integran sistemas mecánicos y electrónicos. En lo que respecta al control se puede clasificar en sistemas de bucle abierto con fotosensores, estos sistemas son sensibles a los cambios climáticos y sistemas de bucle cerrado utilizando algoritmos matemáticos que ubiquen al concentrador según la hora, latitud del lugar. Finalmente, por el tipo de desplazamiento que deben realizar existen dos tipos básicos de concentradores: Sistemas de un eje, el concentrador debe seguir al sol desde el amanecer (este) hasta el atardecer (oeste) y sistemas de dos ejes que combinan dos (Belmonte, 2016).

Para (R.Agarwal, 2014), menciona que un sistema de seguimiento solar es un esfuerzo para incrementar la generación de energía a través de un módulo solar, haciendo que éste reciba la luz solar de manera perpendicular todo el tiempo.

Además de ello existen tipos de seguimiento solares de un eje y dos ejes, Para (Prinsloo, 2015) típicamente hay tres tipos de seguidores solares de un eje , estos son el seguidor de eje horizontal (el eje del seguimiento permanece paralelo a la superficie de la Tierra y siempre orientado en dirección este-oeste o norte-sur), seguidor de eje inclinado (el eje de seguimiento está inclinado desde el horizonte por un ángulo orientado a lo largo de la dirección norte-sur) y el seguidor de eje vertical (el eje de seguimiento es colineal con el eje de zenit), y así mismo Prinsloo dice que los seguidores solares de dos ejes siguen al Sol en el plano horizontal y vertical. En estos sistemas de seguimiento solar, el colector solar debe poder girar libremente alrededor del azimut y los ejes de elevación. Dichos sistemas de seguimiento de dos ejes rastrean al Sol de modo que el vector solar es normal a la apertura para alcanzar una eficiencia de recolección cercana al 100%.

De igual manera (Prinsloo, 2015), sigue afirmando que un sistema completo, integrado de seguimiento solar típico incluye los siguientes elementos y componentes:

- **Subsistema de accionamiento mecánico transmisor/actuador:** Actuadores lineales, engranajes de tornillo, controladores lineales y de giro y todos los elementos mecánicos necesarios para el óptimo posicionamiento.
- **Motores eléctricos:** De corriente directa o alterna para manejar los componentes mecánicos por medio de controles de corriente, frecuencia o velocidad.
- **Almacenamiento de energía:** Sistema de batería de respaldo para el almacenamiento de energía con sus correspondientes requisitos de potencia de arranque.

- **Subsistema de detección de movimiento:** decodificadores lineales o rotatorios, sensores de inclinación, fotodiodos, etc.
- **Algoritmo de posición solar:** algoritmo para calcular de manera continua el vector solar (obteniendo los ángulos de elevación y azimut solar).
- **Subsistema de unidad de control:** dispositivo(s) programable para coordinar los modos de operación, así como la estrategia de control para posicionar el sistema de acuerdo con las coordenadas del algoritmo de posición solar o coordenadas del sensor.
- **Finales de carrera:** dispositivos para prevenir movimientos más allá de los límites predefinidos, como medida de seguridad para evitar el daño al seguidor solar o su cableado.
- **Dispositivos de detección ambiental o atmosférica:** detección de intensidad de luz, solarímetro, piranómetro, sensores de viento, temperatura, humedad y presión en el ambiente; esto para detectar riesgos o amenazas ambientales.
- **La carga útil:** el subsistema colector, típicamente un elemento óptico, lente, reflector o sistema de recolección solar (módulo fotovoltaico o dispositivo montado mecánicamente en él).

1.6.Herramientas CAD

El término CAD (Computer Aided Design o Diseño Asistido por Ordenador (**Figura 8**) hace referencia a una herramienta software que, mediante el uso del ordenador, permite crear, modificar, analizar y optimizar planos y modelos en dos y tres dimensiones, y manipular de una manera fácil elementos geométricos sencillos. ³⁸ Se trata de herramientas que van más allá del concepto de “dibujo” o representación gráfica. De hecho, hoy en día se encuentran totalmente integrado con aplicaciones CAM y CAE (Pérez Navarro, 2011).

Figura 8. Software de modelado 3D



Fuente: (Contreras, 2022)

Asimismo, para (Siemens, 2023), el CAD se utiliza a lo largo de todo el proceso de ingeniería, desde el diseño de productos conceptual y la estructura pasando por el análisis de ensambles hasta la definición del método de fabricación. El CAD permite a los ingenieros probar de forma interactiva las variantes de diseño con el número mínimo de prototipos físicos, con el objetivo de:

- ³⁰ Reducir los costes de desarrollo de productos
- Ganar velocidad
- Mejorar la productividad
- Asegurar la calidad
- Reducir el tiempo de lanzamiento al mercado

1.7. Transmisión de movimiento por engranajes

Según (Robert L. Mott, 2006), los engranajes se utilizan para transmitir movimiento rotatorio de unos ejes a otros dentro de una máquina. Estos sistemas se utilizan para variar la velocidad. ¹⁸ Se llama relación de transmisión (i), al cociente entre la velocidad de salida (n_2) y la velocidad de

entrada (n_1). O bien, al cociente entre el número de dientes del engranaje motor (z_1) y el número de dientes del engranaje conducido (z_2).

$$N_1 * Z_1 = N_2 * Z_2 \quad i = \frac{N_2}{N_1} \quad i = \frac{Z_2}{Z_1}$$

- El sistema se denomina reductor si la relación de transmisión es menor que 1.
- El sistema se denomina multiplicador si la relación de transmisión es mayor que 1.

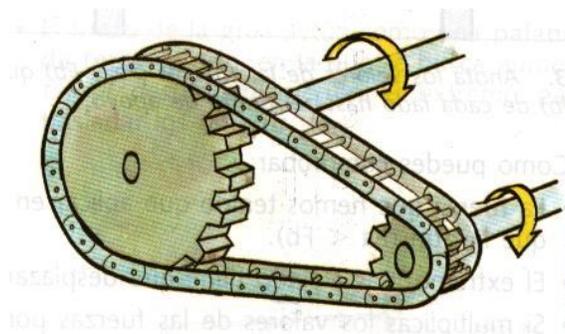
1.7.1. Tipos de mecanismos de transmisión

1.7.1.1. Engranaje-cadena

Formado por dos ruedas dentadas y una cadena de eslabones articulados. Los engranajes giran los dos en el mismo sentido. Se utiliza para transmitir el movimiento entre ejes paralelos lejanos. Su relación de transmisión de halla de acuerdo a la ecuación (5).

$$RT = \frac{n^\circ \text{ dientes en engranaje motor}}{n^\circ \text{ dientes engranaje arrastrado}} \quad (5)$$

Figura 9. mecanismo Engranaje-cadena

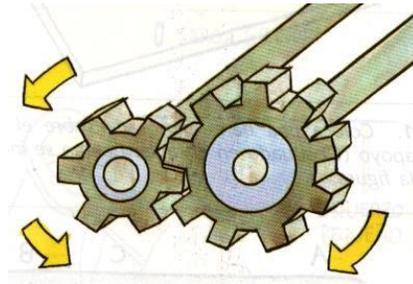


Fuente: (Robert L. Mott, 2006)

1.7.1.2. Tren de engranajes

Formado por ruedas dentadas. No necesitan mecanismos para transmitir el movimiento, ya que los dientes de los engranajes engranan entre sí transmitiendo el movimiento de uno a otro. Suele utilizarse para ejes paralelos cercanos. Al engranar los dientes, el engranaje unido al eje del motor empuja al engranaje arrastrado en sentido contrario. Si se quiere que ambos ejes giren en el mismo sentido hay que incluir un engranaje loco, no irá unido a ningún eje, entre los dos. Su relación de transmisión de halla de acuerdo a la ecuación (5).

Figura 10. mecanismo de tren de engranajes



Fuente: (Robert L. Mott, 2006)

1.7.1.3. Engranajes cónicos

También está formado por ruedas dentadas, pero estas tienen los dientes formando un ángulo, de 45°. Los engranajes simulan un tronco de cono. Esto permite transmitir el movimiento entre dos ejes que formen un ángulo recto. Su relación de transmisión de halla de acuerdo a la ecuación (5).

Figura 11. mecanismo de engranajes cónicos



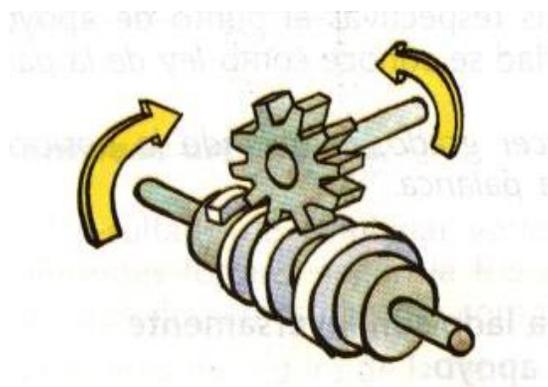
Fuente: (Robert L. Mott, 2006)

1.7.1.4. Engranaje-tornillo sin fin

También se utiliza para transmitir el movimiento entre ejes que formen 45°. El tornillo sin fin tiene un sólo diente con forma de hilo de rosca (helicoidal). Cada vez que el tornillo sin fin da una vuelta completa, sólo avanza un diente del engranaje. Su relación de transmisión de halla de acuerdo a la ecuación (6).

$$RT = \frac{n^{\circ} \text{ dientes tornillo sin fin}}{n^{\circ} \text{ dientes engranaje}} = \frac{1}{n^{\circ} \text{ dientes engranaje}} \quad (6)$$

Figura 12. mecanismo engranaje - tornillo sin fin



Fuente: (Robert L. Mott, 2006)

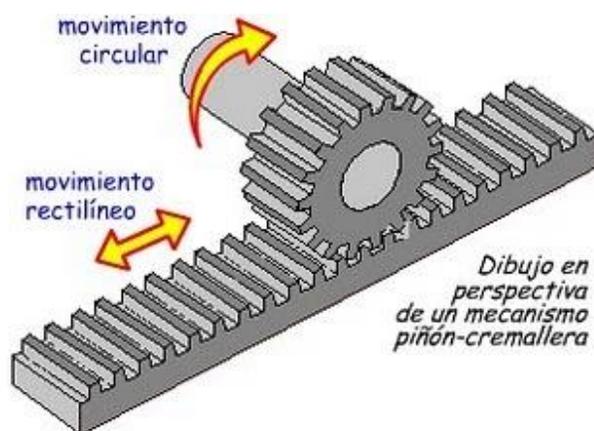
1.7.1.5. Piñón-cremallera

Formado por una rueda dentada (piñón) y un engranaje "plano" (cremallera). Al girar el piñón desplaza la cremallera en línea recta. Transmite el movimiento y lo transforma de rectilíneo a circular y viceversa. El desplazamiento de la cremallera (L_c) es igual a la longitud de la circunferencia del piñón (L_p) en una vuelta, como se muestra en la ecuación (7).

$$L_c = L_p = 2 * \pi * r$$

Ecuación(1)

Figura 13. mecanismo piñón - cremallera

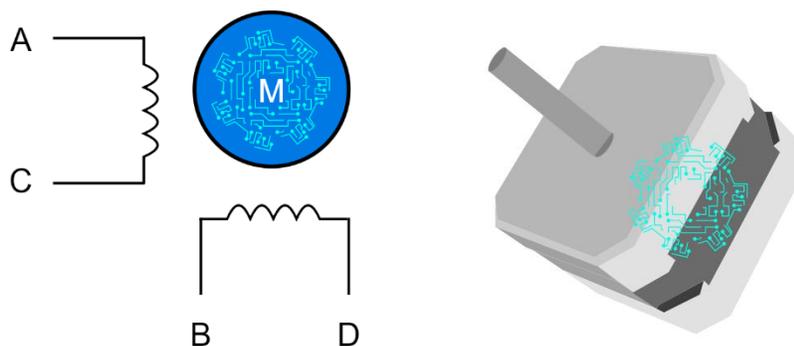


Fuente: (Linacero, 2022)

1.8. Motor paso a paso

Un motor a pasos es un motor de CD sin escobillas que puede ser de imán permanente o reluctancia variable que tiene como características de desempeño rotar en ambas direcciones, moverse con incrementos angulares precisos, sostener un torque de retención a velocidad cero y controlarse con circuitos digitales. El motor paso a paso es muy útil porque se puede posicionar con precisión sin ningún sensor de retroalimentación, por lo tanto, se puede representar como un controlador de circuito abierto (Mecatronicslatam, 2023).

Figura 14. Esquema motor paso a paso



Fuente: (Mecatronicalatam, 2023)

Normalmente, una revolución completa del eje de 360° se divide en 200 pasos, lo que significa que se realiza una sola carrera del eje cada $1,8^\circ$. También hay motores donde la carrera del eje se realiza cada 2; 2,5; 5, 15 o 30° . Actualmente los controladores de motores de paso a paso se realizan sobre la base de circuitos digitales que controlan los drivers aumentando la capacidad de carga de las salidas. La forma más fácil es construir un **controlador de motor basado en Arduino** y un amplificador de corriente o controlador de motor apropiado. La elección de la placa de expansión dependerá del motor utilizado (TME, 2023).

1.9. Controlador Arduino

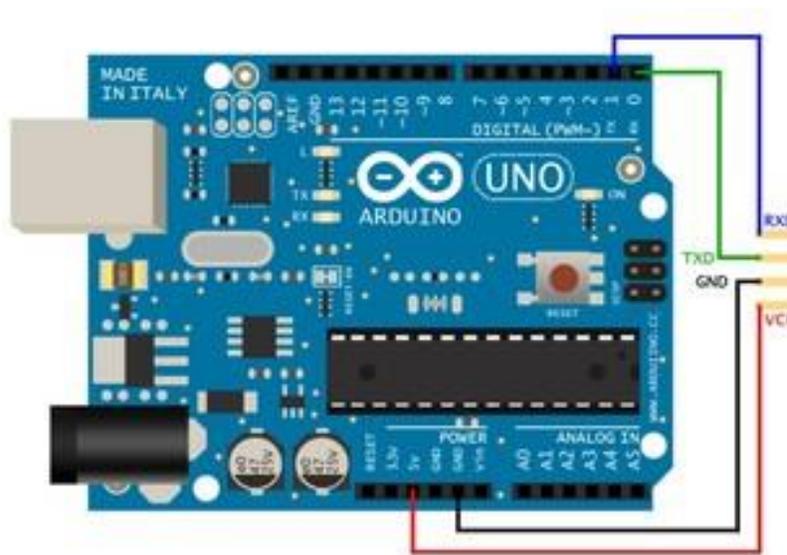
1.9.1. ¿Qué es un Arduino?

Basada en la filosofía del software libre, Arduino es una plataforma de electrónica de código abierto cuyos principios son contar con software y hardware fáciles de usar. Básicamente lo que permite esta herramienta es la generación de infinidad de tipos de microordenadores de una sola placa, que luego pueden tener una amplia variedad de usos según la necesidad de la persona que lo cree. Es decir, una forma sencilla de realizar proyectos interactivos para cualquier persona (Rodolfo Schmidt, 2022).

1.9.2. ¹³ *Cómo funciona Arduino*

El Arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMEGA. Los microcontroladores son circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones, las cuales las escribes con el lenguaje de programación que puedes utilizar en el entorno Arduino IDE. Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa.

Figura 15. Esquema de placa Arduino



Fuente: (Fernández, 2022)

El microcontrolador de Arduino posee lo que se llama una interfaz de entrada, que es una conexión en la que se puede conectar en la placa diferentes tipos de periféricos y una interfaz de salida, que es la que se encarga de llevar la información que se ha procesado en el Arduino a otros periféricos (Fernández, 2022).

2. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE SEGUIDOR SOLAR

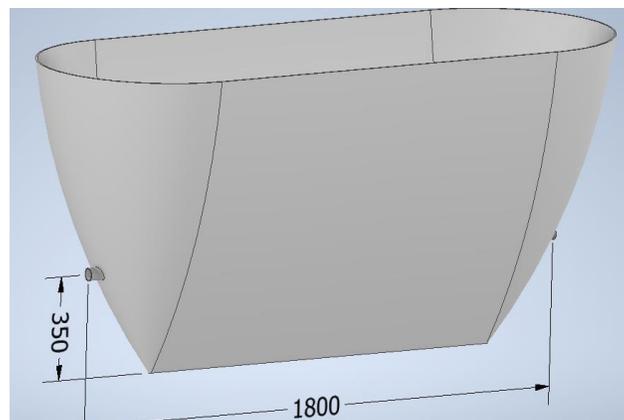
2.1. Requerimientos de diseño

El proyecto se desarrolla basado a una serie de requerimientos suministrados por parte de quien plantea la necesidad de tener un mecanismo de seguimiento solar que aumente la efectividad en un sistema de captación solar. Estos requerimientos están definidos basados en la estructura, función y uso del mecanismo a diseñar.

2.1.1. Requerimientos estructurales

- El sistema debe contar con una base o rieles guía por donde se desplace la base del captador, que haga un recorrido de 360° y tenga un diámetro de 6 metros.
- La base del captador debe estar soportada en un mecanismo de rodamiento de balinera que facilite la movilidad sobre la guía 360° .
- La distancia entre los rieles guía debe estar en el rango de 75cm a 85 cm, para garantizar estabilidad en el mecanismo.
- Las medidas de la base del captador deben estar basadas en la **Figura 16**, cumpliendo así, que la distancia mínima entre la base del captador y el eje de rotación del captador sea de 350 mm, y entre los soportes del eje del captador sea de 1.800 mm.

Figura 16. bosquejo del captador de canal compuesto



Fuente: autor

2.1.2. *Requerimientos de función y uso*

- La base debe soportar un captador que está en un rango de 50Kg y 70 Kg de peso.
- El mecanismo debe contar con un transmisor de movimiento el cual permita el desplazamiento del captador sobre los rieles guía.
- El sistema de transmisión de movimiento que se emplee debe utilizar voltajes de alimentación en un rango de 12V a 24V y el consumo de energía debe reducirse al máximo para obtener mayor eficiencia en el sistema.
- La base del captador debe contar con un sistema de fácil anclaje al eje de rotación del captador, y que a su vez por medio de este anclaje permita el paso de un ducto de 1”.
- Los anclajes del captador deben poseer un sistema que permita girar libremente sobre el eje de rotación, consiguiendo los ángulos de inclinación cenital que sean necesarios.
- El desplazamiento azimutal que realice el captador debe coincidir con los resultados obtenidos en el análisis de datos, previo al diseño del mecanismo a desarrollarse.

2.2. Diseño conceptual

Para la definición de los parámetros principales en el desarrollo del mecanismo de seguimiento solar y obtener la mayor eficiencia en el sistema a diseñar, se lleva a cabo una serie de cálculos que intervienen en la precisión del sistema. Asimismo, están relacionados conceptos y ecuaciones que definen la posición del sol con respecto a la tierra teniendo en cuenta la latitud en la se va a instalar el seguidor (en este caso la ciudad de Tunja). Aquí también se definirá el tipo de mecanismo de transmisión de movimiento que será aplicado, teniendo en cuenta la fácil obtención, costos y efectividad en el mecanismo; esto con el propósito de realizar los cálculos correspondientes que permitan la efectividad y precisión del mecanismo.

2.2.1. Cálculos

2.2.1.1. Angulo horario

Para el cálculo del ángulo horario de 6 am-6pm (6-18) se utilizó la ecuación (1).

$$\omega = \frac{360^\circ}{24} (t - 12)$$

donde t es la hora local, obteniéndose así los resultados de la Tabla 2:

Tabla 2. Ángulos horarios entre las 6am y 6pm

Hora	6 a.m.	7 a.m.	8 a.m.	9 a.m.	10 a.m.	11 a.m.	12 p.m.	1 p.m.	2 p.m.	3 p.m.	4 p.m.	5 p.m.	6 p.m.
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ángulo horario	-90	-75	-60	-45	-30	-15	-0,01	15	30	45	60	75	90

Fuente: autor

2.2.1.2. Declinación

Se puede encontrar a partir de la ecuación(2), donde n es el día del año para el cual se calcula. Los resultados para los 365 días se encuentran en el **Anexo B**.

$$\delta = 23.45 \left(360 \frac{284 + n}{365} \right)$$

$$\text{Ejemplo día 1 del año: } \delta = 23.45 \left(360 \frac{284+1}{365} \right) = -23.0116$$

2.2.1.3. Posición

Luego de haber calculado la declinación, se calcula la posición sur o norte en la que se encuentra el sol en determinado día del año siguiendo la condición de posición, asumiendo la latitud de la ciudad de Tunja (5,5352) y obteniendo así los valores que se observan en el **Anexo C**. Véase el **Anexo G**. Comportamiento de los rayos del sol tomando la ubicación de la UAN), para entender de una mejor manera la posición azimutal del sol con respecto a la ciudad de Tunja.

$$Posicion = \begin{cases} Norte & si \varphi - \delta > 0 \\ Sur & si \varphi - \delta \leq 0 \end{cases}$$

Donde φ : latitud y δ : declinación

Ejemplo día 1 del año: $Posición = \varphi - \delta = 5,5352 - (-23,0116) = 28,5468 = Norte$

Al realizar el análisis de los datos obtenidos durante los 365 días del año, se observa que del día 1 al 94 el Sol está en posición norte, del día 95 al 249 está en posición sur, y del día 250 al 365 nuevamente retoma la posición norte; tal cual como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen posición norte o sur durante el año (autoría propia)

Fecha	Día	Posición
Enero 1	1	Norte
Enero 2	2	Norte
Marzo 3	93	Norte
Marzo 4	94	Norte
Marzo 6	95	Sur
Marzo 7	96	Sur
Septiembre 5	248	Sur
Septiembre 6	249	Sur
Septiembre 7	250	Norte
Septiembre 8	251	Norte
Diciembre 30	364	Norte
Diciembre 31	365	Norte

Fuente: autor

2.2.1.4. Angulo cenital

Para calcular el angulo cenital del sol se debe despejar de la ecuacion (3), obteniendo como resultado la ecuacion (7).

$$\theta_z = \cos^{-1}(\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta) \quad (7)$$

Donde φ : latitud; δ : declinación; ω : ángulo solar. Teniendo como resultado los datos obtenidos en el **Anexo B**.

Tabla 4. Cálculo de los ángulos cenitales para los días 1,2 y 3 en el horario de 6 a.m. a 6p.m

DIA	Declinación	ángulo cenital del sol													
		6 a.m.	7 a.m.	8 a.m.	9 a.m.	10 a.m.	11 a.m.	12 p.m.	1 p.m.	2 p.m.	3 p.m.	4 p.m.	5 p.m.	6 p.m.	
1	-23,0116	92,16	78,5	65,14	52,4	40,915	32,091	28,547	32,09	40,91	52,4	65,14	78,5	92,16	
2	-22,9305	92,15	78,48	65,12	52,37	40,862	32,02	28,466	32,02	40,86	52,37	65,12	78,48	92,15	
3	-22,8427	92,15	78,47	65,09	52,33	40,805	31,943	28,378	31,94	40,8	52,33	65,09	78,47	92,15	

Fuente: autor

Luego de realizar el análisis de los ángulos cenitales obtenidos, y asumiendo que se evidencian las posiciones norte-sur-norte respectivamente durante tres ciclos en el año, se optó por realizar un promedio de los ángulos cenitales durante estos 3 ciclos en el horario 6am-6pm; esto debido a que la graduación de los ángulos va a ser de forma manual y se requiere que no haya mayor cantidad de intervención personal en el mecanismo. De esta manera se obtuvieron los valores evidenciados en la Tabla 5.

Tabla 5. Promedio de ángulos cenitales de 6 am - 6 pm

MES	PROM. CENIT (6AM-6PM)	POSICION
ENERO 1- ABRIL 4	53,1722	NORTE
ABRIL 5- SEPTIEMBRE 6	50,0136	SUR
SEPTIEMBRE 7- DICIEMBRE 31	54,02923	NORTE

Fuente: autor

Analizando los datos de la Tabla 5 se puede concluir que los valores de promedio de ángulo cenital están alejados de los ángulos cenitales en los cuales están las horas pico solar, por consiguiente se requiere hacer una reevaluación de los promedios a utilizarse para presentar una mayor eficiencia, teniendo en cuenta los valores de horas pico solar que se presentan actualmente en la ciudad de Tunja. De acuerdo a los datos obtenidos de la Figura 3 por el IDEAM se evidencia que el mes donde se obtiene mayor irradiancia y horas pico solar es en enero con un valor cercano a las 5,6 horas pico solar. De acuerdo a estos datos se optó por dejar un total de 6 horas pico solar durante el día, para así calcular los promedios de ángulos cenitales entre las 9AM y 3 PM durante los 3 ciclos definidos anteriormente, obteniendo los valores de la Tabla 6.

Tabla 6. Promedio de ángulos cenitales de 9 am - 3 pm (autoría propia)

MES	PROM. CENIT (9AM-3PM)	POSICION
ENERO 1- ABRIL 4	32,99647	NORTE
ABRIL 5- SEPTIEMBRE 6	29,33835	SUR

SEPTIEMBRE 7- DICIEMBRE 31

34,286005

NORTE

Fuente: autor

2.2.1.5. Angulo azimutal

Para calcular el angulo azimutal se utilizo la ecuacion (4). La función de signo en la ecuación (4) es igual a +1 si ω es positivo y es igual a -1 si ω es negativo (John A. Duffie, 2013).

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_z \sin \varphi - \sin \delta}{\sin \theta_z \cos \varphi} \right) \right|$$

Donde φ : latitud; δ : declinación; ω : ángulo solar; θ_z : ángulo cenital. Teniendo como resultado los datos obtenidos en el **Anexo C**.

Tabla 7. Cálculo de los ángulos azimutales en el horario de 6 a.m. a 6p.m (autoría propia)

DIA	POSICIÓN	ángulo de azimut solar													
		6 a.m.	7 a.m.	8 a.m.	9 a.m.	10 a.m.	11 a.m.	12 p.m.	1 p.m.	2 p.m.	3 p.m.	4 p.m.	5 p.m.	6 p.m.	
1	Norte	-67,1	-65,1	-61,5	-55,2	-44,64	-26,64	-0,029	26,64	44,64	55,23	61,46	65,13	67,08	
2	Norte	-67,2	-65,2	-61,5	-55,3	-44,74	-26,72	-0,029	26,72	44,74	55,32	61,55	65,21	67,17	
93	Norte	-94,8	-93,5	-92,3	-91,3	-90,02	-87,92	-1,18	87,92	90,02	91,26	92,35	93,48	94,79	
94	Norte	-95,2	-93,9	-92,8	-91,8	-90,82	-89,44	-2,582	89,44	90,82	91,82	92,8	93,89	95,18	
95	sur	-95,6	-94,3	-93,3	-92,4	-91,6	-90,97	-166,4	90,97	91,6	92,38	93,26	94,3	95,57	
96	sur	-96	-94,7	-93,7	-92,9	-92,39	-92,48	-178,1	92,48	92,39	92,93	93,71	94,7	95,96	
248	sur	-96,2	-94,9	-93,9	-93,2	-92,78	-93,24	-178,7	93,24	92,78	93,21	93,94	94,9	96,15	
249	sur	-95,8	-94,5	-93,5	-92,7	-92	-91,73	-176,7	91,73	92	92,65	93,49	94,5	95,77	
250	Norte	-95,4	-94,1	-93	-92,1	-91,21	-90,21	-6,33	90,21	91,21	92,1	93,03	94,09	95,38	
251	Norte	-95	-93,7	-92,6	-91,5	-90,42	-88,68	-1,62	88,68	90,42	91,54	92,58	93,69	94,98	
364	Norte	-66,9	-65	-61,3	-55,1	-44,48	-26,51	-0,029	26,51	44,48	55,07	61,31	64,99	66,94	
365	Norte	-67	-65,1	-61,4	-55,1	-44,56	-26,57	-0,029	26,57	44,56	55,14	61,38	65,06	67,01	

Fuente: autor

Luego de realizar el análisis de los ángulos azimutales obtenidos, se evidencian 3 cambios de posición durante el año como se observa en la Tabla 7, y que se hacen más notorios a las 12 del medio día. Con base en esto se optó por tomar 2 promedios de ángulos azimutales para cada hora (un promedio cuando está en posición norte y otro cuando está en posición sur). Esto con el fin de hacer menos complejo el mecanismo y lograr diseños que reduzcan los costos de fabricación, y así

garantizar una mayor accesibilidad y satisfacción en la relación costo-beneficio. De acuerdo a esta clasificación en 2 promedios, se obtuvieron los valores de la Tabla 8.

