



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR
PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA
EN LA COMUNIDAD CARDÓN
DEL ESTADO FALCÓN**

Autor:

Luis Miguel Prato Y.

C.I.: 28.177.433

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA
COMUNIDAD CARDÓN DEL ESTADO FALCÓN**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Autor:

Luis Miguel Prato Y.

C.I.: 28.177.433

Tutor:

Dr. Fredy Barragán Suescún

C.I.: 11.151.678

San Diego, Marzo de 2024



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería para la evaluación del Informe de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

DISENO DE UN SEGUADOR SOLAR PARA LA
GENERACION DE ENERGIA EN LA COMUNIDAD
CARON DEL ESTADO FALCON

Realizado por el (la) Br. LUIS PRATO


C.I. N° 28.177.433 cursante de la carrera de INGENIERIA MECANICA

hace constar, después de haber analizado su contenido y oída la exposición oral,

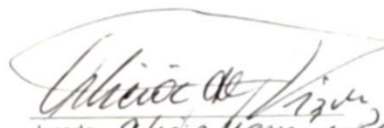
considera que el mismo ha sido:

APROBADO


NO APROBADO


Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: FEDY BARAHONA
C.I.: 11.151.673

El Jurado


Jurado Alicia Yaniz de Piz
Nombre: 4791880
C.I.:




Jurado
Nombre: Wiston Espinoza
C.I.: 9885895

Fecha 08/04/2024



UNIVERSIDAD
JOSÉ ANTONIO PÁEZ

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA

FI-N-015-2023-2CR-TG

San Diego, 01 de diciembre de 2023

Ciudadano(s):
PRATO YRAUSQUÍN, LUIS MIGUEL
C.I.: 28177433

Presente. -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería, en su reunión N° 17-2023 de fecha 3/11/2023, aprobó el proyecto de grado titulado:

**DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE
ENERGÍA EN LA COMUNIDAD CARDÓN DEL ESTADO FALCÓN**

Presentado por usted(es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto al profesor Barragán Suescún, Fredy, titular de la cédula de identidad V-11151678.



Atentamente,

Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia
Decana de la Facultad de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantía y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

Urb. Yuma II, calle 3, Municipio San Diego, estado Carabobo

(0241) 871.42.40 (Master)

DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado principalmente a mis familiares, amigos y a todas las personas que siempre estuvieron a mi lado, brindándome su apoyo incondicional durante todo mi trayecto académico. Gracias por creer en mí, por motivarme a seguir adelante y por ser mi fuente de inspiración en los momentos más difíciles. Este logro no hubiera sido posible sin su amor, paciencia y aliento constante. A todos ustedes les dedico este trabajo con todo mi cariño y gratitud.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis familiares, mamá, papá y hermano por haberme acompañado apoyado incondicionalmente durante todo mi trayecto universitario. Su amor, comprensión y aliento fueron fundamentales para que pudiera culminar con éxito este importante capítulo de mi vida. Sin ustedes a mi lado, este logro no hubiera sido posible. Gracias por ser mi pilar, mi motivación y mi fuente de inspiración. Les estaré eternamente agradecido.

También quiero agradecer a todos los amigos, compañeros y próximos colegas que me regaló la universidad y que me acompañaron en este largo y difícil trayecto desde sus inicios. En especial a mis grandes amigos Cesar, Armando, Carlos, Gustavo, Kenneth, Manuel Tablante y Manuel Jiménez. Agradezco cada momento compartido tanto en las aulas de clase como fuera de estas.

Expreso mi agradecimiento al Prof. Fredy Barragán, mi tutor académico, por su presencia constante durante la realización de nuestro trabajo de grado. Su orientación y apoyo desempeñaron un papel crucial en la realización de esta investigación. Así como también, a todos y cada uno de los profesores de la Universidad José Antonio Páez por compartir sus conocimientos.

Finalmente, quiero agradecer a mí mismo, quiero agradecerte por nunca abandonar, por siempre mantener la frente en alto y seguir adelante a pesar de los obstáculos. Gracias por tu valentía y tu determinación para seguir luchando incluso en los momentos más difíciles. Has demostrado una y otra vez que eres capaz de superar cualquier desafío que se presente en tu camino.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO

I EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	7
1.3 Objetivos de la Investigación	7
1.3.1 Objetivo General	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 Justificación de la Investigación.....	8
1.5 Alcance, Limitaciones y/o Delimitaciones	9

II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes.....	10
2.2 Teorías Centrales de la Investigación	14
2.2.1 Ley del efecto fotoeléctrico.....	14
2.2.2 Teoría de la máxima energía de distorsión (Von Mises)	15
2.2.3 Teoría de control	16
2.3 Bases Teóricas	17
2.3.1 Energía solar.....	17
2.3.2 Radiación solar	18
2.3.3 Radiación en Venezuela con respecto al mundo	20
2.3.4 Sistemas de seguimiento solar.....	21
2.3.5 Estructuras del silicio en paneles solares	22
2.4 Bases Legales	24

2.5	Definición de Términos Básicos.....	25
-----	-------------------------------------	----

III MARCO METODOLÓGICO

3.1	Paradigma de la Investigación.....	27
3.2	Tipo de Investigación.....	27
3.3	Diseño de la Investigación.....	28
3.4	Nivel de la Investigación.....	29
3.5	Población y muestra.....	29
3.5.1	Población.....	29
3.5.2	Muestra.....	30
3.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	30
3.7	Técnicas de análisis de datos.....	31
3.8	Validez de los instrumentos.....	32
3.9	Fases metodológicas.....	33
3.10	Cuadro de Operacionalización de Variables.....	34

IV RESULTADOS

4.1	Fase I: Diagnóstico de las diferentes tecnologías de seguimiento solar en lo referente a capacidades técnicas y operativas.....	35
4.1.1	Clasificación de los seguidores solares.....	36
4.1.1.1	Seguidores solares monoaxiales horizontales.....	36
4.1.1.2	Seguidores solares monoaxiales azimutales.....	37
4.1.1.3	Seguidores solares monoaxiales polares.....	37
4.1.1.4	Seguidores solares biaxiales.....	39
4.1.2	Actuadores utilizados.....	42
4.1.3	Sensores utilizados.....	45
4.1.4	Elementos constitutivos adicionales.....	48
4.1.5	Algoritmos de seguimiento.....	49
4.1.5.1	Por punto luminoso.....	50
4.1.5.2	Por programación astronómica.....	50
4.1.5.3	Por procesamiento de imágenes.....	50
4.1.6	Lista de cotejo.....	51

4.1.7	Entrevista estructurada	52
4.2	Fase II: Análisis de las variables que intervienen en el movimiento y control de una celda fotovoltaica generadora de energía eléctrica como alternativa sostenible para la comunidad Cardón en el estado Falcón.....	56
4.2.1	Comparación de variables técnicas en distintos tipos de seguidores solares	57
4.2.2	Matriz FODA	60
4.2.3	Diagrama de causa - efecto (Ishikawa)	61
4.2.4	Diagrama de Pareto	62
4.3	Fase III: Selección de la alternativa de solución del sistema de seguimiento solar a diseñar.....	63
4.3.1	Especificaciones del sistema a diseñar.....	63
4.3.1.1	Funciones principales.....	64
4.3.1.2	Restricciones del diseño.....	64
4.3.1.3	Criterios de evaluación del diseño	64
4.3.2	Búsqueda de soluciones	65
4.3.2.1	Probable Solución No. 1	65
4.3.2.2	Probable Solución No. 2	66
4.3.2.3	Probable Solución No. 3	67
4.3.2.4	Probable Solución No. 4	68
4.3.2.5	Probable Solución No. 5	69
4.3.3	Selección de la mejor solución.....	70
4.3.3.1	Aplicación de restricciones a las probables soluciones	70
4.3.3.2	Ponderación de criterios.....	71
4.3.3.3	Ponderación de soluciones respecto a cada criterio.....	72
4.3.3.4	Ponderación final	74
4.4	Fase IV: Diseño del seguidor fotovoltaico seleccionado, que permita generar energía eléctrica a su máximo rendimiento	75
4.4.1	Diseño mecánico del seguidor solar.....	75
4.4.1.1	Dimensionamiento del soporte de los paneles	75
4.4.1.2	Diseño y dimensionamiento del mecanismo de inclinación	77
4.4.1.3	Selección del actuador lineal	85
4.4.1.4	Diseño del sistema de transmisión.....	89

4.4.1.5	Dimensionamiento de la base	109
4.4.1.6	Selección de los rodamientos.....	112
4.4.2	Simulación del viento.....	117
4.4.3	Selección de componentes electrónicos	119
4.4.4	Diseño del sistema de control del seguidor solar	123
4.5	Fase V: Evaluación de la viabilidad técnica, operativa, ambiental y económica del seguidor fotovoltaico diseñado.....	131
4.5.1	Viabilidad técnica.....	132
4.5.2	Viabilidad operativa	132
4.5.3	Viabilidad ambiental	133
4.5.4	Viabilidad económica.....	135
CONCLUSIONES		139
RECOMENDACIONES.....		141
REFERENCIAS.....		142
APÉNDICE.....		146
ANEXOS		157

LISTA DE CUADROS

CUADRO	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Cuadro de operacionalización de variables.....	34
2	Ventajas y desventajas de los seguidores solares monoaxiales horizontales.....	37
3	Ventajas y desventajas de los seguidores solares monoaxiales de eje polar.....	38
4	Ventajas y desventajas de los seguidores solares biaxiales.....	41
5	Comparación de los distintos actuadores.....	45
6	Comparación de los sensores utilizados.....	48
7	Cuadro comparativo de los algoritmos de seguimiento.....	51
8	Lista de cotejo.....	52
9	Lista de control. Respuestas de la entrevista estructurada.....	52
10	Especificaciones de algunos seguidores de eje polar disponibles en el mercado.....	57
11	Especificaciones de algunos seguidores de eje horizontal disponibles en el mercado.....	58
12	Especificaciones de algunos seguidores biaxiales disponibles en el mercado.....	59
13	Matriz de análisis FODA.....	60
14	Frecuencia de las causas.....	62
15	Restricciones aplicadas a las probables soluciones.....	71
16	Comprobación lógica de criterios en base a su importancia.....	72
17	Soluciones evaluadas con respecto al criterio C1.....	72
18	Soluciones evaluadas con respecto al criterio C2.....	73
19	Soluciones evaluadas con respecto al criterio C3.....	73
20	Soluciones evaluadas con respecto al criterio C4.....	73
21	Soluciones evaluadas con respecto al criterio C5.....	74
22	Valor final de cada solución.....	74
23	Cuadro comparativo características técnicas de paneles solares en el mercado.....	75
24	Resultados de la geometría del sinfín.....	105

25	Resultados de la geometría de la corona.....	105
26	Valores para la simulación.....	117
27	Variables del programa.....	126
28	Aspectos técnicos requeridos para evaluar la viabilidad técnica.....	132
29	Aspectos operativos requeridos para evaluar la viabilidad operativa.....	133
30	Aspectos ambientales requeridos para evaluar la viabilidad ambiental...	134
31	Costo total de la estructura diseñada.....	135
32	Comparación de seguidores de dos ejes en términos de costo.....	136
33	Consumo de los principales dispositivos eléctricos de un hogar.....	138

