



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

**REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR  
CON MECANISMO DE GIRO AZIMUTAL DE UNA ESTACIÓN  
FOTOVOLTAICA DE 840 W.**

Propuesta tecnológica presentado previo a la obtención del título de  
Ingeniero Electromecánico

**AUTOR(ES):**  
Christopher Alejandro Robayo Pico  
Holger Israel Taípe Guanoquiza

**TUTOR:**  
Ing. Luis Rolando Cruz Panchi M.Sc.

LATACUNGA, 19 DE AGOSTO 2024




### DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Robayo Pico Cristopher Alejandro, con cédula de ciudadanía No. 0605461151, Taipei Guanoquiza Holger Israel, con cédula de ciudadanía No. 0550385595 declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: **“REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR CON MECANISMO DE GIRO AZIMUTAL DE UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE 840 W”**, siendo el Ing. Luis Rolando Cruz Panchi, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en la presente propuesta tecnológica, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 19 de agosto de 2024

  
.....  
Robayo Pico Cristopher Alejandro  
C.C: 0605461151

  
.....  
Taipei Guanoquiza Holger Israel  
C.C: 0550385595



### **AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

En calidad de Tutor del Proyecto de investigación sobre el título:

**"REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR CON MECANISMO DE GIRO AZIMUTAL DE UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE 840 W."**, de **Taípe Guanoquiza Holger Israel, Robayo Pico Christopher Alejandro**, de la carrera **Electromecánica**, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga 19/08/2024



.....  
Ms. C Luis Rolando Cruz Panchi  
C.C.: 0502595176  
**TUTOR**



### APROBACION DEL TRIBUNAL DE TITULACION

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente **Propuesta Tecnológica** de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto; los postulantes: **Taípe Guanoquiza Holger Israel** con cedula de ciudadanía No. 055038559-5; **Cristopher Alejandro Robayo Pico** con cedula de ciudadanía No. 060546115-1, con el título de la Propuesta Tecnológica: **“REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR CON MECANISMO DE GIRO AZIMUTAL DE UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE 840 W.”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

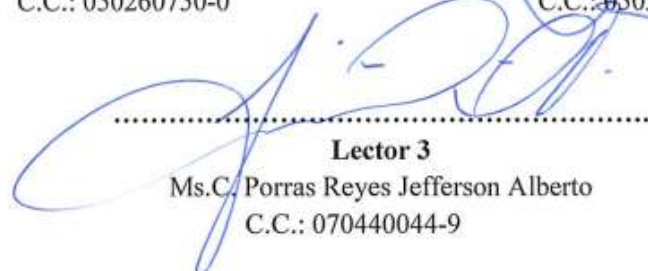
Latacunga, 19 de agosto de 2024



.....  
**Lector 1 (Presidente)**  
MgC. Moreano Martínez Edwin Homero  
C.C.: 050260750-0



.....  
**Lector 2**  
Ms.C. Pacheco Mena Carlos Francisco  
C.C.: 050307290-2



.....  
**Lector 3**  
Ms.C. Porras Reyes Jefferson Alberto  
C.C.: 070440044-9

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme salud y vida y por permitirme compartir con mi familia que son lo más importa en mi vida, agradezco a mi madre María soledad Guanoquiza y mi padre Jorge Ruperto Taipe, quienes con su amor, sacrificio y constante apoyo han sido mi mayor inspiración y fortaleza para seguir adelante no hay gesto o palabra que pueda expresar mi gratitud por todo lo que han hecho para que este día sea posible.

A mis hermanos, que han sido mis confidentes y mi refugio en cada instante de este camino. Su constante apoyo y su fe en mí han sido guía en los momentos más oscuros gracias por su paciencia, sus palabras de aliento y por creer en mí.

A toda mi familia, que, con su presencia constante, su aliento y su amor, han sido un pilar fundamental en mi formación de ante mano para mi querido tío Mario Guanoquiza que, aunque ya no este conmigo siempre con su alegría y carisma me ayudo a seguir adelante y a ser una buena persona y alegrarme en los momentos tristes.

A mis compañeros, cuya colaboración, amistad han ayudado a seguir en todo este proceso universitario, gracias por ser parte esencial de este viaje.

*Taipe Holger*

### **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte de mi camino académico, por su amor, apoyo incondicional y motivación constante en cada etapa de mi vida. Su presencia, sabiduría y aliento han sido fundamentales para superar los desafíos y alcanzar mis metas

A mis amigos queridos, cuya presencia constante y apoyo incondicional fueron un pilar fundamental en mi camino académico. Su amistad, generosidad y sentido del humor me brindaron un refugio seguro en momentos de estrés y duda. Agradezco de corazón las innumerables conversaciones que me aliviaron el alma, las risas que me hicieron olvidar mis preocupaciones y las experiencias inolvidables que compartimos.

Agradezco profundamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por la experiencia y el conocimiento adquirido durante mi estancia en esta prestigiosa institución, y espero llevar conmigo los valores y principios que me han sido inculcados para hacer una diferencia positiva en mi comunidad.

***Cristopher Robayo***

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres, cuyos sacrificios, amor incondicional y sabiduría han sido la fuerza motriz que me ha impulsado a lo largo de este arduo camino, su dedicación, paciencia y constante apoyo me han dado el valor y la fuerza necesaria para superar cada obstáculo y alcanzar este logro, no hay palabras suficientes para expresar la profundidad de mi gratitud por todo lo que han hecho por mí, a mis hermanos y a toda mi familia, que con su apoyo constante, comprensión y cariño han sido un pilar fundamental en mi vida.

A mis amigos, quienes han compartido conmigo momentos de alegría y desafíos, y que han estado en cada etapa de este proceso.

*Holger Taipe*

### **DEDICATORIA**

A mi madre, cuyo amor, apoyo y dedicación han sido los pilares fundamentales en mi camino académico. Gracias a su incansable esfuerzo y sacrificio, he podido alcanzar este logro académico que hoy celebro. Su presencia constante, sus palabras de aliento y su fe en mí han sido el combustible que me ha permitido superar los obstáculos y llegar a la meta.

A mis docentes, cuya sabiduría y dedicación han sido pilares fundamentales en mi formación académica y personal. Con gratitud, reconozco a aquellos que han compartido generosamente su tiempo, conocimiento y orientación, permitiéndome crecer intelectual y personalmente, y alcanzar este importante logro.

*Cristopher Robayo*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR CON MECANISMO DE GIRO AZIMUTAL DE UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE 840 W”

**AUTORES:**

Cristopher Alejandro Robayo Pico  
Holger Israel Taipe Guanoquiza

**RESUMEN**

La presente propuesta tecnológica aborda la evaluación y mejora del sistema estructural de un seguidor solar de un eje. En la etapa inicial, se identificaron fallas mecánicas y estructurales que afectaban la operación del sistema. Entre las fallas mecánicas se encontraron el desgaste por rozamiento de componentes como chumaceras y ejes, y entre las fallas estructurales, problemas en las soldaduras, deformación del eje y la degradación de materiales en los sujetadores que afectan la estabilidad del sistema. Para resolver las fallas por deformación en los ejes y en los soportes, se utilizaron herramientas de diseño CAD para determinar los elementos a modificarse entre los cuales están los soportes para paneles, distancia entre columnas, la distancia de la conexión entre el brazo móvil y el actuador. Además, se modificó la distancia entre las columnas de soporte a 3 metros, se adaptaron los soportes de paneles utilizando abrazaderas que se sujetan al eje para permitir su movilidad, y se actualizó el actuador lineal aumentando su capacidad a 3300 libras. Estas modificaciones restauraron la funcionalidad del sistema y también ofrecieron mayor flexibilidad para la instalación de paneles de diferentes dimensiones. Mediante pruebas de operación se pudo determinar que los cambios realizados al sistema mecánico permitieron ampliar el rango de desplazamiento angular del sistema de 33° a 51°, aumentando la capacidad de captación de energía solar desde las 9:00 a.m. hasta las 3:00 p.m. este horario fue decidido a través del análisis de sombras de las construcciones cercanas al seguidor solar. La reducción de la fuerza necesaria para el desplazamiento a 1044.55 Nm con una carga de 150 kg contribuye a una operación más estable del sistema. Estas modificaciones proporcionaron una mayor adaptabilidad del seguidor a cualquier tipo de panel solar que se desee implementar en el futuro.

**Palabras clave:** Seguidor de un eje, sistema estructural, sistema mecánico, desplazamiento angular, análisis de sombras.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**THEME:** “REPOWERING OF THE SOLAR TRACKING SYSTEM WITH AZIMUTHAL ROTATION MECHANISM OF AN 840 W PHOTOVOLTAIC STATION”.

**AUTHORS:** Cristopher Alejandro Robayo Pico  
Holger Israel Taipe Guanoquiza

**ABSTRACT**

The present technological proposal addresses the evaluation and improvement of the structural system of a single-axis solar tracker. In the initial stage, mechanical and structural failures that affected the operation of the system were identified. Among the mechanical failures were friction wear of components such as bearings and shafts, and among the structural failures, problems in the welds, deformation of the shaft and degradation of materials in the fasteners that affect the stability of the system. To resolve the deformation failures in the shafts and supports, CAD design tools were used to determine the elements to be modified, including the panel supports, distance between columns, and the distance of the connection between the mobile arm and the actuator. In addition, the distance between the support columns was modified to 3 meters, the panel supports were adapted using clamps that are attached to the shaft to allow their mobility, and the linear actuator was updated by increasing its capacity to 3300 pounds. These modifications restored the functionality of the system and also offered greater flexibility for the installation of panels of different dimensions. Through operational tests, it was determined that the changes made to the mechanical system allowed the angular displacement range of the system to be extended from 33° to 51°, increasing the capacity to capture solar energy from 9:00 a.m. to 3:00 p.m. This time was decided through the analysis of shadows from the buildings near the solar tracker. The reduction of the force required for the displacement to 1044.55 Nm with a load of 150 kg contributes to a more stable operation of the system. These modifications provided greater adaptability of the tracker to any type of solar panel that may be desired to be implemented in the future.

**KEYWORDS:** Single-axis tracker, Structural system, Mechanical system, Angular displacement, Shadow analysis.



***AVAL DE TRADUCCIÓN***

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

La traducción del resumen al idioma Inglés de la propuesta tecnológica cuyo título versa: **“REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR CON MECANISMO DE GIRO AZIMUTAL DE UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE 840 W”** presentado por: **Robayo Pico Christopher Alejandro y Taipa Guanoquiza Holger Israel** egresados de la Carrera de Ingeniería Electromecánica perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

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

Latacunga, agosto de 2024

Atentamente,

  
**MSc. Alison Mena Barthelotty**  
**DÓCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC**  
**CI: 0501801252**



**ÍNDICE DE CONTENIDO**

1	INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2	INTRODUCCIÓN.....	2
2.1	SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	3
2.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
2.3	OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN .....	4
2.3.1	Objeto de Investigación.....	4
2.3.2	Campo de Acción.....	4
2.4	BENEFICIARIOS.....	4
2.4.1	Directo .....	4
2.4.2	Indirecto.....	4
2.2	JUSTIFICACIÓN .....	4
2.3	OBJETIVOS .....	5
2.3.1	General.....	5
2.3.2	Específicos.....	5
2.3.3	SISTEMAS DE TAREAS .....	5
3	MARCO TEÓRICO .....	6
3.1	RADIACIÓN SOLAR.....	6
3.2	TIPOS DE RADIACIÓN SOLAR.....	7
3.2.1	Radiación directa .....	7
3.2.2	Radiación difusa y global .....	7
3.2.3	Radiación reflejada.....	8
3.2.4	Irradiancia e Irradiación.....	8
3.3	RADIACIÓN SOLAR EN EL ECUADOR.....	8
3.4	TRAYECTORIA ORIENTADA AL SOL.....	9
3.4.1	Altura solar .....	10
3.4.2	Ángulo azimut .....	10

3.4.3	Ángulo de inclinación.....	10
3.4.4	Declinación solar .....	10
3.4.5	Ángulo Horario.....	11
3.5	POSICIONAMIENTO TERRESTRE .....	11
3.5.1	Longitud.....	11
3.5.2	Latitud.....	11
3.5.3	Norte verdadero .....	12
3.6	FUNCIÓN DE LOS SEGUIDORES SOLARES .....	12
3.7	SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR .....	12
3.7.1	Seguidores solares de un eje.....	13
3.7.2	Seguidor solar Azimutal .....	13
3.7.3	Ventajas y Desventajas .....	14
3.7.4	Mecanismo de giro Azimutal.....	14
3.8	FACTORES QUE AFECTA AL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	15
3.8.1	Luz incidente .....	15
3.8.2	Reflexión .....	15
3.8.3	Pérdida por sombra.....	15
3.8.4	Efecto de orientación e inclinación .....	16
3.9	CLIMA PROMEDIO EN LATACUNGA-ECUADOR.....	16
4	METODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	17
4.1	Diagrama de flujo de los procesos a realizar .....	18
4.2	DECLARACIÓN DE VARIABLES DEL PROYECTO .....	18
4.2.1	Variables dependientes: .....	18
4.2.2	Variables independientes: .....	19
4.3	INSPECCIÓN INICIAL .....	19
4.3.1	Inspección visual: .....	19
4.3.2	Inspección visual de soldadura.....	20

4.3.3	Pruebas: .....	20
4.4	REGISTRO DE FALLAS .....	21
4.5	MEJORAS AL SISTEMA MECÁNICO Y ESTRUCTURAL .....	23
4.6	DETALLES DE CONSTRUCCIÓN .....	25
4.6.1	Proceso de construcción del bazo móvil.....	25
4.6.2	Proceso de construcción eje móvil .....	27
4.6.3	Proceso de construcción de los sujetadores en L.....	27
4.6.4	Proceso de construcción del soporte de los paneles solares .....	28
4.7	DIAGRAMA CINEMÁTICO DEL MECANISMO.....	30
4.8	DATOS DE ENTRADA .....	30
4.8.1	Diseño seleccionado .....	30
4.8.2	Materiales del diseño .....	31
4.8.3	Selección del actuador lineal .....	32
4.8.4	Identificación del Norte verdadero .....	33
4.8.5	Ubicación del sistema de seguimiento solar .....	34
4.8.6	Sombras en la ubicación .....	34
4.8.7	Velocidad del viento en la ubicación .....	35
4.9	Cargas y condiciones de diseño .....	36
4.9.1	Cargas ejercidas en el eje.....	36
4.9.2	Cálculo de fuerzas aplicadas en el eje .....	36
4.9.3	Fuerzas en el eje por la carga del viento.....	36
4.9.4	Análisis de la deflexión máxima en la estructura .....	37
4.9.5	Cálculo de la Deflexión en SkyCiv Engineering.....	37
4.10	Análisis del factor de seguridad .....	38
4.11	Análisis del ángulo de elevación solar.....	39
4.11.1	Cálculo del Angulo Horario.....	39
4.11.2	Cálculo de la Declinación solar .....	39

4.11.3	Angulo de inclinación de los paneles solares .....	40
4.12	simulación de sombras con el software 3D sun-path .....	40
4.13	Análisis de la distancia mínima entre filas.....	40
5	ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	41
5.1	FUERZAS PRESENTES EN EL EJE .....	41
5.1.1	Calculo para las cargas máximas.....	41
5.2	FUERZA CORTANTE SFD .....	42
5.3	MOMENTO FLECTOR .....	48
5.4	DEFLEXIÓN CON LA CARGA MÁXIMA.....	52
5.5	Calculo del factor de seguridad.....	53
5.6	FUERZA DEL VIENTO.....	55
5.7	SIMULACIÓN DEL EFECTO DEL VIENTO EN LA ESTRUCTURA.....	56
5.8	Torque de la estructura.....	59
5.9	Angulo de inclinación para los paneles solares .....	59
5.10	Distancia mínima entre filas.....	61
5.11	Análisis de sombras .....	62
5.12	Pruebas de funcionamiento .....	66
5.12.1	Prueba de funcionamiento sin carga.....	67
5.12.2	Prueba de funcionamiento con carga.....	67
5.13	PRESUPUESTO .....	68
5.13.1	Gastos del personal.....	68
5.13.2	Gastos de ejecución .....	69
5.13.3	Gastos Indirectos .....	70
6	CONCLUSIONES Y RECOMENMDACIONES .....	71
6.1	Conclusiones.....	71
6.2	Recomendaciones .....	72
7	REFERENCIAS .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Sistema de tareas.....	6
Tabla 3.1. Ventajas y desventajas del seguimiento solar azimutal .....	14
Tabla 4.1. Elementos con imperfecciones en soldadura .....	20
Tabla 4.2. Pruebas realizadas en el seguidor solar.....	21
Tabla 4.3. Registro de fallas. ....	22
Tabla 4.4. Mejoras planteadas para el diseño. ....	23
Tabla 4.5. Proceso construcción del brazo móvil. ....	26
Tabla 4.6. Construcción eje móvil. ....	27
Tabla 4.7. Sujetadores ajustables en L.....	28
Tabla 4.8. Soporte de panel solar. ....	29
Tabla 4.9. Partes del diseño. ....	31
Tabla 4.10. Materiales del diseño. ....	32
Tabla 4.11. Especificaciones del actuador seleccionado. ....	33
Tabla 4.12. Cargas presentes en el eje. ....	36
Tabla 5.1. Ángulos horarios según las horas del día. ....	60
Tabla 5.2. Elevación solar según la hora del día .....	61
Tabla 5.3. Angulo de inclinación según las horas del día.....	61
Tabla 5.4. Angulo y corriente obtenidos.....	67
Tabla 5.5. Angulo y corriente obtenidos.....	68
Tabla 5.6. Gastos del personal. ....	69
Tabla 5.7. Gastos de Ejecución.....	69
Tabla 5.8. Gastos de contratación de servicios.....	70
Tabla 5.9. Gastos Indirectos .....	70
Tabla 5.10. Presupuesto global del proyecto .....	70

## ÍNDICE de figuras

Figura 3.1. Trayectoria de los rayos solares.[10].....	7
Figura 3.2. Radiación solar global horizontal Global Solar Atlas.[8] .....	9

Figura 3.3. Trayectoria del sol a lo largo del año en el Ecuador en base a solsticios y equinoccio. [12].....	9
Figura 3.4. Acimut y altitud en latitudes septentrionales.[14].....	10
Figura 3.5. Representación de la longitud y la latitud en un globo terráqueo.[14] .....	11
Figura 3.6. Componentes fijos y móviles del seguidor solar.[20] .....	13
Figura 3.7. Seguidor solar de un eje. [9] .....	13
Figura 3.8. Sistema con seguidor solar de eje azimutal.[11].....	14
Figura 3.9. Luz reflejada y luz refractada.[22].....	15
Figura 3.10. Perdidas por sombra.[24] .....	16
Figura 3.11. Temperatura máxima y mínima promedio.[10].....	17
Figura 4.1. Estado inicial del seguidor solar parte A.....	19
Figura 4.2 Estado inicial del seguidor solar parte B.....	19
Figura 4.3. Diagrama cinemático del mecanismo. ....	30
Figura 4.4. Diseño con 6 paneles solares de 1650x990x40mm.....	31
Figura 4.5. Identificación del Norte verdadero.....	33
Figura 4.6. Terraza del Bloque B.....	34
Figura 4.7. Sombras en la terraza de la universidad. ....	35
Figura 4.8. La velocidad del viento por hora, codificada por colores en bandas de acuerdo con la escala de Beaufort. [24] .....	35
Figura 4.9. Diagrama del tubo redonde utilizado. ....	38
Figura 4.10. Diagrama de la estructura en skyciv engineering. ....	38
Figura 4.11 Software 3D SUN-PATH.....	40
Figura 5.1. Diagrama de cuerpo libre de fuerzas en el eje .....	43
Figura 5.2. Fuerza cortante para $0 \leq x \leq 0.382$ .....	44
Figura 5.3. Fuerza cortante para $0.382 \leq x \leq 0.46$ .....	44
Figura 5.4. Fuerza Cortante para $0.46 \leq x \leq 1.198$ .....	45
Figura 5.5. Fuerza Cortante para $1.198 \leq x \leq 1.937$ .....	45
Figura 5.6. Fuerza Cortante para $1.937 \leq x \leq 2.67$ .....	46
Figura 5.7. Fuerza Cortante para $2.67 \leq x \leq 3.42$ .....	46
Figura 5.8. Fuerza Cortante para $3.42 \leq x \leq 3.48$ .....	47
Figura 5.9. Fuerza Cortante para $3.48 \leq x \leq 4$ .....	47
Figura 5.10. Diagrama de Fuerzas cortantes .....	48
Figura 5.11. Momento para $0 \leq x \leq 0.382$ .....	48

Figura 5.12. Momento para $0.382 \leq x \leq 0.46$ .....	49
Figura 5.13. Momento para $0.46 \leq x \leq 1.198$ .....	49
Figura 5.14. Momento para $1.198 \leq x \leq 1.937$ .....	50
Figura 5.15. Momento para $1.937 \leq x \leq 2.67$ .....	50
Figura 5.16 Momento para $2.67 \leq x \leq 3.42$ .....	51
Figura 5.17. Momento para $3.42 \leq x \leq 3.48$ .....	51
Figura 5.18. Momento para $3.48 \leq x \leq 4$ .....	52
Figura 5.19. Diagrama de Momentos.....	52
Figura 5.20. Diagrama de cuerpo libre.....	53
Figura 5.21. Desplazamientos en el eje Y.....	53
Figura 5.22. Esfuerzo de VON-MISES en psi.....	54
Figura 5.23. Esfuerzos presentes en la estructura.....	54
Figura 5.24. Viento en la estructura con el actuador contraído.....	56
Figura 5.25. Comportamiento del viento con el actuador contraído.....	56
Figura 5.26. Presión de viento en los paneles con el actuador contraído.....	57
Figura 5.27. Simulación del viento en la estructura con paneles horizontales.....	57
Figura 5.28. Comportamiento del viento en la estructura con paneles horizontales.....	57
Figura 5.29. Presión del viento en la estructura con paneles horizontales.....	58
Figura 5.30. Simulación del viento en la estructura con el actuador extendido.....	58
Figura 5.31. Comportamiento del viento en la estructura con el actuador extendido.....	58
Figura 5.32. Presión y velocidad del viento en el seguidor con el actuador extendido.....	59
Figura 5.33. Datos generales de la ubicación geográfica del 21 de junio.....	63
Figura 5.34. Sombras de la ubicación geográfica 21 de junio.....	63
Figura 5.35. Datos generales de la ubicación geográfica del 21 de diciembre.....	64
Figura 5.36. Sombras de la ubicación geográfica 21 de diciembre.....	64
Figura 5.37. Datos generales de la ubicación geográfica del 21 de septiembre.....	65
Figura 5.38. Sombras de la ubicación geográfica 21 de septiembre.....	65
Figura 5.39. Datos generales de la ubicación geográfica del 21 de marzo.....	66
Figura 5.40. Sombras de la ubicación geográfica 21 de marzo.....	66
Figura 5.41. Prueba de funcionamiento sin paneles.....	67
Figura 5.42. Prueba con carga.....	68

## 1 INFORMACIÓN GENERAL

### Tema del proyecto:

Repotenciación del sistema de seguimiento solar con mecanismo de giro azimutal de una estación fotovoltaica de 840 W.

### Modalidad de Titulación:

Propuestas Tecnológicas

Proyecto de Investigación

**Carrera:** Ingeniería Electromecánica

### Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:

Implementación de tecnologías de eficiencia energética en el sector productivo del sector de San Felipe para reducir las pérdidas en la red eléctrica.

### Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

#### Autores

Robayo Pico Cristopher Alejandro

Taipe Guanoquiza Holger Israel

#### Docente Tutor propuesto

Ing. Cruz Panchi Luis Rolando M.Sc

#### Área de Conocimiento:

Tabla 1: Campos de la ciencia y tecnología UNESCO

07 Ingeniería, Industria y Construcción	071 Ingeniería y Profesiones Afines	0713 Electricidad y energía
		0715 Mecánica y Metalurgia

#### Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

#### Sublíneas de investigación:

Diseño construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

## 2 INTRODUCCIÓN

Actualmente, el mundo atraviesa un periodo de rápida evolución tecnológica, destacándose la creciente implementación de sistemas de seguimiento solar en el ámbito de las energías renovables. En particular, los seguidores solares de un solo eje han sido fundamentales para mejorar la captación de energía solar. Sin embargo, estos sistemas pueden verse afectados por fallas en sus componentes mecánicos y estructurales, tales como deformaciones en el eje, atascamiento de chumaceras y oxidación en los soportes de los paneles solares y los sujetadores. Estas fallas pueden causar la inmovilización del sistema o aumentar la fuerza necesaria para el desplazamiento angular. A pesar de estos desafíos, la implementación de seguidores solares ha resultado en importantes avances tecnológicos y operativos, transformando el panorama energético global y contribuyendo a que la energía renovable representara el 11,9% del suministro de energía primaria a nivel mundial en 2021.[1]

El presente proyecto se centra en la mejora de un seguidor solar de un eje, que había sido inmovilizado debido a fallas en sus componentes mecánicos y estructurales como la deformación en los ejes, oxidación presente en la estructura debido a fallas en el recubrimiento antioxidante y en los cordones de soldadura, sobrecarga del actuador y orientación incorrecta hacia el norte verdadero. La investigación se desarrolla en el contexto de un creciente interés en las energías renovables, especialmente la energía solar, que ha llevado a un aumento significativo en la capacidad de las instalaciones fotovoltaicas a nivel global. Este auge ha impulsado un aumento significativo en la capacidad de las instalaciones fotovoltaicas a nivel global, alcanzando 1 TW en 2021 en comparación con los 100 GW registrados en 2012. [1] Dentro de las mejoras se ha planteado desarrollar soluciones que aborden las limitaciones existentes y mejoren el funcionamiento del sistema, incluyendo el aumento de la capacidad de desplazamiento angular, orientación correcta hacia el norte verdadero, facilidad de movimiento de los soportes para paneles solares, flexibilidad para ingresar paneles solares de dimensiones comerciales, aumento en la cantidad de paneles solares que pueden instalarse y sujetarse en el seguidor solar, mejora del actuador lineal y reducción de la distancia entre bases o columnas que soportan a los ejes.

El avance continuo en la tecnología solar, especialmente en los seguidores solares de un eje, ha llevado a un análisis detallado de la relación entre la potencia eléctrica generada y la radiación solar incidente en los paneles. Sin embargo, fallas como la deformación en los ejes, oxidación presente en la estructura, sobrecarga del actuador y orientación incorrecta hacia el norte verdadero, pueden afectar significativamente el desempeño de estos sistemas, alterando la

fuerza necesaria para lograr el desplazamiento angular y, por lo tanto, la captación de radiación solar y la potencia de salida.[2] Estudios experimentales han demostrado que los seguidores de un solo eje pueden aumentar la producción de energía en un 37.53%, pero la presencia de fallas como las mencionadas anteriormente puede limitar este beneficio, por lo que es importante abordarlas para mantener la funcionalidad de estos sistemas, que pueden constituir una alternativa más sencilla y económica frente a los seguidores de doble eje. [3]

En el contexto ecuatoriano, dada su posición geográfica, hay un potencial significativo para implementar tecnologías de generación eléctrica basadas en sistemas fotovoltaicos como lo son los seguidores solares, con el objetivo de diversificar la matriz energética y reducir la vulnerabilidad del sistema eléctrico, ya que la energía hidroeléctrica seguirá predominando en el corto y mediano plazo. Se estima que la mayor radiación solar del país se concentra en la región de los Andes, debido a factores como la altitud, que permite la recepción de altos niveles de radiación solar durante todo el año siendo los seguidores solares de un eje una opción llamativa para aprovechar dichas características que convierten a Ecuador en un terreno idóneo para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica, otorgándole un potencial teórico bruto de 61.5 GWh por año.[4]

## **2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

Los sistemas de seguimiento solar son empleados para mejorar la captación de energía solar, estos pueden captar entre un 30% y 45% más de radiación solar en comparación con los sistemas fijos. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que las fallas mecánicas y estructurales pueden inmovilizar el sistema, interfiriendo con su desplazamiento y aumentando la fuerza requerida para el ajuste angular.[5] Estas fallas incluyen desgastes en componentes móviles, soldaduras defectuosas y soportes inadecuados lo que reduce la capacidad de seguimiento solar.[6]

Según datos del Instituto de Energía Solar, se estima que las fallas mecánicas y estructurales, incluyendo defectos en los ejes, actuadores lineales, cojinetes, soportes, sujetadores, mecanismos de giro y bases, pueden disminuir la captación de la energía solar hasta en un 20%. Esto tiene un impacto directo en la generación de energía, especialmente en áreas geográficas con alta radiación solar. La Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA) ha señalado la importancia de mejorar estos sistemas.[7]

En Ecuador, donde la radiación solar promedio es de 4.5 a 5.5 kWh/m<sup>2</sup>/día el potencial para mejorar la generación de energía solar es considerable. No obstante, el estado actual de los

componentes y equipos existentes limita la capacidad para aprovechar plenamente este potencial.[8]

## 2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La inmovilización causada por las fallas en los componentes mecánicos y estructurales afectan el funcionamiento de un sistema de seguimiento solar de 840W.

## 2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

### 2.3.1 Objeto de Investigación

El objeto de la presente investigación es la rehabilitación mecánica del sistema de seguimiento solar de una estación fotovoltaica de 840 W.

### 2.3.2 Campo de Acción

33 Ciencias Tecnológicas	3322 Tecnología Energética	3322,02 Generación de Energía
--------------------------	----------------------------	-------------------------------

## 2.4 BENEFICIARIOS

### 2.4.1 Directo

Los beneficiarios directos de esta propuesta tecnológica son:

- Los 5 integrantes del grupo de investigación del proyecto de tecnologías de eficiencia energética formado por el coordinador y 4 actores docentes.

### 2.4.2 Indirecto

Los beneficiarios indirectos de esta propuesta tecnológica son:

- La comunidad de personas que conforman la Universidad Técnica de Cotopaxi

## 2.2 JUSTIFICACIÓN

Los sistemas de seguimiento solar de un eje son ampliamente utilizados para mejorar la captación de energía solar al ajustar la orientación de los paneles de acuerdo con el movimiento del sol. Estos sistemas pueden aumentar la producción de energía hasta en un 40% en comparación con sistemas estáticos. Sin embargo, esta capacidad de producción puede verse

reducida debido a fallas en componentes clave como los cojinetes, ejes, mecanismos de giro y actuadores, esenciales para el movimiento preciso y constante del sistema.