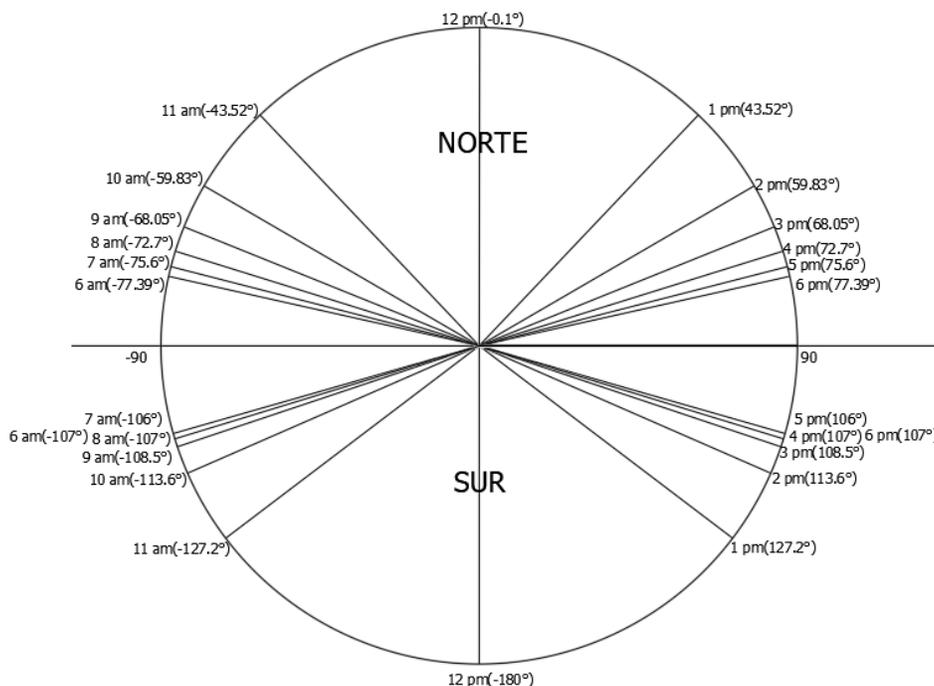
Tabla 8. Promedios de ángulos azimutales para la posición sur y norte

POSICIÓN	PROMEDIO AZIMUTAL												
	6 a.m.	7 a.m.	8 a.m.	9 a.m.	10 a.m.	11 a.m.	12 p.m.	1 p.m.	2 p.m.	3 p.m.	4 p.m.	5 p.m.	6 p.m.
NORTE	-77	-76	-72,7	-68,1	-59,83	-43,5	-0,1	43,52	59,83	68,05	72,7	75,61	77,39
SUR	-107	-106	-107	-108,5	-113,6	-127,2	-180	127,2	113,6	108,5	107	106	107

Fuente: autor

Al obtener los valores de la Tabla 8, se observa que cuando el Sol está en posición norte los valores de ángulo azimutal oscilan de -77,39 a 77,39 grados; y cuando está en posición sur oscilan de -107 a 107 grados. De acuerdo a esta información se concluye que el recorrido total cuando está en el norte es de 154.78° y cuando está en el sur de 146° . Una forma más sencilla de entender el comportamiento de los ángulos azimutales se evidencia en la **Figura 17** o en el **Anexo F. Elevación solar y azimut en Tunja**.

Figura 17. Comportamiento de los ángulos azimutales con respecto al plano



Fuente: autor

Basados en la Figura 17, se analizó el sistema y se optó por diseñar un mecanismo que tuviera solo los grados de recorrido necesario, esto con el fin de disminuir costos de fabricación.

Para diseñar el mecanismo, se fijaron las siguientes condiciones:

- Las fechas en las que el sistema este en la posición sur, el ángulo cenital asume un valor negativo. En este caso al tomar el valor de la **Tabla 6**, donde el ángulo cenital en la posición sur es de $29,3383^\circ$, el ángulo pasaría a tener un valor de $-29,3383^\circ$.
- Para determinar los ángulos que deben tenerse en cuenta a la hora de programar el mecanismo, deberán sobreponerse los ángulos que están sobre en la posición sur en la posición norte; esto realizando una rotación de 180° obteniéndose así los valores de ángulos azimutales de la **Tabla 9**.

Tabla 9. Ángulos azimutales concluidos para el diseño del mecanismo (autoría propia)

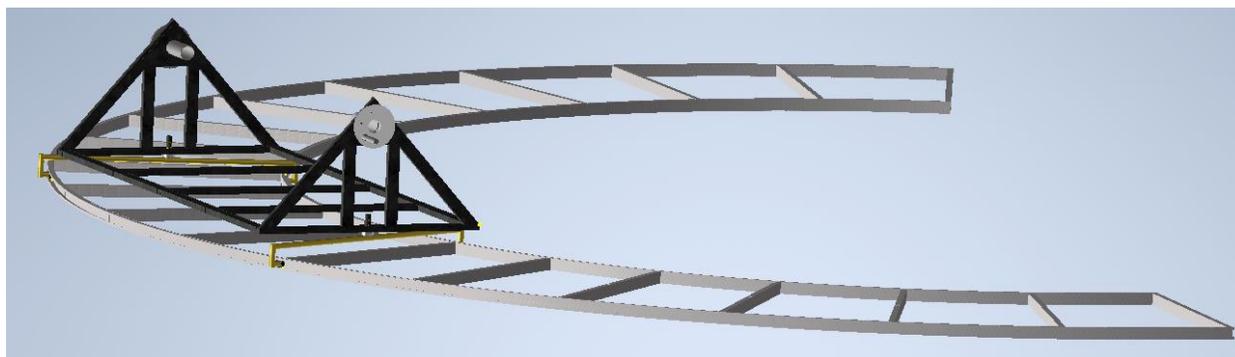
POSICIÓN	PROMEDIO AZIMUTAL												
	6 a.m.	7 a.m.	8 a.m.	9 a.m.	10 a.m.	11 a.m.	12 p.m.	1 p.m.	2 p.m.	3 p.m.	4 p.m.	5 p.m.	6 p.m.
NORTE	-77	-76	-72,7	-68,1	-59,83	-43,5	-0,1	43,52	59,83	68,05	72,7	75,61	77,39
SUR	73	73,8	73,45	71,52	66,45	52,8	0,242	-52,8	-66,4	-71,5	-73	-73,8	-73

Fuente: autor

2.3. Diseño de los componentes del mecanismo

Para comenzar con el diseño de los distintos componentes del mecanismo se tuvieron como base los requerimientos suministrados inicialmente, por lo cual se da inicio a dibujar en el programa inventor las distintas partes que componen el mecanismo (**Figura 18**). Adicionalmente, se analizó y selecciono el mecanismo que permitiera el desplazamiento del captador sobre los rieles guía requeridos, y que a su vez este desplazamiento coincida con los datos previamente definidos en el diseño conceptual.

Figura 18. Ensamble de componentes diseñados

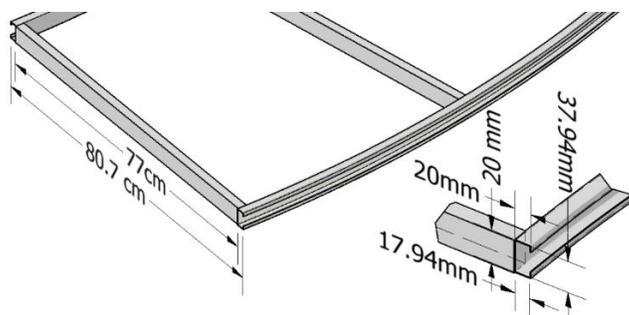


Fuente: autor

2.3.1. Riel guía

Al querer diseñar una base o riel guía por donde se desplace el captador se inicia por definir el material más óptimo para realizar la construcción de dicho guía, para la cual se definió un tubo metálico rectangular de 20x40 mm como base del diseño del riel. Basados en estas medidas y en los requerimientos estructurales se procedió a diseñar el riel guía como se muestra en la **Figura 19**, en el cual se obtiene un riel en forma de C por donde se desplazará el sistema de rodamientos del captador y que cuenta con una separación entre rieles de 77 cm. Dentro del guía de los rodamientos se cuenta con un espacio disponible de 17,94 mm x 34,94 mm, que sería el ideal para la elección de los rodamientos que van a componer el sistema rodante.

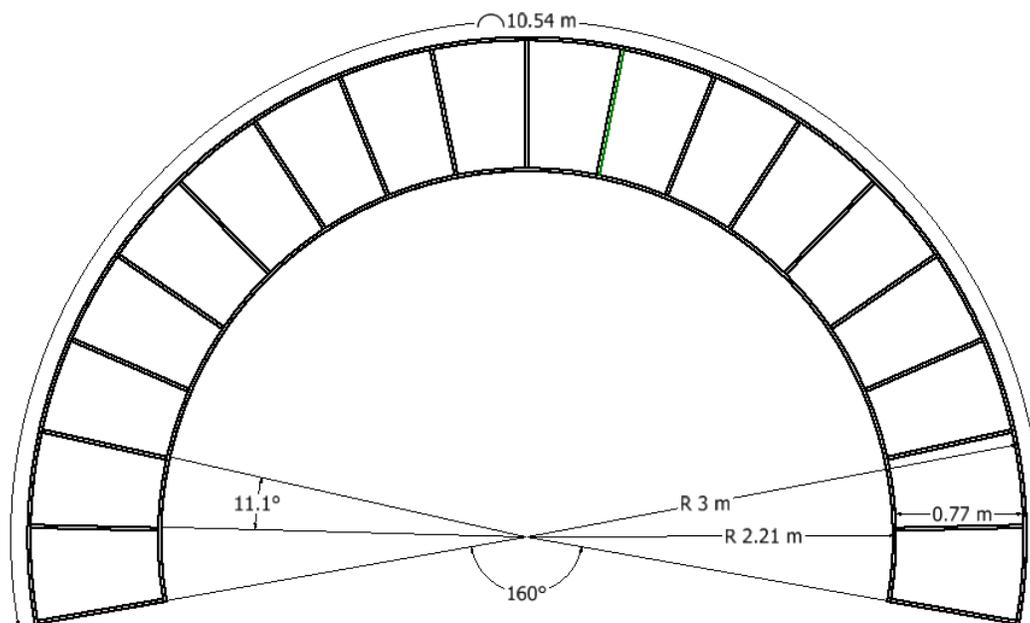
Figura 19. Diseño de riel a detalle de guía para rodamientos



Fuente: autor

En el diseño de la totalidad del riel, se adicionaron secciones de 77cm de largo de tubería (20x40mm) de cada $11,1^\circ$ a lo largo de la estructura de los rieles guía, con el fin de obtener una mayor rigidez y evitar deformaciones a la hora de llevar a prueba el mecanismo.

Figura 20. Diseño de estructura total para los rieles guía



Fuente: autor

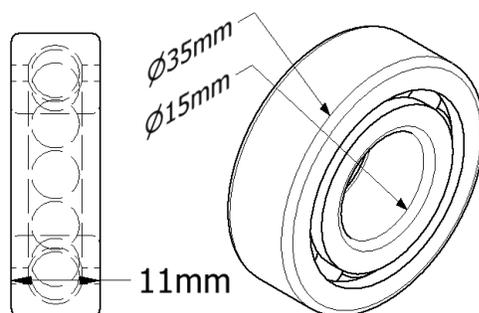
Cumpliendo con los requerimientos estructurales y como se observa en la **Figura 20**, se definió un diámetro exterior de 6 metros y un riel circular de 200° basados en las conclusiones hechas a partir de la **Tabla 9**; donde hay un desplazamiento máximo de los ángulos azimutales de 154.8° en la posición sur y a esto se le suma 35° que ocupa la estructura de 180 cm de la base del captador, obteniendo un total de 189.8° que sería el recorrido mínimo necesario para la operación del sistema.

2.3.2. Mecanismo de rodamientos

Para el diseño de los rodamientos que desplazan el captador se inició por determinar el tipo de rodamiento comercial ideal a utilizarse, por lo cual se revisaron las dimensiones de dichos

rodamientos en diferentes catálogos. Para la elección indicada se tuvo como principio las medidas internas del riel guía por donde los rodamientos se moverían (17.94 mm de ancho x 37.94 mm de alto), definiendo un rodamiento 6202-2RS con dimensiones (15x35x11) como se detalla en la **Figura 21**.

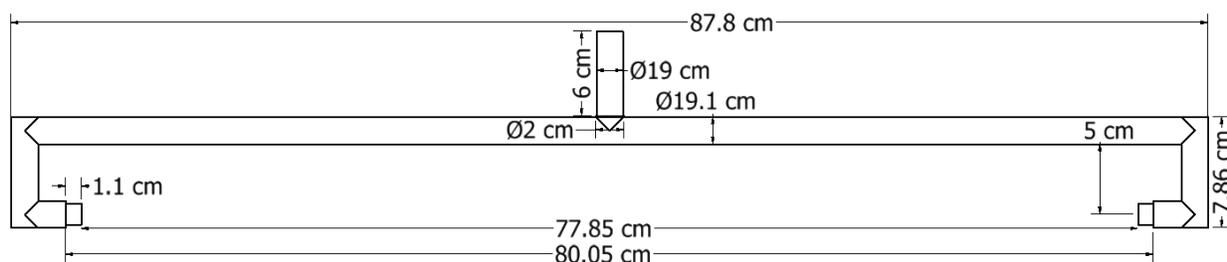
Figura 21. Rodamiento para el sistema de rodamientos



Fuente: autor

Luego de realizar la elección del rodamiento se procede a diseñar el mecanismo de rodamientos, donde se tuvieron en cuenta las dimensiones del riel guía (77 cm a 80,7 cm) para centrar el encaje de los 2 rodamientos. Además, como se observa en la **Figura 22** se diseñó un eje centrado en la estructura para el anclaje con la base del captador, y se tomó una distancia de 5 cm entre el centro del rodamiento y el eje horizontal del porta-rodamientos para implementar un sistema de transmisión para el movimiento azimutal en este espacio.

Figura 22. Diseño de mecanismo de rodamientos

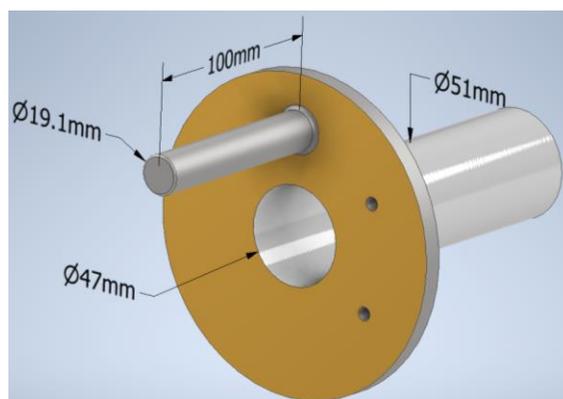


Fuente: autor

2.3.3. Encaje y graduación de ángulo cenital del captador

Teniendo en cuenta los requerimientos se dio por iniciar el diseño del costado de la base de captador, definiendo en primer lugar un mecanismo que permita el anclaje y graduación de ángulo cenital del captador. Para esto se pensó en diseñar un mecanismo tipo manivela que permitiera la graduación del captador y un sistema de encaje para el fácil ensamble de la base con el captador.

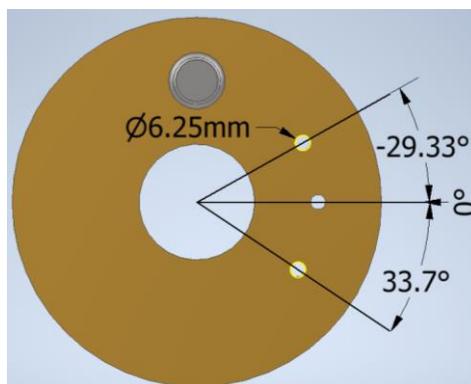
Figura 23. Diseño del encaje del captador



53
Fuente: autor

Como se observa en la Figura 23, se diseñó un encaje basados en una tubería comercial de diámetro interno y externo de 47 mm y 51mm respectivamente, y varilla de 19,1 mm de grosor por 10 cm de largo, para el mecanismo de graduación de ángulo cenital.

Figura 24. Diseño de graduación de ángulo cenital



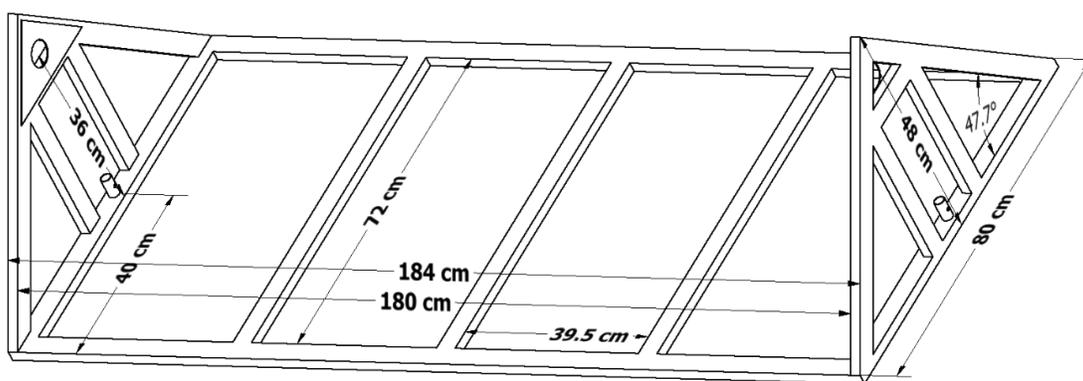
Fuente: autor

Para el sistema de graduación ángulo cenital se diseñó una platina circular con grosor de 9 mm, la cual tiene perforación con ángulos (-29.33° ; 0° y 33.71° como se observa en la Figura 24); los cuales se definieron a partir de la **Tabla 6**, optando por dejar una posición en -29.33° entre abril 5 y septiembre 6, y una posición en 33.7° para el resto de la año.

2.3.4. Base del captador

Para el diseño de la base del captador, se definió base de 80x184 cm y una altura total de 46 cm. Con base a estas medidas definidas se logra que el mecanismo cuente con una distancia mínima entre base del captador y eje de giro debe ser de 35 cm, permitiendo que captador gire libremente sobre el eje. Como se observa en la **Figura 25**, la base del captador cuenta con un espacio de 180cm de largo y 36cm de altura, cumpliendo así con los requerimientos estructurales establecidos. Adicionalmente la estructura cuenta con refuerzos del mismo material en la base y costados para mejorar la rigidez y resistencia a las cargas que va a soportar, y contara con un sistema de encaje para los rodamientos que estarán centrados en cada extremo de la estructura.

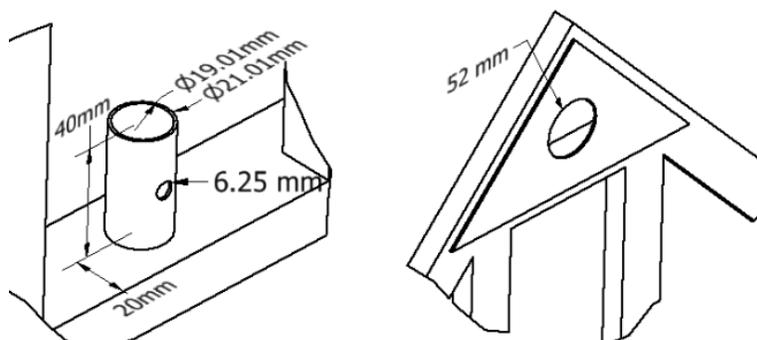
Figura 25. Diseño de la base del captador (autoría propia)



Fuente: autor

De acuerdo a la **Figura 26**, se cuenta con un encaje para la graduación diseñada de 52 mm de diámetro y un encaje para el sistema de rodamientos de 19,01 mm de diámetro, las cuales son las medidas óptimas para el ensamble con los componentes ya diseñados.

Figura 26. Detalle de encajes de la base del captador

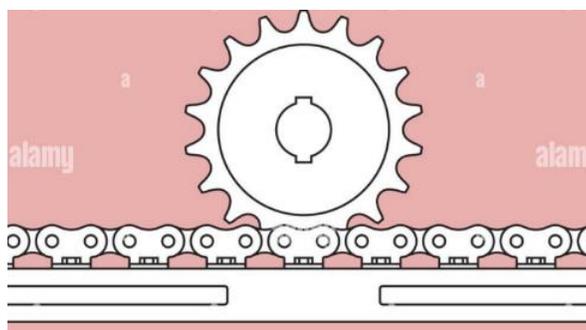


Fuente: autor

2.3.5. Sistema de transmisión de movimiento azimutal

Siguiendo con el diseño y elección del mecanismo de transmisión más adecuado a utilizarse, se inició por analizar el sistema que sería de mejor adecuación y ensamble para los componentes diseñados. Para tal diseño se seleccionó un sistema de transmisión tipo piñón-cremallera observado, el cual sería de fácil aplicación diseñando la cremallera sobre un riel guía y el sistema del motor-piñón anclado a la base del captador, permitiendo el desplazamiento de dicha base sobre los rieles guía.

Figura 27. Mecanismo de transmisión piñón-cadena



Fuente: (Quang, 2018)

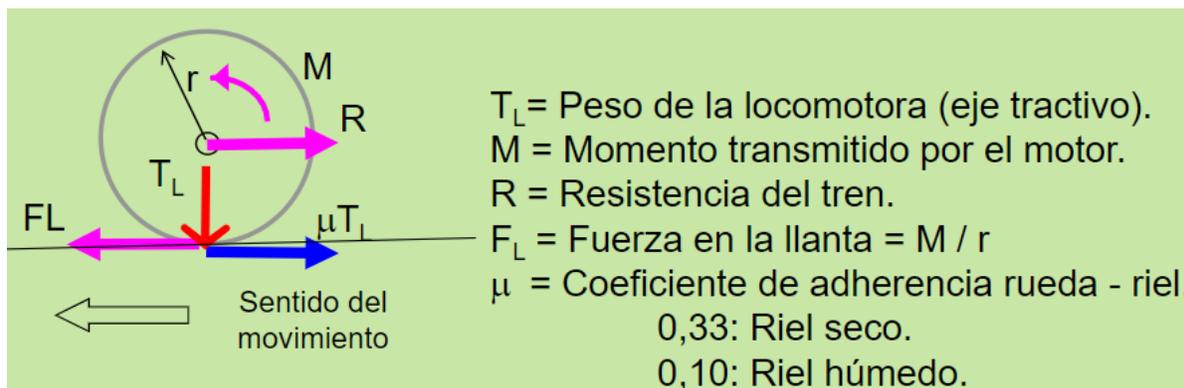
Para dar una mayor economía en la fabricación del mecanismo, se propuso la utilización de un sistema piñón-cadena de motocicleta como se observa en la **Figura 27**, el cual presentaría

una función similar y al mismo tiempo una más fácil obtención de los materiales a la hora de la construcción del mecanismo.

2.3.6. Motor

La elección del motor correcto a utilizarse depende de distintos requerimientos y factores que intervienen en el uso y precisión del sistema, por lo cual se debe encontrar un motor de precisión que su fuente alimentación no sobrepase los 24V y que el consumo de energía sea mínimo para hacer más efectivo el sistema. Basados en estos requerimientos se optó por la utilización de un motor paso a paso que es el más adecuado, ya que entrega una alta precisión y puede ser programado para que entregue los movimientos o pasos requeridos en el mecanismo. Por consiguiente, se calcula el torque necesario que garantice el movimiento del mecanismo.

Figura 28. Tracción ferroviaria y adherencia a la rodadura



Fuente: (Teodosio, 2013)

Basados en el principio de los trenes (Figura 28), se halla el momento transmitido por el motor, asumiendo un peso de la estructura= $\omega=100$ Kg; coeficiente de adherencia rueda-riel= $\mu=0.33$; radio de rodamiento= $r=1,75\text{cm}=0.0175$ m; gravedad= $g=9.81$ m/s².

$$F_L = \mu * T_L = \mu * \omega * g$$

$$F_L = 0.33 * 100 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 323.73 \text{ N}$$

$$F_L = M/r > M = F_L * r$$

$$M = 323.73 \text{ N} * 0.0175 \text{ m} = \mathbf{5,66 \text{ Nm} = \text{Par motor}}$$

Al buscar los diferentes tipos de motores paso a paso que cumplen con el torque requerido se evidencia que sus precios son elevados, por lo que se opta por utilizar un motor nema 23 de 1,2 Nm y se le incorpora un multiplicador de par 1:10 (caja reductora) consiguiendo un torque de 12 Nm y así lograr desplazar el captador por sobre el riel guía. El realizar esta elección de motor-multiplicador se consigue trabajar con componentes de fácil acceso y el consumo de energía disminuye considerablemente. El motor nema 23 cuenta con un driver que utiliza un voltaje de 12 a 24 V para su funcionamiento como se observa en la Figura 29.

Figura 29. Motor paso a paso nema 23 (autoría propia)

Características eléctricas	
Tipo de motor	Bipolar
Ángulo de motor	1.8°
Par de retención (Holding Torque)	1.26Nm(178.5oz.in) (12.85 Kg/cm)
Corriente nominal / fase	2.8A
Resistencia de fase	0.9ohms
Voltaje	2.5V
Inductancia	2.5mH±20%(1KHz)



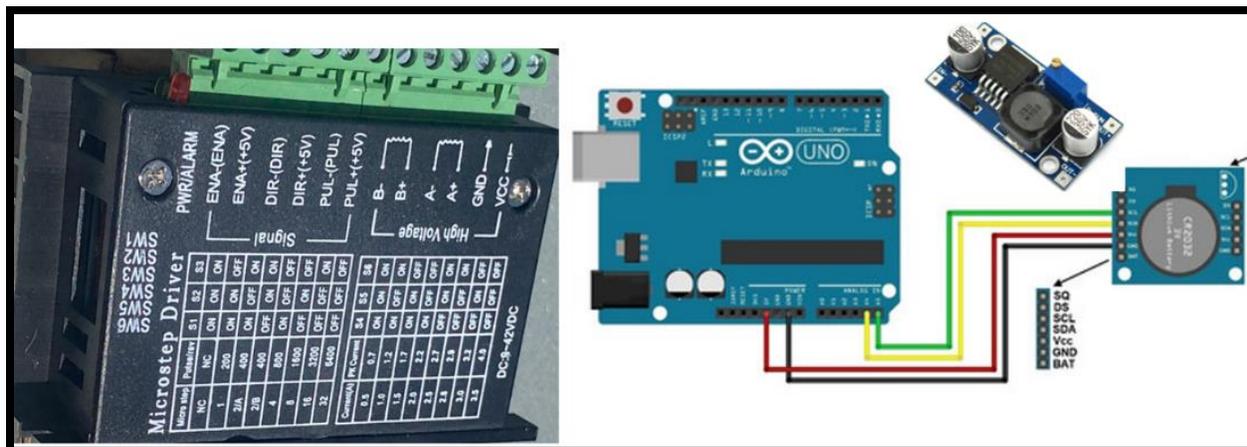
Fuente: autor

2.3.7. Sistema de control

El sistema de control del motor está basado en sistema de controlador por Arduino, el cual es preciso y de fácil acceso a los codificadores. Como se muestra en la **Figura 30**, el control del seguidor está compuesto por una placa Arduino uno, un variador de voltaje a 9V para la placa

Arduino, un reloj-calendario DS-1307 y un driver o controlador de pasos del motor nema 23 que debe configurado de acuerdo a las necesidades, los cuales están alimentados en conjunto por una fuente 12V.

Figura 30. Componentes de controlador de motor nema 23



Fuente: autor

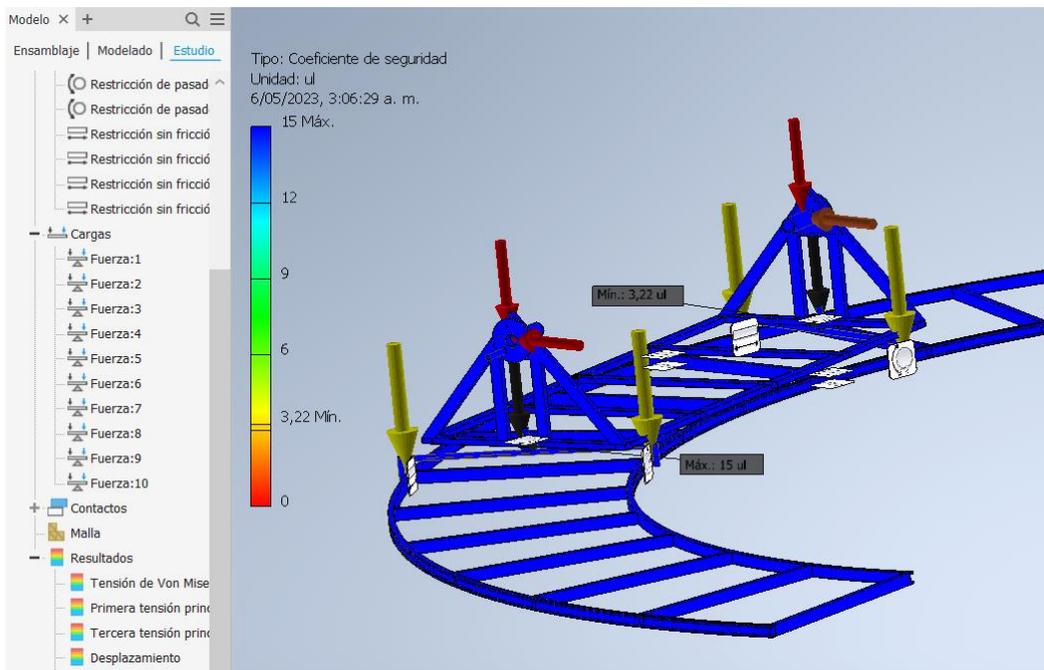
2.4. Simulación estática de la estructura en programa Inventor

Para la simulación de la Tensión de Von Mises, desplazamiento y factor de seguridad de cada una de las piezas se utilizó una carga de 60 kg simulando el peso de captador y se eligió la situación más crítica donde el captador esta inclinado a $33,7^\circ$ y una fuerza del viento ejercida en el componente X (25 N). Debido a que el centro de gravedad del captador se desplaza con este se inclina, el peso del captador se divide en componente X (322N) y componente Y(492N). Por consiguiente, la fuerza que ejerce el peso del captador se distribuye equitativamente en los soportes de la base del captador como se observa en la Figura 31, Figura 32 y Figura 33; además, sobre cada eje del sistema de rodamiento se aplicó una fuerza de 98,1 N que desprende del peso de la base del captador (20 Kg), y por ultimo un fuerza de 49 N sobre cada superficie de contacto del rodamiento con el riel que desprende del peso de cada sistema de rodamientos (10 kg).

Al simular las cargas descritas anteriormente en el ensamble, se obtienen como resultados:

- Coeficiente de seguridad (**Figura 31**)= Min. 3.22 ul.