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Demanda eléctrica media por año en Venezuela.....	4
2	Evaluación positiva del servicio eléctrico por ciudad diciembre 2022 vs marzo 2023.....	5
3	Estructura básica de una celda fotovoltaica.....	14
4	Semiconductores dopados.....	15
5	Teoría máxima de la energía de distorsión.....	16
6	Sistema de control de lazo cerrado sujeto a perturbaciones.....	17
7	Distribución espectral de irradiancia solar en la tierra.....	18
8	Tipos de radiaciones solares según su incidencia.....	20
9	Mapa de la irradiación horizontal global en Venezuela.....	21
10	Distintos sistemas de seguimiento solar.....	22
11	Grados de orden en los materiales.....	23
12	Tipos de células solares.....	23
13	Seguidores solares horizontales con configuración.....	36
14	Seguidor solar de eje polar DEGER-S15.....	38
15	Esquema básico de los movimientos de un seguidor biaxial.....	40
16	Seguidores de dos ejes Ever Faith Industry.....	40
17	Estructura de un seguidor solar de dos ejes.....	41
18	Vista sección de un actuador lineal.....	42
19	Cambio en la inclinación del seguidor solar por acción de un actuador lineal.....	43
20	Unidad impulsora de giro.....	44
21	Motor de paso a paso.....	44
22	Servomotores síncronos.....	45
23	Módulo sensor fotoresistivo (LDR)	46
24	Sensor de luminosidad MLD.....	47
25	Piranómetro.....	47
26	Pirheliómetro.....	48
27	Anemómetro de 2 relés modelo SC-Y210.....	49

28	Inclinómetro de salida digital.....	49
29	Diagrama causa - efecto (Ishikawa)	61
30	Diagrama de Pareto.....	63
31	Alternativa de solución No. 1.....	66
32	Alternativa de solución No. 2.....	67
33	Alternativa de solución No. 3.....	68
34	Alternativa de solución No. 4.....	69
35	Alternativa de solución No. 5.....	70
36	Panel monocristalino MAX3-400.....	76
37	Panel modelado en SolidWorks.....	76
38	Planos del soporte.....	77
39	Soporte modelado en SolidWorks.....	77
40	Plano parte No. 1 mecanismo de inclinación.....	78
41	Parte No. 1 mecanismo de inclinación modelado en SolidWorks.....	78
42	Plano parte No. 2 mecanismo de inclinación.....	79
43	Parte No. 2 mecanismo de inclinación modelado en SolidWorks.	79
44	Plano parte No. 3 mecanismo de inclinación.....	80
45	Parte No. 3 mecanismo de inclinación modelado en SolidWorks	80
46	Planos del eje de inclinación.....	81
47	Eje de inclinación modelado en SolidWorks.....	81
48	Esfuerzo cortante producido por el peso del panel y soporte.....	82
49	Tornillos Phillips M5x20 de acero inoxidable.....	83
50	Plano del tornillo Phillips M5x20.....	84
51	Tornillo M5x20 modelado en SolidWorks.....	84
52	Esquema ilustrativo del mecanismo de inclinación.....	85
53	Ilustración del movimiento angular de inclinación.....	86
54	Actuador lineal marca LINAK modelo LA23.....	87
55	Plano del cuerpo del actuador lineal.....	87
56	Plano del vástago del actuador lineal.....	88
57	Actuador lineal modelado en SolidWorks.....	88
58	Mecanismo de transmisión de seguimiento en azimut.....	89

59	Motor de pasos NEMA 34.....	89
60	Planos del motor de pasos NEMA 34.....	90
61	Motor NEMA 34 modelado en SolidWorks.....	90
62	Correa 210L seleccionada.....	96
63	Correa 210L modelada en SolidWorks.....	96
64	Parámetros para el factor de materiales C_s	103
65	Planos del tornillo sinfín.....	106
66	Sinfín modelado en SolidWorks.....	106
67	Planos de la corona.....	107
68	Corona modelada en SolidWorks.....	107
69	Análisis estático a la corona de transmisión.....	108
70	Planos del eje y plato vertical.....	108
71	Eje y plato vertical modelado en SolidWorks.....	109
72	Planos de la base de la transmisión.....	109
73	Base de la transmisión modelada en SolidWorks.....	110
74	Planos de la base de la estructura.....	110
75	Base de la estructura modelada en SolidWorks.....	111
76	Planos del soporte del anemómetro.....	111
77	Soporte del anemómetro en SolidWorks.....	112
78	Seguidor solar diseñado modelado en SolidWorks.....	115
79	Distintas vistas renderizadas del seguidor solar diseñado.....	115
80	Distintas vistas del seguidor solar diseñado.....	116
81	Simulación del viento.....	117
82	Espectro de velocidades del viento.....	118
83	Valores obtenidos por medio de la simulación.	118
84	Sensor LDR seleccionado.....	119
85	Sensor LDR modelado en SolidWorks.....	120
86	Plataformas de los pares de LDRs modelado en SolidWorks.....	120
87	Pares de LDRs montados en la estructura.....	121
88	Módulo de reloj digital seleccionado.....	121
89	Encoder rotativo seleccionado.....	122

90	Anemómetro seleccionado.....	122
91	Anemómetro montado en la estructura.....	123
92	Diagrama de bloques del seguidor.....	124
93	PLC Micrologix 1000 analog.....	125
94	Entradas del PLC seleccionado.....	127
95	Diagrama ladder y de bloques funcionales realizado.....	128
96	Divisor de tensión.....	129
97	Diagrama de conexiones eléctricas.....	130
98	Fuente conmutada 24V.....	131
99	Fuente conmutada 24V modelada en SolidWorks.....	131

LISTA DE TABLAS

TABLA	DESCRIPCIÓN	pp.
1	Propiedades de algunos materiales de las bandas.....	93
2	Factor de corrección C_p	94
3	Pasos estándares de correas síncronas.....	95
4	Número de dientes mín. para engranes según el ángulo de presión.....	97
5	Dimensiones comunes tornillo sinfín cilíndrico y corona.....	98
6	Factor de Lewis para diversos ángulos de presión y avance.....	103
7	Valores orientativos en horas en la vida útil según diferentes tipos de máquinas.....	113



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA COMUNIDAD CARDÓN DEL ESTADO FALCÓN

Autor: Luis Miguel Prato Y.
Tutor: Dr. Fredy Barragán
Fecha: Abril, 2024

RESUMEN

En la presente investigación se planteó como objetivo general el diseño de un seguidor solar fotovoltaico, destinado a la generación de energía eléctrica como alternativa sostenible para superar los desafíos energéticos que enfrentan los habitantes de la comunidad Cardón en el estado Falcón; objetivo que surge tanto de la idea de implementar un sistema que mejore considerablemente el rendimiento de los paneles solares convencionales como de la necesidad que tienen los habitantes de gozar de electricidad constante y confiable a cualquier hora del día. Si bien la energía solar fotovoltaica se plantea como una alternativa para cubrir las necesidades, los paneles solares convencionales presentan dificultades en lo referente a la captación de luz solar, afectando su rendimiento. Las teorías centrales de la investigación abarcan los Principios básicos de los sistemas fotovoltaicos, la Teoría de control y la Teoría de la máxima energía de distorsión (Von Mises). Para lograr los objetivos se realizó un análisis de la situación actual y se evaluaron las distintas tecnologías y variables que intervienen en el sistema de seguimiento, con el fin de diseñar el seguidor solar más óptimo considerando factores como la radiación, la inclinación y orientación ideal de los paneles. La investigación es de tipo proyecto factible, diseño de investigación documental y de campo, con un nivel descriptivo y paradigma tecnológico. El presente trabajo de investigación está enmarcado en la línea de investigación Gestión Ambiental, Hábitat y Vivienda. Todo ello, permitió diseñar un seguidor solar de dos ejes presentado como una alternativa viable a las opciones existentes en el mercado actual, destinado a la producción de electricidad de manera constante.

Descriptor: Seguidor solar, Sistema fotovoltaico, Energía eléctrica.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA COMUNIDAD CARDÓN DEL ESTADO FALCÓN

Autor: Luis Miguel Prato Y.
Tutor: Dr. Fredy Barragán
Fecha: Abril, 2024

ABSTRACT

In this research, the general objective was the design of a photovoltaic solar tracker, intended for the generation of electrical energy as a sustainable alternative to overcome the energy challenges faced by the inhabitants of the Cardón community in the Falcón state; an objective that arises both from the idea of implementing a system that considerably improves the performance of conventional solar panels and from the need for residents to enjoy constant and reliable electricity at any time of the day. Although photovoltaic solar energy is proposed as an alternative to meet needs, conventional solar panels present difficulties in terms of capturing sunlight, affecting their performance. The core theories of the research encompass the Basic Principles of Photovoltaic Systems, Control Theory, and Maximum Distortion Energy Theory (Von Mises). To achieve the objectives, an analysis of the current situation was carried out and the different technologies and variables involved in the tracking system were evaluated, in order to design the most optimal solar tracker considering factors such as radiation, inclination and ideal orientation of panels. The research is of a feasible project type, documentary and field research design, with a descriptive level and technological paradigm. This research work is framed in the Environmental Management, Habitat and Housing research line. All of this allowed us to design a two-axis solar tracker presented as a viable alternative to the existing options in the current market, intended for the constant production of electricity.

Keywords: Solar tracker, Photovoltaic system, Electric energy.

INTRODUCCIÓN

El progreso de una civilización se mide en base a su control energético, es decir, a cómo aprovechan los recursos en su entorno para producir energía. A día de hoy la población mundial registra un crecimiento sin precedentes que, aunado a la dependencia y consumo desmedido del humano actual, conlleva a una mayor demanda en la producción de energía eléctrica. Debido a que la mayor parte de la energía utilizada proviene de fuentes no renovables, el verdadero reto a afrontar es lograr mantener este crecimiento sin ocasionar daños irreparables al planeta Tierra. Sin embargo, no todos los métodos de obtención de energía son dañinos o contaminantes. Las energías conservadoras son lo que se denominan energías renovables, limpias o verdes, y en la actualidad, se ha convertido en una necesidad imperante para combatir los efectos del cambio climático y reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles.

Es en este punto donde entra al juego el Sol como medio de obtención de energía. El Sol es la estrella de nuestro sistema solar, en ella se producen reacciones químicas que fusionan los átomos de Hidrógeno en Helio, liberando grandes cantidades de energía en el proceso; proceso que durará miles de millones de años por lo cual es inagotable, al menos a escala humana. Esta energía es liberada al espacio por medio de ondas que contienen fotones, partículas esenciales de los espectros electromagnéticos. Tener la capacidad de utilizar esa energía para nuestro beneficio ha sido uno de los avances más importantes de la humanidad a finales del siglo XX, hoy en día es una de las energías renovables más importantes, denominada como “Energía Solar”. Al no emitir gases de efecto invernadero, ni contaminantes lo convierten en una alternativa sostenible llamado a complementar en un futuro el suministro energético mundial.

Actualmente, Venezuela vive una crisis energética sin precedentes que ha afectado gravemente el sistema eléctrico nacional dificultando el suministro del servicio, especialmente en las zonas más alejadas de las principales centrales eléctricas, afectando considerablemente la calidad de vida de decenas de miles de habitantes, caso presente en la comunidad Cardón, ubicada en el estado Falcón. Es por ello, que entes tanto públicos como privados se han visto en la necesidad de buscar soluciones innovadoras y sostenibles. En este contexto, la energía solar emerge como una solución prometedora para enfrentar esta crisis energética. Dado que la radiación solar es abundante en Venezuela durante todo el año debido a su ubicación geográfica privilegiada cerca del ecuador y condiciones climatológicas, contar con tecnologías que permitan captar y

utilizar esa radiación permitiría a los habitantes tener acceso constante a electricidad de forma autónoma, independientemente del estado del sistema eléctrico nacional.

