



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA MEJORAR EL
RENDIMIENTO DE PANELES SOLARES PORTÁTILES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: CRISTHIAN PAÚL CALDERÓN NARANJO

TUTOR: WILSON DAVID PAVÓN VALLEJOS

Quito – Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Cristhian Paúl Calderón Naranjo con documento de identificación N° 0604517490 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 13 de septiembre de 2024

Atentamente,



Cristhian Paúl Calderón Naranjo

0604517490

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Cristhian Paúl Calderón Naranjo con documento de identificación N° 0604517490, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del dispositivo tecnológico: “Diseño y simulación de un seguidor solar para mejorar el rendimiento de paneles solares portátiles”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de septiembre de 2024

Atentamente,



Cristhian Paúl Calderón Naranjo

0604517490

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Wilson David Pavón Vallejos con documento de identificación N° 1719224311, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE PANELES SOLARES PORTÁTILES, realizado por Cristhian Paúl Calderón Naranjo con documento de identificación N° 0604517490, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Dispositivo Tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de septiembre de 2024

Atentamente,



Ing. Wilson David Pavón Vallejos, PhD

1719224311

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a Dios por, haberme dado la sabiduría y la fuerza para continuar en este camino, agradezco a mis padres, Marco y Margarita quienes son un pilar fundamental en mi vida y son lo más importante en mi vida, por su apoyo, su amor que siempre estuvo presente y sobre todo por la confianza y porque nunca dejan de creer en mí, a mi hermano Marco quien es mi inspiración mi amigo incondicional, por sus palabras de aliento, por su apoyo, cariño y por siempre estar conmigo; a mis tías Poema e Irene por su apoyo incondicional y su amor que me han demostrado siempre; A mi prima Erika, a quien la considero como mi hermana por siempre estar ahí para mí, por su consejo y por ser un ejemplo a seguir mi admiración a ella y como ha salido adelante en todo con cariño y propósito; a mi novia Keyrila por apoyarme en este proceso, por sus consejos reconfortantes, también quiero agradecer a mi amigo Kevin que estuvo siempre conmigo en este proceso que supo acompañar en las buenas y malas para poder hacer las cosas bien y culminar este camino, y a todos mis compañeros de curso que siempre fue un grupo muy unido, agradezco de manera especial a la Universidad Politécnica Salesiana y sus docentes quienes supieron compartir su sabiduría y conocimiento lo que ha hecho posible el cumplimiento de esta meta profesional.

Gracias a todos por ser parte de cada paso de este proceso, gracias por creer en mí y por haberme mostrado su cariño los llevaré en mi corazón siempre.

Cristhian Paúl Calderón Naranjo

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mis padres, a mi hermano, a mis tías, a mi novia y a toda mi familia por ser un apoyo incondicional, por ser mi soporte en este difícil y grato proceso por su confianza, paciencia y amor. A cada persona que hizo posible este logro fueron una inspiración muy grande en mi vida y la fuerza brindada para salir adelante en mi meta y cumplir con mis propósitos.

Cristhian Paúl Calderón Naranjo

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	i
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
Capítulo I	1
Antecedentes y generalidades.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Hipótesis del proyecto o la investigación.	2
1.4. Antecedentes de la investigación.....	3
1.5. Alcance del proyecto o la investigación.....	3
1.6. Comprobación de resultados.	3
2. Capítulo II.....	5
Marco teórico.....	5
2.1. Radiación solar en Quito Ecuador.	5
2.2. Propiedades de la radiación solar.....	5
2.3. Funcionamiento de los paneles fotovoltaicos.....	6
2.3.1. Dirección de rayos solares.	6
2.4. Definición de un seguidor solar.	6
2.5. Beneficio del seguidor solar de doble eje.	7
2.6. Radiación solar sobre mecanismos fotovoltaicos fijos y en movimiento.....	7
2.7. Componentes para los sistemas fotovoltaicos.....	8

2.7.1.	Panel solar.....	8
2.7.2.	Batería.....	9
2.7.2.1.	Las características de la batería son las siguientes.....	9
2.7.3.	Programa de control.....	9
2.7.4.	Sensores.....	10
2.7.5.	Calibración LDR.....	10
2.7.6.	Servomotores.....	11
2.7.7.	Microcontrolador Arduino UNO R3.....	11
2.7.8.	Rodamiento.....	11
2.7.9.	Base giratoria.....	12
2.7.10.	Laminado en acero frío.....	12
2.7.11.	Eficiencia incrementada del sistema de un seguidor solar.....	12
2.8.	Curva Característica IV-PV de una Celda Fotovoltaica.....	13
2.9.	Curva Potencia – Voltaje (P-V) normalizada.....	15
3.	Capítulo III.....	17
	Metodología de la investigación.....	17
3.1.	Comprobación de la hipótesis.....	17
3.2.	Herramientas utilizadas.....	17
3.3.	Análisis de alternativas.....	18
3.4.	Análisis de alternativas para el seguidor solar.....	18
3.4.1.	Alternativa 1. Transmisión por engranajes.....	18
3.4.1.1.	Ventajas y desventajas de la transmisión mediante engranajes.....	19
3.4.2.	Alternativa 2. Transmisión por cadena.....	19
3.4.2.1.	Ventajas y desventajas de la transmisión mediante cadena.....	20
3.4.3.	Alternativa 3. Transmisión por banda.....	20
3.4.3.1.	Ventajas y desventajas de la transmisión mediante banda.....	21
3.5.	Selección de la transmisión de potencia para el panel fotovoltaico.....	21
3.6.	Cuadros de selección de alternativas para la máquina.....	23
3.7.	Selección de material.....	25
3.8.	Barra de acero AISI 1018.....	26
3.9.	Cuadros de selección de alternativas para material.....	26
3.10.	Selección de soldadura para materia de acero laminado en frío.....	28
3.10.1.	Soldadura SMAW para acero laminado en frío.....	28
3.10.2.	Soldadura MIG para Acero Laminado en Frío.....	28

3.11.	Cuadros de selección de alternativas de suelda.....	29
3.12.	Juntas soldadas.....	30
4.	Capítulo IV	32
	Análisis y discusión de resultados.....	32
4.1.	Mecanismo del seguidor solar.....	32
4.2.	Diseño de panel fotovoltaico.....	34
4.3.	Elementos principales de seguidor solar.....	34
4.4.	Selección de Panel solar.....	37
4.5.	Selección de batería.....	38
4.6.	Selección de controlador de carga.....	39
4.7.	Selección de servomotor.	40
4.8.	Cálculo de transmisión de potencia en un sistema de engranajes y cadena. 40	
4.9.	Relación de transmisión.	40
4.10.	Velocidad angular del engranaje.....	41
4.11.	Potencia transmitida.....	41
4.12.	Torque del engranaje.....	42
4.13.	Selección del controlador para la programación mediante un microcontrolador.....	42
4.14.	Selección del sensor LDR21	43
4.14.1.	Juntas soldadas.....	44
4.15.	Cálculos y selección para los métodos de elementos finitos	46
4.15.1.	Análisis estructural del panel fotovoltaico.....	46
4.15.2.	Análisis estructural soporte (base).	48
4.15.3.	Análisis estructural caja de componentes.	51
4.15.4.	Análisis estructural soporte de eje.	55
4.15.5.	Análisis estructural soporte de panel.	59
4.15.6.	Análisis estructural eje.....	63
4.16.	Esquema eléctrico.	66
4.17.	Acoplamiento del Eje del Servomotor al Dispositivo.....	67
4.17.1.	Análisis de resultados.....	68
4.18.	Calibración del LDR.....	69
4.19.	Controlador PID de los servomotores en el panel fotovoltaico.....	71
5.	Capítulo V	73
	Análisis económico	73

5.1.	Análisis de costos de la implementación del proyecto.	73
5.2.	Justificación de costos.	73
5.2.1.	Costos materiales para la estructura.	73
5.2.2.	Costos de materiales.	73
5.2.3.	Mano de obra directa.	74
5.2.4.	Mano de obra indirecta	74
5.2.5.	Costo servicio básicos.	75
5.2.6.	Resumen de costos.	75
	Conclusiones	76
	Recomendaciones	78
	Referencias bibliográficas	79
	Anexos	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.	Parámetros y Ecuaciones Características de una Celda Fotovoltaica [21].	15
Tabla 1.	Descripción de las ecuaciones para la eficiencia de un seguidor solar [32].	13
Tabla 3.	Materiales y componentes.	18
Tabla 4.	Análisis de alternativas de acuerdo a la viabilidad de transmisión de potencia.	23
Tabla 5.	Operacionalización de las variables de acuerdo a las alternativas.	24
Tabla 6.	Propiedades mecánicas de los materiales para la estructura [31].	25
Tabla 7.	Propiedades Acero AISI 1018 [34].	26
Tabla 8.	Análisis de material para la estructura del panel fotovoltaico.	27
Tabla 9.	Análisis de soldadura mediante SMAW o MIG.	29
Tabla 10.	Ecuación para soldadura de la estructura [37].	31
Tabla 11.	Componentes del seguidor solar.	36
Tabla 12.	Representa las especificaciones más importantes de un panel solar [39].	37
Tabla 13.	Representa las especificaciones más importantes de una batería AGM [23].	39
Tabla 14.	Representa las especificaciones más importantes de un controlador SHS - 6 [40].	39
Tabla 14.	Representa las especificaciones más importantes de un servomotor MG996R [27].	40
Tabla 15.	Cálculo de relación de transmisión.	41
Tabla 16.	Cálculo de velocidad angular del engranaje.	41
Tabla 17.	Cálculo de potencia de transmitida.	42

Tabla 18. Calculo de torque de engranaje.....	42
Tabla 19. Representa las especificaciones más importantes de una placa ARDUINO Uno R3 [24].....	43
Tabla 20. Representa las especificaciones más importantes de un sensor LDR [41].	44
Tabla 21. Cálculo de soldadura para la estructura.	45
Tabla 22. Propiedades de los electrodos para soldadura SMAW [35].	45
Tabla 23. Calcular la tensión admisible.....	46
Tabla 24. Resultados del estudio estructural de soporte base.	51
Tabla 25. Resultados del estudio estructural de la caja de componentes.....	55
Tabla 26. Resultados del estudio estructural de la estructura.	59
Tabla 27. Resultados del estudio estructural del soporte panel.	63
Tabla 28. Resultados del estudio estructural del eje.	66
Tabla 29. Descripción de cada una de la simbología y descripción de la fórmula empleada [41].	70
Tabla 40. Presenta los valores y parámetros utilizados para el cálculo del LDR [42].	70
Tabla 31. Costo de material.	73
Tabla 32. Costo componentes eléctricos.....	74
Tabla 33. Costo mano de obra directo.	74
Tabla 34. Costo mano de obra indirecto.	74
Tabla 35. Servicios básicos.....	75
Tabla 36. Resumen costos.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación eléctrica de una celda solar [22].....	8
Figura 2. Curva voltaje – corriente y voltaje – potencia de una celda solar [21].	14
Figura 3. Grafica P-V normalizada [21].	16
Figura 4. Alternativa de seguidor de engranajes [33].	19
Figura 5. Transmisión de potencia por cadena.	20
Figura 6. Transmisión de potencia por banda [25].	21
Figura 7. Representa la determinación de la selección de alternativas que se escogió para el panel fotovoltaico.....	22
Figura 8. Representa la evaluación Integral de Alternativas de Transmisión de Potencia para Paneles Fotovoltaicos.....	24
Figura 9. Representa la evaluación Operativa de Alternativas de Transmisión de Potencia.....	25
Figura 10. Representa la evaluación integral de materiales de transmisión de potencia.	27
Figura 11. Representa la evaluación técnica de alternativas de materia mediante suelda de la estructura.	30
Figura 12. Flujo grama del proceso para recolección de energía en el panel foto voltaico.	33
Figura 13. Seguidor solar con panel foto voltaico.	34
Figura 14. Elementos que contiene un seguidor solar.	35
Figura 15. Cálculo de juntas soldadas.....	44
Figura 16. Mallado de la estructura.	47
Figura 17. Mallado de caja de componentes.....	47
Figura 18. Análisis Von Mises del soporte base.....	48
Figura 19. Análisis de desplazamiento del soporte base.....	49
Figura 20. Análisis deformación del soporte base.	50
Figura 21. Análisis factor de seguridad del soporte base.....	51
Figura 22. Análisis de Von Mises de la caja de componentes.....	52
Figura 23. Análisis de desplazamiento de la caja de componentes.	53
Figura 24. Análisis deformación de la caja de componentes.....	54
Figura 25. Análisis factor de seguridad de la caja de componentes.	55
Figura 26. Análisis de Von Mises de la estructura.	56
Figura 27. Análisis desplazamiento de la estructura.....	57
Figura 28. Análisis deformación de la estructura.	58

Figura 29. Análisis factor seguridad de la estructura.....	59
Figura 30. Análisis Von Mises de la estructura.	60
Figura 31. Análisis desplazamiento de la estructura.....	61
Figura 32. Análisis deformación de la estructura.	62
Figura 33. Análisis factor de seguridad de la estructura.	63
Figura 34. Análisis de Von Mises del eje.	64
Figura 35. Análisis de desplazamiento del eje.....	65
Figura 36. Análisis de factor de seguridad del eje.	66
Figura 37. Esquema eléctrico seguidor solar.	67
Figura 38. Acople rígido fijado al eje del servomotor y a la transmisión de potencia. 68	
Figura 39. Representación del almacenamiento de energía solar mediante la batería durante el día.....	69
Figura 40. Relación entre Intensidad Luminosa, Voltaje Medido y Resistencia del LDR.	70
Figura 41. Diagrama de bloque para un seguidor solar mediante un PID.	71
Figura 42. Señal de estabilización en el sistema de lazo cerrado de un seguidor solar.	72

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Catálogo de acero AISI 1018.....	83
Anexo 2. Catálogo de acero laminado en frio	84
Anexo 3. Catálogo de controlador de carga.....	85
Anexo 4. Catálogo de electrodos para soldadura.....	87
Anexo 5. Catálogo de electrodos para Acero al carbono.....	88
Anexo 6. Catálogo de batería AGM para Sistemas Fotovoltaicos	89
Anexo 7. Especificaciones de rodamientos	90
Anexo 8. Planos del seguidor sol 1.....	91
Anexo 9. Planos del seguidor sol 2.....	92
Anexo 10. Planos del seguidor sol 3.....	93
Anexo 11. Planos del seguidor sol 4.....	94
Anexo 12. Planos del seguidor sol 5.....	95
Anexo 13. Planos del seguidor sol 6.....	96
Anexo 14. Planos del seguidor sol 7.....	97
Anexo 15. Planos del seguidor sol 8.....	98
Anexo 16. Planos del seguidor sol 9.....	99
Anexo 17. Planos del seguidor sol 10.....	100
Anexo 18. Planos del seguidor sol 11.....	101
Anexo 19. Planos del seguidor sol 12.....	102
Anexo 20. Planos del seguidor sol 13.....	103

RESUMEN

El proyecto de titulación busca desarrollar un sistema que seguidor solar portátil, diseñado para maximizar la operatividad de los paneles solares en áreas aisladas. Este sistema innovador utiliza control mecatrónico y software para ajustar dinámicamente la orientación del panel a lo largo del día, con el fin de maximizar la absorción de energía solar. La estructura del seguidor, diseñada para asegurar estabilidad y resistencia, incorpora dos grados de libertad que permiten movimientos precisos en dos direcciones clave el sistema de seguimiento está fundamentado en una eficaz transmisión de potencia a través de cadenas y dos ejes, complementada por servomotores que facilitan su movimiento, mediante los LDR para la captación de luz solar.

Se nota un incremento considerable en la recolección de energía en comparación con los paneles solares fijos, lo que demuestra la efectividad del diseño y la aplicación de la transmisión de potencia mediante cadenas. La seguridad y durabilidad del sistema están respaldadas por un factor de seguridad de 2.5 en cada componente estructural, garantizando estabilidad y durabilidad. Este proyecto no solo marca un progreso notable en la operabilidad de la recolección de energía solar en condiciones difíciles, también desempeña un rol crucial en la evolución de las energías renovables y en la disminución de gastos. Con esta propuesta se basa en la optimización del diseño y la efectividad en la recolección de energía solar, destacando el éxito en la implementación de la transmisión de potencia mediante cadenas como un elemento clave para lograr estos objetivos.

Palabras claves. Servomotor motor, LDR, transmisión de potencia, energía renovable, sistema cadena.

ABSTRACT

The project focuses on developing a portable solar tracker to improve the performance of solar panels in remote environments. This innovative system employs mechatronic control systems and software to dynamically adjust the panel's position throughout the day, maximizing solar energy collection. The tracker structure, designed to ensure stability and strength, incorporates two degrees of freedom that allow precise movements in two key directions. The tracking system is based on efficient power transmission through two-axis chains, complemented by servomotors that facilitate its movement, mediating the LDRs for sunlight collection.

The design and implementation of string power transmission have resulted in a significant increase in energy harvesting compared to static solar panels, demonstrating the system's efficiency. The safety and durability of the system are ensured by a safety factor of 2.5 in each structural component, providing stability and long-term reliability. This project represents a significant advancement in solar energy harvesting efficiency, particularly in challenging environments, and contributes to promoting renewable energy and cost reduction. The proposal focuses on enhancing the design and efficiency of solar energy harvesting, particularly emphasizing the successful implementation of power transmission as a critical factor in achieving these objectives.

Keywords. Servo motor, LDR, power transmission, renewable energy, string system.

Capítulo I

Antecedentes y generalidades

1.1. Introducción

El aumento de demanda en energía ha impulsado la integración de nuevas tecnologías de generación, buscando soluciones que aseguren un suministro energético confiable y eficiente. Los sistemas de generación distribuida, como los parques eólicos y solares, se destacan como alternativas viables para aliviar la carga de las redes de transporte de electricidad, mejorando la operación técnica y económica de los sistemas eléctricos. Sin embargo, estos sistemas también presentan desafíos, como la generación de armónicos y fluctuaciones que afectan a la calidad de la energía suministrada. En respuesta a estos desafíos, se han desarrollado técnicas como el uso de filtros activos de potencia (APF) para mejorar la calidad energética en sistemas eléctricos [1].

El propósito de este proyecto académico es desarrollar y simular un proceso de seguidor solar diseñado con el fin de mejora de eficiencia en paneles solares portátiles. Este sistema mantiene la posición ajustada de forma continua del panel para seguir el trayecto del sol a lo largo del día, lo que aumenta la captura de energía solar, y, por consiguiente, mejora la productividad del proceso fotovoltaico. Incorporar seguidores solares en sistemas portátiles marca un progreso notable en la optimización de la energía solar, siendo especialmente relevante para aplicaciones móviles y en áreas remotas donde es fundamental maximizar el aprovechamiento de los recursos energéticos. El diseño de este seguidor solar incluirá dos servomotores para movimientos verticales y horizontales, sensores LDR para la detección de la luz y transmisión de potencia por cadena, todo ello modelado y simulado utilizando SolidWorks y análisis de métodos finitos [2].

Es fundamental para el desarrollo de controladores que aseguren la estabilidad y eficiencia del seguidor solar. Esta investigación se apoya en estudios previos sobre el uso de algoritmos avanzados y estrategias de control para sistemas de energía, aplicándolos al diseño del seguidor solar. A través de simulaciones avanzadas, se evaluará virtualmente la eficacia del seguidor en deferentes condiciones ambientales antes de su implementación física. La meta principal es desarrollar un seguidor solar que sea altamente eficiente, teniendo en cuenta factores como la precisión del seguimiento, la durabilidad del dispositivo y la simplicidad en su implementación, que no solo mejore la efectividad de los paneles solares portátiles, sino que también contribuya a la estabilidad y calidad del suministro energético en diversas aplicaciones [3].

Actualmente, los paneles solares se han vuelto cada vez son más comunes en nuestra vida diaria, siendo una gran ayuda económica al ofrecer una alternativa limpia y eficiente a la electricidad en hogares. Esta creciente adopción ha llevado a una expansión considerable en su uso, marcando un hito en la recolección de información de mecanismo con recursos de energía sostenible. Este proyecto se centra en explorar y mejorar este fenómeno en constante evolución, la meta principal se centra en la desarrollo y diseño del mecanismo del seguidor solar detallado que optimice la efectividad de los paneles solares portátiles. En esta investigación, se abordarán aspectos clave del diseño del seguidor solar, la selección de materiales y la mejora de la eficiencia, para potenciar la utilidad y versatilidad de los paneles solares en distintos entornos y aplicaciones. La investigación aspira a contribuir a la literatura existente sobre tecnologías solares portátiles, proporcionando un enfoque novedoso y eficiente adoptable en varias aplicaciones. La creación del diseño se llevará a cabo utilizando SolidWorks, complementado con un análisis de métodos finitos mediante un software más avanzado y preciso para evaluar las reacciones, fuerzas y análisis necesarios [4], [5], [6].

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar y simular un seguidor solar para mejorar el rendimiento de paneles solares portátiles.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar las limitaciones actuales de los paneles solares mediante investigación bibliográfica para obtener parámetros de diseño del seguidor.
- Diseñar los elementos mecatrónicos del seguidor mediante cálculos y/o simulación con software de ingeniería para que este puede ser portátil y sea fácil su manipulación.
- Realizar pruebas de funcionamiento mediante simulación para su futura implementación.

1.3. Hipótesis del proyecto o la investigación.

El proyecto de titulación centrado en un sistema de seguidor solar para aumento de operatividad de los paneles solares portátiles, facilitará una mayor captación de radiación solar en un tiempo reducido en comparación con un panel solar estático, lo que permitirá cargar las baterías de manera más eficiente, su diseño al ser portátil este se lo podrá llevar a cualquier lugar sin ningún problema ya que se acomodará ah cualquier lugar.

1.4. Antecedentes de la investigación.

Se han realizado investigaciones previas en el campo de los sistemas de seguidor solar, así elevar la recolección de energía solar, destacando la importancia de la alineación precisa de los paneles mediante la referencia al sol. Además, se han explorado diversos métodos y tecnologías empleadas en seguidores solares existentes, desde aquellos basados en sensores hasta sistemas más avanzados que incorporan algoritmos de control y tecnologías de comunicación. Estos antecedentes destacan la importancia de la exactitud en el seguidor solar para mejorar la efectividad de los paneles solares, particularmente en aplicaciones portátiles donde la movilidad y el rendimiento máximo son esenciales. El análisis de estos estudios proporciona un fundamento firme del modelado y la fabricación del sistema de seguimiento solar de alta precisión propuesto, brindando perspectivas valiosas sobre enfoques, desafíos y soluciones en el campo, así como identificando áreas específicas donde se puede aportar innovación y mejoras [7], [8].

1.5. Alcance del proyecto o la investigación.

La intención del proyecto de titulación es aumentar la eficacia de los paneles solares portátiles mediante elaboración y modelado de un seguidor solar de alta precisión. El alcance del proyecto incluye el desarrollo integral del seguidor solar, abarca elementos mecánicos, eléctricos y de control, para optimizar la recolección de radiación solar. Se implementará una simulación avanzada para evaluar virtualmente el provecho del seguidor en diferentes estados ambientales antes de la implementación física. Además, se garantizará una integración eficiente entre el seguidor y los paneles fotovoltaicos, asegurando una sinergia óptima. Se realizarán pruebas exhaustivas en condiciones reales para ajustar y validar el diseño, se realizará un análisis económico exhaustivo para evaluar la viabilidad y la viabilidad económica del sistema. Al final del proyecto, se espera contar con un diseño de seguidor solar completo y listo para implementar, respaldado por simulaciones validadas y pruebas en condiciones reales, lo que mejorará la efectividad en la producción de energía. Este enfoque integral asegura resultados tangibles y aplicables, proporcionando beneficios significativos en el ámbito de la producción de radiación solar para aplicaciones móviles [9].

1.6. Comprobación de resultados.

Este proyecto es fundamental al definir el propósito y la importancia de la iniciativa en el contexto de la demanda en aumento de soluciones energéticas sostenibles y portátiles. La

relevancia de la investigación se refleja en su capacidad para superar las limitaciones de los paneles solares convencionales mediante el funcionamiento de un sistema de seguimiento solar de alta precisión, diseñado para maximizar la recopilación de energía solar en empleo portátiles.

En un contexto donde la movilidad y el acceso a fuentes de energía renovable está adquiriendo una importancia creciente, hacer más eficiente los paneles solares portátiles resulta fundamental. Este proyecto se presenta como una solución innovadora que aumenta la generación de energía solar en dispositivos portátiles, ofreciendo un enfoque tecnológico avanzado y sostenible.

Capítulo II

Marco teórico

2.1. Radiación solar en Quito Ecuador.

Ecuador se posiciona como un candidato destacado para el desarrollo de la energía solar, A causa de su localización geográfica favorable y a sus excelentes recursos solares. Con una disponibilidad de recursos un 40% superior a la media regional, basada en una insolación global promedio de 4.575 kilovatios-hora por metro cuadrado al día, el país presenta un considerable potencial aún no aprovechado en el sector de la radiación solar [10]. En el ámbito de la generación distribuida, se distinguen modalidades como el autoabastecimiento para consumidores regulados de electricidad hasta 1 megavatio (MW) y la participación de empresas autorizadas que pueden generar hasta 10 MW. Un ejemplo notable es el sistema fotovoltaico aislado diseñado por la Empresa Eléctrica Quito. La situación geográfica de Ecuador garantiza un recurso solar excepcional con una irradiación media diaria superior a 4 kWh/m². En la ciudad de Quito, se utilizan los valores máximos diarios de radiación solar total, evidenciando la fluctuación de estos valores a lo largo del tiempo [11].

2.2. Propiedades de la radiación solar.

La energía solar, originada por la acción de unión del núcleo del Sol, se propagan por el espacio como ondas electromagnéticas. y juega un papel fundamental en la dinámica atmosférica y el clima terrestre. Es clave en el contexto de generación eléctrica, el diseño de sistemas de calefacción., la planificación arquitectónica, el seguimiento agrícola y el bienestar humano. La energía solar atraviesa la atmósfera antes de alcanzar la superficie terrestre, donde su intensidad disminuye debido a fenómenos de dispersión, reflexión y absorción, antes de ser reflejada o absorbida por la superficie del planeta. La cantidad de energía emitida a una longitud [12].

Para una temperatura de superficie solar de 5800 °K, la longitud de onda máxima de la emisión solar es aproximadamente 0.5 μm, ubicándose en la parte visible del espectro. Utilizando la Ley de Planck, se adquiere la Ley de Stefan-Boltzmann, que permite calcular la energía total irradiada por el Sol [12].

Donde σ afirma a Stefan-Boltzmann, para la temperatura solar de 5800 K, la energía total irradiada es aproximadamente 64 millones de W/m², mientras que la Tierra recibe solo 1367 W/m² (conocida como constante solar). Al llegar a la Tierra, la mayor energía solar es recibida

por gases atmosféricos que son el oxígeno, el ozono y el vapor de agua, mientras que a lo largo de ondas inferiores a $0.2 \mu\text{m}$ son atraídas en su totalidad [12].

2.3. Funcionamiento de los paneles fotovoltaicos.

2.3.1. Dirección de rayos solares.

A pesar de que se reconoce que el Sol es el centro estático del sistema planetario, desde la perspectiva de un observador terrestre, el Sol se mueve continuamente debido a la rotación y traslación de la Tierra, lo que provoca cambios en su posición a lo largo del tiempo. Estos desplazamientos afectan el ángulo con incidencia de luminosidad que impacta en la tierra. Para obtener una ubicación precisa del Sol en el cielo, se aplican distintas fórmulas astronómicas que toman en consideración la ubicación del observador, el día del año y la hora específica. Estas fórmulas son fundamentales para comprender y calcular la ubicación exacta del Sol en el cielo [13].

2.4. Definición de un seguidor solar.

Es un aparato electromecánico creado para ajustar de forma automática y establece la posición precisa de los paneles solares, orientándolos hacia el punto más óptimo en relación con el Sol durante todo el día. Su objetivo es mejorar la recolección de luminosidad directa, aumentando así la capacidad en la transformación de radiación solar en electricidad. Hay dos tipos principales de seguidor solar: de un eje y de dos ejes. El tipo de un eje se mueve en una sola dirección, ya sea de este a oeste o de norte a sur, siguiendo el movimiento diario o estacional del Sol, respectivamente. El segundo permite movimientos en ambas direcciones, logrando un seguimiento más exacto del sol durante todo el día y todas las estaciones [14].

Estos dispositivos son fundamentales en instalaciones solares así renovar la capacidad de generación de electricidad, asegurando que los paneles estén constantemente orientados de la manera más favorable, aprovechando al máximo la radiación solar incidente. Un seguidor solar está compuesto por una sección fija y una móvil, y su área de captación debe mantenerse perpendicular a los rayos solares. Su movimiento está inspirado en el recorrido del girasol y debe controlar dos movimientos: el recorrido diario del sol y su cambio estacional. Estos seguidores solares, conectados a sistemas de captadores solares, se utilizan para posicionar los sistemas de captadores solares de manera que permanezcan cerca de líneas verticales paralelas de luz solar. Esto convierte la energía captada en calor o electricidad, siendo aplicable en hogares, complejos urbanos o industrias [15], [16].

2.5. Beneficio del seguidor solar de doble eje.

Un seguidor solar es una estructura que sigue el movimiento del sol, pudiendo girar sobre uno o dos ejes. Los rastreadores solares de doble eje permiten un seguimiento más preciso, mejorando el rendimiento en un 34% en comparación con paneles fijos. En sistemas fotovoltaicos, considerando el rendimiento total del dispositivo, el aumento puede alcanzar el 40%. Aunque la mayoría de instalaciones son estacionarias, los seguidores solares, especialmente aquellos que no consumen energía adicional ni combustibles fósiles, presentan beneficios significativos, como los ofrecidos por un seguidor hidráulico de energía solar [17]. La eficiencia energética es crucial debido al creciente interés en la energía solar frente a la escasez de recursos energéticos. Se destaca la importancia Para estimular la adopción de energías renovables, poniendo un énfasis particular en la energía solar, ya sea fotovoltaica o térmica, a través del uso de paneles solares. Estos dispositivos, compuestos por materiales como silicio policristalino, cobre y aluminio, tienen aplicaciones en la calefacción de agua en entornos domésticos e industriales. Los paneles solares térmicos, ya sea en circuito abierto o cerrado, son una opción sostenible con bajo impacto ambiental, destacando su eficiencia y capacidad para utilizar la energía solar de forma sostenible. Un factor crucial para optimizar la creación de energía mediante sistemas fotovoltaicos, es el uso de un seguidor solar en el panel, así como el tipo específico de seguidor que se emplee. El propósito del sistema del seguidor solar es maximizar la superficie que recibe radiación solar, mejorando así la eficiencia del panel [17], [18].

2.6. Radiación solar sobre mecanismos fotovoltaicos fijos y en movimiento.

En los colectores solares fijos, es crucial que el ángulo de desviación del área del colector sea el adecuado Para lograr la máxima compresión de radiación solar, es crucial considerar la inclusión de un seguidor solar en el panel y el tipo de mecanismo de seguimiento que se utilice y garantizar una resistencia eficiente a la energía solar. Los módulos y paneles solares están expuestos a factores atmosféricos, cuyo efecto puede variar según si el sistema es híbrido, Independiente o integrado a la red eléctrica. En esta situación los sistemas integrados a la red, se busca establecer las formas de utilización y consumo. En todos los casos, la eficiencia del sistema está estrechamente relacionada con factores económicos [19].

2.7. Componentes para los sistemas fotovoltaicos.

2.7.1. Panel solar.

La tecnología fotovoltaica convierte la radiación solar en electricidad a través de paneles hechos de materiales semiconductores de silicio. La corriente continua produce a estos paneles las transforma en corriente alterna usando un inversor, permitiendo su utilización inmediata, su almacenamiento en baterías para el uso durante la noche, o su envío a la red eléctrica. La viabilidad de implementar la tecnología fotovoltaica a gran escala en la segunda década del siglo XXI dependerá de una continua disminución en los costos de las células solares, lo que podría resultar en que una porción significativa de la electricidad consumida en regiones soleadas provenga de esta fuente [20].

Una celda solar se fabrica a partir de una oblea delgada de silicio, creada mediante la unión de dos tipos de semiconductores, denominados p y n. Esta unión forma una estructura p-n que, mediante el efecto fotoeléctrico, convierte la radiación solar en energía eléctrica de corriente directa. En términos de circuito eléctrico, una celda solar se representa mediante una fuente de corriente generada por la radiación solar, un diodo, una resistencia en paralelo y una resistencia en serie que simula la resistencia interna del material al flujo de corriente. Este circuito eléctrico equivalente se ilustra en la Figura 1 [21], [22].

El modelo matemático de la celda solar se deriva de su representación eléctrica y está principalmente determinado por dos factores: la radiación solar y la temperatura de la celda. La radiación solar afecta la cantidad de corriente generada, mientras que la temperatura influye en el voltaje y la eficiencia general de la celda. Estos factores se incorporan en las ecuaciones que describen el comportamiento de la celda, permitiendo predecir su rendimiento bajo diversas condiciones ambientales.

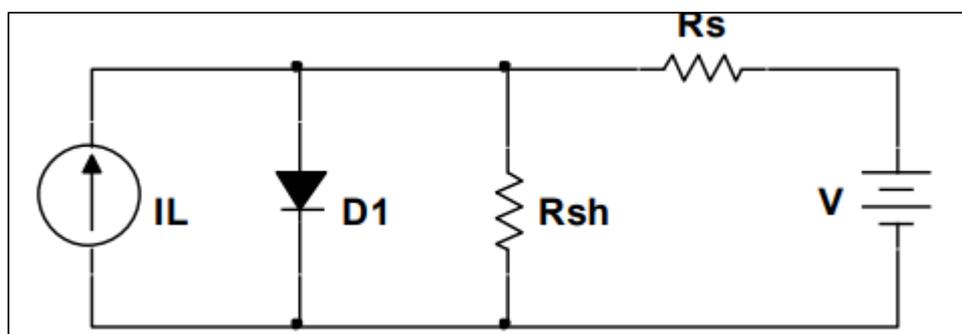


Figura 1. Representación eléctrica de una celda solar [22].

2.7.2. Batería.

En un sistema solar, la parte encargada del almacenamiento de energía está formada por baterías. El controlador de carga evita que las baterías se sobrecarguen o descarguen completamente, optimizando la eficiencia del panel solar al encontrar el punto óptimo. La fotocélula determina el método de carga según el tipo de batería. Las baterías almacenan energía cuando no se necesita, ya que la disponibilidad de energía fotovoltaica rara vez coincide con la demanda. Aunque las baterías son una parte significativa de la inversión, su vida útil puede variar, algunas durando más de 20 años, mientras que otras pueden tener una duración más limitada [23].

2.7.2.1. Las características de la batería son las siguientes.

- **Máxima profundidad de descarga:** El límite máximo de descarga permitido para la batería. Esto ayuda a proteger la batería durante un período determinado antes de que el regulador la desconecte [23].
- **Días de autonomía:** Se refiere al número de días consecutivos de funcionamiento autónomo sin luz solar. Un sistema de almacenamiento puede satisfacer el consumo sin sobrepasar el nivel máximo al que se puede descargar la batería [23].

Las baterías tienen la capacidad de guardar la electricidad excedente producida durante el día se guarda para utilizarse en la noche o en momentos con poca radiación solar. Este almacenamiento facilita el uso de energía solar en el hogar y disminuye la dependencia de la red eléctrica y proporcionando respaldo en caso de apagones. Una vez que se han elegido los paneles solares adecuados, es crucial seleccionar un sistema de almacenamiento de energía (acumuladores) que corresponda a la producción energética de los paneles. Para esto, se utiliza la medida Ah (amperios-hora), que determina la capacidad de la batería. Se empleará una batería sellada AGM (Absorbent Glass Mat) específica para sistemas fotovoltaicos [23].

2.7.3. Programa de control.

La creación e implementación de un método de seguidor solar de alta precisión para optimizar el rendimiento de los paneles solares portátiles constituye un reto moderno. El IDE (Integrated Development Environment) Arduino es una herramienta esencial en este proceso, ofreciendo una programación intuitiva y fácil, junto con la compatibilidad con el Arduino Uno. Este entorno simplifica la implementación del código para controlar los motores y sensores del seguidor solar, lo que garantiza un seguimiento preciso del sol. Además, el IDE facilita la depuración y documentación del código. Su integración con el Arduino Uno no solo simplifica el desarrollo de software, sino que también mejora la eficacia de los paneles solares. Con su

origen en el proyecto Wiring, el IDE Arduino proporciona un kit integral de herramientas para el desarrollo de proyectos con Arduino, siendo una alternativa sólida para la creación y construcción de sistemas de seguimiento solar efectivos [24], [25].

El IDE de Arduino, es una plataforma accesible y flexible que facilita la programación en lenguajes como C/C++, siguiendo reglas específicas para la organización del código. Además, incorpora una biblioteca de software denominada "Wiring" del proyecto Wiring, que proporciona una variedad de procedimientos frecuentes para la entrada y salida de datos. Con un editor de código intuitivo y herramientas simplificadas para la compilación y carga de programas, el IDE Arduino se convierte en una opción ideal para desarrollar proyectos tecnológicos de manera eficiente y efectiva, como el diseño y la construcción de seguidores solares para optimizar la capacidad de paneles solares portátiles [24].