Las fallas en estos componentes pueden resultar en su inmovilización parcial o total, lo que impide el ajuste de los paneles solares y disminuye la captación de energía. Cuando los mecanismos de giro, cojinetes, ejes o actuadores no funcionan correctamente, el sistema pierde su capacidad de seguir la trayectoria solar de, lo que genera pérdidas considerables en la producción energética. Esta inmovilización no solo afecta la alineación de los paneles con respecto al sol, sino que también puede llevar a un desgaste acelerado de otros componentes, incrementando el riesgo de fallos adicionales.

Con el creciente énfasis en la transición hacia fuentes de energía renovable, es crucial corregir estas fallas para asegurar que el sistema de seguimiento solar funcione correctamente. Mejorar el sistema contribuirá a una mayor producción de energía solar y apoyará la integración efectiva de esta energía en la red eléctrica.

Este estudio es necesario para identificar y resolver las fallas mecánicas y estructurales en el sistema de seguimiento solar, asegurando un funcionamiento adecuado del sistema.

## **2.3 OBJETIVOS**

### **2.3.1 General**

Modificar el seguidor solar de 840W mediante la implementación de mejoras en sus componentes mecánicos y estructurales, para resolver las fallas que afectan su funcionamiento y su capacidad de seguimiento solar.

### **2.3.2 Específicos**

- Evaluar el estado inicial del sistema de seguimiento solar para identificar y clasificar las fallas mecánicas y estructurales.
- Realizar un modelo con software CAD para definir los cambios en el diseño.
- Ejecutar los cambios definidos en el diseño para el sistema estructural y mecánico.
- Comprobar el funcionamiento del seguidor solar mediante pruebas tanto en condiciones sin carga como con carga.

### **2.3.3 SISTEMAS DE TAREAS**

Tabla 2.1. Sistema de tareas

Objetivos Específicos	Actividades (Tareas)	Resultados Esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Evaluar el estado actual del sistema de seguimiento solar para identificar y clasificar las fallas mecánicas y estructurales.	1.- Identificación de problemas estructurales, fallas en los componentes mecánicos.	Lista de fallas mecánicas y estructurales.	Observación y pruebas de movimiento manual.
Realizar un modelo con software CAD para definir los cambios en el diseño.	1.-Diseño de modelos 3D en Software CAD	Planos y lista de materiales	Software de diseño CAD, Calculadora de estructuras SkyCiv Engineering, Catálogos de equipos y Fichas técnicas
	2.- Análisis de la deflexión máxima de la estructura con las cargas del nuevo diseño.	Cálculos de deflexión máxima	
	3.-Adquisición de equipos y materiales.	Equipos y materiales	
Ejecutar los cambios definidos en el diseño para el sistema estructural y mecánico	1.- Corrección de falencias con el nuevo diseño reutilizando componentes o replazándolos.	Estructura modificada	Herramientas de medida, corte, soldadura y software CAD
	2.- Instalación de la estructura del sistema de seguimiento solar en la ubicación designada.	Ubicación y datos geográficos.	
Comprobar el funcionamiento del seguidor solar mediante pruebas tanto en condiciones sin carga como con carga.	1.- Ejecución pruebas movilidad y funcionamiento mecánico.	Datos de funcionamiento	Tablero de control manual, torquímetro, amperímetro y herramientas de medición de ángulo de inclinación

### 3 MARCO TEÓRICO

#### 3.1 RADIACIÓN SOLAR

La energía solar, indispensable para la vida en la Tierra, se origina a partir de la fusión nuclear que ocurre en el sol. Esta energía es crucial para la existencia de nuestro planeta y tiene un papel esencial en el equilibrio de los ecosistemas y en la regulación del clima. La radiación solar se propaga a través de ondas electromagnéticas que se extienden en todas direcciones desde el sol, sin necesidad de un medio material para su transmisión. Estas ondas electromagnéticas varían en longitud de onda y frecuencia, lo que determina su nivel de energía, capacidad de penetración y si son perceptibles por el ojo humano.[9]

## 3.2 TIPOS DE RADIACIÓN SOLAR

### 3.2.1 Radiación directa

La radiación solar directa es la porción de energía electromagnética emitida por el sol que llega de manera inmediata y sin ser dispersada a la superficie de la Tierra. Esta forma de energía es esencial para comprender cómo la luz solar interactúa con nuestro planeta y cómo podemos aprovecharla de manera efectiva para producir energía renovable, contribuyendo así a un futuro más sostenible.[9]

### 3.2.2 Radiación difusa y global

La radiación solar difusa se refiere a la energía solar que es desviada y dispersada en múltiples direcciones al interactuar con partículas suspendidas en la atmósfera, como nubes, polvo y moléculas de gases. A diferencia de la radiación directa, esta forma de energía no sigue un camino recto desde el sol hasta la Tierra, sino que es reflejada y dispersada en diferentes direcciones, llegando a la superficie terrestre de manera indirecta.[9]

La radiación solar global representa la suma total de la energía solar que llega a una superficie horizontal, incluyendo la radiación directa que proviene del sol y la radiación difusa que es dispersada por la atmósfera en diferentes direcciones. Esta radiación global abarca toda la luz solar que alcanza la superficie terrestre, tanto directa como indirectamente, en la Figura 3.1 se muestra los tipos de radiación.

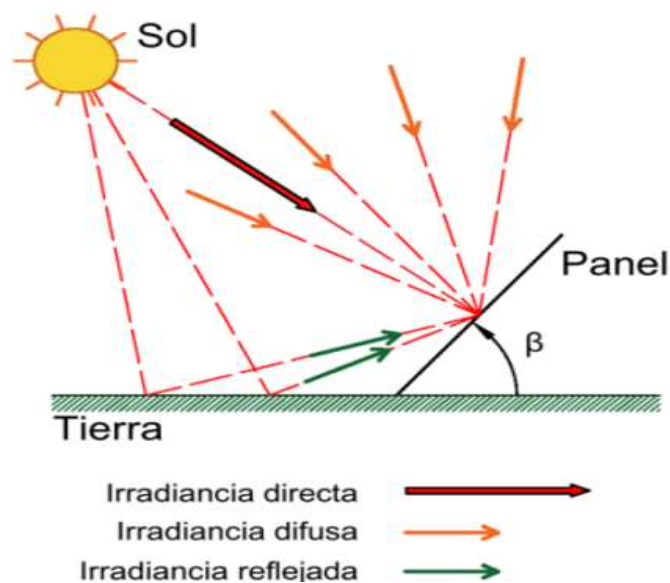


Figura 3.1. Trayectoria de los rayos solares.[10]

### 3.2.3 Radiación reflejada

La radiación solar reflejada se produce cuando una porción de la luz solar que ingresa a la atmósfera terrestre es devuelta hacia el espacio por diversas superficies reflectantes, como nubes, montañas y otros elementos geográficos presentes en la Tierra.[9]

### 3.2.4 Irradiancia e Irradiación

La irradiancia y la irradiación son magnitudes fundamentales para evaluar la radiación solar, ya que permiten cuantificar la cantidad de energía y potencia solar que llega a una superficie específica, expresada en términos de unidad de área.[11]

**Irradiancia:** Es la potencia o radiación incidente por unidad de superficie esta indica la intensidad de la radiación solar ( $W/m^2$ ).

**Irradiación:** La irradiación es la cantidad de energía solar obtenida mediante la integración o suma de las irradiancias en un periodo de tiempo determinado ( $Wh/m^2$ ).[11]

## 3.3 RADIACIÓN SOLAR EN EL ECUADOR

Ecuador, debido a su ubicación cercana al ecuador terrestre, recibe niveles extraordinarios de radiación solar. Sin embargo, a pesar de esta ventaja natural, el aprovechamiento de la energía solar para satisfacer las necesidades energéticas del país ha sido escaso. En la actualidad, la energía solar representa una proporción insignificante en la matriz energética nacional, mientras que el petróleo y la energía hidroeléctrica siguen siendo las fuentes de energía predominantes.

Esta situación representa una oportunidad valiosa que Ecuador aún no ha maximizado. El país tiene un enorme potencial sin explotar en términos de energía solar. Aprovechar esta fuente de manera óptima podría generar beneficios significativos, como una mayor diversificación energética y, en última instancia, la independencia energética del país en el largo plazo, reduciendo su dependencia de fuentes de energía no renovables.[5]

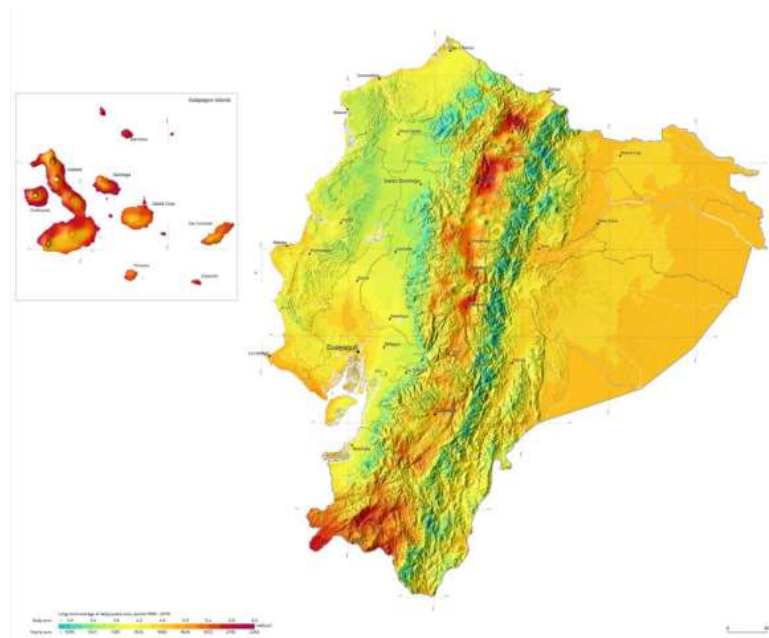


Figura 3.2. Radiación solar global horizontal Global Solar Atlas.[8]

### 3.4 TRAYECTORIA ORIENTADA AL SOL

La trayectoria solar se refiere a la posición angular y el movimiento aparente del Sol en el cielo, tanto diariamente como anualmente, en relación con una latitud determinada en la superficie de la Tierra en la Figura 3.2 se muestra la trayectoria de sol a lo largo del año en Ecuador. Este concepto se visualiza como el ángulo formado entre el plano del ecuador terrestre y la línea que conecta el punto de observación con el Sol en el cielo. Esta trayectoria experimenta cambios diarios y anuales debido a la inclinación del eje terrestre y la forma elíptica de la órbita terrestre alrededor del Sol, lo que afecta la posición aparente del Sol en el cielo.[12]

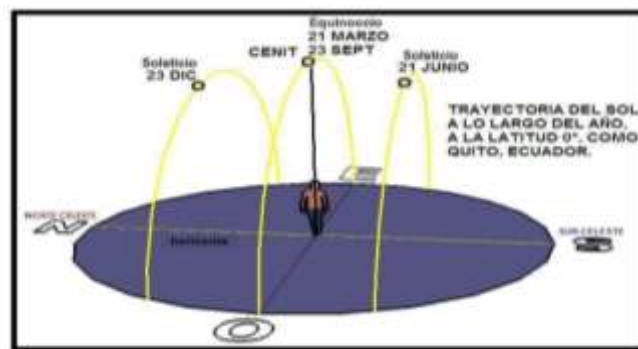


Figura 3.3. Trayectoria del sol a lo largo del año en el Ecuador en base a solsticios y equinoccio. [12]

### 3.4.1 Altura solar

La altura solar se define como el ángulo que se forma entre el horizonte visible del observador y la línea que une su punto de vista con la posición del Sol en el cielo.

$$\text{sen}\alpha = \text{cos}\phi \text{cos}\delta \text{cos}\omega + \text{sen}\phi \text{sen}\delta \quad [ 3.1 ]$$

### 3.4.2 Ángulo azimut

El ángulo azimut solar es el ángulo que se forma entre la dirección de la radiación solar proyectada en el plano tangente a la Tierra en el punto de observación y el eje que apunta hacia el sur en ese mismo plano, lo que permite determinar la orientación de la radiación solar en relación con la dirección sur.[13]en la Figura 3.3 se observa el ángulo azimut.

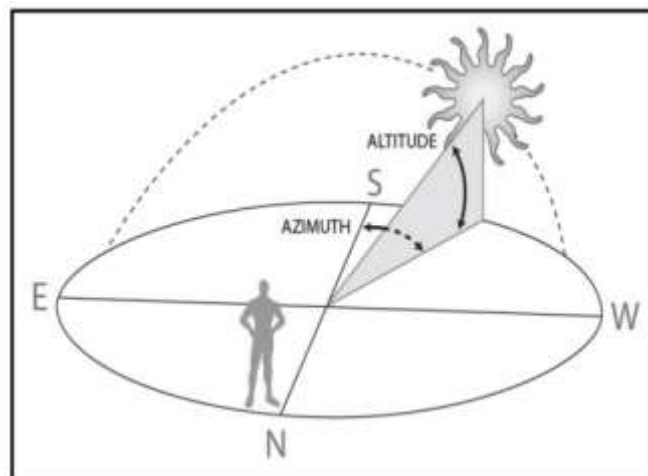


Figura 3.4. Acimut y altitud en latitudes septentrionales.[14]

### 3.4.3 Ángulo de inclinación

El ángulo de inclinación con respecto al sol es determinado por una serie de variables complejas que influyen en la cantidad de radiación solar que incide en un área específica.[15]

$$\beta = 90^\circ - \alpha \quad [ 3.2 ]$$

### 3.4.4 Declinación solar

Es el ángulo formado por los rayos solares y el plano ecuatorial de la tierra su valor oscila entre (+23.45° y -23.45) en los solsticios de verano e invierno también toma el valor 0 en los equinoccios de primavera y otoño.[15]

$$\delta = 23.45 \operatorname{sen} \left[ 360 \left( \frac{284 + n}{365} \right) \right] [15] \quad [ 3.3 ]$$

### 3.4.5 Ángulo Horario

Es el arco comprendido entre el meridiano del observador y el meridiano de la posición del sol su valor angular cambia  $15^\circ$  cada hora esto es debido a la rotación de la tierra como la tierra rota sobre su eje  $360^\circ$  en 24 horas.[15]

$$\omega = (TLA - 12) \cdot 15^\circ \quad [ 3.4 ]$$

## 3.5 POSICIONAMIENTO TERRESTRE

### 3.5.1 Longitud

La longitud geográfica es la distancia angular existente entre el meridiano de Greenwich y un punto cualquiera de la superficie terrestre puede medir  $180^\circ$  y ser de Este u Oeste.[12]

### 3.5.2 Latitud

La latitud  $\theta$  es la medida angular que determina la distancia hacia el norte o hacia el sur de un punto en la superficie terrestre con respecto a la línea del ecuador, la cual representa el punto de referencia inicial (0 grados). [11]En la Figura 3.5 se muestra la latitud y la longitud mediante un globo terráqueo.

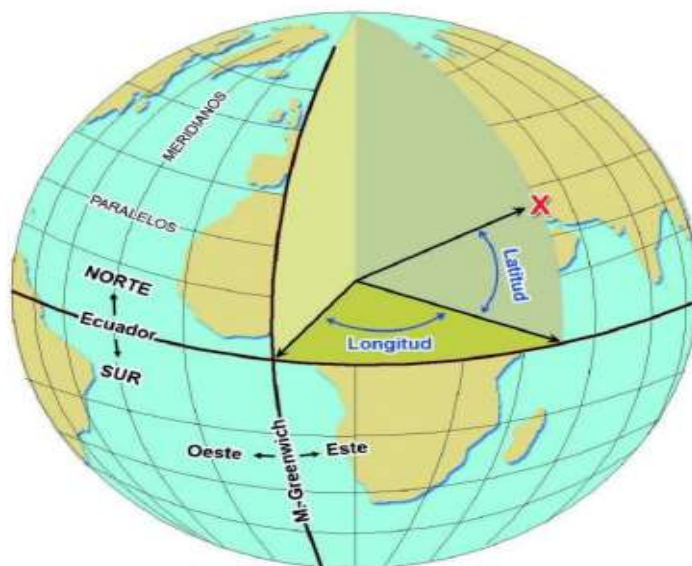


Figura 3.5. Representación de la longitud y la latitud en un globo terráqueo.[14]

### **3.5.3 Norte verdadero**

El norte verdadero, o norte geográfico, es un punto de referencia fundamental que se basa en el eje de rotación de la Tierra, y se utiliza para determinar la dirección hacia el Polo Norte desde cualquier ubicación en la superficie terrestre. Sin embargo, este punto de referencia no coincide con el norte magnético, que se orienta hacia el Polo Norte magnético, debido a las variaciones entre el eje de rotación de la Tierra y su campo magnético terrestre.[16]

### **3.6 FUNCIÓN DE LOS SEGUIDORES SOLARES**

Los seguidores solares son sistemas avanzados que se encargan de optimizar la captación de energía solar mediante el ajuste constante de la orientación de los paneles solares. Su objetivo principal es rastrear el movimiento del sol desde su salida hasta su puesta, asegurando que los paneles estén perfectamente alineados para recibir la mayor cantidad de radiación solar posible.[17]

### **3.7 SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR**

Los seguidores solares son sistemas mecánicos que rastrean el movimiento del sol a lo largo del día, desde el este al oeste, ajustando su posición para seguir el camino solar desde el amanecer hasta el anochecer. Están conformados básicamente por dos partes: una fija y una móvil en la Figura 3.6 se evidencia sus componentes. La parte móvil cuenta con una superficie de captación que debe permanecer perpendicular a los rayos del Sol durante el día y dentro de su rango de movimiento, cuya finalidad es maximizar la captación de radiación solar.[18]

La adopción de seguidores solares en sistemas fotovoltaicos ha demostrado un aumento considerable en la producción de energía, que puede variar entre un 10% y un 40% más en comparación con los sistemas fijos, dependiendo del tipo de tecnología utilizada y las condiciones climáticas del lugar de instalación. Además, la tecnología de seguimiento solar está en constante desarrollo, con innovaciones en sistemas de control y materiales que mejoran su eficiencia, durabilidad y reducen los costos operativos.[19]



Figura 3.6. Componentes fijos y móviles del seguidor solar.[20]

### 3.7.1 Seguidores solares de un eje

Los seguidores solares de un solo eje pueden ser horizontales o verticales como se muestra en la Figura 3.7. Los seguidores solares horizontales son la mejor opción para regiones cercanas al ecuador, donde el sol está alto al mediodía, pero los días son cortos. Por otro lado, los seguidores verticales son más adecuados para latitudes altas, como el Reino Unido, donde el sol no alcanza una gran altura en el cielo, pero los días de verano son largos. Tanto los seguidores horizontales como los verticales tienen un ángulo de inclinación ajustable y pueden seguir el movimiento del sol de este a oeste de manera automática.

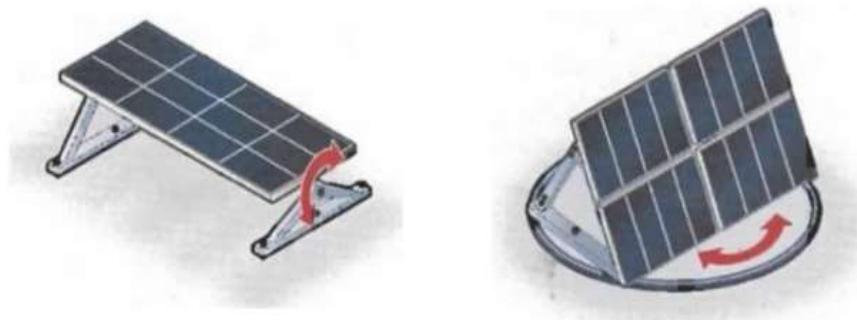


Figura 3.7. Seguidor solar de un eje. [9]

### 3.7.2 Seguidor solar Azimutal

Los seguidores solares azimutales son un tipo de seguidor solar que se caracteriza por tener un solo eje que se orienta en la dirección este-oeste. Esto permite que el panel solar se mueva horizontalmente para seguir la trayectoria del sol a lo largo del día y del año, ajustándose a su posición para maximizar la captación de energía solar.[21]

Sus características principales son que al estar orientados de este a oeste logra que el panel solar este perpendicular a los rayos de sol aumentando la producción de energía, al ajustar la posición

del panel solar de manera horizontal permite una mejor captación de la luz solar y su mecanismo de movimiento es de gran simplicidad.[21]

### 3.7.3 Ventajas y Desventajas

El seguidor solar azimutal debido a su simplicidad presenta ventajas y desventajas que pueden afectar su aplicación en diversas situaciones en la Tabla 2.1 se muestra las ventajas y desventajas:

Tabla 3.1. Ventajas y desventajas del seguimiento solar azimutal

Ventajas	Desventajas
Incremento de la captación de energía solar.	Bajo desempeño en ubicaciones de baja radiación solar.
Diseño simple y de baja ocupación de espacio.	Necesitan mantenimiento frecuente.
Menor costo	Menor precisión a comparación de otros seguidores solares.

### 3.7.4 Mecanismo de giro Azimutal

Los mecanismos de giro azimutal se emplean en sistemas de seguimiento solar para ajustar la orientación de los paneles solares a lo largo del día, permitiendo que giren en un plano horizontal alrededor de un eje vertical como se muestra en la Figura 3.8, su movimiento sigue el recorrido del sol de este a oeste a lo largo del día.[10]

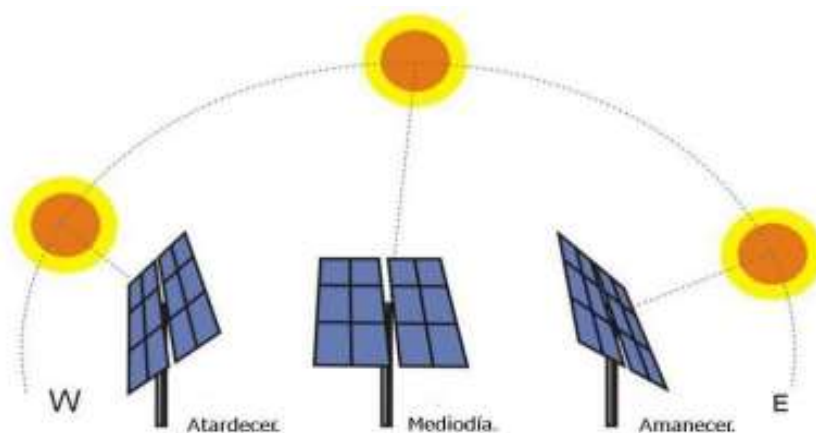


Figura 3.8. Sistema con seguidor solar de eje azimutal.[11]

### 3.8 FACTORES QUE AFECTA AL SISTEMA FOTOVOLTAICO

#### 3.8.1 Luz incidente

La luz solar que incide en los paneles solares abarca un amplio rango de longitudes de onda, sin embargo, solo una parte de esta luz es efectivamente convertible en energía eléctrica, siendo que aproximadamente la mitad de la luz incidente no se encuentra dentro del espectro de respuesta de los paneles solares comerciales.[10]

#### 3.8.2 Reflexión

Cuando la luz solar incide en la superficie de los paneles solares, se produce un fenómeno de reflexión que atenúa la radiación solar, lo que significa que no toda la luz es absorbida por las celdas fotovoltaicas. Esto se debe a que parte de la luz incidente se refleja total o parcialmente en la superficie del panel, lo que reduce la eficiencia del sistema.[10]

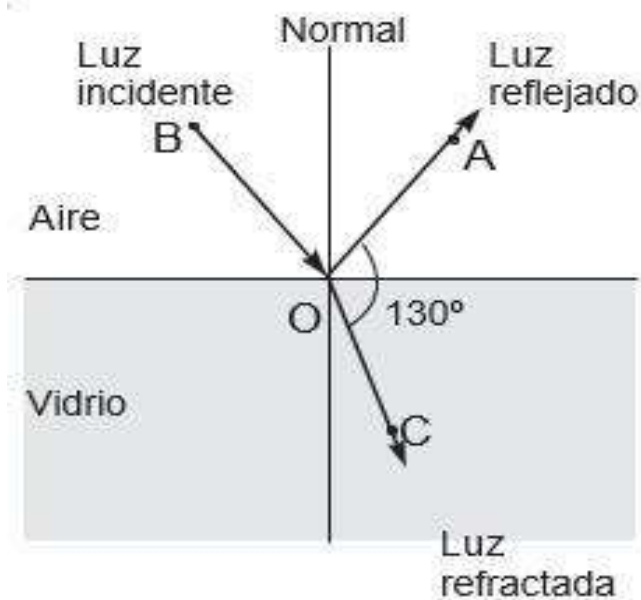


Figura 3.9. Luz reflejada y luz refractada.[22]

#### 3.8.3 Pérdida por sombra

El sombreado es un factor crítico que afecta el rendimiento de los paneles solares, especialmente cuando se produce un sombreado parcial como se muestra en la Figura 3.10. En estos casos, las sombras reducen la irradiancia que llega a las celdas, lo que provoca una disminución en su corriente de cortocircuito y altera su comportamiento eléctrico. Como resultado, las celdas afectadas pueden invertir su tensión y actuar como cargas resistivas, lo que reduce la eficiencia del sistema y afecta su rendimiento global.[23]



Figura 3.10. Perdidas por sombra.[24]

### **3.8.4 Efecto de orientación e inclinación**

La inclinación de los paneles solares es crucial para optimizar la captación de energía en un sistema fotovoltaico. Establecer el ángulo de inclinación ideal, que por lo general coincide con la latitud del sitio de instalación, es un paso esencial en el diseño de un sistema fotovoltaico eficaz. Los paneles solares funcionan con mayor eficiencia cuando están alineados perpendicularmente a la radiación solar. Sin embargo, en instalaciones fijas, no es posible mantener esta orientación óptima constantemente, lo que puede resultar en una reducción en la captación de energía.[10]

## **3.9 CLIMA PROMEDIO EN LATACUNGA-ECUADOR**

En Latacunga, se observa una notable variación en la temperatura a lo largo del año. La temporada más calurosa se extiende desde el 16 de octubre hasta el 21 de diciembre, abarcando aproximadamente 2 meses y 5 días, con una temperatura máxima promedio de 19°C. El pico de calor se alcanza el 15 de noviembre, cuando la temperatura máxima llega a 20°C, mientras que la mínima desciende a 9°C. Sin embargo, es común que, durante las primeras horas de la mañana, entre las 5 y las 6 am, la temperatura descienda hasta 1°C, mostrando una notable fluctuación térmica diaria.[10]

Desde el 4 de junio hasta el 27 de agosto, el clima fresco se extiende durante aproximadamente 2 meses y 7 días, con una temperatura máxima que no supera los 17°C. El día más frío dentro de este período es el 3 de septiembre, con una temperatura mínima de 8°C y una máxima de 18°C.[10]en la Figura 3.11 se observa las temperaturas en Latacunga.

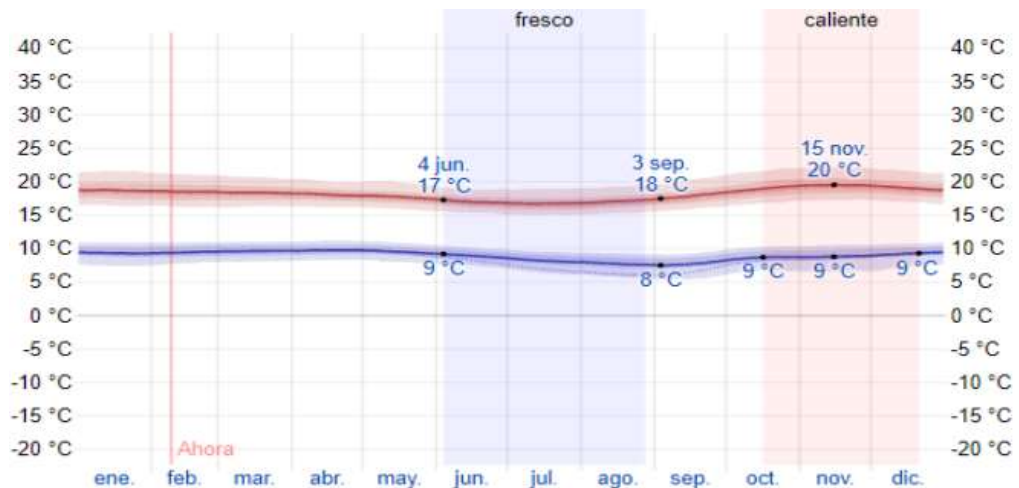


Figura 3.11. Temperatura máxima y mínima promedio.[10]

#### 4 METODOS Y PROCEDIMIENTOS

En la actualidad, la búsqueda de fuentes de energía renovable y sostenible es una prioridad global, los sistemas de seguimiento solar son una tecnología clave en la captación de energía solar, permitiendo a los paneles fotovoltaicos seguir el movimiento del sol y maximizar su captación de energía solar. Sin embargo, estos sistemas pueden experimentar problemas técnicos que afectan su rendimiento, como las fallas en el mecanismo de giro azimutal, que es crucial para su correcto funcionamiento.