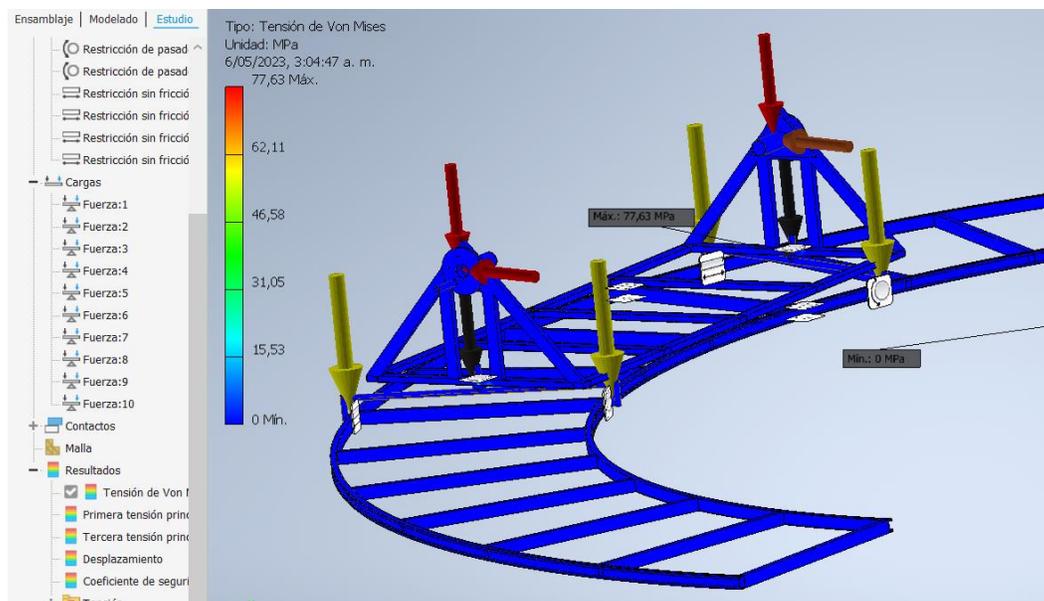
Figura 31. Coeficiente de seguridad máximo y mínimo del ensamble estructural



Fuente: autor

- Tensión de Von Mises (**Figura 32**)= Max. 77,63 MPa

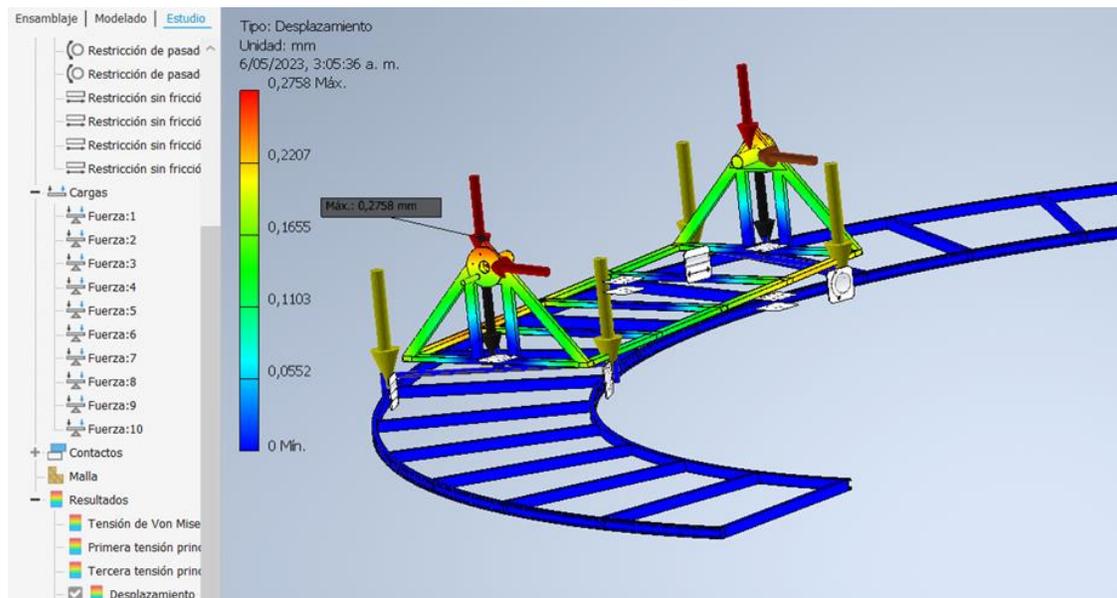
Figura 32. Tensión de Von Mises máxima y mínima del ensamble estructural



Fuente: autor

- Desplazamiento (**Figura 33**)= Max. 0.2758 mm

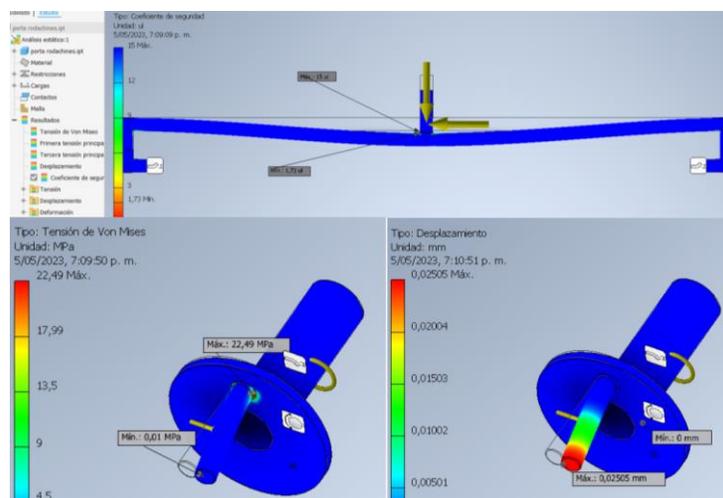
Figura 33. Desplazamiento máximo y mínimo del ensamble estructural



Fuente: autor

La simulación estática de la base del captador, mecanismo de rodamientos y encaje y graduación cenital se puede evidenciar en el (**Anexo D. Simulación estática de las piezas del mecanismo** **Anexo D. Simulación estática de las piezas del mecanismo**, donde apreciamos claramente el comportamiento que tiene cada una de las piezas al ejercer las fuerzas y momentos que se involucran como se muestra en la **Figura 34**. Simulación con ajuste de visualización.

Figura 34. Simulación con ajuste de visualización



Fuente: autor

3. CONSTRUCCION DEL MECANISMO DE SEGUIMIENTO SOLAR.

En el capítulo de construcción del sistema de seguimiento solar se evidencia el desarrollo de los diseños y estudios previamente realizados, por lo cual se da inicio a definir los materiales que se usaran para la construcción de los componentes estructurales diseñados. Haciendo un estudio de los materiales comerciales (Figura 35) comparados con el diseño realizado se opta por trabajar con un perfil rectangular de 20x40mm de calibre 18, para la fabricación del sistema de rieles guía y la base del captador; y una varilla lisa comercial ¾” para la fabricación de los ejes del sistema de rodamientos. Posteriormente se define un tipo de soldadura 6713 para el ensamble de las piezas.

Figura 35. Materiales para construcción de la estructura (Homecenter, 2022)



3.1. Corte de materiales y ensamble de los componentes

Dando inicio a la construcción de los componentes, se tienen como base diferentes tipos de herramientas para el corte y ensamble de las piezas como se muestra en la **Tabla 10**. Luego de haber definido las posibles herramientas para construcción de la estructura se inicia con el despiece de los diseños y el corte del material para ser ensamblado.

Tabla 10. Herramientas y materiales de trabajo

Escuadra	Flexómetro	Martillo	Prensa de banco y manual
Marcador	Taladro	Extensión eléctrica	Equipo de soldadura
Pulidora	Pinzas	Masilla y catalizador	Discos de (corte y abrasivos)
Nivel	Pica escoria	Destornilladores	Brocas y Copa sierra para metal

Compresor	Lija	51 Espátula	Recubrimiento
-----------	------	----------------	---------------

Fuente: autor

3.1.1. Base del captador

Para la construcción de la base del captador se inicia cortando a un ángulo de 45 grados 2 secciones de perfil de 184cm y 2 de 80 cm, y se procede soldándolas para dar forma al rectángulo base diseñado de (184cm x 80cm), y seguido a esto se cortar y se ensamblar los 3 refuerzos de 72 cm que van distribuidos uniformemente a lo largo del rectángulo base. Luego de tener el rectángulo base se perforo con copa sierra un diámetro de 19.1 para los encajes del sistema de rodamientos, siguiendo las medidas definidas en el diseño como observa en la **Figura 36**.

Figura 36. Construcción de la base del captador



Fuente: autor

Ya construido el rectángulo base, se procedió con la construcción de los laterales de la base en los cuales encajan los soportes y graduaciones del captador; donde se cortaron 2 secciones que conformaran entre si un triángulo de base 80 cm x 48 cm de altura; respetando el diseño del encaje de 52 mm, a una distancia de 36 cm entre la base y el centro del orificio para luego adicionarle los 3 refuerzos que conforman el costado de estructura base, tal cual como se muestra en la **Figura 37**.

Figura 37. Detalle de construcción de encajes y soportes del captador

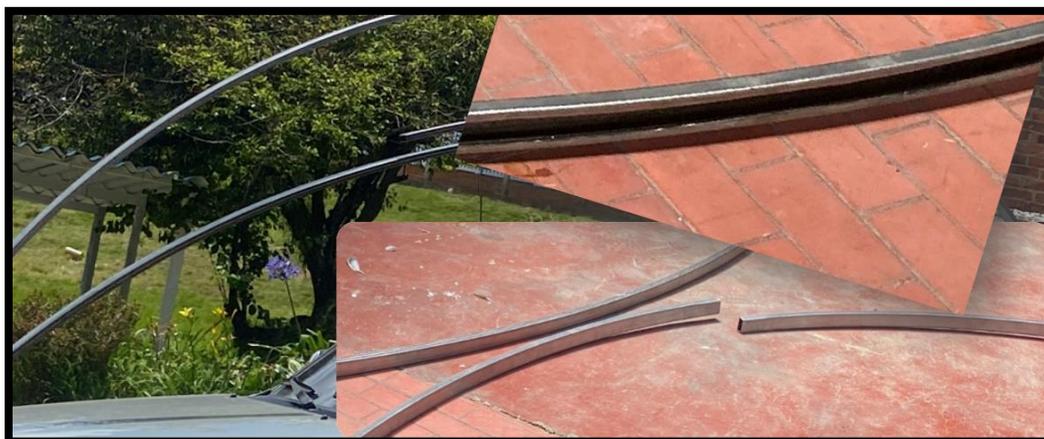


Fuente: autor

3.1.2. Riel guía

En la construcción de la guía por donde se desplaza el captador se inició por curvar los perfiles de 20X40 mm, consiguiendo que el perfil externo quedara con un radio de 3 m y el perfil interno con un radio de 2,20 m; utilizando 10,54 m de perfil para el riel externo dividido en 2 tramos y para el riel interno 7,72 m dividido igualmente en 2 tramos. Luego de curvar los perfiles se inició con el corte de 2 cm de lámina centrado en la cara correspondiente del perfil, como se muestra en la **Figura 38**.

Figura 38. Curvatura y corte de los perfiles (autoría propia)



Fuente: autor

Seguido al corte del perfil se inicia con la unión de los tramos correspondiente a cada sección del riel y utilizando una varilla de 6 metros se fijaron las medidas iniciales de radio del riel exterior de 3 metros y la separación entre rieles de 77 cm con secciones de varilla de 3/8” como se observa en la **Figura 39**.

Figura 39. Fijación de las medidas de los rieles guía



Fuente: autor

Una vez fijadas las medidas de los rieles se cortan 19 secciones de 77 cm de perfil 20X40mm para los refuerzos de la estructura y se sueldan cada 41 cm siguiendo las medidas del diseño de los rieles guía.

Figura 40. Ensamble de refuerzos y cadena en la estructura de rieles (autoría propia)



39

Fuente: autor

Para el ensamble de sistema de transmisión piñón-cadena se reutilizaron cadenas de moto y se soldaron sobre la cara superior del riel guía interno tal como se observa en la **Figura 40**.

3.1.3. Mecanismo de rodamientos

Para el ensamble de porta rodamientos se utilizó varilla comercial lisa de $\frac{3}{4}$ ", donde se inició cortando una sección de 88 cm para el eje horizontal, 2 secciones de 8 cm para los laterales, un tramo de 6 cm para el eje de encaje con la base del captador y 2 secciones de 5 cm a las cuales se les desbastó uno de sus lados consiguiendo un diámetro de 1,5 cm para el respectivo encaje con los rodamientos. Como se muestra en la Figura 41, se realizaron cortes a 45° para un mejor ensamble y se procedieron a soldar las secciones en respectivo orden y por último el ensamble de los rodamientos.

Figura 41. Ensamble del mecanismo de rodamientos



Fuente: autor

3.1.4. Encaje y graduación de ángulo cenital del captador

Para la construcción de los encajes del captador se utilizaron 2 secciones de 15 cm de tubo metálico de 2", dos arandelas de 9 mm de espesor con diámetros interno y externo de 4,7 cm y 15 cm respectivamente, los cuales se soldaron de forma concéntrica por el interior del tubo y arandela para evitar cambios en el diámetro del tubo que está en contacto con la base del captador. Para el encaje que tiene graduación se soldó un tramo de 10 cm de varilla de $\frac{3}{4}$ " para el mecanismo tipo

manivela y para los ángulos de inclinación cenital se perforó la arandela para luego introducir el tornillo pasante que fije la posición ⁵² tal como se muestra en la **Figura 42**.

Figura 42. Construcción de encajes y graduación del captador

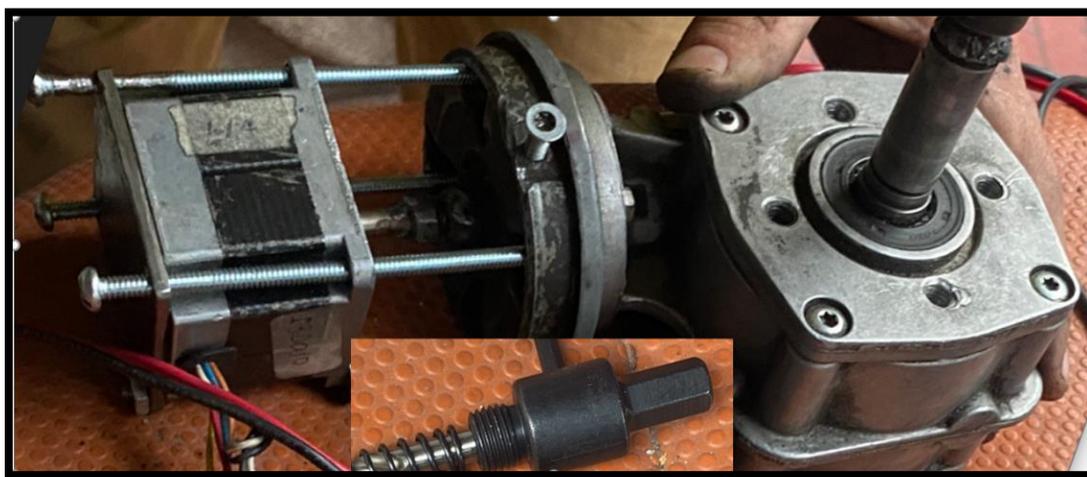


Fuente: autor

3.1.5. Montaje y adecuación de motor

Para la adecuación del motor nema 23 a la estructura, se utilizó una carcasa de un motor limpiaparabrisas dañado el cual contaba con una caja reductora 1:10.

Figura 43. Adecuación de motor nema 23 a caja reductora

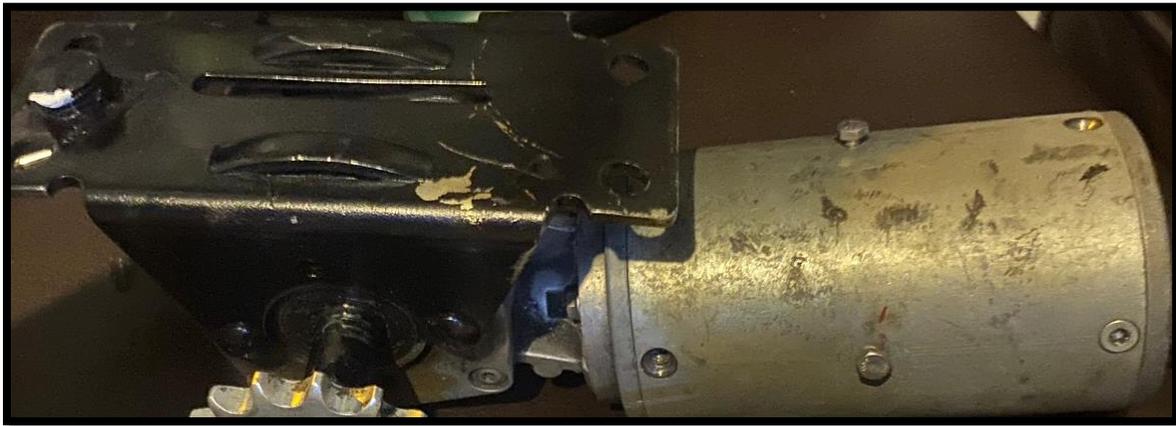


Fuente: autor

Como se evidencia en la **Figura 43**, se inició con la unión del eje de transmisión del motor a el eje de la caja reductora, soldando un mandril de copa sierra el eje de la caja reductora para poder realizar un fácil ensamble del motor con la caja reductora.

Adicionalmente, como se observa en la **Figura 44**, a la carcasa del motor se le agregaron 4 tornillos de graduación que cumplen la función de centrar las caras del motor nema 23 con el eje de la caja reductora y posteriormente se hizo el montaje del soporte del sistema motor anclado con 4 tornillos a la caja reductora.

Figura 44. Montaje carcasa y soporte de motor



Fuente: autor

3.1.6. Montaje y adecuación del sistema de transmisión

Inicialmente se soldaron las cadenas de moto al riel guía interno por lo se debe usar un piñón de moto que arrastre sobre la cadena. En primer lugar, se buscó un eje reutilizado de una motocicleta para posteriormente ensamblarlo con el eje de salida de la caja reductora. Ya teniendo el eje se corta a una medida suficiente para que el piñón siempre este en contacto con la cadena durante el recorrido por el riel, y seguido a esto se suelda concéntricamente con el eje de la caja reductora y se pule para dar el acabado final como se muestra en la **Figura 45**.

Figura 45. Adecuación del motor al sistema de transmisión



Fuente: autor

3.1.7. Detalles estructurales de la base del captador

Al realizar el ensamble de los componentes contruidos, se opta por incluir en la base del captador 1 tope para cada porta rodamiento y un tornillo pasante en el anclaje de la base del captador con el mecanismo de rodamientos, con el fin de que se obtuviera una mayor rigidez en el mecanismo y no se presentaran roces en los rodamientos con los laterales de los rieles, como se observa en la **Figura 46**.

Figura 46. Detalles estructurales de la base del captador



Fuente: autor

Como se muestra en la Figura 47, se construyó una estructura para el anclaje y correcto funcionamiento del motor, para lo cual se le adicióno un mecanismo de tolerancia por resortes para que la posición de motor se adaptara a los cambios de nivel de la estructura ya que está sobrepuesta sobre una superficie que no es totalmente plana.

Figura 47. Estructura de anclaje del motor



Fuente: autor

3.1.8. Recubrimiento y detallado de la estructura

Una vez realizado todo el ensamble y construcción de los componentes se procede a realizar el detallado final, donde se pulen y se corrigen las uniones con soldadura.

Figura 48. Detalle de proceso de recubrimiento de la estructura metálica



Fuente: autor

Como se puede evidenciar en la Figura 48, posterior a haber pulido se inicia con cubrir con mezcla de masilla-catalizador las uniones de la estructura para luego lijar el excedente y dar el acabado final.

Figura 49. Estructura metálica terminada



Fuente: autor

En seguida de haber lijado la estructura se procede a aplicarle el recubrimiento, donde se utilizó 3 capas de color negro brillante para la totalidad de los componentes soldados durante la construcción como se puede observar en la **Figura 49**.

3.1.9. Montaje y conexiones⁴⁷ del sistema de control

Para la construcción del sistema de control se realizó dentro de una caja plástica cuadrada hermética de 20 cm que cuenta con una profundidad de 10 cm, la cual fue fijada sobre la estructura de la base del captador. Los cables de la fuente de alimentación y señales de motor se introdujeron por las tapas diseñadas para este tipo de cajas, tal como se muestra en la **Figura 50**, logrando así una mayor vida útil de los componentes electrónicos.

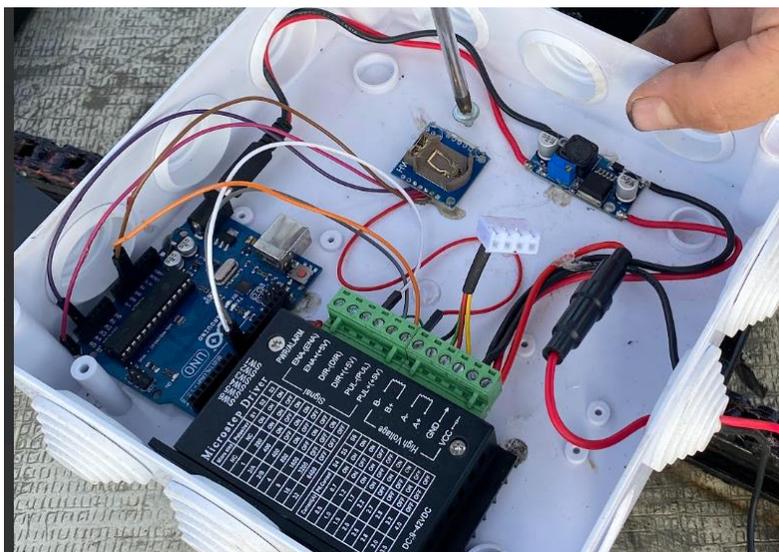
Figura 50. Caja de inspección hermética del sistema de control



Fuente: autor

Como se observa en la **Figura 51**, el sistema de control lo compone una placa Arduino, una reloj-calendario DS-1307, un controlador de motor o driver Tb6600, un porta fusible de 2A para la alimentación del driver, una regleta de fácil conexión de 4 bornas, un variador de voltaje para la alimentación a 9V del Arduino y los respectivos cables para las conexiones necesarias.

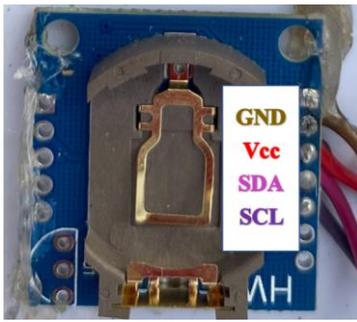
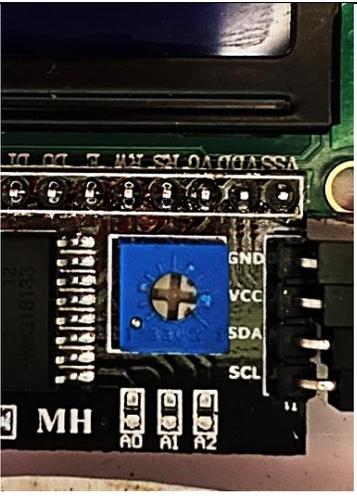
Figura 51. Sistema de control con sus componentes (autoría propia)



Fuente: autor

Tabla 11. Descripción de conexiones para los componentes electrónicos del sistema de control

COMPONENTE ELECTRÓNICO	FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN DE LA CONEXIÓN
<p>12 Motor paso a paso</p>		<p>Para la conexión de motor paso a paso se inició identificando las 2 bobinas que componen el motor mediante un multímetro detectando continuidad. Seguido a esto, la bobina A se definió con los colores amarillo y rojo, y la bobina B con los colores verde y negro para luego conectar. Utilizando como enlace una bornera de 4 cable, se realizó la correspondiente conexión como se muestra en la imagen de referencia.</p>
<p>Driver Tb-6600</p>		<p>Inicialmente el driver o controlador del motor de pasos esta alimentado desde la entrada principal de 12-24V, el cual está protegido en su entrada positiva (cable rojo) con un fusible de 2A y seguido a los bornes de alimentación se evidencia la conexión de las 2 bobinas del motor. Luego se realiza un puente en el driver entre DIR+(+5V) y PUL+(+5V), seguido a la conexión entre driver y Arduino, donde el cable naranja conecta (PUL+(+5V) con 5V), el cable gris: (PUL-(PUL) con INT-9) y cable blanco: (DIR-(DIR) con INT-8).</p>
<p>Variador de voltaje</p>		<p>Los cables del variador de voltaje se deben soldar de forma paralela, el cual su alimentación se deriva del + y - del driver y regula el voltaje para el Arduino a 9V.</p>

<p>Reloj- calendario DS-1307</p>		<p>En las conexiones del reloj calendario DS-1307 se deben soldar 4 cables para la conexión correspondiente con el Arduino respetando los siguientes colores:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Café: GND de reloj con GND de Arduino. -Rojo: Vcc de reloj con 5V de Arduino (en este caso con y PUL+(+5V) del driver). -Fucsia: SDA de reloj con A4 de Arduino. -Morado: SCL de reloj con A5 de Arduino.
<p>Pantalla lcd 2x16 y modulo CF8574-LCD I2C</p>		<p>La conexión de las salidas del modulo LCD, debe de forma paralela con los cables que salen de reloj calendario de la forma:</p> <ul style="list-style-type: none"> -GND del RTC con GND del modulo -VCC del RTC con VCC del modulo - SDA del RTC con SDA del modulo - SCL del RTC con SCL del modulo
<p>Placa Arduino Uno R3 ATmega328P</p>		<p>La placa Arduino en primer lugar cuenta con una alimentación de 9V que está regulada por el variador de voltaje y un puerto USB para su programación. Los cables de conexión están enlazados con los siguientes puntos.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Café (GND): GND de reloj. -Fucsia (A4): SDA de reloj. -Morado (A5): SCL de reloj. -Blanco (8): DIR-(DIR) de driver. -Gris (9): PUL-(PUL) de driver. -Naranja: PUL+(+5V) de driver.

Fuente: autor

4. ENSAYO DEL SEGUIDOR SOLAR

4.1. Programación del sistema de control

Para realizar el ensayo del mecanismo diseñado y construido, lo primero que se debe hacer es configuración y programación del sistema de control, por lo cual se inicia por definir la configuración del controlador o driver Tb-6600. Como se evidencia en la **Figura 52**, se definió una configuración 2/A (ON-OFF-ON = 400 pulsos/rev) para S1-S2-S3; y una configuración OFF-OFF- ON para S4-S5-S6, obteniendo una corriente de 2.8A - 2.9A necesaria para el motor paso a paso nema 23 definido en el diseño.

Figura 52. Configuración del controlador del motor paso a paso (autoría propia)



Luego de haber configurado el driver a 400 pulsos/rev, se continua con los cálculos correspondientes para determinar el número de pasos necesarios y los tiempos de recorrido y espera, correspondientes a los ángulos azimutales definidos; como se muestra en la Tabla 12 y Tabla 13.

Ejemplo del procedimiento de los cálculos para las 6 am en posición sur:

- Diferencia entre ángulos azimutales en el cambio de hora: grados de desplazamiento que debe realizar la base del captador en cada intercambio de hora.

$$\text{Diferencia entre angulos} = \text{ángulo azimutal (7 am)} - \text{ángulo azimutal (6 am)}$$

$$\text{Diferencia entre angulos} = 73.79^\circ - 73^\circ = \mathbf{0,79^\circ}$$

- Distancia recorrida durante cada hora: centímetros que debe recorrer el piñón en el intercambio de hora. Para este cálculo se toma una distancia de 691 cm para 180° de recorrido.

$$\text{Recorrido en cadena} = \frac{691 \text{ cm}}{180^\circ} * \text{Diferencia entre angulos}$$

$$\text{Recorrido en cadena} = \frac{691 \text{ cm}}{180^\circ} * 0,79^\circ = \mathbf{3,032 \text{ cm}}$$

- Numero de pasos de motor: cantidad de pulsos que deben ser enviado al motor para que realice el recorrido. En esta operación se utiliza la configuración de 400 pulsos/rev, y una relación 10:1 de la caja reductora, donde en cada revolución del piñón se recorren 18,1 cm.

$$\text{Numero de pasos} = \frac{400 \text{ pulsos/rev}}{18,1 \text{ cm}} * \text{Recorrido en cadena} * \text{relacion de la caja reductora}$$

$$\text{Numero de pasos} = \frac{400 \text{ pulsos/rev}}{18,1 \text{ cm}} * 3,032 \text{ cm} * 10 \text{ rev}$$

$$\text{Numero de pasos} = \mathbf{670.1 \text{ pulsos}}$$

- Tiempo de recorrido: cantidad de segundos que dura el recorrido correspondiente entre cada hora. Se utiliza una duración de 8 segundos por cada 400 pulsos.

$$\text{Tiempo de recorrido} = \frac{8 \text{ seg}}{400 \text{ pulsos}} * \text{Numero de pasos}$$

$$\text{Tiempo de recorrido} = \frac{8 \text{ seg}}{400 \text{ pulsos}} * 670.1 \text{ pulsos}$$

$$\text{Tiempo de recorrido} = \mathbf{13,4 \text{ seg}}$$

- Tiempo de espera: cantidad de segundos que espera entre cada hora el Arduino en enviar la señal de cambio de posición correspondiente. 1 hora = 3600 seg.

$$\text{Tiempo de espera} = 3600 \text{ seg} - \text{Tiempo de recorrido}$$

$$\text{Tiempo de espera} = 3600 \text{ seg} - 13 \text{ seg}$$

$$\text{Tiempo de recorrido} = \mathbf{3587 \text{ seg}}$$

Tabla 12. Cálculos de programación para los ángulos azimutales en la posición SUR

ITEM	6 a.m.	7 a.m.	8 a.m.	9 a.m.	10 a.m.	11 a.m.	12 p.m.	1 p.m.	2 p.m.	3 p.m.	4 p.m.	5 p.m.	6 p.m.
Ángulos azimutales	72,98	73,8	73,4	71,5	66,4	52,8	0,24	-52,8	-66,4	-71,5	-73,4	-73,8	-72,98
Diferencia entre ángulos horarios	0,79	-0,33	-1,928	-5,067	-13,65	-52,56	-53,04	-13,6	-5,06	-1,93	-0,33	-0,79	145,97
Distancia de recorrido en cadena(cm)	3,0	1,2	7,4	19,4	52,4	201,7	203,6	52,4	19,4	7,4	1,2	3,0	560,3
Numero de pasos de motor	670,1	281	1635,8	4298,9	11581	44588	44999	11581	4298,9	1636	281	670,1	123839,5
Tiempo de recorrido(segundos)	13,4	5,6	32,7	85,9	231,6	891,7	899,9	231,6	85,9	32,7	5,6	13,4	2476,7
Tiempo de espera (segundos)	3587	3594	3567,3	3514	3368,4	2708,2	2700	3368,4	3514	3567,3	3594	3587	1123,2

Fuente: autor

Tabla 13. Cálculos de programación para los ángulos azimutales en la posición NORTE

ITEM	6 a.m.	7 a.m.	8 a.m.	9 a.m.	10 a.m.	11 a.m.	12 p.m.	1 p.m.	2 p.m.	3 p.m.	4 p.m.	5 p.m.	6 p.m.
Ángulos azimutales	-77,3	-75,6	-72,7	-68,1	-59,83	-43,5	-0,1	43,5	59,83	68,1	72,7	75,6	77,3
Diferencia entre ángulos horarios	1,77	2,87	4,68	8,22	16,31	43,41	43,62	16,31	8,22	4,68	2,87	1,77	-154,77
Distancia de recorrido en cadena(cm)	6,8	11,03	17,9	31,57	62,61	166,67	167,47	62,61	31,57	17,9	11,03	6,8	594,1
Numero de pasos de motor	1506	2437	3978	6976	13836	36834	37010	13836	6976	3978	2437	1506	131310,4
Tiempo de recorrido(segundos)	30,1	48,7	79,5	139,5	276,7	736,6	740,2	276,7	139,5	79,5	48,7	30,1	2626,2
Tiempo de espera (segundos)	3570	3551	3520,4	3460,5	3323	2863,3	2859,8	3323	3460,5	3520,4	3551	3570	973,7

Fuente: autor

La programación completa del sistema de control de Arduino se encuentra en el **Anexo E**, donde se codificó con 0 y 1 para las 2 direcciones de giro del motor, asignando los respectivos pulsos para cada recorrido que debe realizar el dispositivo en la hora que corresponda.