Considerando lo dicho, en la presente investigación se plantea como objeto diseñar un seguidor solar que forme parte de un sistema fotovoltaico, destinado a la generación de energía eléctrica como alternativa sostenible para superar los desafíos energéticos que enfrentan los habitantes de la comunidad Cardón ubicada en el estado Falcón. En este estudio se realizó un análisis detallado del potencial solar en la zona, considerando factores como la radiación solar, la inclinación y orientación óptima de los paneles solares, así como las condiciones climáticas locales. A partir de estos datos, se diseñó un seguidor solar que permite maximizar la captación de energía solar a lo largo del día. Para ello, se evaluaron diferentes tecnologías de seguimiento y materiales, considerando aspectos como su durabilidad, eficiencia, mantenimiento y viabilidad económica. Para llevar a cabo la investigación se plantearon los siguientes cuatro capítulos:

Capítulo I. El Problema. En este capítulo se busca poner en contexto sobre la necesidad existente que da origen a un problema. Se realiza el planteamiento del problema, su formulación, los objetivos que se pretenden lograr, tanto el general como los específicos, la justificación y el alcance y/o limitaciones que posee la investigación.

Capítulo II. Marco Teórico. En este capítulo se definen los fundamentos teóricos en los que se sustenta la investigación. Este capítulo involucra a los antecedentes, las bases teóricas, las bases legales y la definición de términos básicos relativos a la investigación.

Capítulo III. Marco Metodológico. En este capítulo se detallan los métodos, procedimientos y herramientas que se utilizarán para llevar a cabo la investigación. Incluye el tipo de investigación, el nivel y diseño de la misma, la población y muestra del estudio, las técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos, así como también las fases metodológicas.

Capítulo IV. Resultados. En este capítulo se desarrollan cada una de las fases presentadas con el fin de cumplir los objetivos planteados. Se presentan los hallazgos obtenidos con el fin de comunicar de manera clara y concisa los resultados de la investigación, de forma que puedan ser interpretados y comprendidos por el lector.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

La energía eléctrica se ha convertido en un recurso fundamental básico para el desarrollo y bienestar de las sociedades en todo el mundo. Latinoamérica ha avanzado significativamente en la provisión de electricidad, con un aumento en la cobertura y distribución de este servicio en las últimas décadas. No obstante, para que el suministro sea realmente efectivo, este debe contar con su debido mantenimiento para asegurar la confiabilidad del sistema. En este sentido, resulta fundamental que los países de Latinoamérica continúen invirtiendo en infraestructuras y tecnologías que permitan mejorar la calidad y disponibilidad de este servicio.

En la actualidad, Venezuela enfrenta dificultades en el suministro del servicio eléctrico a todo el país, como consecuencia de diversos factores los cuales se han combinado para crear una crisis energética, razón por la cual ocurren fallos en el sistema eléctrico ocasionando apagones. Como solución al problema, los entes encargados del suministro eléctrico han optado por recurrir a los llamados “racionamientos eléctricos” con el fin de disminuir la demanda en determinados momentos del día. Sin embargo, estos racionamientos son solo una medida paliativa y no abordan las causas fundamentales de la crisis energética. Antonio Patiño, miembro de la Asociación Venezolana de Ingenieros Electricistas, Mecánicos y Afines (AVIEM) expresó para el diario El Nacional “Como es demasiada la demanda, hay que racionar la energía eléctrica que se está generando en todos los estados. Por supuesto, la empresa eléctrica tiene como tacita de oro a la capital de la República por razones obvias”.

Según datos suministrados por la Corporación Eléctrica Nacional (Corpoelec) la matriz eléctrica venezolana tiene 35.000 MW instalados de generación, 52% es de generación termoeléctrica y el 48% restante es de generación hidroeléctrica. No obstante, se estima que solo está disponible 12.000 MW, es decir, una tercera parte, lo que representa una brecha considerable entre la oferta y la demanda de energía. Desde el año 2013 se ha registrado un descenso en la demanda de electricidad cayendo a 10.948 MW en 2019, equivalente al nivel de consumo en 1998, como se puede apreciar en la Figura 1. Lo más dramático es que, aun así, la producción de energía eléctrica no puede satisfacer la demanda durante las horas pico debido a la falta de capacidad suficiente para generarla.

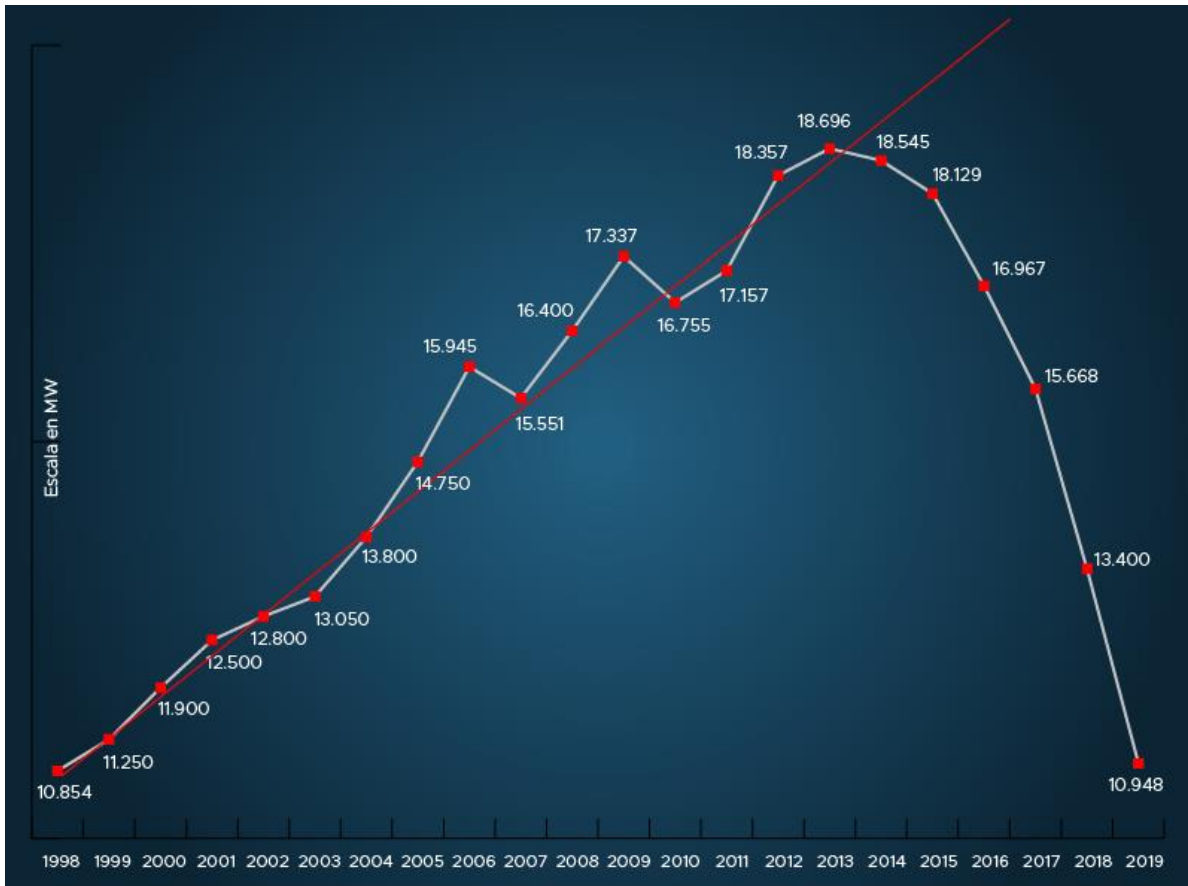


Figura 1: Demanda eléctrica media por año en Venezuela

Fuente: Efecto Cocuyo - AVIEM (2020)

Hoy en día, la población venezolana es sumamente dependiente de la Hidroeléctrica del Guri (también conocido como proyecto hidroeléctrico Simón Bolívar), que cuenta con una capacidad instalada de 10.235 MW, donde en 2021 solo funcionaban nueve de veinte turbinas, según declaraciones del exviceministro de Energía, Víctor Poleo. Por lo tanto, una simple caída en la producción del Guri o si falla un tramo en la red de transmisión ocasionaría apagones masivos que perjudicarían a gran parte del territorio nacional.

Si bien este es un problema que afecta a gran parte de la población, un gran número de comunidades, específicamente de las zonas menos desarrolladas o alejadas de la región centro del país, se enfrentan a apagones más frecuentes y de mayor duración, problema aún más preocupante. La falta de energía eléctrica en estas comunidades ha generado una serie de consecuencias negativas que afectan directamente a la calidad de vida de sus habitantes. En primer lugar, se ven limitadas las actividades diarias básicas como el uso de electrodomésticos, la iluminación adecuada o la carga de dispositivos electrónicos. Estos cortes eléctricos no solo generan

incomodidad y dificultades en tareas cotidianas y en algunos casos laborales, sino que también representan un riesgo para las comunidades. La falta de iluminación adecuada en las calles y espacios públicos aumenta la vulnerabilidad de los habitantes frente a situaciones delictivas.

Hay que mencionar, además, las fluctuaciones o “bajones” de voltaje, los cuales pueden tener un efecto negativo en los electrodomésticos. Cuando el voltaje es demasiado alto, puede sobrecargar los componentes internos de los electrodomésticos, lo que puede provocar daños permanentes o incluso un cortocircuito. Por otro lado, si el voltaje es demasiado bajo, los electrodomésticos pueden no funcionar correctamente o no encenderse en absoluto. Estas fluctuaciones también pueden afectar la vida útil de los electrodomésticos, ya que el estrés constante causado por cambios bruscos de tensión puede acortar su vida útil, generando pérdidas de bienes materiales para los habitantes.

Según una reciente encuesta realizada por el Observatorio Venezolano de Servicios Públicos (OVSP) donde se encuestaron habitantes de 12 ciudades del país a una evaluación positiva sobre el servicio eléctrico, cuyos resultados se muestran por medio de la Figura 2, se puede observar que, entre las ciudades con la mejor valoración del servicio eléctrico, se encuentran Caracas (74,5%) y Barcelona (66,8%); caso contrario a Punto Fijo (38,4%) y Maracaibo (43,3%) donde las opiniones positivas fueron menores.. Al comparar los resultados obtenidos en el último trimestre de 2022 y el primero de 2023, la percepción positiva en Punto Fijo sobre la calidad del servicio eléctrico disminuyó de 42,9% a 38,4% en menos de tres meses de evaluación. Así mismo, también fue la ciudad con mayor cantidad de usuarios que expresaron percibir interrupciones eléctricas todos los días con 24,31%. De este porcentaje, el 13,7% las sufrió no solo todos los días, sino varias veces durante ese mismo período.



Figura 2: Evaluación positiva del servicio eléctrico por ciudad diciembre 2022 vs marzo 2023

Fuente: OVSP (2023)

Dentro de la Comunidad Cardón ubicada en Punto Fijo, estado Falcón, las fallas eléctricas están presentes de manera recurrente, afectando la calidad de vida de cientos de habitantes. Como se mencionó anteriormente, la mayor parte de la electricidad actualmente es de origen hidroeléctrico y proviene del Guri, Macagua y Caruachi, en el estado Bolívar, de modo que las regiones del país más alejadas de la principal fuente de suministro, como es el caso de Punto Fijo, permanecen en situación crítica y sufren racionamientos permanentes. Simultáneamente, la planta termoeléctrica Josefa Camejo, encargada de cubrir la demanda local de la ciudad, no se encuentra en la capacidad de cubrir dicha demanda. Starling Bracho, trabajador y sindicalista de la estatal eléctrica en la entidad, aseguró a Cronica. Uno qué: “el sistema eléctrico en Falcón está en emergencia desde hace varios años”.

Las principales causas radican en que gran parte del sistema eléctrico se encuentra obsoleto y no ha sido actualizado para satisfacer las demandas actuales. Esto incluye generadores, transformadores, líneas de transmisión y subestaciones, entre otros componentes. De igual forma, la inoperatividad de las plantas de generación por falta de repuestos y la falta de personal capacitado para operar y mantener adecuadamente el sistema eléctrico también contribuye a los fallos en el servicio. Es importante destacar que estas causas están interrelacionadas y se agravan mutuamente, lo que ha llevado a una crisis energética prolongada.