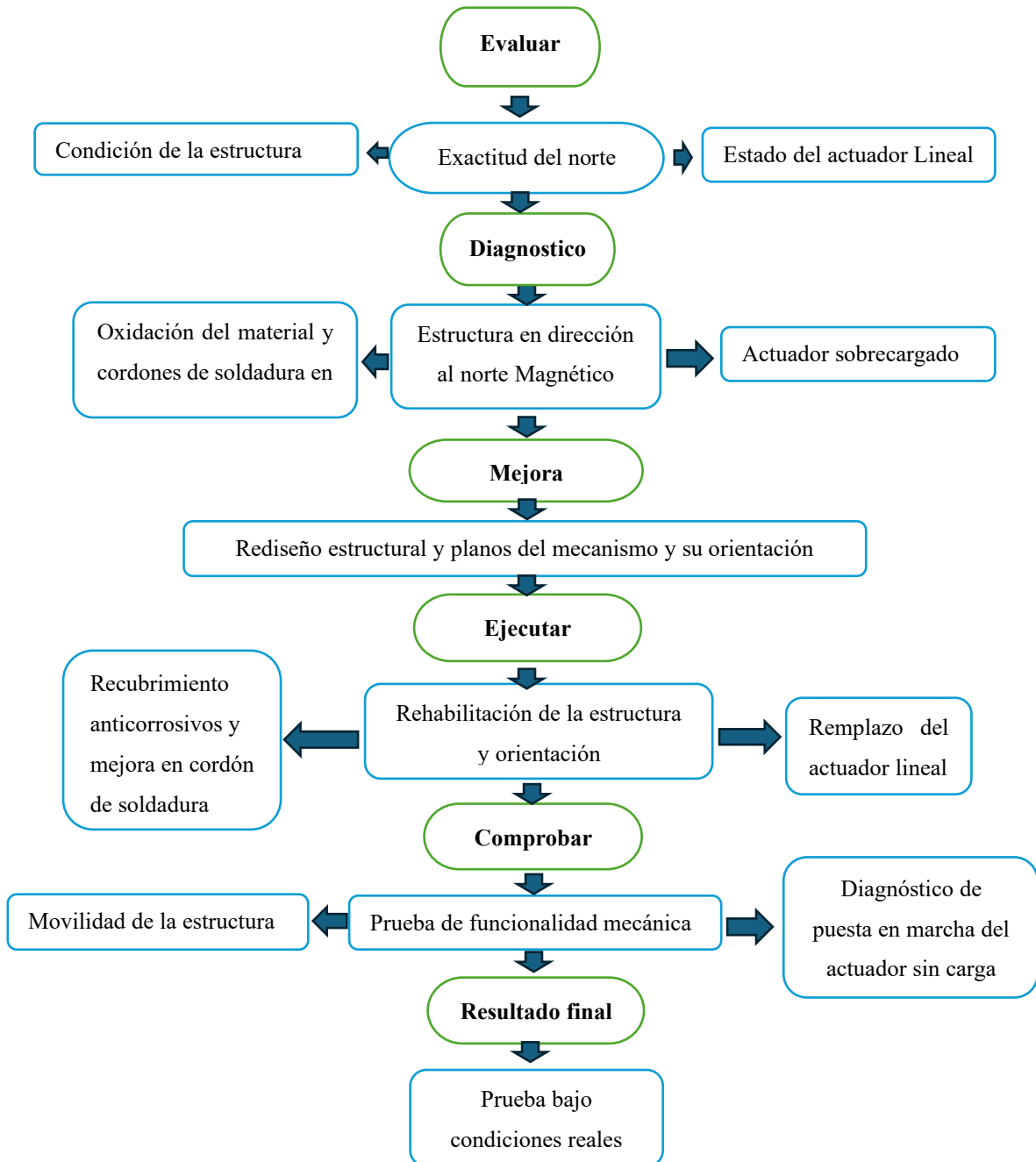
En el presente proyecto se enfoca en la repotenciación de un sistema de seguimiento solar de un eje con mecanismo de giro azimutal, el cual sigue al sol de Este a Oeste. El objetivo principal es corregir las fallas del mecanismo de giro azimutal para mejorar la captación de energía solar. Para lograr esto, se implementarán diversas mejoras en el diseño y los componentes del sistema, incluyendo la modificación de la estructura, la implementación de un actuador lineal mejorado, y la modificación de los soportes de los paneles solares.

El alcance del proyecto abarca desde la identificación y análisis de las fallas actuales hasta la implementación de las mejoras y la evaluación de los resultados obtenidos. Este proceso incluye la selección y adquisición de componentes, la instalación y pruebas de los mismos. La repotenciación del sistema no solo busca restaurar su funcionalidad, sino también aumentar la capacidad de movimiento del mecanismo de giro.

El contexto de este proyecto se enmarca en el esfuerzo por mejorar las tecnologías de energías renovables y aumentar la capacidad de captación de energía solar. La solución propuesta pretende servir como modelo para futuras mejoras en sistemas similares, contribuyendo así al

campo de la energía solar y apoyando los objetivos de sostenibilidad y reducción de la dependencia de fuentes de energía no renovables.

#### 4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS PROCESOS A REALIZAR



#### 4.2 DECLARACIÓN DE VARIABLES DEL PROYECTO

##### 4.2.1 Variables dependientes:

Desplazamiento angular. (°)

#### 4.2.2 Variables independientes:

Fuerza de desplazamiento. (Nm)

#### 4.3 INSPECCIÓN INICIAL

La inspección inicial del sistema de seguimiento solar con mecanismo de giro azimutal se llevó a cabo mediante dos métodos principales:

##### 4.3.1 Inspección visual:

Se realizó una evaluación visual del estado de cada uno de los componentes del sistema, incluyendo el actuador lineal (1), el brazo móvil (2), columnas (3), sujetadores ajustables en L (4), chumaceras (5), sujetadores transversales (6), soportes para panel (7), soportes soldados a los ejes (8), los ejes (9) y el soporte del actuador (10). En la Figura 4.1 y Figura 4.2 se evidencia sus componentes.



Figura 4.1. Estado inicial del seguidor solar parte A.

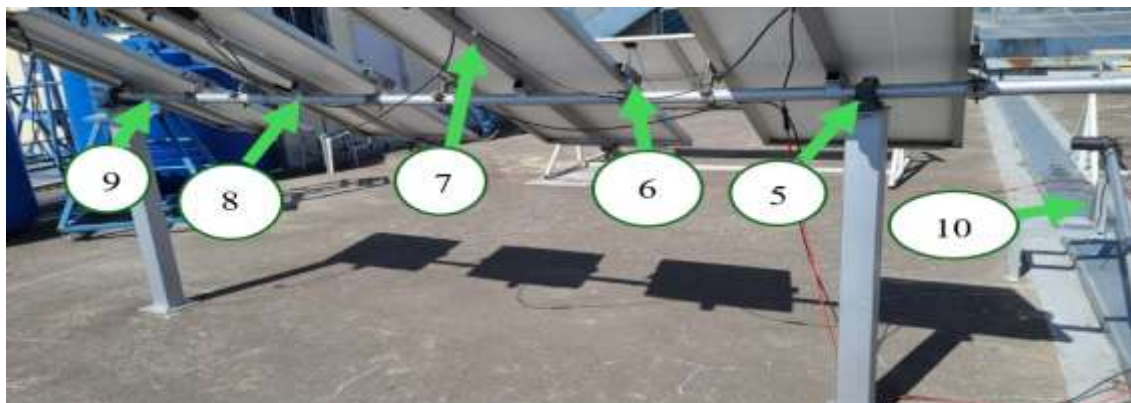


Figura 4.2 Estado inicial del seguidor solar parte B.

### 4.3.2 Inspección visual de soldadura

Para la inspección visual de soldadura se empleó algunos de los criterios planteados en la Norma Internacional ISO 17637:2016 titulada “Inspección visual de soldaduras en metal” que se enfoca en la verificación de las soldaduras mediante la inspección visual directa. Esta norma nos indica que las soldaduras terminadas deben examinarse al menos de acuerdo con los siguientes requisitos dados:

- La soldadura debe examinarse para verificar lo siguiente:
  - a) Se ha eliminado toda la escoria por medios manuales o mecánicos para evitar que se oculten imperfecciones.
  - b) No hay impresiones de herramientas ni marcas de golpes.
  - c) Cuando se requiere el acabado de la soldadura, se evita el sobrecalentamiento de la junta debido al esmerilado y también se evitan las marcas de esmerilado y un acabado desigual.
  - d) Para las soldaduras de filete y de tope que deben ser acabadas al ras, la junta se fusiona suavemente con el metal base sin socavado.

Si se observan imperfecciones como en la (causadas por el acabado u otros motivos), deben informarse para que se tomen medidas correctivas en la Tabla 4.1 se muestran algunas imperfecciones.




Tabla 4.1. Elementos con imperfecciones en soldadura

Descripción	Imperfecciones	Evidencia
<p><b>Sujetador ajustable en "L"</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se ha eliminado toda la escoria.</li> <li>• Presencia de socavados en la soldadura.</li> </ul>	
<p><b>Sujetador transversal</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se ha eliminado toda la escoria.</li> <li>• Presencia de socavados en la soldadura.</li> </ul>	

### 4.3.3 Pruebas:

Al mismo tiempo de la inspección visual se llevó a cabo pruebas prácticas para verificar el funcionamiento del sistema estas se evidencian en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Pruebas realizadas en el seguidor solar.

<b>Prueba realizada</b>	<b>Resultado</b>	<b>Evidencia</b>
<b>Activación del actuador lineal.</b>	El actuador lineal está inoperativo debido a una sobrecarga.	
<b>Revisión de movilidad de los ejes.</b>	El eje presenta dificultades de rotación debido a un rozamiento elevado en las chumaceras.	
<b>Comprobación de elementos de sujeción de paneles solares.</b>	Fallo en la fijación de los soportes transversales para paneles solares.	

#### 4.4 REGISTRO DE FALLAS

Los métodos aplicados en la inspección inicial permitieron reconocer cada falla, asegurando que todos los aspectos relevantes fueran considerados de manera adecuada en la Tabla 4.3 se muestra el registro de fallas del mecanismo.

Tabla 4.3. Registro de fallas.


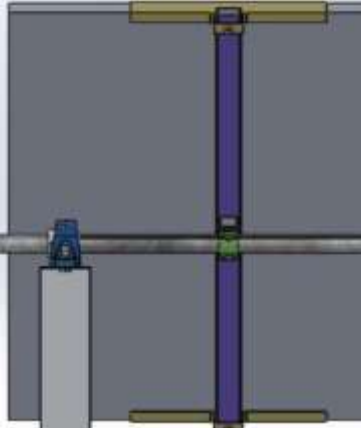
ID de Falla	Fecha De Detección	Componente Afectado	Descripción De Fallo	Fotografía	Categoría	Gravedad
F001	22 de mayo	Actuador lineal	Actuador sobrecargado		Eléctrica	Alta
F002	23 de mayo	Ejes	pandeamiento en los ejes		Mecánica	Alta
F003	23 de mayo	Chumaceras	Atascamiento debido a la oxidación		Mecánica	Media
F004	24 de mayo	Soportes del panel	Se encuentran soldados directamente al eje		Mecánica	Media
F005	29 de mayo	Componentes estructurales	Fallas de soldadura		Estructural	Alta
F006	29 de mayo	Sujetadores transversales	Oxidación en el material		Estructural	Media
F007	29 de mayo	Sujetadores ajustables en L	Oxidación en el material		Estructural	Media

ID de Falla	Fecha De Detección	Componente Afectado	Descripción De Fallo	Fotografía	Categoría	Gravedad
F008	29 de mayo	Tornillos y Tuercas	Los elementos se encuentran oxidados y deteriorados		Estructural	Media
F009	29 de mayo	Orientación estructural	Incorrecta orientación hacia el norte verdadero		Geográfica	Media

#### 4.5 MEJORAS AL SISTEMA MECÁNICO Y ESTRUCTURAL

Las mejoras al sistema mecánico y estructural se fundamentaron en el análisis de las fallas detectadas y documentadas. Estos datos proporcionaron una perspectiva más clara para proponer y desarrollar mejoras y un nuevo diseño con el fin de corregir los defectos estructurales y mecánicos identificados como se muestra en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Mejoras planteadas para el diseño.

Mejoras planteadas	Mejora aplicada
<p><b>Eliminación de sujetadores transversales para paneles:</b> Estos sujetadores, además de presentar fallas mecánicas en la sujeción de los paneles solares, generaban problemas de compatibilidad con paneles solares de espesor mayor a 40mm. Su eliminación permitirá flexibilidad a la estructura es decir se pueden instalar paneles solares comerciales que no sobrepasen los 1700 mm de largo.</p> 	<p><b>Implementación de tornillos en los sujetadores ajustables en L:</b> La implementación de tornillos en los sujetadores en L permitió reducir el peso aplicado al eje al eliminar los sujetadores transversales y facilita la instalación de paneles solares de medidas comerciales que no superen los 1700 mm de largo.</p> 

Mejoras planteadas	Mejora aplicada
<p><b>Modificaciones en el mecanismo de giro azimutal:</b> La modificación del mecanismo de giro se planteó considerando la sobrecarga del actuador lineal anterior, debido a su baja capacidad de carga y la fuerza excesiva que debía emplear para mover los paneles solares al estar conectado en el extremo del brazo móvil que mueve los ejes.</p> <p>Para abordar este problema, se decidió cambiar la ubicación de la conexión del actuador lineal, logrando así una reducción significativa en la fuerza necesaria para mover los paneles solares.</p> 	<p><b>Cambio de la distancia entre el acople del mecanismo de giro y el actuador lineal:</b> Esta modificación se implementó para disminuir el par necesario durante el movimiento de los paneles solares. Además, esta alteración facilitó la integración de una futura estructura con características similares al dejar libre la conexión en el extremo del brazo móvil.</p> 
<p><b>Modificaciones en el eje móvil y los soportes para paneles solares:</b> Estos componentes, al consistir en un eje cilíndrico y varios soportes soldados directamente, presentan dificultades al instalar paneles de dimensiones diferentes a las previstas en el diseño original, lo que genera espacios entre ellos y problemas de adaptabilidad a paneles comerciales.</p> <p>Las modificaciones en el eje y los soportes se consideraron para permitir la implementación de paneles solares de diversas dimensiones.</p> 	<p><b>Modificación de los soportes para paneles solares:</b> Estos se modificaron con la implementación de sujetadores que van asegurados al eje modificado para que sean de fácil instalación.</p> <p>Incorporación de varillas cuadradas como guías en los ejes: Esta mejora proporciona una superficie para la instalación de los soportes para paneles modificados y facilite la instalación de paneles solares de diferentes dimensiones aprovechando todos los espacios.</p> 

Mejoras planteadas	Mejora aplicada
<p>Modificación de la distancia entre las columnas que soportan a los ejes: La distancia de 3.85 m establecida en el diseño original ha provocado problemas de pandeo en los ejes. Para mitigar este efecto, se ha propuesto reducir la distancia entre las columnas, disminuyendo así el pandeo inducido por el peso de los paneles solares, sus soportes y sujetadores.</p> 	<p>Distancia entre columnas que soportan a los ejes: La distancia entre las columnas fue ajustada a 3 m para mitigar el pandeo en los ejes. Esta modificación también optimizó el uso de los espacios disponibles y protegió las chumaceras ubicándolos debajo de los paneles solares.</p> 






#### 4.6 DETALLES DE CONSTRUCCIÓN

Para la construcción se implementaron diversos procesos como corte, soldadura, perforación y aplicación de pintura, mediante el cual se realizó la construcción del brazo móvil, eje móvil, soporte del panel solar y sujetadores laterales en L.

##### 4.6.1 Proceso de construcción del bazo móvil

En la siguiente Tabla 4.5 se detalla el proceso para la construcción de lo brazo.






Tabla 4.5. Proceso construcción del brazo móvil.

<b>PROCESO DE CONSTRUCCIÓN BRAZO MÓVIL</b>				
<b>ítem</b>	<b>ilustración</b>	<b>proceso</b>	<b>descripción</b>	<b>características</b>
1		Selección	Para la reconstrucción del brazo móvil se utilizó material de acero galvanizado.	Acero galvanizado ASTM A513
2		Selección	Para la sujeción del actuador se cambió la distancia entre el acople del mecanismo de giro y el actuador lineal.	Acero galvanizado ASTM A513
3		Medición	Se realizo la medición para unir un acople tipo U en el brazo móvil	Metro
4		Suelda MIG	Se realizo el acople tipo U mediante 2 cordones de soldadura de 4 centímetros a cada extremo utilizando soldadora MIG para que el mecanismo que actuara como eje y pueda circular libremente el actuador	Soldadura MIG con corriente: 110 Amps, velocidad de avance: 8 mm/s, gas aportante: CO2.
5		Perforación y pintura	Se realizo una perforación para sujetarle con el acople tipo U, para posteriormente aplicar la pintura anticorrosiva	Taladro con una broca de ½ in y Pintura Anticorrosivo brillantes gris SLT, thinner y guaipe

#### 4.6.2 Proceso de construcción eje móvil

En la siguiente Tabla 4.6 se detalla el proceso para la elaboración del eje móvil.

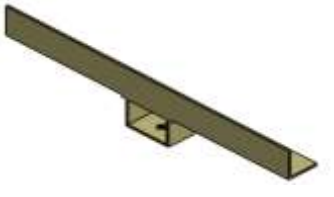



Tabla 4.6. Construcción eje móvil.

PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL EJE MÓVIL				
ítem	ilustración	proceso	descripción	Características
1		Selección	Para la reconstrucción del eje móvil se utilizó un tubo redondo de 6 metros de acero galvanizado y 3 metros de acero ASTM A36.	Acero galvanizado ASTM A513 y Acero ASTM A36
2		Corte	Se realizo la limpieza en el eje móvil ya que se encontraba antes el soporte del panel pegado al eje directamente.	Corte con amoladora de 9 in, voltaje: 110v, disco de corte de 7 in, de 2 mm de espesor.
3		Remoción de escoria	Se llevó a cabo una limpieza de las zonas afectadas utilizando un disco de desbaste.	Disco Norton desbaste 7x1/4x7/8, amoladora de 9 in, voltaje: 110v
4		Suelda MIG	Con la suelda MIG se procedió a soldar una varilla cuadrada de 3 m junto al tubo redondo que es el eje principal.	Varilla Cuadrada de Acero ASTM A36, Soldadura MIG con corriente: 110 Amps, velocidad de avance: 8 mm/s, gas aportante: CO2.
5		Pintura	Se limpio la estructura metálica con la ayuda de un guaípe y thinner, luego se procedió aplicar la pintura con la ayuda de un compresor.	Pintura Anticorrosivo brillantes gris SLT, thinner y guaípe

#### 4.6.3 Proceso de construcción de los sujetadores en L

En la siguiente Tabla 4.7 se detalla el proceso para su construcción.

Tabla 4.7. Sujetadores ajustables en L.


<b>PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LOS SUJETADORES AJUSTABLES EN L</b>				
<b>ítem</b>	<b>ilustración</b>	<b>Proceso</b>	<b>descripción</b>	<b>características</b>
1		Selección	Para la reconstrucción de los sujetadores en L se utilizó acero galvanizado.	acero galvanizado ASTM A513
2		Remoción de escoria y corte	Se realizó la eliminación de los pernos con desperfectos y se realizó una limpieza con el disco de desbaste.	Disco Norton desbaste 7x1/4x7/8, amoladora de 9 in, voltaje: 110v
3		Suelda MIG	Con la suelda MIG se procedió a soldar los pernos de 1/2 en el centro del sujetar.	Soldadura MIG con corriente: 110 Amps, velocidad de avance: 8 mm/s, gas aportante: CO2.
4		Pintura	Se limpio la estructura metálica con la ayuda de un guaípe y thinner, luego se procedió aplicar la pintura con la ayuda de un compresor.	Pintura Anticorrosivo brillantes gris SLT, thinner y guaípe

#### 4.6.4 Proceso de construcción del soporte de los paneles solares

En la siguiente Tabla 4.8 se presenta los detalles se la construcción de los soportes para panel solar.

Tabla 4.8. Soporte de panel solar.

<b>PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE DE PANEL SOLAR</b>				
<b>ítem</b>	<b>ilustración</b>	<b>proceso</b>	<b>descripción</b>	<b>características</b>
1		selección	Para la reconstrucción del soporte del panel se utilizó acero galvanizado ASTM A513.	Acero galvanizado ASTM A513.
2		Remoción de escoria	Para remover las escorias en el material se utilizó una amoladora con disco de desbaste.	Disco Norton desbaste 7x1/4x7/8 y amoladora de 9 in, voltaje: 110v,
3		Corte	Después de remover la escoria se procedió a cortar un tubo cuadrado galvanizado para soldar en medio del soporte del panel.	Tubo cuadrado galvanizado
4		Suelda MIG	Después de cortar el tubo cuadrado se procedió a soldar utilizando soldadora MIG justo en el centro del soporte del panel.	Soldadura MIG con corriente: 110 Amps, velocidad de avance: 8 mm/s, gas aportante: CO2.
5		Suelda MIG	Se procedió a soldaren las abrazaderas para sujetar con los soportes del panel.	Soldadura MIG con corriente: 110 Amps, velocidad de avance: 8 mm/s, gas aportante: CO2.
6		Suelda MIG	Se procedió a soldar el tubo cuadrado con las abrazaderas.	Soldadura MIG con corriente: 110 Amps, velocidad de avance: 8 mm/s, gas aportante: CO2.
7		Verificación del mecanismo	Mediante un nivel se comprobó que el soporte no se encuentre con desviación.	Nivel Plástico 9" B/Magnética Riel Alum

ítem	ilustración	proceso	descripción	características
8		Pintura	Se limpio la estructura metálica con la ayuda de un guaípe y thinner, luego se procedió aplicar la pintura con la ayuda de un compresor.	Pintura Anticorrosivo brillantes gris SLT, thinner y guaípe

#### 4.7 DIAGRAMA CINEMÁTICO DEL MECANISMO

El diagrama cinemático se elabora empleando una referencia o puntos fijos que son donde se sostiene las partes móviles del mecanismo para posteriormente continuar con los eslabones, correderas o engranajes que puedan incluir un determinado mecanismo en la Figura 4.3 se evidencia el diagrama cinemático del mecanismo.

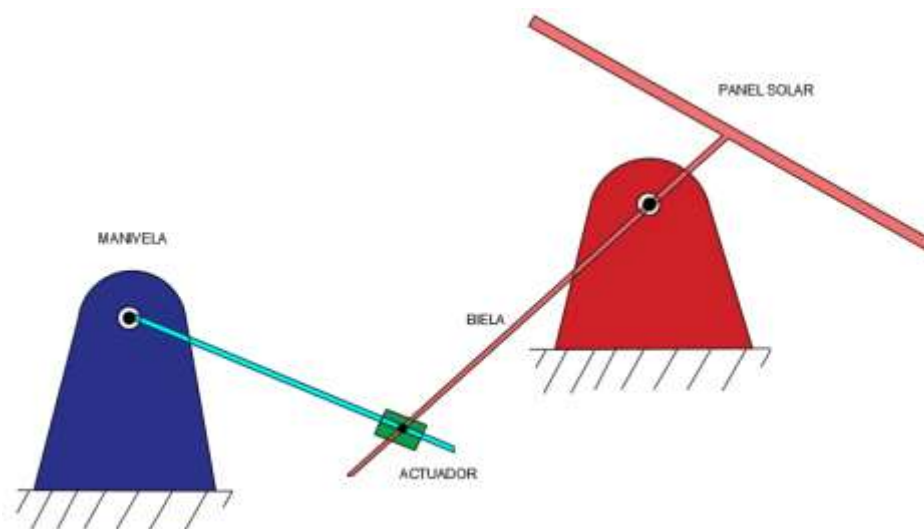


Figura 4.3. Diagrama cinemático del mecanismo.

#### 4.8 DATOS DE ENTRADA

##### 4.8.1 Diseño seleccionado

El diseño seleccionado se muestra en la Figura 4.4 basándose en criterios clave como la compatibilidad de los materiales con el diseño anterior, la funcionalidad para cumplir su propósito original, y su escalabilidad para permitir la implementación de múltiples unidades interconectadas que desempeñen la misma función.



Figura 4.4. Diseño con 6 paneles solares de 1650x990x40mm.

#### 4.8.2 Materiales del diseño

Los materiales empleados en la estructura original se evidencian en la Tabla 4.10 estos son técnicamente aptos para aplicaciones en entornos expuestos a la intemperie; sin embargo, se han identificado problemas de oxidación y pandeo. Estas fallas son atribuibles a deficiencias en la aplicación de la pintura anticorrosiva, imperfecciones en los cordones de soldadura, y errores en el análisis estructural de cargas. En el nuevo diseño, se abordarán y corregirán estas deficiencias, implementando mejoras técnicas que aseguren una mayor resistencia estructural y durabilidad del sistema.

Tabla 4.9. Partes del diseño.

1	Actuador lineal	
2	Soporte del actuador	
3	Eje móvil	
4	Soporte del panel solar	
5	Brazo móvil	
6	Chumacera	
7	Panel solar	
8	Sujetadores ajustables en L	

Tabla 4.10. Materiales del diseño.

Descripción	Material
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejes</li> <li>• Soporte del actuador</li> <li>• Soporte de panel solar</li> <li>• Brazo móvil</li> <li>• Soportes ajustables en “L”</li> <li>• Bases desmontables</li> <li>• Placas bases</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubo redondo acero galvanizado ISO H.G (13/4 pulg) x 3mm.</li> <li>• Tubo cuadrado (40x40x3mm) acero galvanizado.</li> <li>• Tubo rectangular (50x25x3 mm) acero galvanizado.</li> <li>• Tubo redondo (2 pulg) x 3mm y tubo cuadrado (40x40x3mm) acero galvanizado.</li> <li>• Platina de acero (40x3mm) y ángulo (40x3 mm) acero.</li> <li>• Tubo cuadrado (100x100x3mm) acero galvanizado.</li> <li>• Plancha de acero de 4 mm ASTM A36.</li> </ul>

#### 4.8.3 Selección del actuador lineal

El actuador se seleccionó basándose en criterios de compatibilidad con el mecanismo ya diseñado, al cual se le realizaron algunos cambios para obtener un mayor recorrido y una posición de agarre diferente, reduciendo así el torque ejercido. Además, se consideró la capacidad de carga del actuador, la cual debe ser superior a la del actuador previamente instalado para evitar su sobrecarga y asegurar su aptitud para futuras implementaciones en estructuras similares que funcionarán con el mismo actuador en la Tabla 4.11 se muestra las especificaciones del actuador seleccionado. También se tuvo en cuenta el grado de resistencia mecánica, que debe ser adecuado para estar a la intemperie.

Tabla 4.11. Especificaciones del actuador seleccionado.

Especificaciones del actuador lineal						
Carga (LBS)	Corriente sin carga (A)		Corriente de carga completa (A)		Velocidad (pulgadas/seg)	
Dinámica	24	VCC			Sin carga	Con carga
Estático	36VCC		24VDC	36VDC		
3,300					0,08	
10,000	<1.0	<1.0	6.0	4,1		0,06
Datos del actuador						
Clase de protección	IP66M					
Ciclo de trabajo	12%					
Longitud del cable	82"					
Tipo de motor	Brushed DC Motor					
Tipo de tornillo	Tornillo ACME (Freno integrado)					
Material de la carcasa	Aleación de aluminio					
Material de engranaje	Metalurgia de polvos					
Material de la barrilla	Acero inoxidable					



#### 4.8.4 Identificación del Norte verdadero

La Figura 4.5 muestra la identificación del norte verdadero, se realizó utilizando la brújula del Fluke IRR1-SOL y comparándola con una aplicación de teléfono que permite conocer el norte verdadero. Al comparar ambos métodos, se logró trazar una línea orientada al norte verdadero.



Figura 4.5. Identificación del Norte verdadero.

#### 4.8.5 Ubicación del sistema de seguimiento solar

La estructura de los seguidores solares está instalada en la terraza del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi en Ecuador, ciudad Latacunga la cual se localiza en las siguientes coordenadas geográficas: Latitud:  $-0.917081^\circ$ ; Longitud:  $-78.633152^\circ$ .

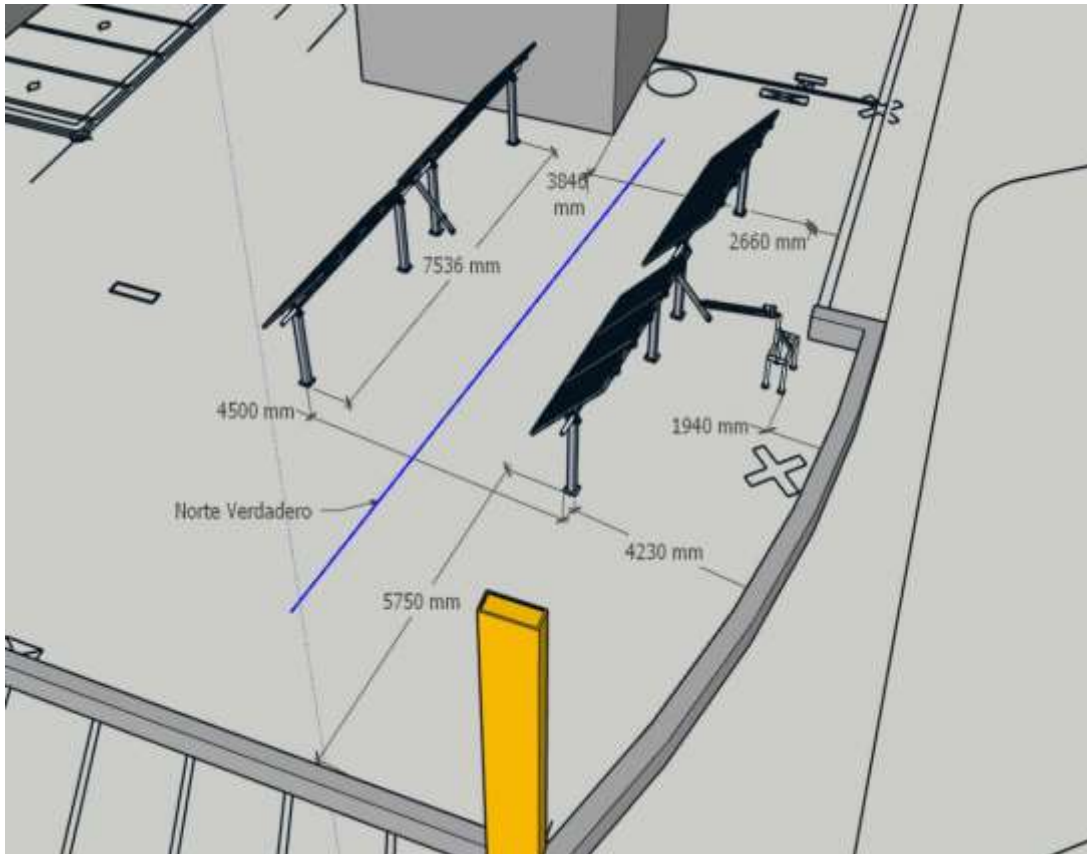


Figura 4.6. Terraza del Bloque B.

#### 4.8.6 Sombras en la ubicación

Las sombras presentes en la nueva ubicación del seguidor solar se muestran en la Figura 4.7 pueden analizarse mediante software especializado gratuito, el cual permite simular el recorrido solar a lo largo del año. Esta herramienta facilita la observación de los cambios en las sombras proyectadas sobre la estructura, causadas por edificaciones adyacentes y otras construcciones.