4.2. Instalación de marquillas adhesivas

Para una adecuada operación del mecanismo se instalaron marquillas adhesivas al sistema, brindando datos como el voltaje requerido para la operación del sistema de control, señales de advertencia para la puesta en marcha del mecanismo y esquema para la graduación de las posiciones del ángulo cenital (**Figura 53**).

Figura 53. Marquillas operacionales y graduación cenital del mecanismo



Fuente: autor

En la determinación de la precisión del sistema se realizó la instalación de marquillas con las horas del día en el costado del riel guía y una fecha indicadora de posición en cada parada que realiza el mecanismo tal como se muestra en la **Figura 54**.

Figura 54. Marquillas de posición azimutal



Fuente: autor

4.3. Engrase de componentes del mecanismo

Para realizar el ensayo del sistema y componentes, se realizó la correspondiente limpieza y engrase de los encajes, tornillos pasantes y piezas que estarían en movimiento constante (**Figura 55**).

Figura 55. Engrase de encajes y tornillos pasantes de la estructura



Fuente: autor

El engrase de los componentes permite una mejor fluidez en el recorrido en sistema de corredera (riel- rodamiento) y el sistema de engranaje (piñón-cadena), así como también alargar la vida útil de las piezas expuestas a la intemperie.

Figura 56. Engrase del sistema de engranaje



Fuente: autor

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el primer ensayo del movimiento del mecanismo se realizó con una programación de los recorridos azimutales de forma continua, utilizando tiempos de espera entre cada recorrido de 5 segundos y se asignaron los valores de pulsos calculados como ejemplo la **Figura 57**.

Figura 57. Programación de prueba Arduino

```
for (int x = 0; x <=1506; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(6am)
{
  digitalWrite(driverDIR, 1);
  digitalWrite(driverPUL, HIGH);
  delayMicroseconds(10000);
  digitalWrite(driverPUL, LOW);
  delayMicroseconds(10000);
}

//detiene 10s
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delay(5000);
```

Fuente: autor

Para la fuente de alimentación provisional y puesta en marcha del sistema de control en esta prueba, se utilizó un adaptador de AC a DC de 110 V, que entrega al sistema de control unos valores máximos de 15V y 2A (Figura 58).

Figura 58. Fuente de alimentación para pruebas del mecanismo



Fuente: autor

En esta prueba se obtuvieron recorridos azimutales de alta precisión debido al uso del motor paso a paso configurado a 400 pulsos/rev, garantizando que el margen de error entre los datos calculados y el recorrido real del captador sea mínimo (**Figura 59**).

Figura 59. Prueba de posición de ángulos azimutales



Fuente: autor

En relación al consumo de energía de la totalidad del sistema de control, se obtuvieron valores de 0,75 A cuando el motor está accionado y 0.05 A cuando el motor no acciona.

Figura 60. Consumos amperimétricos del sistema de control



Fuente: autor

Una vez medido el consumo en amperios utilizando una fuente de alimentación de 12 V, se calcula el consumo en Watts con la ecuación $W=A*V$ y, obteniendo un consumo de 9 Watts cuando el motor está en movimiento y 0,6 Watts cuando el motor está inactivo. Para calcular el consumo de energía del mecanismo en un día tomamos los datos de tiempo de la **Tabla 12** y **Tabla 13**, donde sumamos los tiempos de recorrido y tiempos de espera obteniendo así:

$$W_{Motor\ activo*dia} = \sum T_{recorrido} * W_{Motor\ activo}$$

$$W_{Motor\ activo*dia} = 5252\ seg * \left(\frac{1\ dia}{8640\ seg}\right) * 9\ Watt$$

$$W_{Motor\ activo*dia} = 5,47\ Watts * dia$$

$$W_{Motor\ inactivo*dia} = \sum T_{espera} * W_{Motor\ inactivo}$$

$$W_{Motor\ inactivo*dia} = 81148\ seg * \left(\frac{1\ dia}{8640\ seg}\right) * 0,6\ Watt$$

$$W_{Motor\ inactivo*dia} = 5,63\ Watt * dia$$

$$W_{total*dia} = \sum W_{Motor\ activo*dia} + \sum W_{Motor\ inactivo*dia}$$

$$W_{total*dia} = 5,47\ Watt * dia + 05,63\ Watt * día$$

$$W_{total*dia} = 11,1\ Watt * dia$$

Al comparar el consumo diario del mecanismo de seguimiento solar (11,1 Watt*día) y la producción de promedio al día de un panel solar, se evidencia que el consumo del sistema incorporado es muy bajo; teniendo como resultado un sistema de seguimiento solar eficiente.

- **Prueba del sistema con peso de 110 lb soportado en la base:** La segunda prueba del mecanismo se realizó añadiéndole un peso de 55 lb en cada extremo de la base del captador tal como se muestra en la **Figura 61**, donde se observó que algunos tramos del riel donde los corte no fueron precisos, se presentaban roces de los rodamientos. También debido a

que el peso añadido en la estructura se concentra sobre el motor haciendo que este deba esforzarse y en algunos tramos del riel donde los rodamientos rozan el desplazamiento se pausa.

Figura 61. Prueba 2: peso de 110 lb soportado en la base



Fuente: autor

- **Prueba con peso de 55 lb soportado sobre el anclaje:** En este caso, se optó por montar un el peso de 55 lb donde iría soportado el peso del captador **Figura 62**, teniendo como resultado evitar que el motor haga un mayor esfuerzo y pause el desplazamiento.

Figura 62. Prueba 2: peso de 55 lb soportado en el eje



Fuente: autor

- **Comparativa de tiempos establecidos en la programación:** al realizar el ensayo del mecanismo, se miden con un cronometro celular los tiempos en los que el motor recorre de forma azimutal y se realiza la comparativa de los tiempos cronometrados con respecto a los obtenidos en la programación del Arduino. En el caso de la **Figura 63**, los tiempos medidos corresponden a la programación cuando el azimut está en posición norte; de este modo realizamos la comparación con los datos de la **Tabla 13**, dando como resultado una similitud de los tiempos de recorrido.

Figura 63. tiempos cronometrados en el ensayo del mecanismo



Vuelta 6	00:05,78
Vuelta 5	01:19,46
Vuelta 4	00:05,07
Vuelta 3	00:48,44
Vuelta 2	00:05,24
Vuelta 1	00:30,37

Fuente: autor

Al realizar el análisis de las pruebas de ensayo hechas en el captador, se obtuvo como resultado un sistema altamente eficiente debido a la precisión del sistema de control, el tipo de motor utilizado y el bajo consumo de energía que este presenta. Cabe destacar que, para el correcto funcionamiento del mecanismo, este debe estar debidamente engrasado y libre de basuras que impiden el libre desplazamiento de los rodamientos sobre el riel.

6. CONCLUSIONES

- Se desarrolló un mecanismo para un captador de canal compuesto parabólico que permite el seguimiento azimutal por medio de un sistema controlado por Arduino y una graduación cenital definida en 2 posiciones, que utilizan datos analizados y promediados en 2 ciclos de funcionamiento.
- Se diseñó un mecanismo de movimiento azimutal cumpliendo en su totalidad los requerimientos de estructura, función y uso que fueron suministrados por quien presentaba la necesidad de un seguidor solar.
- El diseño y construcción del mecanismo fue desarrollado con base a materiales comerciales de fácil accesibilidad y de bajo costo.
- El mecanismo realiza un movimiento azimutal por medio un motor paso a paso controlado por Arduino y programado en primer ciclo cuando los ángulos azimutales están posición Sur, y un segundo ciclo en posición Norte.
- Al realizar la construcción del mecanismo se analizaron y se buscaron estrategias para la posibilidad de utilizar materiales de segundo uso, como lo fueron las cadenas, ejes, platinas y reutilización de motores, disminuyendo considerablemente los costos totales del proyecto.
- Se logró la adaptación de un perfil rectangular de 20 x 40 mm para la fabricación del riel guía y la base del captador, reduciendo costos considerablemente en comparación con la utilización de un perfil en C macizo.
- El diseño del mecanismo estuvo basado en la posibilidad de emplearse en zonas rurales, por lo que se analizaron datos obtenidos y se fijaron datos apropiados para un sencillo control del mecanismo.

- La construcción de la totalidad del proyecto fue llevada a cabo por parte del autor.
- El mecanismo de seguimiento solar alcanza una alta precisión debido a que se usó un motor paso a paso controlado por Arduino, siendo (1paso=0,045 mm=0,00117°).
- Se logró un bajo consumo de energía al día de (11,1 Watt) lo que hace que el proyecto desarrollado sea eficiente.

6.1.Recomendaciones

- Se recomienda realizar limpieza y engrase al mecanismo construido de forma periódica para el libre desplazamiento de los rodamientos en el riel guía y evitar que el sistema se frene.
- En cuestión de evitar el roce de los rodamientos con el riel guía, se recomienda utilizar un riel en U y que este sobrepuesto sobre una superficie a nivel.
- Es recomendable mantener hermetizado el sistema de control para evitar el deterioro de los componentes electrónicos.
- Se sugiere utilizar un motor paso a paso de mayor torque, con el fin de aumentar la potencia de arrastre del motor y evitar que por efectos secundarios como rozamientos y presencia de basuras el sistema se frene.

7. Anexos

Anexo A. Presupuesto

#	ITEM	CANTIDAD	DESIGNACION	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	TUBO RECTANGULAR 20X40 C18 6 M	6	UNIDAD	\$ 33.800	\$ 202.800
2	DOBLECES	3	UNIDAD	\$ 20.000	\$ 60.000
3	DISCO CORTE DEWALT 4,5"	11	UNIDAD	\$ 4.100	\$ 45.100
4	SOLDADURA 6013	2	KG	\$ 20.000	\$ 40.000
5	MASILLA + CATALIZADOR	1	1/4 GALON	\$ 19.000	\$ 19.000
6	ESPATULA PLASTICA	2	UNIDAD	\$ 1.000	\$ 2.000
7	DISCO PULIR 4,5"	2	UNIDAD	\$ 5.500	\$ 11.000
8	DISCO LIJA 4,5"	2	UNIDAD	\$ 4.000	\$ 8.000
9	MOTOR NEMA 23	1	UNIDAD	\$ 35.000	\$ 35.000
10	DRIVER MOTOR NEMA 23	1	UNIDAD	\$ 85.000	\$ 85.000
11	MULTIPLICADOR TORQUE 1/10 RECICLADO	1	UNIDAD	\$ 50.000	\$ 50.000
12	ACERO RECICLADO	7	KG	\$ 4.000	\$ 28.000
13	TORNILLO	15	UNIDAD	\$ 200	\$ 3.000
14	TUERCA	10	UNIDAD	\$ 200	\$ 2.000
15	ARANDELA	20	UNIDAD	\$ 100	\$ 2.000
16	RODAMIENTOS	6	UNIDAD	\$ 8.000	\$ 48.000
17	EJE 3/4	2	METRO	\$ 15.000	\$ 30.000
18	LIJA 80	3	UNIDAD	\$ 1.800	\$ 5.400
19	PIÑON	1	UNIDAD	\$ 18.000	\$ 18.000
20	CABLE VEHICULAR CONEXIONES	4	METRO	\$ 1.000	\$ 4.000
21	CAJAPLASTICA INTERPERIA	1	UNIDAD	\$ 33.000	\$ 33.000
22	PINTURA ANTICORROSIVO	1	1/4 GALON	\$ 20.000	\$ 20.000
23	ARDUINO 1	1	UNIDAD	\$ 35.000	\$ 35.000
24	FUENTE 9 V	1	UNIDAD	\$ 12.000	\$ 12.000
25	FUENTE 12 V	1	UNIDAD	\$ 12.000	\$ 12.000
26	TUBO CUADRADO 1/2" X 6 M	2	UNIDAD	\$ 18.000	\$ 36.000
27	TORNILLO 1"	1	UNIDAD	\$ 2.500	\$ 2.500
28	TINER	1	LITRO	\$ 10.000	\$ 10.000
29	ESTOPA BOLSA	1	UNIDAD	\$ 5.000	\$ 5.000
30	BROCA LAMINA 3/8"	1	UNIDAD	\$ 4.700	\$ 4.700
31	BROCA LAMINA 1/8"	1	UNIDAD	\$ 2.300	\$ 2.300
32	AEROGRAFO	1	UNIDAD	\$ 79.000	\$ 79.000
33	ALQUILER HERRAMIENTA	100	HORA	\$ 2.000	\$ 200.000
34	COMBUSTIBLE	7	GALON	\$ 10.000	\$ 70.000
35	MANO DE OBRA	150	HORA	\$ 7.000	\$ 1.050.000
36	GRASA RODAMIENTOS	1	1/4 GALON	\$ 12.000	\$ 12.000
37	ENERGIA ELECTRICA	100	KW/H	\$ 500	\$ 50.000
38	MANDRIL COPASIERRA	1	UNIDAD	\$ 16.000	\$ 16.000
39	EJE PIÑON	1	UNIDAD	\$ 10.000	\$ 10.000
40	COPASIERRA 2"	1	UNIDAD	\$ 40.000	\$ 40.000
41	CONVERSOR VOLTAJE	1	UNIDAD	\$ 9.000	\$ 9.000
42	RELOJ CALENDARIO ARDUINO	1	UNIDAD	\$ 9.000	\$ 9.000
TOTAL					\$ 2.415.800

Anexo B. Cálculo de declinación y ángulos cenitales para 365 días de 6am a 6pm

MES	DIA	DECLINACION	ángulo cenital del sol													
			6 a.m.	7 a.m.	8 a.m.	9 a.m.	10 a.m.	11 a.m.	12 p.m.	1 p.m.	2 p.m.	3 p.m.	4 p.m.	5 p.m.	6 p.m.	
ENERO	1	-23,0116	28,547	28,547	28,55	28,547	28,547	28,547	28,547	28,547	28,55	28,55	28,55	28,547	28,55	28,55
	2	-22,9305	28,466	28,466	28,47	28,466	28,466	28,466	28,466	28,466	28,47	28,47	28,47	28,466	28,47	28,47
	3	-22,8427	28,378	28,378	28,38	28,378	28,378	28,378	28,378	28,378	28,38	28,38	28,38	28,378	28,38	28,38
	4	-22,7480	28,283	28,283	28,28	28,283	28,283	28,283	28,283	28,283	28,28	28,28	28,28	28,283	28,28	28,28
	5	-22,6466	28,182	28,182	28,18	28,182	28,182	28,182	28,182	28,182	28,18	28,18	28,18	28,182	28,18	28,18
	6	-22,5385	28,074	28,074	28,07	28,074	28,074	28,074	28,074	28,074	28,07	28,07	28,07	28,074	28,07	28,07
	7	-22,4237	27,959	27,959	27,96	27,959	27,959	27,959	27,959	27,959	27,96	27,96	27,96	27,959	27,96	27,96
	8	-22,3023	27,838	27,838	27,84	27,838	27,838	27,838	27,838	27,838	27,84	27,84	27,84	27,838	27,84	27,84
	9	-22,1742	27,71	27,71	27,71	27,71	27,71	27,71	27,71	27,71	27,71	27,71	27,71	27,71	27,71	27,71
	10	-22,0396	27,575	27,575	27,57	27,575	27,575	27,575	27,575	27,575	27,57	27,57	27,57	27,575	27,57	27,57
	11	-21,8985	27,434	27,434	27,43	27,434	27,434	27,434	27,434	27,434	27,43	27,43	27,43	27,434	27,43	27,43
	12	-21,7509	27,286	27,286	27,29	27,286	27,286	27,286	27,286	27,286	27,29	27,29	27,29	27,286	27,29	27,29
	13	-21,5968	27,132	27,132	27,13	27,132	27,132	27,132	27,132	27,132	27,13	27,13	27,13	27,132	27,13	27,13
	14	-21,4363	26,972	26,972	26,97	26,972	26,972	26,972	26,972	26,972	26,97	26,97	26,97	26,972	26,97	26,97
	15	-21,2695	26,805	26,805	26,8	26,805	26,805	26,805	26,805	26,805	26,8	26,8	26,8	26,805	26,8	26,8
	16	-21,0963	26,632	26,632	26,63	26,632	26,632	26,632	26,632	26,632	26,63	26,63	26,63	26,632	26,63	26,63
	17	-20,9170	26,452	26,452	26,45	26,452	26,452	26,452	26,452	26,452	26,45	26,45	26,45	26,452	26,45	26,45
	18	-20,7314	26,267	26,267	26,27	26,267	26,267	26,267	26,267	26,267	26,27	26,27	26,27	26,267	26,27	26,27
	19	-20,5397	26,075	26,075	26,07	26,075	26,075	26,075	26,075	26,075	26,07	26,07	26,07	26,075	26,07	26,07
	20	-20,3419	25,877	25,877	25,88	25,877	25,877	25,877	25,877	25,877	25,88	25,88	25,88	25,877	25,88	25,88
	21	-20,1380	25,673	25,673	25,67	25,673	25,673	25,673	25,673	25,673	25,67	25,67	25,67	25,673	25,67	25,67
	22	-19,9282	25,463	25,463	25,46	25,463	25,463	25,463	25,463	25,463	25,46	25,46	25,46	25,463	25,46	25,46
	23	-19,7125	25,248	25,248	25,25	25,248	25,248	25,248	25,248	25,248	25,25	25,25	25,25	25,248	25,25	25,25
	24	-19,4910	25,026	25,026	25,03	25,026	25,026	25,026	25,026	25,026	25,03	25,03	25,03	25,026	25,03	25,03
	25	-19,2636	24,799	24,799	24,8	24,799	24,799	24,799	24,799	24,799	24,8	24,8	24,8	24,799	24,8	24,8
	26	-19,0306	24,566	24,566	24,57	24,566	24,566	24,566	24,566	24,566	24,57	24,57	24,57	24,566	24,57	24,57
	27	-18,7919	24,327	24,327	24,33	24,327	24,327	24,327	24,327	24,327	24,33	24,33	24,33	24,327	24,33	24,33
	28	-18,5477	24,083	24,083	24,08	24,083	24,083	24,083	24,083	24,083	24,08	24,08	24,08	24,083	24,08	24,08
	29	-18,2979	23,833	23,833	23,83	23,833	23,833	23,833	23,833	23,833	23,83	23,83	23,83	23,833	23,83	23,83
	30	-18,0428	23,578	23,578	23,58	23,578	23,578	23,578	23,578	23,578	23,58	23,58	23,58	23,578	23,58	23,58
	31	-17,7823	23,318	23,318	23,32	23,318	23,318	23,318	23,318	23,318	23,32	23,32	23,32	23,318	23,32	23,32
	32	-17,5165	23,052	23,052	23,05	23,052	23,052	23,052	23,052	23,052	23,05	23,05	23,05	23,052	23,05	23,05
	33	-17,2455	22,781	22,781	22,78	22,781	22,781	22,781	22,781	22,781	22,78	22,78	22,78	22,781	22,78	22,78
	34	-16,9695	22,505	22,505	22,5	22,505	22,505	22,505	22,505	22,505	22,5	22,5	22,5	22,505	22,5	22,5
	35	-16,6883	22,224	22,224	22,22	22,224	22,224	22,224	22,224	22,224	22,22	22,22	22,22	22,224	22,22	22,22
	36	-16,4023	21,938	21,938	21,94	21,938	21,938	21,938	21,938	21,938	21,94	21,94	21,94	21,938	21,94	21,94
	37	-16,1114	21,647	21,647	21,65	21,647	21,647	21,647	21,647	21,647	21,65	21,65	21,65	21,647	21,65	21,65
	38	-15,8157	21,351	21,351	21,35	21,351	21,351	21,351	21,351	21,351	21,35	21,35	21,35	21,351	21,35	21,35
	39	-15,5153	21,051	21,051	21,05	21,051	21,051	21,051	21,051	21,051	21,05	21,05	21,05	21,051	21,05	21,05
	40	-15,2104	20,746	20,746	20,75	20,746	20,746	20,746	20,746	20,746	20,75	20,75	20,75	20,746	20,75	20,75
	41	-14,9009	20,436	20,436	20,44	20,436	20,436	20,436	20,436	20,436	20,44	20,44	20,44	20,436	20,44	20,44
	42	-14,5870	20,122	20,122	20,12	20,122	20,122	20,122	20,122	20,122	20,12	20,12	20,12	20,122	20,12	20,12
	43	-14,2688	19,804	19,804	19,8	19,804	19,804	19,804	19,804	19,804	19,8	19,8	19,8	19,804	19,8	19,8
	44	-13,9463	19,482	19,482	19,48	19,482	19,482	19,482	19,482	19,482	19,48	19,48	19,48	19,482	19,48	19,48
	45	-13,6198	19,155	19,155	19,16	19,155	19,155	19,155	19,155	19,155	19,16	19,16	19,16	19,155	19,16	19,16
	46	-13,2892	18,824	18,824	18,82	18,824	18,824	18,824	18,824	18,824	18,82	18,82	18,82	18,824	18,82	18,82
	47	-12,9546	18,49	18,49	18,49	18,49	18,49	18,49	18,49	18,49	18,49	18,49	18,49	18,49	18,49	18,49
	48	-12,6162	18,152	18,152	18,15	18,152	18,152	18,152	18,152	18,152	18,15	18,15	18,15	18,152	18,15	18,15
	49	-12,2741	17,809	17,809	17,81	17,809	17,809	17,809	17,809	17,809	17,81	17,81	17,81	17,809	17,81	17,81
	50	-11,9283	17,464	17,464	17,46	17,464	17,464	17,464	17,464	17,464	17,46	17,46	17,46	17,464	17,46	17,46
	51	-11,5790	17,114	17,114	17,11	17,114	17,114	17,114	17,114	17,114	17,11	17,11	17,11	17,114	17,11	17,11
	52	-11,2263	16,762	16,762	16,76	16,762	16,762	16,762	16,762	16,762	16,76	16,76	16,76	16,762	16,76	16,76
	53	-10,8703	16,406	16,406	16,41	16,406	16,406	16,406	16,406	16,406	16,41	16,41	16,41	16,406	16,41	16,41

FEBRERO	54	-10,5110	16,046	16,046	16,05	16,046	16,046	16,046	16,046	16,05	16,05	16,05	16,046	16,05	16,05
	55	-10,1486	15,684	15,684	15,68	15,684	15,684	15,684	15,684	15,68	15,68	15,68	15,684	15,68	15,68
	56	-9,7832	15,318	15,318	15,32	15,318	15,318	15,318	15,318	15,32	15,32	15,32	15,318	15,32	15,32
	57	-9,4149	14,95	14,95	14,95	14,95	14,95	14,95	14,95	14,95	14,95	14,95	14,95	14,95	14,95
	58	-9,0438	14,579	14,579	14,58	14,579	14,579	14,579	14,579	14,58	14,58	14,58	14,579	14,58	14,58
	59	-8,6700	14,205	14,205	14,21	14,205	14,205	14,205	14,205	14,21	14,21	14,21	14,205	14,21	14,21
	60	-8,2937	13,829	13,829	13,83	13,829	13,829	13,829	13,829	13,83	13,83	13,83	13,829	13,83	13,83
	61	-7,9149	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45	13,45
	62	-7,5338	13,069	13,069	13,07	13,069	13,069	13,069	13,069	13,07	13,07	13,07	13,069	13,07	13,07
63	-7,1504	12,686	12,686	12,69	12,686	12,686	12,686	12,686	12,69	12,69	12,69	12,686	12,69	12,69	
64	-6,7649	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	
65	-6,3774	11,913	11,913	11,91	11,913	11,913	11,913	11,913	11,91	11,91	11,91	11,913	11,91	11,91	
66	-5,9880	11,523	11,523	11,52	11,523	11,523	11,523	11,523	11,52	11,52	11,52	11,523	11,52	11,52	
67	-5,5969	11,132	11,132	11,13	11,132	11,132	11,132	11,132	11,13	11,13	11,13	11,132	11,13	11,13	
68	-5,2041	10,739	10,739	10,74	10,739	10,739	10,739	10,739	10,74	10,74	10,74	10,739	10,74	10,74	
69	-4,8097	10,345	10,345	10,34	10,345	10,345	10,345	10,345	10,34	10,34	10,34	10,345	10,34	10,34	
70	-4,4139	9,9492	9,9492	9,949	9,9492	9,9492	9,9492	9,9492	9,949	9,949	9,949	9,9492	9,949	9,949	
71	-4,0168	9,5521	9,5521	9,552	9,5521	9,5521	9,5521	9,5521	9,552	9,552	9,552	9,5521	9,552	9,552	
72	-3,6185	9,1538	9,1538	9,154	9,1538	9,1538	9,1538	9,1538	9,154	9,154	9,154	9,1538	9,154	9,154	
73	-3,2192	8,7545	8,7545	8,754	8,7545	8,7545	8,7545	8,7545	8,754	8,754	8,754	8,7545	8,754	8,754	
74	-2,8189	8,3542	8,3542	8,354	8,3542	8,3542	8,3542	8,3542	8,354	8,354	8,354	8,3542	8,354	8,354	
75	-2,4177	7,953	7,953	7,953	7,953	7,953	7,953	7,953	7,953	7,953	7,953	7,953	7,953	7,953	
76	-2,0159	7,5512	7,5512	7,551	7,5512	7,5512	7,5512	7,5512	7,551	7,551	7,551	7,5512	7,551	7,551	
77	-1,6134	7,1487	7,1487	7,149	7,1487	7,1487	7,1487	7,1487	7,149	7,149	7,149	7,1487	7,149	7,149	
78	-1,2105	6,7458	6,7458	6,746	6,7458	6,7458	6,7458	6,7458	6,746	6,746	6,746	6,7458	6,746	6,746	
79	-0,8072	6,3425	6,3425	6,342	6,3425	6,3425	6,3425	6,3425	6,342	6,342	6,342	6,3425	6,342	6,342	
80	-0,4037	5,9389	5,9389	5,939	5,9389	5,9389	5,9389	5,9389	5,939	5,939	5,939	5,9389	5,939	5,939	
81	0,0000	5,5353	5,5353	5,535	5,5353	5,5353	5,5353	5,5353	5,535	5,535	5,535	5,5353	5,535	5,535	
82	0,4037	5,1316	5,1316	5,132	5,1316	5,1316	5,1316	5,1316	5,132	5,132	5,132	5,1316	5,132	5,132	
83	0,8072	4,7281	4,7281	4,728	4,7281	4,7281	4,7281	4,7281	4,728	4,728	4,728	4,7281	4,728	4,728	
84	1,2105	4,3248	4,3248	4,325	4,3248	4,3248	4,3248	4,3248	4,325	4,325	4,325	4,3248	4,325	4,325	
85	1,6134	3,9219	3,9219	3,922	3,9219	3,9219	3,9219	3,9219	3,922	3,922	3,922	3,9219	3,922	3,922	
86	2,0159	3,5194	3,5194	3,519	3,5194	3,5194	3,5194	3,5194	3,519	3,519	3,519	3,5194	3,519	3,519	
87	2,4177	3,1175	3,1175	3,118	3,1175	3,1175	3,1175	3,1175	3,118	3,118	3,118	3,1175	3,118	3,118	
88	2,8189	2,7164	2,7164	2,716	2,7164	2,7164	2,7164	2,7164	2,716	2,716	2,716	2,7164	2,716	2,716	
89	3,2192	2,3161	2,3161	2,316	2,3161	2,3161	2,3161	2,3161	2,316	2,316	2,316	2,3161	2,316	2,316	
90	3,6185	1,9167	1,9167	1,917	1,9167	1,9167	1,9167	1,9167	1,917	1,917	1,917	1,9167	1,917	1,917	
91	4,0168	1,5185	1,5185	1,518	1,5185	1,5185	1,5185	1,5185	1,518	1,518	1,518	1,5185	1,518	1,518	
92	4,4139	1,1214	1,1214	1,121	1,1214	1,1214	1,1214	1,1214	1,121	1,121	1,121	1,1214	1,121	1,121	
93	4,8097	0,7256	0,7256	0,726	0,7256	0,7256	0,7256	0,7256	0,726	0,726	0,726	0,7256	0,726	0,726	
94	5,2041	0,3312	0,3312	0,331	0,3312	0,3312	0,3312	0,3312	0,331	0,331	0,331	0,3312	0,331	0,331	
95	5,5969	0,0616	0,0616	0,062	0,0616	0,0616	0,0616	0,0616	0,062	0,062	0,062	0,0616	0,062	0,062	
96	5,9880	0,4528	0,4528	0,453	0,4528	0,4528	0,4528	0,4528	0,453	0,453	0,453	0,4528	0,453	0,453	
97	6,3774	0,8421	0,8421	0,842	0,8421	0,8421	0,8421	0,8421	0,842	0,842	0,842	0,8421	0,842	0,842	
98	6,7649	1,2296	1,2296	1,23	1,2296	1,2296	1,2296	1,2296	1,23	1,23	1,23	1,2296	1,23	1,23	
99	7,1504	1,6151	1,6151	1,615	1,6151	1,6151	1,6151	1,6151	1,615	1,615	1,615	1,6151	1,615	1,615	
100	7,5338	1,9985	1,9985	1,998	1,9985	1,9985	1,9985	1,9985	1,998	1,998	1,998	1,9985	1,998	1,998	
101	7,9149	2,3796	2,3796	2,38	2,3796	2,3796	2,3796	2,3796	2,38	2,38	2,38	2,3796	2,38	2,38	
102	8,2937	2,7584	2,7584	2,758	2,7584	2,7584	2,7584	2,7584	2,758	2,758	2,758	2,7584	2,758	2,758	
103	8,6700	3,1348	3,1348	3,135	3,1348	3,1348	3,1348	3,1348	3,135	3,135	3,135	3,1348	3,135	3,135	
104	9,0438	3,5085	3,5085	3,509	3,5085	3,5085	3,5085	3,5085	3,509	3,509	3,509	3,5085	3,509	3,509	
105	9,4149	3,8796	3,8796	3,88	3,8796	3,8796	3,8796	3,8796	3,88	3,88	3,88	3,8796	3,88	3,88	
106	9,7832	4,2479	4,2479	4,248	4,2479	4,2479	4,2479	4,2479	4,248	4,248	4,248	4,2479	4,248	4,248	
107	10,1486	4,6133	4,6133	4,613	4,6133	4,6133	4,6133	4,6133	4,613	4,613	4,613	4,6133	4,613	4,613	
108	10,5110	4,9757	4,9757	4,976	4,9757	4,9757	4,9757	4,9757	4,976	4,976	4,976	4,9757	4,976	4,976	