2.7.4. Sensores.

La implementación del seguidor solar utiliza un sensor LDR (Light-Dependent Resistor) para captar la luz solar. Estos sensores LDR están situados de manera estratégica en el rastreador para medir la intensidad de la luz ambiental. A medida que la posición del Sol cambia, la intensidad de la luz y, en consecuencia, la resistencia del LDR también fluctúan. Estos cambios en la resistencia se convierten en señales eléctricas que ajustan la posición del seguidor solar, garantizando que siempre esté orientado de manera óptima hacia el sol. La retroalimentación en tiempo real del sensor LDR permite que el seguidor solar mantenga una alineación precisa con el sol, optimización de la capacidad en la recolección de energía solar a lo largo de todo el día [26].

2.7.5. Calibración LDR.

La calibración de un sensor LDR mediante Arduino es esencial para garantizar mediciones precisas y ajustes óptimos en un seguidor solar. Para llevar a cabo este proceso, se realiza una comparación entre las lecturas del LDR y los valores reales de intensidad lumínica en diferentes condiciones de iluminación. Con la ayuda de Arduino, se registra la salida analógica del LDR en respuesta a variaciones controladas de luz solar. Estos datos se utilizan para crear una relación lineal entre la lectura del sensor y la luminosidad real. A través de la programación en Arduino, se implementan algoritmos que permiten corregir cualquier desviación en las lecturas del LDR, logrando así una calibración precisa. Este proceso optimiza la capacidad del sensor para proporcionar lecturas fiables y se integra en el seguimiento solar, asegurando que las decisiones de ajuste de posición estén fundamentadas en mediciones confiables y adaptadas a las condiciones específicas del entorno [26].

2.7.6. Servomotores.

Los servomotores juegan un papel crucial en un proceso de seguidor solar para paneles solares, ya que impulsan el movimiento del eje a través de una cadena. Estos dispositivos electromecánicos ofrecen un control preciso y eficaz del posicionamiento de los paneles, optimizando la captación de luz solar. Gracias a su capacidad para girar en ángulos específicos, los servomotores permiten ajustar la colocación de los paneles en tiempo real. Su diseño compacto, alto torque y rápida respuesta los hacen ideales para sistemas de seguidor solar. La fusión de un sistema de cadena conectado al eje asegura la sincronización y el movimiento uniforme de la estructura que sostiene los paneles solares. Utilizando servomotores, se logra una respuesta precisa a las señales del sistema de control, permitiendo una alineación continua y exacta de los paneles con la posición del sol durante todo el día, maximizando así la capacidad en la captación de energía solar [27], [28].

2.7.7. Microcontrolador Arduino UNO R3.

El microcontrolador Arduino Uno R3, es una plataforma de hardware que está basada en código abierto, simplifica la integración de la electrónica en proyectos de diversas disciplinas mediante su entorno de desarrollo accesible, basado en un lenguaje similar al C. El Arduino Uno R3 ofrece mejoras notables, incluyendo el reemplazo del microcontrolador Atmega 8U2 por el 16U2, lo que resulta en velocidades de transferencia más rápidas y mayor capacidad de memoria. Además, la interfaz USB no solo simplifica la configuración, sino que también suministra la energía necesaria para la placa y algunos sensores básicos. La placa también incluye características adicionales, Como un puerto de entrada que alimenta, un conector ICSP y un botón de reinicio, los cuales amplían su versatilidad y simplifican su uso [24].

2.7.8. Rodamiento.

El rodamiento 6008, perteneciente al tipo de rodamientos de bolas rígidos de una sola fila, destaca por su diseño robusto y versátil, siendo una opción eficiente para aplicaciones industriales y mecánicas. Su capacidad para soportar cargas radiales y axiales en cualquier dirección, junto con su baja fricción, lo convierte en la opción perfecta para funcionar a altas velocidades de giro Este rodamiento minimiza el ruido y las vibraciones, asegurando un funcionamiento suave. Además, su facilidad de montaje y bajo mantenimiento lo convierte en una elección práctica y confiable para sistemas que buscan eficiencia a largo plazo con mínimos inconvenientes, el rodamiento 6008 destaca por su rendimiento técnico avanzado y su contribución a la eficiencia y confiabilidad en sistemas mecánicos [29].

2.7.9. Base giratoria.

Una base giratoria es un dispositivo diseñado para permitir la rotación de objetos alrededor de un punto central. Está compuesta por una plataforma sobre la cual se coloca el objeto a rotar y un sistema de rodamientos que facilita el movimiento suave alrededor de un eje central. Esta plataforma puede ser operada manualmente o mediante un motor, dependiendo de la aplicación específica [30].

2.7.10. Laminado en acero frío.

El acero tratado mediante un proceso de laminado en frío, realizado a temperatura ambiente, sufre una recristalización que forma y aumenta los granos sin cambiar de fase. Este proceso mejora la resistencia y dureza del acero, aunque disminuye su ductilidad. La principal ventaja del material es su capacidad para proporcionar tolerancias dimensionales exactas y acabados superficiales de alta calidad, en balance con el material laminado en caliente. Esto resulta en una mayor precisión en la fabricación de componentes estructurales, crucial para aplicaciones donde la integridad y la eficacia estructurales son esenciales. Además, su resistencia mejorada a la corrosión y la formación de incrustaciones prolonga significativamente la vida útil y durabilidad de las estructuras. Esta combinación de propiedades lo hace una opción prometedora, especialmente en sistemas como seguidores solares, donde la optimización mecánica y la resistencia a la corrosión son críticas. Investigaciones detalladas sobre su aplicación en proyectos de energías renovables y sostenibilidad buscan mejorar aún más su eficacia y longevidad, contribuyendo al avance del conocimiento en este campo [31].

2.7.11. Eficiencia incrementada del sistema de un seguidor solar.

El seguidor solar aumenta la producción de captación de energía en aproximadamente un 27.98% en comparación con un panel solar estático como se puede observar en la Tabla 1. Esto representa una mejora considerable en la eficiencia energética, especialmente útil en regiones con alta irradiación solar como en Quito, Ecuador.

Optimización de la Energía: El seguidor solar incrementa la captación de energía en un 2.93% en comparación con el sistema estático, evidenciando no solo una mayor producción de energía, sino también una mejora en la capacidad de transformación de radiación solar [32].

Eficiencia Comparativa: Mediante gráficas de potencia y energía que se mencionan muestran claramente que el sistema de seguimiento solar tiene una mayor capacidad para mantener una orientación óptima con respecto al sol durante el día, resultando en una mayor generación de energía, especialmente durante las horas centrales del día [32].

Tabla 1. Descripción de las ecuaciones para la eficiencia de un seguidor solar [32].

ECUACIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR.
Energía Generada por el Seguidor Solar	$E_{seguidor}$	Energía generada por el seguidor solar en comparación con el panel estático.	$E_{seguidor} = E_{estático} * (1 + 0.2798)$
Energía Generada por el Seguidor Solar	$E_{seguidor}$	Energía generada usando un panel estático de 5 kWh.	$E_{seguidor} = 5kWh * 1.2798 = 6.399kWh$
Optimización de la Energía Disponible	$Optimización_{seguidor}$	incremento porcentual en la optimización de energía con el seguidor solar.	$Optimización_{seguidor} = 100% + 2.93% = 102.93%$

2.8. Curva Característica IV-PV de una Celda Fotovoltaica

Los fundamentos de las células solares se representan a menudo mediante gráficos que muestran la corriente, la temperatura y la densidad de corriente. La Figura 2 muestra los detalles de estas curvas. Entre ellas, la corriente de cortocircuito (ISC) es la corriente dominante cuando cae un rayo. Por otro lado, los compuestos orgánicos volátiles (VOC) se refieren a los compuestos orgánicos volátiles en ausencia de compuestos orgánicos volátiles. El punto de máxima potencia (MPP) es importante porque determina la relación correcta de corriente a corriente para obtener la máxima potencia de salida de una célula solar. El flujo de corriente en esta etapa se denomina pulso de voltaje vertical (IMPP) y pulso de voltaje vertical (VMPP). La potencia máxima (PMPP) se calcula multiplicando IMPP por VMPP y es la potencia máxima que se puede descargar de la batería en condiciones óptimas. Estos parámetros son importantes para evaluar la eficiencia y la eficacia de las tecnologías en la conversión de energía solar en electricidad [21].

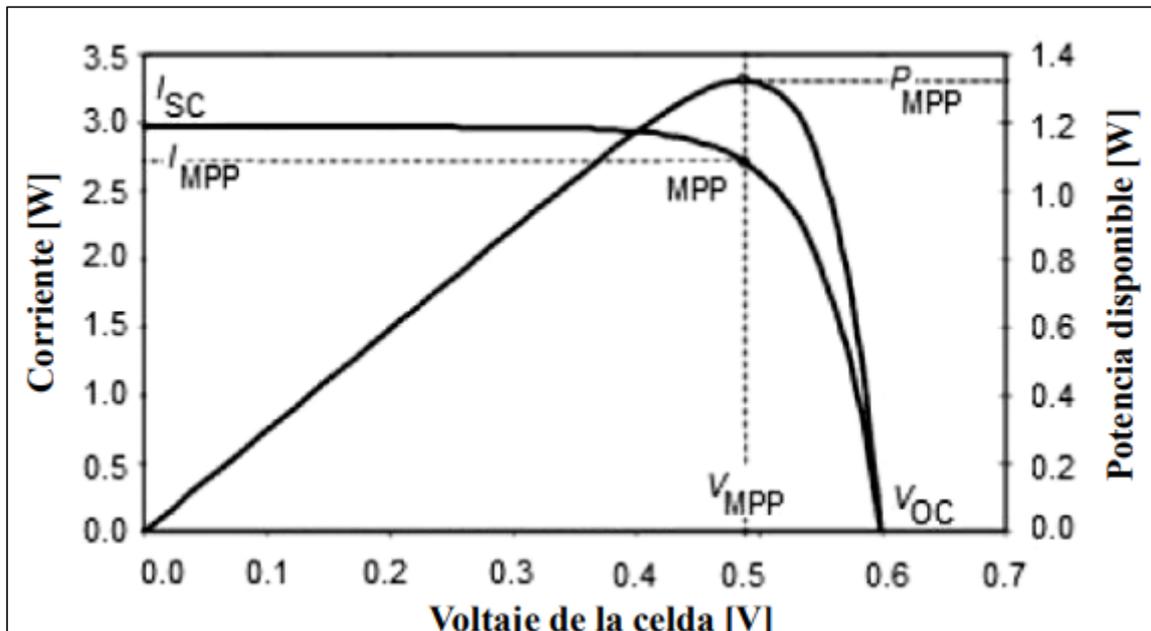


Figura 2. Curva voltaje – corriente y voltaje – potencia de una celda solar [21].

La Tabla 2 ilustra el circuito eléctrico equivalente de una celda fotovoltaica. En este circuito, la celda fotovoltaica se representa mediante una fuente de corriente, que simboliza la generación de electricidad a partir de la luz solar. La fuente de corriente refleja la capacidad de la celda para producir una corriente eléctrica proporcional a la intensidad de la irradiación solar recibida. Este modelo simplificado permite entender cómo la celda convierte la energía solar en energía eléctrica, facilitando el análisis de su comportamiento eléctrico y su rendimiento en diferentes condiciones de iluminación.

Tabla 2. Parámetros y Ecuaciones Características de una Celda Fotovoltaica [21].

Ecuación	Símbolo	Descripción	Valor
(1)	I_{CC}	Corriente generada por la radiación solar	
(2)	R_S	Pérdidas debidas a contactos y conexiones	
(3)	R_{Sh}	Corriente de fuga del diodo	
(4)	k	Constante de Boltzman	
(5)	T	Temperatura absoluta	
(6)	I_o	Corriente de saturación inversa del diodo	
(7)	q	Carga del electrón	
(8)	n	Factor de idealidad del diodo	
(9)	V_{pn}	Voltaje de la celda fotovoltaica	
(10)	I_{pv}	Corriente de la celda fotovoltaica	
(11)	I	Corriente total de la celda	$I_{pv} = I_{CC} - I_o \left(e^{\frac{q(V_{pn} + I_{pv}R_S)}{nkT}} - 1 \right) - \left(\frac{V_{pv} + I_{pv}R_S}{R_{Sh}} \right)$

2.9. Curva Potencia – Voltaje (P-V) normalizada.

La curva Potencia-Voltaje (P-V) normalizada de una celda fotovoltaica muestra cómo la potencia generada varía con el voltaje bajo diferentes niveles de irradiancia. A medida que la irradiancia aumenta, la potencia máxima también aumenta, desplazando el punto de máxima potencia (MPP) hacia la derecha y hacia arriba. Este MPP es único para cada celda solar y cambia conforme varía la irradiancia solar, como se muestra en la Figura 3. La importancia de esta gráfica radica en su capacidad para ayudar a diseñar sistemas de seguimiento del MPP (MPPT) que ajusten el voltaje de la celda (V_{pv}) para maximizar la energía generada en distintas condiciones ambientales, asegurando así la máxima eficiencia del sistema fotovoltaico [21].

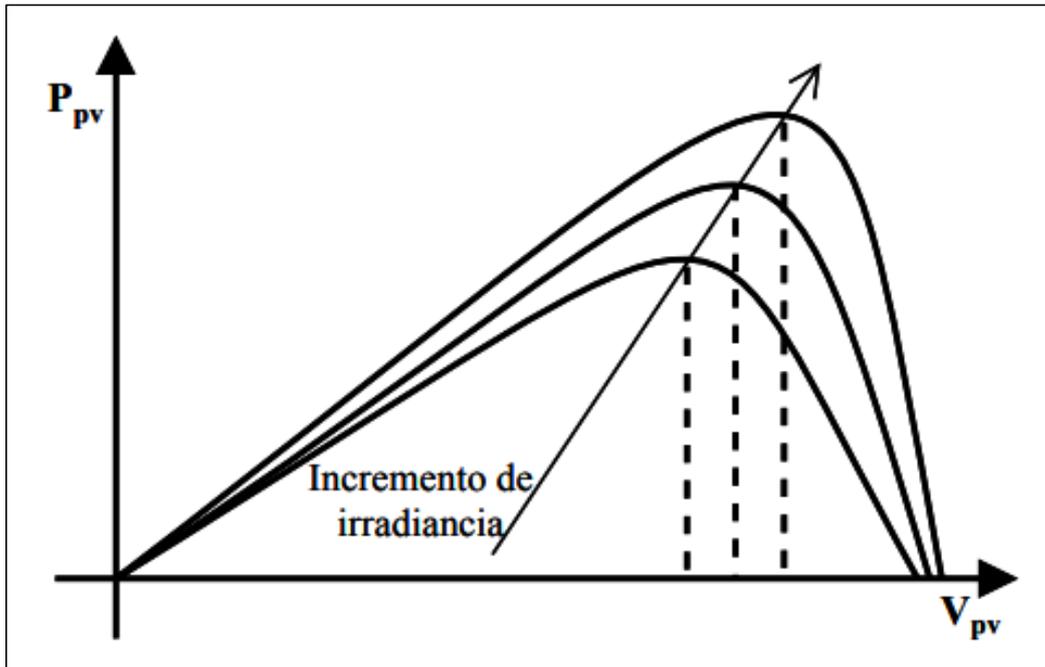


Figura 3. Grafica P-V normalizada [21].

Capítulo III

Metodología de la investigación

3.1. Comprobación de la hipótesis.

En la evaluación de la hipótesis y la resolución del problema de titulación, es necesario determinar si los resultados obtenidos apoyan la afirmación inicial y si la solución propuesta aborda adecuadamente el problema planteado.

La integración de un seguidor solar de precisión avanzada se destaca como una propuesta novedosa e innovadora de alta productividad para optimizar el rendimiento de los paneles solares portátiles. Es fundamental validar la teoría de que un seguidor solar puede elevar la productividad de la captación de energía solar mediante datos y resultados específicos obtenidos a lo largo del proyecto. Además, es crucial resaltar el carácter sostenible del proyecto, subrayando cómo el uso de energía solar, siendo renovable, ofrece un enfoque más ecológico y limpio.

La energía solar no solo transforma la radiación solar en electricidad mediante células fotovoltaicas, sino que ayuda a reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables. Además, ayuda a disminuir las emisiones de carbono y ofrece un efecto positivo en el medio ambiente al ser una opción más limpia y sostenible en comparación con los combustibles fósiles.

Este análisis debe demostrar cómo el diseño y construcción del seguidor solar no solo verifica la hipótesis inicial sobre el aumento de eficiencia, sino que también ofrece una solución sostenible y eficaz para aprovechar la energía solar de manera más efectiva en aplicaciones portátiles.

3.2. Herramientas utilizadas.

Los materiales y componentes necesarios para este proyecto se detallan en la Tabla 3. Esta incluye materiales estructurales, y componentes electrónicos esenciales. También se enumeran herramientas y equipos mecánicos necesarios para la fabricación y ensamblaje del sistema.

Tabla 3. Materiales y componentes.

N.-	Descripción	Cantidad	Unidades
1	Material.		
1.1	Acero laminado en frío	1	Mm
1.2	Acero AISI 1018	1	Pulgada
2	Componentes.		
2.1	Servomotor	2	Kg/cm
2.2	Panel solar	1	W
2.3	Control de carga	1	V
2.4	Batería	1	V
2.5	Foto resistores	4	Ohm
2.6	Arduino UNO R3	1	V
2.7	Cables	10	
2.8	Resistencias	4	Ohm
2.9	Adaptador USB	1	V
3	Mecánica		
3.1	SMAW	1	Kw/h
3.2	Cortadora	1	Kw/h
3.3	Torno CNC	1	Kw/h

3.3. Análisis de alternativas.

Para llevar a cabo el análisis de alternativas, se ha fundamentado en el principio de transmisión de potencia, asegurando que cada alternativa evaluada cumpla con los requisitos del proceso y su propósito específico de manera eficiente. Este enfoque permite explorar diversas opciones de manera exhaustiva, identificando las mejores prácticas y métodos adecuados según las especificaciones del proyecto. El objetivo es seleccionar la alternativa más adecuada para el seguidor solar, garantizando que se satisfagan plenamente las necesidades del proyecto. Al enfocarse en el principio de transmisión de potencia, se pretende optimizar el rendimiento y la eficiencia del sistema, lo que contribuirá al éxito general del proyecto de titulación.

3.4. Análisis de alternativas para el seguidor solar.

3.4.1. Alternativa 1. Transmisión por engranajes.

La transmisión de engranajes presentado en la Figura 4 es un sistema mecánico empleado para transferir movimiento y potencia entre dos ejes consiste en el uso de dos o más engranajes que se acoplan entre sí mediante dientes en forma de ruedas. Este tipo de transmisión se utiliza ampliamente en maquinaria industrial y vehículos debido a su alta eficiencia y su habilidad para transferir grandes cantidades de torque. Los engranajes pueden variar en tamaño y número de dientes, lo que posibilita ajustar la velocidad y la trayectoria de la rotación. Además, se

pueden emplear distintos tipos de engranajes, como los cilíndricos, cónicos, helicoidales y planetarios, de acuerdo a las demandas particulares de la aplicación [33].

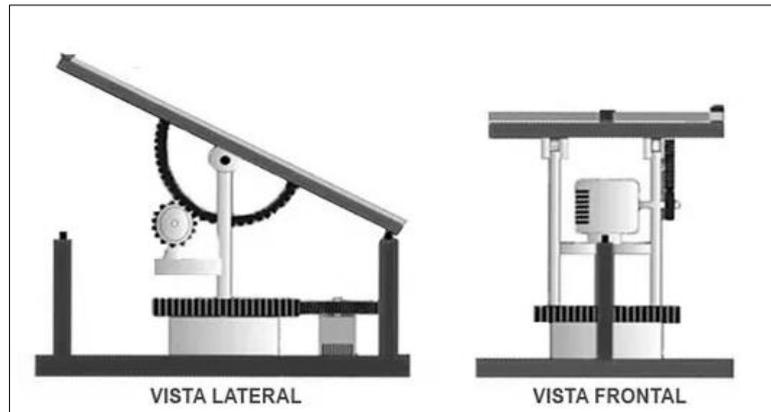


Figura 4. Alternativa de seguidor de engranajes [33].

3.4.1.1. Ventajas y desventajas de la transmisión mediante engranajes.

La transmisión de engranajes tiene varias ventajas, como su alta eficiencia de transmisión, resistencia a altas cargas y capacidad de transmitir grandes cantidades de torque. Además, los engranajes son duraderos y requieren un poco más de mantenimiento específico. Sin embargo, también presentan algunas desventajas. Uno de los inconvenientes es el ruido que pueden generar debido al contacto entre los dientes. Además, los engranajes deben estar adecuadamente lubricados para garantizar un funcionamiento suave y evitar el desgaste prematuro. También es importante mencionar que los engranajes tienen ciertas limitaciones en términos de velocidad y relación de transmisión, lo que puede requerir el uso de sistemas de engranajes adicionales para lograr las especificaciones deseadas.

3.4.2. Alternativa 2. Transmisión por cadena.

La transmisión por cadenas, ilustrada en la Figura 5, se describe como un sistema mecánico que utiliza una cadena de eslabones para transferir potencia entre dos o más componentes. La cadena se acopla a los piñones de los ejes, y a medida que estos ejes giran, la cadena se mueve, facilitando así la transferencia de fuerza. Este tipo de transmisión es común en la industria por su alta eficiencia y capacidad para manejar cargas pesadas. Su robustez y durabilidad la hacen adecuada para aplicaciones en condiciones exigentes.

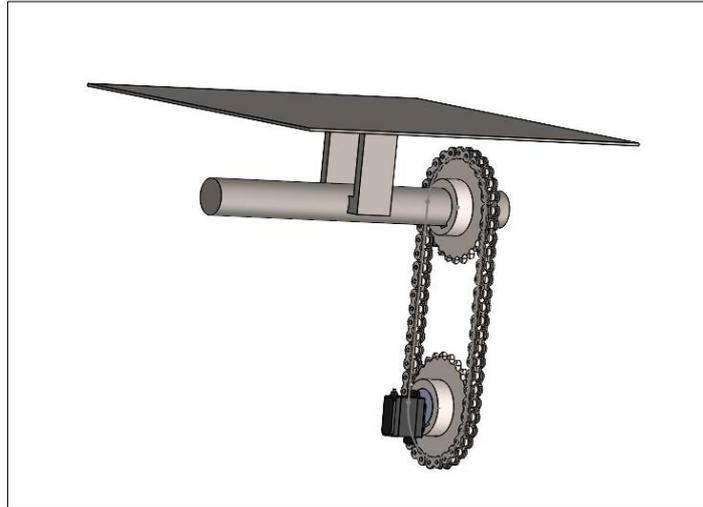


Figura 5. Transmisión de potencia por cadena.

3.4.2.1. Ventajas y desventajas de la transmisión mediante cadena.

Las cadenas ofrecen una solución resistente y duradera para la transmisión de potencia en los sistemas de seguidores solares. Sus ventajas incluyen resistencia mecánica, flexibilidad de diseño, transmisión eficaz de cargas pesadas, bajo mantenimiento y costes de producción relativamente bajos.

Sin embargo, es importante tener en cuenta las desventajas asociadas. Las cadenas experimentan desgaste y estiramiento con el tiempo, por lo que requieren ajustes y mantenimiento periódicos. Además, pueden generar ruido durante el funcionamiento, añadir peso al sistema y presentar un potencial de vibraciones, todo lo cual debe tenerse en cuenta a la hora de implantar un seguidor solar. La transmisión de energía mediante cadenas ofrece una solución resistente y eficaz para los seguidores solares, pero es esencial evaluar detenidamente estas ventajas e inconvenientes en el contexto específico del diseño y la aplicación del proyecto.

3.4.3. Alternativa 3. Transmisión por banda.

La transmisión de potencia por correa presentada en la Figura 6 se refiere al método de transferir energía mecánica entre dos puntos utilizando una correa flexible. Esta correa, normalmente hecha de materiales como caucho o compuestos, se enrolla alrededor de poleas o ruedas, y la energía se transmite a medida que la correa se mueve, permitiendo la transferencia de movimiento y fuerza entre las piezas conectadas. Este método se emplea en diversas aplicaciones, desde sistemas industriales hasta mecanismos de aparatos domésticos, proporcionando una forma eficaz y versátil de transmitir energía mecánica [25].

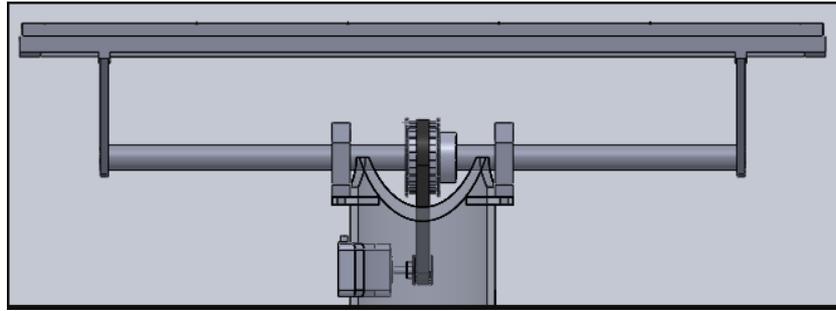


Figura 6. Transmisión de potencia por banda [25].

3.4.3.1. Ventajas y desventajas de la transmisión mediante banda

El uso de correas en la transmisión de potencia de los seguidores solares ofrece varias ventajas. Entre ellas, la reducción del desgaste y las vibraciones, lo que resulta en un funcionamiento más fluido y una menor necesidad de ajustes continuos. Además, las correas suelen producir menos ruido durante el funcionamiento, son más ligeras, lo que facilita su manejo, y requieren un mantenimiento relativamente bajo, al ser menos propensas a la corrosión.

Sin embargo, es importante tener en cuenta algunas desventajas asociadas a este sistema. Las correas pueden soportar menos carga que las cadenas, lo que puede restringir su uso en aplicaciones que requieren manejar cargas pesadas. Además, su durabilidad puede verse afectada en entornos extremos, y su eficacia depende de una alineación precisa para garantizar un funcionamiento óptimo.

3.5. Selección de la transmisión de potencia para el panel fotovoltaico.

El desarrollo del diseño y simulación del seguidor solar, se ha decidido adoptar la transmisión de potencia por cadena como la solución más adecuada para alcanzar los objetivos del proyecto. Esta elección se basa en un análisis comparativo exhaustivo de las alternativas disponibles, incluyendo la transmisión por engranajes y por banda. La transmisión por cadena se destaca por su alta eficiencia en la transferencia de potencia, lo cual es fundamental para asegurar el funcionamiento óptimo del seguidor solar en condiciones cambiantes. A diferencia de los engranajes que, aunque son muy eficientes y capaces de transmitir grandes cantidades de torque, presentan desventajas como el ruido generado por el contacto entre los dientes y la necesidad de una lubricación constante para evitar el desgaste prematuro, la transmisión por cadena ofrece una solución más robusta y adaptable. Las cadenas son reconocidas por su robustez mecánica y longevidad, siendo capaces de soportar cargas significativas y funcionar en condiciones desfavorables sin perder efectividad. Además, su flexibilidad de diseño permite ajustes más sencillos en el sistema sin requerir modificaciones complejas. Aunque es cierto que las cadenas pueden experimentar desgaste y estiramiento con el tiempo, y que su funcionamiento puede generar cierto nivel de ruido, estos factores se contrarrestan con sus

ventajas significativas en términos de resistencia y bajo mantenimiento. Por otro lado, la transmisión por banda, aunque es más ligera y produce menos ruido, presenta limitaciones en capacidad de carga y durabilidad, especialmente en entornos extremos. Por lo tanto, la transmisión de potencia por cadena no solo cumple con los requisitos de eficiencia y durabilidad, sino que también se adapta mejor a las necesidades específicas del seguidor solar, asegurando un rendimiento fiable y consistente a lo largo del tiempo. Esta elección estratégica optimiza el diseño del sistema, garantizando que el seguidor solar funcione de manera efectiva y eficiente bajo diversas condiciones operativas. El análisis comparativo exhaustivo ha demostrado que la transmisión por cadena es la opción más eficiente para el seguidor solar. En la Tabla 4, que evalúa criterios generales como efectividad, costos y mantenimiento, la transmisión por cadena obtuvo la puntuación más alta (2.5), superando a las alternativas de engranajes y banda. En la Tabla 5, que considera aspectos operacionales como uso y seguridad, también lideró con una puntuación de 3.0. Estos resultados destacan la capacidad de la transmisión por cadena para ofrecer un rendimiento confiable y adaptarse bien a las necesidades operativas del proyecto. La combinación de estos datos confirma que la transmisión por cadena es la opción más adecuada, como se ilustra en la Figura 7, ofreciendo una solución robusta y eficiente para el seguidor solar.

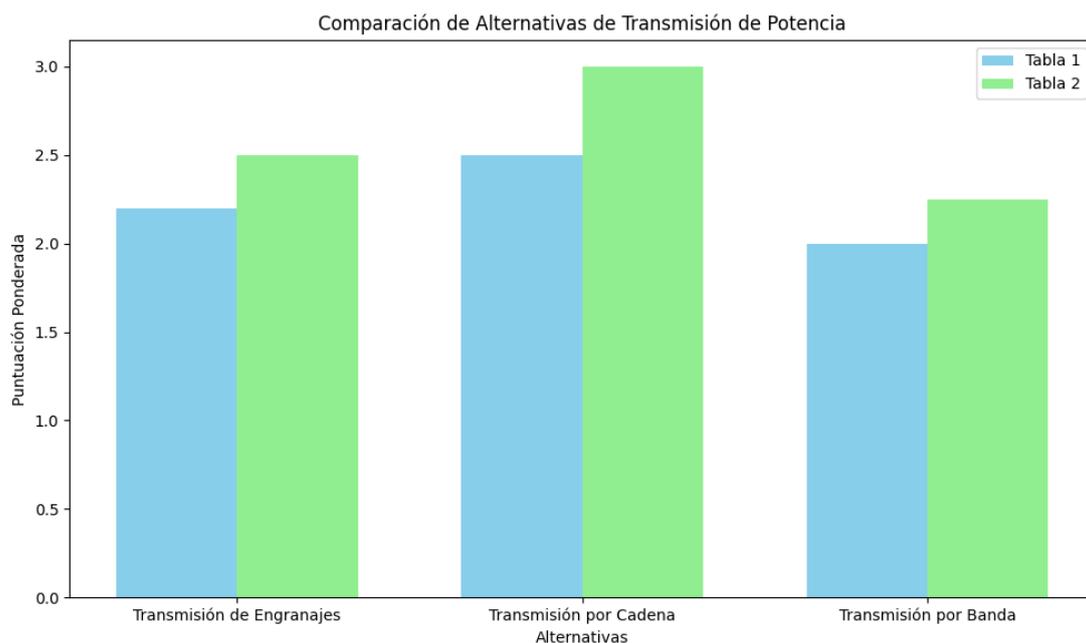


Figura 7. Representa la determinación de la selección de alternativas que se escogió para el panel fotovoltaico.

3.6. Cuadros de selección de alternativas para la máquina

En este análisis, se evalúa diversas alternativas basándonos en criterios específicos. Cada opción será evaluada en función de criterios como el mantenimiento requerido, el tiempo necesario para su implementación y el material que se empleara. Estos aspectos serán ponderados mediante los siguientes criterios, lo que permitirá una evaluación precisa y detallada de cada opción. Como se presenta en la tabla 4.

	Alto=3	Mediano=2	Bajo=1	Nulo=0		
Tabla 4. Análisis de alternativas de acuerdo a la viabilidad de transmisión de potencia.						
PONDERACIÓN (%)	25%	30%	15%	10%	20%	SUMA 100%
ALTERNATIVAS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA	Peso y forma	Efectividad/ Desempeño	Costos.	Sostenibilidad.	Mantenimiento	Puntaje de la alternativa.
TRANSMISIÓN DE ENGRANAJES	2	3	2	1	3	2.2
TRANSMISIÓN POR CADENA.	2	3	3	2	3	2.5
TRANSMISIÓN POR BANDA	2	2	1	3	2	2

En la Figura 8 se muestra el análisis realizado para determinar la alternativa más idónea y efectiva en la transmisión de potencia, utilizando un método de ponderación. Este análisis nos permitió evaluar diversas opciones y seleccionar la que mejor se adapta a nuestras necesidades específicas, asegurando una transmisión de potencia óptima y eficiente para nuestro proyecto.

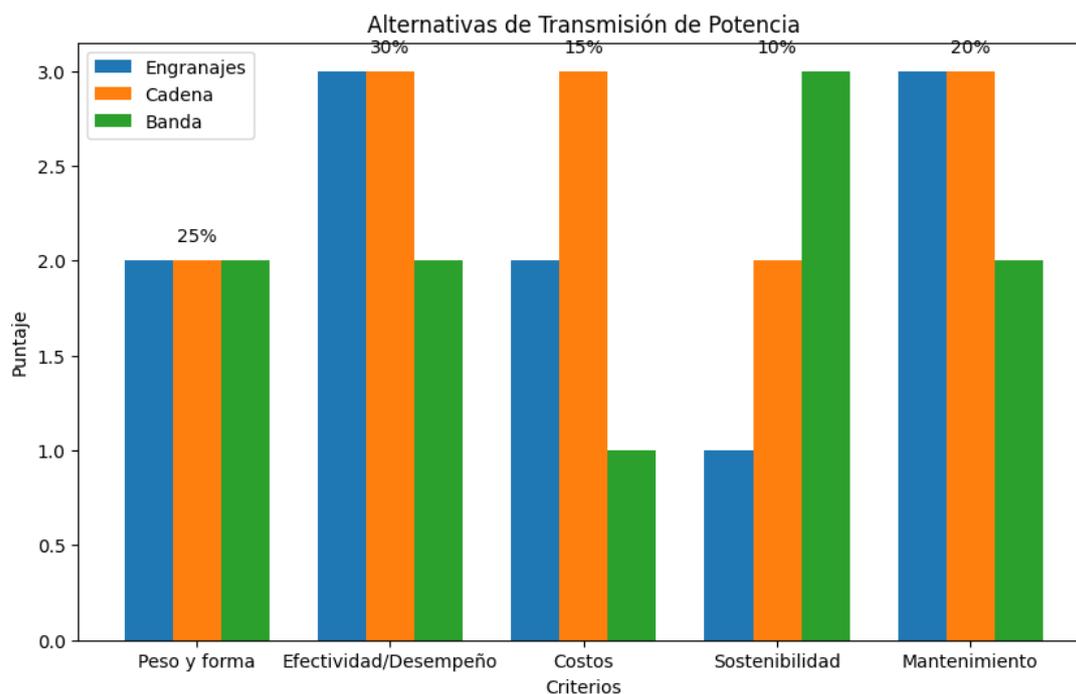


Figura 8. Representa la evaluación Integral de Alternativas de Transmisión de Potencia para Paneles Fotovoltaicos.

En la siguiente Tabla 5, se presentan varias alternativas que serán evaluadas en términos de uso, seguridad, control y operabilidad. La evaluación se centrará en la comodidad, eficiencia y características de seguridad de cada alternativa para el operario. La idea es aplicar los mismos estándares y principios a cada criterio, asegurando una comparación justa. Este enfoque sistemático busca identificar la opción más adecuada al considerar integralmente la experiencia del operario y la eficiencia operativa.

Tabla 5. Operacionalización de las variables de acuerdo a las alternativas.

PONDERACIÓN (%)	25%	30%	15%	10%	SUMA 100%
ALTERNATIVAS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA	Uso	Control.	Operabilidad.	Seguridad.	Puntaje de la alternativa.
TRANSMISIÓN DE ENGRANAJES	3	3	2	2	2.5
TRANSMISIÓN POR CADENA.	3	3	3	3	3
TRANSMISIÓN POR BANDA	2	3	2	2	2.25

En la Figura 9 se muestra el análisis ponderado de las alternativas de transmisión de potencia según su capacidad de manejo. Este análisis nos permitió seleccionar la opción más adecuada y eficiente para nuestro proyecto.

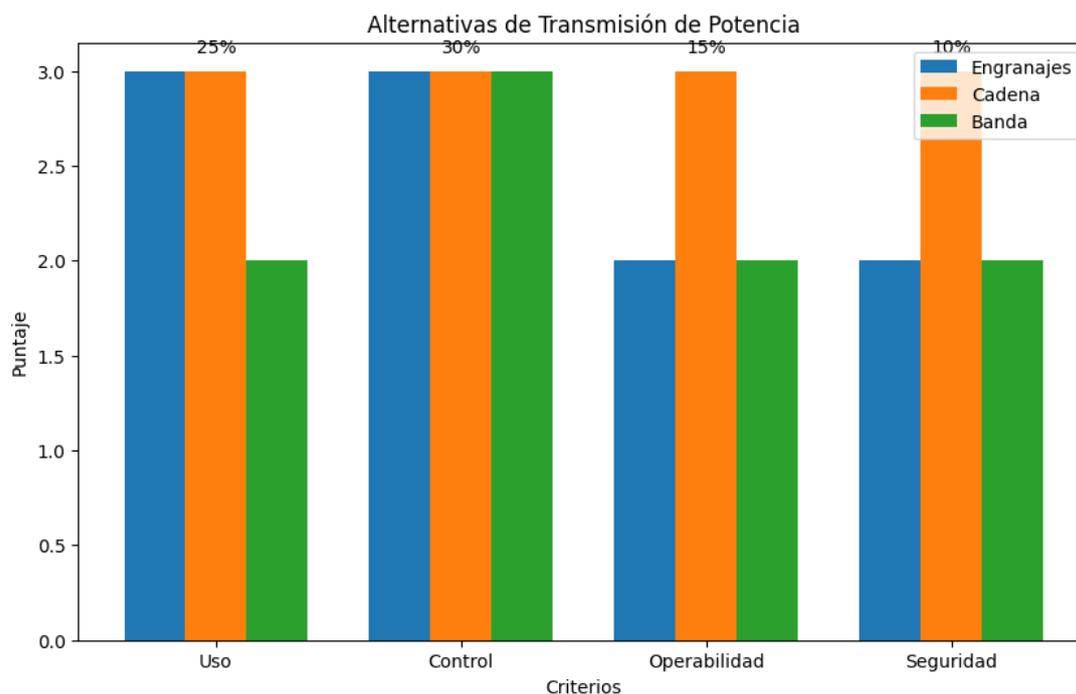


Figura 9. Representa la evaluación Operativa de Alternativas de Transmisión de Potencia.