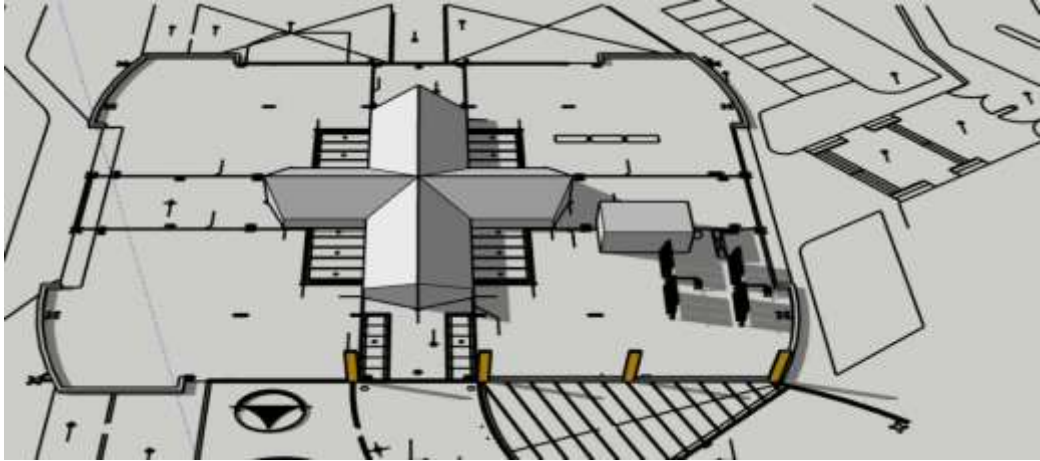


Figura 4.7. Sombras en la terraza de la universidad.

#### 4.8.7 Velocidad del viento en la ubicación

El viento es un factor crucial a considerar, ya que puede afectar a las estructuras de diversas maneras, dependiendo de su diseño y ubicación en la Figura 4.8 se muestra la velocidad del viento por el aeropuerto internacional de Cotopaxi. Entre los efectos más comunes se encuentran las vibraciones y oscilaciones, que podrían comprometer el funcionamiento de los seguidores solares. La velocidad del viento en un lugar determinado se puede conocer a través de varias plataformas meteorológicas gratuitas, las cuales proporcionan datos en tiempo real y registros históricos para determinar la velocidad máxima del viento en esa ubicación.

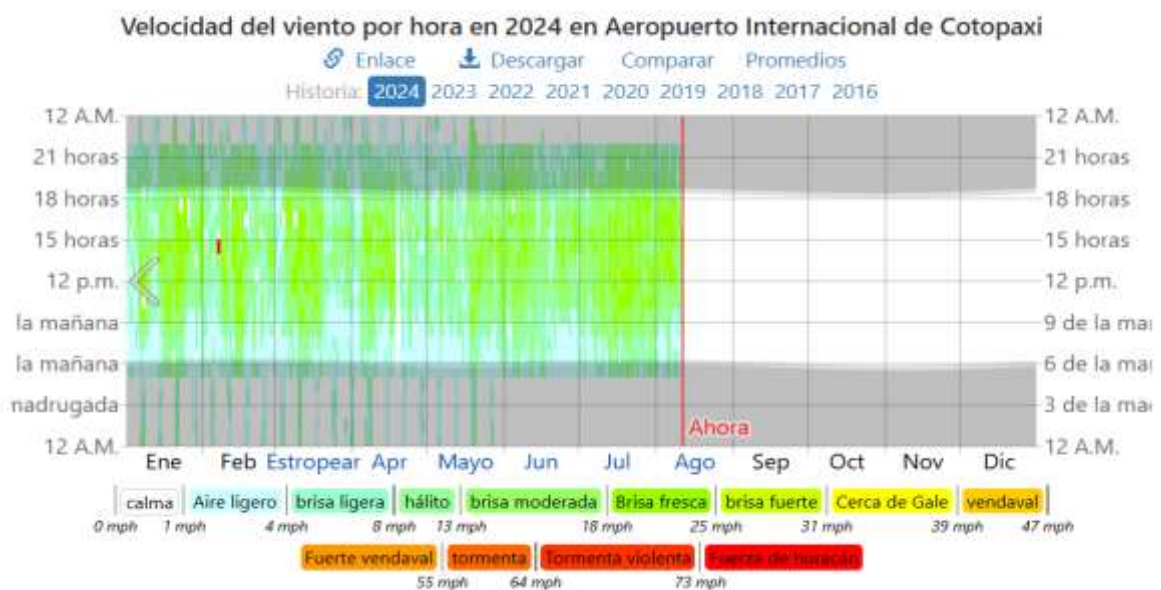


Figura 4.8. La velocidad del viento por hora, codificada por colores en bandas de acuerdo con la escala de Beaufort. [24]

## 4.9 CARGAS Y CONDICIONES DE DISEÑO

### 4.9.1 Cargas ejercidas en el eje

Conocer las cargas exactas es esencial para garantizar que el eje pueda soportar las tensiones y fuerzas aplicadas sin sufrir deformaciones excesivas o fallos estructurales. Este análisis es crucial para asegurar la integridad y funcionalidad del sistema de seguimiento solar, permitiendo una operación eficiente y segura a lo largo del tiempo.

Tabla 4.12. Cargas presentes en el eje.

Descripción	Masa
Soporte de panel	1.6 kg
Sujetador ajustable en “L”	0.7 kg
Panel solar (1480x675x35) mm	12 kg
Panel solar (1650x990x40) mm	15 kg

### 4.9.2 Cálculo de fuerzas aplicadas en el eje

Las fuerzas estáticas en el eje se calculan con la siguiente ecuación (4.2)

$$F = m \cdot g \quad [ 4.1 ]$$

En donde:

F: Fuerza

M: masa

g: gravedad

### 4.9.3 Fuerzas en el eje por la carga del viento

Estas fuerzas representan las cargas que la estructura debe vencer para moverse de manera eficiente y segura bajo las condiciones de viento específicas de la ubicación. La evaluación de estas fuerzas es crucial para el diseño y selección de componentes estructurales y mecánicos que garantizarán la estabilidad y funcionalidad del sistema de seguimiento solar. Para este

proyecto está previsto mover paneles solares con las siguientes dimensiones 990mm x 1650mm con una capacidad máxima de 6 paneles en la estructura.

$$F_v = A \cdot P \quad [ 4.2 ]$$

En donde:

$F_v$ : Fuerza del viento

A: Área de superficie de contacto con el viento

P: Presión del viento

La presión del viento se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = 1.22 \cdot v^2 \quad [ 4.3 ]$$

En donde:

P: presión del viento

$v$ : velocidad máxima del viento

#### **4.9.4 Análisis de la deflexión máxima en la estructura**

El análisis de la deflexión máxima en la estructura es fundamental para garantizar la estabilidad y el rendimiento óptimo del sistema de seguimiento solar. La deflexión se refiere al desplazamiento de una estructura bajo carga, y su evaluación es esencial para prevenir fallas estructurales y asegurar que los paneles solares mantengan su orientación adecuada.

Para realizar su correcto análisis debe considerarse los siguientes factores: Carga Aplicada, Propiedades del Material, Geometría de la Estructura y Condiciones de Apoyo. El cálculo de la deflexión máxima puede realizarse utilizando Software de cálculo para estructuras ya que permite conocer el comportamiento de la estructura tanto de forma gráfica como por cálculos matemáticos.

#### **4.9.5 Cálculo de la Deflexión en SkyCiv Engineering**

El cálculo estructural del sistema de seguimiento solar en SkyCiv Engineering es un paso esencial para garantizar la estabilidad y funcionalidad del diseño. SkyCiv Engineering ofrece una plataforma avanzada para el análisis y diseño estructural que permite modelar, simular y verificar el comportamiento de la estructura bajo diversas cargas y condiciones en la Figura 4.9

y Figura 4.10 se presenta el tubo seleccionado y el diagrama estructural mediante dicha aplicación.

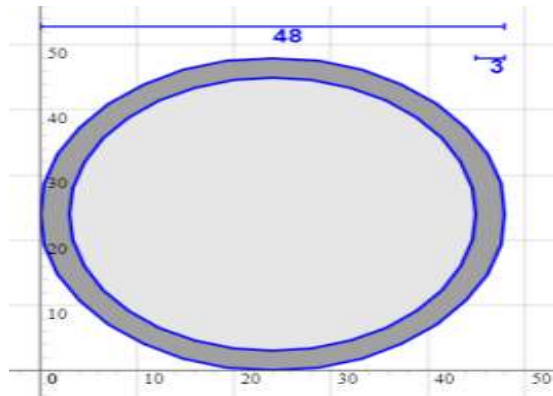


Figura 4.9. Diagrama del tubo redonde utilizado.

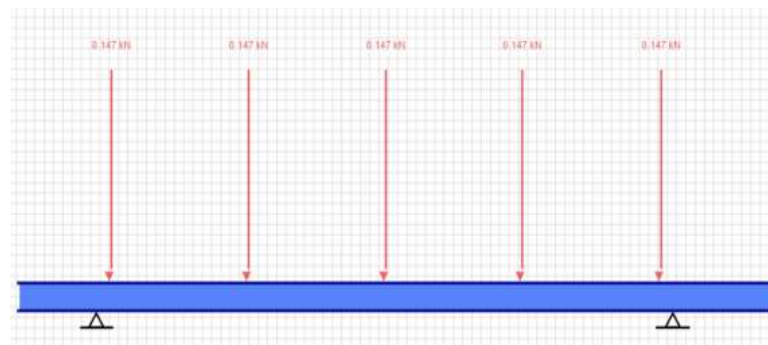


Figura 4.10. Diagrama de la estructura en skyciv engineering.

#### 4.10 ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD

La ecuación (4.5) muestra el factor de seguridad el cual permitirá evaluar la seguridad del diseño modificado bajo las cargas máximas que la estructura es capaz de soportar. Para ello, se realizará una comparación entre la resistencia a la fluencia del material, en este caso, acero galvanizado ASTM A513, cuyo valor nominal es de 355 MPa, según las especificaciones técnicas proporcionadas por DIPAC.

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma'} \quad [ 4.4 ]$$

Donde:

$n_s$ : Factor de seguridad.

$S_y$ : Resistencia a la fluencia del material.

$\sigma'$ : Esfuerzo de VON MISES

#### 4.11 ANÁLISIS DEL ÁNGULO DE ELEVACIÓN SOLAR

El cálculo del ángulo de elevación solar en la ubicación seleccionada para el sistema de seguimiento solar es fundamental para determinar el ángulo de inclinación óptimo de los paneles solares a lo largo del día. Este cálculo se puede realizar utilizando la latitud de la ubicación y mediante la siguiente Ecuación (4.6)

$$\alpha = \arcsen(\sen\varnothing \cdot \sen\delta + \cos\varnothing \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega) \quad [ 4.5 ]$$

En donde:

$\varnothing$ : Latitud del lugar

$\delta$ : declinación solar

$\omega$ : ángulo horario

$\alpha$ : ángulo de elevación solar

##### 4.11.1 Cálculo del Angulo Horario

El cálculo del ángulo horario es esencial para determinar la posición del sol a lo largo del día y ajustar adecuadamente el sistema de seguimiento solar. El ángulo horario se puede calcular utilizando la hora solar local y mediante la siguiente ecuación (4.7)

$$\omega = (TLA - 12) \cdot 15 \quad [ 4.6 ]$$

En donde:

$\omega$ : Angulo Horario

$TLA$ : tiempo local aparente

##### 4.11.2 Cálculo de la Declinación solar

El cálculo de la declinación solar es crucial para determinar la posición del sol en relación con la Tierra y ajustar adecuadamente el sistema de seguimiento solar. La declinación solar ( $\delta$ ) varía a lo largo del año debido a la inclinación del eje de la Tierra y su órbita alrededor del sol. Se puede calcular usando la siguiente ecuación (4.8).

$$\delta = 23.45 \sen \left[ 360 \left( \frac{284 + n}{365} \right) \right] \quad [ 4.7 ]$$

En donde:

$\delta$ : declinación solar

$n$ : número del día del año

#### 4.11.3 Angulo de inclinación de los paneles solares

El cálculo del ángulo de inclinación de los paneles solares que siguen la trayectoria del sol de Este a Oeste es crucial para asegurar que los paneles estén siempre perpendiculares a los rayos solares. Esto maximiza la captación de energía solar a lo largo del día. El ángulo de inclinación se determina utilizando el ángulo de elevación solar.

$$\beta = 90^\circ - \alpha \quad [ 4.8 ]$$

En donde:

$\beta$ : Angulo de inclinación para los paneles solares

$\alpha$ : Angulo de elevación solar

#### 4.12 SIMULACIÓN DE SOMBRAS CON EL SOFTWARE 3D SUN-PATH

El software 3D SUN-PATH es una herramienta computarizada que predice las sombras en cualquier ubicación así también permite modificar la fecha y la hora para poder ver el efecto de las sombras en la ubicación designada alrededor del año.

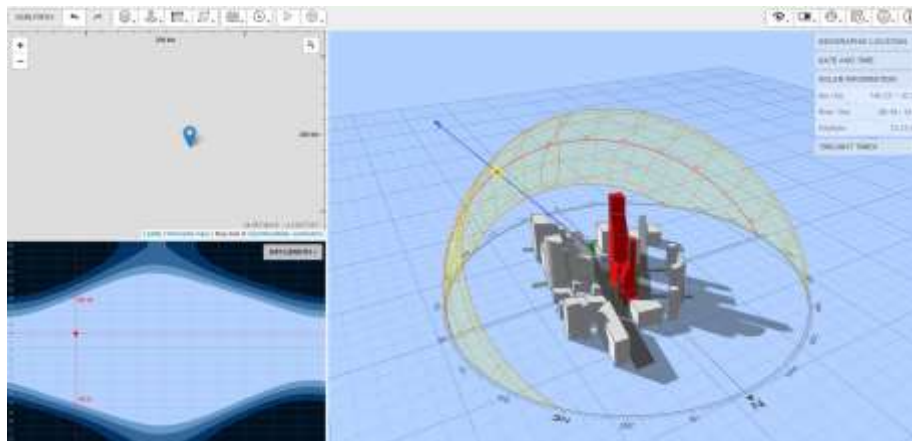


Figura 4.11 Software 3D SUN-PATH.

#### 4.13 ANÁLISIS DE LA DISTANCIA MÍNIMA ENTRE FILAS

Para establecer la distancia mínima entre filas, es fundamental identificar la fecha en la que las sombras impactan de manera más significativa sobre el seguidor solar en la ubicación designada. Este análisis es crucial para evitar pérdidas de eficiencia y posibles daños causados

por el sombreado sobre los paneles solares. Además, permitirá determinar una distancia segura que facilite las operaciones de mantenimiento del sistema de seguimiento solar.

Longitud de la sombra inclinada ecuación (4.10).

$$L_S = \frac{Y}{\tan(\alpha)} \quad [ 4.9 ]$$

Donde:

$L_S$ : Longitud de la sombra.

$Y$ : Altura del panel inclinado.

$\alpha$ : Angulo de elevación solar.

Distancia mínima entre filas:

$$d_f = L_S + 1.4 \quad [ 4.10 ]$$

Donde:

$d_f$ : Distancia mínima entre filas.

$L_S$ : Longitud de la sombra.

## 5 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 FUERZAS PRESENTES EN EL EJE

Para calcular las fuerzas presentes en el eje se utilizó la ecuación (4.2) para calcular el peso que genera los paneles de diferentes dimensiones.

$$F = m \cdot g$$

#### 5.1.1 Calculo para las cargas máximas

Para calcular la fuerza máxima que puede ser aplicada al eje, es necesario conocer la masa total de los paneles solares, los sujetadores en L y el soporte del panel solar. Estos valores se compararán para determinar la carga máxima que se utilizará en los cálculos de deflexión.

La masa total se calculó considerando que, por cada panel solar de 1480 mm x 675 mm x 35 mm, se utiliza un soporte para panel y dos sujetadores en L, obteniendo un peso mayor en comparación con los paneles solares de 1650 mm x 990 mm x 40mm.

$$m = m_{panel} + m_{soporte} + (m_{sujetar} + n_{sujetador}) \quad [ 5.1 ]$$

$$m = 12 \text{ kg} + 1.6 \text{ kg} + (0.7 \text{ kg} \cdot 2)$$

$$m = 12 \text{ kg} + 1.6 \text{ kg} + 1.4 \text{ kg}$$

$$m = 15 \text{ kg}$$

Mediante la ecuación (5.2). La masa total se calculó con el número de paneles por eje siendo la masa máxima presente en cada eje:

$$m_T = m \cdot n_{paneles} \quad [ 5.2 ]$$

$$m_T = 15 \text{ kg} \cdot 5$$

$$m_T = 75 \text{ kg}$$

Fuerza aplica por panel y su soporte y sujetadores individualmente:

$$F = m \cdot g$$

$$F = 15 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 147 \text{ N}$$

La fuerza total aplicada en los ejes se calculó con el número total de paneles solares presentes en la estructura:

$$F_T = m \cdot n_{paneles} \quad [ 5.3 ]$$

$$F_T = 147 \text{ N} \cdot 10$$

$$F_T = 1470 \text{ N}$$

## 5.2 FUERZA CORTANTE SFD

La fuerza cortante en el eje se calculó por tramos o secciones y se calcula mediante la siguiente ecuación (5.4)

- **Fuerzas de reacción en los apoyos**

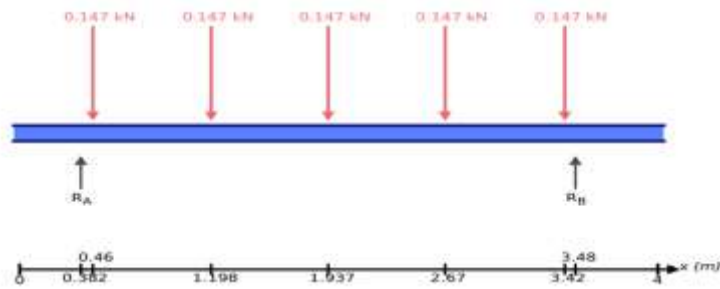


Figura 5.1. Diagrama de cuerpo libre de fuerzas en el eje

$$+\uparrow \Sigma Fy = 0 \quad [ 5.4 ]$$

$$RA + RB - 0.147 - 0.147 - 0.147 - 0.147 - 0.147 = 0$$

$$RA + RB = +0.735 \text{ kN}$$

- **Sumatoria de momentos entorno a RB**

$$+\curvearrowright \Sigma M = 0 \quad [ 5.5 ]$$

$$RB (3.48 - 0.382) + (-0.147) (1.198 - 0.382) + (-0.147) (0.46 - 0.382) \\ + (-0.147) (1.937 - 0.382) + (-0.147) (2.67 - 0.382) + (-0.147) (3.42 - 0.382) = 0$$

$$RB = +0.369 \text{ kN}$$

- **Cálculo de RA**

$$RA + RB = +0.735$$

$$RA + 0.369 = +0.735$$

$$RA = +0.366 \text{ kN}$$

- **Fuerza cortante para  $0 \leq x \leq 0.382$**



Figura 5.2. Fuerza cortante para  $0 \leq x \leq 0.382$

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

$$0 - V1(x) = 0$$

$$V1(x) = 0 \text{ N}$$

- **Fuerza cortante para  $0.382 \leq x \leq 0.46$**



Figura 5.3. Fuerza cortante para  $0.382 \leq x \leq 0.46$

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

$$+0.366 - V2(x) = 0$$

$$V2(x) = +0.366 \text{ kN para } 0.382 \leq x \leq 0.46$$

- **Fuerza Cortante para  $0.46 \leq x \leq 1.198$**

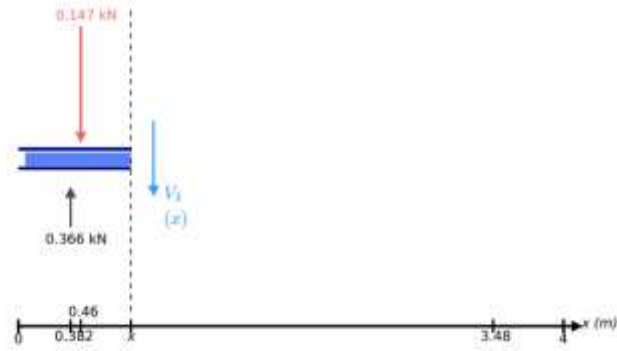


Figura 5.4. Fuerza Cortante para  $0.46 \leq x \leq 1.198$

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

$$+0.366 - 0.147 - V3(x) = 0$$

$$V3(x) = +0.219 \text{ kN para } 0.46 \leq x \leq 1.198$$

- **Fuerza Cortante para  $1.198 \leq x \leq 1.937$**

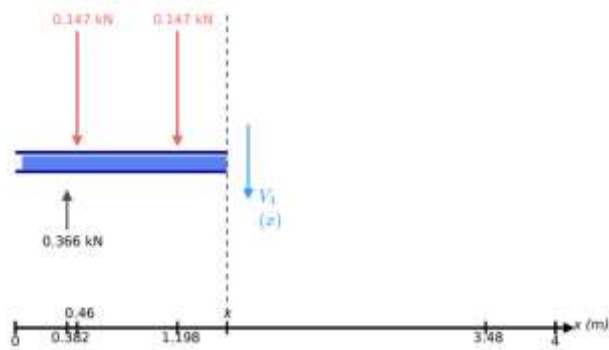


Figura 5.5. Fuerza Cortante para  $1.198 \leq x \leq 1.937$

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

$$+0.366 - 0.147 - 0.147 - V4(x) = 0$$

$$V4(x) = +0.072 \text{ kN para } 1.198 \leq x \leq 1.937$$

- **Fuerza Cortante para  $1.937 \leq x \leq 2.67$**

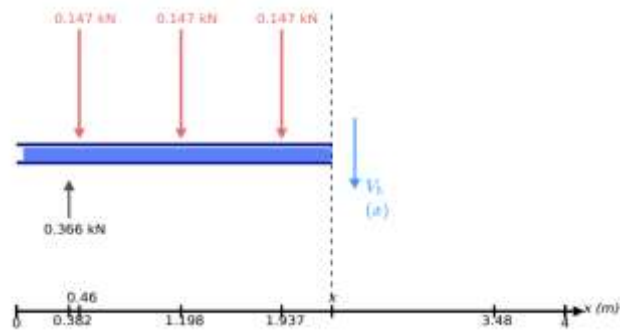


Figura 5.6. Fuerza Cortante para  $1.937 \leq x \leq 2.67$

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

$$+0.366 - 0.147 - 0.147 - 0.147 - V5(x) = 0$$

$$V5(x) = -0.075 \text{ kN para } 1.937 \leq x \leq 2.67$$

- **Fuerza Cortante para  $2.67 \leq x \leq 3.42$**

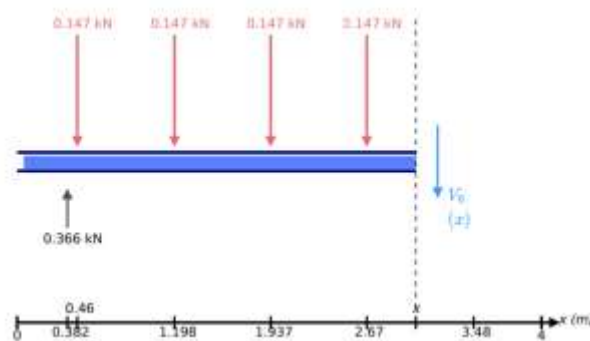


Figura 5.7. Fuerza Cortante para  $2.67 \leq x \leq 3.42$

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

$$+0.366 - 0.147 - 0.147 - 0.147 - 0.147 - V6(x) = 0$$

$$V6(x) = -0.222 \text{ kN para } 2.67 \leq x \leq 3.42$$

- **Fuerza Cortante para  $3.42 \leq x \leq 3.48$**

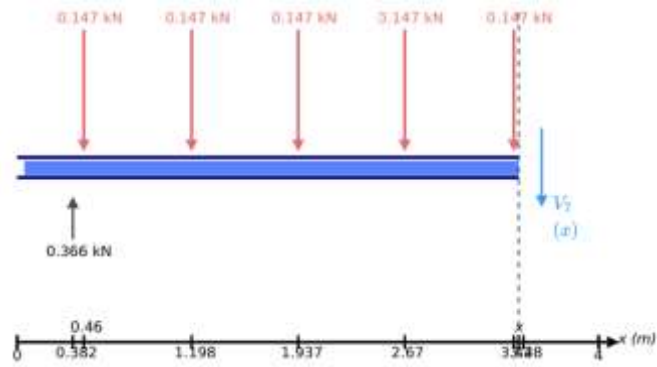


Figura 5.8. Fuerza Cortante para  $3.42 \leq x \leq 3.48$

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

$$+0.366 - 0.147 - 0.147 - 0.147 - 0.147 - 0.147 - V7(x) = 0$$

$$V7(x) = -0.369 \text{ kN para } 3.42 \leq x \leq 3.48$$

- **Fuerza Cortante para  $3.48 \leq x \leq 4$**

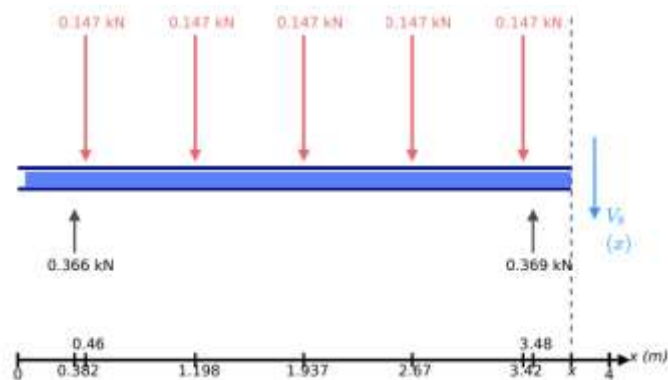


Figura 5.9. Fuerza Cortante para  $3.48 \leq x \leq 4$

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

$$+0.366 + 0.369 - 0.147 - 0.147 - 0.147 - 0.147 - 0.147 - V8(x) = 0$$

$$V8(x) = 0$$

- **Diagrama de Fuerzas cortantes**

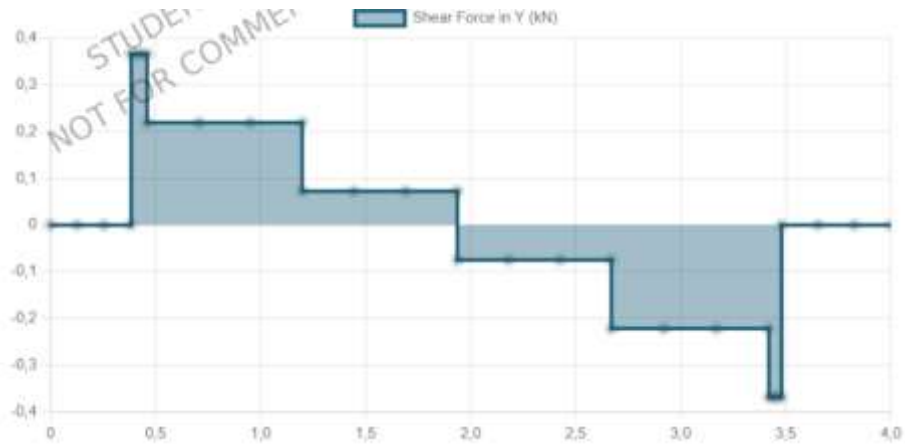


Figura 5.10. Diagrama de Fuerzas cortantes

### 5.3 MOMENTO FLECTOR

El cálculo de los momentos producidos en el eje se realizó por secciones con las fuerzas y las reacciones calculadas anteriormente con la ecuación (5.5) se calculará el momento flector.