ABRIL	109	10,8703	5,335	5,335	5,335	5,335	5,335	5,335	5,335	5,335	5,335	5,335	5,335	5,335	5,335
	110	11,2263	5,691	5,691	5,691	5,691	5,691	5,691	5,691	5,691	5,691	5,691	5,691	5,691	5,691
	111	11,5790	6,0438	6,0438	6,044	6,0438	6,0438	6,0438	6,0438	6,044	6,044	6,044	6,0438	6,044	6,044
	112	11,9283	6,3931	6,3931	6,393	6,3931	6,3931	6,3931	6,3931	6,393	6,393	6,393	6,3931	6,393	6,393
	113	12,2741	6,7388	6,7388	6,739	6,7388	6,7388	6,7388	6,7388	6,739	6,739	6,739	6,7388	6,739	6,739
	114	12,6162	7,0809	7,0809	7,081	7,0809	7,0809	7,0809	7,0809	7,081	7,081	7,081	7,0809	7,081	7,081
	115	12,9546	7,4193	7,4193	7,419	7,4193	7,4193	7,4193	7,4193	7,419	7,419	7,419	7,4193	7,419	7,419
	116	13,2892	7,7539	7,7539	7,754	7,7539	7,7539	7,7539	7,7539	7,754	7,754	7,754	7,7539	7,754	7,754
	117	13,6198	8,0845	8,0845	8,084	8,0845	8,0845	8,0845	8,0845	8,084	8,084	8,084	8,0845	8,084	8,084
	118	13,9463	8,4111	8,4111	8,411	8,4111	8,4111	8,4111	8,4111	8,411	8,411	8,411	8,4111	8,411	8,411
	119	14,2688	8,7335	8,7335	8,734	8,7335	8,7335	8,7335	8,7335	8,734	8,734	8,734	8,7335	8,734	8,734
	120	14,5870	9,0517	9,0517	9,052	9,0517	9,0517	9,0517	9,0517	9,052	9,052	9,052	9,0517	9,052	9,052
	121	14,9009	9,3656	9,3656	9,366	9,3656	9,3656	9,3656	9,3656	9,366	9,366	9,366	9,3656	9,366	9,366
	122	15,2104	9,6751	9,6751	9,675	9,6751	9,6751	9,6751	9,6751	9,675	9,675	9,675	9,6751	9,675	9,675
	123	15,5153	9,9801	9,9801	9,98	9,9801	9,9801	9,9801	9,9801	9,98	9,98	9,98	9,9801	9,98	9,98
	124	15,8157	10,28	10,28	10,28	10,28	10,28	10,28	10,28	10,28	10,28	10,28	10,28	10,28	10,28
	125	16,1114	10,576	10,576	10,58	10,576	10,576	10,576	10,576	10,58	10,58	10,58	10,576	10,58	10,58
	126	16,4023	10,867	10,867	10,87	10,867	10,867	10,867	10,867	10,87	10,87	10,87	10,867	10,87	10,87
	127	16,6883	11,153	11,153	11,15	11,153	11,153	11,153	11,153	11,15	11,15	11,15	11,153	11,15	11,15
	128	16,9695	11,434	11,434	11,43	11,434	11,434	11,434	11,434	11,43	11,43	11,43	11,434	11,43	11,43
	129	17,2455	11,71	11,71	11,71	11,71	11,71	11,71	11,71	11,71	11,71	11,71	11,71	11,71	11,71
	130	17,5165	11,981	11,981	11,98	11,981	11,981	11,981	11,981	11,98	11,98	11,98	11,981	11,98	11,98
	131	17,7823	12,247	12,247	12,25	12,247	12,247	12,247	12,247	12,25	12,25	12,25	12,247	12,25	12,25
	132	18,0428	12,507	12,507	12,51	12,507	12,507	12,507	12,507	12,51	12,51	12,51	12,507	12,51	12,51
	133	18,2979	12,763	12,763	12,76	12,763	12,763	12,763	12,763	12,76	12,76	12,76	12,763	12,76	12,76
	134	18,5477	13,012	13,012	13,01	13,012	13,012	13,012	13,012	13,01	13,01	13,01	13,012	13,01	13,01
	135	18,7919	13,257	13,257	13,26	13,257	13,257	13,257	13,257	13,26	13,26	13,26	13,257	13,26	13,26
	136	19,0306	13,495	13,495	13,5	13,495	13,495	13,495	13,495	13,5	13,5	13,5	13,495	13,5	13,5
	137	19,2636	13,728	13,728	13,73	13,728	13,728	13,728	13,728	13,73	13,73	13,73	13,728	13,73	13,73
	138	19,4910	13,956	13,956	13,96	13,956	13,956	13,956	13,956	13,96	13,96	13,96	13,956	13,96	13,96
139	19,7125	14,177	14,177	14,18	14,177	14,177	14,177	14,177	14,18	14,18	14,18	14,177	14,18	14,18	
140	19,9282	14,393	14,393	14,39	14,393	14,393	14,393	14,393	14,39	14,39	14,39	14,393	14,39	14,39	
141	20,1380	14,603	14,603	14,6	14,603	14,603	14,603	14,603	14,6	14,6	14,6	14,603	14,6	14,6	
142	20,3419	14,807	14,807	14,81	14,807	14,807	14,807	14,807	14,81	14,81	14,81	14,807	14,81	14,81	
143	20,5397	15,004	15,004	15	15,004	15,004	15,004	15,004	15	15	15	15,004	15	15	
144	20,7314	15,196	15,196	15,2	15,196	15,196	15,196	15,196	15,2	15,2	15,2	15,196	15,2	15,2	
145	20,9170	15,382	15,382	15,38	15,382	15,382	15,382	15,382	15,38	15,38	15,38	15,382	15,38	15,38	
146	21,0963	15,561	15,561	15,56	15,561	15,561	15,561	15,561	15,56	15,56	15,56	15,561	15,56	15,56	
147	21,2695	15,734	15,734	15,73	15,734	15,734	15,734	15,734	15,73	15,73	15,73	15,734	15,73	15,73	
148	21,4363	15,901	15,901	15,9	15,901	15,901	15,901	15,901	15,9	15,9	15,9	15,901	15,9	15,9	
149	21,5968	16,061	16,061	16,06	16,061	16,061	16,061	16,061	16,06	16,06	16,06	16,061	16,06	16,06	
150	21,7509	16,216	16,216	16,22	16,216	16,216	16,216	16,216	16,22	16,22	16,22	16,216	16,22	16,22	
151	21,8985	16,363	16,363	16,36	16,363	16,363	16,363	16,363	16,36	16,36	16,36	16,363	16,36	16,36	
MAYO	152	22,0396	16,504	16,504	16,5	16,504	16,504	16,504	16,504	16,5	16,5	16,5	16,504	16,5	16,5
	153	22,1742	16,639	16,639	16,64	16,639	16,639	16,639	16,639	16,64	16,64	16,64	16,639	16,64	16,64
	154	22,3023	16,767	16,767	16,77	16,767	16,767	16,767	16,767	16,77	16,77	16,77	16,767	16,77	16,77
	155	22,4237	16,888	16,888	16,89	16,888	16,888	16,888	16,888	16,89	16,89	16,89	16,888	16,89	16,89
	156	22,5385	17,003	17,003	17	17,003	17,003	17,003	17,003	17	17	17	17,003	17	17
	157	22,6466	17,111	17,111	17,11	17,111	17,111	17,111	17,111	17,11	17,11	17,11	17,111	17,11	17,11
	158	22,7480	17,213	17,213	17,21	17,213	17,213	17,213	17,213	17,21	17,21	17,21	17,213	17,21	17,21
	159	22,8427	17,307	17,307	17,31	17,307	17,307	17,307	17,307	17,31	17,31	17,31	17,307	17,31	17,31
	160	22,9305	17,395	17,395	17,4	17,395	17,395	17,395	17,395	17,4	17,4	17,4	17,395	17,4	17,4
	161	23,0116	17,476	17,476	17,48	17,476	17,476	17,476	17,476	17,48	17,48	17,48	17,476	17,48	17,48
	162	23,0859	17,551	17,551	17,55	17,551	17,551	17,551	17,551	17,55	17,55	17,55	17,551	17,55	17,55
	163	23,1533	17,618	17,618	17,62	17,618	17,618	17,618	17,618	17,62	17,62	17,62	17,618	17,62	17,62

JUNIO	164	23,2139	17,679	17,679	17,68	17,679	17,679	17,679	17,679	17,68	17,68	17,68	17,679	17,68	17,68
	165	23,2676	17,732	17,732	17,73	17,732	17,732	17,732	17,732	17,73	17,73	17,73	17,732	17,73	17,73
	166	23,3144	17,779	17,779	17,78	17,779	17,779	17,779	17,779	17,78	17,78	17,78	17,779	17,78	17,78
	167	23,3543	17,819	17,819	17,82	17,819	17,819	17,819	17,819	17,82	17,82	17,82	17,819	17,82	17,82
	168	23,3873	17,852	17,852	17,85	17,852	17,852	17,852	17,852	17,85	17,85	17,85	17,852	17,85	17,85
	169	23,4133	17,878	17,878	17,88	17,878	17,878	17,878	17,878	17,88	17,88	17,88	17,878	17,88	17,88
	170	23,4324	17,897	17,897	17,9	17,897	17,897	17,897	17,897	17,9	17,9	17,9	17,897	17,9	17,9
	171	23,4446	17,909	17,909	17,91	17,909	17,909	17,909	17,909	17,91	17,91	17,91	17,909	17,91	17,91
	172	23,4498	17,915	17,915	17,91	17,915	17,915	17,915	17,915	17,91	17,91	17,91	17,915	17,91	17,91
	173	23,4480	17,913	17,913	17,91	17,913	17,913	17,913	17,913	17,91	17,91	17,91	17,913	17,91	17,91
	174	23,4394	17,904	17,904	17,9	17,904	17,904	17,904	17,904	17,9	17,9	17,9	17,904	17,9	17,9
	175	23,4237	17,888	17,888	17,89	17,888	17,888	17,888	17,888	17,89	17,89	17,89	17,888	17,89	17,89
	176	23,4012	17,866	17,866	17,87	17,866	17,866	17,866	17,866	17,87	17,87	17,87	17,866	17,87	17,87
	177	23,3717	17,836	17,836	17,84	17,836	17,836	17,836	17,836	17,84	17,84	17,84	17,836	17,84	17,84
	178	23,3352	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8
	179	23,2919	17,757	17,757	17,76	17,757	17,757	17,757	17,757	17,76	17,76	17,76	17,757	17,76	17,76
	180	23,2416	17,706	17,706	17,71	17,706	17,706	17,706	17,706	17,71	17,71	17,71	17,706	17,71	17,71
	181	23,1845	17,649	17,649	17,65	17,649	17,649	17,649	17,649	17,65	17,65	17,65	17,649	17,65	17,65
	JULIO	182	23,1205	17,585	17,585	17,59	17,585	17,585	17,585	17,585	17,59	17,59	17,59	17,585	17,59
183		23,0496	17,514	17,514	17,51	17,514	17,514	17,514	17,514	17,51	17,51	17,51	17,514	17,51	17,51
184		22,9719	17,437	17,437	17,44	17,437	17,437	17,437	17,437	17,44	17,44	17,44	17,437	17,44	17,44
185		22,8874	17,352	17,352	17,35	17,352	17,352	17,352	17,352	17,35	17,35	17,35	17,352	17,35	17,35
186		22,7962	17,261	17,261	17,26	17,261	17,261	17,261	17,261	17,26	17,26	17,26	17,261	17,26	17,26
187		22,6981	17,163	17,163	17,16	17,163	17,163	17,163	17,163	17,16	17,16	17,16	17,163	17,16	17,16
188		22,5934	17,058	17,058	17,06	17,058	17,058	17,058	17,058	17,06	17,06	17,06	17,058	17,06	17,06
189		22,4819	16,947	16,947	16,95	16,947	16,947	16,947	16,947	16,95	16,95	16,95	16,947	16,95	16,95
190		22,3638	16,829	16,829	16,83	16,829	16,829	16,829	16,829	16,83	16,83	16,83	16,829	16,83	16,83
191		22,2391	16,704	16,704	16,7	16,704	16,704	16,704	16,704	16,7	16,7	16,7	16,704	16,7	16,7
192		22,1077	16,572	16,572	16,57	16,572	16,572	16,572	16,572	16,57	16,57	16,57	16,572	16,57	16,57
193		21,9699	16,435	16,435	16,43	16,435	16,435	16,435	16,435	16,43	16,43	16,43	16,435	16,43	16,43
194		21,8255	16,29	16,29	16,29	16,29	16,29	16,29	16,29	16,29	16,29	16,29	16,29	16,29	16,29
195		21,6746	16,139	16,139	16,14	16,139	16,139	16,139	16,139	16,14	16,14	16,14	16,139	16,14	16,14
196		21,5173	15,982	15,982	15,98	15,982	15,982	15,982	15,982	15,98	15,98	15,98	15,982	15,98	15,98
197		21,3537	15,818	15,818	15,82	15,818	15,818	15,818	15,818	15,82	15,82	15,82	15,818	15,82	15,82
198		21,1837	15,648	15,648	15,65	15,648	15,648	15,648	15,648	15,65	15,65	15,65	15,648	15,65	15,65
199		21,0074	15,472	15,472	15,47	15,472	15,472	15,472	15,472	15,47	15,47	15,47	15,472	15,47	15,47
200		20,8249	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29
201		20,6363	15,101	15,101	15,1	15,101	15,101	15,101	15,101	15,1	15,1	15,1	15,101	15,1	15,1
202		20,4415	14,906	14,906	14,91	14,906	14,906	14,906	14,906	14,91	14,91	14,91	14,906	14,91	14,91
203		20,2407	14,705	14,705	14,71	14,705	14,705	14,705	14,705	14,71	14,71	14,71	14,705	14,71	14,71
204		20,0339	14,499	14,499	14,5	14,499	14,499	14,499	14,499	14,5	14,5	14,5	14,499	14,5	14,5
205		19,8211	14,286	14,286	14,29	14,286	14,286	14,286	14,286	14,29	14,29	14,29	14,286	14,29	14,29
206		19,6025	14,067	14,067	14,07	14,067	14,067	14,067	14,067	14,07	14,07	14,07	14,067	14,07	14,07
207		19,3780	13,843	13,843	13,84	13,843	13,843	13,843	13,843	13,84	13,84	13,84	13,843	13,84	13,84
208		19,1478	13,613	13,613	13,61	13,613	13,613	13,613	13,613	13,61	13,61	13,61	13,613	13,61	13,61
209		18,9120	13,377	13,377	13,38	13,377	13,377	13,377	13,377	13,38	13,38	13,38	13,377	13,38	13,38
210	18,6705	13,135	13,135	13,14	13,135	13,135	13,135	13,135	13,14	13,14	13,14	13,135	13,14	13,14	
211	18,4235	12,888	12,888	12,89	12,888	12,888	12,888	12,888	12,89	12,89	12,89	12,888	12,89	12,89	
212	18,1710	12,636	12,636	12,64	12,636	12,636	12,636	12,636	12,64	12,64	12,64	12,636	12,64	12,64	
213	17,9132	12,378	12,378	12,38	12,378	12,378	12,378	12,378	12,38	12,38	12,38	12,378	12,38	12,38	
214	17,6500	12,115	12,115	12,11	12,115	12,115	12,115	12,115	12,11	12,11	12,11	12,115	12,11	12,11	
215	17,3817	11,846	11,846	11,85	11,846	11,846	11,846	11,846	11,85	11,85	11,85	11,846	11,85	11,85	
216	17,1081	11,573	11,573	11,57	11,573	11,573	11,573	11,573	11,57	11,57	11,57	11,573	11,57	11,57	
217	16,8295	11,294	11,294	11,29	11,294	11,294	11,294	11,294	11,29	11,29	11,29	11,294	11,29	11,29	
218	16,5459	11,011	11,011	11,01	11,011	11,011	11,011	11,011	11,01	11,01	11,01	11,011	11,01	11,01	

OCTUBRE	274	-4,2155	9,7508	9,7508	9,751	9,7508	9,7508	9,7508	9,7508	9,751	9,751	9,751	9,7508	9,751	9,751
	275	-4,6120	10,147	10,147	10,15	10,147	10,147	10,147	10,147	10,15	10,15	10,15	10,147	10,15	10,15
	276	-5,0071	10,542	10,542	10,54	10,542	10,542	10,542	10,542	10,54	10,54	10,54	10,542	10,54	10,54
	277	-5,4007	10,936	10,936	10,94	10,936	10,936	10,936	10,936	10,94	10,94	10,94	10,936	10,94	10,94
	278	-5,7927	11,328	11,328	11,33	11,328	11,328	11,328	11,328	11,33	11,33	11,33	11,328	11,33	11,33
	279	-6,1830	11,718	11,718	11,72	11,718	11,718	11,718	11,718	11,72	11,72	11,72	11,718	11,72	11,72
	280	-6,5714	12,107	12,107	12,11	12,107	12,107	12,107	12,107	12,11	12,11	12,11	12,107	12,11	12,11
	281	-6,9579	12,493	12,493	12,49	12,493	12,493	12,493	12,493	12,49	12,49	12,49	12,493	12,49	12,49
	282	-7,3424	12,878	12,878	12,88	12,878	12,878	12,878	12,878	12,88	12,88	12,88	12,878	12,88	12,88
	283	-7,7246	13,26	13,26	13,26	13,26	13,26	13,26	13,26	13,26	13,26	13,26	13,26	13,26	13,26
	284	-8,1046	13,64	13,64	13,64	13,64	13,64	13,64	13,64	13,64	13,64	13,64	13,64	13,64	13,64
	285	-8,4822	14,017	14,017	14,02	14,017	14,017	14,017	14,017	14,02	14,02	14,02	14,017	14,02	14,02
	286	-8,8573	14,393	14,393	14,39	14,393	14,393	14,393	14,393	14,39	14,39	14,39	14,393	14,39	14,39
	287	-9,2297	14,765	14,765	14,76	14,765	14,765	14,765	14,765	14,76	14,76	14,76	14,765	14,76	14,76
	288	-9,5994	15,135	15,135	15,13	15,135	15,135	15,135	15,135	15,13	15,13	15,13	15,135	15,13	15,13
	289	-9,9663	15,502	15,502	15,5	15,502	15,502	15,502	15,502	15,5	15,5	15,5	15,502	15,5	15,5
	290	-10,3302	15,865	15,865	15,87	15,865	15,865	15,865	15,865	15,87	15,87	15,87	15,865	15,87	15,87
	291	-10,6910	16,226	16,226	16,23	16,226	16,226	16,226	16,226	16,23	16,23	16,23	16,226	16,23	16,23
	292	-11,0487	16,584	16,584	16,58	16,584	16,584	16,584	16,584	16,58	16,58	16,58	16,584	16,58	16,58
	293	-11,4031	16,938	16,938	16,94	16,938	16,938	16,938	16,938	16,94	16,94	16,94	16,938	16,94	16,94
	294	-11,7541	17,289	17,289	17,29	17,289	17,289	17,289	17,289	17,29	17,29	17,29	17,289	17,29	17,29
	295	-12,1017	17,637	17,637	17,64	17,637	17,637	17,637	17,637	17,64	17,64	17,64	17,637	17,64	17,64
	296	-12,4456	17,981	17,981	17,98	17,981	17,981	17,981	17,981	17,98	17,98	17,98	17,981	17,98	17,98
	297	-12,7859	18,321	18,321	18,32	18,321	18,321	18,321	18,321	18,32	18,32	18,32	18,321	18,32	18,32
	298	-13,1224	18,658	18,658	18,66	18,658	18,658	18,658	18,658	18,66	18,66	18,66	18,658	18,66	18,66
	299	-13,4550	18,99	18,99	18,99	18,99	18,99	18,99	18,99	18,99	18,99	18,99	18,99	18,99	18,99
	300	-13,7836	19,319	19,319	19,32	19,319	19,319	19,319	19,319	19,32	19,32	19,32	19,319	19,32	19,32
	301	-14,1081	19,643	19,643	19,64	19,643	19,643	19,643	19,643	19,64	19,64	19,64	19,643	19,64	19,64
	302	-14,4284	19,964	19,964	19,96	19,964	19,964	19,964	19,964	19,96	19,96	19,96	19,964	19,96	19,96
	303	-14,7445	20,28	20,28	20,28	20,28	20,28	20,28	20,28	20,28	20,28	20,28	20,28	20,28	20,28
	304	-15,0562	20,591	20,591	20,59	20,591	20,591	20,591	20,591	20,59	20,59	20,59	20,591	20,59	20,59
	305	-15,3634	20,899	20,899	20,9	20,899	20,899	20,899	20,899	20,9	20,9	20,9	20,899	20,9	20,9
306	-15,6661	21,201	21,201	21,2	21,201	21,201	21,201	21,201	21,2	21,2	21,2	21,201	21,2	21,2	
307	-15,9641	21,499	21,499	21,5	21,499	21,499	21,499	21,499	21,5	21,5	21,5	21,499	21,5	21,5	
308	-16,2574	21,793	21,793	21,79	21,793	21,793	21,793	21,793	21,79	21,79	21,79	21,793	21,79	21,79	
309	-16,5459	22,081	22,081	22,08	22,081	22,081	22,081	22,081	22,08	22,08	22,08	22,081	22,08	22,08	
310	-16,8295	22,365	22,365	22,36	22,365	22,365	22,365	22,365	22,36	22,36	22,36	22,365	22,36	22,36	
311	-17,1081	22,643	22,643	22,64	22,643	22,643	22,643	22,643	22,64	22,64	22,64	22,643	22,64	22,64	
312	-17,3817	22,917	22,917	22,92	22,917	22,917	22,917	22,917	22,92	22,92	22,92	22,917	22,92	22,92	
313	-17,6500	23,185	23,185	23,19	23,185	23,185	23,185	23,185	23,19	23,19	23,19	23,185	23,19	23,19	
314	-17,9132	23,448	23,448	23,45	23,448	23,448	23,448	23,448	23,45	23,45	23,45	23,448	23,45	23,45	
315	-18,1710	23,706	23,706	23,71	23,706	23,706	23,706	23,706	23,71	23,71	23,71	23,706	23,71	23,71	
316	-18,4235	23,959	23,959	23,96	23,959	23,959	23,959	23,959	23,96	23,96	23,96	23,959	23,96	23,96	
317	-18,6705	24,206	24,206	24,21	24,206	24,206	24,206	24,206	24,21	24,21	24,21	24,206	24,21	24,21	
318	-18,9120	24,447	24,447	24,45	24,447	24,447	24,447	24,447	24,45	24,45	24,45	24,447	24,45	24,45	
319	-19,1478	24,683	24,683	24,68	24,683	24,683	24,683	24,683	24,68	24,68	24,68	24,683	24,68	24,68	
320	-19,3780	24,913	24,913	24,91	24,913	24,913	24,913	24,913	24,91	24,91	24,91	24,913	24,91	24,91	
321	-19,6025	25,138	25,138	25,14	25,138	25,138	25,138	25,138	25,14	25,14	25,14	25,138	25,14	25,14	
322	-19,8211	25,356	25,356	25,36	25,356	25,356	25,356	25,356	25,36	25,36	25,36	25,356	25,36	25,36	
323	-20,0339	25,569	25,569	25,57	25,569	25,569	25,569	25,569	25,57	25,57	25,57	25,569	25,57	25,57	
324	-20,2407	25,776	25,776	25,78	25,776	25,776	25,776	25,776	25,78	25,78	25,78	25,776	25,78	25,78	
325	-20,4415	25,977	25,977	25,98	25,977	25,977	25,977	25,977	25,98	25,98	25,98	25,977	25,98	25,98	
326	-20,6363	26,172	26,172	26,17	26,172	26,172	26,172	26,172	26,17	26,17	26,17	26,172	26,17	26,17	
327	-20,8249	26,36	26,36	26,36	26,36	26,36	26,36	26,36	26,36	26,36	26,36	26,36	26,36	26,36	
328	-21,0074	26,543	26,543	26,54	26,543	26,543	26,543	26,543	26,54	26,54	26,54	26,543	26,54	26,54	

NOVEMBRE	329	-21,1837	26,719	26,719	26,72	26,719	26,719	26,719	26,719	26,72	26,72	26,72	26,719	26,72	26,72
	330	-21,3537	26,889	26,889	26,89	26,889	26,889	26,889	26,889	26,89	26,89	26,89	26,889	26,89	26,89
	331	-21,5173	27,053	27,053	27,05	27,053	27,053	27,053	27,053	27,05	27,05	27,05	27,053	27,05	27,05
	332	-21,6746	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21
	333	-21,8255	27,361	27,361	27,36	27,361	27,361	27,361	27,361	27,36	27,36	27,36	27,361	27,36	27,36
	334	-21,9699	27,505	27,505	27,51	27,505	27,505	27,505	27,505	27,51	27,51	27,51	27,505	27,51	27,51
DICIEMBRE	335	-22,1077	27,643	27,643	27,64	27,643	27,643	27,643	27,643	27,64	27,64	27,64	27,643	27,64	27,64
	336	-22,2391	27,774	27,774	27,77	27,774	27,774	27,774	27,774	27,77	27,77	27,77	27,774	27,77	27,77
	337	-22,3638	27,899	27,899	27,9	27,899	27,899	27,899	27,899	27,9	27,9	27,9	27,899	27,9	27,9
	338	-22,4819	28,017	28,017	28,02	28,017	28,017	28,017	28,017	28,02	28,02	28,02	28,017	28,02	28,02
	339	-22,5934	28,129	28,129	28,13	28,129	28,129	28,129	28,129	28,13	28,13	28,13	28,129	28,13	28,13
	340	-22,6981	28,233	28,233	28,23	28,233	28,233	28,233	28,233	28,23	28,23	28,23	28,233	28,23	28,23
	341	-22,7962	28,331	28,331	28,33	28,331	28,331	28,331	28,331	28,33	28,33	28,33	28,331	28,33	28,33
	342	-22,8874	28,423	28,423	28,42	28,423	28,423	28,423	28,423	28,42	28,42	28,42	28,423	28,42	28,42
	343	-22,9719	28,507	28,507	28,51	28,507	28,507	28,507	28,507	28,51	28,51	28,51	28,507	28,51	28,51
	344	-23,0496	28,585	28,585	28,58	28,585	28,585	28,585	28,585	28,58	28,58	28,58	28,585	28,58	28,58
	345	-23,1205	28,656	28,656	28,66	28,656	28,656	28,656	28,656	28,66	28,66	28,66	28,656	28,66	28,66
	346	-23,1845	28,72	28,72	28,72	28,72	28,72	28,72	28,72	28,72	28,72	28,72	28,72	28,72	28,72
	347	-23,2416	28,777	28,777	28,78	28,777	28,777	28,777	28,777	28,78	28,78	28,78	28,777	28,78	28,78
	348	-23,2919	28,827	28,827	28,83	28,827	28,827	28,827	28,827	28,83	28,83	28,83	28,827	28,83	28,83
	349	-23,3352	28,87	28,87	28,87	28,87	28,87	28,87	28,87	28,87	28,87	28,87	28,87	28,87	28,87
	350	-23,3717	28,907	28,907	28,91	28,907	28,907	28,907	28,907	28,91	28,91	28,91	28,907	28,91	28,91
	351	-23,4012	28,936	28,936	28,94	28,936	28,936	28,936	28,936	28,94	28,94	28,94	28,936	28,94	28,94
	352	-23,4237	28,959	28,959	28,96	28,959	28,959	28,959	28,959	28,96	28,96	28,96	28,959	28,96	28,96
	353	-23,4394	28,975	28,975	28,97	28,975	28,975	28,975	28,975	28,97	28,97	28,97	28,975	28,97	28,97
	354	-23,4480	28,983	28,983	28,98	28,983	28,983	28,983	28,983	28,98	28,98	28,98	28,983	28,98	28,98
	355	-23,4498	28,985	28,985	28,99	28,985	28,985	28,985	28,985	28,99	28,99	28,99	28,985	28,99	28,99
	356	-23,4446	28,98	28,98	28,98	28,98	28,98	28,98	28,98	28,98	28,98	28,98	28,98	28,98	28,98
	357	-23,4324	28,968	28,968	28,97	28,968	28,968	28,968	28,968	28,97	28,97	28,97	28,968	28,97	28,97
	358	-23,4133	28,949	28,949	28,95	28,949	28,949	28,949	28,949	28,95	28,95	28,95	28,949	28,95	28,95
	359	-23,3873	28,923	28,923	28,92	28,923	28,923	28,923	28,923	28,92	28,92	28,92	28,923	28,92	28,92
	360	-23,3543	28,89	28,89	28,89	28,89	28,89	28,89	28,89	28,89	28,89	28,89	28,89	28,89	28,89
	361	-23,3144	28,85	28,85	28,85	28,85	28,85	28,85	28,85	28,85	28,85	28,85	28,85	28,85	28,85
	362	-23,2676	28,803	28,803	28,8	28,803	28,803	28,803	28,803	28,8	28,8	28,8	28,803	28,8	28,8
	363	-23,2139	28,749	28,749	28,75	28,749	28,749	28,749	28,749	28,75	28,75	28,75	28,749	28,75	28,75
	364	-23,1533	28,689	28,689	28,69	28,689	28,689	28,689	28,689	28,69	28,69	28,69	28,689	28,69	28,69
	365	-23,0859	28,621	28,621	28,62	28,621	28,621	28,621	28,621	28,62	28,62	28,62	28,621	28,62	28,62