En la actualidad, resulta imperativo implementar energías renovables como una solución para abordar los desafíos energéticos señalados. Con las consecuencias del cambio climático cada vez más presentes en todos los rincones del planeta y la creciente demanda de energía, la tendencia hacia el autoconsumo energético ha sumado millones de adeptos. Las energías que buscan aprovechar los recursos naturales, como la solar o eólica, ofrecen numerosos beneficios.

En el caso de la energía solar, los paneles solares son el elemento clave para el aprovechamiento de la misma. Estos se llevan usando desde la década de 1950 cuando se comenzaron a desarrollar los primeros paneles comerciales. Si bien se trata de una tecnología que se encuentra en pleno desarrollo, y a la que aún le resta avanzar hacia una mayor optimización, la energía fotovoltaica se ha convertido en una alternativa indispensable a la hora de pensar en la generación de energía limpia tanto a nivel domiciliario como industrial. Hoy en día, son ampliamente utilizados en todo el mundo, contribuyendo a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y promoviendo la transición hacia un futuro energético más sustentable. Sin

embargo, a pesar de los avances, este tipo de tecnología presenta limitaciones, lo cual dificulta su capacidad para cubrir la demanda energética de una comunidad entera por sí sola.

La principal limitante que poseen los paneles solares convencionales es su capacidad para captar la luz solar. Aunque estos paneles son capaces de convertir la energía solar en electricidad, su rendimiento se ve afectado por diversos factores como la variación en la posición del Sol, sombras, condiciones climáticas o incluso, el mismo cambio estacional debido a la inclinación de la Tierra, provocando una captación menor de luz solar en determinados momentos del día y como consecuencia, una producción de electricidad inconsistente. Esto a su vez, ocasiona que se necesiten demasiados paneles solares con distintas configuraciones, y, por ende, de un área demasiado extensa para la instalación de un parque solar común; sin mencionar el uso masivo de materiales y el trabajo que ello implica.

Por estas razones, resulta necesario implementar una nueva tecnología que maximice su eficiencia para aprovechar al máximo el potencial energético del Sol. Esto permitiría generar más electricidad con menos paneles solares, reduciendo costos y ocupando menos espacio, lo cual es especialmente importante en áreas urbanas, como es el caso de la comunidad Cardón, donde el espacio es limitado.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuál sería la alternativa más funcional y aprovechable para maximizar la captación de energía solar y así satisfacer la demanda energética presente en la comunidad Cardón?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un seguidor solar fotovoltaico, destinado a la generación de energía eléctrica como alternativa sostenible para superar los desafíos energéticos que enfrentan los habitantes de la comunidad Cardón en el estado Falcón.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar las diferentes tecnologías de seguimiento solar en lo referente a capacidades técnicas y operativas.
- Analizar las variables que intervienen en el movimiento y control de una celda fotovoltaica generadora de energía eléctrica como alternativa sostenible para la comunidad Cardón en el estado Falcón.
- Seleccionar la alternativa de solución del sistema de seguimiento solar a diseñar.

- Diseñar el seguidor fotovoltaico seleccionado, que permita generar energía eléctrica a su máximo rendimiento.
- Evaluar la viabilidad técnica, operativa, ambiental y económica del seguidor fotovoltaico diseñado.

1.4 Justificación de la Investigación

La realización de esta investigación resulta conveniente ya que brindará una mejora tanto a las condiciones como a la calidad de vida de los habitantes de la comunidad Cardón, municipio Carirubana del estado Falcón. Actualmente, esta comunidad depende del servicio eléctrico proveniente de la red nacional, lo cual implica una gran vulnerabilidad ante posibles interrupciones del suministro. La implementación de fuentes de energía renovable como lo es un seguidor solar fotovoltaico, reducirá significativamente la dependencia de fuentes de energía externas, ya que se estará generando electricidad localmente, lo que resultará en un servicio más estable y autónomo. Aunque inicialmente puede requerir una inversión significativa para adquirir e instalar los seguidores solares, a largo plazo estos costos se amortizan debido a los bajos gastos operativos y mantenimiento mínimo requerido. Además, existe la posibilidad de generar excedentes energéticos que podrían ser vendidos a la red nacional, generando ingresos adicionales por parte de la comunidad.

Desde el punto de vista tecnológico, el diseño de un seguidor solar implica el desarrollo e implementación de tecnologías avanzadas en relación a la captación y aprovechamiento de la energía solar como alternativa renovable y ecológica. En un país como Venezuela, donde la mayor parte de la energía producida proviene de combustibles fósiles aunado a que la transición energética se encuentra en una etapa muy prematura hoy en día, tanto desde el punto de vista legal como comercial, resulta una gran oportunidad para impulsar la transición hacia el uso de las mismas y de esta manera reducir el impacto ambiental, por ende, lo convierte en un activo valioso. Se debe agregar que, el rendimiento de los paneles solares estacionarios se ve afectado por el cambio en la posición del sol a lo largo del día, es por ello, que el diseño de un sistema de seguimiento solar resulta realmente interesante para optimizar el funcionamiento y rendimiento de los mismos.

Con respecto al ámbito académico, uno de los principales motivos que inspira la realización de la presente investigación es optar por el título de Ingeniero Mecánico. Además, el presente trabajo genera una solución que pone en práctica los principios de la teoría de control para

optimizar la captación de energía solar por parte de los paneles, juntando dos ramas distintas de ingeniería. Así mismo, esta investigación contribuirá al desarrollo de habilidades técnicas y científicas en el campo de las conversiones de energías renovables y el diseño mecánico, fomentando el crecimiento académico y posiblemente profesional de los individuos involucrados. Los resultados obtenidos podrán ser utilizados como base para futuros proyectos similares, promoviendo así el avance tecnológico y sostenible en Venezuela.

1.5 Alcance, Limitaciones y/o Delimitaciones

El alcance de la investigación consistió en realizar cada una de las etapas del diseño de un seguidor solar funcional desde la conceptualización hasta la modelación y simulación en softwares CAD, contemplando características eléctricas, mecánicas y electrónicas. Sin embargo, no se llevó a cabo la construcción física del sistema. Se realizaron análisis exhaustivos en cada etapa del proceso de diseño para garantizar que el producto sea funcional en su simulación. Se consideraron también aspectos de sostenibilidad y viabilidad económica en el diseño, con el objetivo de crear un producto que sea no solo funcional, sino también amigable con el medio ambiente y accesible para su implementación en diferentes contextos. Se llevaron a cabo comparaciones con otros diseños existentes en el mercado y sus recomendaciones para optimizar el rendimiento del seguidor solar propuesto. Por último, es importante tener en cuenta que esta investigación se enfocó a la comunidad caso estudio, por lo tanto, resulta imposible abarcar todos los escenarios y condiciones posibles.

En cuanto a las limitaciones que posee la investigación, una de las principales limitantes que se pueden presentar es el vencimiento de la licencia de los softwares utilizados. Muchas veces estas licencias tienen una duración limitada y al expirar, se pierde el acceso al software. Así mismo, debido a la complejidad del diseño, las simulaciones y la gran cantidad de datos que deben ser procesados, es posible que se requiera una computadora con una capacidad y potencia superiores a las que dispone el investigador, lo que podría comprometer los resultados obtenidos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Por medio del presente capítulo se proporcionó el contexto necesario para comprender la naturaleza de la investigación y establecer las bases teóricas sobre las cuales se sustenta la misma. En este sentido, Arias (2012) señala que, el marco teórico o referencial “es el producto de la revisión documental-bibliográfica, y consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven de base a la investigación por realizar” (p. 106). Dicho de otro modo, consiste en una revisión exhaustiva de la literatura existente relacionada con el tema de investigación, que permite identificar y analizar las teorías, conceptos, modelos y enfoques previos que han sido desarrollados por otros investigadores.

2.1 Antecedentes

En cuanto a los antecedentes, Arias (2012) expresa que, “los antecedentes reflejan los avances y el Estado actual del conocimiento en un área determinada y sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones” (p. 106). Se refieren a todos los trabajos de investigación que anteceden al nuestro, es decir, aquellos trabajos donde se hayan manejado las mismas variables o se hallan propuestos objetivos similares. En el presente punto se expondrá una breve reseña de las investigaciones consideradas más relevantes, entre las que se encuentran:

Arpi y Prado (2022), realizaron una investigación bajo el título **“Diseño de un seguidor solar de doble eje para un sistema de energía fotovoltaica en el centro de salud de la comunidad Yaapi”**, en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador, como trabajo de titulación en opción al grado de Ingenieros Mecatrónicos, en la cual se plantea como objetivo el diseño de un seguidor solar ergonómico de doble eje con el fin de implementar un sistema fotovoltaico eficiente en el centro de salud de la comunidad de Yaapi. Presentándose una investigación del tipo proyecto factible, diseño documental y de campo; y un nivel de investigación descriptivo con enfoque cuantitativo. Las técnicas de recolección de datos están constituidas por la observación directa y análisis documental.

Los investigadores evaluaron distintos parámetros como la ubicación, radiación en la zona, mecanismos de movimientos, tipos de seguidores según diferentes autores, entre otros; para así proponer un diseño ergonómico. En cuanto al diseño mecánico se diseñó un monoposte para el soporte principal con un sistema de doble eje. Se determinaron los esfuerzos críticos de la

estructura, así como también los factores climáticos y ambientales para la correcta selección de materiales. Los resultados de los cálculos de los elementos críticos fueron corroborados mediante un software de simulación garantizando el correcto dimensionamiento de los elementos. El aporte más importante de esta investigación radica en la utilización de un sistema de control lazo híbrido que prescinde de la retroalimentación mediante sensores. En su lugar, se emplea un algoritmo que se basa en las coordenadas del sol para localizar geográficamente la posición del sistema con respecto a la tierra. Una vez calculados los ángulos de azimut y cenit, se procesa la información para obtener la posición angular necesaria para comandar los actuadores del sistema. Alternativa que se tomará en cuenta más adelante.

Así mismo, Ron y Velázquez (2021), realizaron una investigación titulada **“Evaluación del potencial fotovoltaico en los embalses de Venezuela, con énfasis en el embalse de la Central Hidroeléctrica Juan Antonio Rodríguez Domínguez”**, en la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB) en Caracas, Venezuela, como parte de los requisitos para optar por los títulos de Ingeniero Civil, en la cual se plantea como objeto evaluar el potencial fotovoltaico en los embalses de Venezuela, con énfasis en el embalse de la Central Hidroeléctrica Juan Antonio Rodríguez Domínguez. Presentándose una investigación del tipo exploratorio con diseño bibliográfico documental. La población estudiada estuvo constituida por los embalses donde se desarrolla y se recopila la información, con base de datos en todo el país y en el caso de estudio, mientras que los instrumentos de recolección de datos estuvieron constituidos por el análisis documental, entrevistas y análisis de contenido.

Los investigadores realizaron un análisis del potencial fotovoltaico sobre los embalses de Venezuela, tanto en producción de energía como capacidad a instalar. Con la matriz de selección se identificaron 11 posibles casos de estudios tomando como criterios la superficie de los embalses, la irradiación solar que incide y la distancia con respecto a las subestaciones más cercanas. Por último, se desarrolló conceptualmente un sistema solar fotovoltaico flotante (FVP) sobre el embalse de Boconó-Tucupido, que sirve a la Central Hidroeléctrica Juan Antonio Rodríguez Domínguez. El principal aporte que se pudo rescatar fue el diseño de un sistema que va más allá de la generación de energía solar al incorporar también la producción de energía hidroeléctrica, permitiendo aprovechar dos fuentes naturales de energía al mismo tiempo. También hay que mencionar, el uso de las superficies de las masas de agua en lugar de tierra firme para la instalación del sistema. Alternativa a tener en cuenta para la presente investigación.