- **Momento para  $0 \leq x \leq 0.382$**



Figura 5.11. Momento para  $0 \leq x \leq 0.382$

$$+\curvearrowright \Sigma Mx = 0$$

$$0 - M1(x) = 0$$

$$M1(x) = 0$$

- **Momento para  $0.382 \leq x \leq 0.46$**



Figura 5.12. Momento para  $0.382 \leq x \leq 0.46$

$$+ \curvearrowright \Sigma Mx = 0$$

$$+(0.36608)(x - 0.382) - M2(x) = 0$$

$$M2(x) = -0.14 + 0.366x$$

- **Momento para  $0.46 \leq x \leq 1.198$**

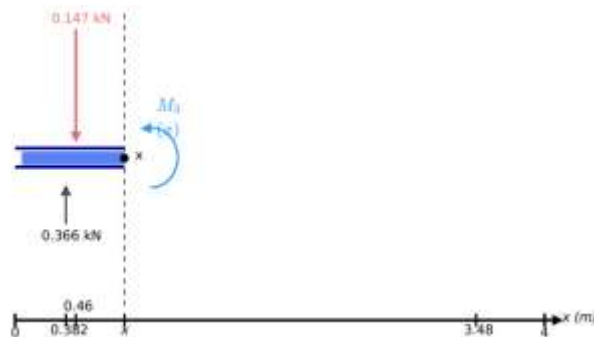


Figura 5.13. Momento para  $0.46 \leq x \leq 1.198$

$$+ \curvearrowright \Sigma Mx = 0$$

$$+ (0.366)(x - 0.382) + (-0.147)(x - 0.46) - M3(x) = 0$$

$$M3(x) = -0.072 + 0.219x$$

- **Momento para  $1,198 \leq x \leq 1,937$**

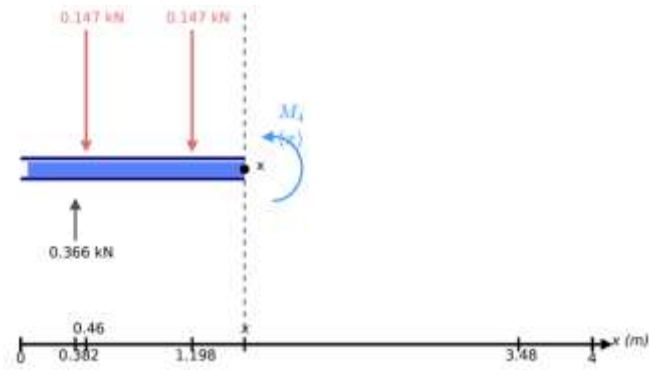


Figura 5.14. Momento para  $1.198 \leq x \leq 1.937$

$$+ \curvearrowright \Sigma Mx = 0$$

$$+ (0.366)(x - 0.382) + (-0.147)(x - 1.198) + (-0.147)(x - 0.46) - M4(x) = 0$$

$$M4(x) = +0.104 + 0.072x$$

- **Momento para  $1.937 \leq x \leq 2.67$**

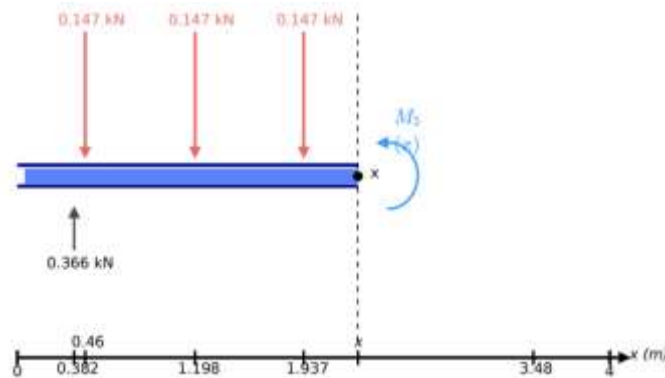


Figura 5.15. Momento para  $1.937 \leq x \leq 2.67$

$$+ \curvearrowright \Sigma Mx = 0$$

$$+ (0.366)(x - 0.382) + (-0.147)(x - 1.198) + (-0.147)(x - 0.46) + (-0.147)(x - 1.937) - M5(x) = 0$$

$$M5(x) = +0.389 - 0.075x$$

- **Momento para  $2.67 \leq x \leq 3.42$**

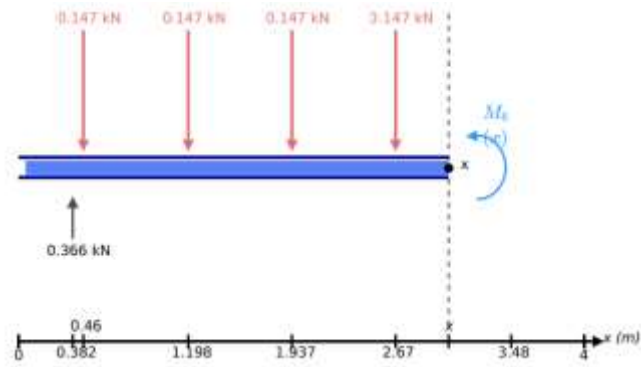


Figura 5.16 Momento para  $2.67 \leq x \leq 3.42$

$$+ \curvearrowright \Sigma Mx = 0$$

$$+ (0.366) (x - 0.382) + (-0.147) (x - 1.198) + (-0.147) (x - 0.46) + (-0.147) (x - 1.937) + (-0.147) (x - 2.67) - M6(x) = 0$$

$$M6(x) = +0.781 - 0.222x$$

- **Momento para  $3.42 \leq x \leq 3.48$**

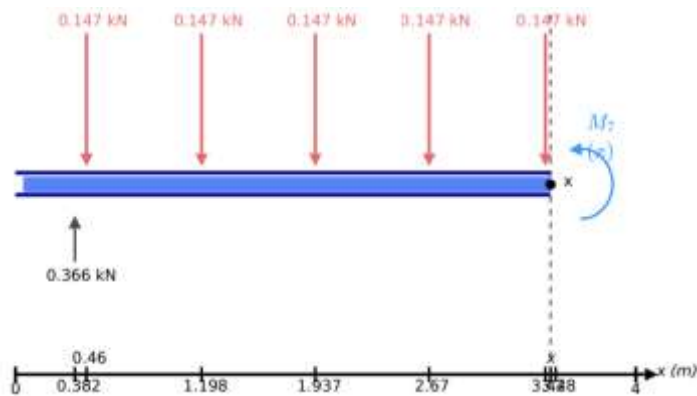


Figura 5.17. Momento para  $3.42 \leq x \leq 3.48$

$$+ \curvearrowright \Sigma Mx = 0$$

$$+ (0.366) (x - 0.382) + (-0.147) (x - 1.198) + (-0.147) (x - 0.46) + (-0.147) (x - 1.937) + (-0.147) (x - 2.67) + (-0.147) (x - 3.42) - M7(x) = 0$$

$$M7(x) = +1.284 - 0.369x$$

- **Momento para  $3.48 \leq x \leq 4$**

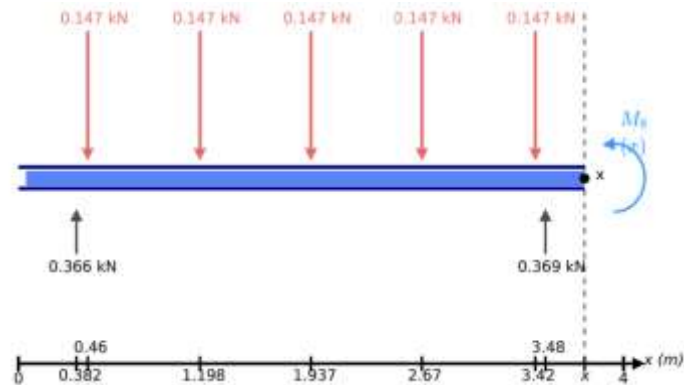


Figura 5.18. Momento para  $3.48 \leq x \leq 4$

$$+ \curvearrowright \Sigma Mx = 0$$

$$+ (0,36608) (x - 0,382) + (0,368) (x - 3,48) + (-0,147) (x - 1,198) + (-0,147) (x - 0,46) + (-0,147) (x - 1,937) + (-0,147) (x - 2,67) + (-0,147) (-3,42) - M8(x) = 0$$

$$M8(x) = +0 + 0x$$

- **Diagrama de Momentos**

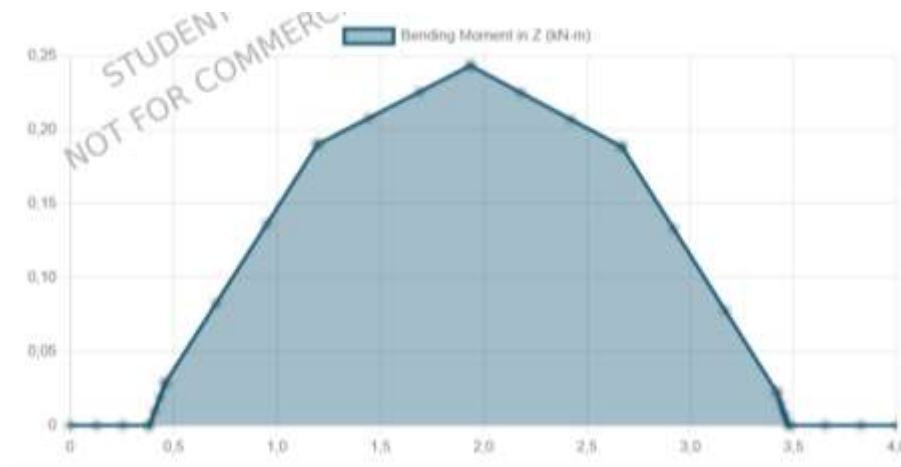


Figura 5.19. Diagrama de Momentos

#### 5.4 DEFLEXIÓN CON LA CARGA MÁXIMA

La deflexión máxima en los ejes se determinó calculando las cargas en la calculadora de estructuras de SkyCiv Engineering ya que en los dos ejes se ejercen 5 cargas iguales y con las mismas distancias se decidió calcular para un solo eje. El cálculo se realizó aplicando una carga máxima de 15 kg por panel solar, incluyendo el soporte y los sujetadores, resultando en una carga total de 75 kg para los 5 paneles solares montados en el eje.

- **Diagrama de cuerpo libre**

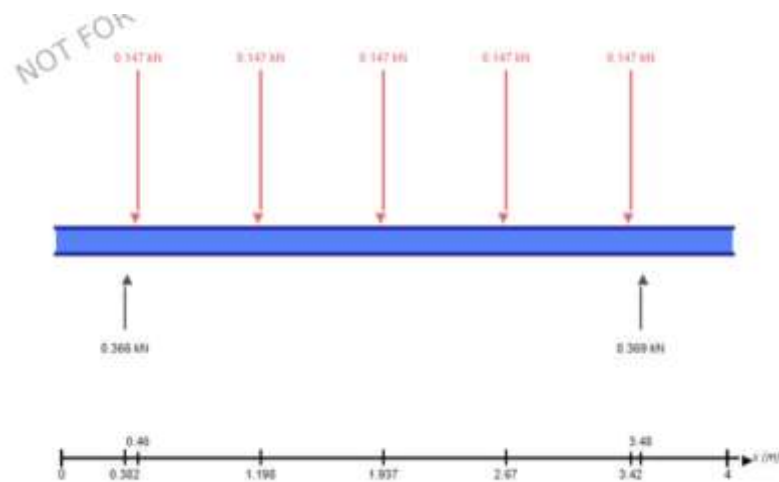


Figura 5.20. Diagrama de cuerpo libre

- **Desplazamientos en el eje Y**

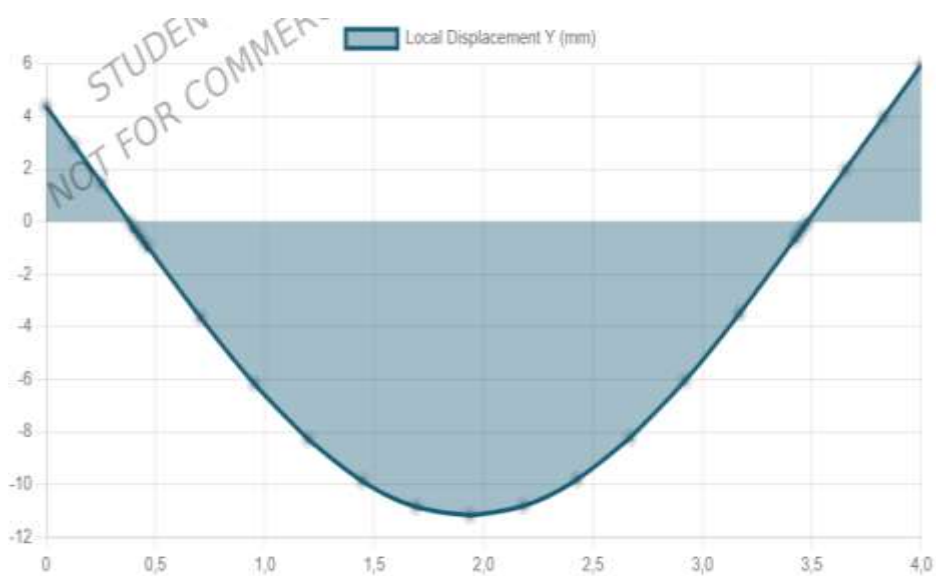


Figura 5.21. Desplazamientos en el eje Y

La grafica de desplazamientos en el eje y muestra que la deflexión máxima se produce cerca de la mitad del eje siendo de 11.16 mm y también se produjo una deflexión en los extremos de 4.39mm.

## 5.5 CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD

Para el cálculo del factor de seguridad se debe conocer la tensión equivalente de Von Mises y la resistencia a la fluencia del material por lo cual se procedió a calcular por medio de simulación el esfuerzo de Von Mises con las fuerzas ya calculadas presentes en el eje.

- **Esfuerzo de Von Mises:**

En la Figura 5.22 y Figura 5.23 se muestra el esfuerzo de VON-MISES en psi y los esfuerzos presentes en la estructura.



Figura 5.22. Esfuerzo de VON-MISES en psi.

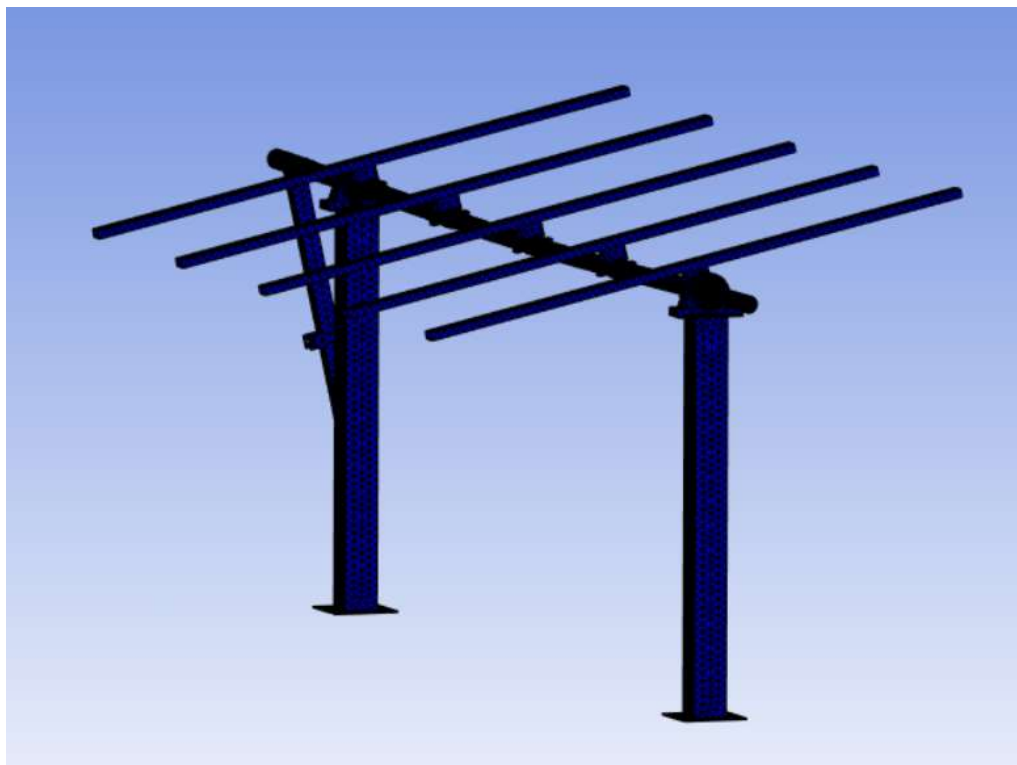


Figura 5.23. Esfuerzos presentes en la estructura.

- **Factor de seguridad:**

El factor de seguridad resultante del cálculo mediante la ecuación (4.5) de 1.15 de la estructura nos indica que la resistencia de la estructura es 1.15 veces mayor que las cargas o fuerzas que está soportando teniendo un margen de seguridad adicional capaz de soportar las cargas en la capacidad máxima de la estructura.

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$n_s = \frac{51488 \text{ psi}}{44779 \text{ psi}}$$

$$n_s = 1.15$$

## 5.6 FUERZA DEL VIENTO

La fuerza ejercida por el viento sobre la estructura se determina conociendo la velocidad del viento en la ubicación del seguidor solar. En Latacunga el departamento meteorológico del aeropuerto internacional de Cotopaxi nos indica que la velocidad del viento oscila entre 13 y 18 mph. Pero para su cálculo primero se debe conocer la presión del viento para lo cual se aplicará la ecuación (4.4).

$$P = 1.22 * v^2$$

$$P = 1.22 * (18 \cdot 0.44704)^2$$

$$P = 78.99 \text{ Pa}$$

Mediante la ecuación (4.3) se determina la fuerza ejercida sobre cada panel solar considerando sus dimensiones de 1480 mm x 675 mm x 35mm. Para este cálculo, se utilizarán las medidas de ancho y largo. Además, será necesario conocer el ángulo máximo de exposición de los paneles solares en dirección horizontal del viento, el cual es recomendado por las cartas solares y tiene un valor de 10°.

$$F_v = A \cdot P \cdot \text{sen}(10^\circ)$$

$$F_v = (1.48 \cdot 0.675) \cdot 78.99 \cdot \text{sen}(10^\circ)$$

$$F_v = 13.70 \text{ N}$$

Esta fuerza del viento calculada se le debe multiplicar por el número de paneles solares del seguidor solar.

$$F_{vT} = 13.70 N \cdot 10$$

$$F_{vT} = 137 N$$

### 5.7 SIMULACIÓN DEL EFECTO DEL VIENTO EN LA ESTRUCTURA

Mediante simulaciones, se observaron los efectos del viento a una velocidad de 18 mph (8.05 m/s) sobre la estructura, cargada con 10 paneles solares. Los resultados indicaron que, incluso en las tres posiciones más críticas, no se presentaron problemas estructurales.

Simulaciones con el actuador totalmente contraído se evidencio el viento en la estructura en la Figura 5.24 y se evidencio su comportamiento en la Figura 5.25 además la presión de viento en los paneles en la Figura 5.26.

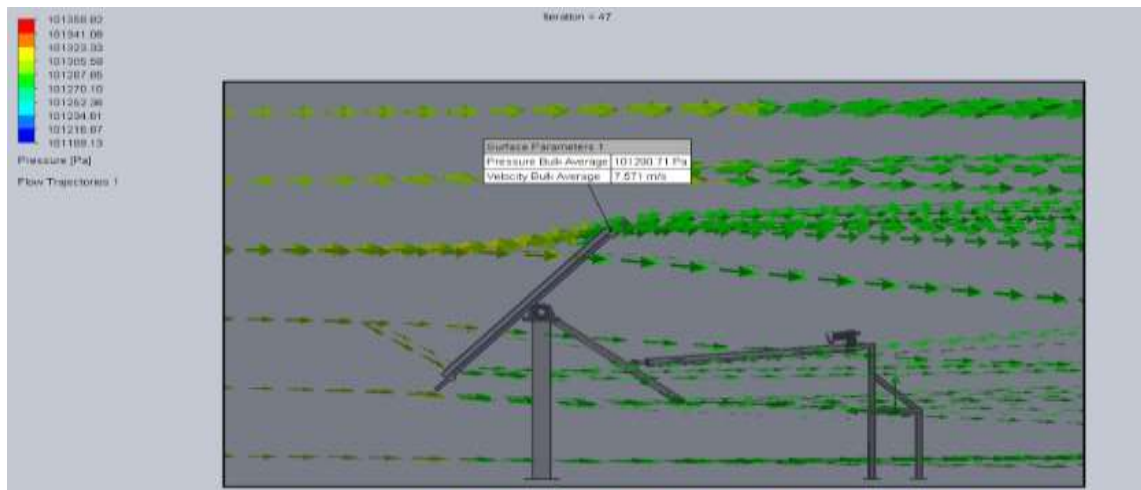


Figura 5.24. Viento en la estructura con el actuador contraído.

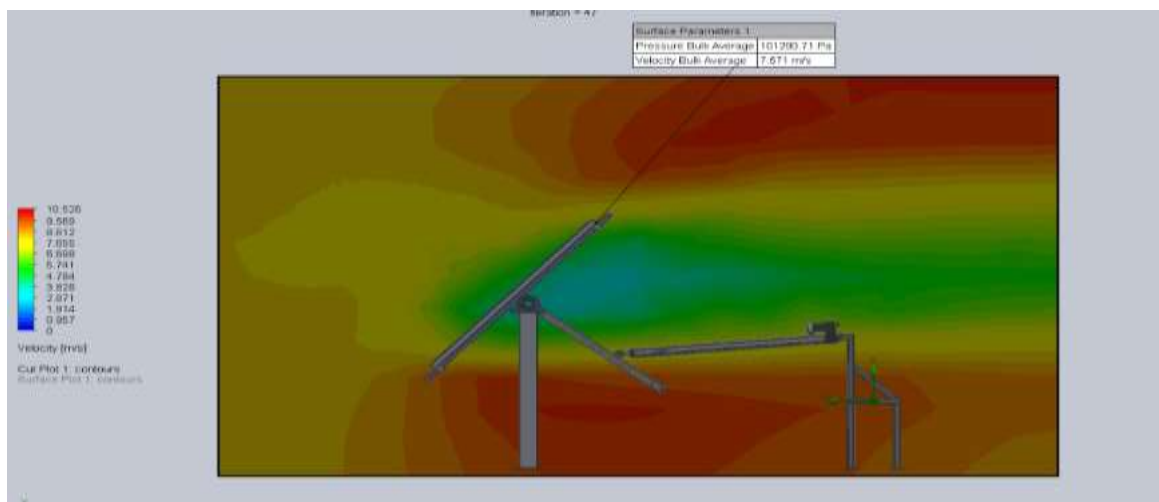


Figura 5.25. Comportamiento del viento con el actuador contraído.

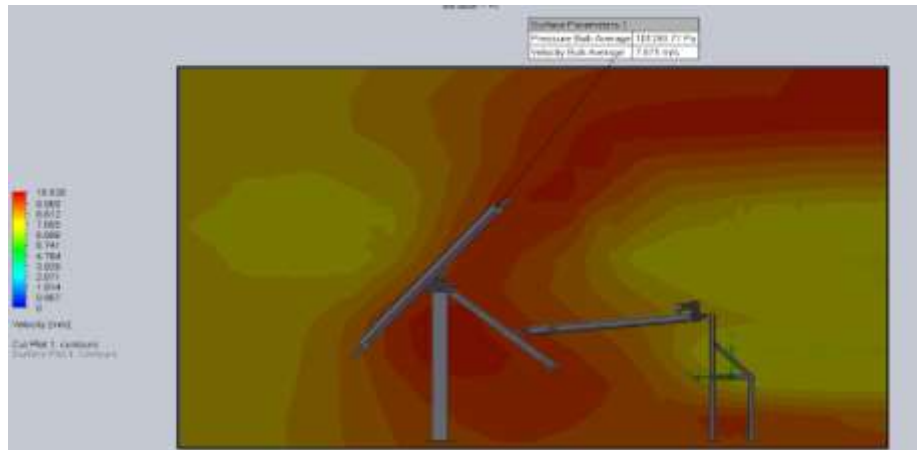


Figura 5.26. Presión de viento en los paneles con el actuador contraído.

- Simulación con el actuador extendido hasta la mitad se evidencio el viento en la estructura en la Figura 5.27 se evidencio su comportamiento en la Figura 5.28 además la presión de viento en los paneles en la Figura 5.29.

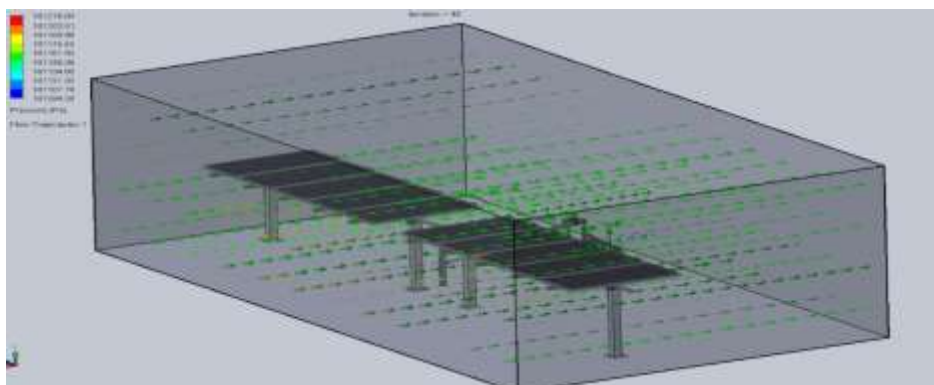


Figura 5.27. Simulación del viento en la estructura con paneles horizontales.

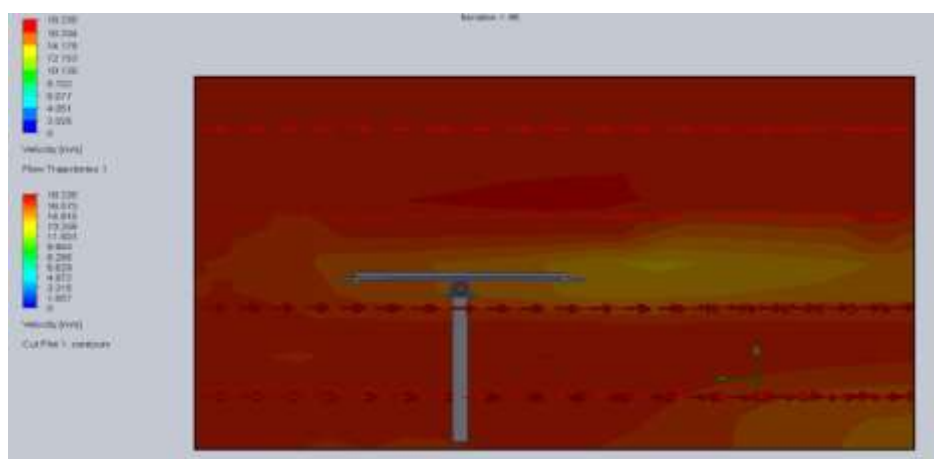


Figura 5.28. Comportamiento del viento en la estructura con paneles horizontales.

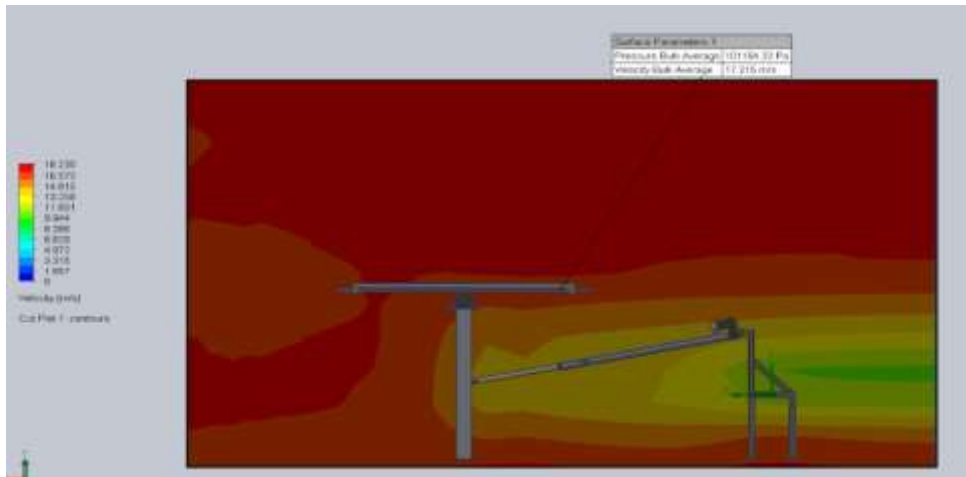


Figura 5.29. Presión del viento en la estructura con paneles horizontales.

- Simulación con el actuador totalmente extendido se evidenció el viento en la estructura en la Figura 5.30 se evidenció su comportamiento en la Figura 5.31 además la presión de viento en los paneles en la Figura 5.32.

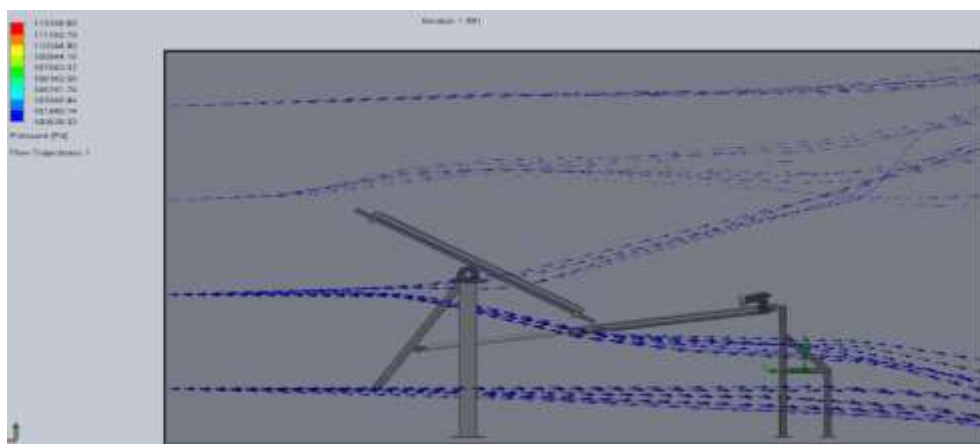


Figura 5.30. Simulación del viento en la estructura con el actuador extendido.

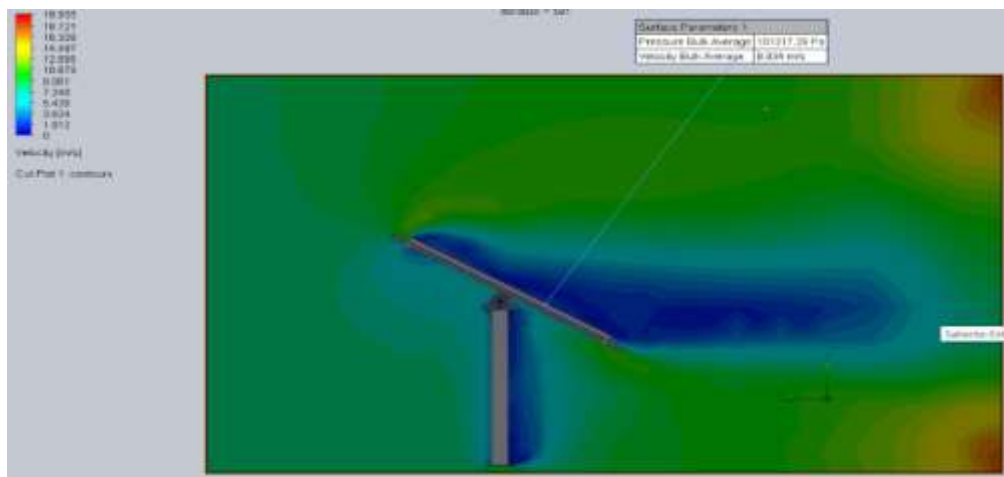


Figura 5.31. Comportamiento del viento en la estructura con el actuador extendido.

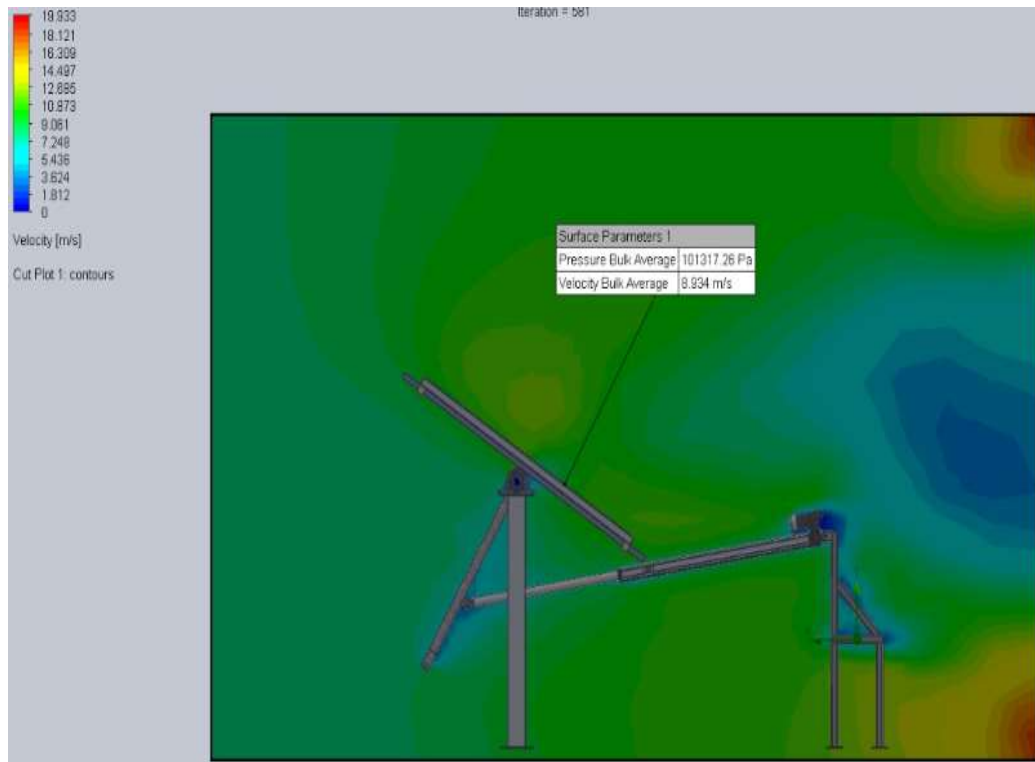


Figura 5.32. Presión y velocidad del viento en el seguidor con el actuador extendido.