Anexo C. Cálculo de posición y ángulos azimutales para 365 días de 6am a 6pm

MES	DIA	POSICIÓN	ángulo de acimut solar												
			6 a.m.	7 a.m.	8 a.m.	9 a.m.	10 a.m.	11 a.m.	12 p.m.	1 p.m.	2 p.m.	3 p.m.	4 p.m.	5 p.m.	6 p.m.
ENERO	1	Norte	-67,1	-65,1	-61,5	-55,2	-44,64	-26,64	-0,029	26,64	44,64	55,23	61,46	65,13	67,08
	2	Norte	-67,2	-65,2	-61,5	-55,3	-44,74	-26,72	-0,029	26,72	44,74	55,32	61,55	65,21	67,17
	3	Norte	-67,3	-65,3	-61,6	-55,4	-44,84	-26,8	-0,029	26,8	44,84	55,42	61,64	65,3	67,25
	4	Norte	-67,3	-65,4	-61,7	-55,5	-44,95	-26,88	-0,029	26,88	44,95	55,52	61,74	65,4	67,35
	5	Norte	-67,4	-65,5	-61,8	-55,6	-45,07	-26,98	-0,029	26,98	45,07	55,64	61,84	65,5	67,45
	6	Norte	-67,6	-65,6	-62	-55,8	-45,2	-27,08	-0,029	27,08	45,2	55,76	61,96	65,61	67,56
	7	Norte	-67,7	-65,7	-62,1	-55,9	-45,33	-27,19	-0,03	27,19	45,33	55,89	62,08	65,72	67,67
	8	Norte	-67,8	-65,8	-62,2	-56	-45,47	-27,3	-0,03	27,3	45,47	56,03	62,21	65,84	67,79
	9	Norte	-67,9	-66	-62,3	-56,2	-45,63	-27,42	-0,03	27,42	45,63	56,17	62,34	65,97	67,92
	10	Norte	-68,1	-66,1	-62,5	-56,3	-45,79	-27,55	-0,03	27,55	45,79	56,32	62,48	66,11	68,05
	11	Norte	-68,2	-66,2	-62,6	-56,5	-45,95	-27,69	-0,03	27,69	45,95	56,48	62,63	66,25	68,19
	12	Norte	-68,3	-66,4	-62,8	-56,7	-46,13	-27,83	-0,03	27,83	46,13	56,65	62,79	66,4	68,34
	13	Norte	-68,5	-66,6	-62,9	-56,8	-46,32	-27,98	-0,031	27,98	46,32	56,83	62,95	66,55	68,49
	14	Norte	-68,7	-66,7	-63,1	-57	-46,51	-28,14	-0,031	28,14	46,51	57,01	63,12	66,71	68,65
	15	Norte	-68,8	-66,9	-63,3	-57,2	-46,71	-28,3	-0,031	28,3	46,71	57,2	63,29	66,88	68,82
	16	Norte	-69	-67,1	-63,5	-57,4	-46,92	-28,48	-0,031	28,48	46,92	57,4	63,48	67,05	68,99
	17	Norte	-69,2	-67,2	-63,7	-57,6	-47,14	-28,66	-0,032	28,66	47,14	57,61	63,67	67,23	69,17
	18	Norte	-69,4	-67,4	-63,9	-57,8	-47,37	-28,85	-0,032	28,85	47,37	57,82	63,86	67,42	69,36
	19	Norte	-69,5	-67,6	-64,1	-58	-47,61	-29,04	-0,032	29,04	47,61	58,04	64,07	67,61	69,55
	20	Norte	-69,7	-67,8	-64,3	-58,3	-47,85	-29,25	-0,032	29,25	47,85	58,27	64,28	67,81	69,75
	21	Norte	-69,9	-68	-64,5	-58,5	-48,11	-29,46	-0,033	29,46	48,11	58,51	64,49	68,02	69,95
	22	Norte	-70,2	-68,2	-64,7	-58,8	-48,37	-29,69	-0,033	29,69	48,37	58,75	64,72	68,23	70,16
	23	Norte	-70,4	-68,4	-64,9	-59	-48,64	-29,92	-0,033	29,92	48,64	59	64,94	68,44	70,37
	24	Norte	-70,6	-68,7	-65,2	-59,3	-48,92	-30,16	-0,033	30,16	48,92	59,26	65,18	68,67	70,59
	25	Norte	-70,8	-68,9	-65,4	-59,5	-49,21	-30,41	-0,034	30,41	49,21	59,53	65,42	68,89	70,82
	26	Norte	-71,1	-69,1	-65,7	-59,8	-49,51	-30,67	-0,034	30,67	49,51	59,8	65,67	69,13	71,05
	27	Norte	-71,3	-69,4	-65,9	-60,1	-49,82	-30,94	-0,035	30,94	49,82	60,08	65,93	69,37	71,29
	28	Norte	-71,5	-69,6	-66,2	-60,4	-50,14	-31,21	-0,035	31,21	50,14	60,37	66,19	69,62	71,53
	29	Norte	-71,8	-69,9	-66,5	-60,7	-50,47	-31,5	-0,035	31,5	50,47	60,67	66,46	69,87	71,78
	30	Norte	-72	-70,1	-66,7	-61	-50,8	-31,8	-0,036	31,8	50,8	60,97	66,73	70,12	72,04
	31	Norte	-72,3	-70,4	-67	-61,3	-51,15	-32,11	-0,036	32,11	51,15	61,28	67,01	70,39	72,3
	32	Norte	-72,6	-70,7	-67,3	-61,6	-51,5	-32,43	-0,037	32,43	51,5	61,6	67,29	70,66	72,56
	33	Norte	-72,8	-70,9	-67,6	-61,9	-51,87	-32,77	-0,037	32,77	51,87	61,92	67,59	70,93	72,83
	34	Norte	-73,1	-71,2	-67,9	-62,3	-52,24	-33,11	-0,038	33,11	52,24	62,26	67,88	71,21	73,11
	35	Norte	-73,4	-71,5	-68,2	-62,6	-52,63	-33,46	-0,038	33,46	52,63	62,6	68,19	71,49	73,39
	36	Norte	-73,7	-71,8	-68,5	-62,9	-53,02	-33,83	-0,039	33,83	53,02	62,94	68,5	71,78	73,67
	37	Norte	-74	-72,1	-68,8	-63,3	-53,42	-34,21	-0,039	34,21	53,42	63,3	68,81	72,07	73,96
	38	Norte	-74,3	-72,4	-69,1	-63,7	-53,83	-34,6	-0,04	34,6	53,83	63,66	69,13	72,37	74,25
	39	Norte	-74,6	-72,7	-69,5	-64	-54,26	-35,01	-0,04	35,01	54,26	64,02	69,46	72,68	74,55
	40	Norte	-74,9	-73	-69,8	-64,4	-54,69	-35,43	-0,041	35,43	54,69	64,4	69,79	72,99	74,86
	41	Norte	-75,2	-73,3	-70,1	-64,8	-55,13	-35,86	-0,042	35,86	55,13	64,78	70,12	73,3	75,17
	42	Norte	-75,5	-73,6	-70,5	-65,2	-55,58	-36,31	-0,042	36,31	55,58	65,17	70,47	73,62	75,48
	43	Norte	-75,8	-73,9	-70,8	-65,6	-56,05	-36,77	-0,043	36,77	56,05	65,56	70,81	73,94	75,8
	44	Norte	-76,1	-74,3	-71,2	-66	-56,52	-37,25	-0,044	37,25	56,52	65,96	71,17	74,27	76,12
	45	Norte	-76,4	-74,6	-71,5	-66,4	-57	-37,74	-0,044	37,74	57	66,37	71,52	74,6	76,44
	46	Norte	-76,8	-74,9	-71,9	-66,8	-57,49	-38,25	-0,045	38,25	57,49	66,78	71,88	74,93	76,77
	47	Norte	-77,1	-75,3	-72,3	-67,2	-57,99	-38,78	-0,046	38,78	57,99	67,2	72,25	75,27	77,1
	48	Norte	-77,4	-75,6	-72,6	-67,6	-58,51	-39,32	-0,047	39,32	58,51	67,63	72,62	75,61	77,44
	49	Norte	-77,8	-76	-73	-68,1	-59,03	-39,88	-0,048	39,88	59,03	68,07	73	75,96	77,78
	50	Norte	-78,1	-76,3	-73,4	-68,5	-59,56	-40,46	-0,049	40,46	59,56	68,5	73,38	76,31	78,13
	51	Norte	-78,5	-76,7	-73,8	-69	-60,1	-41,06	-0,05	41,06	60,1	68,95	73,77	76,67	78,47

FEBRERO	52	Norte	-78,8	-77	-74,2	-69,4	-60,66	-41,68	-0,051	41,68	60,66	69,4	74,16	77,03	78,82
	53	Norte	-79,2	-77,4	-74,5	-69,9	-61,22	-42,31	-0,052	42,31	61,22	69,86	74,55	77,39	79,18
	54	Norte	-79,5	-77,8	-74,9	-70,3	-61,79	-42,97	-0,053	42,97	61,79	70,32	74,95	77,75	79,54
	55	Norte	-79,9	-78,1	-75,3	-70,8	-62,37	-43,65	-0,055	43,65	62,37	70,79	75,35	78,12	79,9
	56	Norte	-80,3	-78,5	-75,8	-71,3	-62,96	-44,35	-0,056	44,35	62,96	71,26	75,76	78,5	80,26
	57	Norte	-80,6	-78,9	-76,2	-71,7	-63,57	-45,07	-0,057	45,07	63,57	71,74	76,17	78,87	80,63
	58	Norte	-81	-79,2	-76,6	-72,2	-64,18	-45,81	-0,059	45,81	64,18	72,23	76,58	79,25	81
	59	Norte	-81,4	-79,6	-77	-72,7	-64,8	-46,58	-0,06	46,58	64,8	72,72	77	79,63	81,37
	60	Norte	-81,7	-80	-77,4	-73,2	-65,43	-47,37	-0,062	47,37	65,43	73,21	77,42	80,02	81,74
	61	Norte	-82,1	-80,4	-77,8	-73,7	-66,07	-48,18	-0,064	48,18	66,07	73,71	77,84	80,4	82,12
62	Norte	-82,5	-80,8	-78,3	-74,2	-66,72	-49,02	-0,066	49,02	66,72	74,22	78,27	80,79	82,5	
63	Norte	-82,9	-81,2	-78,7	-74,7	-67,37	-49,89	-0,068	49,89	67,37	74,73	78,7	81,18	82,88	
64	Norte	-83,3	-81,6	-79,1	-75,2	-68,04	-50,78	-0,07	50,78	68,04	75,24	79,13	81,58	83,27	
65	Norte	-83,7	-82	-79,6	-75,8	-68,72	-51,7	-0,072	51,7	68,72	75,76	79,57	81,97	83,65	
66	Norte	-84	-82,4	-80	-76,3	-69,4	-52,64	-0,075	52,64	69,4	76,28	80	82,37	84,04	
67	Norte	-84,4	-82,8	-80,4	-76,8	-70,09	-53,62	-0,077	53,62	70,09	76,81	80,45	82,77	84,43	
68	Norte	-84,8	-83,2	-80,9	-77,3	-70,79	-54,62	-0,08	54,62	70,79	77,34	80,89	83,17	84,82	
69	Norte	-85,2	-83,6	-81,3	-77,9	-71,5	-55,64	-0,083	55,64	71,5	77,87	81,33	83,58	85,21	
70	Norte	-85,6	-84	-81,8	-78,4	-72,22	-56,7	-0,087	56,7	72,22	78,41	81,78	83,98	85,61	
71	Norte	-86	-84,4	-82,2	-78,9	-72,94	-57,79	-0,09	57,79	72,94	78,95	82,23	84,39	86	
72	Norte	-86,4	-84,8	-82,7	-79,5	-73,67	-58,9	-0,094	58,9	73,67	79,49	82,68	84,8	86,4	
73	Norte	-86,8	-85,2	-83,1	-80	-74,41	-60,05	-0,098	60,05	74,41	80,04	83,14	85,21	86,8	
74	Norte	-87,2	-85,6	-83,6	-80,6	-75,15	-61,22	-0,103	61,22	75,15	80,59	83,59	85,62	87,19	
75	Norte	-87,6	-86	-84,1	-81,1	-75,9	-62,42	-0,108	62,42	75,9	81,14	84,05	86,03	87,59	
76	Norte	-88	-86,4	-84,5	-81,7	-76,66	-63,65	-0,114	63,65	76,66	81,69	84,51	86,45	87,99	
77	Norte	-88,4	-86,9	-85	-82,2	-77,42	-64,91	-0,121	64,91	77,42	82,25	84,97	86,86	88,39	
78	Norte	-88,8	-87,3	-85,4	-82,8	-78,19	-66,19	-0,128	66,19	78,19	82,81	85,43	87,27	88,8	
79	Norte	-89,2	-87,7	-85,9	-83,4	-78,96	-67,5	-0,136	67,5	78,96	83,37	85,89	87,69	89,2	
80	Norte	-89,6	-88,1	-86,4	-83,9	-79,74	-68,84	-0,145	68,84	79,74	83,93	86,35	88,1	89,6	
81	Norte	-90	-88,5	-86,8	-84,5	-80,52	-70,2	-0,156	70,2	80,52	84,49	86,81	88,52	90	
82	Norte	-90,4	-88,9	-87,3	-85,1	-81,3	-71,59	-0,168	71,59	81,3	85,05	87,28	88,94	90,4	
83	Norte	-90,8	-89,4	-87,7	-85,6	-82,09	-73	-0,182	73	82,09	85,62	87,74	89,35	90,8	
84	Norte	-91,2	-89,8	-88,2	-86,2	-82,87	-74,43	-0,199	74,43	82,87	86,18	88,2	89,77	91,2	
85	Norte	-91,6	-90,2	-88,7	-86,7	-83,67	-75,87	-0,219	75,87	83,67	86,75	88,66	90,18	91,61	
86	Norte	-92	-90,6	-89,1	-87,3	-84,46	-77,34	-0,244	77,34	84,46	87,31	89,13	90,6	92,01	
87	Norte	-92,4	-91	-89,6	-87,9	-85,25	-78,82	-0,276	78,82	85,25	87,88	89,59	91,01	92,41	
88	Norte	-92,8	-91,4	-90,1	-88,4	-86,05	-80,32	-0,316	80,32	86,05	88,44	90,05	91,43	92,81	
89	Norte	-93,2	-91,8	-90,5	-89	-86,85	-81,82	-0,371	81,82	86,85	89,01	90,51	91,84	93,2	
90	Norte	-93,6	-92,3	-91	-89,6	-87,64	-83,34	-0,448	83,34	87,64	89,57	90,97	92,25	93,6	
91	Norte	-94	-92,7	-91,4	-90,1	-88,44	-84,86	-0,565	84,86	88,44	90,14	91,43	92,66	94	
92	Norte	-94,4	-93,1	-91,9	-90,7	-89,23	-86,39	-0,764	86,39	89,23	90,7	91,89	93,07	94,39	
93	Norte	-94,8	-93,5	-92,3	-91,3	-90,02	-87,92	-1,18	87,92	90,02	91,26	92,35	93,48	94,79	
94	Norte	-95,2	-93,9	-92,8	-91,8	-90,82	-89,44	-2,582	89,44	90,82	91,82	92,8	93,89	95,18	
95	sur	-95,6	-94,3	-93,3	-92,4	-91,6	-90,97	-166,4	90,97	91,6	92,38	93,26	94,3	95,57	
96	sur	-96	-94,7	-93,7	-92,9	-92,39	-92,48	-178,1	92,48	92,39	92,93	93,71	94,7	95,96	
97	sur	-96,3	-95,1	-94,2	-93,5	-93,17	-94	-179	94	93,17	93,48	94,16	95,1	96,35	
98	sur	-96,7	-95,5	-94,6	-94	-93,95	-95,49	-179,3	95,49	93,95	94,03	94,61	95,51	96,73	
99	sur	-97,1	-95,9	-95,1	-94,6	-94,73	-96,98	-179,5	96,98	94,73	94,58	95,06	95,9	97,12	
100	sur	-97,5	-96,3	-95,5	-95,1	-95,49	-98,45	-179,6	98,45	95,49	95,13	95,5	96,3	97,5	
101	sur	-97,9	-96,7	-95,9	-95,7	-96,26	-99,91	-179,6	99,91	96,26	95,67	95,94	96,7	97,88	
102	sur	-98,3	-97,1	-96,4	-96,2	-97,02	-101,3	-179,7	101,3	97,02	96,21	96,38	97,09	98,26	
103	sur	-98,6	-97,5	-96,8	-96,7	-97,77	-102,8	-179,7	102,8	97,77	96,74	96,82	97,48	98,63	
104	sur	-99	-97,9	-97,3	-97,3	-98,52	-104,2	-179,8	104,2	98,52	97,27	97,25	97,87	99	

JUNIO	158	sur	-113	-112	-113	-116	-123,7	-141,4	-180	141,4	123,7	116,3	113,1	112,1	112,7
	159	sur	-113	-112	-113	-116	-123,9	-141,6	-180	141,6	123,9	116,4	113,2	112,2	112,7
	160	sur	-113	-112	-113	-117	-124	-141,7	-180	141,7	124	116,5	113,3	112,3	112,8
	161	sur	-113	-112	-113	-117	-124,2	-141,9	-180	141,9	124,2	116,6	113,4	112,4	112,9
	162	sur	-113	-112	-113	-117	-124,3	-142	-180	142	124,3	116,7	113,5	112,5	113
	163	sur	-113	-113	-114	-117	-124,4	-142,1	-180	142,1	124,4	116,8	113,5	112,5	113,1
	164	sur	-113	-113	-114	-117	-124,5	-142,2	-180	142,2	124,5	116,9	113,6	112,6	113,1
	165	sur	-113	-113	-114	-117	-124,6	-142,3	-180	142,3	124,6	117	113,7	112,6	113,2
	166	sur	-113	-113	-114	-117	-124,6	-142,4	-180	142,4	124,6	117	113,7	112,7	113,2
	167	sur	-113	-113	-114	-117	-124,7	-142,4	-180	142,4	124,7	117,1	113,8	112,7	113,3
	168	sur	-113	-113	-114	-117	-124,8	-142,5	-180	142,5	124,8	117,1	113,8	112,8	113,3
	169	sur	-113	-113	-114	-117	-124,8	-142,5	-180	142,5	124,8	117,2	113,8	112,8	113,3
	170	sur	-113	-113	-114	-117	-124,8	-142,6	-180	142,6	124,8	117,2	113,9	112,8	113,3
	171	sur	-113	-113	-114	-117	-124,8	-142,6	-180	142,6	124,8	117,2	113,9	112,8	113,3
	172	sur	-113	-113	-114	-117	-124,9	-142,6	-180	142,6	124,9	117,2	113,9	112,8	113,4
	173	sur	-113	-113	-114	-117	-124,9	-142,6	-180	142,6	124,9	117,2	113,9	112,8	113,4
	174	sur	-113	-113	-114	-117	-124,8	-142,6	-180	142,6	124,8	117,2	113,9	112,8	113,3
	175	sur	-113	-113	-114	-117	-124,8	-142,6	-180	142,6	124,8	117,2	113,9	112,8	113,3
	176	sur	-113	-113	-114	-117	-124,8	-142,5	-180	142,5	124,8	117,1	113,8	112,8	113,3
	177	sur	-113	-113	-114	-117	-124,7	-142,5	-180	142,5	124,7	117,1	113,8	112,8	113,3
	178	sur	-113	-113	-114	-117	-124,7	-142,4	-180	142,4	124,7	117,1	113,8	112,7	113,2
179	sur	-113	-113	-114	-117	-124,6	-142,3	-180	142,3	124,6	117	113,7	112,7	113,2	
180	sur	-113	-113	-114	-117	-124,5	-142,3	-180	142,3	124,5	116,9	113,6	112,6	113,1	
181	sur	-113	-113	-114	-117	-124,4	-142,2	-180	142,2	124,4	116,9	113,6	112,6	113,1	
182	sur	-113	-112	-114	-117	-124,3	-142	-180	142	124,3	116,8	113,5	112,5	113	
183	sur	-113	-112	-113	-117	-124,2	-141,9	-180	141,9	124,2	116,7	113,4	112,4	113	
184	sur	-113	-112	-113	-117	-124,1	-141,8	-180	141,8	124,1	116,6	113,3	112,3	112,9	
185	sur	-113	-112	-113	-116	-124	-141,6	-180	141,6	124	116,5	113,2	112,3	112,8	
186	sur	-113	-112	-113	-116	-123,8	-141,5	-180	141,5	123,8	116,3	113,1	112,2	112,7	
187	sur	-113	-112	-113	-116	-123,6	-141,3	-180	141,3	123,6	116,2	113	112,1	112,6	
188	sur	-112	-112	-113	-116	-123,5	-141,1	-180	141,1	123,5	116,1	112,9	111,9	112,5	
189	sur	-112	-112	-113	-116	-123,3	-140,9	-180	140,9	123,3	115,9	112,8	111,8	112,4	
190	sur	-112	-112	-113	-116	-123,1	-140,7	-180	140,7	123,1	115,8	112,6	111,7	112,3	
191	sur	-112	-112	-113	-116	-122,9	-140,5	-180	140,5	122,9	115,6	112,5	111,6	112,1	
192	sur	-112	-111	-112	-115	-122,7	-140,2	-180	140,2	122,7	115,4	112,4	111,4	112	
193	sur	-112	-111	-112	-115	-122,5	-140	-180	140	122,5	115,2	112,2	111,3	111,9	
194	sur	-112	-111	-112	-115	-122,2	-139,7	-180	139,7	122,2	115	112	111,1	111,7	
195	sur	-112	-111	-112	-115	-122	-139,4	-180	139,4	122	114,8	111,9	111	111,6	
196	sur	-111	-111	-112	-115	-121,7	-139,1	-180	139,1	121,7	114,6	111,7	110,8	111,4	
197	sur	-111	-111	-111	-114	-121,4	-138,8	-180	138,8	121,4	114,4	111,5	110,7	111,3	
198	sur	-111	-110	-111	-114	-121,1	-138,5	-180	138,5	121,1	114,2	111,3	110,5	111,1	
199	sur	-111	-110	-111	-114	-120,9	-138,2	-180	138,2	120,9	113,9	111,1	110,3	110,9	
200	sur	-111	-110	-111	-114	-120,5	-137,8	-180	137,8	120,5	113,7	110,9	110,1	110,7	
201	sur	-111	-110	-111	-113	-120,2	-137,4	-180	137,4	120,2	113,4	110,7	109,9	110,5	
202	sur	-110	-110	-110	-113	-119,9	-137	-180	137	119,9	113,2	110,4	109,7	110,4	
203	sur	-110	-109	-110	-113	-119,6	-136,6	-179,9	136,6	119,6	112,9	110,2	109,5	110,2	
204	sur	-110	-109	-110	-113	-119,2	-136,2	-179,9	136,2	119,2	112,6	110	109,3	109,9	
205	sur	-110	-109	-110	-112	-118,8	-135,7	-179,9	135,7	118,8	112,3	109,7	109,1	109,7	
206	sur	-110	-109	-109	-112	-118,5	-135,3	-179,9	135,3	118,5	112	109,5	108,8	109,5	
207	sur	-109	-109	-109	-112	-118,1	-134,8	-179,9	134,8	118,1	111,7	109,2	108,6	109,3	
208	sur	-109	-108	-109	-111	-117,7	-134,3	-179,9	134,3	117,7	111,4	109	108,4	109,1	
209	sur	-109	-108	-109	-111	-117,2	-133,8	-179,9	133,8	117,2	111,1	108,7	108,1	108,8	
210	sur	-109	-108	-108	-111	-116,8	-133,2	-179,9	133,2	116,8	110,8	108,4	107,9	108,6	