Por otra parte, Villamizar (2021), realizó una investigación bajo el título **“Propuesta de la aplicación de la energía solar como medio alternativo para el sistema de agua caliente del área de lavandería del hospital Dr. Luis Razzetti, ubicado en el municipio Barinas del estado Barinas”**, en la Universidad José Antonio Páez (UJAP) en San Diego, Estado Carabobo, Venezuela, con vistas a optar por el título de Ingeniero Mecánico, planteando como objeto proponer la aplicación de la energía solar como medio alternativo para el sistema de agua caliente del área de lavandería del hospital Dr. Luis Razzetti, ubicada en el municipio Barinas del estado Barinas. Presentándose una investigación del tipo proyecto factible con diseño no experimental y de campo; y un nivel de investigación descriptivo con enfoque cuantitativo. La población estudiada estuvo constituida por los diferentes equipos presentes en el área de la lavandería, mientras que los instrumentos y técnicas de recolección de datos estuvieron confirmados por entrevista no estructurada, observación, lista de cotejo, revisión de textos y análisis de contenido.

Para lograr los objetivos se realizó un análisis de la situación actual, se levantó la información referente a la cantidad y consumo de agua caliente necesaria para cubrir la demanda de uso, y así se definió el sistema de energía solar térmica acorde a esto, los materiales y equipos. Se concluyó que es viable la instalación del arreglo solar térmico propuesto, como medio de respaldo alternativo para el suministro del sistema de agua caliente (ACS) del hospital. El cálculo de la distancia entre los colectores solares se ha identificado como el aporte más importante de esta investigación. Este cálculo permite determinar la ubicación óptima de los colectores solares, de manera que no impidan la incidencia de luz solar entre ellos mismos.

En este orden de ideas, Morales (2021), presentó una investigación titulada **“Propuesta de implementación de un generador eléctrico a través de conversión de energía solar por medio de paneles solares. Caso: parcela 566, sector Uverote, municipio Francisco de Miranda, Estado Guárico”**, en la Universidad José Antonio Páez (UJAP) en San Diego, Estado Carabobo, Venezuela, como trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en donde se plantea como objeto proponer el funcionamiento de un generador eléctrico a través de la conversión de energía solar por medio de paneles solares para la parcela 566, sector Uverote, estado Guárico. Metodológicamente, se presentó una investigación del tipo proyecto factible con diseño bibliográfico documental y de campo, y un nivel descriptivo con enfoque cualitativo. Por otra parte, se aplicaron la revisión documental, la entrevista y observación directa como técnicas de recolección de datos.

Para llevar a cabo la propuesta, el investigador realizó un diagnóstico de la situación actual del sistema de alimentación eléctrico, un estudio de carga y acudió a fuentes bibliográficas con la finalidad de conocer las condiciones climatológicas de la parcela caso de estudio. Conociendo esto, el investigador realizó los debidos cálculos, dimensionamiento y número de paneles necesarios. El principal aporte de esta investigación radica en la elaboración de un inventario completo de electrodomésticos, junto con su respectivo consumo de potencia. Este inventario permitirá tener un conocimiento detallado y preciso sobre el consumo de cada uno de los electrodomésticos presentes en un hogar. Información que se tendrá en cuenta a la hora de generar la propuesta y factibilidad de la misma.

Por último, Ronchetti y Amaya (2019), realizaron una investigación bajo el título **“Alternativa Tecnológica para la Generación de Energía Eléctrica en la Industria Petroquímica Venezolano”**, en la Universidad Rafael Bellosó Chacín (URBE) en Maracaibo, Venezuela, en la cual se planteó como objetivo Proponer una alternativa tecnológica para la generación de energía eléctrica en el Industria petroquímico venezolano Pequiven S.A. El tipo de investigación fue del tipo proyecto factible descriptiva con diseño bibliográfico documental, retrospectivo. La población estuvo conformada por 62 documentos y publicaciones oficiales, mientras que los instrumentos de recolección de datos estuvieron conformados por la observación, análisis documental y matrices de análisis.

De este modo se diagnosticó la situación actual como necesitada de una alternativa para conseguir autosuficiencia energética. Se consideraron las tecnologías biomasa, eólica, undimotriz y solar como posibles soluciones, evaluando las distintas variables del mantenimiento y su capacidad de generación. Se determinó a la tecnología fotovoltaica como la tecnología creadora de mayor valor en el tiempo, implantable en todas las instalaciones que conforman la Complejos Petroquímicos de la Corporación Petroquímica Venezolana (Pequiven). El aporte más significativo de esta investigación fue la realización de un pre-dimensionado utilizando el software PVSyst, empleando el modelo conectado a red. Este enfoque permitió obtener resultados precisos y confiables sobre la capacidad y rendimiento del sistema, considerando factores similares a los que se pretenden utilizar en la presente investigación y sirviendo como guía para el desarrollo de la misma.

2.2 Teorías Centrales de la Investigación

2.2.1 Ley del efecto fotoeléctrico

Las celdas fotovoltaicas, son los componentes principales de los sistemas fotovoltaicos. Son dispositivos formados por capas de materiales semiconductores, generalmente de silicio (Si) y que tienen la capacidad de captar la energía contenida en la radiación solar y generar una corriente eléctrica. Su funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico. Sánchez y Martínez (2017) definen el efecto fotovoltaico como “la generación de una fuerza electromotriz (diferencia de tensión eléctrica o voltaje) en las terminales de un dispositivo debido a la absorción de la luz solar” (p.104). Cuando los fotones de luz solar inciden sobre la superficie de la celda, los electrones en el material semiconductor son excitados y se liberan de sus átomos, creando una corriente eléctrica continua (CC). En la Figura 3 que se muestra a continuación se tiene una representación de la estructura básica de una celda solar.

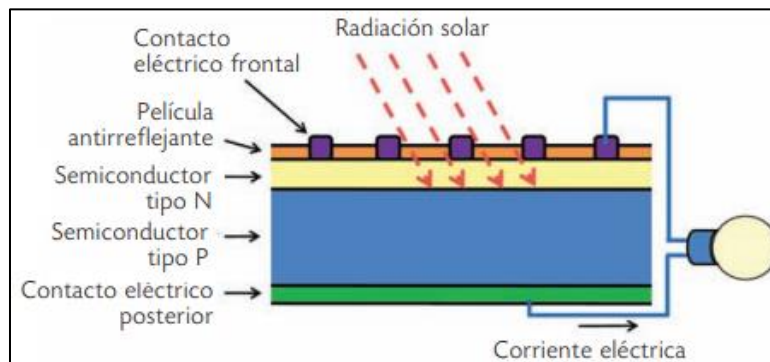


Figura 3: Estructura básica de una celda fotovoltaica.

Fuente: Bulnes, Best y Brown (2010)

La capa superior N está dopada con un elemento que tiene electrones extra, por ejemplo, fósforo; mientras que la capa inferior P está dopada con un elemento que tiene menos electrones, generalmente boro, cuya representación se puede ver en la Figura 4. Esta diferencia en el dopaje crea una barrera eléctrica entre las dos capas, conocida como unión o interfaz N-P. Esta unión es la responsable de que se forme un campo eléctrico interno. Cuando los fotones de luz solar inciden sobre la capa superior, ocurre el denominado efecto fotoeléctrico. Perpiñán (2013) expresa que el efecto fotoeléctrico “es el fundamento del funcionamiento de las células solares, dispositivos basados en la unión p-n, cuyos electrones se desplazan a la banda de conducción por el aporte energético de fotones incidentes” (p. 47). En palabras más sencillas, la energía suministrada por los fotones da una mayor movilidad a los electrones presentes en el material, permitiendo que sus

electrones salten de la banda de valencia a la banda de conducción, por lo que su capacidad para conducir la electricidad aumenta. Esto excita a los electrones extra del fósforo y los libera hacia la capa inferior buscando ocupar las vacantes o huecos del boro, este proceso es conocido como recombinación de portadores de carga. Una vez en la capa inferior, este flujo de electrones crea una corriente eléctrica continua (CC).

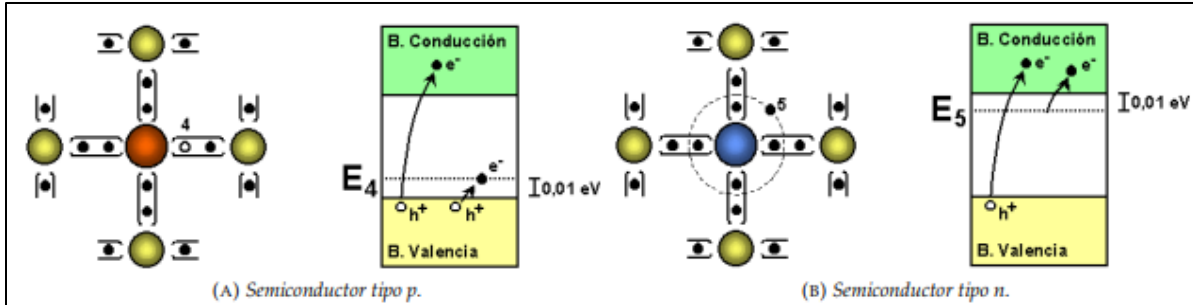


Figura 4: Semiconductores dopados.

Fuente: Perpiñán (2013)

2.2.2 Teoría de la máxima energía de distorsión (Von Mises)

La teoría de la energía de distorsión, desarrollada por el matemático Richard von Mises, es un concepto importante en el campo de la mecánica de materiales y se utiliza para el análisis de fallas de los materiales dúctiles cuando están sometidos a cargas o deformaciones. Se fundamenta en la idea de que los materiales se deforman plásticamente cuando la energía interna (energía debido a las tensiones y deformaciones) acumulada en ellos alcanza un cierto valor crítico. En la teoría, se considera que los materiales son isotrópicos y homogéneos, es decir, que sus propiedades mecánicas son las mismas en todas las direcciones y a lo largo de todo el material. La teoría se basa en una medida conocida como "energía de distorsión", que es una función matemática que depende únicamente del estado de tensiones del material. De acuerdo a este criterio, en el libro Mecánica de Materiales se establece que:

“un componente estructural dado es seguro siempre que el valor máximo de la energía de distorsión por unidad de volumen en ese material permanezca más pequeño que la energía de distorsión por unidad de volumen requerida para hacer fluir una probeta del mismo material sometida a tensión” (Beer y Johnston, 2010, p. 452)

Esta energía de distorsión se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$u_d = \frac{1}{6G} (\sigma_a^2 - \sigma_a \sigma_b + \sigma_b^2) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde σ_a y σ_b son esfuerzos principales y G es el módulo de rigidez. Para una prueba de tensión uniaxial se tiene que $\sigma_a = \sigma_y$, $\sigma_b = 0$, entonces $(u_d)_y = \sigma_y^2/6G$. El criterio indica que el componente estructural es seguro si se cumple que $u_d < (u_d)_y$ o la Ecuación 3 referida al criterio de seguridad de un componente estructural.

$$\sigma_a^2 - \sigma_a\sigma_b + \sigma_b^2 < \sigma_y^2 \quad \text{Ecuación (2)}$$

Esta es la ecuación de una elipse, mostrada en la Figura 4. Por lo tanto, si un punto en el material se esfuerza de modo que (σ_a, σ_b) queda representado en el límite o fuera del área rosa, se dice que el material falla.