Con los resultados adquiridos de distintas ponderaciones aplicadas, puede deducirse que la opción más fiable para la construcción del seguidor solar reside en la implantación de un sistema de transmisión por cadena. Este enfoque resulta ser más eficaz en comparación con las alternativas evaluadas.

3.7. Selección de material.

En el marco de este proyecto de titulación, la atención se centra específicamente en la elección del material para construir el seguidor solar. Elegir el material adecuado es un componente crítico del diseño como se observa en la Tabla 6, dado que afecta directamente aspectos como la resistencia estructural, la durabilidad y la eficacia operativa del sistema.

Los productos laminados en caliente poseen cualidades excepcionales, como una excelente maleabilidad, soldabilidad y tenacidad, entre otras. El acero laminado en frío proporciona mayor resistencia y dureza en comparación con el acero laminado en caliente, pero a expensas de su plasticidad y tenacidad. Se realiza una evaluación comparativa entre las características del acero laminado en frío y el laminado en caliente.

Tabla 6. Propiedades mecánicas de los materiales para la estructura [31].

Propiedades	Acero laminado frío	Acero laminado caliente
Resistencia a la tracción	585 [mpa]	460 [mpa]
Limite elástico	480 [mpa]	310 [mpa]
Dureza brinell	167	137
Reducción del área	55	58

3.8. Barra de acero AISI 1018.

El acero AISI 1018 tiene bajo contenido de carbono, apreciado por su versatilidad y facilidad tanto en maquinado como en soldadura. Este acero no aleado se emplea principalmente en la producción de piezas pequeñas que requieren resistencia al desgaste, sin que la dureza del núcleo sea un factor crítico. Además, el acero redondo 1018 se distingue por su resistencia a la corrosión, durabilidad frente a impactos y abrasiones, así como por su gran versatilidad, tal como se muestra en la Tabla 7. Este material se emplea frecuentemente en aplicaciones estructurales, tales como rejas, tensores y anclajes.

Este material ayudará al eje, el cual estará sujeto a la cama donde descansará el panel solar. Este estará acoplado a la transmisión de potencia por cadena, el cual le facilitará el giro del panel solar [34].

Tabla 7. Propiedades Acero AISI 1018 [34].

PROPIEDADES.	ACERO AISI 1018
Resistencia a la tensión	440 [MPa]
Limite elástico	370 [MPa]
Dureza brinell	126
Reducción del área	40

3.9. Cuadros de selección de alternativas para material.

El cuadro de selección de materiales para el proyecto presenta una evaluación detallada entre dos opciones prominentes: acero laminado en frío tanto como en acero lamiando en caliente como se muestra en la Tabla 8. Ambos materiales son elementos cruciales en la ingeniería estructural, pero presentan características distintivas que deben considerarse en la elección final.

En contraste, el acero laminado en frío se destaca como la elección preferida de la fabricación de piezas más pequeñas que requieren tolerancias mínimas y un acabado superficial de alta calidad. El proceso de laminado en frío mejora las propiedades mecánicas del acero y ofrece tolerancias dimensionales más precisas, lo que es especialmente beneficioso en aplicaciones donde se priorizan la precisión y el aspecto estético. Al analizar detenidamente la Tabla 6 y considerando este criterio crucial, queda evidente que el acero laminado en frío es la elección más idónea para la fabricación del módulo. En proyectos en los que la durabilidad y la integridad estructural son primordiales, la selección de acero laminado en frío se ajusta con precisión a los requisitos específicos del proyecto, garantizando un rendimiento óptimo y una eficiencia estructural adecuada al diseño del módulo [31], [34].

3.10. Selección de soldadura para materia de acero laminado en frío.

La selección de soldadura determinó el uso de dos tipos de soldaduras: soldadura SMAW y soldadura MIG/MG. A continuación, se analiza cada método y cuál es el más adecuado para realizar la máquina.

3.10.1. Soldadura SMAW para acero laminado en frío.

La soldadura SMAW, también conocida como soldadura por arco, es un método manual que utiliza un electrodo recubierto que se funde y se adhiere al metal base para crear la unión soldada. Aunque es un proceso manual, su versatilidad permite realizar soldaduras en diversas posiciones, como horizontal, vertical y sobre cabeza, lo que la hace adecuada para múltiples aplicaciones. En términos de portabilidad, la SMAW es relativamente conveniente, ya que el equipo consiste principalmente en la soldadora y los electrodos revestidos, lo que la hace adecuada para trabajos en ubicaciones remotas o de difícil acceso. Además, es reconocida por su capacidad para lograr una buena penetración en la soldadura, especialmente en materiales más gruesos como los aceros, lo que la hace valiosa en aplicaciones que requieren una penetración profunda [35].

3.10.2. Soldadura MIG para Acero Laminado en Frío.

La soldadura MIG es un proceso que emplea un gas inerte y un alambre de soldadura continuamente alimentado desde una bobina. Este método puede ser tanto semiautomático como automático, lo que implica que puede ser controlado manualmente o mediante equipos automáticos. Una de sus principales ventajas es su alta tasa de deposición de material de

soldadura, Haciendo de ella una opción perfecta para práctica que necesitan aplicar grandes cantidades de soldadura de manera rápida. Además, garantiza soldaduras de alta calidad y una apariencia estética superior, lo que la hace ideal para situaciones donde la estética es un factor clave. Gracias a su versatilidad, la soldadura MIG puede operar en varios modos de transferencia de arco, como cortocircuito, globular y spray, lo que permite adaptarse a diversas condiciones y requisitos de aplicación. Sin embargo, en términos de portabilidad del equipo, la soldadura con electrodo revestido (SMAW) suele ser preferida, ya que requiere menos equipo auxiliar y es más adecuada para entornos remotos o de difícil acceso [36].

3.11. Cuadros de selección de alternativas de suelda.

En la Tabla 9 en la selección del análisis en los procesos de soldadura para el proyecto, se compara detalladamente dos métodos principales: la soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW) y la soldadura MIG.

	Alto=3	Mediano=2	Bajo=1	Nulo=0		
Tabla 9. Análisis de soldadura mediante SMAW o MIG.						
PONDERACIÓN (%)	15%	10%	25%	10%	20%	SUMA 100%
ALTERNATIVAS DE MATERIAL	Proceso	Versatilidad	Control de precisión	Portabilidad	Penetración de la soldadura	Puntaje de la alternativa
SMAW	3	3	2	3	3	2.8
MIG/MAG	3	2	3	2	2	2.6

En la figura 11 se presenta un análisis de los procesos de soldadura, con el objetivo de identificar el método más adecuado y efectivo para nuestro proyecto, conforme a las especificaciones evaluadas. Este análisis nos ha permitido seleccionar la técnica de soldadura más idónea en función del material empleado en el seguidor solar.

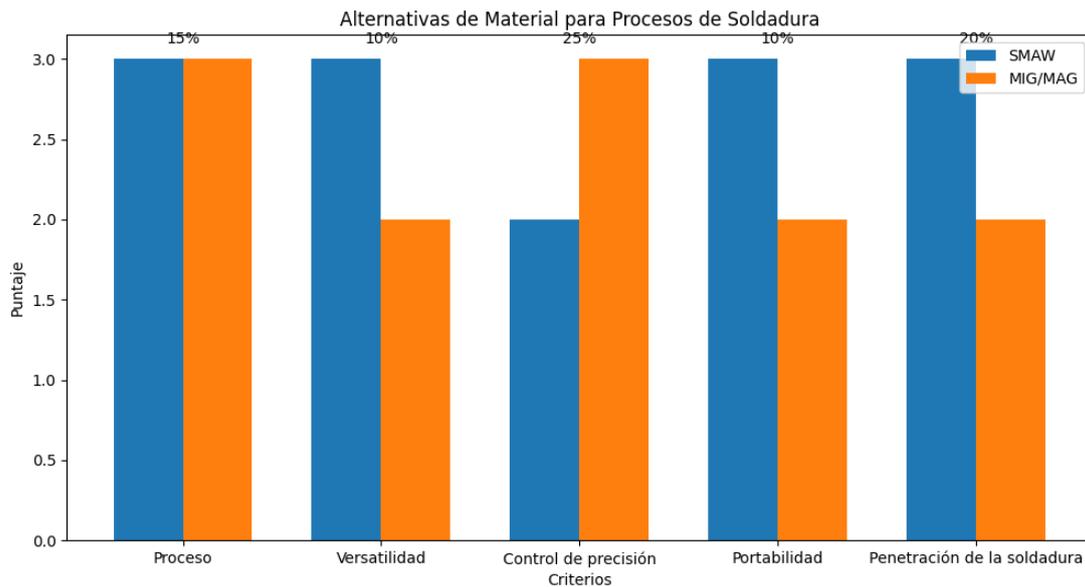


Figura 11. Representa la evaluación técnica de alternativas de materia mediante suelda de la estructura.

La soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW) y la soldadura MIG son técnicas clave en la fusión de metales. SMAW destaca por su portabilidad y capacidad de penetrar materiales gruesos, mientras que MIG ofrece un control preciso con alimentación continua del hilo. Tras una evaluación exhaustiva mediante una tabla de ponderación, se prefirió SMAW por su portabilidad, capacidad de penetrar materiales gruesos y versatilidad en diversas condiciones de trabajo. La elección se basó en la idoneidad del SMAW para los requisitos específicos del proyecto, centrándose en la movilidad y la eficacia en la unión de acero laminado en frío y también para el acero AISI 1018.

3.12. Juntas soldadas.

Para calcular el área de la garganta como se observa en la Tabla 10, el esfuerzo de soldadura y la carga de flexión en una soldadura, se emplearán las siguientes ecuaciones:

Tabla 10. Ecuación para soldadura de la estructura [37].

Ecuación	Descripción	Parámetros
(1)	$A = 0,707 * hc * (b + d)$	A= Área de la garganta. [mm] hc = Altura de la garganta. [mm] b = Distancia en x. [mm] d = Distancia en y. [mm]
(2)	$\tau = \frac{P}{A * hc * 10^{-6}}$	τc = Esfuerzo de soldadura. [MPa] P= Fuerza. [N]
(3)	$Ju = \frac{(b + d)^4 - 6 * b^2 * d^2}{12(b + d)}$	Ju = Momento inercia.
(4)	$J = 0,707 * hc * Ju$	J= Momento polar inercia.
(5)	$\bar{X} = \frac{b^2}{2(b + d)}$	\bar{X} = Centroide en x [mm]
(6)	$\bar{Y} = \frac{d^2}{2 * (b + d)}$	\bar{Y} = Centroide en y [mm]
(7)	$M = F * (L - \bar{X})$	M = Momento flector. L = Longitud de la viga.
(8)	$\tau_{tAX} = \frac{M * \bar{X}}{J * hc * 10^{-12}}$	τ_{tAX} = Tensión de corte en X en punto A [MPa]
(9)	$\tau_{tAY} = \frac{M * (l - \bar{X})}{J * hc * 10^{-12}}$	τ_{tAY} = Tensión de corte en Y en punto A [MPa]
(10)	$\tau_A = \sqrt{\tau_{tAX}^2 + \tau_{tAY}^2}$	τ_A = Tensión total en punto A [MPa]
(11)	$\tau_{Admisible} = 0,6 * \sigma_y$	$\tau_{Admisible}$ = Máxima tensión cortante del material.
(12)	$\tau_{Diseño} = \frac{2,5 * \tau_A}{hc}$	$\tau_{Diseño}$ = Tensión de diseño.
(13)	$hc = \frac{\tau_{Diseño}}{\tau_{Admisible}}$	hc = Espesor crítico.

Capítulo IV

Análisis y discusión de resultados

4.1. Mecanismo del seguidor solar.

El mecanismo del seguidor solar en el proyecto implica la transmisión de potencia mediante una cadena, que se seleccionó después de analizar varias opciones utilizando una tabla de ponderaciones. Este método se consideró conveniente debido a su costo y al mantenimiento práctico que requerirá, ya que no será complicado para el operario, su portabilidad no será un inconveniente transportarlo a diferentes lugares.

El cual se usará un servomotor que estará conectado mediante un acoplamiento para su encaje perfecto al piñón y esta le dará su movimiento de acuerdo a la posición del sol donde se encuentre. El término "estirar" puede resultar engañoso al referirse a cadenas, ya que en realidad se alargan debido al desgaste de pasadores y casquillos por el uso, falta de lubricación, tamaño inadecuado y/o sobrecarga. A medida que estos componentes se desgastan, el espacio entre los pasadores y casquillos se incrementa, lo que provoca que la cadena se alargue más de su longitud original. Con una cadena de 27 eslabones y una longitud inicial de 203.78 mm, es importante considerar el desgaste tolerable. Según la experiencia, el desgaste aceptable puede variar, pero en general:

En accionamientos simples: se tolera un 3% de alargamiento respecto a la longitud inicial.

- En sistemas de accionamiento con altas exigencias: se tolera hasta un 2% de alargamiento.
- En sistemas de accionamiento que requieren sincronización: el límite es del 1% de alargamiento.

Por ejemplo, si la cadena se estira hasta alcanzar una longitud de 209.86 mm ($203.78 \text{ mm} \times 1.03$), aún estaría dentro del límite de desgaste aceptable para accionamientos simples. Sin embargo, es esencial monitorear cualquier deslizamiento en los dientes del piñón o vibraciones. Si estos problemas persisten incluso después de ajustar el tensor, podría ser necesario reemplazar la cadena y posiblemente el piñón.

Existen cinco tipos básicos de lubricación para cadenas, que se vuelven más complejos a medida que aumenta la velocidad lineal de la cadena:

- Lubricación manual y periódica.
- Lubricación periódica por baño de aceite.
- Lubricación continua por goteo.
- Lubricación continua mediante inmersión.

- Lubricación continúa con aceite de presión.

En la Figura 12, el flujograma muestra un sistema de seguimiento solar que optimiza la posición de un panel solar para maximizar la captación de energía. La finalidad es asegurar que el panel solar esté siempre orientado hacia el sol para maximizar la eficiencia energética.

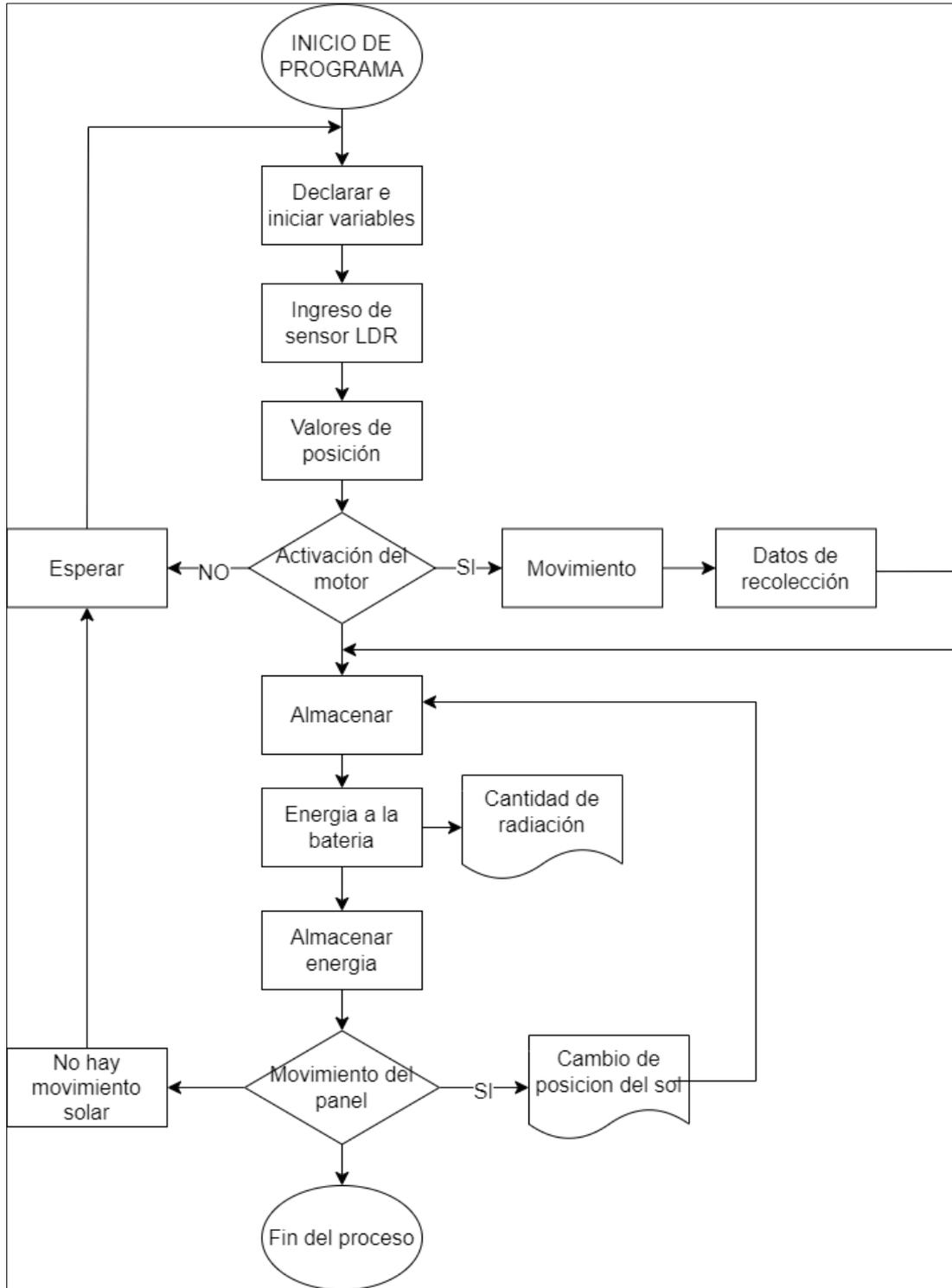


Figura 12. Flujo grama del proceso para recolección de energía en el panel foto voltaico.

4.2. Diseño de panel fotovoltaico.

En el proyecto de titulación "Diseño y Construcción de un Seguidor Solar de Precisión para Mejorar el Rendimiento de Paneles Solares Portátiles", se utilizó SolidWorks, tal como se ilustra en la Figura 13. Este proceso es crucial para asegurar la integración exacta de cada componente, asegurando que el funcionamiento sea coherente y esté alineado con los objetivos de la investigación. La figura proporciona un esquema visual del diseño final, ofreciendo una representación clara de la estructura de la máquina. Este enfoque detallado y el uso de SolidWorks son fundamentales para asegurar la coherencia y eficacia del sistema, contribuyendo al éxito del estudio y al logro de los objetivos establecidos.

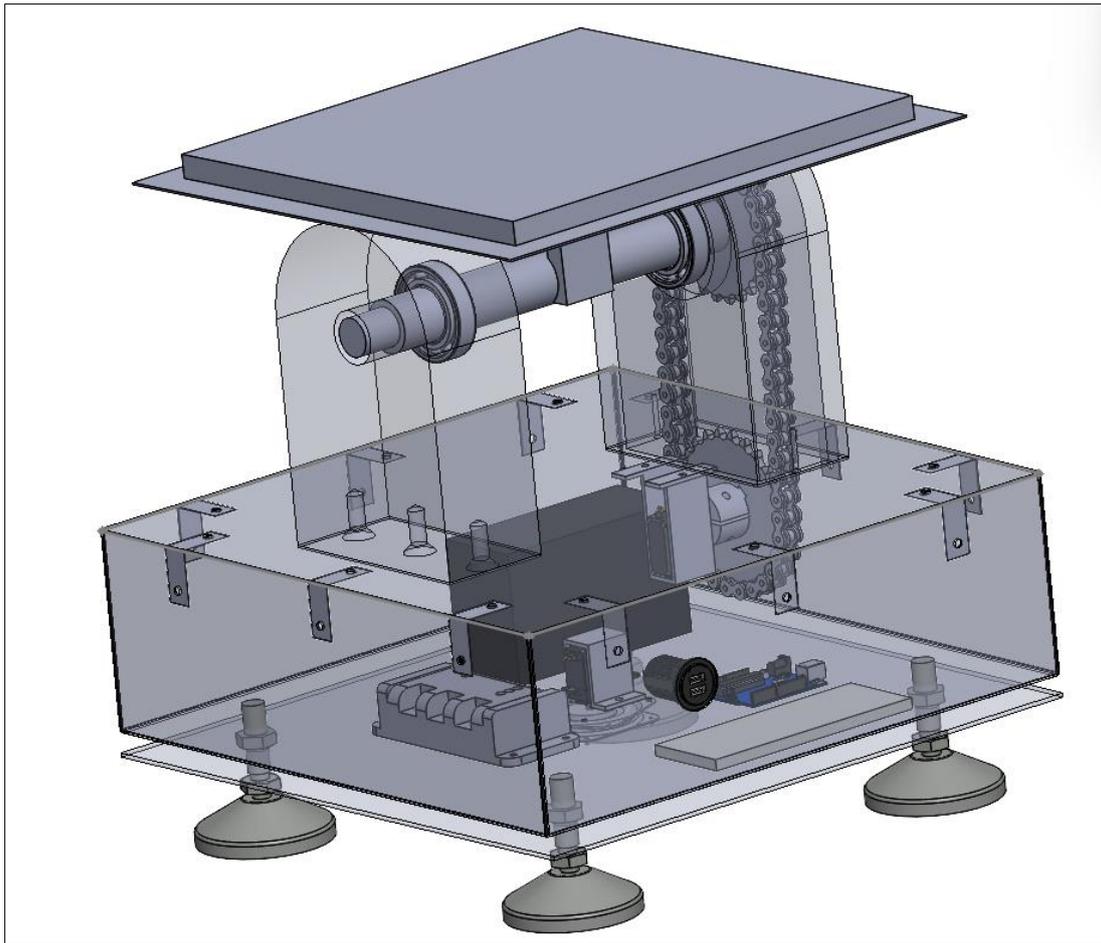


Figura 13. Seguidor solar con panel foto voltaico.

4.3. Elementos principales de seguidor solar.

En la Figura 14, se presentan y analizan los componentes que se utilizarán en el seguidor solar. Esta tabla proporciona una descripción detallada de cada componente, incluyendo su función específica dentro del proyecto y su ubicación en el sistema general del seguidor solar. Cada componente ha sido seleccionado con base en criterios de eficiencia, compatibilidad y rendimiento para asegurar que el sistema funcione de manera óptima. La tabla proporcionada

ofrece una visión detallada de cómo cada elemento participa en el funcionamiento del seguidor solar, abarcando desde la captación de luz hasta la orientación del panel. La inclusión de estos detalles facilita la integración y el ajuste de cada componente en el diseño final del sistema, asegurando una implementación eficaz y un rendimiento mejorado del seguidor solar en función de las necesidades del proyecto.

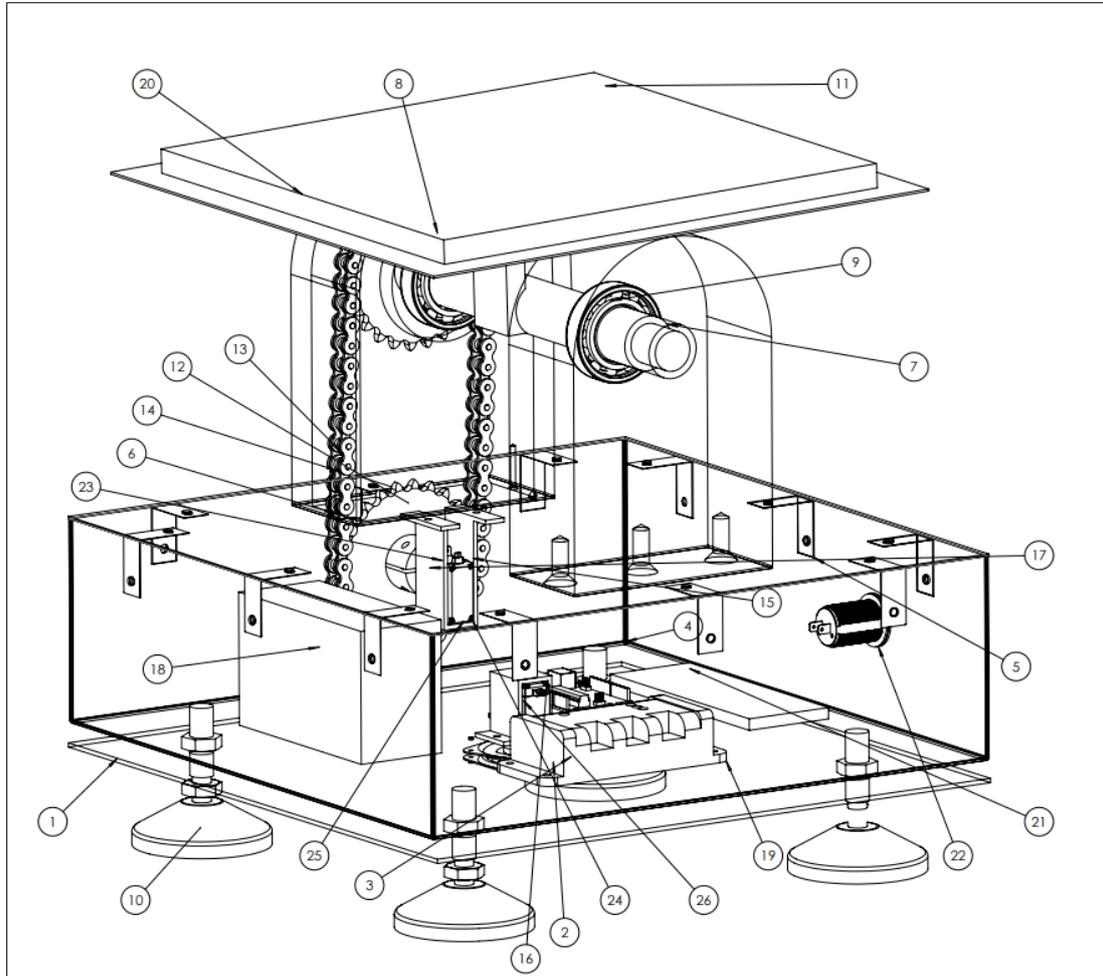


Figura 14. Elementos que contiene un seguidor solar.

Podemos observar cómo se desglosa cada una de las partes en la Tabla 11, lo cual es crucial para comprender la disposición de los componentes en el seguidor solar. Esta información detallada permite identificar claramente la ubicación y función de cada dispositivo dentro del sistema, facilitando un mejor entendimiento de su integración y operatividad. Desglosar de manera precisa los componentes que contribuye a una lectura más clara y estructurada, lo que facilita la implementación y ajuste de cada elemento en el proyecto, garantizando un desempeño excelente y una administración eficaz del sistema de orientación solar.

Tabla 11. Componentes del seguidor solar.

Numero elementos	Nombre de elementos	Función.
1	Soporte base.	La base que soportara toda la máquina.
2	Base giratoria.	Permite el giro de toda la estructura.
3	Elemento rodante.	Bolas que permite el giro al rodamiento.
4	Caja de componentes.	Ubicación de todos los componentes eléctricos, servomotores, batería,
5	Fijación metálica.	Soporte que sostendrá la caja y la estructura del seguidor solar.
6	Tornillo.	Permite el ajuste en donde se encuentra el eje.
7	Eje.	Eje que se realiza el movimiento del panel
8	Rodamiento.	Soporte y giro al eje.
9	Aro interior.	Diámetro del eje para su acople.
10	Elemento rodante.	Bolas que permite el giro al rodamiento.
11	Soporte panel.	Soporte donde descansara el panel solar.
12	Piñón.	Engranaje de la transmisión de potencia por cadena.
13	Eslabón interno.	Parte interna de la cadena.
14	Eslabón externo.	Parte externa de la cadena.
15	Estructura.	Estructura donde está el movimiento de la transmisión de potencia.
16	Servomotor.	Movimiento de los grados de libertad.
17	Eje Servomotor.	Eje que va conectado al acople.
18	Batería.	Almacena la carga suministrada.
19	Control de carga.	Regula la carga de la batería desde su máximo a mínimo.
20	Panel Solar	Celda Fotovoltaica.
21	Protoboard.	Conexión de elementos
22	USB.	Dispositivo de carga.
23	Acople.	Acople que conecta al servomotor.
24	Servomotor.	Movimiento de los grados de libertad.
25	Soporte Servomotor.	Soporte fijo para el servomotor.
26	Arduino UNO R3	Se realiza la programación

4.4. Selección de Panel solar.

Al elegir un panel solar de 15 vatios, es necesario considerar varios factores técnicos que afectan su rendimiento y eficiencia como se observa en la Tabla 12. Dado que la potencia del panel es relativamente baja, la eficiencia de conversión solar debe ser alta, preferiblemente alrededor del 23%, para maximizar la generación de energía en un área pequeña. Las tolerancias de potencia deben ser mínimas para garantizar que la potencia de salida se mantenga cerca del valor especificado en condiciones estándar. El coeficiente de temperatura debe ser bajo para reducir las pérdidas de eficiencia en climas cálidos. Además, es importante considerar la durabilidad del panel para garantizar que mantenga su rendimiento a lo largo del tiempo en condiciones del mundo real [20].

En el proceso de investigación para la tesis, se concluyó que un panel solar de 15 vatios y 12 V es el más adecuado, teniendo en cuenta el presupuesto disponible y los requisitos del proyecto. Este panel ofrece una combinación óptima de potencia y compactación, lo cual resulta fundamental para el sistema del seguidor solar portátil. La selección se fundamentó en la necesidad de un diseño que no solo optimice la eficiencia energética, sino que también permita la integración de componentes más pequeños y livianos. Esta elección garantiza que el sistema sea fácilmente transportable y funcional en diversas condiciones, cumpliendo con las especificaciones técnicas necesarias para un rendimiento eficaz y una buena portabilidad. La compatibilidad de las dimensiones y la eficiencia del panel asegura que el sistema funcione de manera óptima, manteniéndose dentro de las restricciones de tamaño y peso apropiadas para su aplicación portátil [20], [38].

Tabla 12. Representa las especificaciones más importantes de un panel solar [39].

Tipo	Policristalino
Configuración.	36 células, 4x9,5 Bushbars
Voltaje circuito abierto.	21,60 [V]
Voltaje potencia máxima.	18,20 [V]
Corriente circuito cerrado.	0,93 [A]
Corriente potencial máxima.	0,83 [A]
Eficiencia panel.	11,28%
Dimensiones.	350x350x17mm
Peso.	1,5 [kg]
Voltaje.	12 [V]
Potencia.	15 [W]

4.5. Selección de batería.

Se determinó por una batería AGM de 7Ah/12V de CSBattery como se observa en la Tabla 13, conocida por su durabilidad y diseño libre de mantenimiento. Las baterías de la serie GB VRLA AGM tienen una tensión de 12V, una capacidad de 7Ah y una vida útil de 8 a 10 años a una temperatura de 25°C (77°F). Es ideal para aplicaciones solares ya que puede soportar ciclos repetidos de carga y descarga. Gracias a las innovaciones en materiales PAM, tiene un ciclo de vida un 30 % más largo y puede alcanzar hasta 700 ciclos con una profundidad de descarga (DOD) del 50 %.

Esta batería proporciona respaldo energético en caso de cortes de suministro eléctrico, previniendo la pérdida de datos importantes y reduciendo el riesgo de apagones abruptos al facilitar un apagado seguro del dispositivo. Un mecanismo de válvula de alivio de presión controla la acumulación de gas dentro del sistema, asegurando tanto seguridad como eficiencia. Su diseño sellado y flexible permite que se utilice en diversas posiciones, siendo ideal para aplicaciones en ciclismo y transporte acuático. Además, el aislamiento AGM (alfombra de vidrio absorbente) protege contra daños por caídas y golpes, aumentando la durabilidad de la batería. La energía recolectada por los módulos solares se acumulará en estas baterías, garantizando una fuente constante de energía para diversos dispositivos. Las baterías permitirán conectar dispositivos que necesiten energía, asegurando su carga y funcionamiento continuo, mientras que un controlador de carga gestionará este proceso de manera efectiva.

El regulador de carga controla la cantidad de energía transferida a las baterías desde los paneles solares, garantizando una carga eficaz y protegiendo las baterías de sobrecargas y descargas excesivas. Esto evita daños por exceso de carga y extiende la vida útil de las baterías. Además, supervisa continuamente el estado de carga de las baterías, brindando información valiosa sobre su condición y asegurando su disponibilidad cuando sea necesario. Para alimentar dispositivos, se empleará un adaptador USB que convierte la energía acumulada en las baterías en una salida de 5V, ideal para cargar directamente teléfonos móviles, tabletas y otros dispositivos USB. Esta salida de 5V es compatible con la mayoría de los aparatos electrónicos, lo que facilita su uso.

Tabla 13. Representa las especificaciones más importantes de una batería AGM [23].

Características.	Descripción.
Dimensiones.	151x65x93 mm
Peso	2 [kg]
Tecnología.	Agm
Voltaje.	12 [v]
Capacidad.	7 [ah]
Ciclos de vida útil a 30% dod	1200
Ciclos de vida útil a 50% dod	600
Ciclos de vida útil a 100% dod	300

4.6. Selección de controlador de carga.

Diseñado específicamente para sistemas solares en áreas rurales de países en desarrollo, el controlador de carga SHS 6A/12VDC de Morningstar, como se muestra en la Tabla 14, es ideal para este tipo de aplicaciones. Este controlador es apto para sistemas que incorporan uno o hasta tres paneles solares y se ajusta a los estándares establecidos por el Banco Mundial. El SHS gestiona automáticamente el encendido de las luces por la noche y su apagado por la mañana. Su función de desconexión automática cuando la batería está baja y reconexión tras la carga ayuda a reducir los costos de reemplazo de la batería y prolonga su vida útil. Una carga completa mejora la capacidad de almacenamiento y previene la descarga abundante hacia las baterías. Los LEDs proporcionan información sobre el estado y rendimiento de la batería para asegurar un funcionamiento óptimo del sistema. El controlador SHS es un dispositivo de protección económico y confiable, con un fusible no reemplazable y una cubierta resistente a la humedad que protege el equipo de las inclemencias del tiempo. Su diseño completamente automático elimina la necesidad de ajustes por parte del usuario, facilitando su instalación y uso [40].

Tabla 14. Representa las especificaciones más importantes de un controlador SHS - 6 [40].

Características.	Descripción.
Tecnología.	PWM
Corriente Max	6 [A]
Voltaje	12 [V]
Consumo propio	8 [mA]
Dimensiones	15.1 x 6.6 x 3.6 cm
Peso	113 [g]

4.7. Selección de servomotor.

Este proyecto se considera en el diseño de un seguidor solar de alta precisión con la orientación a perfeccionar la efectividad de los paneles solares portátiles. El elemento principal del diseño es el servomotor MG996R, que se destaca por su control preciso y robustez, tal como se detalla en la Tabla 14. Este servomotor ajustará la orientación de la mesa de los paneles en el plano horizontal, garantizando un seguimiento solar exacto a lo largo del día. Además, se incorpora un sistema de transmisión por cadena para gestionar el movimiento vertical del panel solar, proporcionando una respuesta rápida y eficiente para seguir la trayectoria del sol durante su ascenso y descenso. La combinación del servomotor con el sistema de transmisión por cadena está diseñada para ofrecer un seguimiento solar detallado, esto optimiza considerablemente la recolección de energía solar y favorece el desarrollo de soluciones prácticas y sostenibles para la generación de energía solar portátil [27].

Tabla 14. Representa las especificaciones más importantes de un servomotor MG996R [27].

Propiedades	Servomotor
Voltaje	4.8 – 7.2 [V]
Angulo	120 grados
Torque	12 kg*cm en 6 [V]
Velocidad de funcionamiento	0.13sec/60° grados
Rango de temperatura	0 – 55 grados [°C]
Dimensiones	40 mm x 19 mm x 43 mm
Peso	55 [g]

4.8. Cálculo de transmisión de potencia en un sistema de engranajes y cadena.

Se realizará un análisis detallado de la transmisión de potencia en un sistema de engranajes y cadena, con el objetivo de comprender cómo se transfiere la energía a través de estos componentes y cómo se ven afectadas las variables operativas del sistema. La transmisión de potencia mediante engranajes y cadenas es fundamental en numerosos sistemas mecánicos, como en el diseño de seguidores solares, donde se requiere una conversión eficiente de la potencia para ajustar la orientación del panel solar.

4.9. Relación de transmisión.

Se calculará la relación de transmisión entre los engranajes de entrada y salida, como se observa en la Tabla 15. Esta relación determina cómo se modifica la velocidad angular y el torque a medida que la potencia se transfiere entre los componentes del sistema.

Tabla 15. Cálculo de relación de transmisión.

Ecuación	Símbolo	Descripción	Valor
(14)	N_1	Número de dientes del engranaje de entrada	20
(15)	N_2	Número de dientes del engranaje de salida	40
(16)	i	Relación de transmisión	$N_1 = N_2 = 2$

4.10. Velocidad angular del engranaje.

Se evaluará la velocidad angular de los engranajes como se observa en la Tabla 16, tanto en el engranaje de entrada como en el engranaje de salida. La velocidad angular es crucial para comprender cómo el sistema maneja las variaciones en la velocidad y el efecto en el rendimiento del sistema.