## 5.8 TORQUE DE LA ESTRUCTURA

El torque necesario para mover o girar los paneles solares se determina mediante la fuerza total aplicada en el eje. En este caso, se considera la fuerza ejercida por los 10 paneles solares sobre el eje, la fuerza del viento y la longitud desde el inicio del brazo hasta la unión con el actuador lineal.

$$T = (F_T + F_{vT}) \cdot L_{brazo} \quad [5.6]$$

$$T = (1470 \text{ N} + 137 \text{ N}) \cdot 0.65 \text{ m}$$

$$T = 1044.55 \text{ Nm}$$

## 5.9 ANGULO DE INCLINACIÓN PARA LOS PANELES SOLARES

El cálculo del ángulo de inclinación de los paneles solares se realizó mediante el cálculo del ángulo de elación solar ya que la superficie del panel debe estar perpendicular a los rayos del sol considerando esto se procedió a realizar los cálculos con las siguientes ecuaciones (4.6), (4.7), (4.8), (4.9).

- **Angulo horario solar**

$$\omega = (TLA - 12) \cdot 15$$

Tabla 5.1. Ángulos horarios según las horas del día.

Angulo Horario	
6:00 a. m.	-90
7:00 a. m.	-75
8:00 a. m.	-60
9:00 a. m.	-45
10:00 a. m.	-30
11:00 a. m.	-15
12:00 p. m.	0
1:00 p. m.	15
2:00 p. m.	30
3:00 p. m.	45
4:00 p. m.	60
5:00 p. m.	75
6:00 p. m.	90

- **Declinación solar**

Mediante la ecuación (4.8) calculamos la declinación.

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

$$\delta = 23.45 \operatorname{sen} \left[ 360 \left( \frac{284 + 226}{365} \right) \right]$$

$$\delta = 14.108^\circ$$

- **Angulo de elevación solar**

Mediante la Ecuación (4.6) obtenemos el ángulo de elevación.

$$\alpha = \operatorname{arcsen}(\operatorname{sen}\phi * \operatorname{sen}\delta + \operatorname{cos}\phi * \operatorname{cos}\delta * \operatorname{cos}\omega)$$

Tabla 5.2. Elevación solar según la hora del día

<b>Hora</b>	<b>Angulo de elevación solar (°)</b>
6:00 a. m.	-0.224
7:00 a. m.	14.305
8:00 a. m.	28.748
9:00 a. m.	42.984
10:00 a. m.	56.709
11:00 a. m.	68.871
12:00 p. m.	74.974
1:00 p. m.	68.871
2:00 p. m.	56.709
3:00 p. m.	42.984
4:00 p. m.	28.748
5:00 p. m.	14.305
6:00 p. m.	-0.224

- **Angulo de inclinación de los paneles solares.**

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

Tabla 5.3. Angulo de inclinación según las horas del día.

<b>Hora</b>	<b>Angulo (°)</b>
6:00 a. m.	90.223
7:00 a. m.	75.695
8:00 a. m.	61.252
9:00 a. m.	47.016
10:00 a. m.	33.291
11:00 a. m.	21.129
12:00 p. m.	15.025
1:00 p. m.	21.129
2:00 p. m.	33.291
3:00 p. m.	47.016
4:00 p. m.	61.252
5:00 p. m.	75.695
6:00 p. m.	90.223

## 5.10 DISTANCIA MÍNIMA ENTRE FILAS

El cálculo de la distancia mínima entre las filas de paneles solares se realizó tomando en cuenta la fecha del año en la que las sombras proyectadas por la estructura que soporta los paneles

solares de mayor tamaño, generaban el sombreado sobre las filas posteriores. Esta situación se presenta el 21 de diciembre.

- Declinación solar el 21 de diciembre

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

$$\delta = 23.45 \operatorname{sen} \left[ 360 \left( \frac{284 + 355}{365} \right) \right]$$

$$\delta = -23.44$$

- Longitud de sombra del panel instalado

$$L_S = \frac{Y}{\tan(\alpha)}$$

$$L_S = \frac{1.98 \text{ m}}{\tan(40.91^\circ)}$$

$$L_S = 2.28 \text{ m}$$

- Distancia mínima

$$d_f = L_S + 1.4$$

$$d_f = 3.68 \text{ m}$$

A la longitud de la sombra proyectada por el panel instalado se debe añadir la distancia mínima de mantenimiento conforme a la normativa establecida por la Norma Ecuatoriana De Construcción (NEC), que es de 1.4 metros, resultando en un total de separación entre filas de 3.68 metros. Considerando esta distancia mínima, se estableció una distancia entre filas de 4.5 metros para permitir futuras implementaciones de paneles solares con una longitud menor o igual a 1.7 metros.

## 5.11 ANÁLISIS DE SOMBRAS

El análisis de sombras se realizó con la ayuda de un software online SUN-PATH que permite simular las sombras de una determinada ubicación esto nos ayudara a determinar las sombras generadas por el seguidor solar una futura estructura con las mismas dimensiones y las construcciones adyacentes.

- Solsticio del 21 de junio

En la Figura 5.33 y Figura 5.34 se evidencia los datos generales de la ubicación geográfica y su respectiva sombra del 21 de junio.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA	
Latitud:	-0,916724904°
Longitud:	-78.6335686°
Zona horaria:	GMT-05:00
FECHA Y HORA	
Fecha:	21 de agosto de 2024
Tiempo:	09:00
INFORMACIÓN SOLAR	
Azi / Alt:	73,32° / 39,15°
Subida / Bajada:	06:15 / 18:21
Luz:	12:05 horas

Figura 5.33. Datos generales de la ubicación geográfica del 21 de junio.

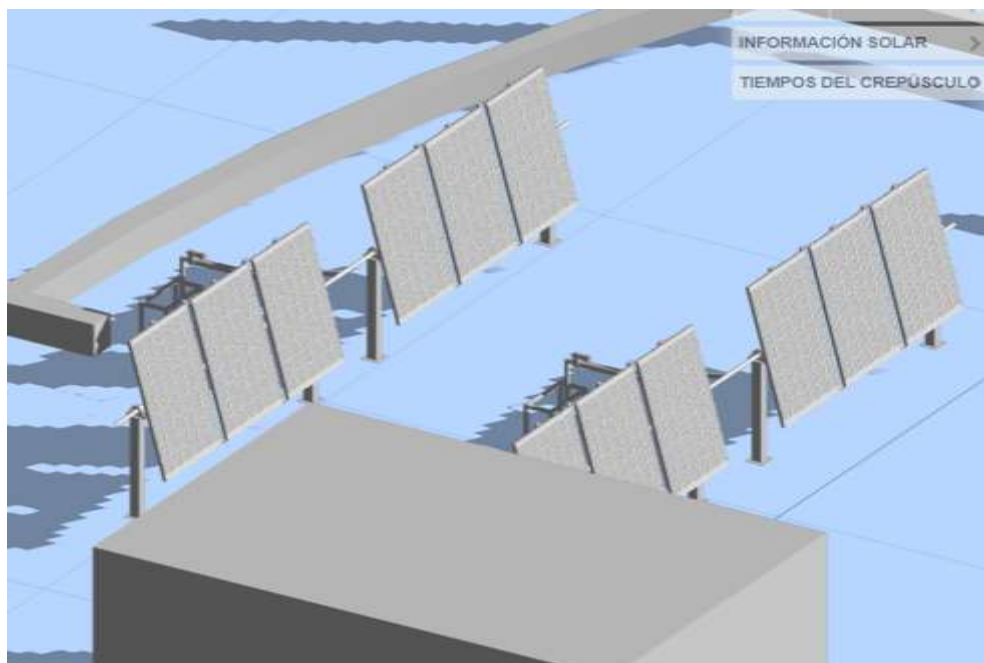


Figura 5.34. Sombras de la ubicación geográfica 21 de junio.

- Solsticio del 21 de diciembre

En la Figura 5.35 figura se evidencia los datos generales de la ubicación geográfica y su respectiva sombra del 21 de diciembre.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA	
Latitud:	-0,916724904°
Longitud:	-78.6335686°
Zona horaria:	GMT-05:00
FECHA Y HORA	
Fecha:	21 de diciembre de 2024
Tiempo:	09:00
INFORMACIÓN SOLAR	
Azi / Alt:	119,62° / 38,33°
Subida / Bajada:	06:07 / 18:17
Luz:	12:05 horas

Figura 5.35. Datos generales de la ubicación geográfica del 21 de diciembre

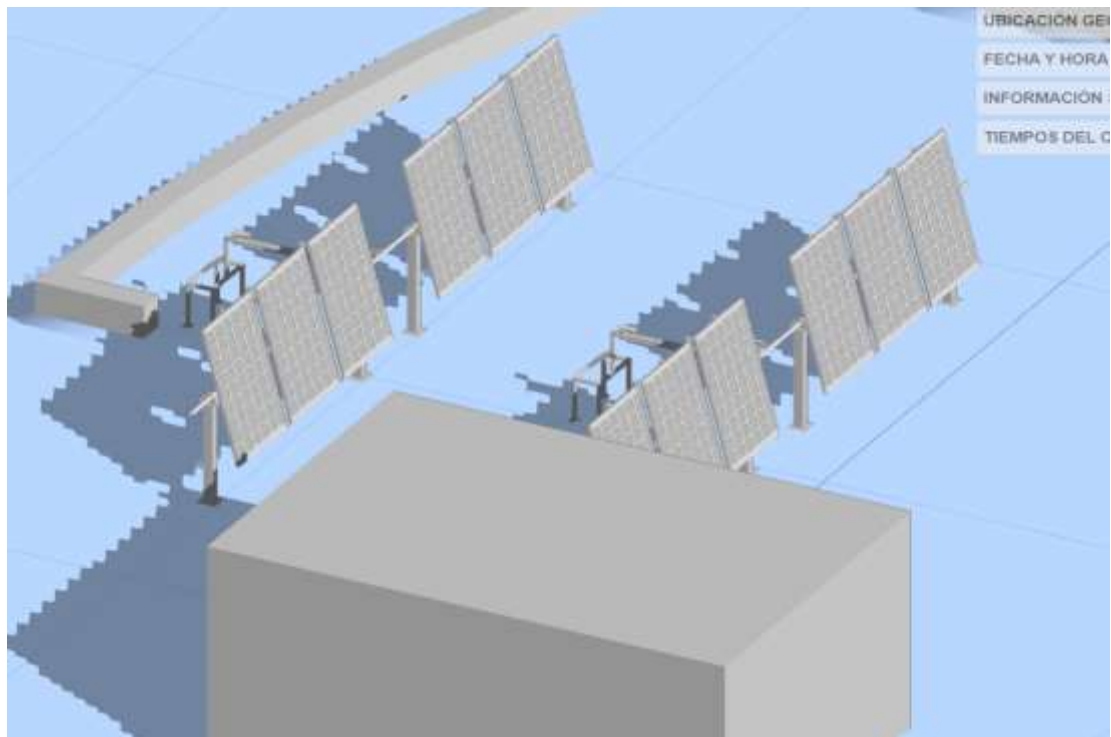


Figura 5.36. Sombras de la ubicación geográfica 21 de diciembre.

- Equinoccio de 21 de septiembre

En la Figura 5.37 y Figura 5.38 se evidencia los datos generales de la ubicación geográfica y su respectiva sombra del 21 de septiembre.

<b>UBICACIÓN GEOGRÁFICA</b> ▾	
Latitud:	-0,916724904°
Longitud:	-78.6335686°
Zona horaria:	GMT-05:00
<b>FECHA Y HORA</b> ▾	
Fecha:	21 de septiembre de 2024
Tiempo:	09:00
<b>INFORMACIÓN SOLAR</b> ▾	
Azi / Alt:	87,93° / 43.09°
Subida / Bajada:	06:04 / 18:11
Luz:	12:07 horas
<b>TIEMPOS DEL CREPÚSCULO</b> ▶	

Figura 5.37. Datos generales de la ubicación geográfica del 21 de septiembre.

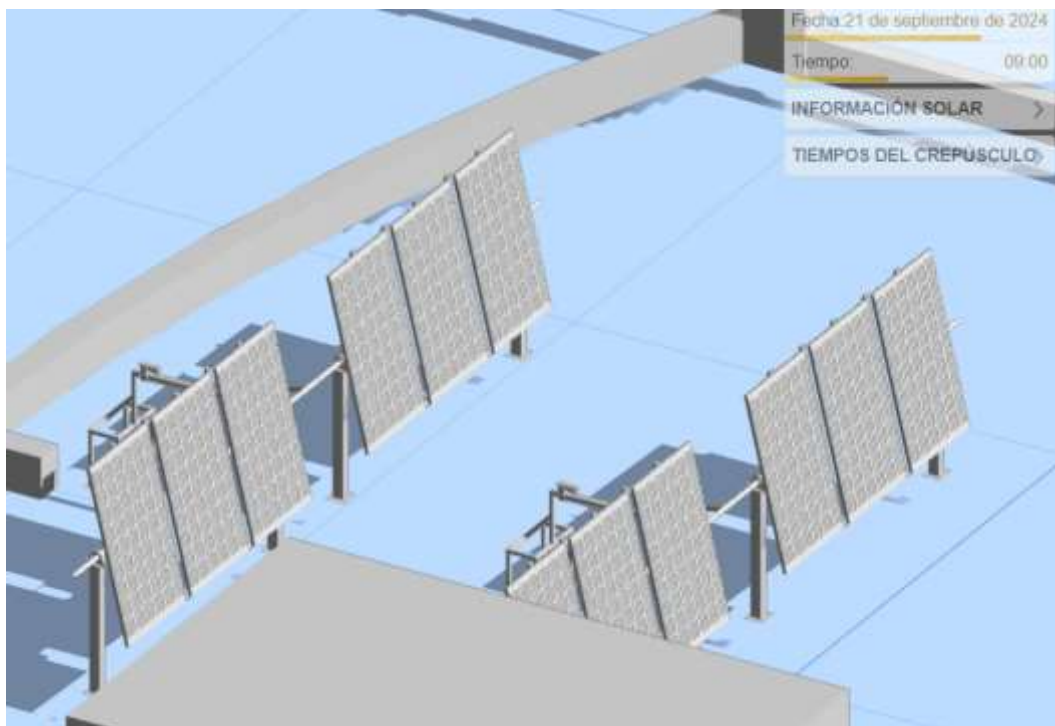


Figura 5.38. Sombras de la ubicación geográfica 21 de septiembre.

- Equinoccio del 21 de marzo

En la Figura 5.38 figura se evidencia los datos generales de la ubicación geográfica y su respectiva sombra del 21 de marzo.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA	
Latitud:	-0,916724904°
Longitud:	-78.6335686°
Zona horaria:	GMT-05:00
FECHA Y HORA	
Fecha:	21 de marzo de 2024
Tiempo:	09:00
INFORMACIÓN SOLAR	
Azi / Alt:	89,19° / 39,45°
Subida / Bajada:	06:19 / 18:26
Luz:	12:07 horas
TIEMPOS DEL CREPÚSCULO	

Figura 5.39. Datos generales de la ubicación geográfica del 21 de marzo.

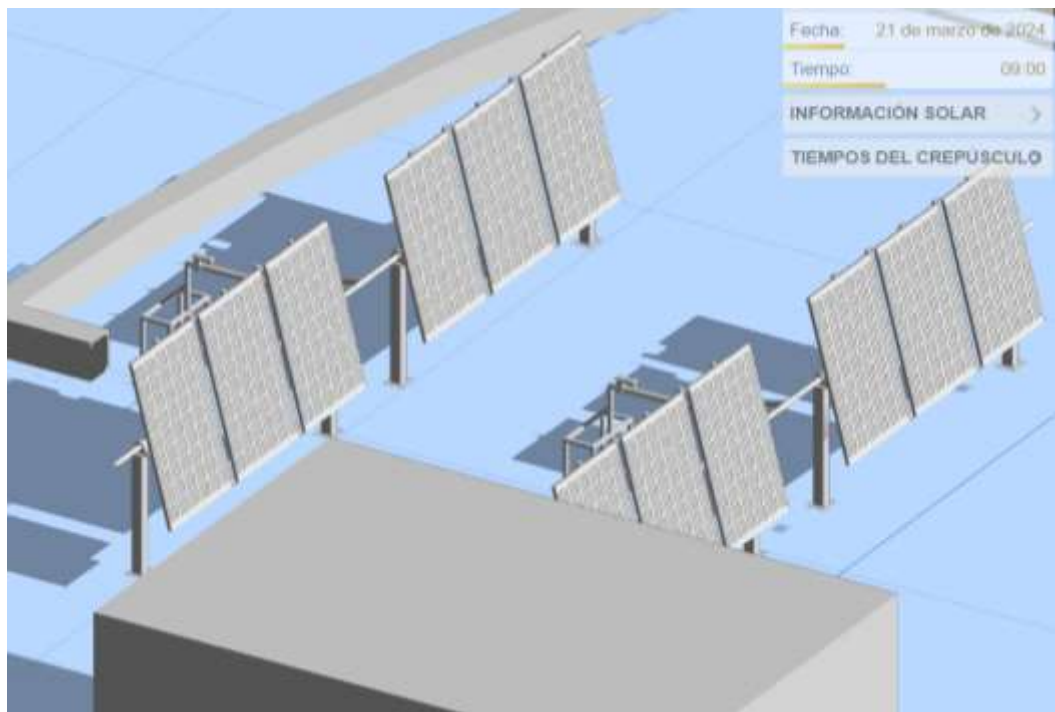


Figura 5.40. Sombras de la ubicación geográfica 21 de marzo.

Con base en el análisis de las sombras proyectadas por las construcciones adyacentes, se determinó que el intervalo horario en el cual la incidencia de sombras sobre el seguidor solar a lo largo del año abarca desde las 9:00 a.m. hasta las 3:00 p.m. Este periodo comprende un total de 6 horas diarias de luz solar efectiva para la generación de energía.

## 5.12 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Las pruebas se realizaron con los módulos fotovoltaicos disponibles hasta el momento incluyendo cuatro paneles solares de dimensiones 1650x990x40 mm y una masa de 15 kg cada uno, montados sobre diez soportes de paneles. Cabe destacar que este sistema de seguimiento solar tiene una capacidad máxima para soportar hasta seis paneles solares de las mismas especificaciones y en el caso de los paneles solares de 1480x675x35 mm, el sistema puede acomodar un total de diez paneles de estas dimensiones, con una masa de 12 kg cada uno.

### 5.12.1 Prueba de funcionamiento sin carga

En la Figura 5.41 se muestra la prueba de funcionamiento sin carga, se realizó sin los paneles solares donde se obtuvo los ángulos inclinación y la corriente consumida por el actuador:



Figura 5.41. Prueba de funcionamiento sin paneles.

Tabla 5.4. Angulo y corriente obtenidos.

<b>Ángulos inclinación</b>	51°
<b>Corriente</b>	0.7 A

### 5.12.2 Prueba de funcionamiento con carga

En la Figura 5.42 se muestra la prueba de funcionamiento con carga se realizó con los 4 paneles solares disponibles y con todos los soportes y sujetadores para obtener los datos de ángulos de inclinación en la Tabla 5.5 se muestra la corriente consumida por el actuador con las cargas presentes:



Figura 5.42. Prueba con carga.

Tabla 5.5. Angulo y corriente obtenidos.

<b>Ángulos inclinación</b>	51°
<b>Corriente</b>	1.2 A

Los resultados de estas pruebas indican que el desplazamiento angular del seguidor solar es adecuado para la captación de energía dentro del rango horario previamente establecido y a lo largo del año. Además, se ha verificado que el seguidor solar opera de manera adecuada bajo las cargas actuales, sin exceder los límites técnicos especificados.

### 5.13 PRESUPUESTO

Durante el proceso de la implementación han interferido algunos factores como: el valor de equipos, tiempo de construcción y pruebas por lo cual influye en los costos que se muestran a continuación, tomando en cuenta las fluctuaciones del mercado de los diferentes elementos.

#### 5.13.1 Gastos del personal

En la estimación de los costos de personal durante el proyecto, se incluyó el tiempo dedicado a las fases de diseño y construcción, así como a la implementación y pruebas de funcionamiento. El cálculo del costo de la mano de obra en función del número de personal y del salario mínimo por ley según en la tercera categoría para un técnico electromecánico, establecido en 478 dólares estadounidenses.

$$\# \text{ horas} = \text{horas trabajada} \times \text{numero de días} \quad [ 5.6]$$

$$\# \text{ horas} = 8 \text{ horas} \times 20 \text{ días} = 160 \text{ horas}$$

$$\text{Costo por hora} = \frac{478 \text{ SBU}}{160 \text{ horas}} = 2.98\$$$

Tabla 5.6. Gastos del personal.

**GASTOS DEL PERSONAL****Mano de Obra**

Detalle	Horas de Trabajo	Precio Unitario	Total
Diseño estructural	46	\$ 2.98	\$ 274.16
Implementación	48	\$ 2.98	\$ 286.08
Pruebas de funcionamiento	40	\$ 2.98	\$ 238.40
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 798.48</b>

**5.13.2 Gastos de ejecución****5.13.2.1 Gastos de adquisición de bienes**

Se estima la cantidad de materiales y recursos necesarios para la ejecución del proyecto.

Tabla 5.7. Gastos de Ejecución.

**GASTOS DE EJECUCIÓN****Adquisición de Bienes**

Detalle	Cantidad	Precio Unitario	IVA	Total
Nivel Plástico 9" B/Magnética Riel				
Aluminio	2	\$ 3.19	\$ 0.96	\$ 7.34
Timbrador P/Construcción	1	\$ 3.66	\$ 0.55	\$ 4.21
Pernos de Acero completos	1	\$ 10.00	\$ 1.50	\$ 11.50
Pernos Expansivos	1	\$ 7.78	\$ 1.17	\$ 8.95
Disco Metal Norton 7x1/4x7/8	1	\$ 3.26	\$ 0.49	\$ 3.75
Disco C/Metal Norton 14x7/64	1	\$ 6.00	\$ 0.90	\$ 6.90
Disco Flap 41/2 N 8C Phenix	1	\$ 2.17	\$ 0.33	\$ 2.50
Disco Corte Metal	1	\$ 1.30	\$ 0.20	\$ 1.50
Barrillas Cuadradas	2	\$ 4.00	\$ -	\$ 8.00
Cables Concéntricos	15	\$ 1.28	\$ 2.88	\$ 22.08
Anticorrosivo Brillantes Gris LT	1	\$ 6.52	\$ 0.98	\$ 7.50
Acople Rápido P/Compresor	1	\$ 4.13	\$ 0.62	\$ 4.75
Pistola de Aire	1	\$ 12.95	\$ 1.94	\$ 14.89
Buje	1	\$ 5.36	\$ 0.64	\$ 6.00
Pistola Metálica P/Silicon Liviana Azul	1	\$ 2.81	\$ 0.42	\$ 3.23
Anclaje Adibond Fix 300ML	1	\$ 16.46	\$ 2.47	\$ 18.93
Solar Actuator 24 VDC - 36-inch stroke - 3300 Lbs. with Hall Effect Sensor	1	\$ 560.00		\$ 560.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 692.02</b>

**5.13.2.2 Gastos de contratación de servicios**

Mide el coste total en que se incurre en un proyecto para contratar un servicio que es necesario para la elaboración.

Tabla 5.8. Gastos de contratación de servicios.

<b>Contratación de Servicios</b>	
<b>Detalle</b>	<b>TOTAL</b>
Servientrega (01. solar actuador 24 v dc - 36 inch stroke )	\$ 182.80
Liquidación aduanera	\$ 73.90
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 256.70</b>

**5.13.3 Gastos Indirectos**

Se determinan los costos asociados a la actividad del proyecto que, aunque no están directamente vinculados a esa tarea específica, son esenciales para su ejecución.

Tabla 5.9. Gastos Indirectos

<b>GASTOS INDIRECTOS</b>	
<b>Detalle</b>	<b>TOTAL</b>
Transporte	\$ 132.00
Alimentación	\$ 80.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 212.00</b>

Tabla 5.10. Presupuesto global del proyecto

<b>PRESUPUESTO GLOBAL DEL PROYECTO</b>	
<b>RUBRO</b>	<b>TOTAL</b>
GASTOS DEL PERSONAL	\$ 798.48
GASTOS DE EJECUCIÓN	\$ 948.72
GASTOS INDIRECTOS	\$ 212.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1959.2</b>

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

- Tras la evaluación del estado inicial del sistema de seguimiento solar, se han identificado y clasificado las fallas en categorías clave que afectan la movilidad del sistema de seguimiento solar. Se determinó que las principales fallas mecánicas incluyen el desgaste de componentes críticos, como chumaceras y ejes. Adicionalmente, se encontraron fallas estructurales relacionadas con las soldaduras y degradación de materiales en los sujetadores transversales y ajustables que aseguran al panel solar a su soporte y al eje comprometiendo la estabilidad y funcionamiento del seguidor solar.
- El uso de software CAD permitió desarrollar las mejoras necesarias basándose en el registro de fallas las cuales incluyeron la redistribución de cargas al reducir la distancia entre las columnas que soportan al eje reduciéndola a 3m, la modificación de los soportes para paneles convirtiéndolos en móviles para tener una mayor flexibilidad en las dimensiones de paneles solares que pueden usarse siendo hasta de 1.7 m de largo, la modificación de la distancia de la conexión entre el brazo móvil y el actuador a 0.65m y la actualización del actuador lineal cuya capacidad de carga se aumentó hasta 3300 lb para su uso con futuras estructuras con características similares. Estas acciones resultaron en un sistema más resistente asegurando su funcionamiento y una mayor flexibilidad.
- La ejecución de las mejoras planteadas al seguidor solar permitió mejorar las capacidades del sistema desde su desplazamiento angular pasando de 33° a 51° permitiendo captar los rayos solares desde las 9 am hasta las 15 pm y reduciendo la fuerza necesaria para dicho desplazamiento a 1044.55 Nm cuando el seguidor solar se encuentre a su capacidad máxima de 150 kg. Estas mejoras no solo restauraron la funcionalidad original, sino que también mejoraron varios aspectos clave del sistema. Entre las mejoras destacan el aumento de la flexibilidad de los componentes para adaptarse a diferentes paneles solares comerciales dentro de las dimensiones especificadas.
- Mediante las pruebas de funcionamiento con carga y sin carga se comprobó los ángulos de inclinación que alcanzan los paneles solares siendo de 51° permitiendo un seguimiento de Este a Oeste de 6 horas de luz solar siendo este rango desde las 9 am hasta las 15 pm además también se midió el consumo de corriente del actuador en estos dos casos siendo la corriente de 0.7 Amperios en el caso de la prueba sin los paneles solares y 1.2 Amperios para el caso

de la prueba de funcionamiento con los paneles disponibles verificando así que el actuador no sobrepasa su capacidad de carga con las cargas presentes al momento.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Planificar la repotenciación de los sistemas de control y eléctricos para su implementación en el sistema de seguimiento solar. Esta actualización debe garantizar un funcionamiento óptimo y continuo del sistema durante todo el año, independientemente de las variaciones estacionales. Es esencial que los nuevos sistemas de control y eléctricos sean compatibles con los componentes existentes.
- Se recomienda la adquisición de paneles solares adicionales que cumplan con las especificaciones dimensionales establecidas para su integración en el sistema de seguimiento solar para aprovechar las mejoras realizadas al seguidor solar.
- Se recomienda estrictamente no exceder la carga máxima establecida en el diseño del sistema de seguimiento solar, la cual es de 150 kg, con el fin de evitar superar la deformación máxima permitida en los ejes. Esto es crucial para prevenir daños estructurales y garantizar la integridad del sistema, ya que cargas excesivas pueden provocar esfuerzos mecánicos que comprometan la estabilidad y el funcionamiento óptimo del sistema.

## 7 REFERENCIAS

- [1] A. Al-Othman et al., “An experimental study on hybrid control of a solar tracking system to maximize energy harvesting in Jordan,” *Solar Energy*, vol. 263, p. 111931, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.SOLENER.2023.111931.
- [2] G. C. Lazaroiu, M. Longo, M. Roscia, and M. Pagano, “Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption,” *Energy Convers Manag*, vol. 92, pp. 143–148, Mar. 2015, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2014.12.046.
- [3] “norma española,” 2016, Accessed: Aug. 12, 2024. [Online]. Available: [www.aenor.es](http://www.aenor.es)
- [4] G. Sebastián et al., “Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, no. 3, pp. 9493–9509, Jul. 2023, doi: 10.37811/CL\_RCM.V7I3.6835.