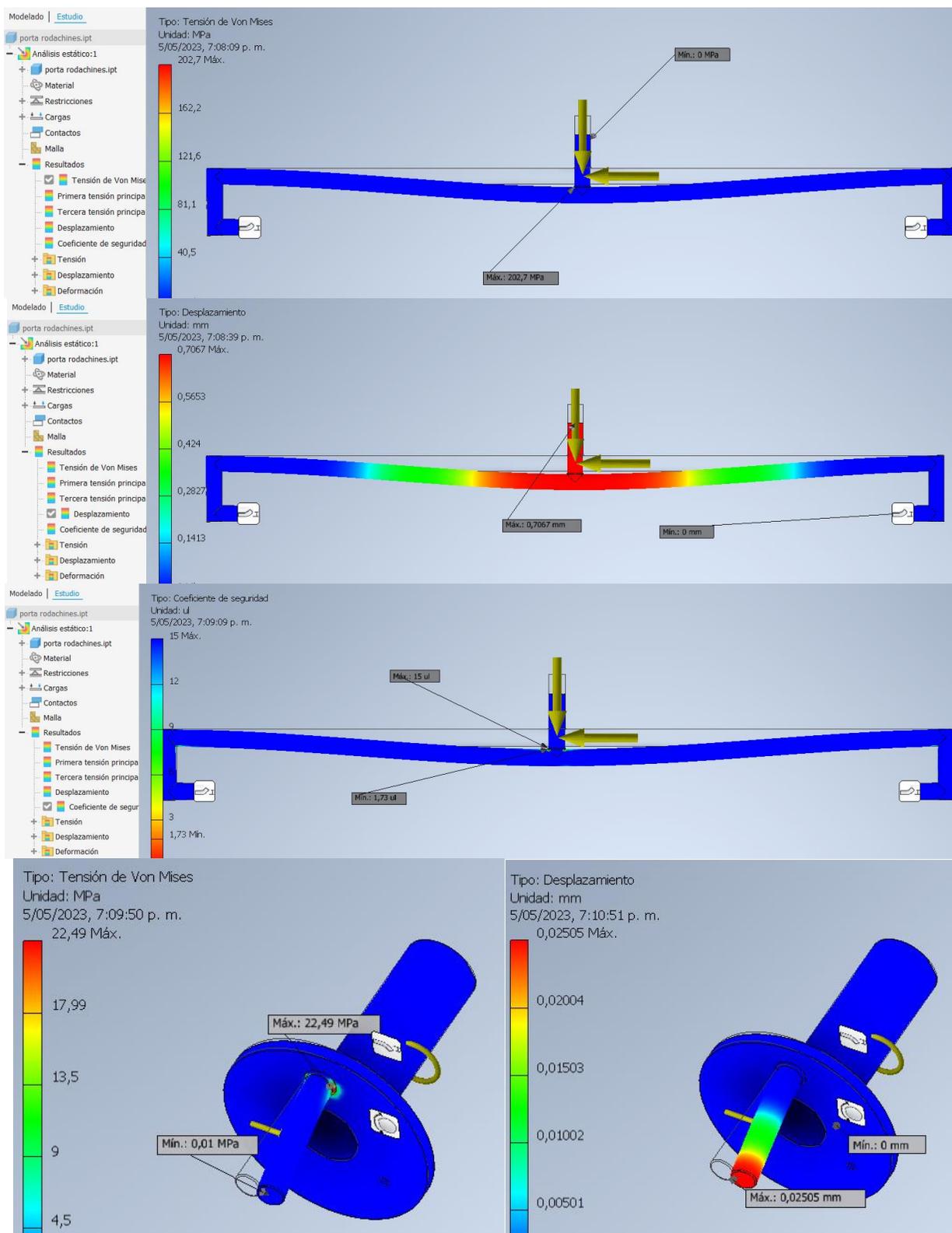
JULIO	211	sur	-108	-108	-108	-110	-116,4	-132,6	-179,9	132,6	116,4	110,4	108,1	107,6	108,3
	212	sur	-108	-107	-108	-110	-115,9	-132,1	-179,9	132,1	115,9	110,1	107,8	107,3	108,1
AGOSTO	213	sur	-108	-107	-108	-110	-115,5	-131,4	-179,9	131,4	115,5	109,7	107,5	107,1	107,8
	214	sur	-108	-107	-107	-109	-115	-130,8	-179,9	130,8	115	109,4	107,2	106,8	107,6
	215	sur	-107	-107	-107	-109	-114,5	-130,2	-179,9	130,2	114,5	109	106,9	106,5	107,3
	216	sur	-107	-106	-107	-109	-114	-129,5	-179,9	129,5	114	108,6	106,6	106,2	107
	217	sur	-107	-106	-106	-108	-113,5	-128,8	-179,9	128,8	113,5	108,2	106,3	106	106,8
	218	sur	-106	-106	-106	-108	-113	-128	-179,9	128	113	107,8	105,9	105,7	106,5
	219	sur	-106	-105	-106	-107	-112,5	-127,3	-179,9	127,3	112,5	107,4	105,6	105,4	106,2
	220	sur	-106	-105	-105	-107	-111,9	-126,5	-179,9	126,5	111,9	107	105,3	105,1	105,9
	221	sur	-106	-105	-105	-107	-111,4	-125,7	-179,9	125,7	111,4	106,6	104,9	104,7	105,6
	222	sur	-105	-104	-105	-106	-110,8	-124,9	-179,9	124,9	110,8	106,2	104,6	104,4	105,3
	223	sur	-105	-104	-104	-106	-110,2	-124	-179,9	124	110,2	105,8	104,2	104,1	105
	224	sur	-105	-104	-104	-105	-109,6	-123,1	-179,9	123,1	109,6	105,3	103,9	103,8	104,7
	225	sur	-104	-103	-103	-105	-109	-122,2	-179,9	122,2	109	104,9	103,5	103,5	104,4
	226	sur	-104	-103	-103	-104	-108,4	-121,2	-179,9	121,2	108,4	104,4	103,1	103,1	104
	227	sur	-104	-103	-103	-104	-107,8	-120,3	-179,9	120,3	107,8	104	102,7	102,8	103,7
	228	sur	-103	-102	-102	-104	-107,2	-119,3	-179,9	119,3	107,2	103,5	102,4	102,4	103,4
	229	sur	-103	-102	-102	-103	-106,5	-118,2	-179,9	118,2	106,5	103	102	102,1	103,1
	230	sur	-103	-102	-102	-103	-105,9	-117,1	-179,9	117,1	105,9	102,6	101,6	101,7	102,7
	231	sur	-102	-101	-101	-102	-105,2	-116	-179,9	116	105,2	102,1	101,2	101,4	102,4
	232	sur	-102	-101	-101	-102	-104,6	-114,9	-179,9	114,9	104,6	101,6	100,8	101	102
	233	sur	-102	-101	-100	-101	-103,9	-113,8	-179,9	113,8	103,9	101,1	100,4	100,7	101,7
	234	sur	-101	-100	-100	-101	-103,2	-112,6	-179,9	112,6	103,2	100,6	99,99	100,3	101,4
	235	sur	-101	-99,9	-99,6	-100	-102,5	-111,4	-179,9	111,4	102,5	100,1	99,58	99,95	101
	236	sur	-101	-99,6	-99,2	-99,6	-101,8	-110,1	-179,8	110,1	101,8	99,61	99,16	99,58	100,6
	237	sur	-100	-99,2	-98,7	-99,1	-101,1	-108,8	-179,8	108,8	101,1	99,1	98,74	99,2	100,3
	238	sur	-99,9	-98,8	-98,3	-98,6	-100,4	-107,5	-179,8	107,5	100,4	98,58	98,32	98,82	99,92
	239	sur	-99,6	-98,4	-97,9	-98,1	-99,63	-106,2	-179,8	106,2	99,63	98,06	97,9	98,44	99,56
	240	sur	-99,2	-98,1	-97,5	-97,5	-98,89	-104,8	-179,8	104,8	98,89	97,54	97,47	98,06	99,19
	241	sur	-98,8	-97,7	-97	-97	-98,15	-103,5	-179,7	103,5	98,15	97,01	97,04	97,67	98,82
	242	sur	-98,4	-97,3	-96,6	-96,5	-97,4	-102,1	-179,7	102,1	97,4	96,47	96,6	97,28	98,44
	243	sur	-98,1	-96,9	-96,2	-95,9	-96,64	-100,6	-179,7	100,6	96,64	95,94	96,16	96,89	98,07
	244	sur	-97,7	-96,5	-95,7	-95,4	-95,88	-99,18	-179,6	99,18	95,88	95,4	95,72	96,5	97,69
	245	sur	-97,3	-96,1	-95,3	-94,9	-95,11	-97,72	-179,5	97,72	95,11	94,85	95,28	96,1	97,31
246	sur	-96,9	-95,7	-94,8	-94,3	-94,34	-96,24	-179,4	96,24	94,34	94,31	94,83	95,71	96,93	
247	sur	-96,5	-95,3	-94,4	-93,8	-93,56	-94,75	-179,2	94,75	93,56	93,76	94,39	95,31	96,54	
248	sur	-96,2	-94,9	-93,9	-93,2	-92,78	-93,24	-178,7	93,24	92,78	93,21	93,94	94,9	96,15	
249	sur	-95,8	-94,5	-93,5	-92,7	-92	-91,73	-176,7	91,73	92	92,65	93,49	94,5	95,77	
250	Norte	-95,4	-94,1	-93	-92,1	-91,21	-90,21	-6,33	90,21	91,21	92,1	93,03	94,09	95,38	
251	Norte	-95	-93,7	-92,6	-91,5	-90,42	-88,68	-1,62	88,68	90,42	91,54	92,58	93,69	94,98	
252	Norte	-94,6	-93,3	-92,1	-91	-89,63	-87,15	-0,928	87,15	89,63	90,98	92,12	93,28	94,59	
253	Norte	-94,2	-92,9	-91,7	-90,4	-88,83	-85,62	-0,65	85,62	88,83	90,42	91,66	92,87	94,2	
254	Norte	-93,8	-92,5	-91,2	-89,9	-88,04	-84,1	-0,499	84,1	88,04	89,86	91,2	92,46	93,8	
255	Norte	-93,4	-92	-90,7	-89,3	-87,24	-82,58	-0,406	82,58	87,24	89,29	90,74	92,05	93,4	
256	Norte	-93	-91,6	-90,3	-88,7	-86,45	-81,07	-0,341	81,07	86,45	88,73	90,28	91,63	93,01	
257	Norte	-92,6	-91,2	-89,8	-88,2	-85,65	-79,57	-0,295	79,57	85,65	88,16	89,82	91,22	92,61	
258	Norte	-92,2	-90,8	-89,4	-87,6	-84,86	-78,08	-0,259	78,08	84,86	87,6	89,36	90,8	92,21	
259	Norte	-91,8	-90,4	-88,9	-87	-84,06	-76,6	-0,231	76,6	84,06	87,03	88,9	90,39	91,81	
260	Norte	-91,4	-90	-88,4	-86,5	-83,27	-75,15	-0,209	75,15	83,27	86,47	88,43	89,97	91,41	
261	Norte	-91	-89,6	-88	-85,9	-82,48	-73,71	-0,19	73,71	82,48	85,9	87,97	89,56	91	
262	Norte	-90,6	-89,1	-87,5	-85,3	-81,69	-72,29	-0,175	72,29	81,69	85,34	87,51	89,14	90,6	
263	Norte	-90,2	-88,7	-87	-84,8	-80,91	-70,89	-0,161	70,89	80,91	84,77	87,04	88,73	90,2	

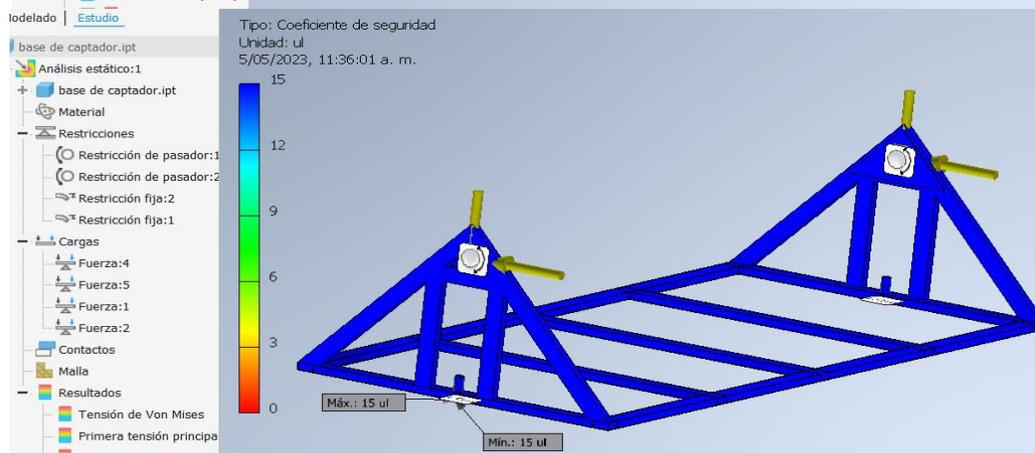
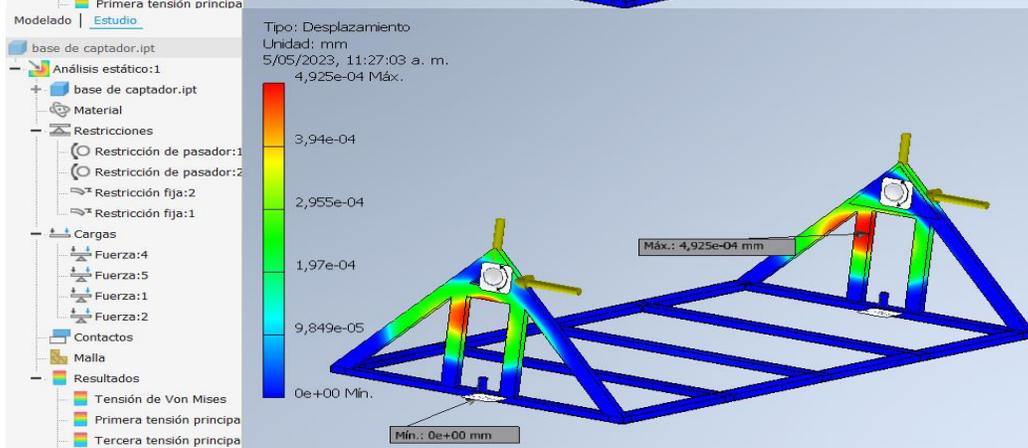
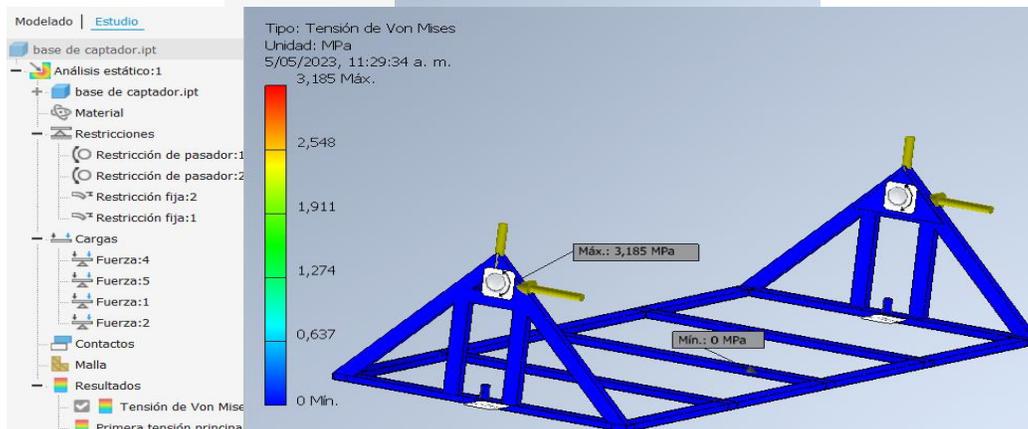
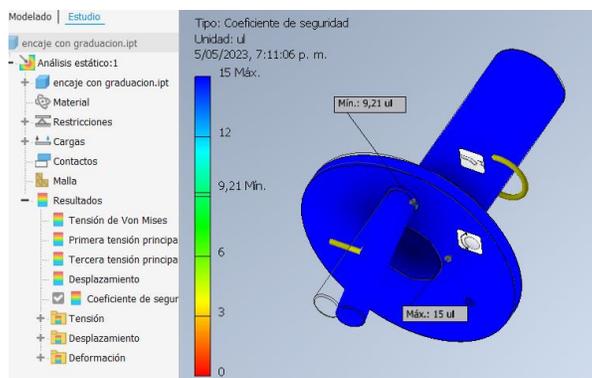
SEPTIEMBRE	264	Norte	-89,8	-88,3	-86,6	-84,2	-80,12	-69,52	-0,15	69,52	80,12	84,21	86,58	88,31	89,8
	265	Norte	-89,4	-87,9	-86,1	-83,6	-79,35	-68,17	-0,14	68,17	79,35	83,65	86,12	87,9	89,4
	266	Norte	-89	-87,5	-85,7	-83,1	-78,57	-66,84	-0,132	66,84	78,57	83,09	85,66	87,48	89
	267	Norte	-88,6	-87,1	-85,2	-82,5	-77,8	-65,54	-0,124	65,54	77,8	82,53	85,2	87,07	88,59
	268	Norte	-88,2	-86,7	-84,7	-82	-77,04	-64,27	-0,117	64,27	77,04	81,97	84,74	86,65	88,19
	269	Norte	-87,8	-86,2	-84,3	-81,4	-76,28	-63,03	-0,111	63,03	76,28	81,42	84,28	86,24	87,79
	270	Norte	-87,4	-85,8	-83,8	-80,9	-75,53	-61,82	-0,106	61,82	75,53	80,86	83,82	85,83	87,39
	271	Norte	-87	-85,4	-83,4	-80,3	-74,78	-60,63	-0,101	60,63	74,78	80,31	83,37	85,41	86,99
	272	Norte	-86,6	-85	-82,9	-79,8	-74,04	-59,47	-0,096	59,47	74,04	79,77	82,91	85	86,6
	273	Norte	-86,2	-84,6	-82,5	-79,2	-73,31	-58,34	-0,092	58,34	73,31	79,22	82,46	84,6	86,2
OCTUBRE	274	Norte	-85,8	-84,2	-82	-78,7	-72,58	-57,24	-0,088	57,24	72,58	78,68	82,01	84,19	85,8
	275	Norte	-85,4	-83,8	-81,6	-78,1	-71,86	-56,17	-0,085	56,17	71,86	78,14	81,56	83,78	85,41
	276	Norte	-85	-83,4	-81,1	-77,6	-71,15	-55,13	-0,082	55,13	71,15	77,6	81,11	83,38	85,02
	277	Norte	-84,6	-83	-80,7	-77,1	-70,44	-54,11	-0,079	54,11	70,44	77,07	80,67	82,97	84,62
	278	Norte	-84,2	-82,6	-80,2	-76,5	-69,74	-53,13	-0,076	53,13	69,74	76,54	80,22	82,57	84,23
	279	Norte	-83,8	-82,2	-79,8	-76	-69,06	-52,17	-0,073	52,17	69,06	76,02	79,78	82,17	83,85
	280	Norte	-83,5	-81,8	-79,3	-75,5	-68,38	-51,24	-0,071	51,24	68,38	75,5	79,35	81,77	83,46
	281	Norte	-83,1	-81,4	-78,9	-75	-67,71	-50,33	-0,069	50,33	67,71	74,98	78,91	81,38	83,07
	282	Norte	-82,7	-81	-78,5	-74,5	-67,04	-49,45	-0,067	49,45	67,04	74,47	78,48	80,99	82,69
	283	Norte	-82,3	-80,6	-78,1	-74	-66,39	-48,6	-0,065	48,6	66,39	73,97	78,05	80,6	82,31
	284	Norte	-81,9	-80,2	-77,6	-73,5	-65,75	-47,77	-0,063	47,77	65,75	73,46	77,63	80,21	81,93
	285	Norte	-81,6	-79,8	-77,2	-73	-65,11	-46,97	-0,061	46,97	65,11	72,97	77,21	79,82	81,56
	286	Norte	-81,2	-79,4	-76,8	-72,5	-64,49	-46,19	-0,06	46,19	64,49	72,47	76,79	79,44	81,18
	287	Norte	-80,8	-79,1	-76,4	-72	-63,87	-45,44	-0,058	45,44	63,87	71,99	76,37	79,06	80,81
	288	Norte	-80,4	-78,7	-76	-71,5	-63,26	-44,7	-0,057	44,7	63,26	71,5	75,96	78,68	80,44
	289	Norte	-80,1	-78,3	-75,6	-71	-62,67	-43,99	-0,055	43,99	62,67	71,03	75,55	78,31	80,08
	290	Norte	-79,7	-77,9	-75,1	-70,6	-62,08	-43,31	-0,054	43,31	62,08	70,56	75,15	77,94	79,72
	291	Norte	-79,4	-77,6	-74,7	-70,1	-61,5	-42,64	-0,053	42,64	61,5	70,09	74,75	77,57	79,36
	292	Norte	-79	-77,2	-74,4	-69,6	-60,94	-41,99	-0,052	41,99	60,94	69,63	74,35	77,21	79
	293	Norte	-78,6	-76,8	-74	-69,2	-60,38	-41,37	-0,051	41,37	60,38	69,18	73,96	76,85	78,65
	294	Norte	-78,3	-76,5	-73,6	-68,7	-59,83	-40,76	-0,049	40,76	59,83	68,73	73,57	76,49	78,3
	295	Norte	-78	-76,1	-73,2	-68,3	-59,29	-40,17	-0,048	40,17	59,29	68,28	73,19	76,14	77,95
	296	Norte	-77,6	-75,8	-72,8	-67,8	-58,77	-39,6	-0,047	39,6	58,77	67,85	72,81	75,79	77,61
	297	Norte	-77,3	-75,4	-72,4	-67,4	-58,25	-39,05	-0,047	39,05	58,25	67,42	72,44	75,44	77,27
	298	Norte	-76,9	-75,1	-72,1	-67	-57,74	-38,52	-0,046	38,52	57,74	66,99	72,07	75,1	76,94
	299	Norte	-76,6	-74,8	-71,7	-66,6	-57,25	-38	-0,045	38	57,25	66,58	71,7	74,76	76,61
	300	Norte	-76,3	-74,4	-71,3	-66,2	-56,76	-37,5	-0,044	37,5	56,76	66,17	71,34	74,43	76,28
	301	Norte	-76	-74,1	-71	-65,8	-56,28	-37,01	-0,043	37,01	56,28	65,76	70,99	74,1	75,96
	302	Norte	-75,6	-73,8	-70,6	-65,4	-55,81	-36,54	-0,043	36,54	55,81	65,36	70,64	73,78	75,64
	303	Norte	-75,3	-73,5	-70,3	-65	-55,36	-36,09	-0,042	36,09	55,36	64,97	70,29	73,46	75,32
	304	Norte	-75	-73,1	-70	-64,6	-54,91	-35,64	-0,041	35,64	54,91	64,59	69,96	73,14	75,01
	305	Norte	-74,7	-72,8	-69,6	-64,2	-54,47	-35,22	-0,041	35,22	54,47	64,21	69,62	72,83	74,7
	306	Norte	-74,4	-72,5	-69,3	-63,8	-54,04	-34,81	-0,04	34,81	54,04	63,84	69,29	72,52	74,4
	307	Norte	-74,1	-72,2	-69	-63,5	-53,63	-34,41	-0,039	34,41	53,63	63,47	68,97	72,22	74,11
	308	Norte	-73,8	-71,9	-68,7	-63,1	-53,22	-34,02	-0,039	34,02	53,22	63,12	68,65	71,93	73,81
	309	Norte	-73,5	-71,6	-68,3	-62,8	-52,82	-33,65	-0,038	33,65	52,82	62,77	68,34	71,63	73,53
310	Norte	-73,2	-71,3	-68	-62,4	-52,43	-33,28	-0,038	33,28	52,43	62,42	68,03	71,35	73,24	
311	Norte	-73	-71,1	-67,7	-62,1	-52,05	-32,94	-0,037	32,94	52,05	62,09	67,73	71,07	72,97	
312	Norte	-72,7	-70,8	-67,4	-61,8	-51,68	-32,6	-0,037	32,6	51,68	61,76	67,44	70,79	72,69	
313	Norte	-72,4	-70,5	-67,2	-61,4	-51,32	-32,27	-0,036	32,27	51,32	61,44	67,15	70,52	72,43	
314	Norte	-72,2	-70,3	-66,9	-61,1	-50,97	-31,96	-0,036	31,96	50,97	61,12	66,87	70,26	72,17	
315	Norte	-71,9	-70	-66,6	-60,8	-50,63	-31,65	-0,035	31,65	50,63	60,82	66,59	70	71,91	
316	Norte	-71,7	-69,7	-66,3	-60,5	-50,3	-31,36	-0,035	31,36	50,3	60,52	66,32	69,74	71,66	

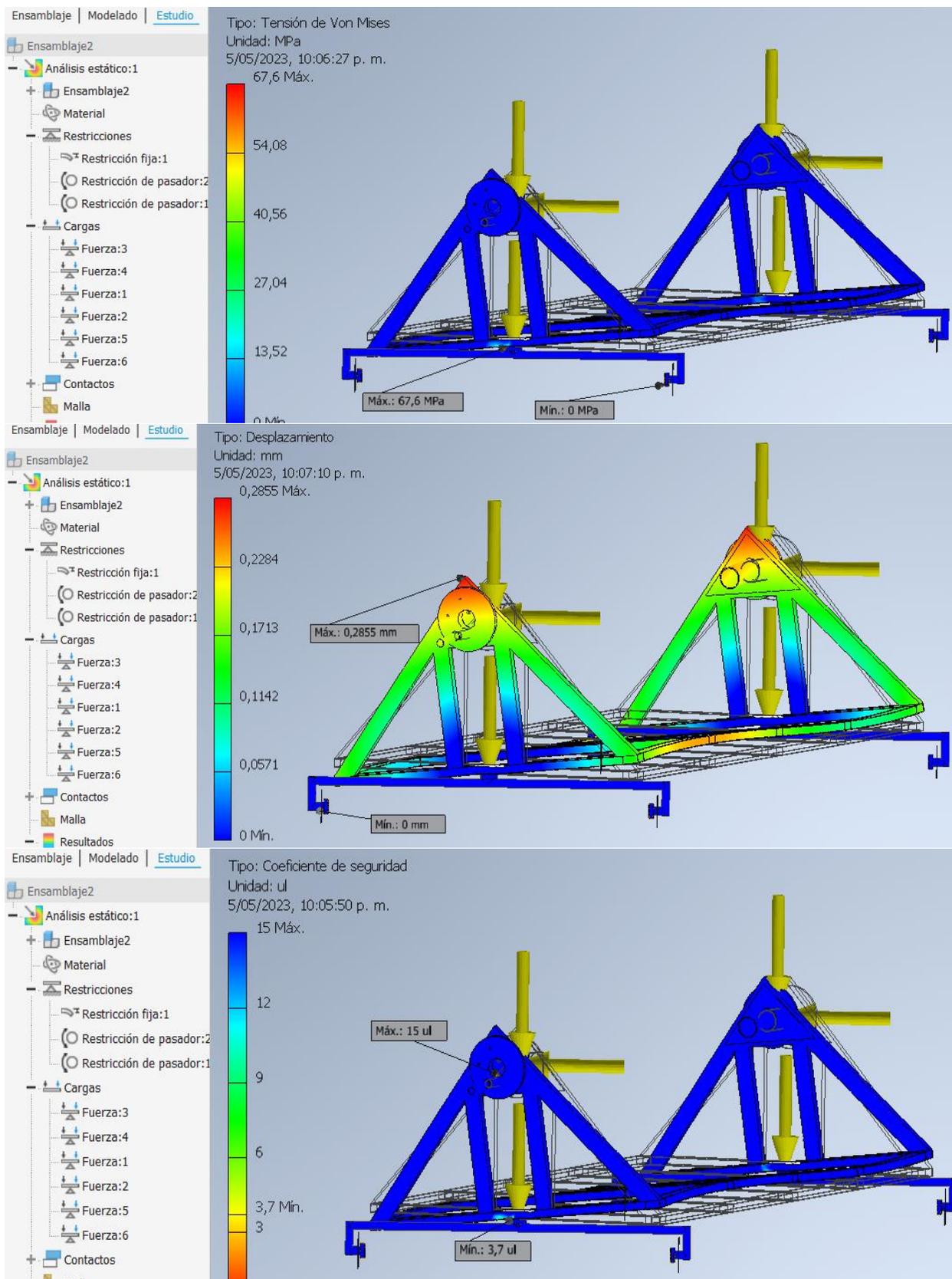
NOVIEMBRE	317	Norte	-71,4	-69,5	-66,1	-60,2	-49,98	-31,07	-0,035	31,07	49,98	60,23	66,06	69,49	71,41
	318	Norte	-71,2	-69,2	-65,8	-59,9	-49,67	-30,8	-0,034	30,8	49,67	59,94	65,8	69,25	71,17
	319	Norte	-70,9	-69	-65,5	-59,7	-49,36	-30,54	-0,034	30,54	49,36	59,66	65,55	69,01	70,94
	320	Norte	-70,7	-68,8	-65,3	-59,4	-49,07	-30,28	-0,034	30,28	49,07	59,39	65,3	68,78	70,71
	321	Norte	-70,5	-68,6	-65,1	-59,1	-48,78	-30,04	-0,033	30,04	48,78	59,13	65,06	68,55	70,48
	322	Norte	-70,3	-68,3	-64,8	-58,9	-48,5	-29,8	-0,033	29,8	48,5	58,88	64,83	68,33	70,26
	323	Norte	-70,1	-68,1	-64,6	-58,6	-48,24	-29,57	-0,033	29,57	48,24	58,63	64,6	68,12	70,05
	324	Norte	-69,8	-67,9	-64,4	-58,4	-47,98	-29,35	-0,032	29,35	47,98	58,39	64,38	67,91	69,85
	325	Norte	-69,6	-67,7	-64,2	-58,2	-47,73	-29,14	-0,032	29,14	47,73	58,16	64,17	67,71	69,65
	326	Norte	-69,5	-67,5	-64	-57,9	-47,49	-28,94	-0,032	28,94	47,49	57,93	63,96	67,51	69,45
	327	Norte	-69,3	-67,3	-63,8	-57,7	-47,25	-28,75	-0,032	28,75	47,25	57,71	63,76	67,33	69,26
	328	Norte	-69,1	-67,1	-63,6	-57,5	-47,03	-28,57	-0,031	28,57	47,03	57,5	63,57	67,14	69,08
	329	Norte	-68,9	-67	-63,4	-57,3	-46,82	-28,39	-0,031	28,39	46,82	57,3	63,38	66,97	68,91
	330	Norte	-68,7	-66,8	-63,2	-57,1	-46,61	-28,22	-0,031	28,22	46,61	57,11	63,2	66,79	68,74
	331	Norte	-68,6	-66,6	-63	-56,9	-46,41	-28,06	-0,031	28,06	46,41	56,92	63,03	66,63	68,57
	332	Norte	-68,4	-66,5	-62,9	-56,7	-46,22	-27,9	-0,031	27,9	46,22	56,74	62,87	66,47	68,42
	333	Norte	-68,3	-66,3	-62,7	-56,6	-46,04	-27,76	-0,03	27,76	46,04	56,57	62,71	66,32	68,27
	334	Norte	-68,1	-66,2	-62,6	-56,4	-45,87	-27,62	-0,03	27,62	45,87	56,4	62,56	66,18	68,12
	335	Norte	-68	-66	-62,4	-56,2	-45,7	-27,49	-0,03	27,49	45,7	56,25	62,41	66,04	67,99
	336	Norte	-67,9	-65,9	-62,3	-56,1	-45,55	-27,36	-0,03	27,36	45,55	56,1	62,27	65,91	67,85
	337	Norte	-67,7	-65,8	-62,1	-56	-45,4	-27,24	-0,03	27,24	45,4	55,96	62,14	65,78	67,73
	338	Norte	-67,6	-65,7	-62	-55,8	-45,26	-27,13	-0,03	27,13	45,26	55,82	62,02	65,66	67,61
	339	Norte	-67,5	-65,6	-61,9	-55,7	-45,13	-27,03	-0,029	27,03	45,13	55,7	61,9	65,55	67,5
	340	Norte	-67,4	-65,4	-61,8	-55,6	-45,01	-26,93	-0,029	26,93	45,01	55,58	61,79	65,45	67,4
	341	Norte	-67,3	-65,3	-61,7	-55,5	-44,89	-26,84	-0,029	26,84	44,89	55,47	61,69	65,35	67,3
	342	Norte	-67,2	-65,3	-61,6	-55,4	-44,79	-26,76	-0,029	26,76	44,79	55,37	61,59	65,26	67,21
	343	Norte	-67,1	-65,2	-61,5	-55,3	-44,69	-26,68	-0,029	26,68	44,69	55,27	61,5	65,17	67,12
	344	Norte	-67	-65,1	-61,4	-55,2	-44,6	-26,61	-0,029	26,61	44,6	55,19	61,42	65,09	67,05
	345	Norte	-67	-65	-61,3	-55,1	-44,52	-26,54	-0,029	26,54	44,52	55,11	61,35	65,02	66,98
	346	Norte	-66,9	-65	-61,3	-55	-44,44	-26,48	-0,029	26,48	44,44	55,03	61,28	64,96	66,91
	347	Norte	-66,9	-64,9	-61,2	-55	-44,38	-26,43	-0,029	26,43	44,38	54,97	61,22	64,9	66,86
	348	Norte	-66,8	-64,9	-61,2	-54,9	-44,32	-26,39	-0,029	26,39	44,32	54,91	61,17	64,85	66,81
	349	Norte	-66,8	-64,8	-61,1	-54,9	-44,27	-26,35	-0,029	26,35	44,27	54,87	61,12	64,81	66,76
	350	Norte	-66,7	-64,8	-61,1	-54,8	-44,23	-26,32	-0,029	26,32	44,23	54,83	61,09	64,77	66,73
351	Norte	-66,7	-64,7	-61,1	-54,8	-44,19	-26,29	-0,029	26,29	44,19	54,79	61,05	64,74	66,7	
352	Norte	-66,7	-64,7	-61	-54,8	-44,17	-26,27	-0,028	26,27	44,17	54,77	61,03	64,72	66,67	
353	Norte	-66,7	-64,7	-61	-54,7	-44,15	-26,26	-0,028	26,26	44,15	54,75	61,01	64,7	66,66	
354	Norte	-66,6	-64,7	-61	-54,7	-44,14	-26,25	-0,028	26,25	44,14	54,74	61,01	64,7	66,65	
355	Norte	-66,6	-64,7	-61	-54,7	-44,14	-26,25	-0,028	26,25	44,14	54,74	61	64,69	66,65	
356	Norte	-66,7	-64,7	-61	-54,7	-44,14	-26,25	-0,028	26,25	44,14	54,74	61,01	64,7	66,65	
357	Norte	-66,7	-64,7	-61	-54,8	-44,16	-26,26	-0,028	26,26	44,16	54,76	61,02	64,71	66,67	
358	Norte	-66,7	-64,7	-61	-54,8	-44,18	-26,28	-0,028	26,28	44,18	54,78	61,04	64,73	66,68	
359	Norte	-66,7	-64,8	-61,1	-54,8	-44,21	-26,3	-0,029	26,3	44,21	54,81	61,07	64,76	66,71	
360	Norte	-66,7	-64,8	-61,1	-54,8	-44,25	-26,33	-0,029	26,33	44,25	54,84	61,1	64,79	66,74	
361	Norte	-66,8	-64,8	-61,1	-54,9	-44,29	-26,37	-0,029	26,37	44,29	54,89	61,14	64,83	66,78	
362	Norte	-66,8	-64,9	-61,2	-54,9	-44,35	-26,41	-0,029	26,41	44,35	54,94	61,19	64,88	66,83	
363	Norte	-66,9	-64,9	-61,3	-55	-44,41	-26,46	-0,029	26,46	44,41	55	61,25	64,93	66,88	
364	Norte	-66,9	-65	-61,3	-55,1	-44,48	-26,51	-0,029	26,51	44,48	55,07	61,31	64,99	66,94	
365	Norte	-67	-65,1	-61,4	-55,1	-44,56	-26,57	-0,029	26,57	44,56	55,14	61,38	65,06	67,01	