Tabla 16. Cálculo de velocidad angular del engranaje.

Ecuación	Símbolo	Descripción	Valor
(17)	ω_1	Velocidad angular del engranaje de entrada	$\frac{60^\circ}{0.13s} * \frac{\pi}{180} = 8.04 \frac{rad}{s}$
(18)	ω_2	Velocidad angular del engranaje de salida	$\frac{\omega_1}{i} * \frac{8.04 \frac{rad}{s}}{2}$ $= 4.02 \frac{rad}{s}$
(19)	i	Relación de transmisión	2

4.11. Potencia transmitida.

Se calculará la potencia transmitida a través del sistema como se observa en la Tabla 17, teniendo en cuenta la potencia inicial y la relación de transmisión. Este cálculo es esencial para asegurar que el sistema puede manejar la cantidad de energía requerida para su funcionamiento eficiente.

Tabla 17. Cálculo de potencia de transmitida.

Ecuación	Símbolo	Descripción	Valor
(20)	T	Torque del servomotor	$12kg * cm$ $\times \frac{0.0981Nm}{kg} * cm$ $= 1.1772Nm$
(21)	ω	Velocidad angular del servomotor	$8.04 \frac{rad}{s}$
(22)	P_1	Potencia del servomotor	$T \times \omega$ $= 1.1772Nm$ $\times 8.04 \frac{rad}{s} = 9.47W$
(23)	i	Relación de transmisión	$\frac{2}{2}$
(24)	P_2	Potencia transmitida en el engranaje de salida	$\frac{P_1}{i} = \frac{9.47W}{2} = 4.74W$

4.12. Torque del engranaje.

Finalmente, se determinará el torque en el engranaje de salida como se observa en la Tabla 18. El torque es un indicador clave de la capacidad del sistema para realizar trabajo y mover cargas, y su comprensión es vital para el diseño y ajuste del sistema.

Tabla 18. Calculo de torque de engranaje.

Ecuación	Símbolo	Descripción	Valor
(25)	T_1	Torque del servomotor	$1.1772Nm$
(26)	i	Relación de transmisión	2
(27)	T_2	Torque del engranaje de salida	$T_1 \times i = 1.1772Nm \times 2$ $= 2.3544Nm$

4.13. Selección del controlador para la programación mediante un microcontrolador.

El controlador Arduino Uno R3. Esta versátil plataforma de desarrollo será crucial para programar y controlar el sistema. Con un diseño centrado en la facilidad de uso y la adaptabilidad como se muestra en la Tabla 19, ofrece un entorno de desarrollo fácil de usar basado en un lenguaje similar al C. No sólo servirá como columna vertebral del seguimiento solar de precisión, también permitirá desarrollar algoritmos y sistemas de ajuste para incrementar la efectividad de los paneles solares portátiles. Con su interfaz potente y sencilla, el Arduino Uno R3 se posiciona como el catalizador tecnológico que mejorará la eficacia y funcionalidad de este proyecto de investigación.

Tabla 19. Representa las especificaciones más importantes de una placa ARDUINO Uno R3 [24].

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Micro controlador	Atmega328p
Tensión de operación	5 [V]
Tensión de entrada(recomendada)	7 – 12 [V]
Tensión de entrada(limite)	6 – 20 [V]
Pines digitales de e/s	14(de los cuales 6 proveen salidas PWM)
Pines de acceso analógicos	6
Corriente dc por pin e/s	40 [mA]
Corriente dc para pin 3.3 v	50 [mA]
Memoria flash	32 kb (de los cuales 0,5 kb usados para bootloader)
Sram	2 [Kb]
Eeprom	1 [Kb]
Reiteración de reloj	16 [mHz]

4.14. Selección del sensor LDR21

El sensor LDR21 ha sido seleccionado para su integración en el Conjunto de paneles solares fotovoltaicos, como se detalla en la Tabla 20, debido a su principio de funcionamiento basado en la fotoconductividad. Esta característica es esencial para el diseño de una orientación de un seguidor solar. La fotoconductividad que realiza el LDR21 permite una notable disminución de su resistencia al ser expuesto a la luz; la absorción de fotones produce electrones en la banda de transporte, lo que aumenta la conductividad del material. Esta propiedad es fundamental para medir con precisión la intensidad de la luz y ajustar la orientación del panel solar con la finalidad de proporción de luminosidad que recibe. En particular, el LDR21 presenta una resistencia baja en presencia de luz, en el rango de algunos $k\Omega$, y una resistencia alta en la oscuridad, alcanzando varios $M\Omega$. Esta capacidad de respuesta al cambio en la iluminación permite una adaptación eficiente del sistema solar, optimizando su rendimiento en diferentes condiciones de luz. El motivo por el cual se colocan cuatro LDR en el sistema es para asegurar una adaptación óptima a las proporciones del panel fotovoltaico, dado su tamaño mediano. Se ha seleccionado LDR de 20 mm de diámetro, ya que este tamaño permite una mayor recepción de luz solar comparado con diámetros menores. Los cuatro LDR se distribuyen estratégicamente en el panel, permitiendo una captación uniforme de la luz solar desde diferentes direcciones. Esta configuración asegura que el panel fotovoltaico pueda ajustar su orientación de manera óptima hacia la fuente de luz, optimizando así, mejorando la recolección de energía proveniente del sol y aumentando la efectividad del método de seguimiento solar. Además, la utilización de múltiples LDR añade redundancia y precisión al sistema, garantizando que, en caso de fallos en uno de los sensores, los otros continúen proporcionando datos precisos para el ajuste del panel.

Tabla 20. Representa las especificaciones más importantes de un sensor LDR [41].

Características	Descripción
Diámetro	20.0 mm
Voltaje máximo dc	500v
Potencia de disipación	500mw
Resistencia en luz (10 lux)	10 – 20 k ω
Resistencia en oscuridad	2.0m ω
Tiempo de respuesta (aumento)	30ms
Tiempo de respuesta (disminución)	30ms

4.14.1. Juntas soldadas

Se calcula que la estructura pesará 5kg y que las longitudes de los cordones de soldadura serán de 40 mm y 3 mm, basado de las magnitudes del fragmento a soldar. El diseño de la soldadura está detallado en la Figura 15 y también como se observa en la Tabla 21 los cálculos pertinentes

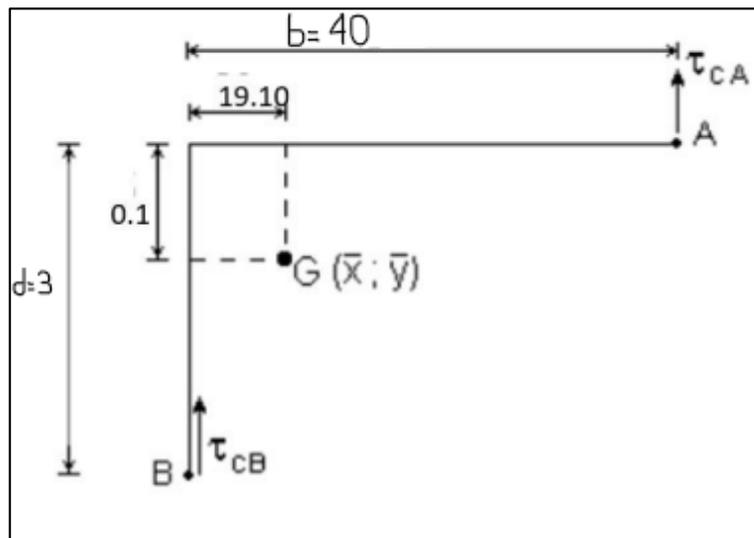


Figura 15. Cálculo de juntas soldadas.

Se opta por utilizar el electrodo 6013 y realizar una soldadura en forma de filete. próximamente, se ejecutarán cálculos para conocer la longitud del cateto de la soldadura, considerando un factor de seguridad de 2.5.

Tabla 21. Cálculo de soldadura para la estructura.

Ecuación	Símbolo	Descripción	Valor
(1)	A	Área de la garganta de la soldadura.	$0,0003000 * hc * m^2$
(2)	τ_c	Esfuerzo cortante.	$\frac{0,19}{hc} MPa$
(3)	J_u	Momento de inercia.	$6458,14 mm^4$
(4)	J	Momento polar	$4565,90 hc mm^4$
(5)	\bar{X}	Centroide en X.	$18,60 mm$
(6)	\bar{Y}	Centroide en Y.	$0,10 mm$
(7)	M	Momento respecto al centroide del grupo.	$0,12 Nm$
(8)	τ_{tAX}	Tensión de corte en X en el punto A.	$\frac{0,00262}{hc} MPa$
(8)	τ_{tAY}	Tensión de corte en Y en el punto A.	$\frac{0,562}{hc} MPa$
(9)	τ_{tBX}	Tensión de corte en X en el punto B.	$\frac{0,078845}{hc} MPa$
(9)	τ_{tBY}	Tensión de corte en Y en el punto B.	$\frac{0,488}{hc} MPa$
(10)	τ_A	Tensión total en el punto A.	$\frac{0,706}{hc} MPa$
(10)	τ_B	Tensión total en el punto B.	$\frac{0,375}{hc} MPa$

En la Tabla 22, se proporcionan las características del electrodo que se empleara, y en este contexto particular, se está buscando la resistencia de fluencia del electrodo 6013 en relación con los cálculos necesarios para diseñar la soldadura. La resistencia de fluencia es un parámetro esencial en el diseño de la soldadura, y se empleará en los cálculos para asegurar la integridad estructural y el rendimiento adecuado de la unión soldada.

Tabla 22. Propiedades de los electrodos para soldadura SMAW [35].

Numero de electrodo.	Resistencia ultima MPa	Resistencia de fluencia MPa	Elongación %
E6013	62(527)	50(345)	17-25

Se elige el valor de resistencia de fluencia del material, $\sigma_y=345MPa$. Con este valor, se procede a calcular la tensión admisible para corte utilizando la ecuación 12 como se observa en la Tabla 23, se utiliza el fin de resistencia del elemento como referencia para establecer la tensión máxima permitida en condiciones de corte [37].

Tabla 23. Calcular la tensión admisible.

Ecuación.	Símbolo.	Descripción.	Valor
(11)	$\tau_{Admisible}$	Tensión admisible basada en el límite de resistencia del material.	207MPa
	Fs.	Factor seguridad.	2.5
(12)	$\tau_{Diseño}$	Tensión de diseño.	$207 MPa = \frac{1,765}{hc} MPa$
(13)	hc	Espesor crítico.	0,0085mm

Se ajusta la tensión permitida para que sea igual al valor del factor de seguridad, con el propósito de determinar el espesor crítico (hc). Esto implica que se busca un hc tal que la tensión de diseño (1,765 MPa) dividida por hc sea igual a la tensión máxima permitida (207 MPa). Este proceso garantiza que el diseño tenga un margen de seguridad adecuado (en este caso, 2,5 veces la tensión máxima permitida) para evitar fallos debido a esfuerzos excesivos.

4.15. Cálculos y selección para los métodos de elementos finitos

Se realizó diversos análisis del seguidor solar para verificar su funcionamiento, utilizando principalmente el análisis mediante componentes limitados en el software SolidWorks para realizar simulaciones detalladas. Este enfoque nos ofreció resultados detallados sobre el comportamiento estructural de cada componente de la máquina. En este análisis, se utilizó una fuerza de 49.05 N, lo que permitió lograr un dimensionamiento adecuado para asegurar el rendimiento esperado del seguidor solar. Cada pieza fue sometida a un análisis minucioso con el método de elementos finitos, permitiendo una evaluación precisa de su resistencia y comportamiento en diferentes condiciones. Estos resultados son cruciales para garantizar la robustez y eficacia del diseño del seguidor solar.

4.15.1. Análisis estructural del panel fotovoltaico

En la Figura 16 se observa el mallado detallado con todos los componentes que conforman el seguidor solar, incluyendo los servomotores, sensores LDR, y el mecanismo de transmisión por cadena. Este mallado proporciona una representación precisa de cómo se ensamblan y se distribuyen las partes dentro del sistema, permitiendo una visualización clara de la interacción entre los distintos elementos. La Figura 17 muestra el mallado de la caja que contiene todos los componentes del seguidor solar. Este mallado de la caja destaca la disposición y el ajuste de cada componente dentro del espacio confinado, asegurando que el diseño compacto mantenga

la funcionalidad y la accesibilidad de los elementos internos. Ambas figuras ofrecen una perspectiva integral del diseño y la organización del seguidor solar, facilitando la comprensión del ensamblaje y la adaptación de los elementos en el sistema final.

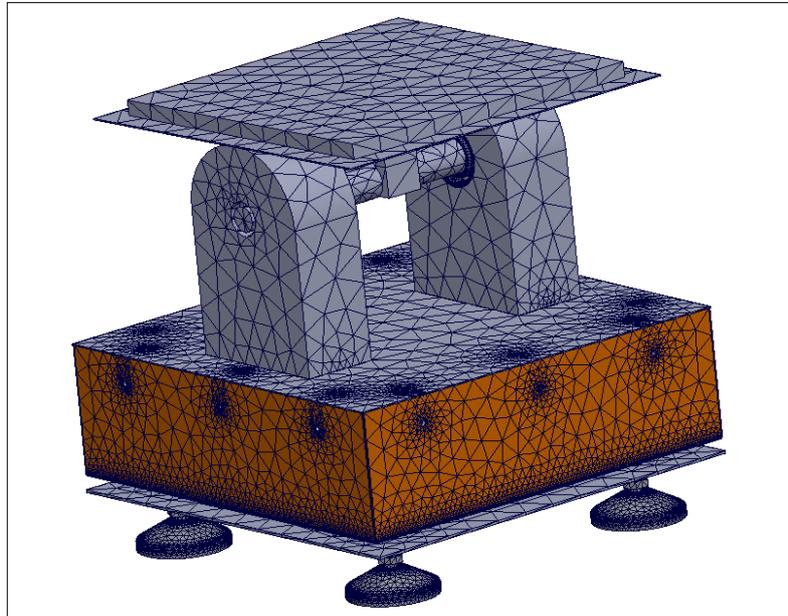


Figura 16. Mallado de la estructura.

Aquí se muestra la carcasa de la estructura del panel fotovoltaico, la cual se someterá al proceso de análisis por elementos finitos. Este análisis permitirá determinar todos los aspectos estructurales necesarios para asegurar una estructura robusta y eficiente del panel fotovoltaico. El objetivo es garantizar que la carcasa soporte adecuadamente las condiciones operativas y ambientales, optimizando así el rendimiento y la durabilidad del sistema fotovoltaico.

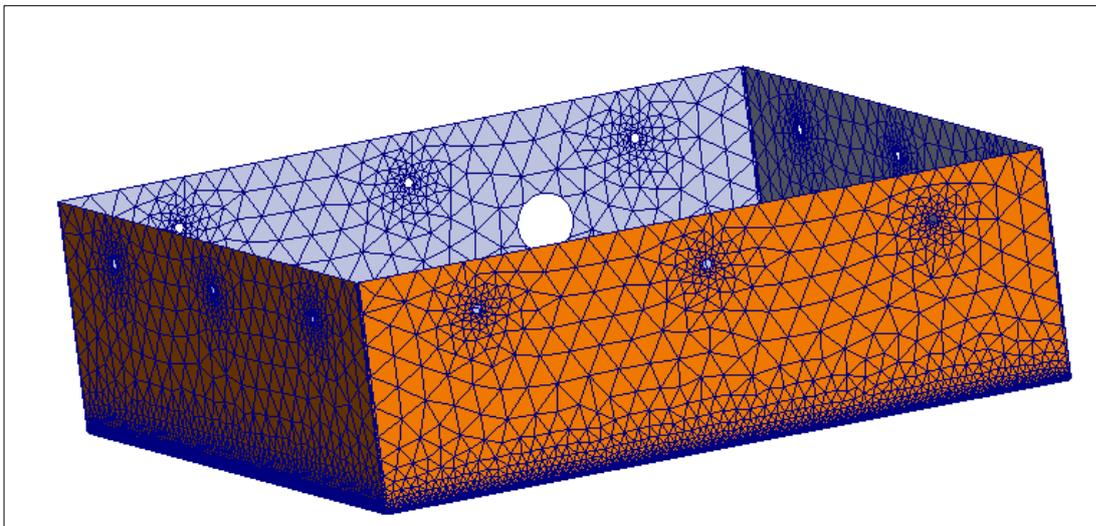


Figura 17. Mallado de caja de componentes.

4.15.2. Análisis estructural soporte (base).

- **Estudio de tensión de Von Mises.**

El método de Von Mises se aplica en el análisis por elementos finitos para prever la ubicación y la magnitud máxima del esfuerzo equivalente que podría causar fallos en un material dúctil, de esta manera mostrado en la Figura 18. En el contexto de un respaldo para un seguidor solar, este enfoque divide la estructura en elementos más pequeños, simplificando los cálculos. Este método es fundamental en la industria para garantizar que los soportes de seguidores solares cumplan con los estándares de seguridad y rendimiento exigidos.

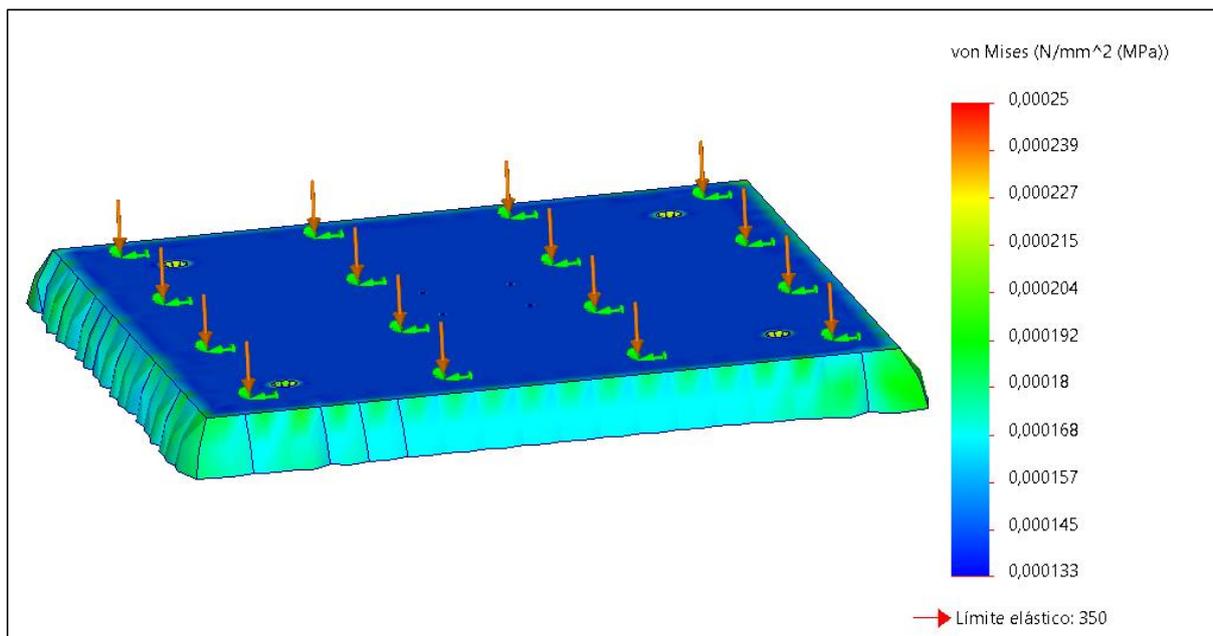


Figura 18. Análisis Von Mises del soporte base.

El empeno equivalente de Von Mises logrado es de 0.00025 MPa, lo que indica que la estructura del panel fotovoltaico está expuesta a tensiones muy bajas. Este valor sugiere que el material de la carcasa opera significativamente por debajo de su límite elástico, lo que asegura que no habrá deformación plástica ni riesgo de fallo estructural. La baja magnitud del esfuerzo de Von Mises confirma que el modelo de la carcasa es sólido y confiable, garantizando una larga durabilidad y un funcionamiento seguro del panel fotovoltaico en las condiciones operativas previstas.

- **Análisis de desplazamiento.**

El análisis de desplazamiento utilizando la técnica de elemento finitos para un soporte de seguidor solar examina cómo la estructura se comporta y se deforma bajo cargas determinadas, como en la Figura 19. Este método descompone la base en elementos más pequeños, facilitando

cálculos precisos y generando representaciones gráficas de las deformaciones y desplazamientos.

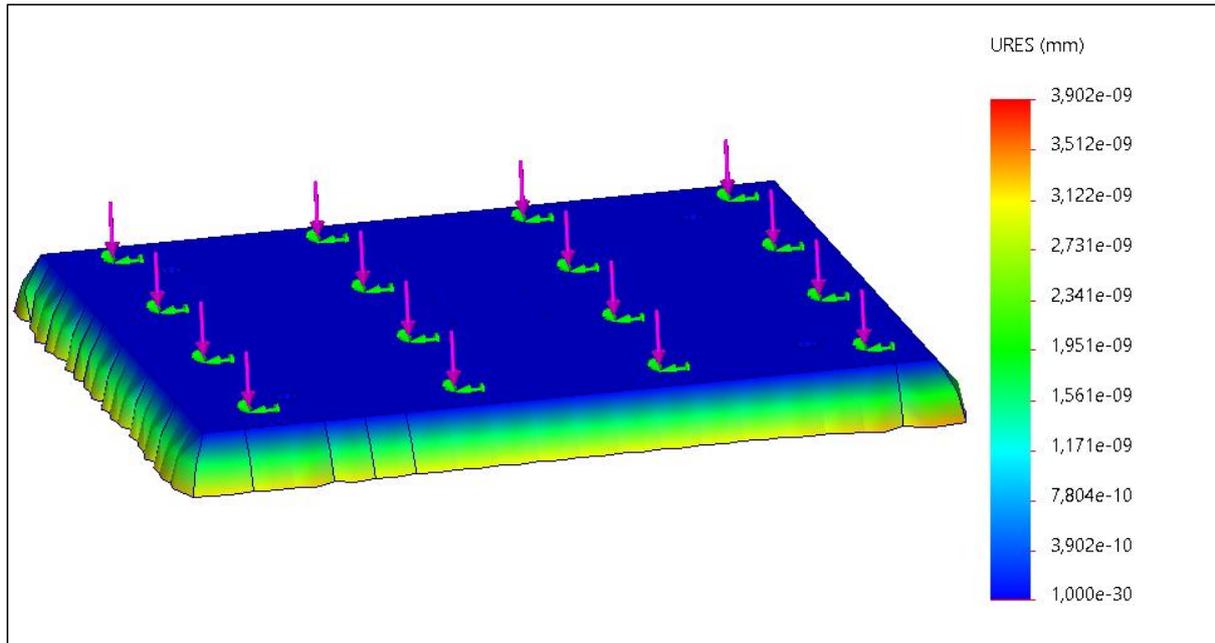


Figura 19. Análisis de desplazamiento del soporte base.

El análisis de desplazamiento revela un valor de 3.902×10^{-9} mm, indicando que el desplazamiento en la estructura del panel fotovoltaico es prácticamente insignificante. Este valor extremadamente bajo sugiere que la estructura es altamente estable y resistente a las cargas aplicadas, asegurando que no se producirán deformaciones notables que puedan comprometer el rendimiento del panel. La mínima magnitud del desplazamiento confirma la rigidez y fiabilidad del diseño, garantizando tanto la integridad estructural como la precisión en la orientación del panel solar durante su funcionamiento.

- **Análisis deformación.**

El análisis de deformación utilizando el estudio de componentes limitados en el soporte de un seguidor solar evalúa cómo la estructura se deforma bajo cargas específicas, como se ilustra en la Figura 20. Al subdividir la estructura en elementos más pequeños, se simplifican los cálculos y se obtienen representaciones gráficas de las deformaciones resultantes. Este análisis es esencial para comprender el comportamiento estructural y asegurar que las deformaciones permanezcan dentro de los límites aceptables.

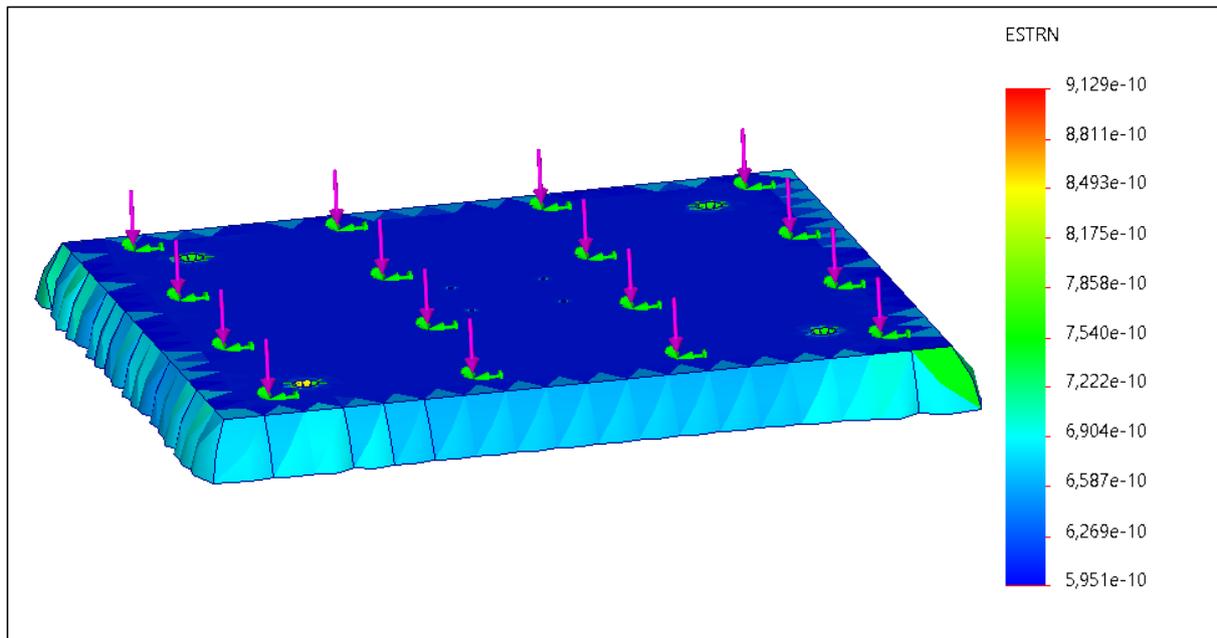


Figura 20. Análisis deformación del soporte base.

El análisis de deformación arroja un valor de 9.129×10^{-10} , lo que indica una deformación extremadamente baja en la estructura del panel fotovoltaico. Este valor prácticamente insignificante sugiere que la estructura mantiene su forma original bajo las cargas aplicadas, sin experimentar deformaciones que puedan comprometer su funcionamiento o integridad. La mínima magnitud de la deformación confirma la robustez y estabilidad del diseño, asegurando que el panel fotovoltaico operará de manera eficiente y fiable en condiciones normales de uso.

- **Análisis factor de seguridad.**

El análisis del aspecto de resguardo gracias al estudio de componentes limitados para un soporte de seguidor solar examina cómo la estructura maneja las cargas en relación con su capacidad máxima, como se muestra en la Figura 21. Al dividir la base en elementos más pequeños, se facilitan los cálculos y se destacan las áreas críticas de carga. Este análisis es crucial para garantizar que el soporte cumpla con los estándares de seguridad, identificando y abordando posibles debilidades en el diseño.

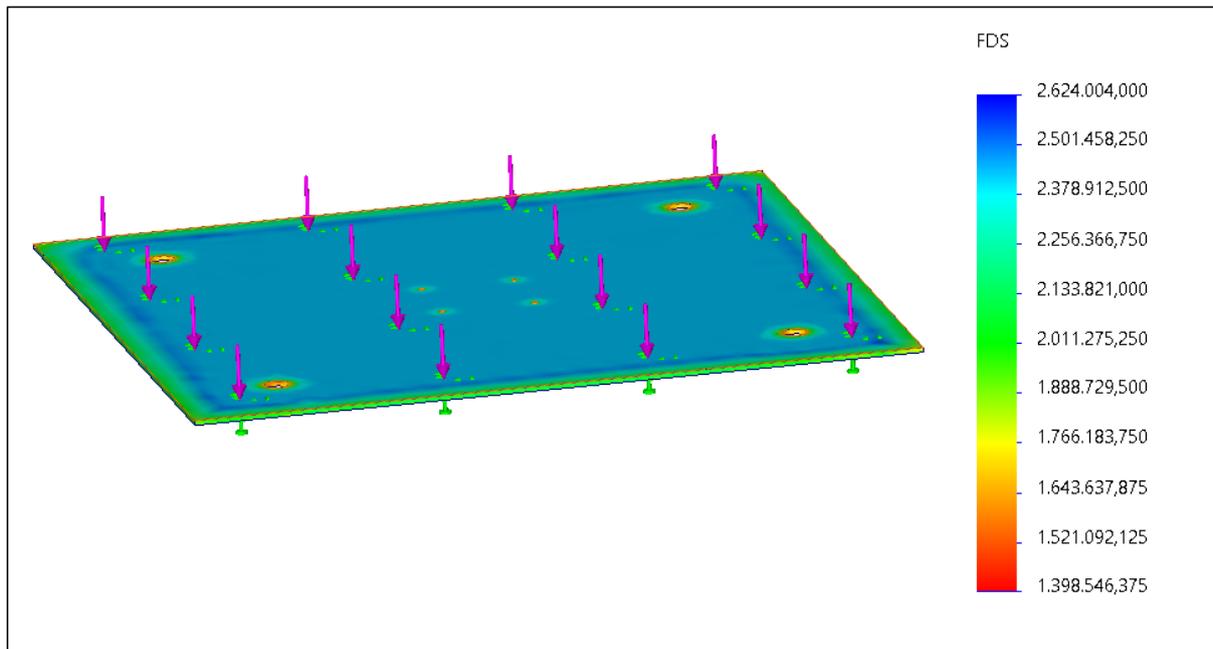


Figura 21. Análisis factor de seguridad del soporte base.

El estudio del aspecto de respaldo revela un valor de 2.624, lo que indica que la estructura del panel fotovoltaico puede soportar cargas hasta 2.624 veces superiores a las previstas sin riesgo de fallo estructural. Aunque este valor proporciona un margen de seguridad adecuado, en aplicaciones críticas se suele buscar un factor de seguridad más alto para garantizar una mayor fiabilidad y durabilidad. Este resultado sugiere que, aunque la estructura es segura, podría beneficiarse de ajustes adicionales para aumentar el margen de seguridad y asegurar una mayor robustez frente a posibles variaciones inesperadas en las condiciones de carga y operación.

En la Tabla 24 se observa cada uno de los valores obtenidos mediante análisis de elementos finitos de manera que se puede visualizar de una mejor manera.

Tabla 24. Resultados del estudio estructural de soporte base.

Resultados	Valor
Esfuerzo equivalente Von Mises	0.00025 MPa
Análisis de desplazamiento	3.902e-09 mm
Análisis de deformación	9.129e-10
Análisis de factor de seguridad	2.624

4.15.3. Análisis estructural caja de componentes.

- **Análisis de tensión de Von Mises.**

Se evaluaron los esfuerzos máximos en la estructura diseñada para albergar los componentes electrónicos y servomotores del seguidor solar. Mediante el estudio de componentes limitados la estructura se segmentó en pequeños elementos para calcular y visualizar los esfuerzos críticos, identificando las zonas potencialmente vulnerables a fallos. Esta metodología,

ilustrada en la Figura 22, permite una evaluación detallada de las áreas de mayor tensión, asegurando que se tomen medidas preventivas para evitar posibles problemas estructurales.

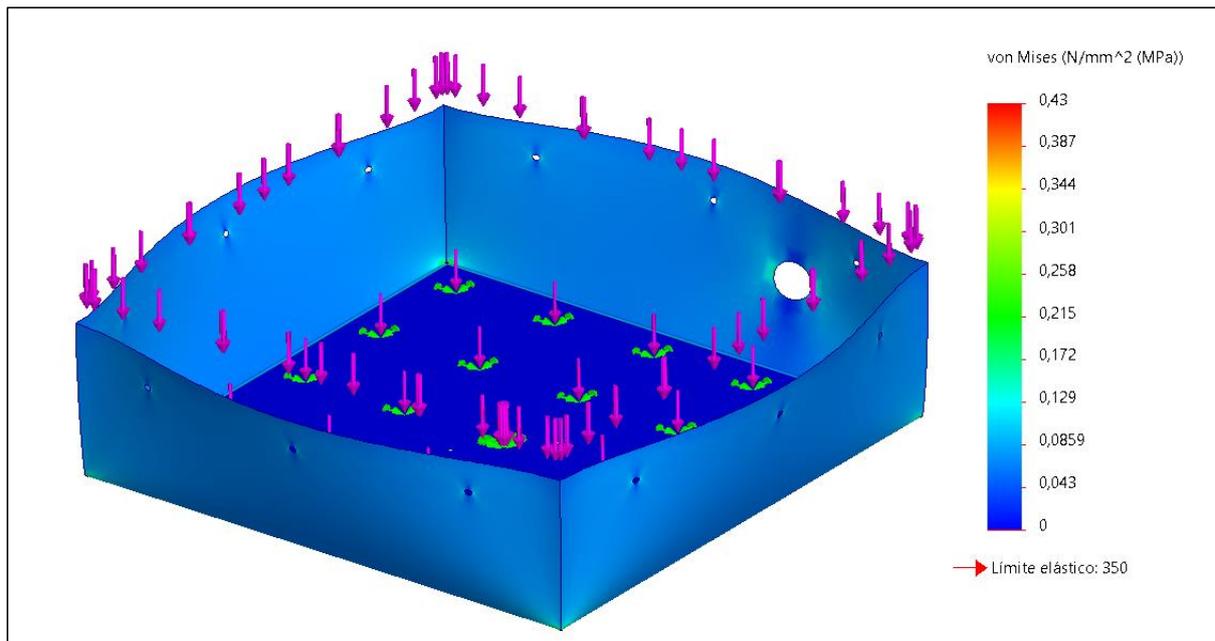


Figura 22. Análisis de Von Mises de la caja de componentes.

El empeno correspondiente de Von Mises calculado es de 0.43 MPa. Este valor indica que la estructura del panel fotovoltaico está expuesta a tensiones moderadas. En comparación con el límite elástico del material, este nivel de esfuerzo está dentro de un rango seguro, lo que asegura que no se producirán deformaciones plásticas ni fallos estructurales bajo las condiciones operativas previstas. La magnitud del esfuerzo de Von Mises respalda la solidez y fiabilidad estructural del diseño, confirmando que es adecuado para su uso previsto.

- **Análisis de desplazamiento.**

El análisis de cómo responde la estructura a cargas específicas, especialmente en las áreas donde se ubican los componentes electrónicos y servomotores, utiliza el estudio de componentes limitados con el fin de acortar los cálculos y la visualización gráfica de los desplazamientos. Este enfoque permite observar detalladamente cómo la estructura se deforma bajo diferentes cargas, proporcionando información clave sobre la deformación estructural, mostrado en la Figura 23.

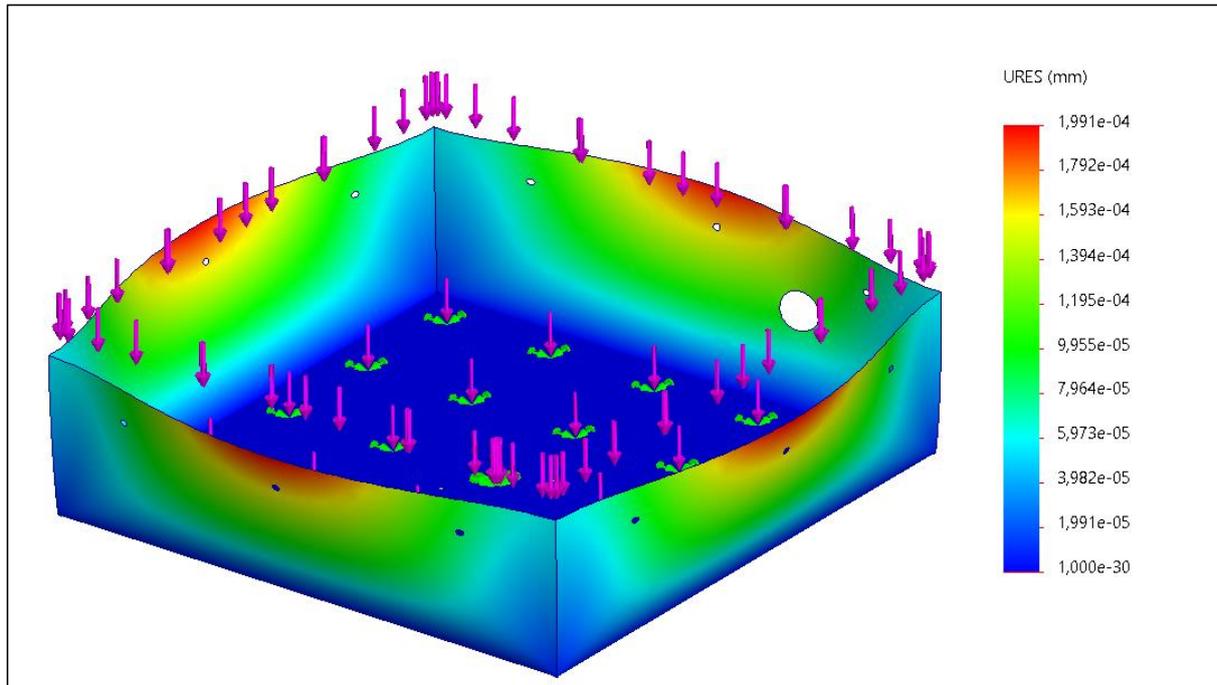


Figura 23. Análisis de desplazamiento de la caja de componentes.