- [5] R. Arreola Gómez et al., “Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico,” *Rev Mex De Cienc Agric*, vol. 6, no. 8, pp. 1715–1727, 2015, Accessed: Aug. 12, 2024. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342015000801715&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000801715&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [6] D. De Mecánica, “UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA Septiembre 2020”.
- [7] “Tracking COP28 outcomes: Tripling renewable power capacity by 2030 - Colombia Inteligente.” Accessed: Aug. 13, 2024. [Online]. Available: [https://colombiainteligente.org/es\\_co/tendencias/tracking-cop28-outcomes-tripling-renewable-power-capacity-by-2030/](https://colombiainteligente.org/es_co/tendencias/tracking-cop28-outcomes-tripling-renewable-power-capacity-by-2030/)
- [8] “Global Solar Atlas.” Accessed: Aug. 12, 2024. [Online]. Available: <https://globalsolaratlas.info/global-pv-potential-study>
- [9] F. De Informática and Y. Electrónica, “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”.
- [10] S. Caiza Jhonatan Steven Supe Bombon Luis Washington and I. Luis Rolando Cruz Panchi Latacunga -Ecuador, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA PROPUESTA TECNOLÓGICA Propuesta tecnológica presentada previo a la obtención del Título de Ingenieros”.
- [11] F. Adler, M. Berardi, M. García Pedrosa, F. Monticelli, and M. Morquecho, “Energía solar fotovoltaica Instalaciones Industriales”.
- [12] I. Ambiental, E. De, L. A. Orientación, Y. El, and Á. De, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: Trabajo experimental”.
- [13] J. Javier. García-Badell and Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (España), “Cálculo de la energía solar,” 1983, Accessed: Aug. 13, 2024. [Online]. Available: [https://books.google.es/books?id=P\\_bLE\\_m-ik4C&pg=PA119&lpg=PA119&dq=muro+nido+abeja&source=bl&ots=d\\_iPTWZDO6&sig=1tUN0MqhtfbQTy7FxEww63KRYnA&hl=ca&sa=X&ved=0ahUKEwi-z-](https://books.google.es/books?id=P_bLE_m-ik4C&pg=PA119&lpg=PA119&dq=muro+nido+abeja&source=bl&ots=d_iPTWZDO6&sig=1tUN0MqhtfbQTy7FxEww63KRYnA&hl=ca&sa=X&ved=0ahUKEwi-z-)

jQ9YjTAhUCRhQKHZKGBkE4FBD0AQgoMAI#v=onepage&q=muro%20nido%20a  
beja&f=false

- [14] E. Turrillas, S. Jokin, and A. García, “Eduardo Turrillas Solabre 1 Trabajo Fin de Grado”.
- [15] “Cálculo de la radiación solar extraterrestre en función de la latitud y la declinación solar”.
- [16] “Topografía básica para ingenieros - Antonio García Martín, Manuel Rosique Campoy, Francisco E. Segado Vázquez - Google Libros.” Accessed: Aug. 13, 2024. [Online]. Available:  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=KxMmdTQmkEQC&oi=fnd&pg=PA11&dq=que+es+el+norte+verdadero&ots=RHtQtPvbTq&sig=oPjOarFco9W\\_oU1AhZkTJT7bJpM#v=onepage&q=que%20es%20el%20norte%20verdadero&f=true](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=KxMmdTQmkEQC&oi=fnd&pg=PA11&dq=que+es+el+norte+verdadero&ots=RHtQtPvbTq&sig=oPjOarFco9W_oU1AhZkTJT7bJpM#v=onepage&q=que%20es%20el%20norte%20verdadero&f=true)
- [17] “UNE EN 62817 2016 - standard - norma española UNE-EN 62817 Noviembre 2016 TÍTULO Sistemas - Studocu.” Accessed: Aug. 13, 2024. [Online]. Available:  
<https://www.studocu.com/es/document/universidad-de-sevilla/calculo-y-diseno-de-estructuras-y-construcciones-industriales/une-en-62817-2016-standard/36452578>
- [18] “Vista de Sistema de seguimiento solar para paneles fotovoltaicos.” Accessed: Aug. 13, 2024. [Online]. Available:  
<https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/1219/1174>
- [19] R. Fabian, G. Pineda, S. Said, and S. Blanco, “Análisis teórico-experimental de viabilidad técnica y económica de implementar seguidores solares fotovoltaicos de un eje en Bucaramanga Investigación en Curso Universidad Autónoma de Bucaramanga”.
- [20] M. A. Ponce-Jara, I. Pazmino, Á. Moreira-Espinoza, A. Gunsha-Morales, and C. Rus-Casas, “Assessment of Single-Axis Solar Tracking System Efficiency in Equatorial Regions: A Case Study of Manta, Ecuador,” *Energies* 2024, Vol. 17, Page 3946, vol. 17, no. 16, p. 3946, Aug. 2024, doi: 10.3390/EN17163946.
- [21] F. R. R. Anastacio and F. R. R. Anastacio, “Seguidor solar a dos ejes cuya posición se calcula utilizando los ángulos de elevación y Azimut del sol en Guayaquil,” *RECIMUNDO*, vol. 6, no. 1, pp. 225–231, Feb. 2022, doi: 10.26820/recimundo/6.(1).ene.2022.225-231.
- [22] “Marco Teorico Reflexion de La Luz Panel Solar | PDF | Reflexión (Física) | Panel solar.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available:

<https://es.scribd.com/document/450645068/MARCO-TEORICO-REFLEXION-DE-LA-LUZ-PANEL-SOLAR>

- [23] I. M. Roberto, N. Lovo, I. F. Antonio, A. Sandoval, I. Julio, and A. Portillo, “DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DECANO”.
- [24] “Pérdidas De Sombra En Sistemas Fotovoltaicos Y Técnicas Para Mitigarlas.” Accessed: Aug. 17, 2024. [Online]. Available: <https://ecoinventos.com/perdidas-de-sombra-en-sistemas-fotovoltaicos-y-tecnicas-para-mitigarlas/>

**ANEXOS**

**ANEXO A**

**INSPECCIÓN VISUAL Y PRUEBAS**

**ANEXO A1. INSPECCIÓN VISUAL DE LOS SOPORTES DE LOS PANELES**



**ANEXO A2. INSPECCIÓN VISUAL DEL PANDEO EN EL EJE MOVIL**



**ANEXO A3. INSPECCIÓN VISUAL DEL BRAZO MÓVIL**



**ANEXO A4. INSPECCIÓN VISUAL DE LOS SUJETADORES EN L**



**ANEXO A5. INSPECCIÓN VISUAL DEL ACTUADOR**



**ANEXO A6. INSPECCIÓN VISUAL DE LOS COMPONENTES OXIDADOS**



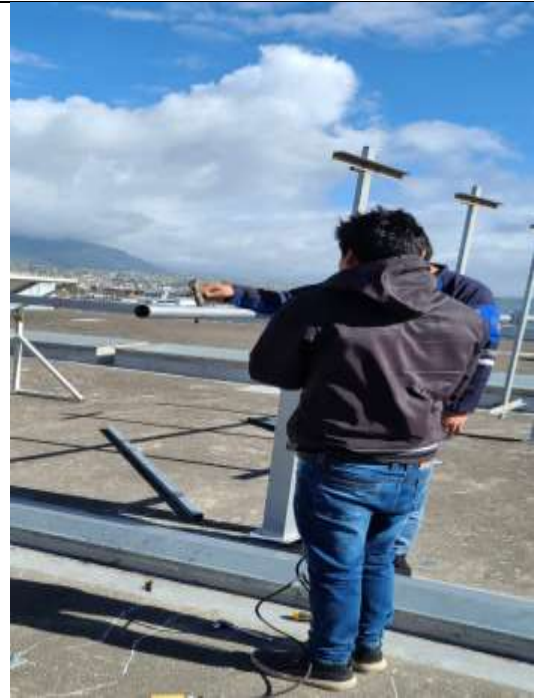
**ANEXO A7. INSPECCIÓN VISUAL DE LOS PERNOS DE SUJECCIÓN**



**ANEXO B**

**DESMONTAJE DE LA ESTRUCTURA DEL SEGUIDOR SOLAR**

**ANEXO B1. DESMONTAJE DE LA ESTRUCTURA**



**ANEXO B2. DESMONTAJE DE LA ESTRUCTURA**



**ANEXO C**

**REPARACIÓN DE FALLAS EN LOS CORDONES DE SOLDADURA EN EL SOPORTE DEL ACTUADOR**

**ANEXO C1. CORTE Y SOLDADURA EN EL SOPORTE DEL ACTUADO**



**ANEXO D**

**DESACOPLE, SOPORTE PARA PANELES SOLARES SOLDADOS A LOS EJES**

**ANEXO D1. CORTE DE LOS SOPORTES SOLDADOS AL EJE**



**ANEXO D2. LIMPIEZA DEL EJE Y DEL SOPORTE DEL PANEL**



**ANEXO E**

**CONSTRUCCIÓN SOPORTES PARA PANELES SOLARES MODIFICADOS**

**ANEXO E1. CORTE DEL MATERIAL PARA LOS SOPORTES DE LOS PANELES**



**ANEXO E2. SOLDADURA EN LOS SOPORTES MODIFICADOS**



**ANEXO E3. SOLDADURA EN LOS SOPORTES MODIFICADOS**



**ANEXO F**

**REPARACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE SUJETADORES AJUSTABLES EN L**

**ANEXO F. REPARACIÓN DE SUJETADORES EN L**



**ANEXO G**

**SOLDADO Y LIMPIEZA DE GUIAS DE BARRILLA CUADRADA A LOS EJES**

**ANEXO G1. SOLDADURA DE BARRILLA CUADRADA JUNTO AL EJE**



**ANEXO G2. PROCESO DE LIMPIEZA DE BARRILLA CUADRADA JUNTO AL EJE**



**ANEXO G3. BARRILLA CUADRADA SOLDADO AL EJE**



**ANEXO H**

**PINTADO DE LOS ELEMENTOS REPARADOS Y MODIFICADOS**

**ANEXO H1. PINTADO DE LOS SOPORTES DEL PANEL SOLAR**



**ANEXO H2. PINTADO DEL EJE Y LOS SOPORTES EN L**



**ANEXO I**

**TRAZADO DE UNA LÍNEA DE REFERENCIA AL NORTE VERDADERO**

**ANEXO 1 TRAZO DE LÍNEA DE REFERENCIA AL NORTE VERDADERO**



**ANEXO J**

**IMPLEMENTACIÓN ESTRUCTURA ORIENTADA AL NORTE VERDADERO**

**ANEXO J1. MONTAJE DE LOS SOPORTES**



**ANEXO J2. ALINEACIÓN Y SUJECIÓN DE LOS SOPORTES**



**ANEXO J3. MONTAJE DEL EJE Y LOS SOPORTES DEL PANEL SOLAR**



**ANEXO K**

**PRUEBAS DEL ACTUADOR CON CARGA Y SIN CARGA**

**ANEXO K1. PRUEBAS SIN CARGA**



**ANEXO K2. PRUEBAS CON CARGA**



**ANEXO K3. ÁNGULO DE INCLINACION.**



ANEXO L

ANEXOS L CATÁLOGOS DE MATERIALES

ANEXOS L1 ESPECIFICACIONES TUBO MECÁNICO REDONDO



### TUBO MECANICO REDONDO

**Especificaciones Generales**

- Norma:** ASTM A 313
- Recubrimiento:** Negro o galvanizada
- Largo Normal:** 6 mts
- Otros largos:** Previa consulta
- Dimensiones:** Desde 1/2" a 2 1/2"
- Espesor:** Desde 0.6 mm a 1.5 mm



DIAMETRO EXTERIOR (D)	ESPESOR			PESO		PROPIEDADES	
	Pulg	mm	mm	P	A	I	W
			kg/6m	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
1/2	12.70	0.60	1.14	0.23	0.04	0.07	0.43
		0.75	1.44	0.28	0.05	0.08	0.42
		0.95	1.86	0.35	0.06	0.09	0.41
		1.10	2.10	0.40	0.07	0.11	0.41
		1.50	2.82	0.53	0.08	0.13	0.39
5/8	15.88	0.60	1.44	0.29	0.08	0.11	0.54
		0.75	1.86	0.36	0.10	0.13	0.53
		0.95	2.28	0.44	0.12	0.16	0.51
		1.10	2.64	0.51	0.14	0.18	0.52
		1.50	3.54	0.68	0.18	0.22	0.51
3/4	19.05	0.60	1.74	0.35	0.15	0.18	0.65
		0.75	2.16	0.43	0.19	0.19	0.65
		0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62
7/8	22.22	0.60	2.04	0.41	0.24	0.21	0.78
		0.75	2.52	0.50	0.29	0.26	0.78
		0.95	3.18	0.63	0.36	0.32	0.75
		1.10	3.66	0.73	0.41	0.37	0.75
		1.50	4.92	0.98	0.53	0.47	0.74
1	25.40	0.60	2.28	0.47	0.38	0.28	0.88
		0.75	2.88	0.58	0.44	0.35	0.87
		0.95	3.60	0.73	0.55	0.43	0.87

ANEXOS L2 ESPECIFICACIONES VARILLA CUADRADA

### PERFILES LAMINADOS

**Especificaciones Generales**

- Calidad:** ASTM A 36
- Otras calidades:** Previa Consulta
- Largo normal:** 6.00 m.
- Otros largos:** Previa Consulta
- Azobado:** Natural
- Otro acabado:** Previa Consulta

### VARILLA CUADRADA LISA




DENOMINACION	LADO		PESO		AREA
	mm	kg/m	kg/6m	cm <sup>2</sup>	
VCU 5/16	8.0	0.57	3.41	0.72	
VCU 3/8	9.0	0.64	3.83	0.81	
VCU 1/2	11.0	0.95	5.70	1.21	
VCU 5/8	15.0	1.77	10.60	2.25	
VCU 3/4	18.0	2.54	15.26	3.24	
VCU 24.5	24.5	4.72	28.30	6.00	

## ANEXOS L3 ESPECIFICACIONES DE PERFILES

**PERFILES IMPORTADOS**  
**ANGULOS**

**Especificaciones Generales**

**Calidad:** ASTM A 36 SAE 1008

**Otros catálogos:** Previa Consulta

**Largo normal:** 6,00 m

**Otros largos:** Previa Consulta

**Acabado:** Natural

**Otro acabado:** Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/6m	cm2
	a	e			
AL 20X2	20	2	0,60	3,62	0,76
AL 20X3	20	3	0,67	5,27	1,11
AL 25X2	25	2	0,75	4,50	0,90
AL 25X3	25	3	1,11	6,66	1,41
AL 25X4	25	4	1,45	8,75	1,84
AL 30X3	30	3	1,36	8,13	1,71
AL 30X4	30	4	1,77	10,63	2,24
AL 40X3	40	3	1,81	11,00	2,31
AL 40X4	40	4	2,38	14,34	3,04
AL 40X6	40	6	3,49	21,34	4,44
AL 50X3	50	3	2,29	13,65	2,91
AL 50X4	50	4	3,02	18,33	3,84
AL 50X6	50	6	4,43	26,58	5,64
AL 60X6	60	6	5,57	32,54	6,84
AL 60X8	60	8	7,09	42,54	9,03
AL 65X8	65	8	8,64	51,84	11,11

## ANEXOS L4 ESPECIFICACIONES PLATINAS

**PERFILES LAMINADOS**  
**PLATINAS**

**Especificaciones Generales**

**Calidad:** ASTM A 36 SAE 1008

**Otros catálogos:** Previa Consulta

**Largo normal:** 6,00 m

**Otros largos:** Previa Consulta

**Acabado:** Natural

**Otro acabado:** Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/6m	cm2
	a	e			
PLT 12X3	12	3	0,28	1,70	0,36
PLT 12X4	12	4	0,38	2,45	0,48
PLT 12X6	12	6	0,57	3,40	0,72
PLT 19X3	19	3	0,45	2,68	0,57
PLT 19X4	19	4	0,60	3,58	0,76
PLT 19X6	19	6	0,89	5,37	1,15
PLT 25X3	25	3	0,59	3,53	0,75
PLT 25X4	25	4	0,79	4,71	1,00
PLT 25X6	25	6	1,18	7,07	1,50
PLT 25X12	30	3	0,71	4,24	0,90
PLT 30X4	30	4	0,94	5,65	1,20
PLT 30X6	30	6	1,41	8,47	1,80
PLT 30X9	30	9	2,12	12,71	2,70
PLT 30X12	30	12	2,83	16,95	3,60
PLT 38X3	38	3	0,89	5,37	1,15
PLT 38X4	38	4	1,19	7,16	1,52
PLT 38X6	38	6	1,79	11,40	2,28
PLT 38X9	38	9	2,69	16,11	3,42
PLT 38X12	38	12	3,58	21,48	4,56
PLT 50X3	50	3	1,18	7,08	1,50
PLT 50X4	50	4	1,58	9,42	2,00
PLT 50X6	50	6	2,26	14,16	3,00
PLT 50X9	50	9	3,53	21,20	4,50



**ANEXOS L5 ESPECIFICACIONES TUBO MECÁNICO RECTANGULAR**

**TUBO MECANICO  
RECTANGULAR**

**Especificaciones Generales**

<b>Norma</b>	ASTM A-513
<b>Recubrimiento</b>	Negro o Galvanizado
<b>Largo normal</b>	6mts
<b>Otros largos</b>	Previa consulta
<b>Dimensiones</b>	DESDE 10mm x 20mm a 30mm x 50mm
<b>Espesor</b>	Desde 0.6 a 1.5mm



DIMENSIONES			PESO Kg/m	AREA cm <sup>2</sup>	EJES X-X			EJES Y-Y		
A mm	B mm	ESPESOR mm			I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm
10	20	0,8	0,36	0,45	0,08	0,04	0,41	0,23	0,09	0,71
12	25	0,8	0,43	0,53	0,43	0,34	0,90	0,13	0,22	0,50
12	25	1,0	0,54	0,77	0,59	0,48	0,88	0,18	0,30	0,49
15	25	0,8	0,49	0,61	0,23	0,12	0,62	0,52	0,21	0,92
15	25	1,0	0,64	0,83	0,31	0,15	0,61	0,69	0,28	0,91
15	25	1,2	0,69	0,90	0,33	0,16	0,60	0,74	0,30	0,91
20	30	0,8	0,61	0,77	0,53	0,26	0,82	0,99	0,40	1,13
20	30	1,2	0,90	1,14	0,75	0,37	0,81	1,42	0,57	1,11
20	40	0,8	0,74	0,93	0,67	0,34	0,85	1,98	0,79	1,46
20	40	1,0	0,92	1,27	0,89	0,45	0,84	2,66	1,06	1,45
20	40	1,2	1,09	1,38	0,96	0,48	0,83	2,87	1,15	1,44
20	40	1,5	1,35	1,65	3,10	1,60	1,37	1,06	1,06	0,82
20	50	1,2	1,29	1,62	1,17	0,59	0,85	5,02	2,01	1,76
20	50	1,5	1,59	2,14	1,48	0,74	0,83	6,48	2,59	1,74
25	50	0,8	0,95	1,08	3,59	1,43	1,82	1,24	0,99	1,07
25	50	1,0	1,15	1,36	4,47	1,79	1,81	1,53	1,22	1,06
25	50	1,2	1,37	1,57	5,10	2,04	1,80	1,74	1,40	1,05
25	50	1,5	1,82	2,10	6,39	2,56	1,74	2,19	1,75	1,02
30	50	0,8	0,98	1,25	2,01	1,01	1,27	4,42	1,77	1,88

**ANEXOS M**

**ANEXO ESPECIFICACIONES DEL ACTUADOR SELECCIONADO**

**Specifications**

Load (LBS)		No Load Current (A)		Full Load Current (A)		Speed (inch/sec)	
Dynamic	Static	24VDC	36VDC	24VDC	36VDC	No Load	Full Load
3,300	10,000	<1.0	<1.0	6.0	4.1	0.08	0.06

<b>Stroke</b>	Can customize from 4" to 45"
<b>Protection Class</b>	IP66M
<b>Operational Temperature</b>	-40°C to 70°C (-40°F to 158°F)
<b>Noise</b>	56 dB
<b>Duty Cycle</b>	12%
<b>Limit Switch</b>	Internal, non-adjustable
<b>Limit Switch Feedback</b>	Yes (Custom Order)
<b>Feedback Options</b>	Hall Effect (see Page 6)
<b>Wire Length</b>	82"
<b>Motor Type</b>	Brushed DC Motor
<b>Screw Type</b>	ACME Screw (Integrated Brake)
<b>Housing Material</b>	Alluminum Alloy
<b>Gear Material</b>	Powder Metallurgy
<b>Rod Material</b>	Stainless Steel
<b>Certification</b>	UV Ray, Salt Exposure, UL

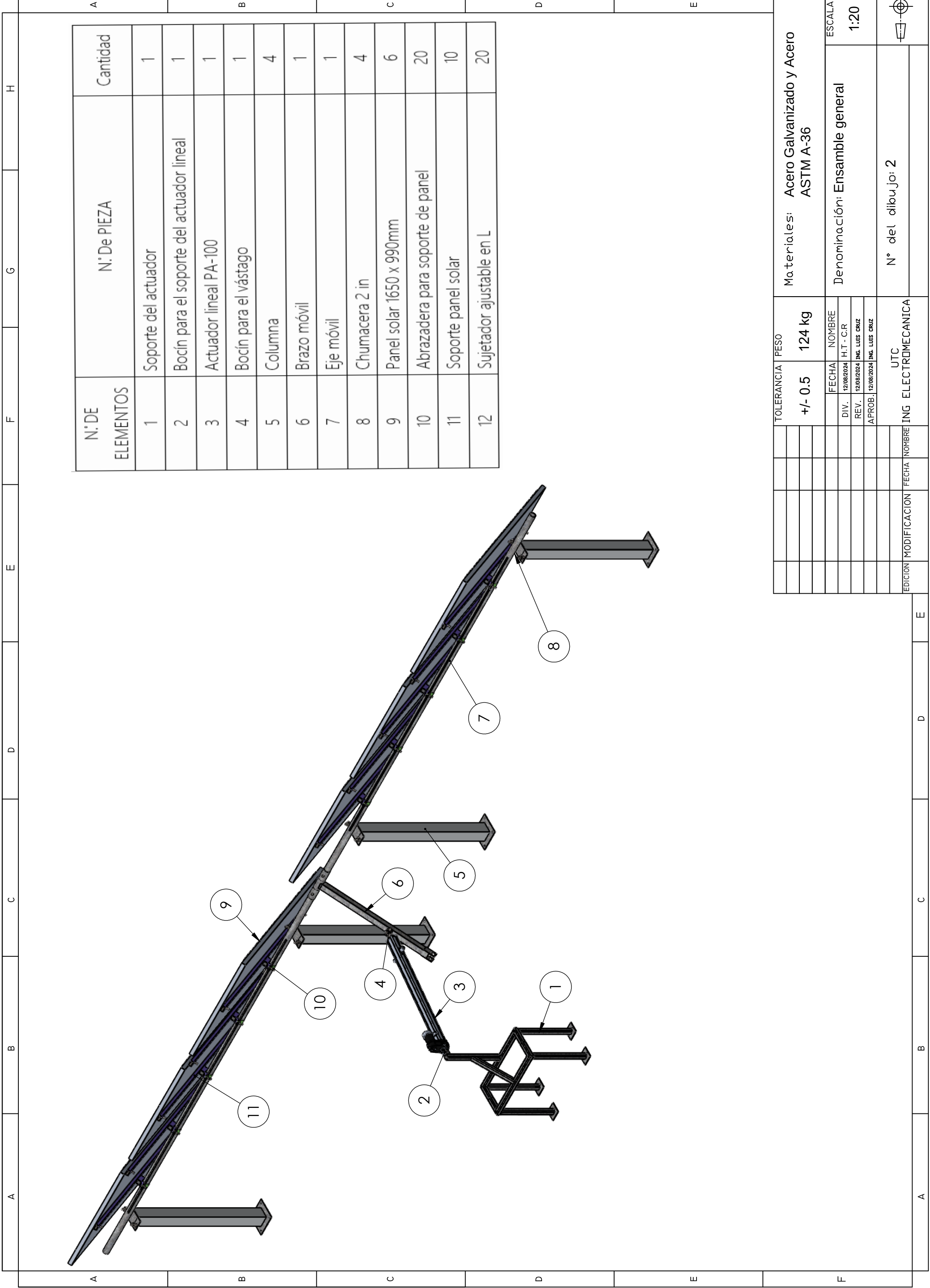
**ANEXOS N**

**MANUAL DE MANTENIMIENTO**



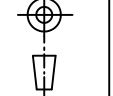
**ANEXOS L**

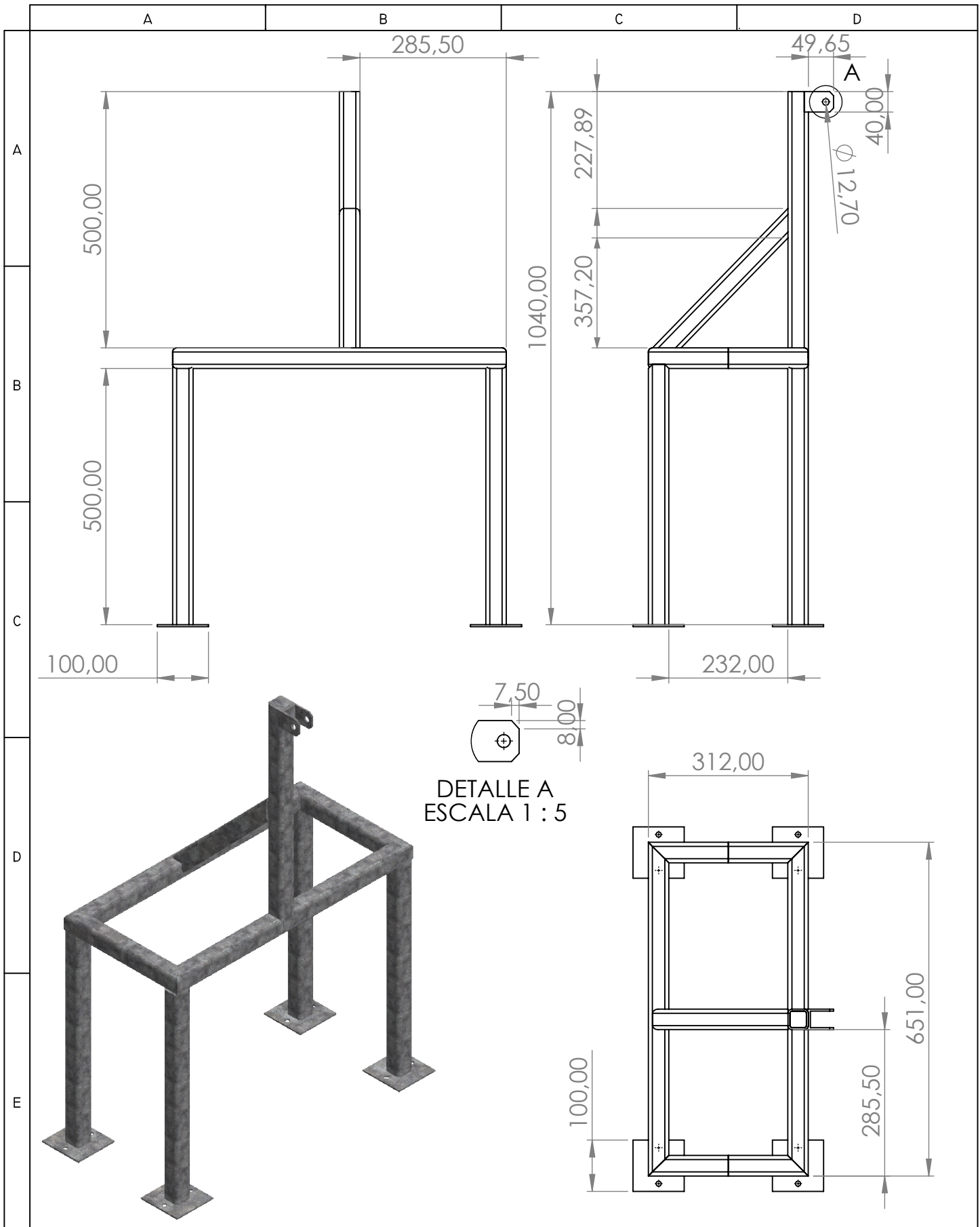
**PLANOS**



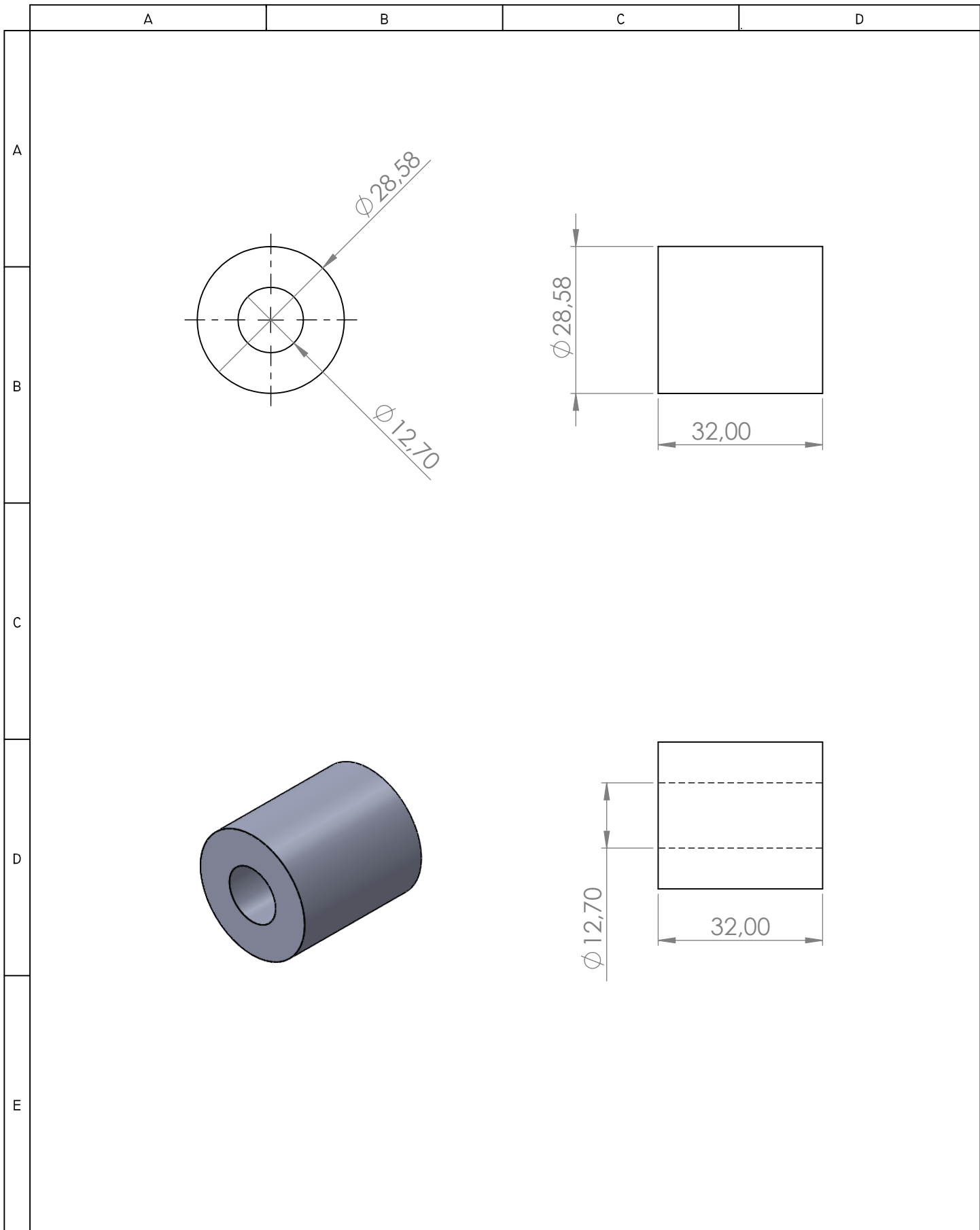
N:DE ELEMENTOS	N:De PIEZA	Cantidad
1	Soporte del actuador	1
2	Bocín para el soporte del actuador lineal	1
3	Actuador lineal PA-100	1
4	Bocín para el vástago	1
5	Columna	4
6	Brazo móvil	1
7	Eje móvil	1
8	Chumacera 2 in	4
9	Panel solar 1650 x 990mm	6
10	Abrazadera para soporte de panel	20
11	Soporte panel solar	10
12	Sujetador ajustable en L	20