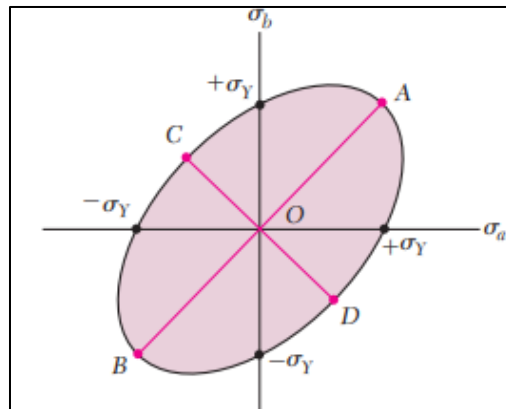


Figura 5: Teoría máxima de la energía de distorsión

Fuente: Beer y Johnston (2010)

2.2.3 Teoría de control

La teoría de control es un pilar fundamental en el desarrollo de un seguidor solar fotovoltaico porque permite optimizar la eficiencia y el rendimiento del sistema. El sistema de seguimiento solar se encarga de orientar de manera precisa los paneles solares hacia la posición óptima para captar la mayor cantidad de energía solar durante el día. Sin un adecuado sistema de control que guíe el movimiento, el seguidor no sería capaz de realizar esta tarea. Para ello, se debe establecer un sistema de control realimentado, también conocido como sistema de lazo cerrado. Ogata (2010) los define como “Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control” (p. 7).

“Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Es así posible usar componentes relativamente poco precisos y baratos para obtener el control adecuado de una planta

determinada, mientras que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto” (Ogata, 2010, p. 8)

En este caso la variable controlada sería la posición del panel, las perturbaciones podrían ser cambios en la intensidad de la luz, nubes que bloquean la luz u otros factores ambientales que puedan afectar el rendimiento del panel, mientras que la variable manipulada sería el ángulo de inclinación del panel solar el cual será orientado por la orden de un sensor que enviará una señal una vez que determine la existencia de una posición más idónea para la captación de luz solar en comparación a la actual. En la Figura 6 se puede observar el diagrama de bloques básico de un sistema de control a lazo cerrado.

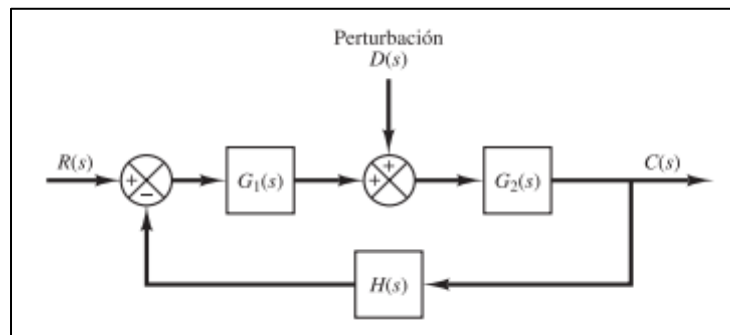


Figura 6: Sistema de control de lazo cerrado sujeto a perturbaciones.

Fuente: Ogata (2010)

2.3 Bases Teóricas

Con respecto a las bases teóricas, Arias (2012, p.107) indica que “las bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado”. En otras palabras, las bases teóricas proporcionan un fundamento sólido para la investigación, permitiendo establecer relaciones entre los conceptos clave y guiar el diseño del estudio.

2.3.1 Energía solar

La energía solar es un tipo de energía renovable que se obtiene directamente de la radiación proveniente del sol. Esta se produce gracias a las reacciones químicas que tienen lugar en nuestra estrella generando amplias cantidades de energía. De acuerdo a esto, en el libro Ahorro de Energía: Uso Eficiente de la Energía, se define la energía solar como:

“La energía obtenida directamente del sol. La radiación solar incidente en la tierra puede aprovecharse, por su capacidad para calentar, o directamente, a través del aprovechamiento

de la radiación en dispositivos ópticos. Es un tipo de energía renovable y limpia, lo que se conoce como energía verde” (Siancha, 2013, p.55)

La energía solar tiene numerosas ventajas. En primer lugar, es una fuente de energía inagotable y disponible en todo el mundo. Además, al no emitir ningún tipo de contaminante o residuo, no contribuye al cambio climático ni a la contaminación atmosférica. No obstante, también presenta algunos desafíos, ya que depende de la presencia de rayos del sol intensos durante varias horas por lo cual se limita su uso en las zonas geográficas que no cumplen con estas características.

2.3.2 Radiación solar

La radiación solar es la energía emitida por el Sol en forma de ondas electromagnéticas. Esta se produce a través de un proceso conocido como fusión nuclear, liberando una gran cantidad de energía en el proceso, de la cual, aproximadamente dos millonésimas partes de ella llegan a la superficie terrestre. Sin embargo, a pesar de ser una mínima parte, es unas 10.000 veces la energía que consumimos en todo el planeta. Esta energía se libera al espacio en forma de radiación electromagnética sobre un espectro de longitud de ondas que incluye luz visible, rayos ultravioletas (UV) e infrarrojos (IR), entre otros. En la Figura 7 se representa la distribución espectral de irradiancia solar que llega a la tierra.

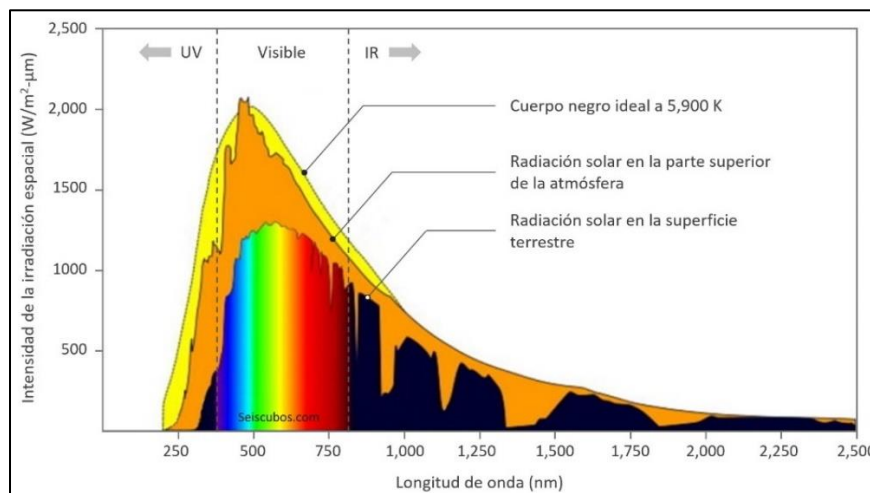


Figura 7: Distribución espectral de irradiancia solar en la tierra.

Fuente: Ordóñez - SeisCubos (s/f)

Cada longitud de onda posee un nivel energético distinto, siendo las infrarrojas las de baja energía y las ultravioletas las de alta energía. Esta energía se puede calcular por medio de la Ecuación 1, siguiendo la Ley de Planck (1) Donde, E es la cantidad de energía (W/m².mm⁻¹)

emitida a una longitud de onda (mm) por un cuerpo con una temperatura T (en grados Kelvin), con a y b como constantes.

$$E = a / [\lambda^5 \{e^{(b/\lambda T)} - 1\}] \quad \text{Ecuación (3)}$$

La cantidad de radiación solar que llega a la Tierra varía según varios factores. En base a esto, en el libro titulado “Energía Solar Fotovoltaica”, el autor expresa qué:

“A su paso por la atmósfera, la radiación solar es sometida a una combinación de procesos de reflexión, atenuación y difusión que alteran sus características. La reflexión en las nubes disminuye la radiación incidente en la superficie terrestre mientras que la absorción por vapor de agua, ozono y CO₂ produce una modificación de las características espectrales de la radiación” (Perpiñan, 2013, p. 26)

En las regiones ecuatoriales, donde los rayos solares inciden perpendicularmente sobre la superficie terrestre durante todo el año, se recibe una mayor cantidad de radiación solar. A medida que nos alejamos del ecuador hacia los polos, los rayos solares inciden con un ángulo más oblicuo y tienen que atravesar una mayor cantidad de atmósfera antes de llegar a nosotros, lo que resulta en una menor cantidad de radiación solar recibida. El valor medio de irradiancia se conoce con el nombre de “constante solar” y es de aproximadamente 1366 W/m². La forma en que incide la radiación solar sobre las placas solares, o estas la pueden aprovechar nos proporciona una clasificación, cuya representación se puede apreciar en la Figura 8.

- a) Radiación directa: Este tipo de radiación es la que traspasa la atmósfera y alcanza la superficie de la Tierra sin haber sufrido dispersión alguna en su trayectoria.
- b) Radiación difusa: Es la radiación que alcanza la superficie de la Tierra tras haber sufrido múltiples desviaciones en su trayectoria, por ejemplo, por los gases presentes en la atmósfera.
- c) Radiación reflejada o del albedo: Es aquella fracción de radiación solar que es reflejada por la propia superficie terrestre, en un fenómeno conocido como efecto albedo.

La suma de estas tres componentes constituye la denominada radiación global.

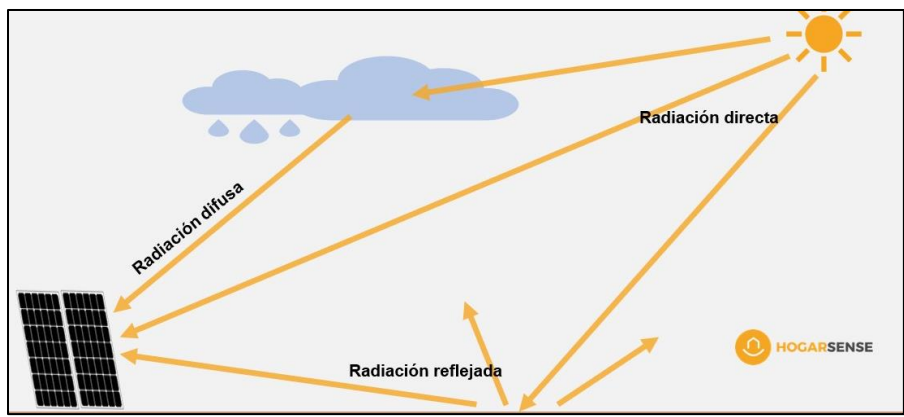


Figura 8: Tipos de radiaciones solares según su incidencia.

Fuente: Carbonell, M. (2023)

2.3.3 Radiación en Venezuela con respecto al mundo

Debido a la cercanía relativa de Venezuela con respecto al Ecuador, esta goza de beneficios en cuanto a recurso solar y la irradiación solar que recibe. De acuerdo a los datos obtenidos por Global Solar Atlas, Venezuela tiene una irradiación máxima de 6,4 kWh/m²/día como se puede apreciar en la parte inferior de la Figura 9. Esto quiere decir que por cada metro cuadrado de área un sistema solar puede recibir hasta 6,4 kWh en tan solo un día, una cifra que no dista mucho de las de Chile, que es el país que lidera al mundo en potencial de generación solar.

A nivel mundial Alemania es uno de los países pioneros en la implementación de sistemas fotovoltaicos y que mejor explotan su recurso energético solar, con una irradiación de aproximadamente la mitad de la capacidad que posee Venezuela, rondando está entre los 2.5 a 3.5 kWh/m² /día. Con estos datos podemos entender que Venezuela se encuentra una ubicación privilegiada para poder explotar este recurso. Por medio de la Figura 9 se puede notar que, las zonas que poseen una mayor irradiación (zonas de un tono más anaranjado) son las costas, especialmente el estado Falcón alcanzando una irradiación horizontal global (GHI) de hasta 2258.2 kWh/m² al año según Global Solar Atlas.