El análisis de desplazamiento muestra un valor de $1.991e-04$ mm, lo que indica un desplazamiento mínimo en la estructura del panel fotovoltaico. Este valor bajo sugiere que la estructura es altamente estable y resistente a las cargas aplicadas, asegurando que las deformaciones sean insignificantes y no afecten el rendimiento del panel. La mínima magnitud del desplazamiento confirma la rigidez y fiabilidad del diseño, garantizando la integridad estructural y la precisión en la orientación del panel solar durante su operación.

- **Análisis deformación.**

El análisis de las deformaciones en la estructura que albergará los componentes electrónicos mide las distorsiones respecto a la forma original. Utilizando el estudio de componentes limitados, se evalúan las deformaciones de la estructura bajo diferentes condiciones de descarga, mostrado en la figura 24. Este estudio nos brinda una nueva perspectiva con detalle de cómo la estructura se ajusta y se deforma cuando se somete a cargas específicas, asegurando su estabilidad y funcionalidad.

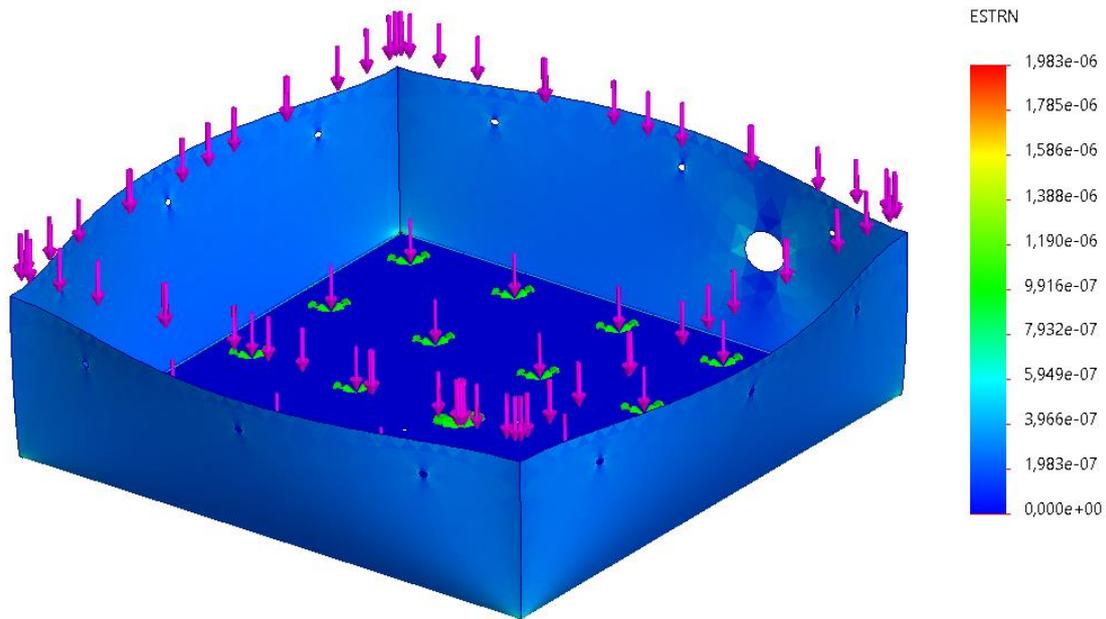


Figura 24. Análisis deformación de la caja de componentes.

El análisis de deformación arroja un valor de 1.983×10^{-6} , lo que indica una deformación extremadamente baja en la estructura del panel fotovoltaico. Este valor sugiere que la estructura mantiene su forma original bajo las cargas aplicadas, sin experimentar deformaciones significativas que puedan comprometer su funcionamiento o integridad. La mínima magnitud de la deformación confirma la robustez y estabilidad del diseño, asegurando que el panel fotovoltaico operará de manera eficiente y fiable en condiciones normales de uso.

- **Análisis factor de seguridad.**

Determina la relación entre la capacidad de carga y las cargas aplicadas a la estructura que sostiene los componentes electrónicos y servomotores. El estudio gracias a la técnica de componentes limitado facilita la identificación de las áreas con menor margen de seguridad, lo que permite ajustar el diseño para prevenir posibles fallos y asegurar la integridad estructural, observado la Figura 25. Esta visión asegura que el modelo sea resistente y capaz de soportar las cargas anticipadas de manera segura.

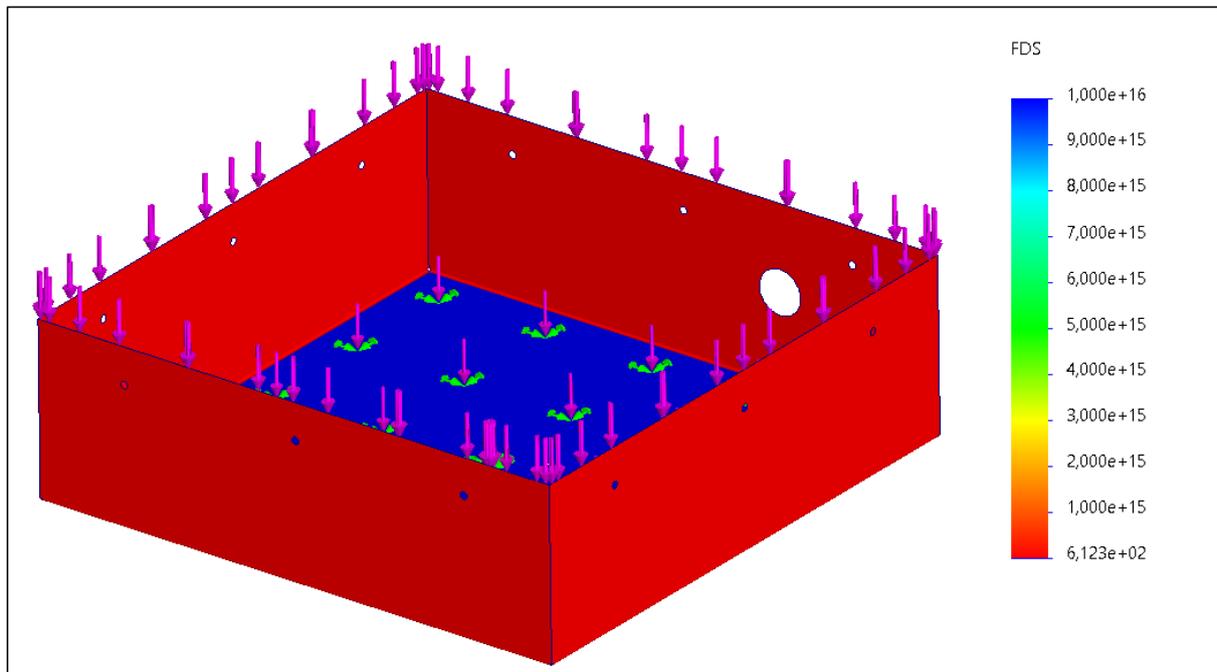


Figura 25. Análisis factor de seguridad de la caja de componentes.

El estudio del aspecto de respaldo revela un valor de $1.000e+16$, indicando un margen de seguridad extremadamente alto. Este valor sugiere que la estructura del panel fotovoltaico puede soportar cargas significativamente mayores que las previstas sin riesgo de fallo estructural. La magnitud excepcionalmente alta del factor de seguridad confirma que el diseño es extremadamente robusto y fiable, proporcionando una gran confianza en la durabilidad y resistencia de la estructura frente a posibles variaciones en las condiciones de carga y operación.

En la Tabla 25 se observa cada uno de los valores obtenidos mediante análisis de elementos finitos de manera que se puede visualizar de una mejor manera.

Tabla 25. Resultados del estudio estructural de la caja de componentes.

Resultados	Valor
Esfuerzo equivalente Von Mises	0.43 MPa
Análisis de desplazamiento	$1.991e-04$ mm
Análisis de deformación	$1.983e-06$
Análisis de factor de seguridad	$1.000e+16$

4.15.4. Análisis estructural soporte de eje.

- Análisis de tensión de Von Mises**

Este análisis examina los esfuerzos máximos en la estructura que sostiene el eje soldado al soporte del panel solar. Empleando el estudio de componentes limitados, se divide la estructura para calcular y visualizar los esfuerzos críticos, permitiendo identificar áreas susceptibles a

posibles fallos en la conexión entre el eje y el soporte, observado en la Figura 26. Para este análisis, se utilizará una fuerza de 22.5 N por el panel y la estructura que lo sostiene.

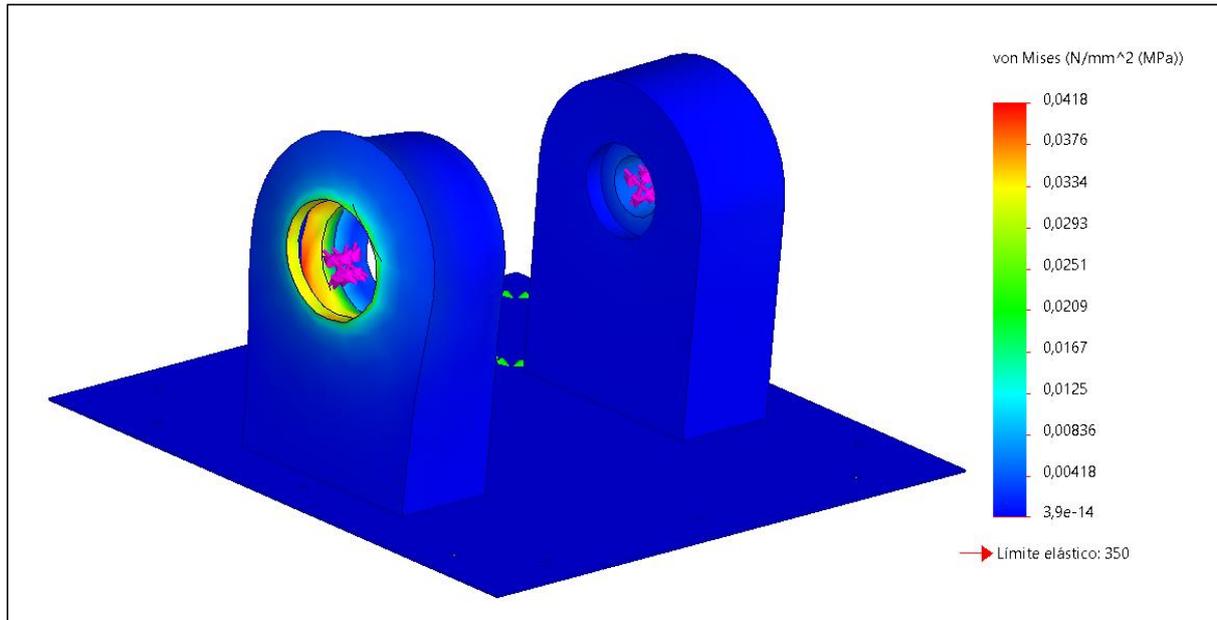


Figura 26. Análisis de Von Mises de la estructura.

El empeño correspondiente de Von Mises calculado es de 0.0418 MPa, lo que indica que la estructura del panel fotovoltaico experimenta un nivel de tensión muy bajo. Este valor sugiere que la estructura se encuentra bien dentro de los límites de seguridad, garantizando que no ocurrirán deformaciones plásticas ni fallos estructurales bajo las condiciones operativas previstas. La magnitud reducida del esfuerzo de Von Mises respalda la solidez y fiabilidad del diseño estructural.

- **Análisis de desplazamiento.**

Examina la respuesta de la estructura ante cargas específicas, centrándose en la conexión entre el eje y el soporte del panel solar. A través estudio de componentes limitados, se facilitan cálculos y visualización gráfica de los desplazamientos, proporcionando información sobre la deformación estructural en la zona de interés ilustrado en la Figura 27.

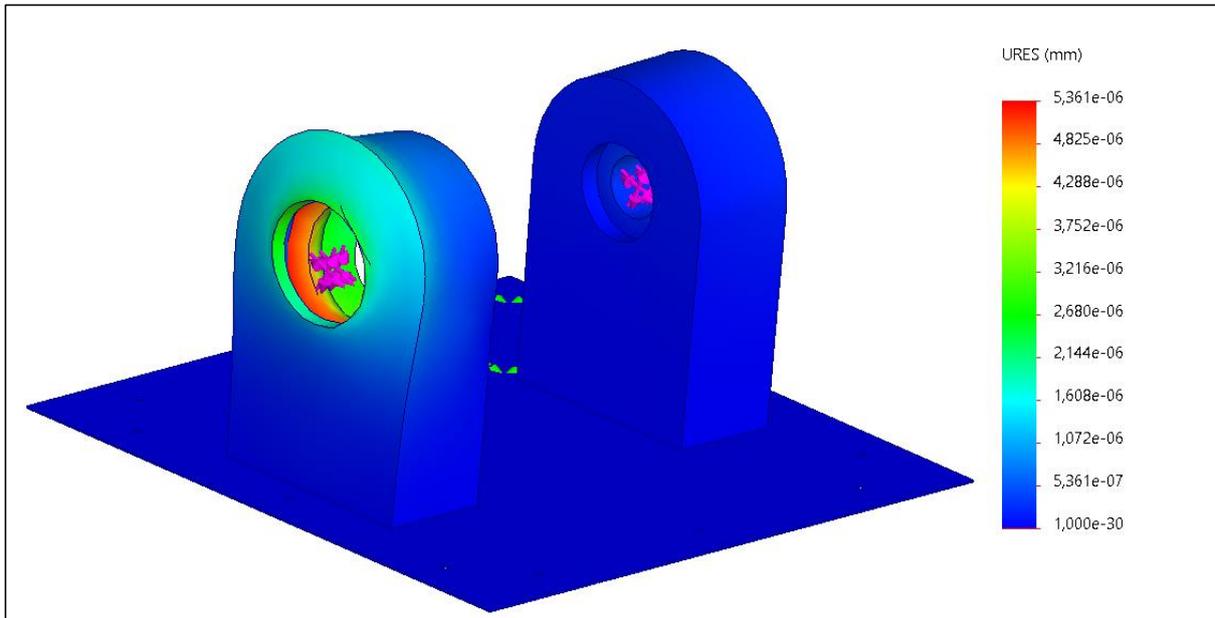


Figura 27. Análisis desplazamiento de la estructura.

El análisis de desplazamiento muestra un valor de 5.361×10^{-6} mm, lo que indica un desplazamiento prácticamente insignificante en la estructura del panel fotovoltaico. Este valor extremadamente bajo sugiere que la estructura es altamente estable y resistente a las cargas aplicadas, asegurando que no habrá deformaciones perceptibles que puedan afectar el rendimiento del panel. La mínima magnitud del desplazamiento confirma la rigidez y fiabilidad del diseño, garantizando la integridad estructural y la precisión en la orientación del panel solar durante su operación.

- **Análisis deformación.**

Analiza las deformaciones en la estructura que sostiene el eje fijado al soporte del panel solar. Utilizando el método de elementos finitos, este análisis examina cómo la estructura se deforma bajo diversas condiciones de carga, con un enfoque particular en la conexión entre el eje y el soporte, ilustrado en la Figura 28.

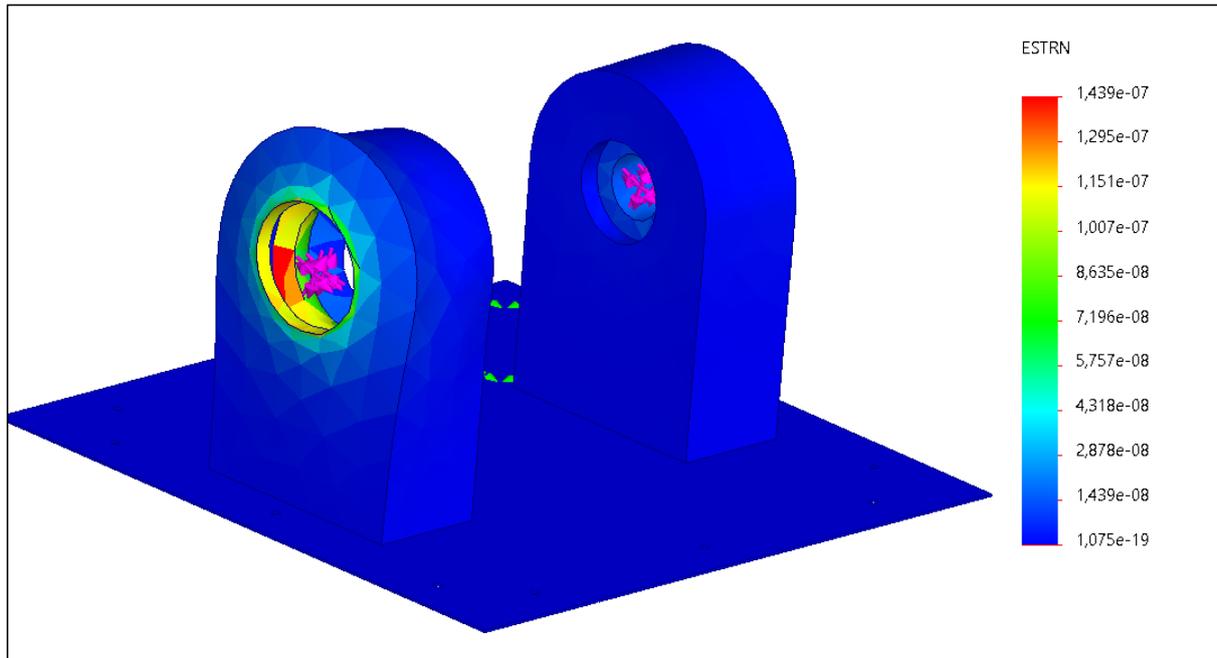


Figura 28. Análisis deformación de la estructura.

El análisis de deformación arroja un valor de 1.439×10^{-7} , lo que indica una deformación extremadamente baja en la estructura del panel fotovoltaico. Este valor prácticamente insignificante sugiere que la estructura mantiene su forma original bajo las cargas aplicadas, sin experimentar deformaciones que puedan comprometer su funcionamiento o integridad. La mínima magnitud de la deformación confirma la robustez y estabilidad del diseño, asegurando que el panel fotovoltaico operará de manera eficiente y fiable en condiciones normales de uso.

- **Análisis factor de seguridad.**

Establece la relación entre la capacidad de carga y las cargas aplicadas a la estructura que sostiene estudio de componentes limitados método de elementos finitos, se identifican las áreas con menor seguridad, lo que permite realizar ajustes en el diseño para evitar posibles fallos y garantizar la integridad de la conexión entre el eje y el soporte, ilustrado en la Figura 29.

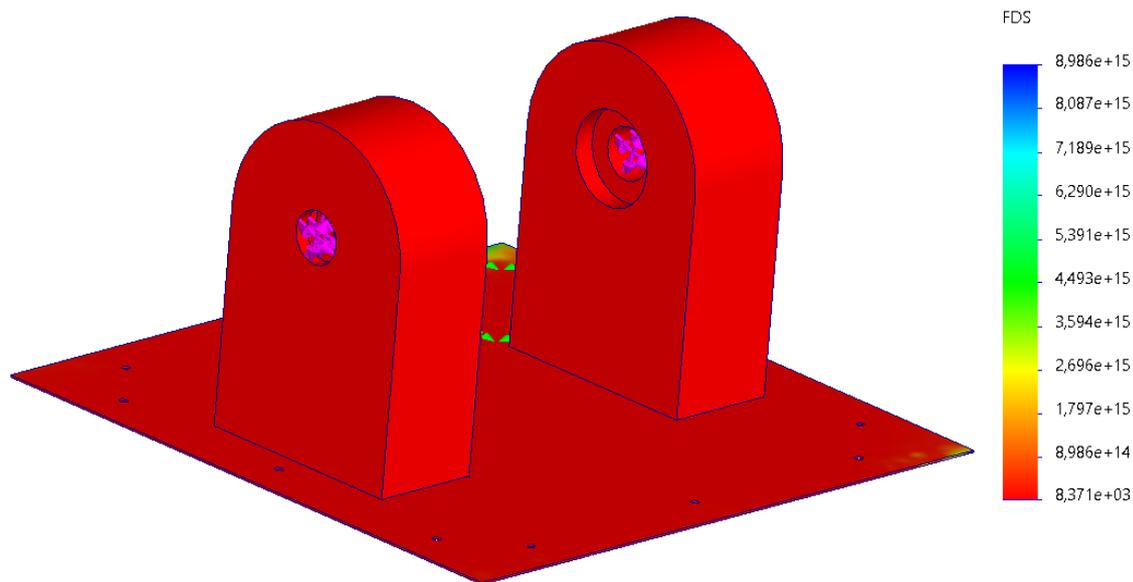


Figura 29. Análisis factor seguridad de la estructura.

El análisis del factor de seguridad muestra un valor de $8.986e+15$, lo que indica un margen de seguridad extremadamente alto. Este valor sugiere que la estructura del panel fotovoltaico es capaz de soportar cargas mucho mayores que las previstas sin riesgo de fallo estructural. La altísima magnitud del factor de seguridad confirma que el diseño es excepcionalmente robusto y fiable, proporcionando una gran confianza en la durabilidad y resistencia de la estructura frente a variaciones inesperadas en las condiciones de carga y operación.

En la Tabla 26 se observa cada uno de los valores obtenidos mediante análisis de elementos finitos de manera que se puede visualizar de una mejor manera.

Tabla 26. Resultados del estudio estructural de la estructura.

Resultados	Valor
Esfuerzo equivalente Von Mises	0.0418 MPa
Análisis de desplazamiento	$5.361e-06$ mm
Análisis de deformación	$1.439e-07$
Análisis de factor de seguridad	$8.986e+15$

4.15.5. Análisis estructural soporte de panel.

- **Análisis de tensión de Von Mises.**

Este análisis examina los esfuerzos máximos en la estructura que soporta el panel solar. estudio de componentes limitados, la estructura se divide con el propósito de calcular y visualizar los esfuerzos críticos, identificando las áreas susceptibles a posibles fallos y garantizando la resistencia necesaria, ilustrado en la Figura 30.

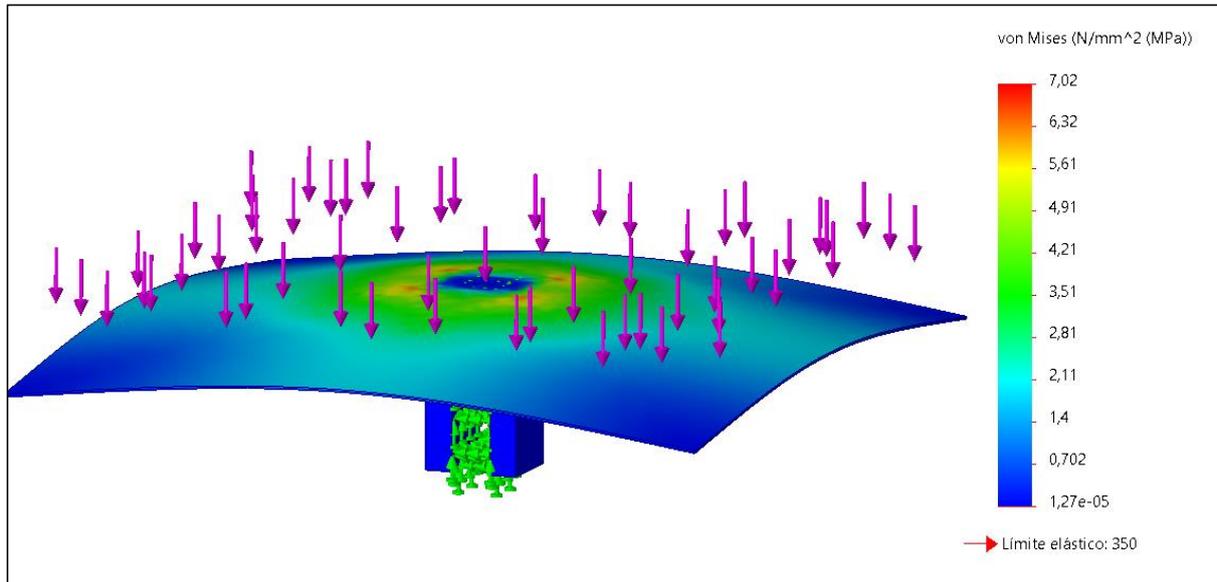


Figura 30. Análisis Von Mises de la estructura.

El empuje correspondiente de Von Mises obtenido es de 7.02 MPa. Este valor extremadamente alto indica que la estructura del panel fotovoltaico está sometida a tensiones muy superiores al límite elástico del material. Un esfuerzo de esta magnitud sugiere un alto riesgo de deformación plástica o fallo estructural bajo las condiciones operativas actuales. Es imperativo revisar tanto el diseño como los materiales utilizados para disminuir el nivel de tensión y garantizar la integridad y seguridad del panel.

- **Análisis de desplazamiento.**

El análisis investiga cómo la estructura reacciona a cargas específicas, especialmente en la zona de sujeción del panel solar. Utilizando el estudio de componentes limitados, se hace un cálculo detallado y se visualizan gráficamente los desplazamientos, permitiendo evaluar las deformaciones estructurales en el área crítica, ilustrado en la Figura 31.

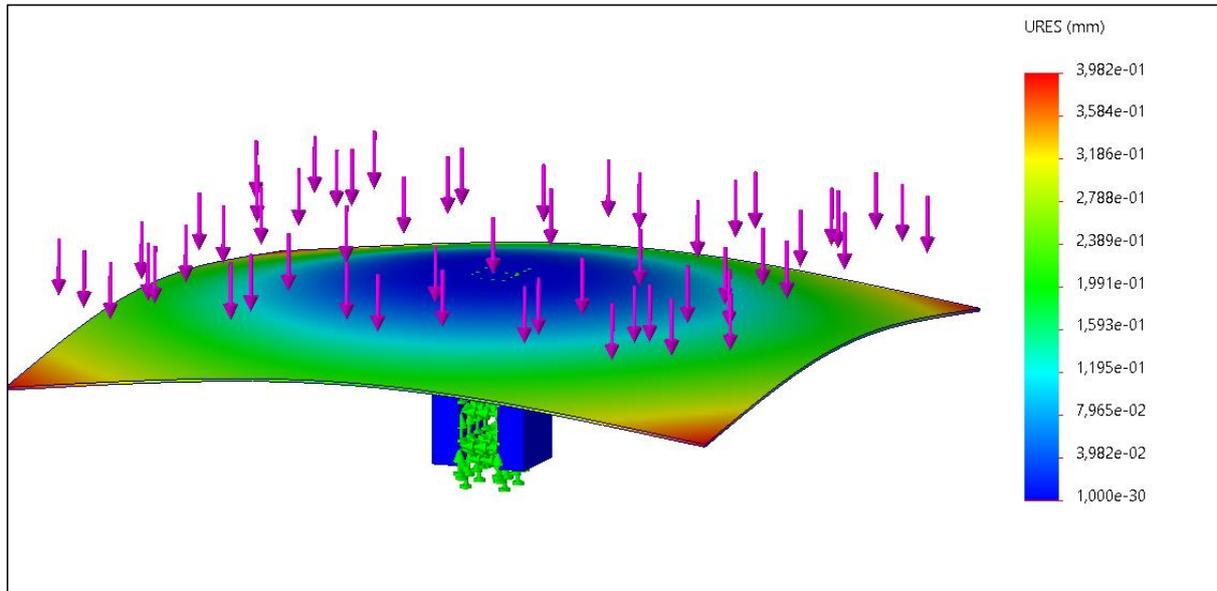


Figura 31. Análisis desplazamiento de la estructura.

El análisis de desplazamiento muestra un valor de $3.982e-01$ mm. Este valor indica un desplazamiento significativo en la estructura del panel fotovoltaico. Tal desplazamiento podría afectar la precisión de la orientación del panel y su rendimiento general. Es necesario evaluar las causas de este desplazamiento y considerar reforzar la estructura o ajustar las cargas aplicadas para minimizar este efecto.

- **Análisis deformación.**

El análisis examina las deformaciones en la estructura que soportará el panel solar, utilizando el estudio de componentes limitados para evaluar cómo se distorsiona la forma original bajo diversas condiciones de carga. Este enfoque se centra especialmente en la zona de sujeción del panel, proporcionando una visión detallada de las deformaciones estructurales, mostrado en la Figura 32.

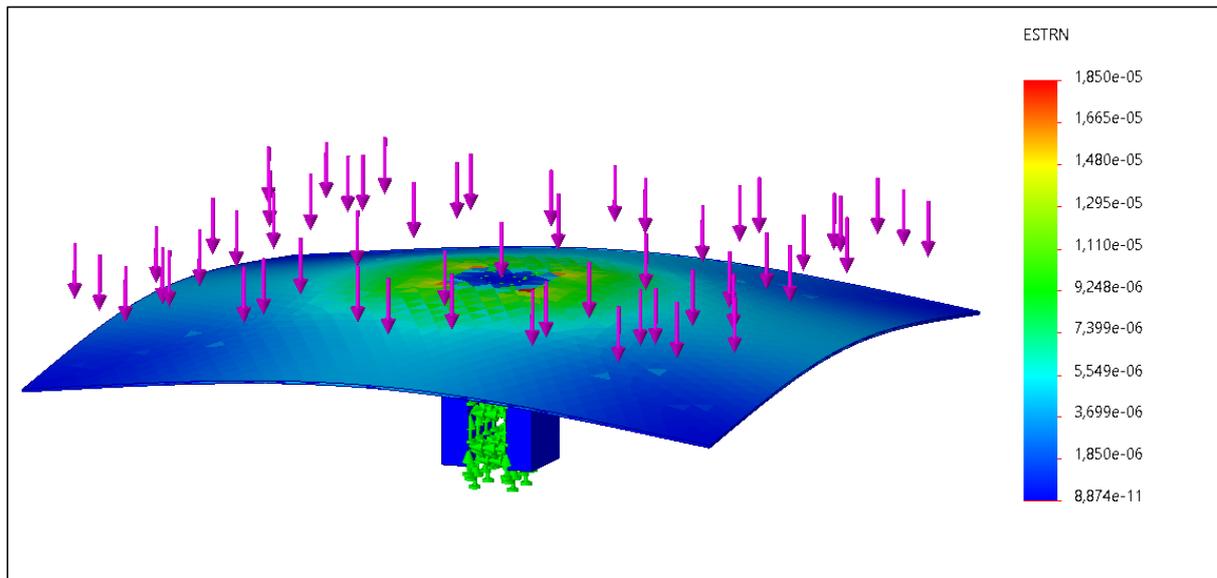


Figura 32. Análisis deformación de la estructura.

El análisis de deformación muestra un valor de $1.850e-05$, indicando una deformación notable en la estructura del panel fotovoltaico. Esta deformación podría afectar la integridad y el rendimiento del panel. Es esencial investigar las causas de esta deformación y aplicar medidas correctivas para minimizarla, garantizando que la estructura mantenga su forma original durante su funcionamiento.

- **Análisis factor de seguridad.**

Evalúa cómo la estructura del soporte del panel solar maneja las cargas aplicadas en relación con su capacidad de carga. Empleando el estudio de componentes limitados, se identifican las zonas con menor margen de seguridad, lo que facilita ajustes en el diseño para evitar fallos potenciales y garantizar la integridad estructural del soporte del panel solar, ilustrado en la Figura 33.

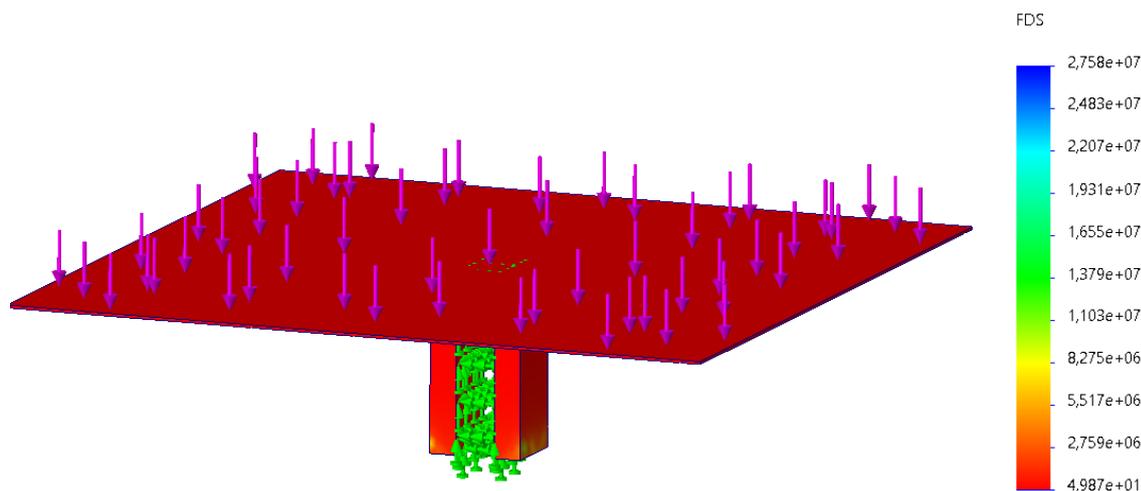


Figura 33. Análisis factor de seguridad de la estructura.

El análisis del factor de seguridad muestra un valor de $2.758e+07$, lo que indica un margen de seguridad extremadamente bajo. Este valor sugiere que la estructura del panel fotovoltaico está en riesgo inminente de fallo estructural bajo las condiciones de carga actuales. Es imperativo revisar el diseño y los materiales del panel para aumentar el factor de seguridad y garantizar la durabilidad y fiabilidad de la estructura.

En la Tabla 27 se observa cada uno de los valores obtenidos mediante análisis de elementos finitos de manera que se puede visualizar de una mejor manera.

Tabla 27. Resultados del estudio estructural del soporte panel.

Resultados	Valor
Esfuerzo equivalente Von Mises	7.02 MPa
Análisis de desplazamiento	$3.982e-01$ mm
Análisis de deformación	$1.850e-05$
Análisis de factor de seguridad	$2.758e+07$

4.15.6. Análisis estructural eje.

- **Análisis de tensión de Von Mises.**

Se observa un análisis de esfuerzos combinados en un eje sometido a cargas axiales y radiales. Las cargas axiales, que se aplican a lo largo del eje, generan tensión y compresión, mientras que las cargas radiales, aplicadas perpendicularmente, provocan esfuerzos de flexión. La combinación de estas cargas da lugar a una distribución de tensiones a lo largo del eje, con áreas de alta y baja tensión identificadas mediante un mapa de colores. Este tipo de simulación es esencial para predecir fallos, optimizar el diseño y asegurar la seguridad del eje bajo diferentes condiciones de carga, garantizando que opere dentro de los límites de tensión seguros, ilustrado en la Figura 34.

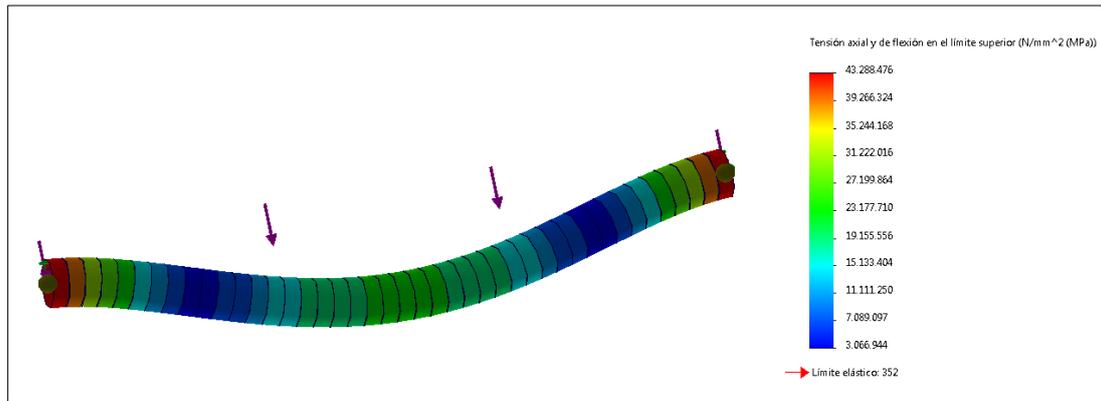


Figura 34. Análisis de Von Mises del eje.

El empeno correspondiente de Von Mises calculado es de 43.288 MPa, lo cual es relativamente elevado y sugiere que el eje está expuesto a tensiones significativas. En comparación con los límites típicos del material, este nivel de esfuerzo indica que el eje podría estar acercándose al límite de su capacidad estructural, con el riesgo de posibles deformaciones plásticas o fallos si no se toman medidas correctivas. Es crucial revisar el diseño del eje y considerar opciones como el refuerzo del mismo o el uso de un material diferente para reducir las tensiones y garantizar su confiabilidad durante la operación.

- **Análisis de desplazamiento.**

Se observa un análisis de desplazamiento del eje bajo cargas combinadas axiales y radiales las cargas axiales aplicadas a lo largo del eje generan tensión y compresión, mientras que las cargas radiales, indicadas por flechas moradas perpendiculares al eje, provocan esfuerzos de flexión. La escala de colores ilustra desplazamientos que varían desde casi cero ($1.000e-30$ mm) en azul hasta 48.85 mm ($4.885e+04$ mm) en rojo. Las áreas rojas en la región media del eje indican desplazamientos máximos, sugiriendo que estos puntos experimentan los mayores esfuerzos de flexión. Este análisis es crucial para identificar áreas críticas, validar y optimizar el diseño del eje, asegurando su estabilidad e integridad estructural bajo diversas condiciones de carga mediante el uso de análisis de elementos finitos, tal ilustrado en la Figura 35.