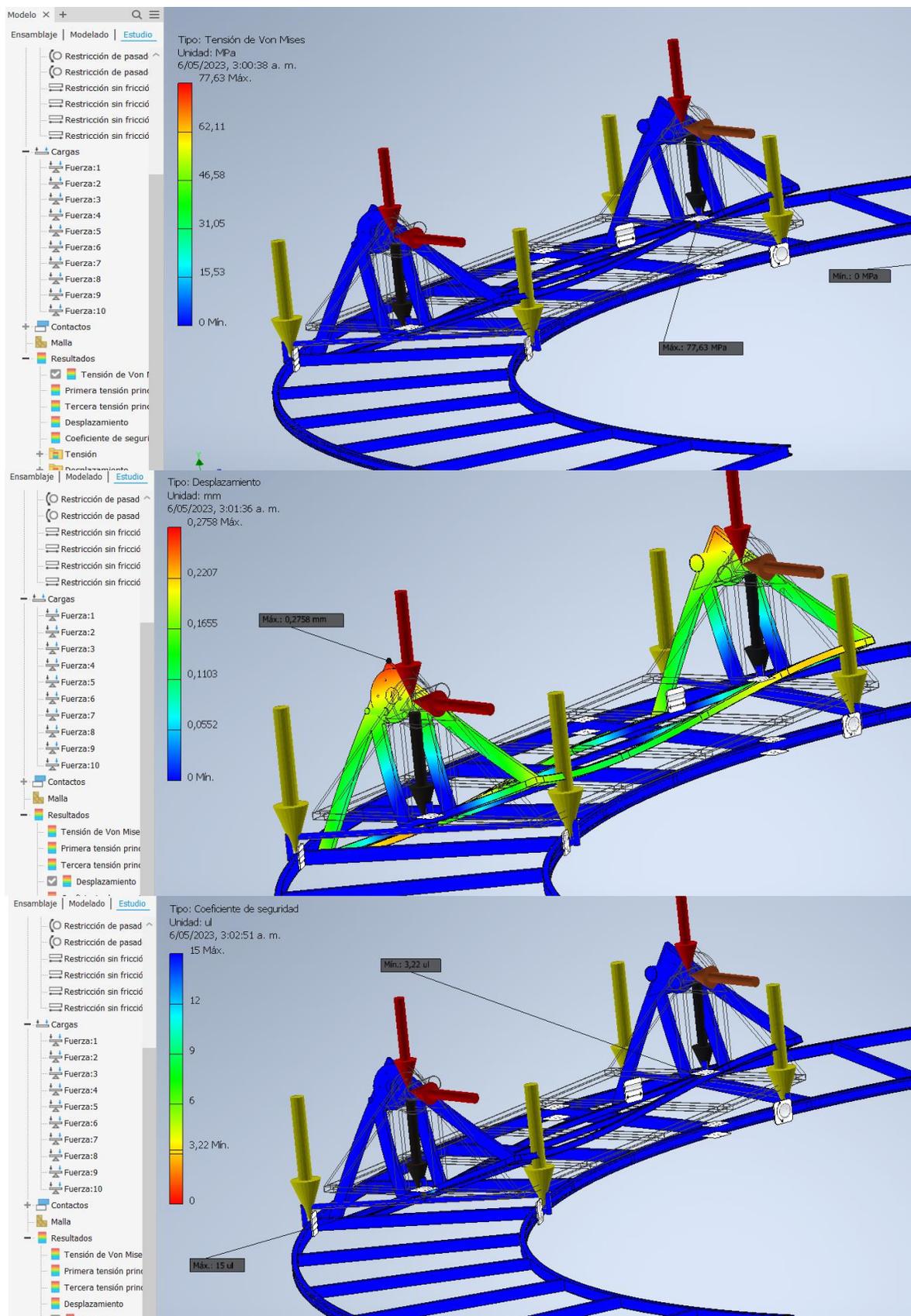
DICIEMBRE

Anexo D. Simulación estática de las piezas del mecanismo









Anexo E. Código de programación de la placa Arduino

```

int driverPUL = 9; //PUL- pin
int driverDIR = 8; //DIR - pin

49 void setup() {
    pinMode (driverPUL,OUTPUT);
    pinMode (driverDIR, OUTPUT);
}

void loop(){

    for (int x = 0; x <=1506; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(6am)
    {
        digitalWrite(driverDIR, 1);
        digitalWrite(driverPUL, HIGH);
        delayMicroseconds(10000);
        digitalWrite(driverPUL, LOW);
        delayMicroseconds(10000);
    }

    //detiene 10s
    digitalWrite(driverDIR, 1);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delay(5000);

    for (int x = 0; x <=2437; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(7am)
    {
        digitalWrite(driverDIR, 1);
        digitalWrite(driverPUL, HIGH);
        delayMicroseconds(10000);
        digitalWrite(driverPUL, LOW);
        delayMicroseconds(10000);
    }

    //detiene 10s
    digitalWrite(driverDIR, 1);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delay(5000);

    for (int x = 0; x <=3978; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(8am)
    {
        digitalWrite(driverDIR, 1);

```

```
digitalWrite(driverPUL, HIGH);
delayMicroseconds(10000);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delayMicroseconds(10000);
}

//detiene 10s
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delay(5000);

for (int x = 0; x <=6976; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(9am)
{
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, HIGH);
delayMicroseconds(10000);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delayMicroseconds(10000);
}

//detiene 10s
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delay(5000);

for (int x = 0; x <=13836; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(10am)
{
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, HIGH);
delayMicroseconds(10000);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delayMicroseconds(10000);
}

//detiene 10s
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delay(5000);

for (int x = 0; x <=26000; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(11am)
{
digitalWrite(driverDIR, 1);
```

```

    digitalWrite(driverPUL, HIGH);
    delayMicroseconds(10000);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delayMicroseconds(1000);
}
for (int x = 0; x <=6834; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(11am)
{
    digitalWrite(driverDIR, 1);
    digitalWrite(driverPUL, HIGH);
    delayMicroseconds(10000);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delayMicroseconds(10000);
}
//detiene 10s
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delay(5000);

for (int x = 0; x <=26000; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(12pm)
{
    digitalWrite(driverDIR, 1);
    digitalWrite(driverPUL, HIGH);
    delayMicroseconds(10000);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delayMicroseconds(10000);
}
for (int x = 0; x <=7010; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(12pm)
{
    digitalWrite(driverDIR, 1);
    digitalWrite(driverPUL, HIGH);
    delayMicroseconds(10000);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delayMicroseconds(10000);
}
//detiene 10s
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delay(5000);

for (int x = 0; x <=13836; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(1pm)
{
    digitalWrite(driverDIR, 1);
    digitalWrite(driverPUL, HIGH);

```

```

delayMicroseconds(10000);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delayMicroseconds(10000);
}

//detiene 10s
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delay(5000);

for (int x = 0; x <=6976; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(2pm)
{
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, HIGH);
delayMicroseconds(10000);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delayMicroseconds(10000);
}

//detiene 10s
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delay(5000);

for (int x = 0; x <=3978; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(3pm)
{
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, HIGH);
delayMicroseconds(10000);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delayMicroseconds(10000);
}

//detiene 10s
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delay(5000);

for (int x = 0; x <=2437; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(4pm)
{
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, HIGH);

```

```

    delayMicroseconds(10000);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delayMicroseconds(10000);
}

//detiene 10s
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delay(5000);

for (int x = 0; x <=1506; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(5pm)
{
    digitalWrite(driverDIR, 1);
    digitalWrite(driverPUL, HIGH);
    delayMicroseconds(10000);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delayMicroseconds(10000);
}

//detiene 10s
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delay(5000);

for (int x = 0; x <=30000; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(6pm)

{
    digitalWrite(driverDIR, 0);
    digitalWrite(driverPUL, HIGH);
    delayMicroseconds(10000);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delayMicroseconds(10000);
}
for (int x = 0; x <=26000; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(6pm)

{
    digitalWrite(driverDIR, 0);
    digitalWrite(driverPUL, HIGH);
    delayMicroseconds(10000);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delayMicroseconds(10000);
}
for (int x = 0; x <=30000; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(6pm)

```

```

{
    digitalWrite(driverDIR, 0);
    digitalWrite(driverPUL, HIGH);
    delayMicroseconds(10000);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delayMicroseconds(10000);
}
for (int x = 0; x <=26000; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(6pm)

{
    digitalWrite(driverDIR, 0);
    digitalWrite(driverPUL, HIGH);
    delayMicroseconds(10000);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delayMicroseconds(10000);
}

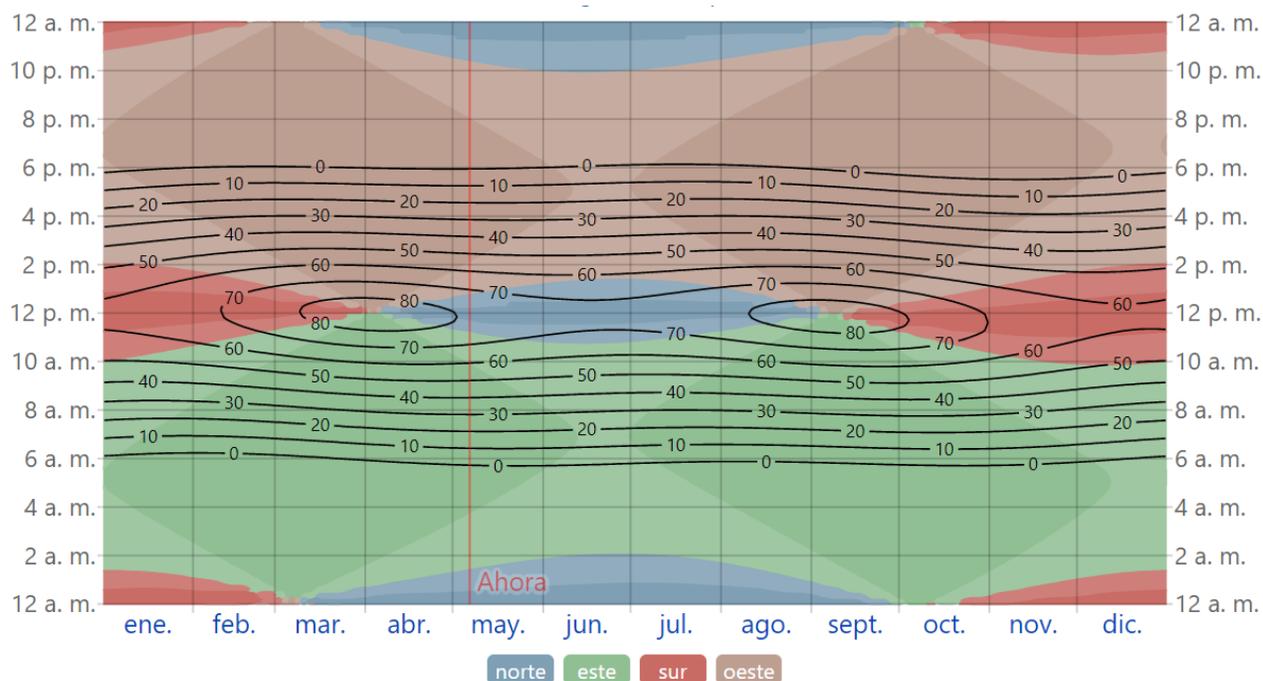
for (int x = 0; x <=11310.4; x++)//ABRIL 5-SEPTIEMBRE 6(6pm)

{
    digitalWrite(driverDIR, 0);
    digitalWrite(driverPUL, HIGH);
    delayMicroseconds(10000);
    digitalWrite(driverPUL, LOW);
    delayMicroseconds(10000);
}

//detiene 10s
digitalWrite(driverDIR, 1);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
digitalWrite(driverPUL, LOW);
delay(5000);
}

```

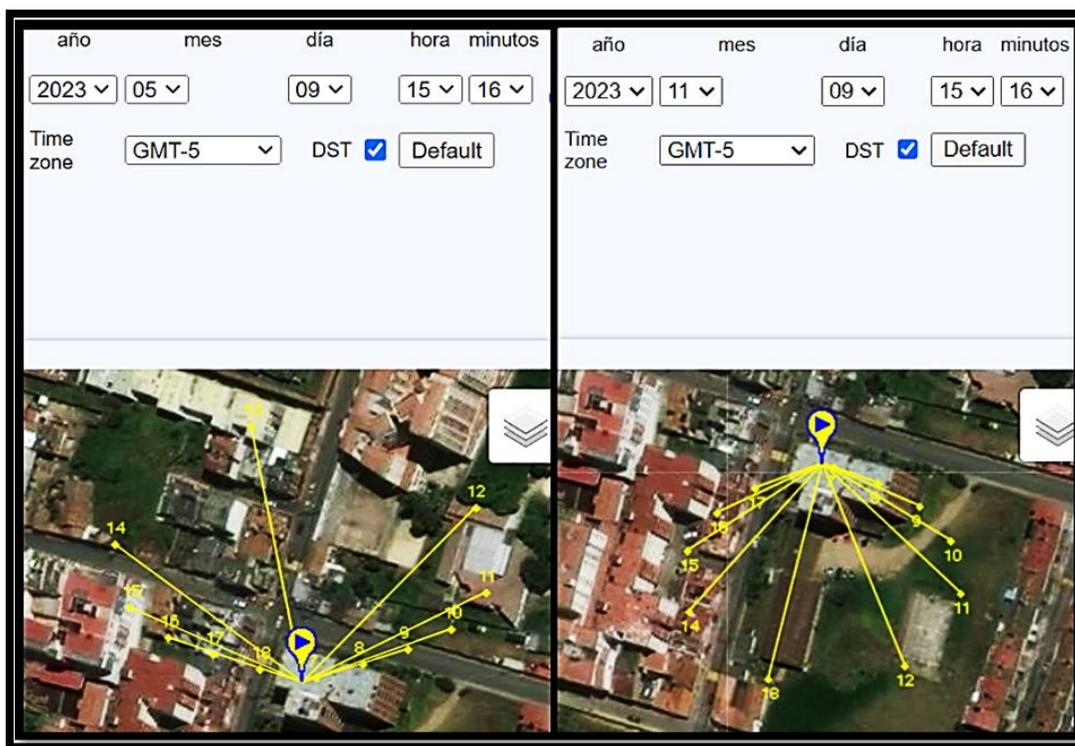
Anexo F. Elevación solar y acimut en Tunja



Fuente: (Weatherspark, 2023)

Elevación solar y acimut durante el año 2023. Las líneas negras son líneas de elevación solar constante (el ángulo del sol sobre el horizonte, en grados). El color de fondo sólido indica el acimut (la orientación en la brújula) del sol. El eje horizontal es el día del año y el eje vertical es la hora del día. En un día dado y a cierta hora de ese día, el color de fondo indica el acimut del sol en ese momento. Las isolíneas negras son el contorno de elevación solar constante.

Anexo G. Comportamiento de los rayos del sol tomando la ubicación de la UAN



Fuente: (autor, 2023)

En este anexo se puede evidenciar claramente la posición solar que reflejan los rayos, donde en para el 9 de mayo de 2023, los rayos del sol ingresan por el norte, y para 9 de noviembre los rayos de reflejan por el sur.

8. Referencias bibliográficas

- Acevedo, H. N. (16 de 03 de 2012). *Fundamentos de Energía Solar*. (n.p.): . España: Editorial Academica Espanola. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/que-es-energia-solar/>
- Aguilar, F. J. Aledo, S. y Quiles, P. V. (2016). Experimental study of the solar photovoltaic contribution for the domestic hot water production with heat pumps in dwellings. 1-11. *Applied Thermal Engineering*. Obtenido de https://pdfs.semanticscholar.org/4b73/f77bbc8d3709ab1a9ba28c8636df64e16f54.pdf?_ga=2.14812214.1649791798.1665165305-1380795830.1665165305
- autor. (9 de mayo de 2023). *sunearthtools*. Obtenido de https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php
- Belmonte, S. (Julio de 2016). *Inenco*. Obtenido de <http://inenco.unsa.edu.ar/LibroINENCO.pdf>
- Brown, C. A. (2010). *revista ciencia*. Obtenido de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/EnergiaSol.pdf
- Carbonell, M. (26 de abril de 2022). *HogarSense*. Obtenido de <https://www.hogarsense.es/energia-solar/comparacion-tipos-captadores-solares>
- Chue, J. S. (2010). *Repositorio Institucional Universidad de Quintana Roo*. Recuperado el 2022, de <http://rasisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/1103>
- Cobián, R. (10 de 6 de 2020). *revista ingenieria*. Obtenido de Sistema de seguimiento solar de un eje para aumentar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos bajo distintas condiciones climáticas: <https://www.revista.ingenieria.uady.mx/ojs/index.php/ingenieria/article/view/203/181>
- Collart Dutilleul, F. E. (16 de marzo de 2019). *Estudios jurídicos sobre aprovechamiento sustentable de los recursos naturales Aproximación a alternativas jurpídicas para la sostenibilidad y seguridad alimentaria*. Colombia: Editorial Universidad del Norte.
- Contreras, L. (26 de mayo de 2022). *3dnatives*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/mejores-sofware-cad-programa-180320192/#!>
- CORPOEMA, C. E. (1 de Diciembre de 2010). *UPME*. Obtenido de http://www.upme.gov.co/sigic/documentosf/vol_1_plan_desarrollo.pdf
- Fernández, Y. (27 de septiembre de 2022). *xataka*. Obtenido de <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Hernandez, J. (diciembre de 2018). *Diseño y construcción de un seguidor solar para aplicaciones en solarimetría*. Obtenido de <https://www.pag.org.mx/index.php/PAG/article/view/768/1099>

- Homecenter. (18 de octubre de 2022). *HOMECENTER*. Obtenido de <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/183863/tubo-rectangular-40-x-20-x-11mm-c18-x-6m/183863/>
- IDEAM. (2005). RELACIONES ASTRONÓMICAS SOL-TIERRA. *Atlas de radiación Solar de Colombia*, 120-121.
- Ideam. (marzo de 2023). *ideam*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- IDEAM, A. (20 de marzo de 2023). *Atlas*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- John A. Duffie, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Linacero, A. P. (10 de diciembre de 2022). *Google Sites*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/mecanismosloima03sap2/elementos-de-maquinas/mecanismo-pinion-cremallera>
- Mecatronicalatam. (15 de ABRIL de 2023). *Mecatronicalatam*. Obtenido de <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/motor/motores-electricos/motor-de-corriente-continua/motor-paso-a-paso/>
- Meinel, A. (18 de junio de 1982). *Aplicaciones de la energía solar*. España: Editorial Reverté.
- Monge Malo, L. (29 de Noviembre de 2013). *Instalaciones de energía solar térmica para la obtención de ACS en viviendas*.
- Pérez Navarro, A. (enero de 2011). *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática*.
- Planas, O. (3 de Octubre de 2019). *Energía solar*. Obtenido de <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar>
- Prinsloo. (2015). *precision solar position algorithms, programs and software for computing the solar vector, solar, PLC, Arduino, PIC and PC-based*.
- Quang, P. N. (24 de enero de 2018). *alamy*. Obtenido de <https://www.alamy.es/foto-bastidor-de-cadena-y-rueda-dentada-de-transmision-de-potencia-mecanica-173206418.html>
- R. Agarwal. (2014). *Concept of Mechanical Solar Tracking System* (2278-1684 ed., Vol. 1). IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering.
- Ramírez Hernández, A. I. (2021). *Turismo y patrimonio cultural en Tunja*. Colombia: Editorial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - UPTC.
- RBGPRODUCTOS. (20 de marzo de 2021). *Mercadolibre*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-598468994-balinera-o-rodamiento-6202-2rs-para-moto-alta-calidad-_JM

- REPSOL. (4 de octubre de 2022). *¿Qué es la energía solar? Tipos y principales ventajas.* Obtenido de <https://www.repsol.com/es/conocenos/que-hacemos/desarrollo-energias-renovables/energia-solar/index.cshtml>
- Robert L. Mott, V. G. (28 de noviembre de 2006). *Diseño de Elementos de Maquinas.* España: Pearson Educación.
- Rodolfo Schmidt, D. (13 de 12 de 2022). *Arduino Curso completo 2ª Edición.* España: RA-MA S.A. Editorial y Publicaciones.
- ROLDÁN VILORIA, J. G. (02 de 02 de 2022). *Necesidades energéticas y propuestas de instalaciones solares.* España: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Sabry, F. (2022). *Energía Solar Concentrada: Usar espejos o lentes para concentrar la luz solar en un receptor.* Mil Millones De Conocimientos.
- Siemens. (abril de 2023). *automation.* Obtenido de <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507>
- sotysolar. (10 de 9 de 2020). *sotysolar.* Obtenido de <https://sotysolar.es/placas-solares/seguidores-solares>
- Sumano, J. (2012). *Diseño y construcción de un sistema de seguimiento fotovoltaico.* Huajuapán de León, Oaxaca: Universidad Tecnológica de la Mixteca. Obtenido de http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11479.pdf
- Teodosio. (27 de julio de 2013). *slideplayer.* Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/4018577/>
- TME, G. (15 de ABRIL de 2023). *TME.* Obtenido de <https://www.tme.com/co/es/news/library-articles/page/41861/Motor-paso-a-paso-tipos-y-ejemplos-del-uso-de-motores-paso-a-paso/#:~:text=El%20motor%20paso%20a%20paso,eje%20cada%201%2C8%20B0.>
- TuTiempo. (19 de abril de 2023). *tutiempo.ne.* Obtenido de <https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/tunja.html>
- UNAM, I. (2015). *LACYQS.* Obtenido de Canal Parabólico y Fresnel: <http://www.concentracionsolar.org.mx/concentracion-solar/canal-parabolico-y-fresnel#:~:text=Canal%20Parabl%C3%B3lico,el%20foco%20de%20la%20misma.>
- Valdez Sals, B. (26 de 9 de 2006). *Tecnología en la UABC.* México: Universidad Autónoma de Baja California.
- Velazquez, K. y. (2018). *Integración de sistema robotico seguidor dsolar de dos grados de libertad, para orientar arreglos tipo GRID de paneles fotovoltaicos con configuración fija de espacios urbanos.* Mexico: Instituto politecnico nacional. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/27719/TesisVersionFinal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Weatherspark. (12 de Abril de 2023). *Weatherspark*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/24312/Clima-promedio-en-Tunja-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>

● 11% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 11% Base de datos de trabajos entregados

FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA on ...	1%
	Submitted works	
2	Universidad Señor de Sipan on 2022-07-16	<1%
	Submitted works	
3	Universidad Nacional del Centro del Peru on 2018-02-07	<1%
	Submitted works	
4	Universidad de Guadalajara on 2023-01-23	<1%
	Submitted works	
5	Universidad Anahuac México Sur on 2021-05-12	<1%
	Submitted works	
6	Universidad del Atlántico on 2020-06-17	<1%
	Submitted works	
7	Universidad Nacional de Colombia on 2020-06-04	<1%
	Submitted works	
8	Fundacion Universitaria Juan de Castellanos on 2022-11-09	<1%
	Submitted works	
9	CONACYT on 2016-12-13	<1%
	Submitted works	

10	University of Kentucky on 2023-04-28	<1%
	Submitted works	
11	Universidad Cesar Vallejo on 2022-11-30	<1%
	Submitted works	
12	Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador on 2023-03-14	<1%
	Submitted works	
13	Universidad Santo Tomas on 2019-05-23	<1%
	Submitted works	
14	Universidad de Málaga - Tii on 2023-01-19	<1%
	Submitted works	
15	Universidad Pontificia Bolivariana on 2020-04-05	<1%
	Submitted works	
16	espan on 2021-11-14	<1%
	Submitted works	
17	Universidad Nacional del Centro del Peru on 2020-01-05	<1%
	Submitted works	
18	Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador on 2019-02-18	<1%
	Submitted works	
19	Tecsup on 2017-06-24	<1%
	Submitted works	
20	Universidad del Istmo de Panamá on 2020-09-22	<1%
	Submitted works	
21	antonionarino on 2021-07-11	<1%
	Submitted works	

22	Escuela Politecnica Nacional on 2016-12-19	<1%
	Submitted works	
23	Universidad Internacional de la Rioja on 2014-09-27	<1%
	Submitted works	
24	University of East London on 2016-06-30	<1%
	Submitted works	
25	antonionarino on 2021-11-03	<1%
	Submitted works	
26	antonionarino on 2023-02-16	<1%
	Submitted works	
27	Courtney's Test Account on 2019-02-19	<1%
	Submitted works	
28	Universidad Autónoma de Nuevo León on 2020-03-18	<1%
	Submitted works	
29	Universidad Continental on 2018-11-15	<1%
	Submitted works	
30	Universidad Cooperativa de Colombia on 2020-10-24	<1%
	Submitted works	
31	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas on 2014-12-09	<1%
	Submitted works	
32	British International School on 2016-09-18	<1%
	Submitted works	
33	UNIV DE LAS AMERICAS on 2019-08-22	<1%
	Submitted works	

34	Universidad Cooperativa de Colombia on 2022-09-08	<1%
	Submitted works	
35	antonionarino on 2023-05-05	<1%
	Submitted works	
36	espam on 2021-11-21	<1%
	Submitted works	
37	iGroup on 2015-06-21	<1%
	Submitted works	
38	CONACYT on 2018-10-16	<1%
	Submitted works	
39	Universidad Pontificia Bolivariana on 2018-03-21	<1%
	Submitted works	
40	Escuela Superior Politécnica del Litoral on 2023-02-14	<1%
	Submitted works	
41	North West University on 2014-10-13	<1%
	Submitted works	
42	Universidad Pontificia Bolivariana on 2019-06-06	<1%
	Submitted works	
43	Patricia Test Account on 2015-10-27	<1%
	Submitted works	
44	UISEK on 2020-07-31	<1%
	Submitted works	
45	Universidad Carlos III de Madrid on 2016-12-05	<1%
	Submitted works	

46	Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador on 2021-03-09	<1%
	Submitted works	
47	Universidad Tecnologica del Peru on 2016-11-09	<1%
	Submitted works	
48	Universidad de Málaga - Tii on 2022-09-12	<1%
	Submitted works	
49	Universidad de Santiago de Chile on 2021-01-14	<1%
	Submitted works	
50	Escuela Politecnica Nacional on 2021-06-18	<1%
	Submitted works	
51	Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid on 2015-06-19	<1%
	Submitted works	
52	Universidad Carlos III de Madrid on 2019-05-16	<1%
	Submitted works	
53	Universidad Catolica De Cuenca on 2018-01-18	<1%
	Submitted works	
54	Universidad Cesar Vallejo on 2022-08-01	<1%
	Submitted works	
55	Universidad Internacional de la Rioja on 2020-06-18	<1%
	Submitted works	
56	Universidad Internacional de la Rioja on 2022-02-08	<1%
	Submitted works	
57	Universidad de Oviedo on 2022-10-27	<1%
	Submitted works	

58

University of Johannesburg on 2017-11-03

Submitted works

<1%