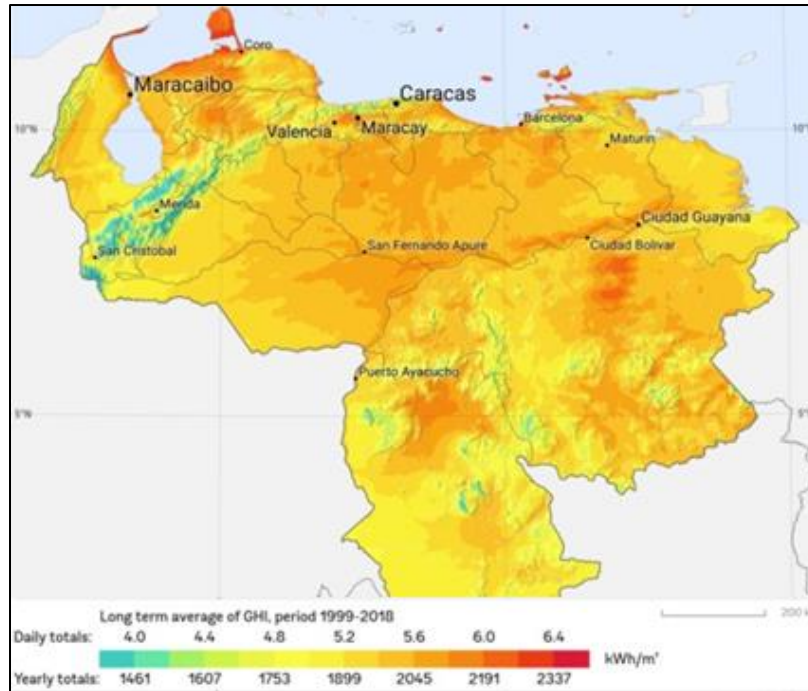


Figura 9: Mapa de la irradiación horizontal global en Venezuela.

Fuente: Solargis (2023)

2.3.4 Sistemas de seguimiento solar

La potencia entregada por un sistema fotovoltaico es tanto mayor cuanto mayor sea la radiación que incide sobre el mismo. La máxima captación de radiación solar se consigue cuando esta incide sobre el panel solar de manera directa y perpendicular a la superficie del panel, es lo que se conoce como radiación efectiva. Los sistemas de seguimiento solar son dispositivos que permiten orientar de manera automática los paneles solares hacia la posición óptima del Sol a lo largo del día y mejorar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos.

“En este caso los paneles siguen la trayectoria del sol a lo largo del día intentando obtener siempre la mejor inclinación para la recepción de los rayos solares es decir que los rayos solares incidan de forma perpendicular a los módulos fotovoltaicos, se estima que según el funcionamiento de los seguidores solares comerciales se puede aumentar el rendimiento en un 30 - 40% con respecto a los sistemas tradicionales de paneles fijos” (Díaz y Carmona, 2010, p. 94)

El funcionamiento básico de un sistema de seguimiento solar se basa en el uso de sensores y actuadores (motores) que permiten mover los paneles solares siguiendo la trayectoria del Sol apoyados de un sistema de control. Los sensores detectan la posición e intensidad luminosa del

Sol en el cielo y envían señales a los motores para que ajusten la orientación de los paneles. De esta manera, se logra una mayor exposición a la radiación solar directa durante todo el día, lo que aumenta significativamente la producción de energía.

“En los activos el seguimiento se realiza por medio de un motor eléctrico de pasos controlados por sensores solares. El principio de funcionamiento de los seguidores pasivos es el equilibrio de momentos que actúa sobre un eje de giro. Al rastrear el Sol durante el día, la irradiación recibida en el captador puede ser hasta de un 30% más que la obtenida para un captador fijo” (Sanchez y Martinez, 2017, p. 96)

Los seguidores solares se clasifican según la disposición de sus ejes de movimiento. Son construidos con cierto "grado de libertad" o "ejes" de movimiento, que permite a la estructura principal donde se encuentran instalados ubicarse en la posición más favorable para captación solar (Ver Figura 10).

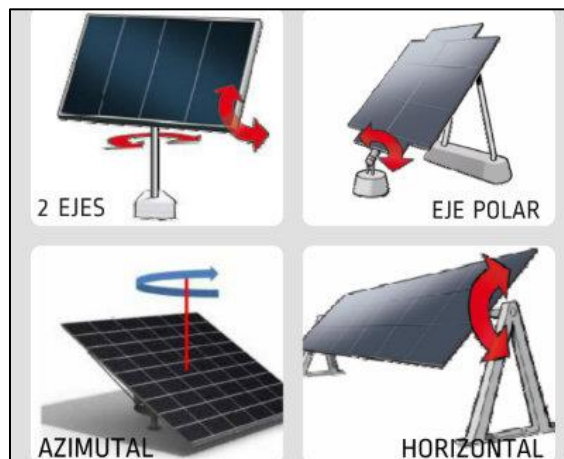


Figura 10: Distintos sistemas de seguimiento solar

Fuente: Laenergiasolar.org (2018)

2.3.5 Estructuras del silicio en paneles solares

Las celdas solares se pueden clasificar en base a la disposición cristalográfica de sus átomos, que no es más que la estructura ordenada que forman los átomos que constituyen un material sólido a lo largo del espacio. Estas se dan principalmente por los procesos empleados en su fabricación. En el caso de los paneles solares estas pueden ser de silicio monocristalino, policristalino o amorfo (Ver Figura 11).

“Los sólidos pueden clasificarse en dos amplias categorías: cristalinos y amorfos. Los sólidos cristalinos, debido a la estructura ordenada de sus átomos, moléculas o iones tienen formas bien definidas (...). En contraste, los sólidos amorfos presentan un orden pobre o de

corto alcance y no se identifican ni con la simetría ni la regularidad de los sólidos cristalinos”
(Smith, 2006, p. 94)

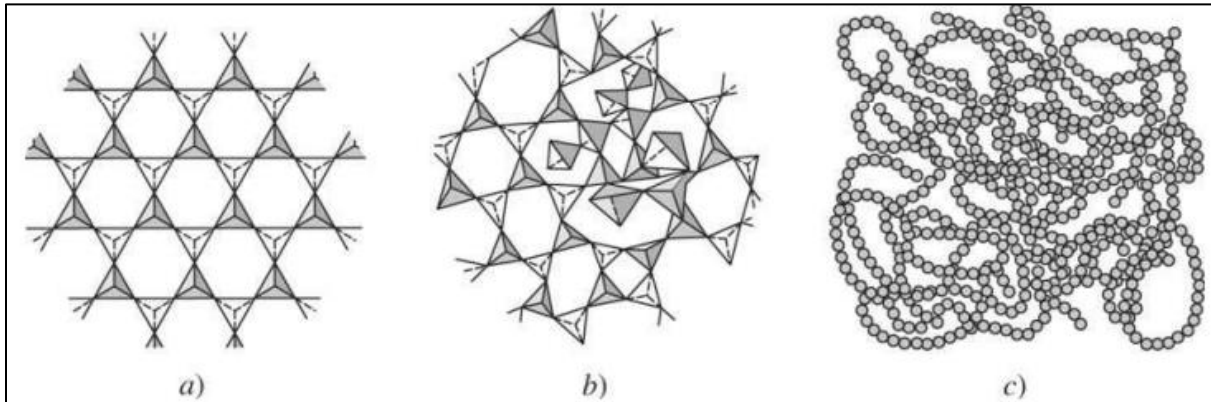


Figura 11: Grados de orden en los materiales. (a) orden de largo alcance en sílice cristalino, (b) sílice sin orden de largo alcance, (c) Estructura amorfa de los polímeros.

Fuente: Smith (2006)

Los monocristalinos son celdas que se obtienen a partir de silicio puro (98% pureza), se caracteriza por tener una estructura cristalina uniforme y ordenada, lo que le confiere una alta eficiencia energética (superior al 15%), pero alto costo. Para la fabricación de los policristalinos se disminuyen el número de fases de cristalización, están compuesto por múltiples cristales, lo que resulta en una eficiencia ligeramente inferior (entre 12-14%). Por último, el amorfo es una forma no cristalina de silicio que ofrece una eficiencia aún menor (menor al 10%), pero con la ventaja de ser más flexible y ligero.

A simple vista es posible identificar qué tipo de panel se tiene por el color y forma que poseen las células solares que lo integran; donde las monocristalinas se caracterizan por poseer un azul oscuro homogéneo, de un solo tono y bordes redondeados, el policristalina por otro lado, posee varios tonos de azul, mientras que el amorfo posee un color más opaco. En la Figura 12 se tiene una representación de los distintos tipos.



Figura 12: Tipos de células solares.

Fuente: Autosolar (2023)

2.4 Bases Legales

La presente investigación se gobierna por la Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico (Gaceta oficial N° 39.573 del 14 de diciembre del 2010), la cual tiene por objeto establecer las disposiciones que aseguren a todos los usuarios del servicio eléctrico una prestación de calidad tanto técnica como comercial, confiable y al menor costo posible. Hay que mencionar, además, la Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía (Gaceta oficial N° 39.823 del 19 de diciembre del 2011), la cual tiene por objeto promover y orientar el uso racional y eficiente de la energía en los procesos de producción, generación, transformación, transporte, distribución, comercialización, así como el uso final de la energía, a fin de preservar los recursos naturales, minimizar el impacto ambiental y social.

A su vez, el desarrollo de la investigación se rige bajo las normativas estipuladas por la Organización Internacional de Normalización (ISO), por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), así como también la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), con el fin de garantizar los estándares y lineamientos adecuados para la elaboración del proyecto en cada una de sus etapas. Entre las normas a considerar se encuentran las siguientes:

- Norma Internacional IEC 60364:2015. Instalaciones eléctricas de baja tensión.
 - Parte 1: Principios fundamentales, determinación de las características generales, definiciones.
 - Parte 5-53: Selección e instalación de los equipos eléctricos. Elección e instalación de materiales eléctricos.
- Norma Internacional IEC 62109:2010. Seguridad de los convertidores de potencia utilizados en sistemas de potencia fotovoltaicos.
- Norma Internacional IEC 61215:2021. Módulos fotovoltaicos (FV) para uso terrestre. Cualificación del diseño y homologación.
- Norma Internacional IEC 61730:2019. Cualificación de la seguridad de los módulos fotovoltaicos (FV).
- Norma Internacional IEC 61853:2018. Ensayos del rendimiento de módulos fotovoltaicos (FV) y evaluación energética.
 - Parte 1: Medidas del funcionamiento frente a temperatura e irradiancia y determinación de las características de potencia.

- Parte 2: Medidas de la respuesta espectral, el ángulo de incidencia y la temperatura de funcionamiento de los módulos.
 - Parte 3: Calificación energética de los módulos fotovoltaicos.
- Norma Internacional IEC 62305:2011. Protección contra el rayo.
- Norma Internacional IEC 62446-1:2017. Sistemas fotovoltaicos (FV). Requisitos para ensayos, documentación y mantenimiento. Parte 1: Sistemas conectados a la red.
- Norma Internacional IEC 62817:2016. Sistemas fotovoltaicos. Cualificación del diseño de los seguidores solares.
- Estándar ISO 404:2013. Aceros y productos de aceros. Requisitos técnicos generales.
- Estándar ISO 898-1:2015. Propiedades mecánicas de los elementos de fijación de acero al carbono y de acero aleado. Parte 1: Pernos, tornillos y bulones con clases de calidad especificadas.
- Estándar ISO 18004:1993. Engranajes. Vocabulario y definiciones geométricas.
- Estándar ISO 10721-1:1997. Estructuras de acero. Parte 1: Materiales y diseño.
- Estándar ISO 12944-2:2018. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 2: Clasificación de ambientes.
- Norma Venezolana COVENIN 200:1999. Código eléctrico nacional.
 - Sección 690: Sistemas Fotovoltaico Solar.
 - Sección 705: Fuentes de Generación de Potencia Eléctrica Interconectadas.
- Norma Venezolana COVENIN 159:1997. Variación de tensión.

2.5 Definición de Términos Básicos

Ángulo de incidencia: Es el ángulo formado entre la dirección de la radiación solar incidente y la normal a la superficie del panel.

Azimuth: Ángulo que forma el norte con el Sol, medido en sentido de rotación de las agujas de un reloj alrededor del horizonte del observador.

Célula solar: Es el componente básico de un panel solar, encargado de convertir la radiación solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. También se le conoce como celda solar.

Controlador: Dispositivo o programa que recibe y procesa información para tomar decisiones y realizar acciones con el fin de mantener un proceso o sistema en un estado deseado.

Inversor: Dispositivo electrónico que transforma la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA).