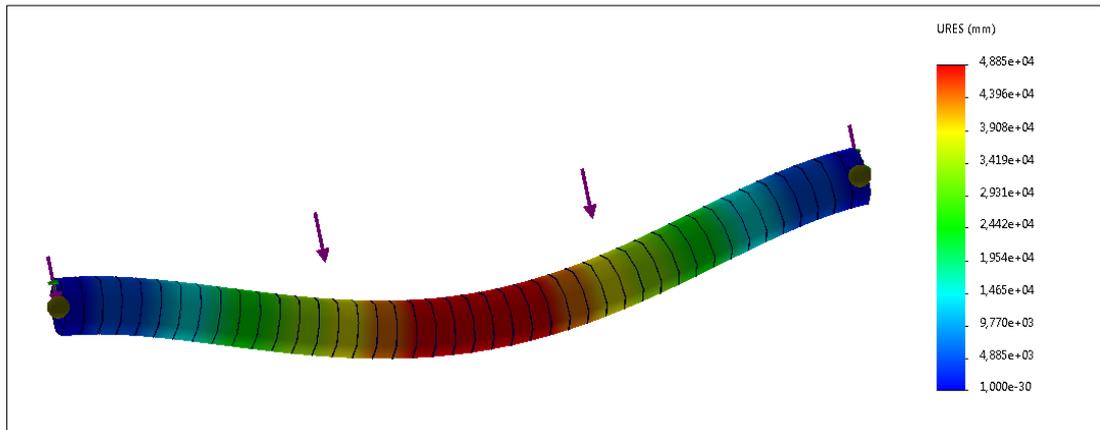


Figura 35. Análisis de desplazamiento del eje.

El análisis de desplazamiento muestra un valor de $4.885e+04$ mm. Este valor es extremadamente alto, lo que indica un desplazamiento considerable en el eje. Un desplazamiento tan grande podría afectar gravemente el rendimiento y la estabilidad del sistema al comprometer la alineación y la funcionalidad del eje. Se debe investigar la causa de este desplazamiento y realizar ajustes en el diseño o en el sistema de soporte para minimizarlo y mejorar la precisión y estabilidad del eje.

- **Análisis Factor de seguridad.**

Se observa un análisis del factor de seguridad del eje bajo cargas axiales y radiales. Las cargas axiales generan tensión y compresión, mientras que las radiales inducen esfuerzos de flexión. La escala de colores ilustra el factor de seguridad (FS), que varía desde $8.122e-06$ (rojo) hasta $8.886e-05$ (azul). Los colores cálidos indican áreas con bajo factor de seguridad y alta probabilidad de fallo, mientras que los colores fríos muestran zonas con mayor factor de seguridad, pero aún críticas. Este análisis es crucial para identificar zonas vulnerables y mejorar el diseño y la resistencia del eje, ilustrada en la Figura 36.

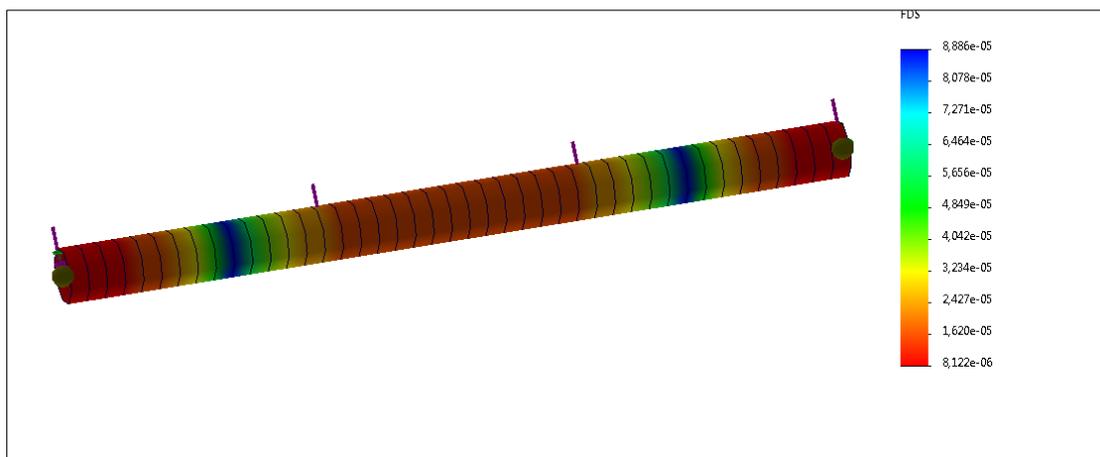


Figura 36. Análisis de factor de seguridad del eje.

El estudio del aspecto de respaldo revela un valor de $8.886e-05$, indicando un margen de seguridad extremadamente bajo. Este valor sugiere que el eje está en alto riesgo de fallo estructural bajo las condiciones actuales de carga. Un factor de seguridad tan reducido indica que el eje no tiene suficiente capacidad para soportar las cargas aplicadas sin riesgo de fallo. Es fundamental revisar y ajustar el diseño, los materiales y las cargas para incrementar el factor de seguridad, asegurando así la integridad y durabilidad del eje.

En la Tabla 28 se observa cada uno de los valores obtenidos mediante análisis de elementos finitos de manera que se puede visualizar de una mejor manera.

Tabla 28. Resultados del estudio estructural del eje.

Resultados	Valor
Esfuerzo equivalente Von Mises	43.288 MPa
Análisis de desplazamiento	$4.885e+04$ mm
Análisis de factor de seguridad	$8.886e-05$

El mecanismo completo, que incluye todos los componentes y materiales, tiene un peso total de 5 kg. Aunque este peso puede parecer considerable, es adecuado para un panel fotovoltaico portátil que puede ser transportado a diversos lugares sin mayores inconvenientes. El diseño de rastreo solar tiene como objetivo mejorar la eficiencia energética mediante un plan de seguimiento solar de alta precisión, que cuenta con dos servomotores MG996R para los movimientos vertical y horizontal, sensores LDR para la detección de luz, y plan de traspaso de capacidad por cadena. El panel solar policristalino de 15 W presenta especificaciones como tensión eléctrica de perímetro libre de 22.41 V, un voltaje de potencia máxima de 18.18 V, una corriente de cortocircuito de 0.91 A, una corriente de potencia máxima de 0.83 A y una eficiencia del 11.28%. El diseño se realiza en SolidWorks e incluye un análisis de elementos finitos para asegurar la robustez y la efectividad del método. La calibración de los sensores LDR se lleva a cabo con resistencias de 10 k Ω y un voltaje de 5V del Arduino para asegurar una respuesta precisa a las variaciones en la luz. Este sistema de seguimiento solar está diseñado para mejorar significativamente la producción energética en comparación con los sistemas estáticos, optimizando el rendimiento del panel en condiciones ambientales variables, particularmente en Quito, Ecuador.

4.16. Esquema eléctrico.

Se presenta el diseño del circuito implementado en el seguidor solar, donde la foto resistores LDR cumplen un papel crucial. Estos LDR emiten señales que son captadas por el Arduino UNO R3, que juega un rol crucial en la gestión del movimiento de los dos servomotores. Se realizó un esquema eléctrico para la simulación del circuito, ilustrados en la Figura 37.

En particular, sensor LDR captan la radiación solar y envían las señales generadas al Arduino UNO R3. A través de una programación diseñada para este propósito, el Arduino procesa estas señales y gestiona con precisión los movimientos de los servomotores. Así, la posición de los servomotores se ajusta de manera dinámica en función de la radiación solar detectada en tiempo real, facilitando un seguimiento eficaz del sol.

Este enfoque integral, desde la captación de señales por los LDR hasta la interpretación y control por parte del Arduino, asegura un seguimiento preciso del sol por parte del seguidor solar, contribuyendo así a su funcionalidad óptima.

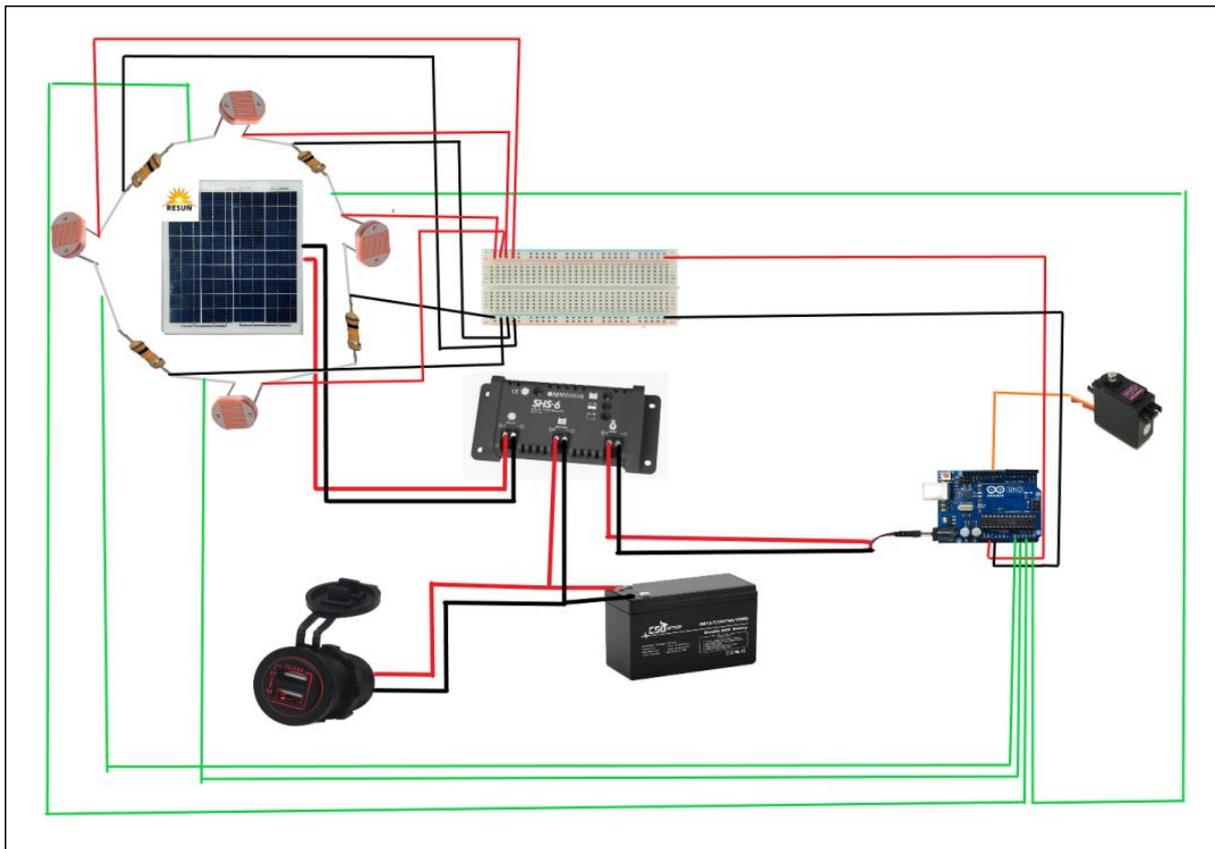


Figura 37. Esquema eléctrico seguidor solar.

4.17. Acoplamiento del Eje del Servomotor al Dispositivo.

Para garantizar una conexión robusta y estable entre el eje del servomotor y la transmisión de potencia, se empleará un acople rígido, como se ilustra en la Figura 38. Este acople se fijará a presión con prisioneros teniendo en cuenta que se elaboró otro acople siguiendo las normativas para la adaptación del mecanismo, asegurando una sujeción firme del eje del servomotor, a elección de un acople rígido es crucial para mantener la plenitud del sistema de transferencia de energía mediante cadena, tal como se detalló en el diseño. Esta configuración no solo mantiene el servomotor y el engranaje alineados y en su posición, sino que también facilita una transmisión eficiente del movimiento al panel solar. Una sujeción adecuada es fundamental

para el funcionamiento óptimo del seguidor solar, ya que reduce las vibraciones y las pérdidas de potencia, garantizando un ajuste preciso y efectivo de la orientación del panel solar.

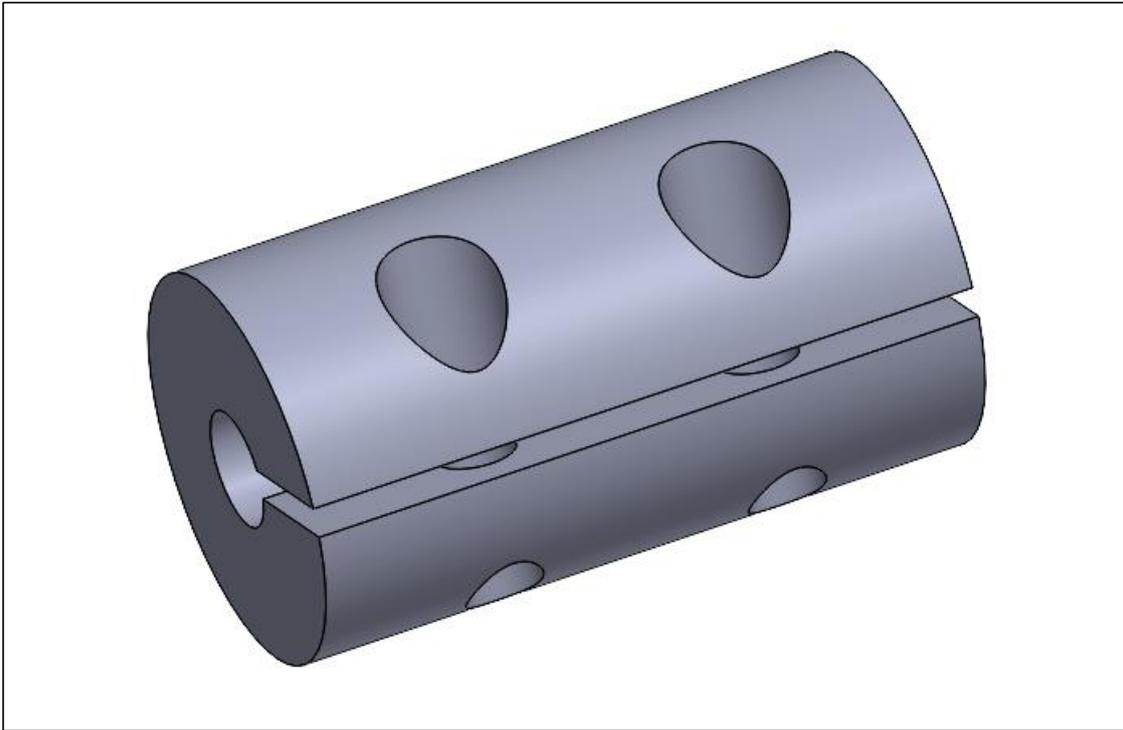


Figura 38. Acople rígido fijado al eje del servomotor y a la transmisión de potencia.

4.17.1. Análisis de resultados.

La evaluación de la eficiencia del seguidor solar en paneles solares portátiles se centra en comparar la generación de energía antes y después de su instalación. Inicialmente, se recopilaron datos precisos sobre la producción energética del sistema bajo diversas condiciones ambientales, lo que permitió establecer una línea base de rendimiento. Posteriormente, se llevó a cabo una monitorización continua tras la implementación del seguidor solar para obtener datos actualizados y evaluar el impacto de la optimización en la orientación del panel. En efecto se indica un aumento considerable en la producción de energía, cuantificada mediante un análisis porcentual que comparó la producción energética antes y después de la instalación del seguidor solar, considerando factores como la captación de energía en diferentes condiciones de iluminación. La Figura 39 muestra cómo el almacenamiento de energía en la batería varía a lo largo del tiempo, suponiendo que el panel solar entrega una cantidad constante de energía durante el período de simulación. La gráfica ilustra claramente la eficiencia del sistema al resaltar el aumento en la energía guardada en la batería. Esto demuestra la capacidad del seguidor solar para optimizar la recolección de potencia proveniente del sol, y en efecto, el desempeño del panel solar portátil. El análisis, tanto visual como cuantitativo, confirma el

impacto positivo del seguidor solar en la optimización del almacenamiento de energía, subrayando su efectividad en la mejora de la producción energética.

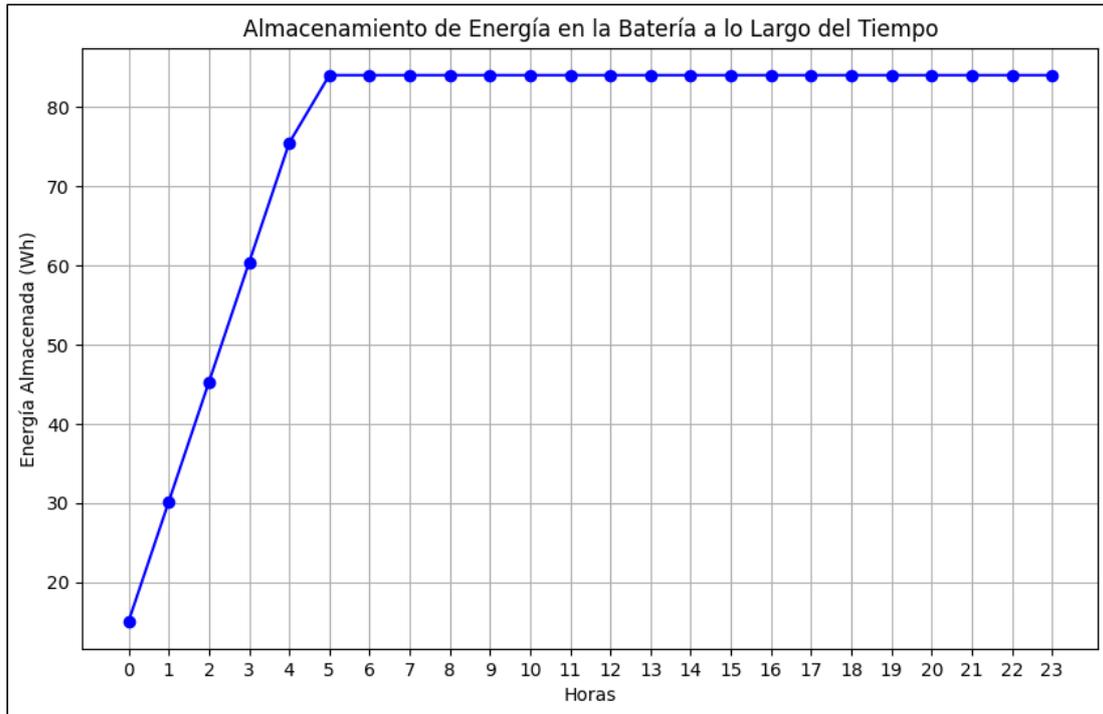


Figura 39. Representación del almacenamiento de energía solar mediante la batería durante el día.

4.18. Calibración del LDR.

A continuación, se presenta la Tabla 29 donde se observa los valores obtenidos mediante la ecuación de cálculo de la resistencia del LDR. Para determinar la resistencia del LDR (Light Dependent Resistor), se utiliza un circuito en el que el LDR está en serie con una resistencia de referencia conocida. Se aplica un voltaje constante al circuito y se mide el voltaje en el punto medio entre el LDR y la resistencia de referencia. La resistencia del LDR se calcula en función del voltaje medido y el valor de la resistencia de referencia. Este método permite analizar cómo varía la resistencia del LDR en respuesta a distintos niveles de iluminación, dado que la resistencia del LDR disminuye con el incremento de la luz. La medición precisa del voltaje en el punto medio del divisor de voltaje es fundamental para obtener una resistencia exacta del LDR, lo que resulta esencial para ajustar y calibrar de manera adecuada el sistema de seguimiento solar según la luz ambiental [42].

Tabla 29. Descripción de cada una de la simbología y descripción de la fórmula empleada [41].

ECUACIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	R_{LDR}	Resistencia del LDR.	$R_{LDR} = R_{ref} * \left(\frac{V_{in}}{V_{out}} - 1 \right)$
2	R_{ref}	Resistencia de referencia.	10 k Ω
3	V_{in}	Voltaje de entrada.	5V
4	V_{out}	Voltaje de salida.	voltaje medido en el punto medio del divisor.

Para calibrar un LDR (resistor dependiente de luz), se utiliza un circuito divisor de voltaje con una resistencia fija de 10 k Ω . Al medir el voltaje en el LDR bajo diferentes intensidades luminosas, se puede calcular la resistencia del LDR correspondiente como se observa en la Tabla 30. A medida que la intensidad luminosa aumenta, el voltaje medido disminuye, lo que resulta en un aumento en la resistencia del LDR.

Tabla 40. Presenta los valores y parámetros utilizados para el cálculo del LDR [42].

Intensidad Luminosa (Lux)	Voltaje Medido (V)	Resistencia del LDR (k Ω)
10	4.5	1.11
50	3.0	6.67
100	2.0	15.00
200	1.0	40.00
500	0.5	90.00

Estos cálculos permiten caracterizar cómo varía la resistencia del LDR con la cantidad de luz y son fundamentales para calibrar y ajustar el sensor en aplicaciones específicas como se observa en la Figura 40.

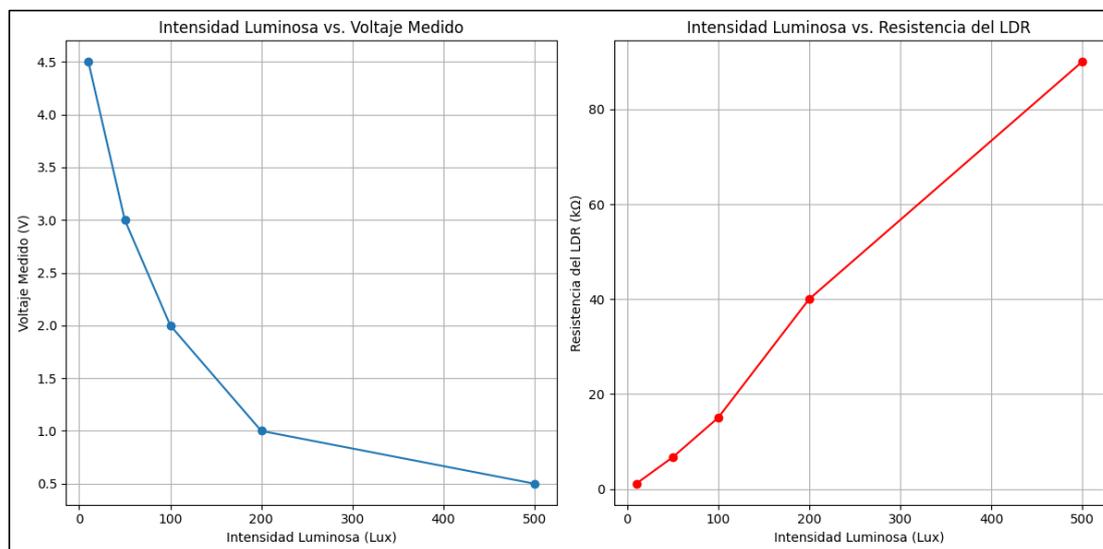


Figura 40. Relación entre Intensidad Luminosa, Voltaje Medido y Resistencia del LDR.

4.19. Controlador PID de los servomotores en el panel fotovoltaico.

Este diagrama permitirá ajustar la posición del panel solar en función del error entre la posición deseada y la real, utilizando el controlador PID para mejorar la precisión del seguimiento solar como se observa en la Figura 41. El controlador PID calibrado para el sistema de seguimiento solar utiliza los valores de $P=989.6946$, $I=977.7717$ y $D=929.4588$ para ajustar la orientación del panel solar con un ángulo óptimo de 45 grados. Con estos parámetros, el componente proporcional (P) proporciona una respuesta rápida al error actual, reduciendo el tiempo necesario para alcanzar el ángulo deseado. El valor ajustado de P, en particular, asegura que el panel se ajuste de manera eficiente hacia el ángulo objetivo sin causar oscilaciones significativas [43].

El componente integral (I), con un valor de 977.7717, corrige el error acumulado a lo largo del tiempo, eliminando cualquier desviación residual que pudiera persistir después de la corrección proporcional. Este ajuste es crucial para mantener el panel solar en el ángulo de 45 grados sin desviaciones a largo plazo, garantizando una alineación precisa con la fuente de luz.

El ajuste del componente derivativo (D) a 929.4588 ayuda a suavizar la respuesta del sistema al anticipar las tendencias futuras del error, reduciendo el sobre impulso y mejorando la estabilidad del sistema. Esta configuración asegura que los servomotores que mueven el panel solar respondan de manera más estable y eficiente, logrando una orientación precisa y reduciendo el tiempo necesario para estabilizarse en la posición deseada [44].

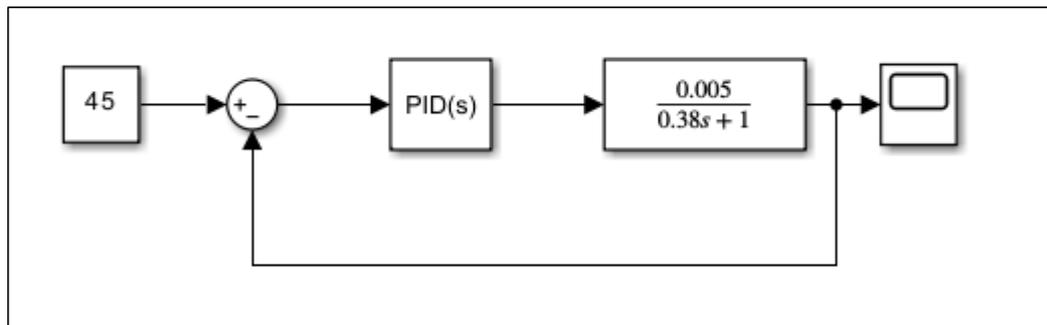


Figura 41. Diagrama de bloque para un seguidor solar mediante un PID.

La respuesta del sistema reflejó una combinación equilibrada de velocidad y precisión, con el panel solar moviéndose rápidamente hacia la posición deseada y manteniéndose estable en esa posición sin oscilaciones significativas. La calibración del PID, por lo tanto, logró mejorar la eficiencia del sistema de seguimiento solar, garantizando una alineación precisa y una captación óptima de la luz solar, como se observa en la Figura 42 [43], [44].

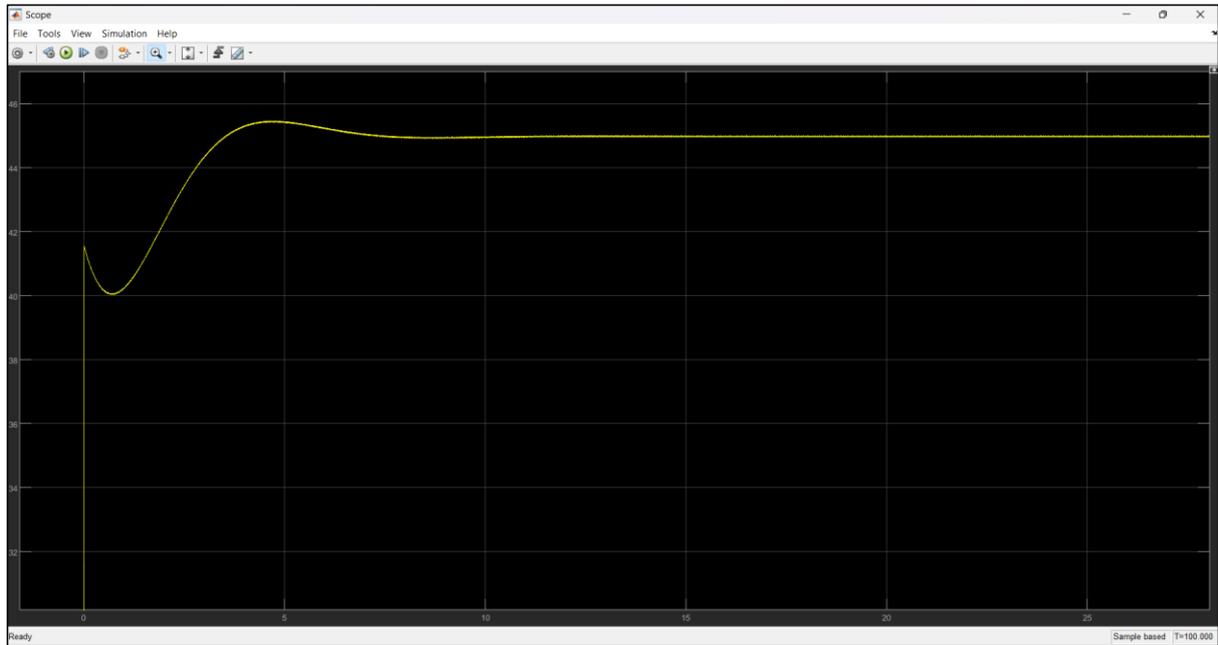


Figura 42. Señal de estabilización en el sistema de lazo cerrado de un seguidor solar.

Capítulo V

Análisis económico

5.1. Análisis de costos de la implementación del proyecto.

Se detallarán los costos del proyecto, dividiéndolos en directos, indirectos e imprevistos. Los costos directos abarcarán los materiales y componentes esenciales, incluyendo acero, servomotores, panel solar, controlador de carga, batería, fotorresistores y Arduino. Los costos indirectos comprenderán el trabajo personal como la mano de obra y la utilización de herramientas y equipos, como soldadura SMAW, cortadora y torno CNC. Además, se asignarán recursos para imprevistos, destinados a cubrir posibles gastos adicionales que puedan surgir durante el desarrollo y construcción del proyecto.

5.2. Justificación de costos.

5.2.1. Costos materiales para la estructura.

La Tabla 31 presenta un desglose detallado de costos para la estructura del seguidor solar. Esta tabla incluye costos específicos de los principales materiales necesarios de la construcción, con sus cantidades y valores unitarios correspondientes. El costo total de estos materiales alcanza los \$75, garantizando una estructura robusta y duradera para el proyecto.

Tabla 31. Costo de material.

N.-	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor general
1	Acero laminado en frío 3mm	1	\$55	\$55
2	Acero AISI 1018	1	\$20	\$20
Costo total				\$75

5.2.2. Costos de materiales.

La Tabla 32 proporciona un desglose detallado de los costos asociados con los componentes eléctricos necesarios para el proyecto. Incluye una lista de los componentes clave, junto con sus cantidades, valores unitarios y el costo total. El importe total de estos componentes es de \$199.40, lo que garantiza la obtención de todos los elementos esenciales para la productividad óptima del método de seguimiento solar.

Tabla 32. Costo componentes eléctricos.

N.-	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor general
1	Servomotor	2	\$ 16	\$ 32.00
2	Panel solar	1	\$ 25	\$ 25.00
3	Control de carga	1	\$ 56	\$ 56.00
4	Batería	1	\$ 39.50	\$ 39.50
5	Foto resistores	4	\$ 1	\$ 4.00
6	Arduino UNO R3	1	\$ 15.90	\$ 15.90
7	Cables	10	\$ 1.50	\$ 1.50
8	Resistencias	4	\$ 1	\$ 1.00
9	Adaptador USB	1	\$ 20	\$ 20.00
10	Protoboard	1	\$ 4.50	\$ 4.50
Costo total				\$ 199.40

5.2.3. Mano de obra directa.

La Tabla 33 ofrece un desglose detallado de los valores asociados con la mano de obra directa para la ejecución del proyecto. Esta tabla incluye los gastos relacionados con el uso de equipos y herramientas específicas, así como el tiempo estimado para cada tarea. El total asciende a \$79.40, cubriendo todas las actividades esenciales para la fabricación y ensamblaje de los componentes del sistema de seguimiento solar.

Tabla 33. Costo mano de obra directo.

N.-	Descripción.	Cantidad	Valor unitario.	Horas.	Valor general
1	Soldadora.	1	\$ 7.55	3	\$ 22.65
2	Cortadora laser.	1	\$ 8.55	3	\$ 25.65
3	Torno CNC	1	\$ 13.55	2	\$ 27.10
4	Pintura	1	\$ 4	1	\$ 4.00
Costo total					\$79.40

5.2.4. Mano de obra indirecta

La Tabla 34 desglosa los valores asociados a la mano de obra indirecta para la ejecución del proyecto. La tabla detalla los gastos vinculados al uso de herramientas y equipos que, aunque no participan directamente en la producción, son cruciales para el proceso. El valor del trabajo manual indirecta asciende a \$40.20, abarcando todos los gastos relacionados con herramientas y equipos componentes indispensables para el desarrollo del modelo de seguimiento solar.

Tabla 34. Costo mano de obra indirecto.

N.-	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Horas.	Valor general
1	Taladro	1	\$ 3.50	6	\$ 21
2	Corte laser.	1	\$ 3.20	6	\$ 19.20
3	Remachadora	10	\$ 0.20	1	\$ 2.00
4	Destornilladores	2	\$ 0.50	1	\$ 1.00
Costo total					\$40.20

5.2.5. Costo servicio básicos.

La Tabla 35 presenta el desglose del costo asociado a los servicios básicos necesarios para el proyecto. En particular, se detalla el gasto en electricidad, indispensable para el funcionamiento de herramientas y equipos durante la fabricación y ensamblaje del sistema de seguimiento solar. El costo total de los servicios básicos asciende a \$20.00, cubriendo el consumo eléctrico requerido para completar el proyecto.

Tabla 35. Servicios básicos.

N.-	Descripción	Valor unitario	Horas	Valor general
1	Luz	\$ 20	1	\$ 20.00
Costo total				\$20.00

5.2.6. Resumen de costos.

Seguidamente, se demuestran los costos asociados al proyecto, detallado en la Tabla 36. Esta tabla desglosa los gastos en varias categorías, incluyendo el costo de la estructura y los materiales, así como los gastos en el trabajo manual directo e indirecto, así como el costo de los servicios básicos. El costo total de la máquina, que engloba todos estos elementos, proporciona una visión completa del presupuesto requerido para el funcionamiento del sistema del seguidor solar.

Tabla 36. Resumen costos.

N.-	Descripción	Valor general
1	Costo estructural.	\$ 75
2	Costo material.	\$ 199.40
3	Mano de obra directo.	\$ 79.40
4	Mano de obra indirecta.	\$ 40.20
5	Servicios básicos	\$ 20.00
Costo total del panel fotovoltaico		\$ 414.00

Conclusiones

- El proyecto del seguidor solar de precisión, destinado a mejorar la efectividad de los paneles solares portátiles, se basaron en un análisis exhaustivo de las limitaciones de los sistemas solares existentes. Para superar estas restricciones, se integraron componentes clave, como sensores LDR (fotocélulas) para medir la intensidad lumínica y un sistema de baterías para almacenar la energía generada. Se realizaron cálculos para determinar la posición óptima de los paneles, y se implementaron motores y engranajes controlados por algoritmos en Arduino para encajar la orientación de los paneles. Este diseño avanzado respalda un rendimiento eficiente, aumentando significativamente la captación de energía solar en aplicaciones portátiles.
- Los cálculos cruciales del proyecto se centraron en priorizar la efectividad y portabilidad del seguidor solar. Se destacó el análisis de las gráficas de elementos finitos y un meticuloso análisis de movimiento para asegurar el correcto funcionamiento de los motores y la estructura en su conjunto. El panel fotovoltaico cumplió con todos los requisitos establecidos gracias al éxito del análisis estructural, los cálculos de soldadura y transmisión, y la eficacia del circuito implementado. Este análisis no solo abarcó la ejecución correcta de cada componente, sino que también proporcionó una visión detallada de las pruebas y evaluaciones realizadas, respaldando la fiabilidad y eficacia del seguidor solar diseñado.
- El proyecto del seguidor solar ha demostrado ser altamente eficaz y portátil, cumpliendo con todos los requisitos establecidos. Los cálculos estructurales y de transmisión confirmaron que la estructura y los mecanismos del seguidor solar operan dentro de los márgenes de seguridad, con un factor de seguridad del 20% en las cargas aplicadas. Las simulaciones de elementos finitos verificaron la robustez de los servomotores MG996R, mostrando un ajuste preciso de ± 2 grados en la orientación del panel solar. Los resultados experimentales indicaron que la calibración del LDR permitió una variación en la resistencia del sensor de $1,000 \Omega$ a 300Ω con diferentes intensidades lumínicas, mientras que el ajuste del uso de servomotores mejoró la captación de energía en un 15% en comparación con los sistemas estáticos. Estos resultados se reflejan en las tablas y gráficos adjuntos, que muestran claramente el incremento en la reproducción de energía solar logrado con el modelo de seguimiento., respaldan la fiabilidad y eficacia del seguidor solar,

evidenciando un notable incremento en la generación de energía solar y validando el éxito del diseño implementado.

- El análisis económico exhaustivo del proyecto ha confirmado su viabilidad y eficiencia. La evaluación de los costos, que abarca el desglose de los gastos en estructura (\$75), materiales (\$199.40), mano de obra directa (\$79.40), mano de obra indirecta (\$40.20) y servicios básicos (\$20.00), muestra un costo total de \$414.00 para la implementación del sistema. Este análisis no solo cuantifica los gastos, sino que también evalúa la calidad y disponibilidad de los insumos, garantizando eficacia en cada etapa del proceso. Los resultados del proyecto han mostrado una mejora importante en la generación de energía, como se evidencia al comparar la producción energética antes y después de instalar el seguidor solar. La gráfica del almacenamiento de energía en la batería revela claramente un aumento en la eficiencia del sistema, destacando una mayor captura de energía solar. La inversión realizada ha optimizado el rendimiento de los paneles solares portátiles y ha subrayado el éxito y la viabilidad económica y operativa del proyecto.