TOLERANCIA		PESO		Materiales: Acero Galvanizado y Acero ASTM A-36	
+/- 0.5		124 kg		Denominación: Ensamble general	
FECHA	NOMBRE	ESCALA			
DIV. 12/08/2024	H.T. - C.R	1:20			
REV. 12/08/2024	ING. LUIS CRUZ				
APROB. 12/08/2024	ING. LUIS CRUZ				
EDICIÓN	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	ING ELECTROMECANICA	
				UTC	
				N° del dibujo: 2	

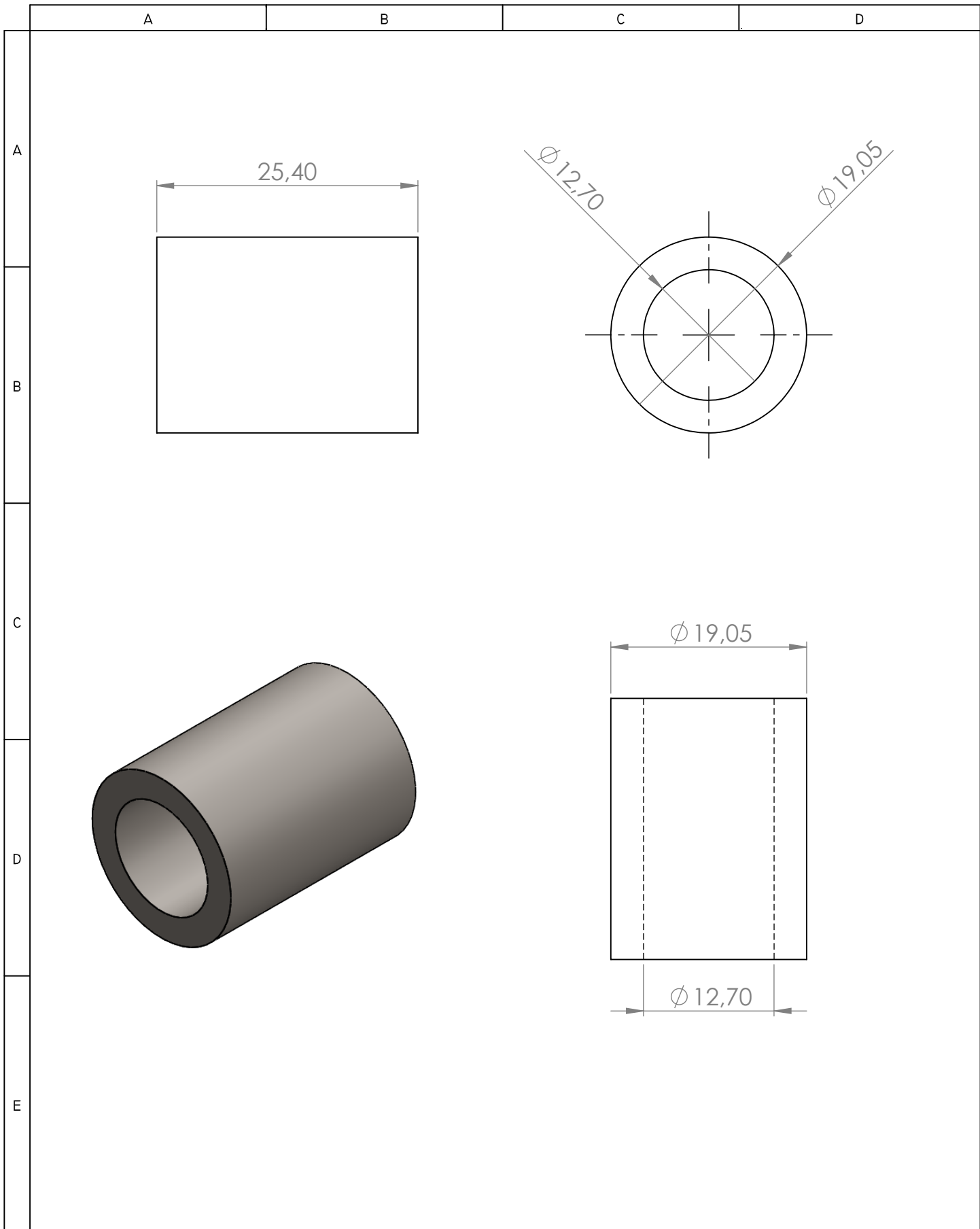




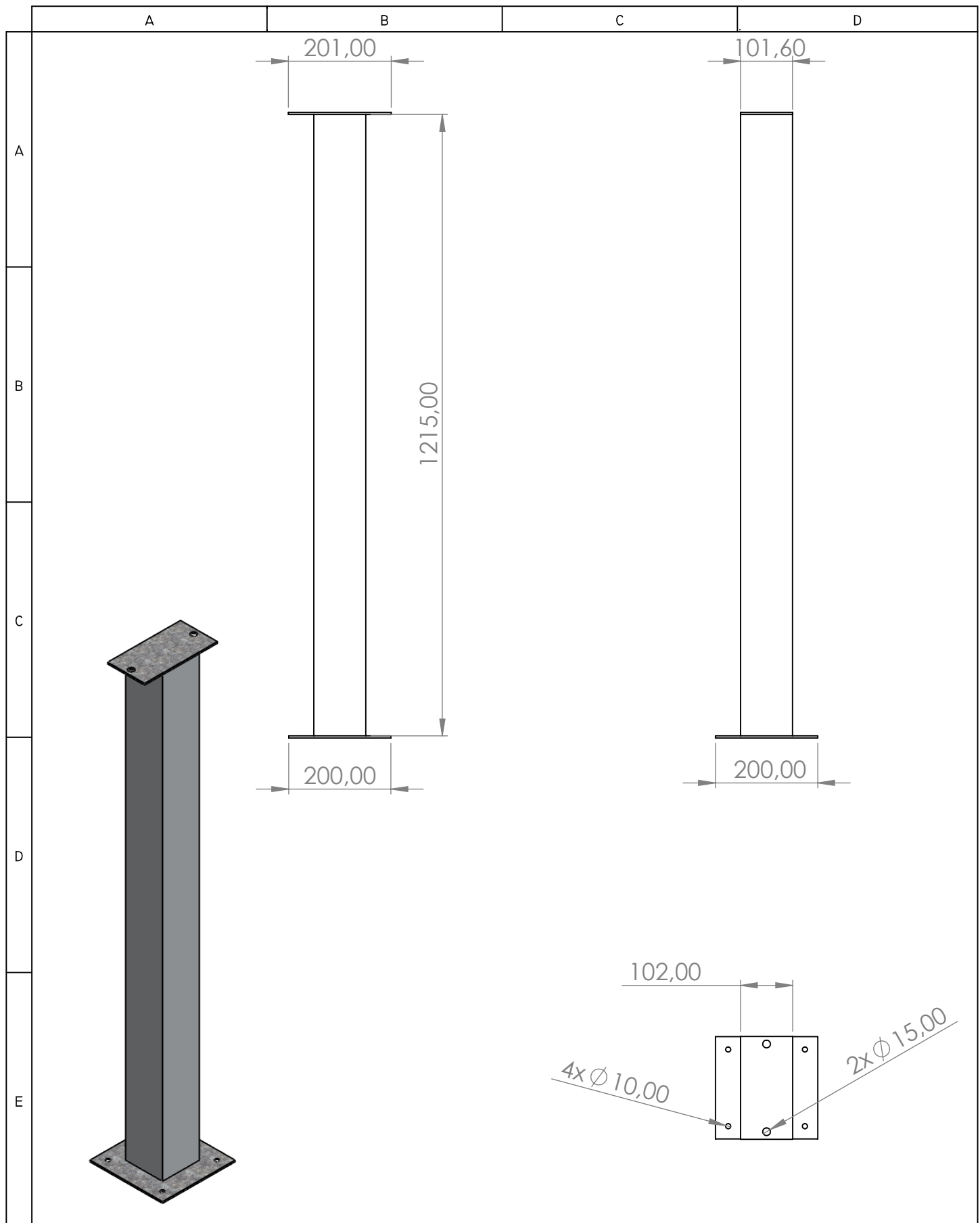
				TOLERANCIA	PESO	Materiales: Acero Galvanizado y Acero ASTM A-36	
				+/- 0.5	6.15 kg		
					FECHA	NOMBRE	Denominación: Soporte del Actuador
				DIV.	12/08/2024	H.T - C.R	
				REV.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	
				APROB.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	ESCALA 1:10
				UTC			
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	ING ELECTROMECANICA			N° del dibujo: 3



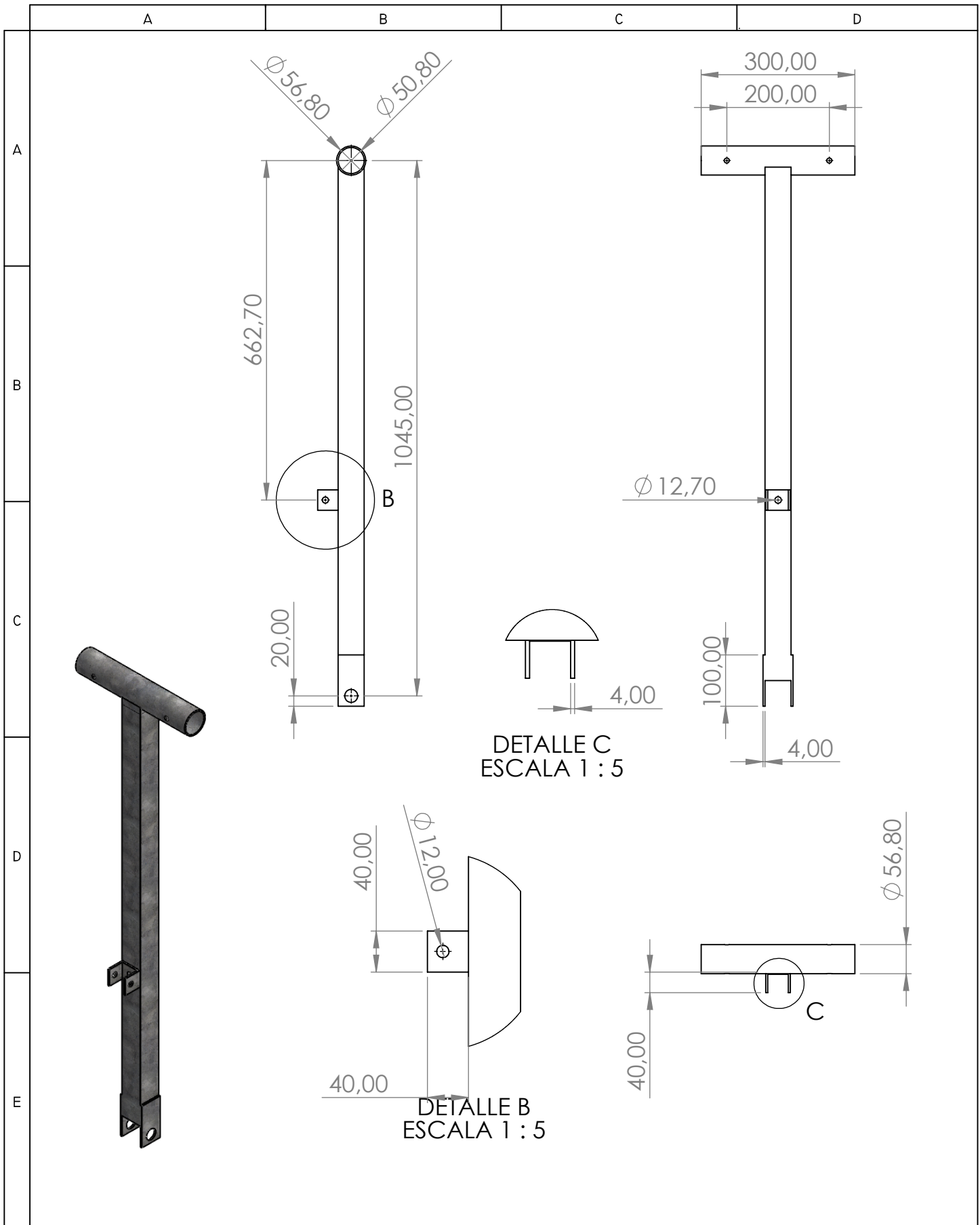
				TOLERANCIA	PESO	Materiales: Acero ASTM A-36	
				+/- 0.5	152.1 gr		
					FECHA	NOMBRE	Denominación: Bocin para el soporte del actuador
				DIV.	12/08/2024	H.T - C.R	
				REV.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	
				APROB.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	
				UTC		N° del dibujo: 4	
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	ING ELECTROMECHANICA		ESCALA	
						1:1	



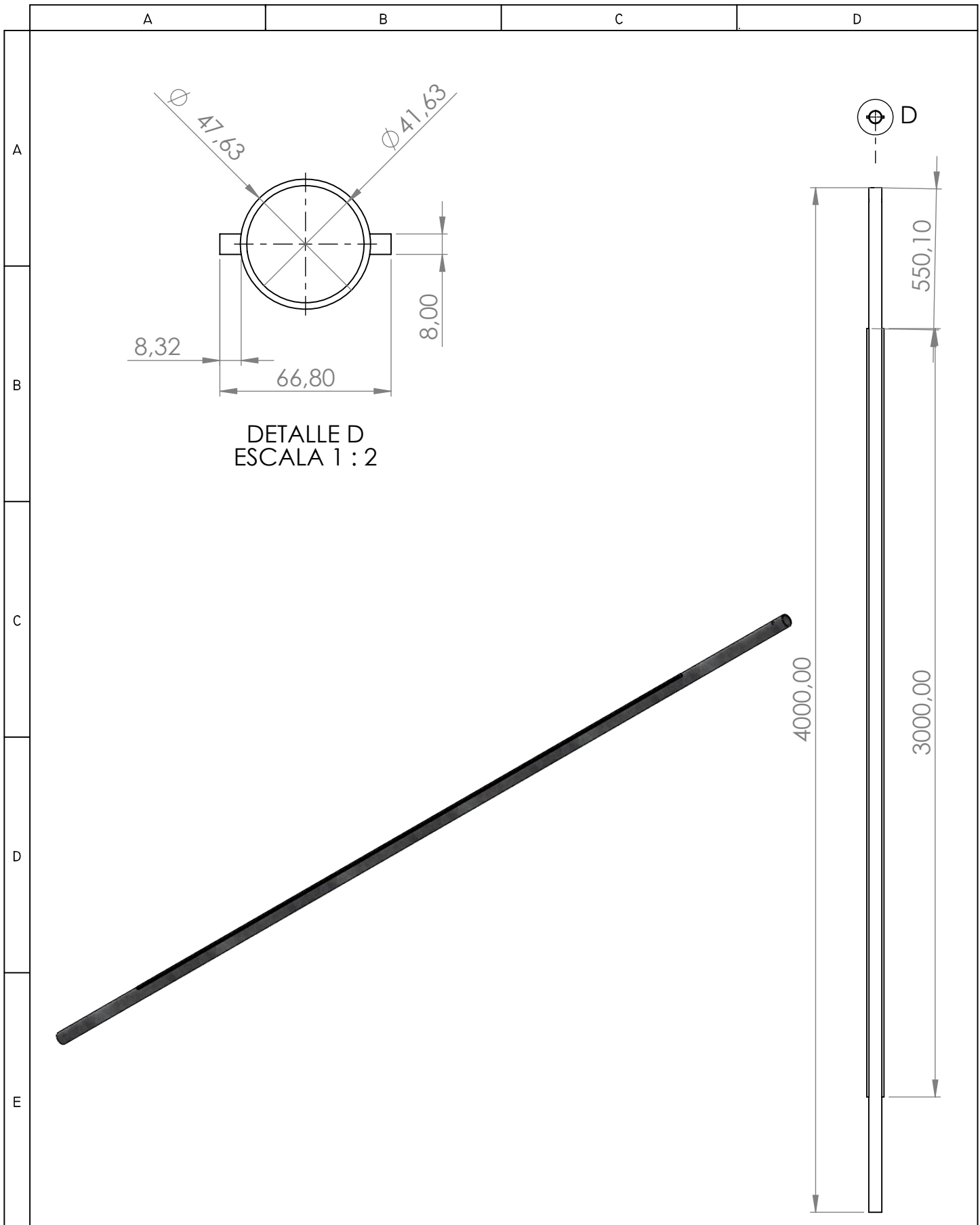
				TOLERANCIA	PESO	Materiales: Acero ASTM A-36	
				+/- 0.5	101.64 gr		
					FECHA	NOMBRE	Denominación: Boshin para vástago
				DIV.	12/08/2024	H.T - C.R	
				REV.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	
				APROB.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	
				UTC		N° del dibujo: 5	ESCALA 2:1
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	ING ELECTROMECHANICA			



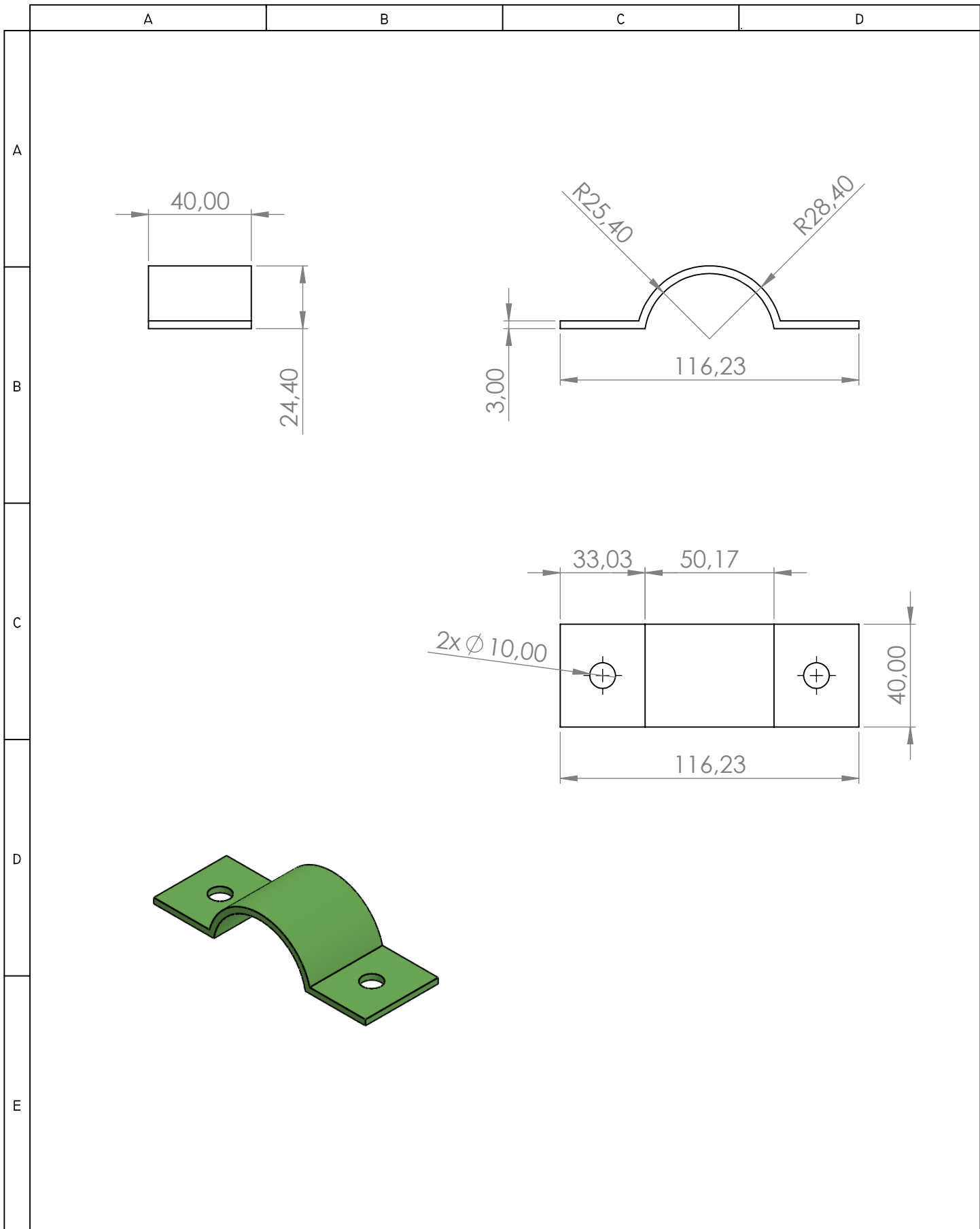
				TOLERANCIA	PESO	Materiales: Acero galvanizado y Acero ASTM A-36		
				+/- 0.5	15.24 kg			
					FECHA	NOMBRE	Denominación: Columna	ESCALA 1:5
				DIV.	12/08/2024	H.T - C.R		
				REV.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ		
				APROB.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ		
				UTC		N° del dibujo: 6		
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	ING ELECTROMECHANICA				



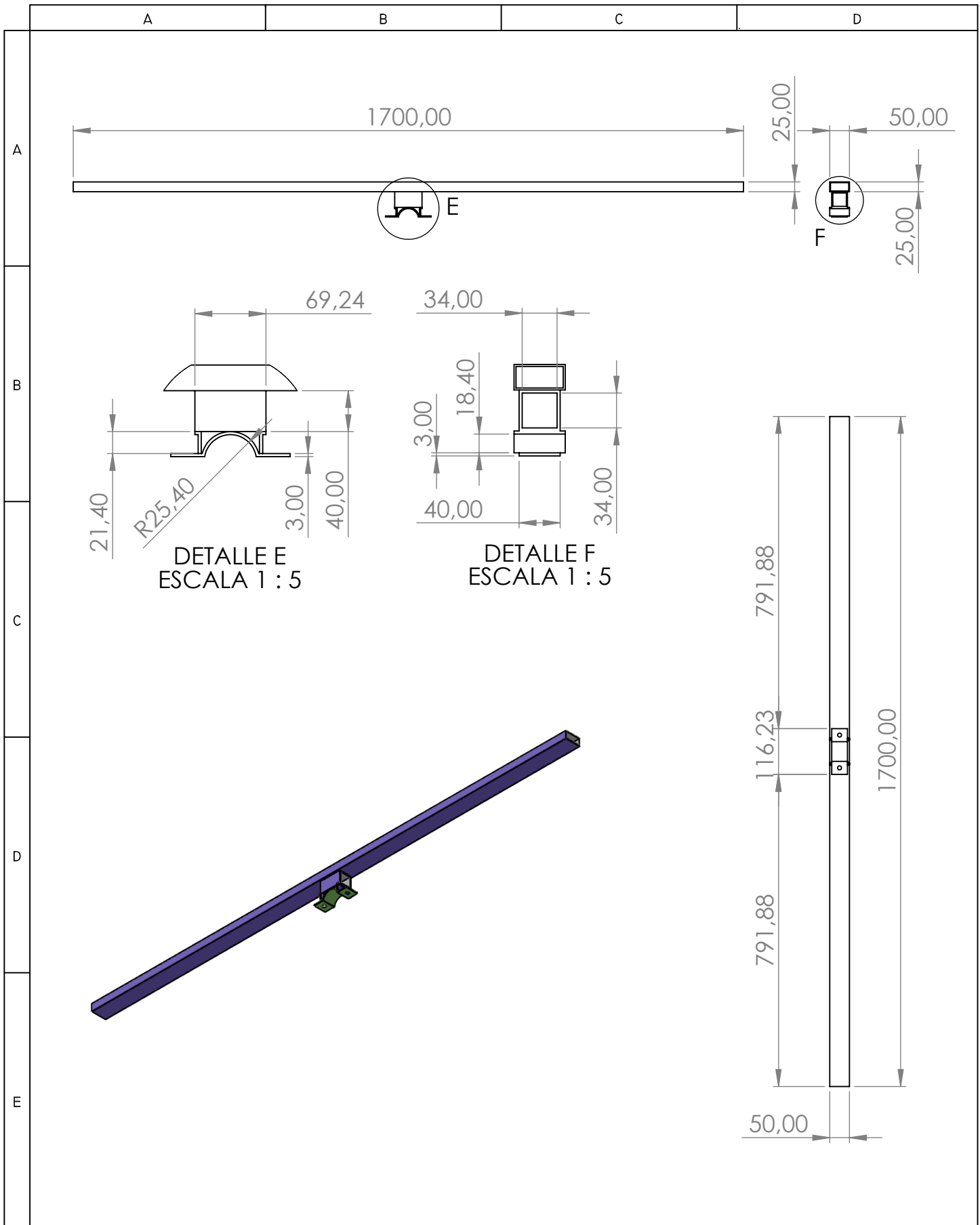
				TOLERANCIA	PESO	Materiales: Acero Galvanizado	
				+/- 0.5	2.16 kg		
					FECHA	NOMBRE	Denominación: Brazo Movil
				DIV.	12/08/2024	H.T - C.R	
				REV.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	
				APROB.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	ESCALA
				UTC		N° del dibujo: 7	1:5
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	ING ELECTROMECHANICA			



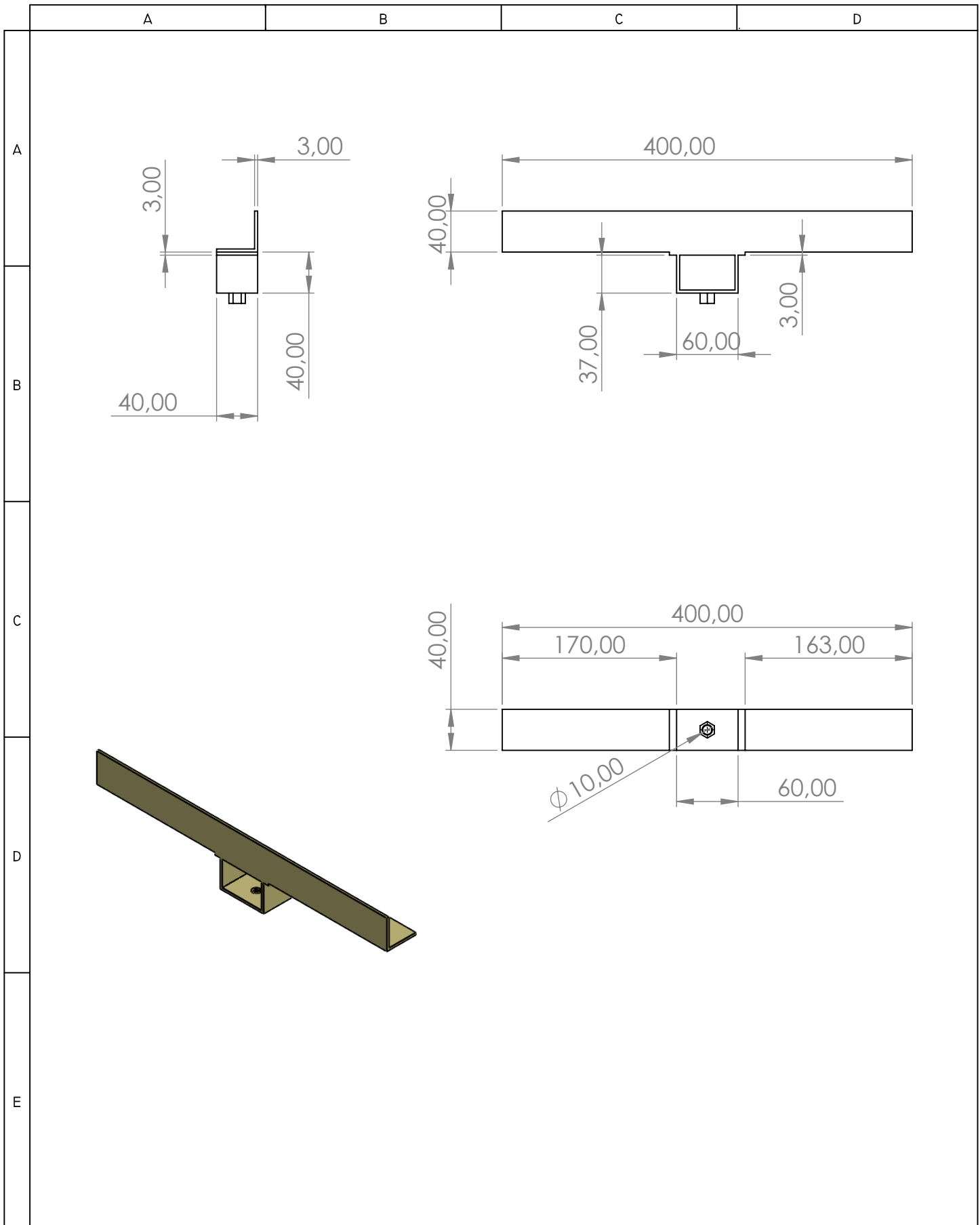
				TOLERANCIA	PESO	Materiales: Acero Galvanizado y acero ASTM A36	
				+/- 0.5	4.36 kg		
					FECHA	NOMBRE	Denominación: Eje Movil
				DIV.	12/08/2024	H.T - C.R	
				REV.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	
				APROB.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	
				UTC		N° del dibujo: 8	
				ING ELECTROMECHANICA			
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE			ESCALA 1:20	



				TOLERANCIA	PESO	Materiales: Acero Galvanizado	
				+/- 0.5	266.1 gr		
					FECHA	NOMBRE	Denominación: Abrazadera Para soporte de panel
				DIV.	12/08/2024	H.T - C.R	
				REV.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	
				APROB.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	
				UTC		N° del dibujo: 9	
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	ING ELECTROMECHANICA		ESCALA	
						1:2	



				TOLERANCIA	PESO	Materiales: Acero Galvanizado	
				+/- 0.5	1.6 kg		
					FECHA	NOMBRE	Denominación: Soporte Panel Solar
				DIV.	12/08/2024	H.T - C.R	
				REV.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	
				APROB.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	
				UTC		N° del dibujo: 10	
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	ING ELECTROMECHANICA		ESCALA 1:5	



				TOLERANCIA	PESO	Materiales:	
				+/- 0.5	0.7 kg	Acero ASTM A-36	
					FECHA	NOMBRE	Denominación: Sujetador ajustable en L
				DIV.	12/08/2024	H.T.-C.R	
				REV.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	
				APROB.	12/08/2024	ING. LUIS CRUZ	N° del dibujo: 11
				UTC			
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	ING ELECTROMECHANICA			ESCALA
							1:5