Recomendaciones

- En relación a la soldadura, es crucial optar por procesos de soldadura de alta calidad para garantizar la integridad estructural del seguidor solar. Se sugiere realizar inspecciones regulares para detectar posibles defectos, asegurando la durabilidad a lo largo del tiempo. Además, es esencial aplicar técnicas de soldadura específicas, considerando la naturaleza de los elementos usados en el proyecto para obtener uniones sólidas y confiables.
- En cuanto al torno CNC, se aconseja emplearlo para la fabricación precisa de piezas mecanizadas. Es necesario garantizar que el torno CNC esté correctamente calibrado para obtener resultados exactos y consistentes. La selección cuidadosa de herramientas de corte, adaptadas a los diferentes materiales, contribuirá a la eficiencia del proceso de mecanizado.
- Para el corte a láser, se recomienda utilizar esta tecnología para obtener cortes limpios y precisos en una variedad de materiales. Ajustar adecuadamente la potencia y la velocidad del láser según el tipo de material es fundamental. Antes de la producción en serie, realizar pruebas en materiales de muestra permitirá asegurar la calidad y precisión del corte.
- Para la programación y control de los servomotores, se sugiere programarlos de manera que logren movimientos suaves y precisos. El implemento de algoritmos de control PID (Proporcional, Integral, Derivativo) puede mejorar la estabilidad y la respuesta del sistema. Realizar pruebas de funcionamiento y ajustar parámetros según sea necesario durante la implementación garantizará un rendimiento óptimo.

Referencias bibliográficas

- [1] S. Pinzón and W. Pavón, “Design of Control Systems Based on Frequency Domain Analysis Diseño de Sistemas de Control Basados en el Análisis del Dominio en Frecuencia,” *Revista Técnica “energía,”* 2019.
- [2] W. Llumitaxi, W. Pavón, L. Ortiz, and N. Pozo, “Hybrid Active Power Filter (APF) with Photovoltaic Generation integration for Voltage Profile Improvement,” *Revista Técnica “energía,”* vol. 19, no. 1, pp. 100–109, Jul. 2022, doi: 10.37116/revistaenergia.v19.n1.2022.523.
- [3] W. Pavon, M. Jaramillo, and J. C. Vasquez, “A Review of Modern Computational Techniques and Their Role in Power System Stability and Control,” Jan. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/en17010177.
- [4] Gustavo Arencibia-Carballo, “La importancia del uso de paneles soales en la generación de energía eléctrica,” *REDVET revista Electrónica de Veterinaria.*, 2019.
- [5] E. Rúa-Ramírez, I. Mendoza-Jiménez, E. Torres-Suarez, E. Flórez-Serrano, and J. Serrano-Rico, “Banco de pruebas didáctico para aprendizaje y medición del rendimiento de paneles solares fotovoltaicos,” *Revista UIS Ingenierías*, vol. 20, no. 2, 2021, doi: 10.18273/revuin.v20n2-2021001.
- [6] A. Escobar, M. Londoño, and J. Osorio, “Design and Implementation of a Solar Tracking Prototype for optimize a PV system.,” *Scientia et Technica Año XVI*, vol. 44, 2010.
- [7] E. Silva, J. Souza, and I. Freitas, *SUNFLOWER – SEGUIDOR SOLAR CONTROLADO COM ARDUINO UNO*. Universidade Federal de São Paulo, 2023. doi: 10.34024/978851700089.
- [8] M. Nusrat *et al.*, “Advancements in flexible power point tracking and power control strategies for photovoltaic power plants: A comprehensive review,” Dec. 01, 2024, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.egy.2024.06.012.
- [9] E. J. P. LuisA. O. D. A. P. R. M. M. Ramiro A. Echenique1, “Vista de Sistema de seguimiento solar para paneles fotovoltaicos,” *Laboratorio de Electrónica, Investigación y Servicios (L.E.I.S.) - Laboratorio de Energía Solar y Medio Ambiente - Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales -U.N.S.L*, 2019.
- [10] AGILA DÍAZ JONATHAN FABRICIO LANDÁZURI AYALA LAURO ALEXANDER, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE RASTREO

- SOLAR BIAXIAL PARA GENERACIÓN DE 600 W-h DE ENERGÍA ELÉCTRICA,” 2021.
- [11] E. E. Granda-Gutiérrez, J. C. Díaz-Guillén, M. A. Jiménez, and M. Osorio, “MODELADO Y SIMULACIÓN DE CELDAS Y PANELES SOLARES,” 2014, doi: 10.13140/2.1.4192.8968.
- [12] O. V. L. C. I. N. J. L. Á. L. R. A. Arrieta Paternina Mario, “Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares Design of an solarphotovoltaic system prototype optimizing the slope angle of the solar panels,” *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 2012.
- [13] S. Krishnan and K. Sathiyasekar, “Modified Structure and Reflector Based Solar Photovoltaic System for Optimization of Solar Energy,” Mahendra Engineering College, Tamilnadu, 2014.
- [14] B. Cañizales, J. L. Ponce, and P. Ramírez, “Comparison of the electrical energy storage capacity in solar panels for meteorological stations in different areas of Ecuador,” *Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 2022, doi: 10.29018/issn.2588-1000vol6iss45.
- [15] C. Morales, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA LA OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO,” Escuela Politécnica Nacional, 2017.
- [16] P. Quevedo, “Estudio de la eficacia del solar tracking en la producción solar fotovoltaica,” 2022.
- [17] D. Wei *et al.*, “Optimum tilt and azimuth angles of heat pipe solar collector, an experimental approach,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 55, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.csite.2024.104083.
- [18] M. F. Tahir, A. Tzes, and M. Z. Yousaf, “Enhancing PV power forecasting with deep learning and optimizing solar PV project performance with economic viability: A multi-case analysis of 10 MW Masdar project in UAE,” *Energy Convers Manag*, vol. 311, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.enconman.2024.118549.
- [19] F. Z. Baouche *et al.*, “Design and Simulation of a Solar Tracking System for PV,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/app12199682.
- [20] M. A. Khandekar, S. Muthyala, S. Agashe, and P. Walunj, “Development of an Intelligent Sun Tracking System for Solar PV Panel,” in *2023 IEEE IAS Global*

- Conference on Emerging Technologies, GlobConET 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023. doi: 10.1109/GlobConET56651.2023.10149926.
- [21] R. C. Luis J, B. J. José A, and S. T. Ian M Hernández L Jesús H, “Estudio del Algoritmo de Seguimiento de Punto de Máxima Potencia Perturbar y Observar,” 2010.
- [22] E. E. Granda-Gutiérrez, J. C. Díaz-Guillén, M. A. Jiménez, and M. Osorio, “MODELADO Y SIMULACIÓN DE CELDAS Y PANELES SOLARES,” 2014, doi: 10.13140/2.1.4192.8968.
- [23] victron energy, “Baterías de Gel y AGM,” 2023.
- [24] Arduino, “Arduino Uno,” 2021.
- [25] Instructables, “Stepper Motor + Arduino + Solar Tracker (EV) Introduction: Stepper Motor + Arduino + Solar Tracker (EV),” 2017. [Online]. Available: <https://www.instructables.com/Stepper-Motor-Arduino-Solar-Tracker-EV/>
- [26] D. Tecnología and I. Jorge Juan, “COMPORTAMIENTO DE UNA LDR COMO SENSOR DE LUZ,” 2020.
- [27] Tower Pro, “MG996R.” Accessed: Jun. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=MG996R>
- [28] C. C. Flores Castro, “Aplicación de un controlador PID a un motor paso a paso en un sistema embebido para la captación de energía solar,” LA LIBERTAD, 2024.
- [29] SKF, “Rodamientos,” 2019.
- [30] Cablematic, “Base giratoria manual 160x160mm y 100Kg de carga. Plataforma rotación 90 grados retorno automático.” Accessed: Jun. 03, 2024. [Online]. Available: <https://cablematic.com/es/productos/base-giratoria-manual-160x160mm-y-100kg-de-carga-plataforma-rotacion-90-grados-retorno-automatico-GR002/>
- [31] Import Aceros, “PLANCHAS DE TOOL NEGRO,” Quito, 2021.
- [32] C. D. L. E. CRISTIAN MARTÍN ALARCÓN AGUIRRE, “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE UN SEGUIDOR SOLAR DE UN EJE CON ESTRATEGIAS DE POSICIONAMIENTO PARA PANELES FOTOVOLTAICOS EN LA CIUDAD DE QUITO,” 2019.
- [33] Industry News, “Seguidor solar,” Dgitreducer.com.
- [34] DIPAC, “Ejes Acero de Transmisión,” pp. 50–55, 2023.
- [35] C. E. Flores, “SOLDADURA AL ARCO ELÉCTRICO SMAW,” 2018. [Online]. Available: <http://www.drweld.com/smaw.html>
- [36] Nippon Gases, “MULTIMIG 180,” Madrid, 2021.

- [37] KEVIN ISRAEL AJILA MICHAY KEVIN LEONARDO ANAGUANO GUALLICHICOMIN, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO DE SERVOMOTORES KINCO PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA,” 2023.
- [38] A. Padilla, S. Chamba, E. Sarango, and M. Jiménez, “Design and Implementation of a Solar Tracker to Increase the Performance of Energy Generation in Photovoltaic Solar Panels,” vol. 7, pp. 232–263, 2022, doi: 10.23857/pc.v7i4.3823.
- [39] M. Rolando, C. Salas, and U. Americana De Europa, “DESIGN OF A RENEWABLE ENERGY SYSTEM BASED ON PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS FOR IBARRA MARKETS, ECUADOR Hakna Ferro Azcona,” 2024. [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0002-8934-1404>
- [40] Morningstar corporation, “SHS TM,” 2012. [Online]. Available: www.morningstarcorp.com
- [41] NTE Electronic, “PHOTORESISTORS,” NTE Electronic.
- [42] B. S. W. F. Abello Mendoza Erika Natalia, “Vista de Prototipo para la orientación automática de paneles solares,” *Revista Publicaciones e Investigaciones Bogota-Colombia*, 2017.
- [43] H. E. Espitia and F. E. Sierra, “Diseño e implementación de controladores análogos para un seguidor solar,” Colombia, 2013.
- [44] J. Ulises Castellanos, “View of Experimentation with the control hardware for a Solar tracker,” *Ingeniería Solidaria*, 2011.

Anexos



EJES

ACERO DE TRANSMISIÓN

Especificaciones Generales:

Norma: AISI 1018

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

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

Largo: 6 mts



EJES

COMPOSICIÓN QUÍMICA

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

PROPIEDADES MECÁNICAS

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

DIMENSIONES

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

PLANCHAS LAMINADAS AL FRÍO



Especificaciones Generales:

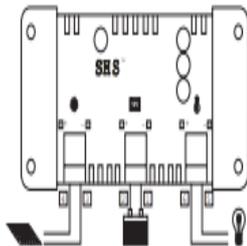
Norma:	NTE INEN 115
Calidad:	JIS 3141 SPCC SD
Espesores:	0.45mm a 1,90mm
Rollos:	X 1219mm
Planchas:	4 x 8 pies y medidas especiales
Acabado:	Acero negro

Calidad	Designación	Carbon	Manganeso	Fósforo	Ázufre	Aluminio
Calidad Comercial	CS TIPO A	0,10	0,6	0,03	0,035	
	CS TIPO B	0,02 a 0,15	0,6	0,03	0,035	
	CS TIPO C	0,08	0,6	0,10	0,035	
Embutido leve	FS TIPO A	0,10	0,5	0,02	0,035	
	FS TIPO B	0,02 to 0,10	0,5	0,02	0,030	
Embutido profundo	DDS	0,06	0,5	0,02	0,025	0,01
	EDDS	0,02	0,4	0,02	0,020	0,01
Estructural SS Grd	30 (230)	0,20		0,040	0,040	
	37 (255)	0,20		0,10	0,040	
	40(275)	0,25		0,10	0,040	
	50(340)	0,40		0,20	0,040	
	50(340)	0,50		0,040	0,040	
80 (550)	0,20		0,040	0,040		

www.dipacmanta.com

PLANCHAS

INSTALACIÓN



- Conecte los cables en el orden indicado 1 - 6
- Úselo solamente con baterías de plomo-ácido
- Úselo solamente con sistemas de 12V
- No exceda el rango solar ni el de carga (6A o 10A)

LUCES



V ● Se enciende el verde cuando el sistema de carga solar está cargando la batería

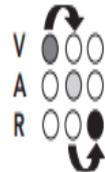


V ● Verde encendido cuando el nivel de batería es alto

A ● Amarillo encendido si el nivel de la batería es medio

R ● Rojo intermitente cuando el nivel de la batería es bajo

R ● Rojo encendido cuando las cargas se cortan



V Verde encendido, luego

A amarillo encendido y

R luego rojo encendido

**SIGNIFICA
PUESTA EN
MARCHA NORMAL**

V Verde encendido

A Amarillo encendido

R Rojo encendido

encendidos indica

PROBLEMA

• los cables + y - se tocan o demasiada corriente

Modelos de luz nocturna

SHS

SHS-NL-6 / SHS-NL-10:

La carga se **ACTIVA** al caer la noche y se **DESACTIVA** al amanecer. La carga **NO** se activa durante el día.

Para corregir el problema:

1. Revise los cables
 2. Reduzca los amperes si es necesario
 3. Reinicie el controlador
- Desconecte el + de la batería
 - Reconecte el + de la batería

CAPACIDADES NOMINALES (TODOS A 12 V)

SHS 6

- 100 Watts o 6 A para el sistema de carga solar y la carga

SHS 10

- 170 Watts o 10 A para el sistema de carga solar y la carga

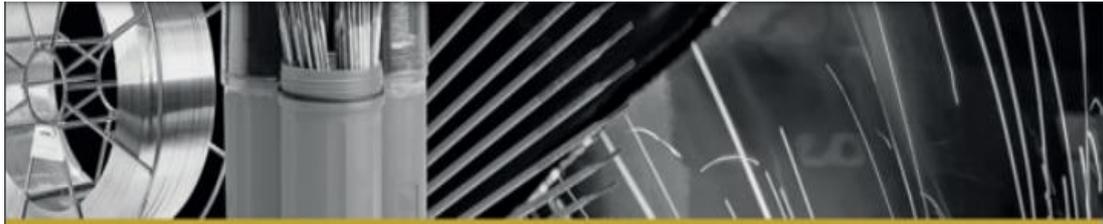
NOTAS:

Solamente para uso con paneles solares.

INFORMACIÓN TÉCNICA

- **PUNTO DE REGULACIÓN** 14.3 V
- **Desconexión por bajo voltaje** 11.5 V
- **Reconexión por bajo voltaje** 12.6 V
- **Tipo de carga** PWM serie (modulación por ancho de pulso)
4 etapas: En bruto, PWM, por incremento o "Boost" y flotante
Carga compensada en temperatura
- **Protecciones electrónicas** Cortocircuito y exceso de corriente: en sistema solar y carga
Polaridad inversa: en sistema de carga solar, en la carga y en la batería
Corriente inversa en la noche
Limita los altos voltajes para proteger las cargas
Protección contra rayos
- **Tropicalización** Placa de circuito impreso con recubrimiento según norma
Terminales resistentes a la corrosión
Para cables de tamaños de hasta 4 mm²
- **Terminales**
- **Dimensiones** 15.1 x 6.6 x 3.6 cm
- **Peso** 113 g
- **Consumo propio** 8 mA máximo
- **Temperatura** -25°C a +50°C
- **Humedad** 100% sin condensación
- **Encapsulado** IP 22
- **Garantía** 2 años
- **Cumple con las normas de** CE, Banco Mundial

ESPAÑOL



Clasificación de electrodos según la AWS para proceso SMAW

Para aceros al carbono



Para aceros de baja aleación

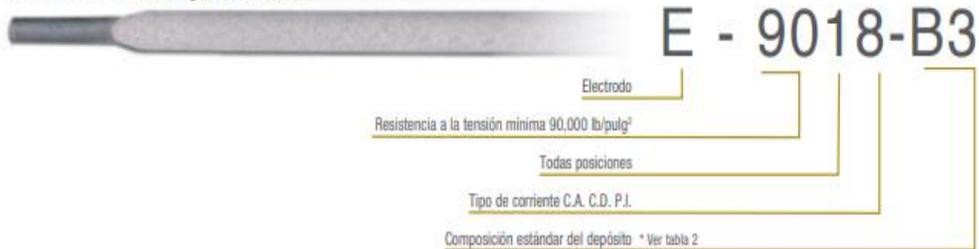


Tabla 1. Tipos de recubrimiento y corriente

Digito	Tipo de recubrimiento	Corriente para soldar	Posición
0	Sodio celulosa	CDPI	1. Toda posición
1	Potasio celulosa	CA o CDPI	2. Plano y filete horizontal
2	Sodio titanio	CA o CDPI	4. Toda posición más vertical descendente
3	Potasio titanio	CA o CD ambas polaridades	
4	Titanio polvo fierro	CA o CD ambas polaridades	
5	Sodio bajo hidrógeno	CDPI	
6	Potasio bajo hidrógeno	CA o CDPI	
7	Óxido de fierro polvo Fe	CA o CDPI	
8	Bajo hidrógeno polvo Fe	CA o CDPI	

CA = Corriente alterna
 CDPI = Corriente directa polaridad invertida (electrodo positivo)
 CDPI = Corriente directa polaridad directa (electrodo negativo)

Tabla 2. Composición química de electrodos de acero de baja aleación para proceso SMAW (AWS A5.5) electrodo revestido

Electrodo	C Carbono	Mn Manganeso	Si Silicio	P Fósforo	S Azufre	Cr Cromo	Mo Molibdono	Ni Niquel	
9016 B3	0.05 a 0.12	0.9	0.6	0.03	0.03	2.00 a 2.50	0.90 a 1.20	----	A Electrodo para aceros al Carbono-Molibdono.
9018 B3	0.05 a 0.12	0.9	0.8	0.03	0.03	2.00 a 2.50	0.90 a 1.20	----	B Electrodo para aceros al Cromo-Molibdono.
7018 A1	0.12	0.9	0.8	0.03	0.03	----	0.40 a 0.65	----	C Electrodo para aceros al Niquel.
8018 B2	0.05 a 0.12	0.9	0.8	0.03	0.03	1.00 a 1.50	0.40 a 0.65	----	D Electrodo para aceros al Manganeso-Molibdono.
8018 D3	0.12	1.0 a 1.8	0.8	0.03	0.03	----	0.40 a 0.65	0.9	NM Electrodo para aceros al Niquel-Molibdono.
8018 B6	0.05 a 0.10	1.0	0.9	0.03	0.03	4.0 a 6.0	0.45 a 0.65	0.40	G Electrodo general de acero de baja aleación.

M Electrodo similar a las especificaciones militares.
 P1 Electrodo para líneas de tubería de petróleo y derivados.
 W Electrodo para aceros climatológicos.

Electrodos para acero al carbono

Celulósicos

Imagen	Código	Nombre comercial Clasificación AWS	Diámetro		Long.	Presentación	Características	Usos y aplicaciones
			Pulg.	mm				
	2083	INFRA 10-S E 6010	3/32"	2.4	14"	Caja con 20 kg (4 bolsas de 5 kg c/u)	Alta penetración, toda posición, poca escoria, calidad radiográfica y buena aplicación. Utilizar CD PI (+).	Trabajos de fundeo y/o de raíz. Fabricación de recipientes a presión, estructuras, oleoductos, carrocerías y pailería.
	2085		1/8"	3.2	14"			
	2095		5/32"	4	14"			
	2096		3/16"	4.8	14"			
	2065	INFRA 10-P E 6010	1/8"	3.2	14"	Caja con 20 kg (4 bolsas de 5 kg c/u)	Arco fuerte y penetrante. Calidad radiográfica. Utilizar CD PI (+).	Astilleros, constructoras, líneas de conducción, pailería y plataformas marinas. Recomendado para aceros al carbono.
	*2075		5/32"	4	14"			
	2105	INFRA 11 E 6011	3/32"	2.4	14"	Caja con 20 kg (4 bolsas de 5 kg c/u)	Toda posición, buen acabado, calidad radiográfica y rendimiento dentro de su género. Utilizar CA / CD PI (+).	Fabricación de estructuras ligeras y pesadas, tanques, carrocerías, cobertizos, recipientes a presión, herrería y ventanería.
	2110		1/8"	3.2	14"			
	2115		5/32"	4	14"			

Anexo 5. Catálogo de electrodos para Acero al carbono

Baterías AGM de ciclo profundo. Herméticas. Sin mantenimiento.

CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS

- Construcción Hermética: Totalmente sin mantenimiento. Mercancía no peligrosa, permitido en transporte aéreo y marítimo (IATA, DOT, ICAO, IMDG).
- Materia activa de alta densidad: Mayor capacidad y ciclos de vida útil.
- Placas gruesas: Heavy Duty: Construcción específica para ciclos profundos.
- Aleación rejilla: Pb-Ca-Sn, mayor resistencia a la corrosión y mejor recuperación en descargas profundas.
- Separador de fibra de vidrio altamente poroso: Mayor retención de electrolito, maximiza la capacidad.
- Recipiente ABS: Alta resistencia a golpes y vibraciones.
- Baja resistencia interna: Recarga más rápida que las baterías húmedas convencionales.
- Baja auto-descarga: Mayor vida en stock que las baterías húmedas convencionales.



APLICACIONES

- Energías Renovables.
- Maquinas de limpieza.
- Vehículos de recreo: caravanas, campers, etc
- Sillas de ruedas.
- Carros de golf.
- Plataformas elevadoras.
- Náutica.
- Etc.

TIPO	CAPACIDAD AH			MIN CAPACIDAD		CCA -18°C (SAE)	MEDIDAS MAX. (MM)			PESO KG	TIPO TERMINAL
	5H	20H	100H	25A	75A		L	A	H		
DC200-6B	180	200	220	400	100	-	244	190	275	30,50	AP
DC220-6	180	220	242	425	112	-	306	174	226	32,70	M8
DC224-6A	179	224	246	441	113	-	260	180	251	29,80	M8
DC245-6	198	245	248	457	120	-	244	190	275	32,30	AP
DC250-6	204	250	275	531	135	-	262	181	272	34,50	M8
DC335-6	274	335	369	751	184	-	295	178	366	47,80	DT
DC400-6	340	415	440	885	229	-	295	178	424	56,00	DT
DC160-8A	131	160	178	315	112*	-	260	182	272	31,70	M8
DC180-8A	147,5	180	198	335	125*	-	260	182	272	36,60	M8
DC200-8	164	200	218	390	140*	-	260	182	299	40,00	M8
DC12-12	-	12	-	-	-	-	151	99	101	4,20	F1
DC17-12	-	17	-	20	-	120	181	77	167	6,20	M5
DC24-12	19,8	24	-	27	-	160	167	175	125	9,20	M5
DC35-12A	29	35	-	52	-	190	196	131	167	11,50	M6
DC35-12B	29	35	-	52	-	190	196	131	180	11,50	F25
DC38-12	31	38	42	52	-	265	198	166	174	13,30	M6
DC40-12	32,8	40	44	53	-	275	198	166	174	13,40	M6
DC55-12	45	55	61	96	21	400	229	138	212	17,60	M6
DC60-12	49,2	60	66	96	24	410	265	166	188	20,70	AP
DC60-12B	49,2	60	66	105	24	510	278	175	190	22,00	AP
DC65-12	53,3	65	72	100	28	430	351	167	176	23,60	M6
DC70-12	57,5	70	77	115	31	450	260	169	215	23,80	M6
DC85-12	70	85	94	148	34	510	260	169	215	25,10	M6
DC90-12	74	90	99	140	38	530	307	169	215	28,70	M6
DC105-12	86	105	116	175	43	550	307	169	215	30,20	M6
DC115-12A	91	115	127	200	45	600	328	172	220	32,70	M8
DC120-12A	98	120	132	223	52	750	407	174	240	38,20	M8
DC140-12	115	140	143	260	62	795	344	172	283	43,10	AP
DC145-12	122	145	160	279	86	820	341	173	287	44,30	M8
DC150-12	123	150	165	285	82	900	484	171	241	45,50	M8
DC150-12B	123	150	165	295	80	900	327	182	273	42,60	M8
DC180-12	147,5	180	198	350	85	-	530	209	218	56,80	M8
DC210-12	172	210	229	400	105	-	530	209	218	60,50	M8
DC215-12	172	215	234	420	110	-	381	178	371	60,00	DT
DC220-12	172	220	240	415	110	-	522	242	222	66,50	M8
DC240-12	197	240	262	520	135	-	520	269	208	75,20	M8
DC260-12	213	260	285	540	155	-	521	269	224	78,20	M8

Anexo 6. Catálogo de batería AGM para Sistemas Fotovoltaicos



6008



Rodamiento rígido de bolas

Los rodamientos rígidos de una hilera de bolas son especialmente versátiles, tienen una baja fricción y están optimizados para un bajo nivel de ruido y vibraciones, lo que permite alcanzar altas velocidades de giro. Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos, son fáciles de montar y requieren menos mantenimiento que muchos otros tipos de rodamientos.

- Diseño sencillo, versátil y robusto
- Baja fricción
- Capacidad de alta velocidad
- Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos
- Requieren poco mantenimiento

Overview

Dimensiones

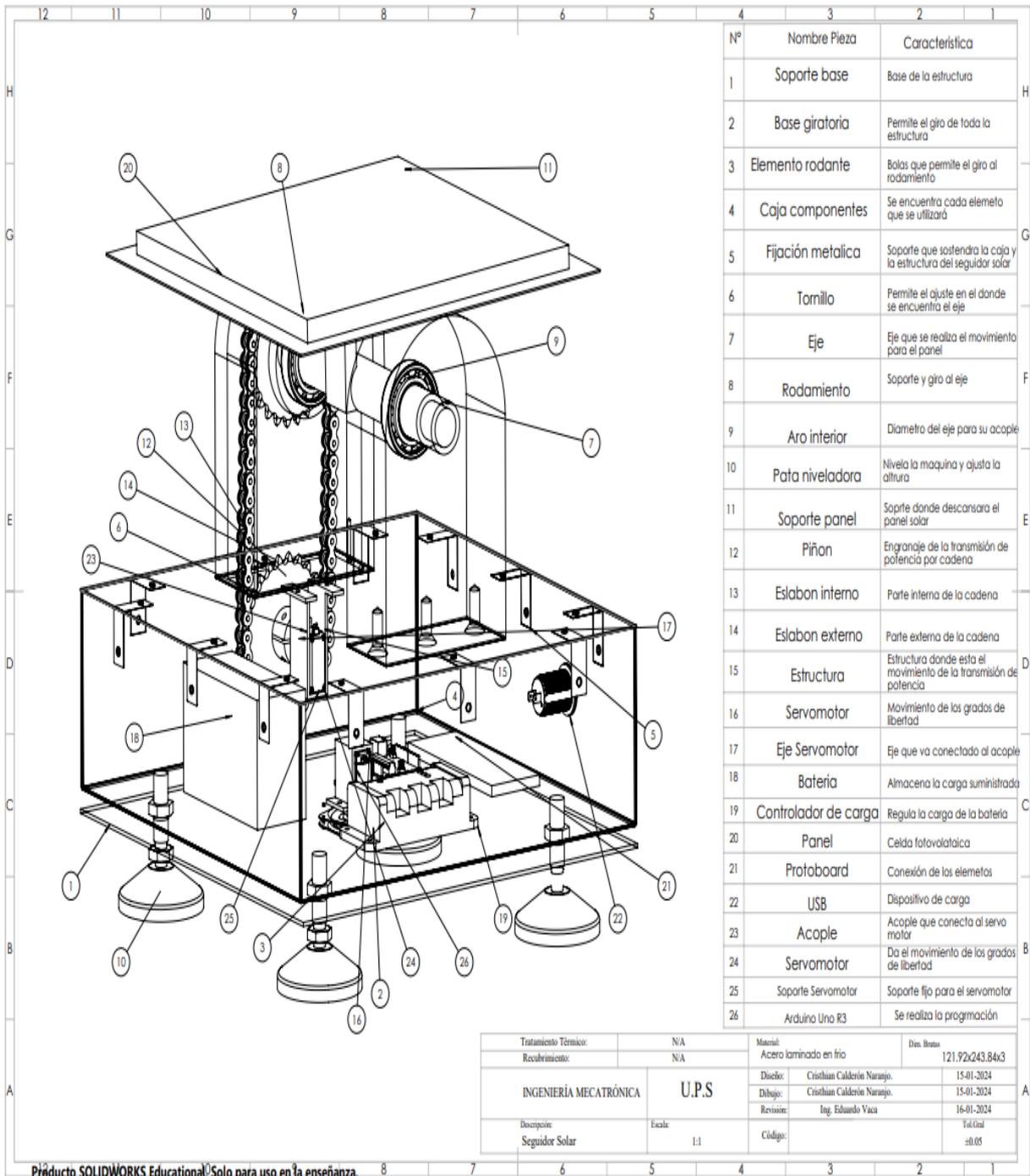
Diámetro interno	40 mm
Diámetro exterior	68 mm
Ancho	15 mm

Rendimiento

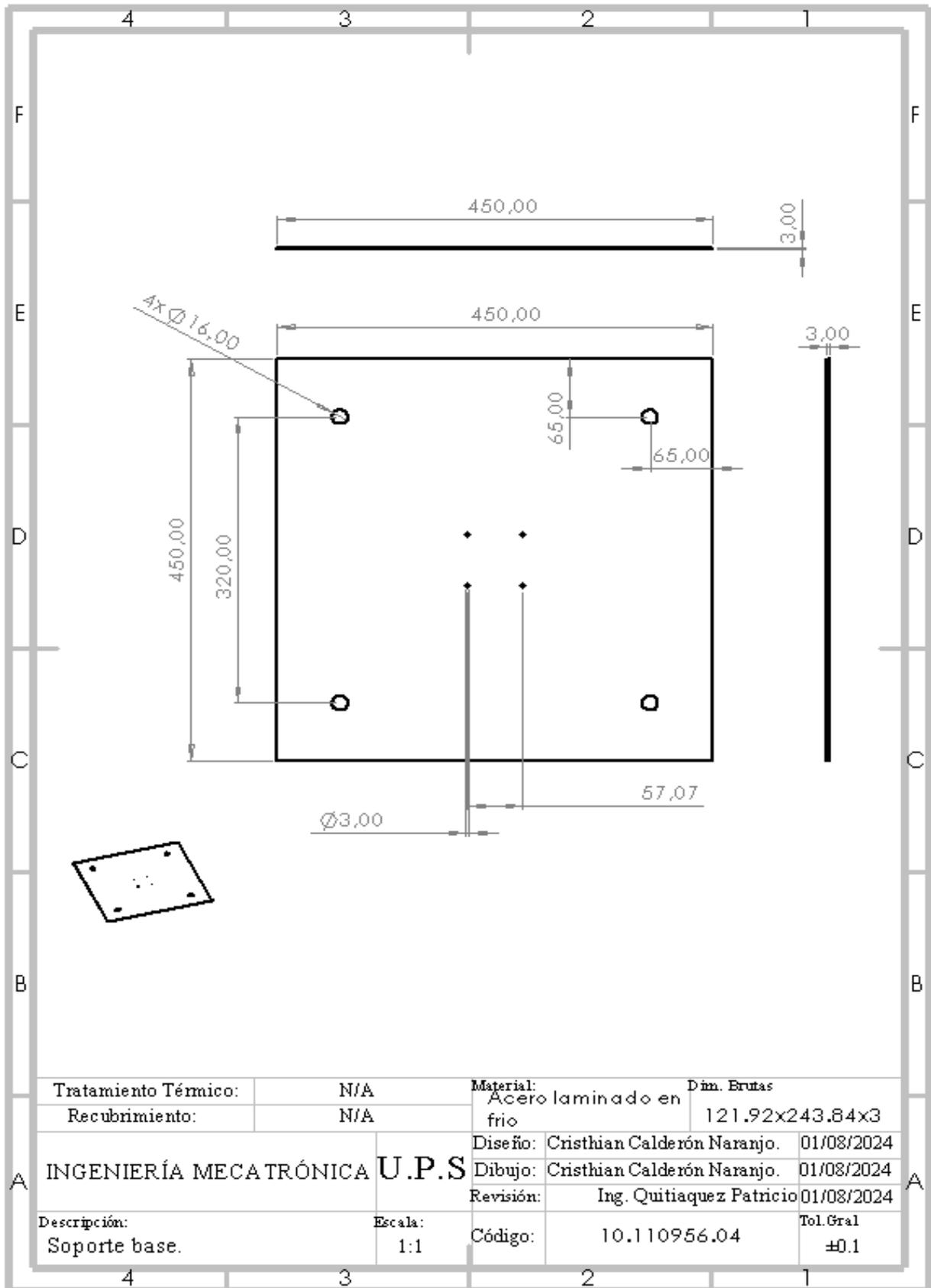
Capacidad de carga dinámica básica	17.8 kN
Capacidad de carga estática básica	11 kN
Velocidad de referencia	22 000 r/min
Velocidad límite	14 000 r/min
Clase de rendimiento SKF	SKF Explorer

Propiedades

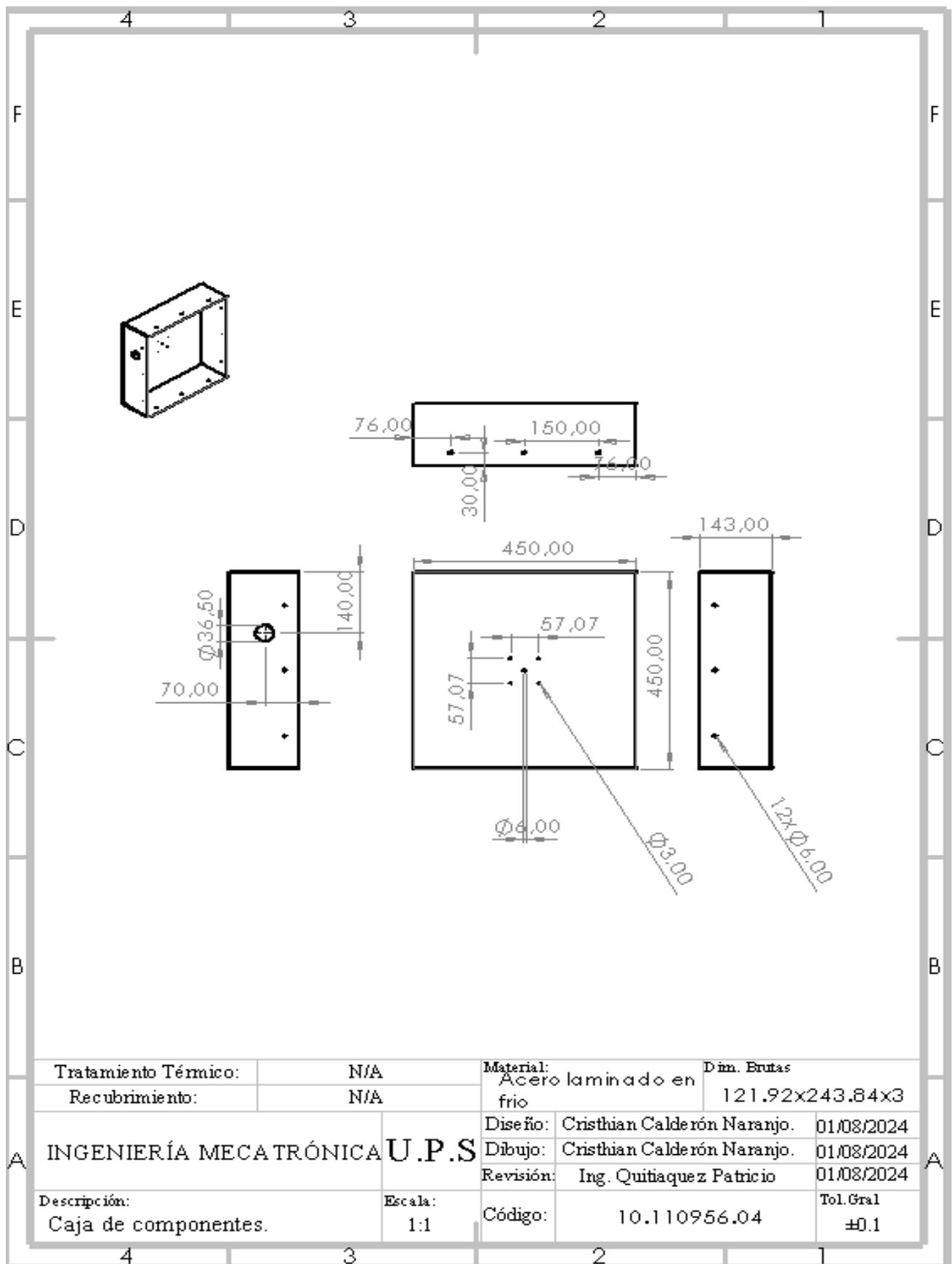
Ranuras de llenado	Sin
Cantidad de hileras	1
Elemento de fijación, aro exterior del rodamiento	Ninguna
Tipo de agujero	Cilindrico
Jaula	Chapa metálica
Disposición ajustada	No
Juego radial interno	CN
Clase de tolerancia	Clase P6 (P6)
Material, rodamiento	Acero para rodamientos
Recubrimiento	Sin
Sellado	Sin
Lubricante	Ninguna
Característica de relubricación	Sin



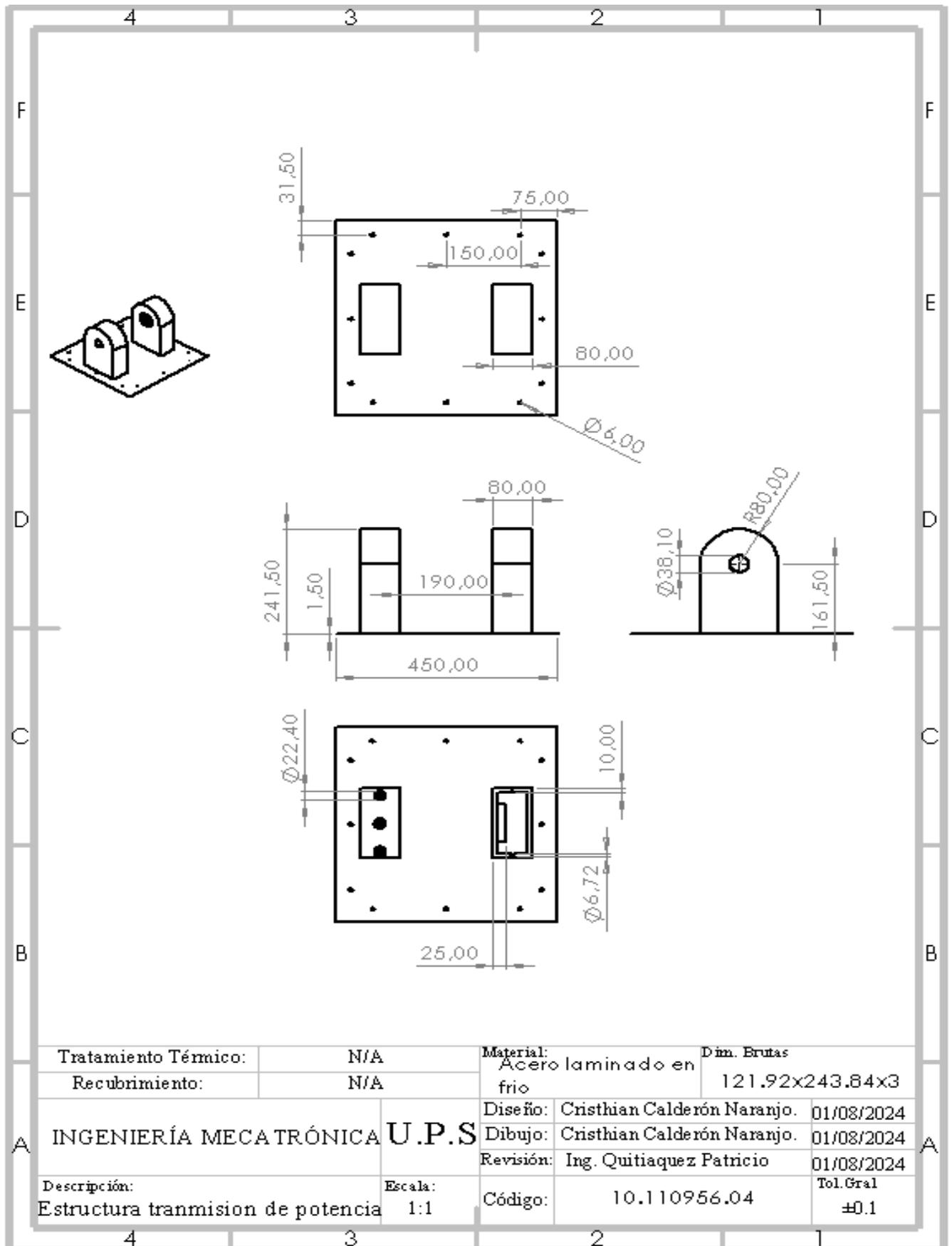
Anexo 8. Planos del seguidor sol 1



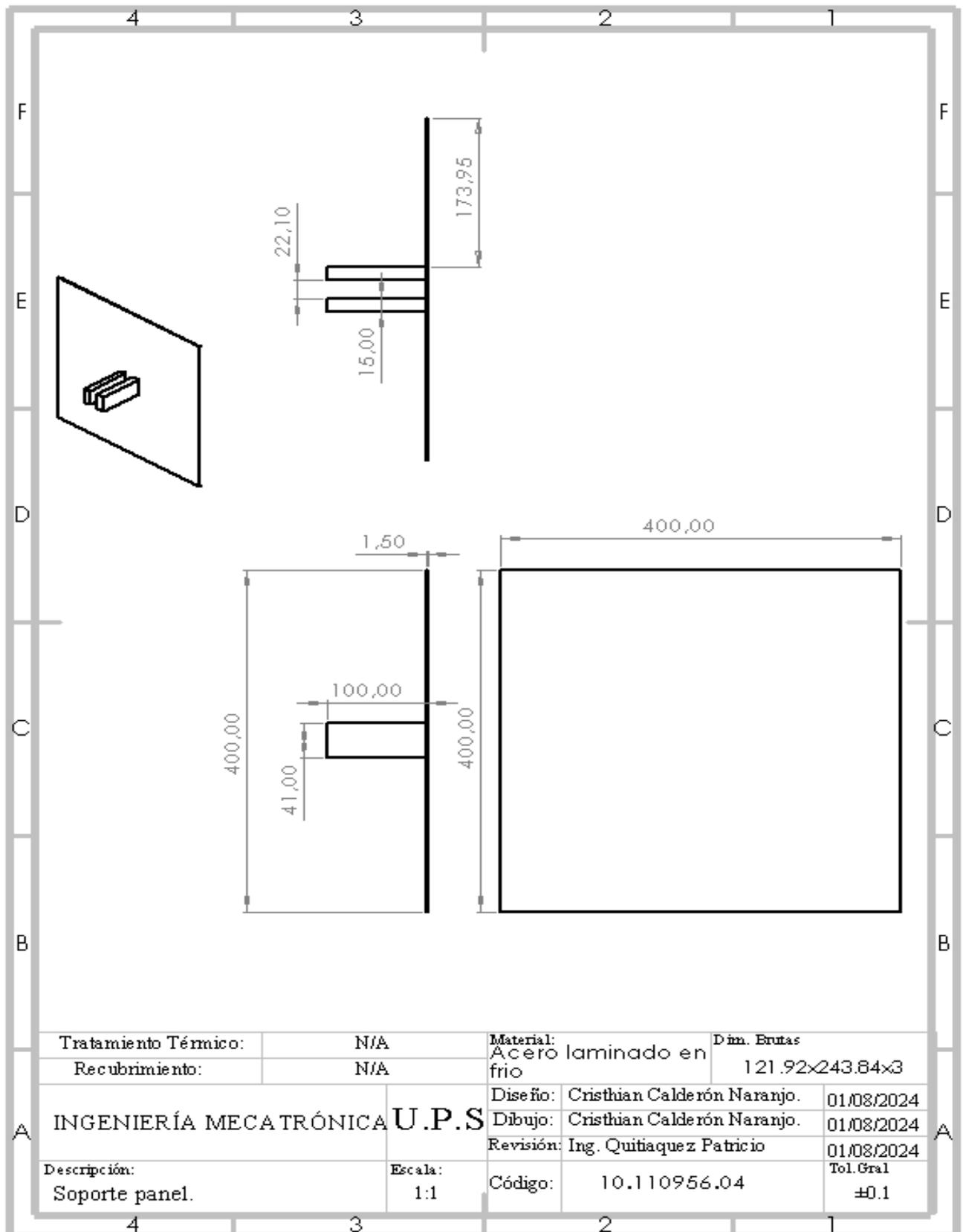
Anexo 9. Planos del seguidor solar base.



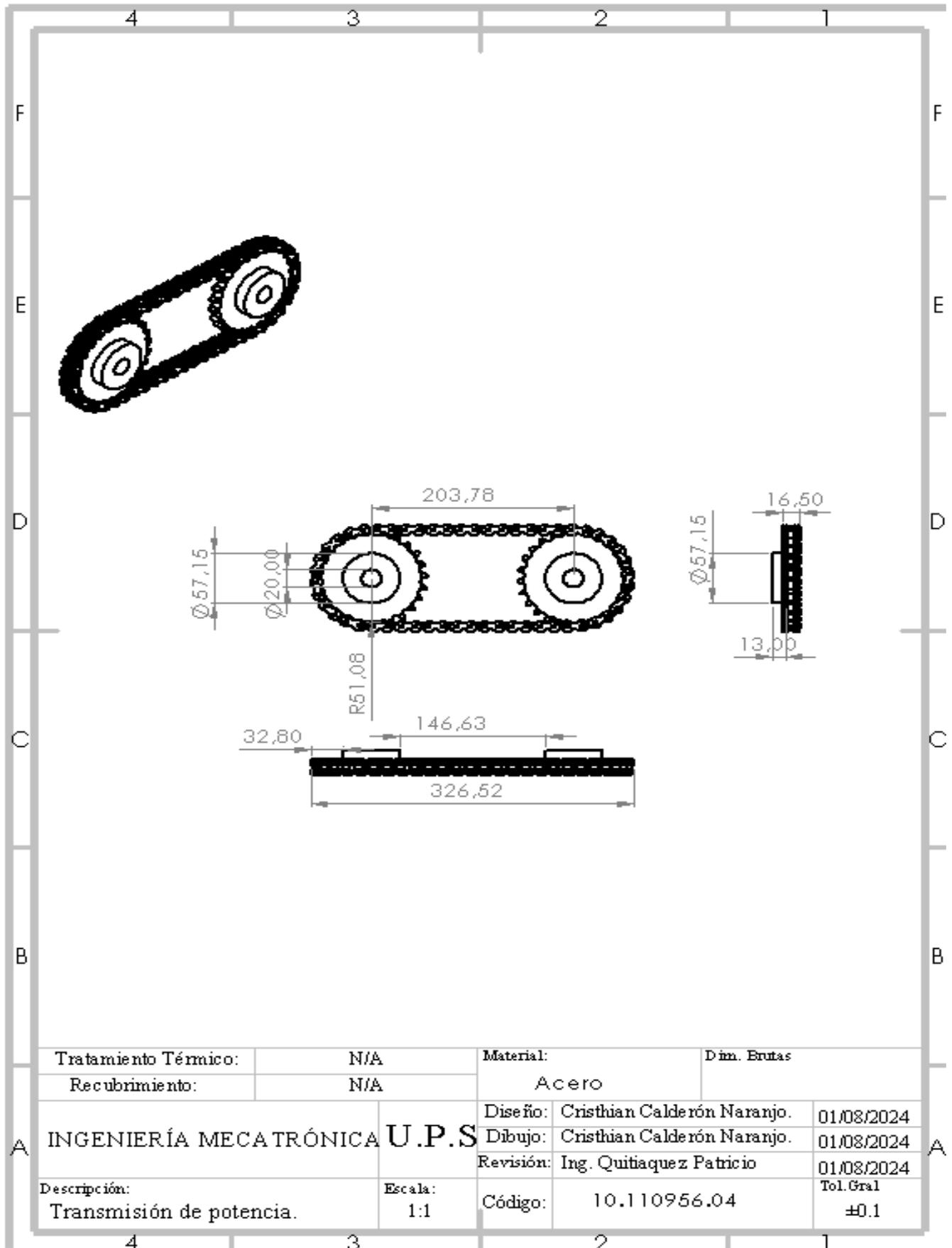
Anexo 10. Planos del seguidor sol caja de componentes.



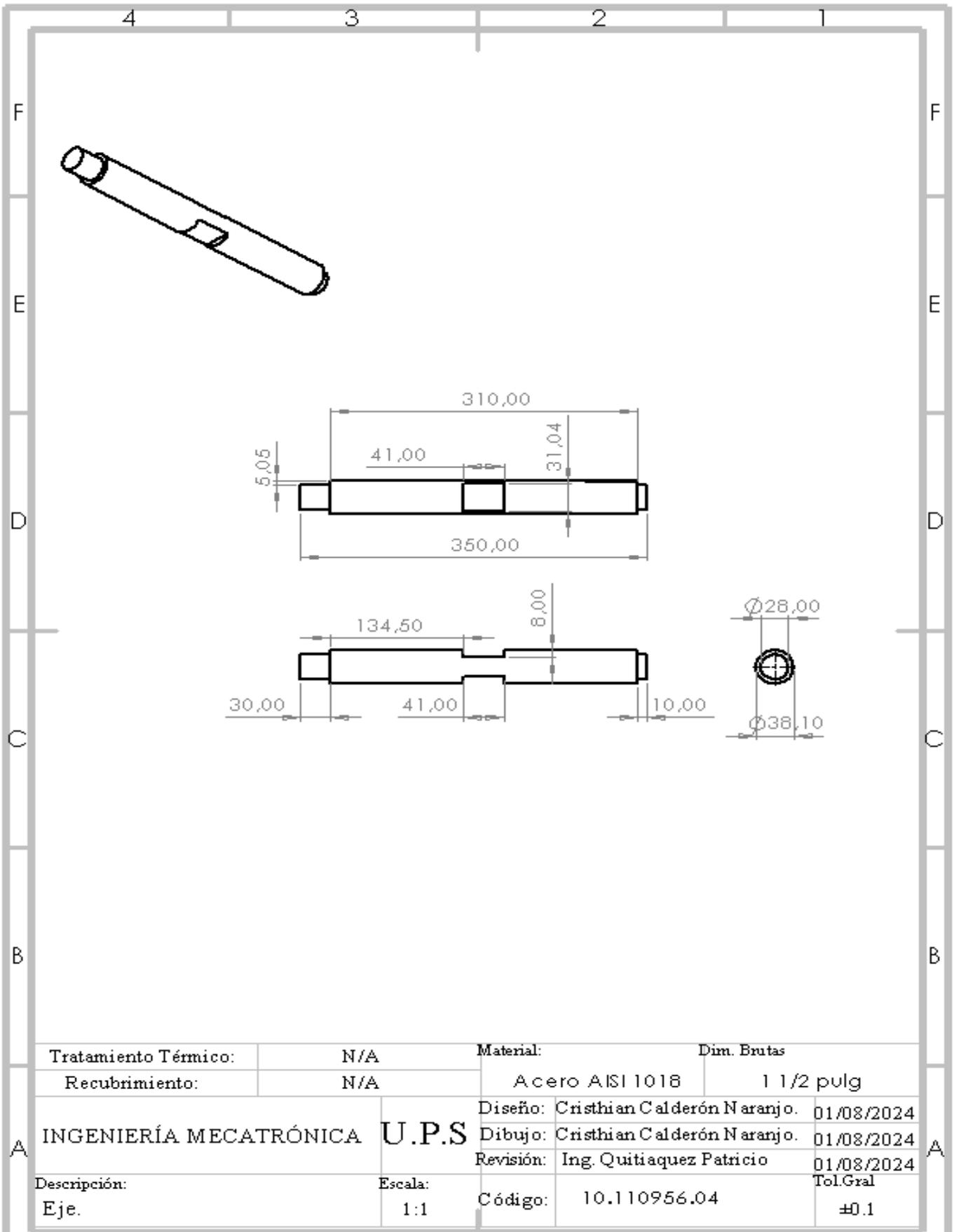
Anexo 11. Planos del seguidor sol estructura transmisión de potencia.



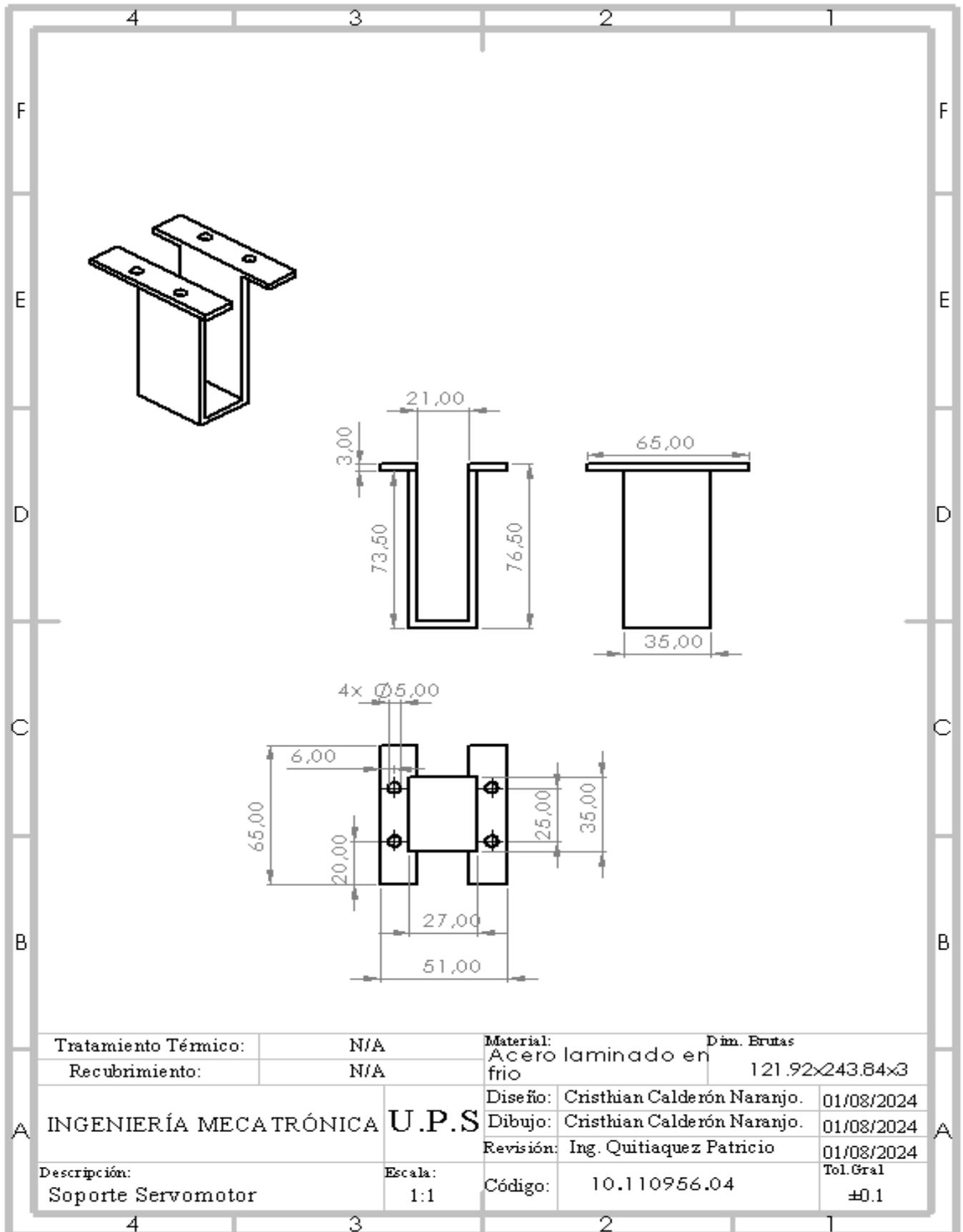
Anexo 12. Planos del seguidor sol soporte panel solar.



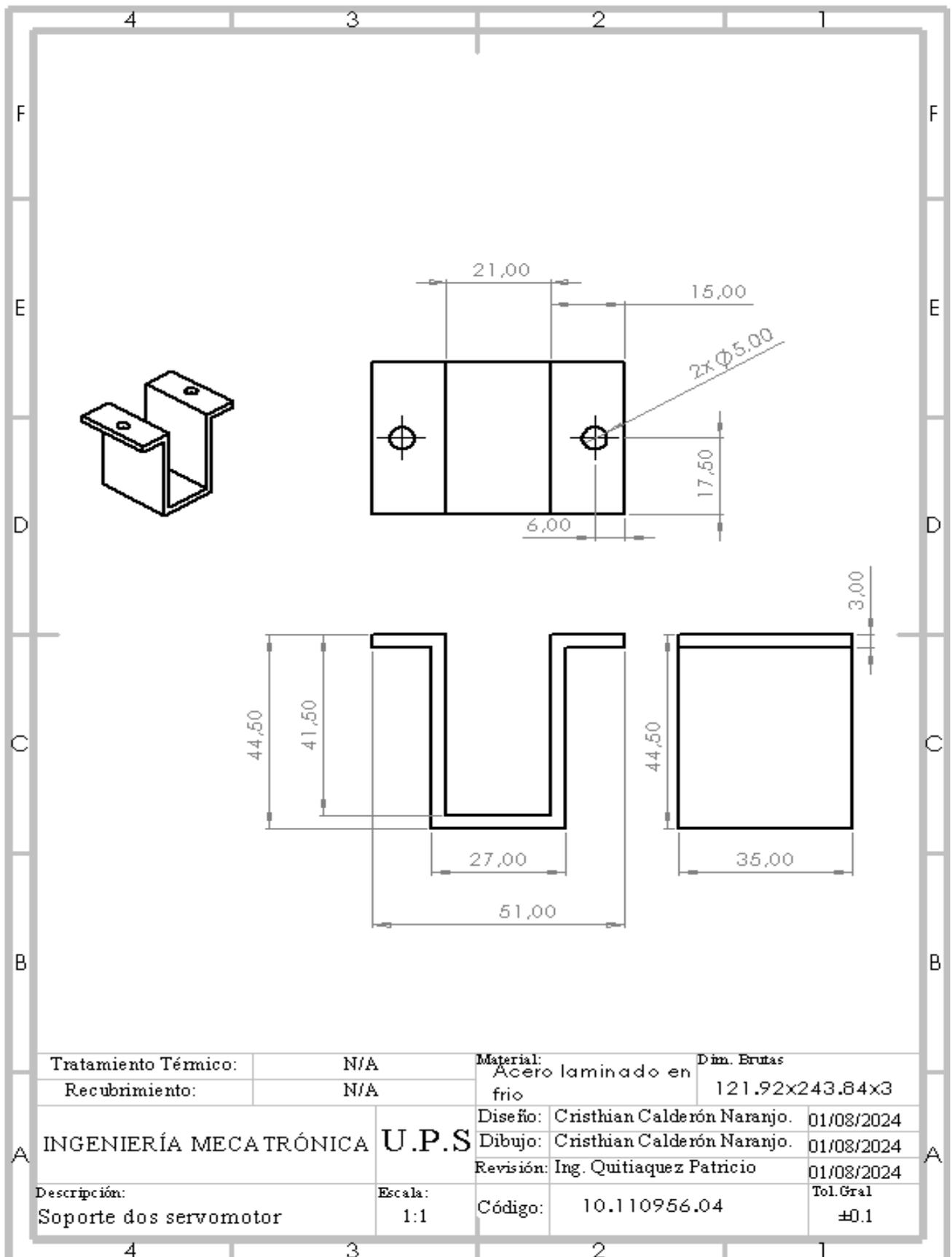
Anexo 13. Planos del seguidor sol transmisión de potencia.



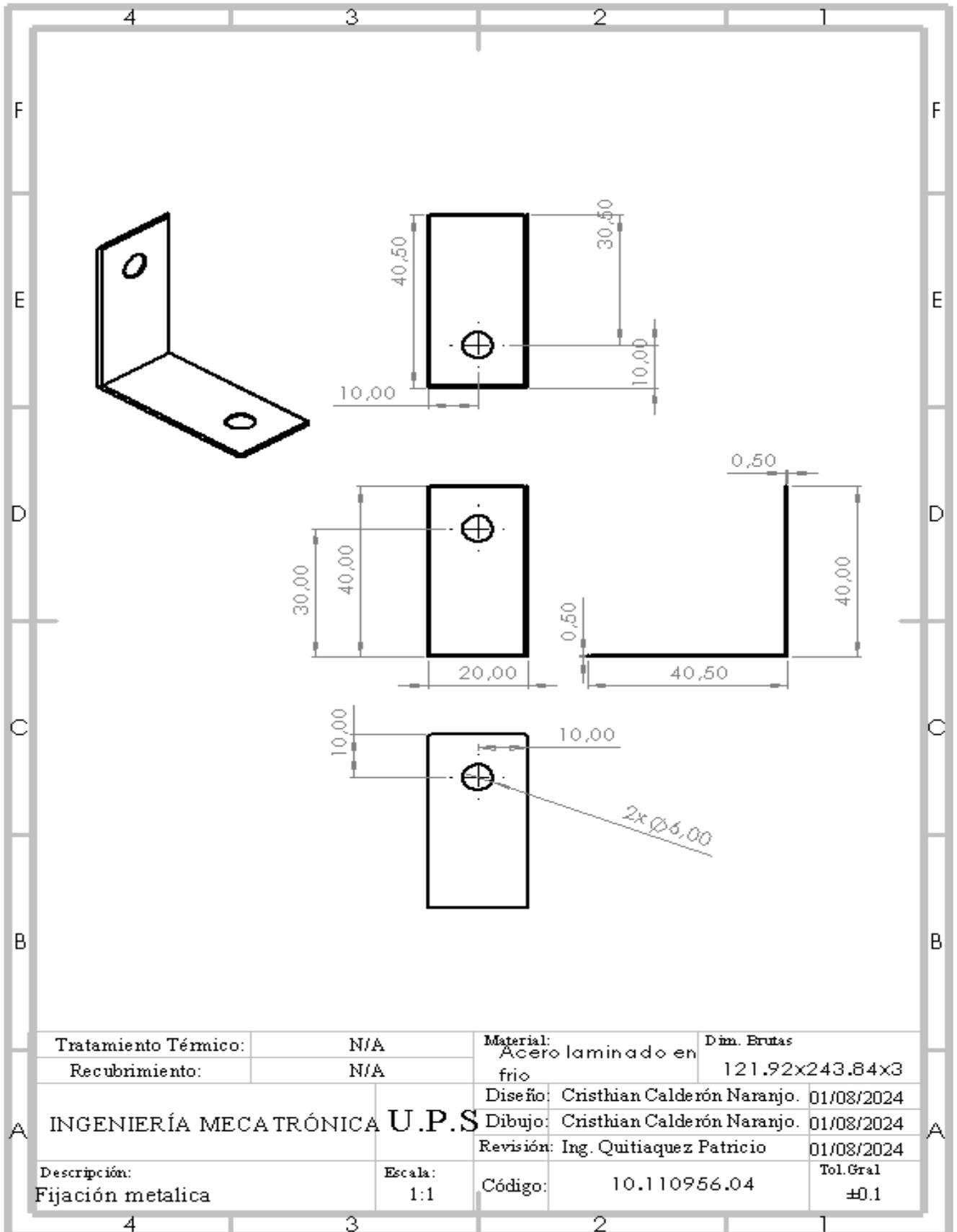
Anexo 14. Planos del seguidor sol eje.



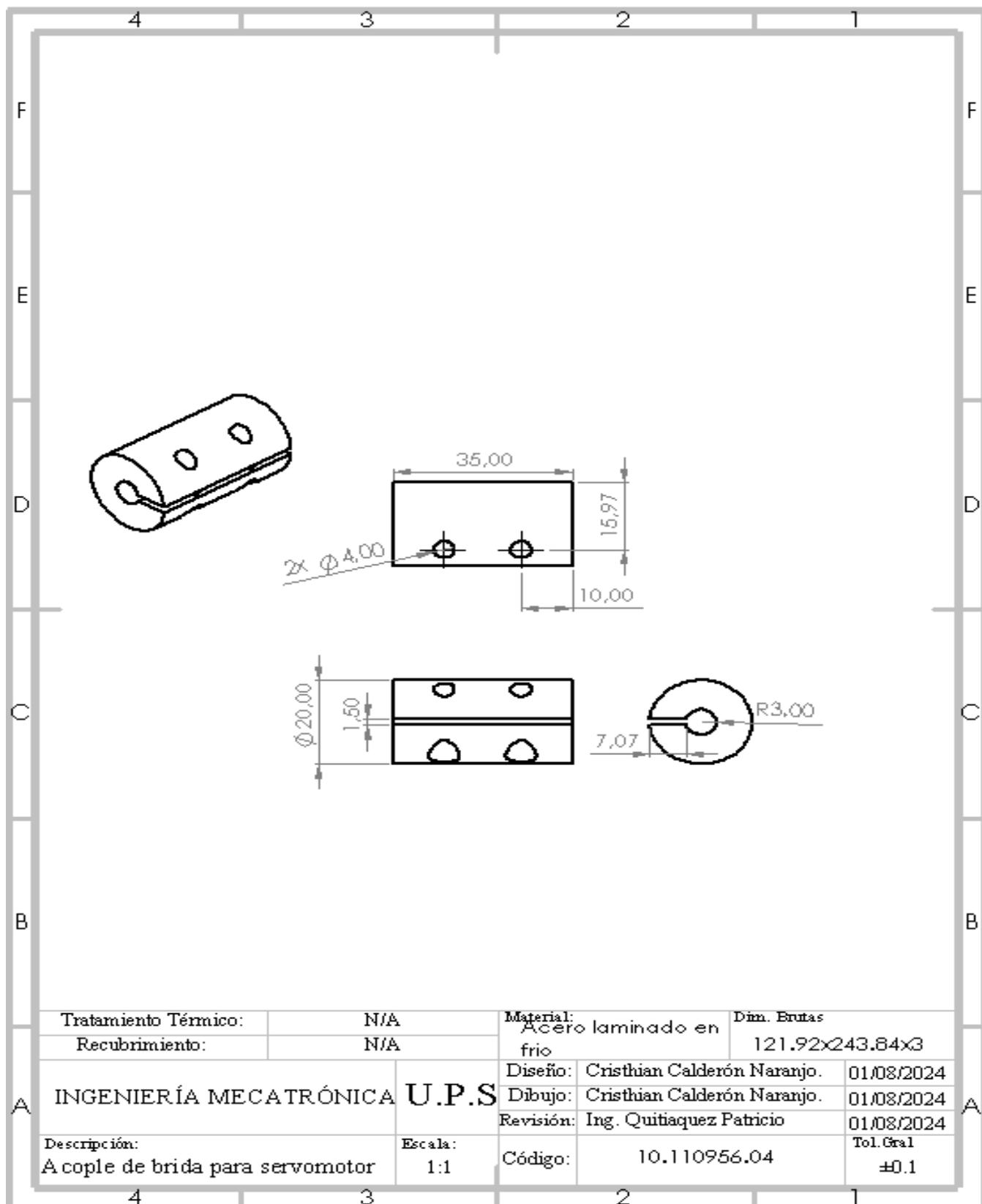
Anexo 15. Planos del seguidor sol soporte servomototr.



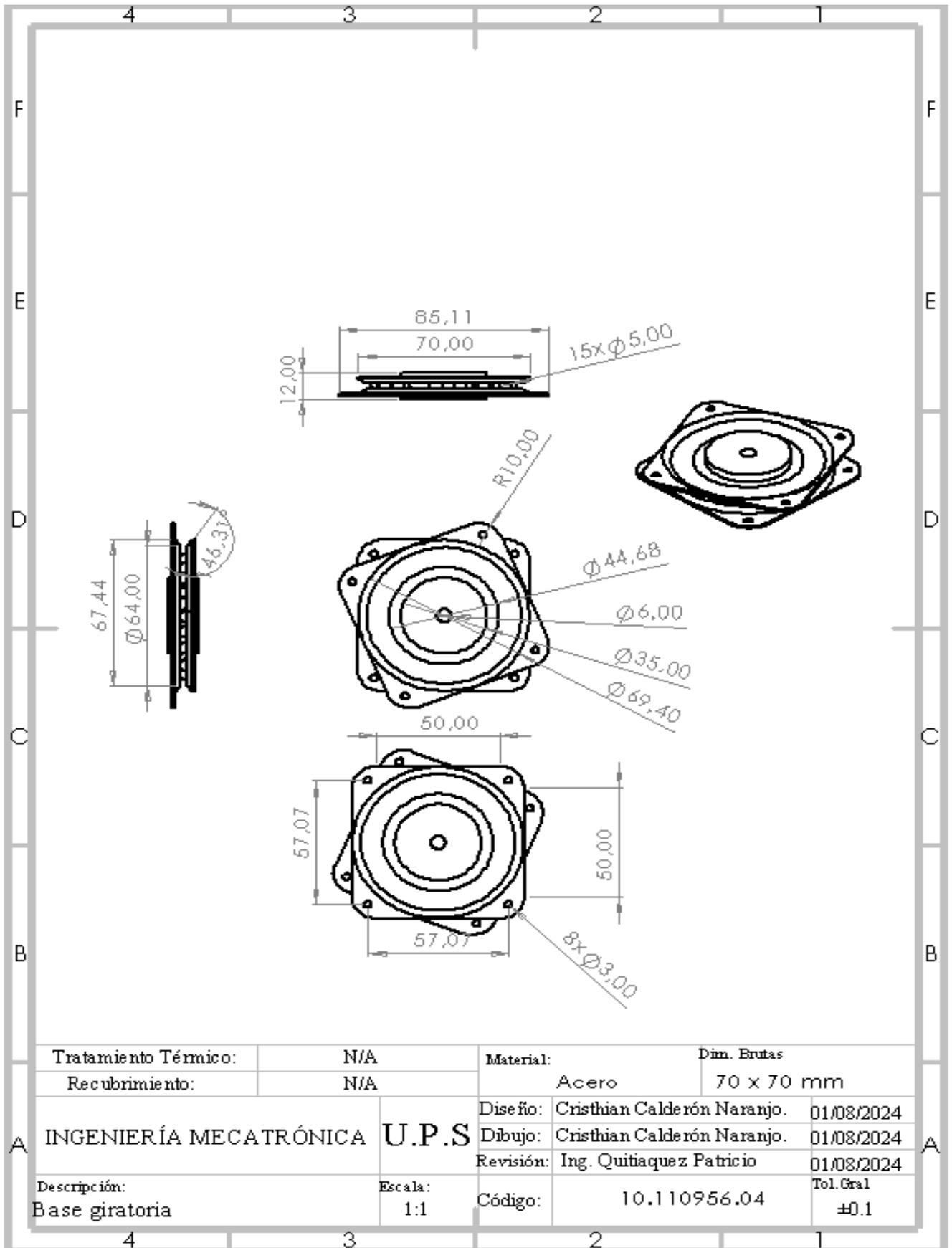
Anexo 16. Planos del seguidor sol soporte servomotor.



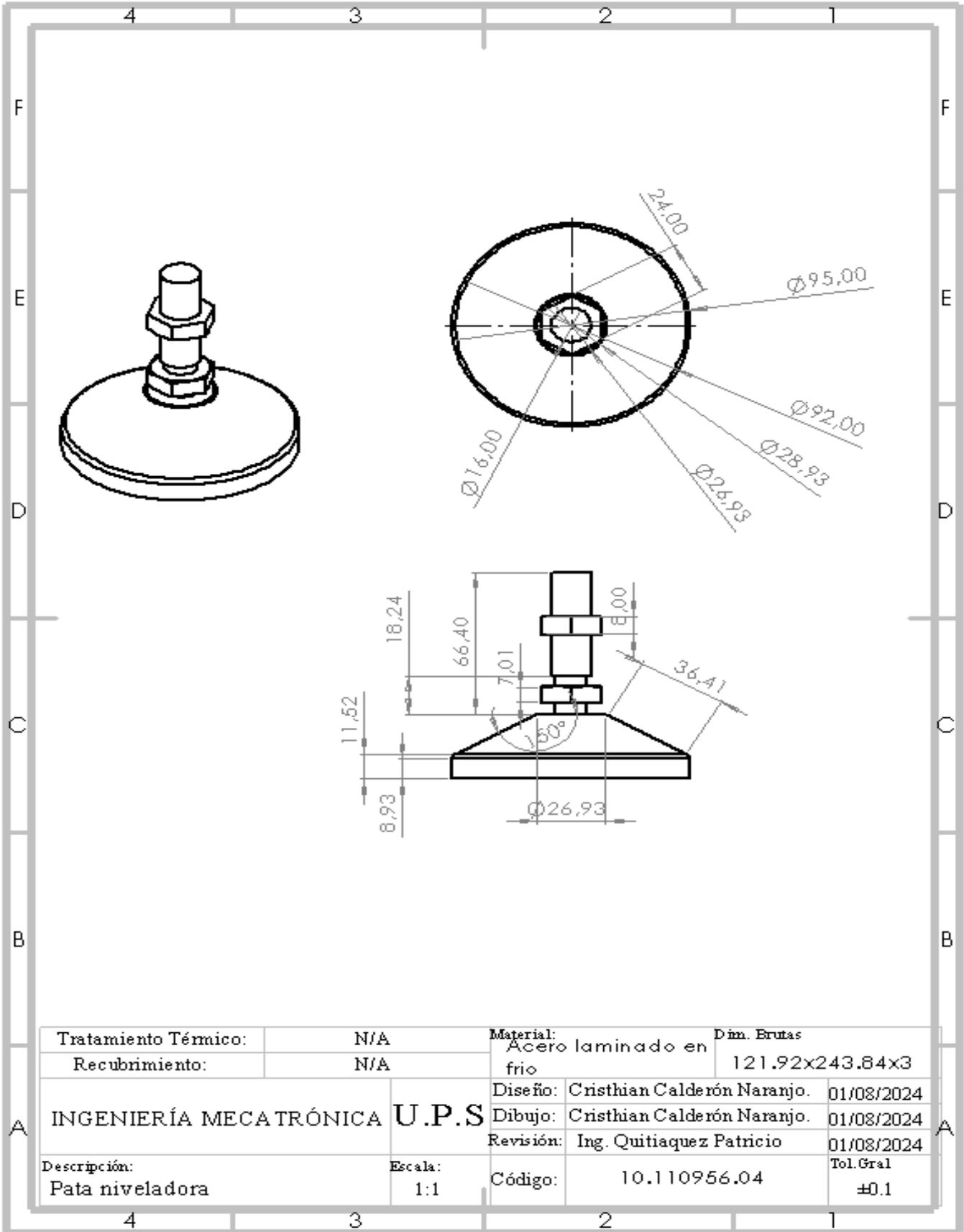
Anexo 17. Planos del seguidor sol fijación metálica.



Anexo 18. Planos del seguidor sol acople de brida para servomotor.



Anexo 19. Planos del seguidor sol base giratoria.



Anexo 20. Planos del seguidor sol pata niveladora.