Irradiancia: Es la medida que indica cuanta potencia incide sobre una superficie. Se expresa en unidades como vatios por metro cuadrado (W/m^2).

Materiales semiconductores: Materiales cuya capacidad de conducir la electricidad puede ser controlada mediante la adición de impurezas.

Panel: Es la unidad de mayor tamaño de combinación de células solares o subpaneles que está técnicamente diseñado para su fabricación y manejo.

Perturbación: Señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema.

Punto crítico: Es la ubicación o condición en la que un componente o elemento mecánico experimenta el mayor nivel de estrés, esfuerzo o carga.

Variable controlada: La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. Normalmente, es la salida del sistema.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se dará una descripción detallada de los métodos y procedimientos que se utilizarán para llevar a cabo el estudio. Tamayo y Tamayo (2012) define el marco metodológico como “un proceso que, mediante el método científico, procura obtener información relevante para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento” (p. 37). Incluye la explicación de la estrategia de investigación, diseño y nivel de la investigación, establecimiento de la población y muestra, los instrumentos de recolección de datos y cualquier otra técnica o herramienta que se utilizará para llevar a cabo la misma.

3.1 Paradigma de la Investigación

El paradigma de una investigación se refiere a la perspectiva teórica o marco conceptual desde el cual se aborda un estudio. Es un conjunto de técnicas que guían la forma en que se realiza la investigación y cómo se interpretan los resultados. La presente investigación se enmarca en un enfoque o paradigma tecnológico. Se tiene que el paradigma tecnológico:

“define contextualmente las necesidades que se han de satisfacer, los principios científicos utilizados para la tarea, el material tecnológico a utilizar. (...) se puede definir como un ‘esquema’ de solución de determinados problemas tecnoeconómicos basados en principios muy selectos derivados de las ciencias naturales, juntamente con reglas específicas orientadas a la adquisición de nuevos conocimientos y a salvaguardarlos, cuando sea posible, de una rápida difusión a los competidores” (Dosi, 1988, p. 277).

Este tipo de paradigma se basa en la idea de que el conocimiento científico debe ser objetivo, verificable y generalizable. En el caso de la presente, se consideran diversas variables como la irradiancia solar, la frecuencia de los fallos eléctricos, la eficiencia, el ángulo e inclinación del panel, la potencia, entre otras que intervienen en cada una de las etapas del estudio, desde la explicación del fenómeno hasta el diseño del seguidor solar. Estas variables permitirán obtener datos precisos y concretos que contribuirán a una comprensión más profunda del tema investigado.

3.2 Tipo de Investigación

Resulta necesario seleccionar un tipo de investigación para mejorar la comprensión del estudio. Palella y Martins (2012), explican que: “El tipo de investigación se refiere a la clase de estudio que se va a realizar. Orienta sobre la finalidad general del estudio y sobre la manera de

recoger las informaciones o datos necesarios” (p. 88). Con el fin de desarrollar los objetivos planteados, se encontró que la investigación es del tipo proyecto factible.

Según Balestrini (2002), los proyectos factibles son “aquellos proyectos o investigaciones que proponen la formulación de modelos, sistemas entre otros, que dan soluciones a una realidad o problemática real planteada, la cual fue sometida con anterioridad o estudios de las necesidades a satisfacer” (p. 9). En tal sentido, el desarrollo de la investigación propone el diseño de un seguidor solar fotovoltaico con el fin de brindar una alternativa tecnológica, sostenible e innovadora que solucione la problemática planteada; y de esta manera cubrir las necesidades de los habitantes de la comunidad Cardón, la cual es gozar de energía eléctrica sin fallos o limitaciones.

3.3 Diseño de la Investigación

En cuanto al diseño de la investigación Arias (2012) lo define como “la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental” (p. 27). En otras palabras, se trata del plan, método o guía que se debe seguir para realizar correctamente la investigación. Por lo cual, el diseño de la investigación se clasifica como documental, ya que se apoya en datos originales de otros autores, suministrados por medio de fuentes impresas como libros, informes y trabajos de grado; así como también fuentes electrónicas como páginas web, revistas, publicaciones, entre otras. Arias (2012) define el diseño documental como “un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas” (p. 27).

Simultáneamente, también se clasifica como diseño de campo. El mismo Arias (2012) expresa que el diseño de campo es “aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes” (p. 31). Esto es, obtener datos y medir variables directamente del entorno o contexto en el que se lleva a cabo el estudio, por medio de encuestas, censos, estudio de casos, los cuales son esenciales para la puesta en marcha de la investigación y el cumplimiento de los objetivos.

3.4 Nivel de la Investigación

En cuanto al nivel de la investigación, Arias (2012) lo define como: “el grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio” (p. 23). La investigación se encuentra enmarcada en un nivel de carácter descriptivo, ya que se recolectarán y analizarán datos sobre la situación actual que atraviesan los habitantes de la comunidad Cardón y las variables que intervienen en el fenómeno, de esta manera conocer, identificar, describir las características y la frecuencia con la que ocurre dicho fenómeno.

El mismo Arias (2012) señala que la investigación descriptiva “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento” (p.24). Para Palella y Martins (2012) el propósito de este nivel “es el de interpretar realidades de hecho. Incluye descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos” (p. 102). A través del estudio de las variables obtenidas se estudiarán los distintos tipos de celdas solares y sistemas de seguimiento aplicando los distintos conocimientos de ingeniería, para diseñar el seguidor solar ideal destinado a cubrir las necesidades energéticas de la comunidad Cardón, del estado Falcón.

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población

La población objeto de estudio según Arias (2012) la define como “el conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos de estudio” (p. 81), es decir, el grupo total que posee las características o propiedades que son de interés para obtener información y para analizar la problemática.

En el caso de la presente investigación, la población está constituida por los distintos tipos de sistemas de seguimiento solar existentes en el mercado, sin importar su tamaño o capacidad, presentándose como una población finita. Arias (2012) expresa que la población finita es “agrupación en la que se conoce la cantidad de unidades que la integran. Además, existe un registro documental de dichas unidades” (p. 82). También se considerarán tanto los sistemas de seguimiento solar utilizados en instalaciones residenciales como aquellos utilizados en instalaciones comerciales o industriales. De esta manera, se busca obtener una visión completa y representativa de los distintos tipos de seguidores solares y su funcionamiento en diferentes contextos.

3.5.2 Muestra

En cuanto a la muestra, Arias (2012) expresa que “la muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (p. 83). La selección de una muestra adecuada es fundamental para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos en un estudio de investigación. Se utilizan diferentes métodos y técnicas de muestreo para seleccionar una muestra representativa que permita extrapolar los resultados a toda la población.

La muestra de la investigación es del tipo censal, no probabilística, pues la población señalada es de carácter finito y pequeña para permitir trabajar con todas sus unidades. En este sentido, Arias (2012) plantea que la muestra censal “busca recabar información acerca de la totalidad de una población” (p. 33). Al ser una investigación sobre diseño, se requiere recopilar datos de todos los elementos de la población para poder realizar un análisis completo y preciso. Además, al tratarse de una tecnología en constante evolución, es importante tener una visión amplia y representativa de todos los tipos de seguidores fotovoltaicos existentes. Una muestra censal garantiza que no se omita ningún tipo de seguidor y se obtenga una visión completa del panorama actual.

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En cuanto a la técnica Palella y Martins (2012), exponen que “se refiere a las distintas formas y maneras de obtener la información. Para el acopio de los datos se utilizan técnicas como observación, entrevista, encuesta, pruebas, entre otras” (p.115). En el mismo orden de ideas Arias (2012) establece “Se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información” (p. 67). En otras palabras, representan las herramientas que se utilizaran para recopilar información relevante y necesaria para responder a las preguntas de investigación o alcanzar los objetivos planteados. Entre las técnicas a emplear para la recolección de datos, destacan las siguientes:

1. Análisis documental. Consiste en revisar y analizar diferentes fuentes verificables de información, como libros, artículos científicos, revistas, tesis previas, entre otros, con el fin de obtener una comprensión profunda y precisa del tema de investigación. Resultando de gran utilidad para comprender mejor el funcionamiento de los seguidores solares y sistemas fotovoltaicos.
2. Observación directa estructurada. Arias (2012) lo define como “una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno

o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos” (p. 69). No solo se pondrá atención a la población y muestra antes descrita sino también a las condiciones que experimentan los habitantes de la comunidad Cardón, además de la infraestructura del sistema.

3. Entrevista estructurada. El mismo Arias (2012) expresa “Es la que se realiza a partir de una guía prediseñada que contiene las preguntas que serán formuladas al entrevistado” (p. 73). En este caso, se entrevistarán personas especializadas en sistemas de control y en instalaciones fotovoltaicas, de manera que puedan suministrar información útil y detallada a tomar en cuenta para el diseño.

En cuanto a los instrumentos de recolección de datos son definidos por Arias (2012) como “los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información. Ejemplo: fichas, formatos de cuestionario, guía de entrevista, lista de cotejo, escalas de actitudes u opinión, grabador, cámara fotográfica o de video, etc.” (p. 111). Entre los instrumentos a utilizar se encuentran la computadora y sus unidades de almacenaje (manuales, guías, etc.) para el análisis documental; la lista de cotejo (Ver Apéndice A) y el cuaderno de notas para indicar y anotar, respectivamente, la presencia de aspectos relevantes y de interés que se observen; y, por último, la guía de entrevista (Ver Apéndice A) en la cual se tendrán las preguntas a realizar al individuo, así como el registro de las respuestas a cada una de ellas.

3.7 Técnicas de análisis de datos

Una vez recopilados los datos, estos deben ser analizados e interpretados para obtener conclusiones precisas que guiarán la toma de decisiones en cuanto a el diseño que se va a realizar. Arias (2012) establece que “En este punto se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan: clasificación, registro, tabulación y codificación si fuere el caso” (p. 111). En otras palabras, consisten en una serie de métodos y herramientas utilizadas para examinar, interpretar y sacar conclusiones a partir de los datos recopilados durante el proceso de investigación. Para la presente investigación se aplicarán técnicas de análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos, ya que se manejarán tantos datos numéricos como datos presentados de manera verbal a través de la entrevista. Entre las técnicas podemos rescatar:

1. Matriz FODA. Consiste en identificar y evaluar las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de la propuesta. Una vez identificadas, se pueden utilizar para adoptar estrategias que aprovechen al máximo las fortalezas y oportunidades, mientras que

minimizan las debilidades y amenazas. Al comprender estos factores, se tendrá una visión más clara de las ventajas competitivas y los desafíos a los que se enfrenta la implementación del seguidor solar fotovoltaico en el contexto dado.

2. El diagrama de causa-efecto (Ishikawa). Para Gutiérrez y De la Vara (2009) “es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan” (p. 152). Esta técnica puede ser útil para identificar los principales obstáculos o limitaciones que se presentan en el proceso de diseño. Esto permitirá identificar cuáles son las áreas críticas que requieren mayor atención y recursos para mejorar el rendimiento del seguidor solar.
3. Diagrama de Pareto. El diagrama de Pareto es una herramienta utilizada para identificar y priorizar las causas que están generando la mayor parte de los efectos no deseados en un proceso. Gutiérrez y De la Vara explican “está respaldada por el llamado principio de Pareto, conocido como “Ley 80-20” o “Pocos vitales, muchos triviales”, en el cual se reconoce que pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%)” (p. 140).

3.8 Validez de los instrumentos

En cuanto a la confiabilidad, Palella y Martins (2012) la definen como “la ausencia de error aleatorio en un instrumento de recolección de datos. Representa la influencia del azar en la medida: es decir, es el grado en el que las mediciones están libres de la desviación producida por los errores causales” (p. 164). Por otra parte, los mismos autores definen la validez como “la ausencia de sesgos. Representa la relación entre lo que se mide y aquello que realmente se quiere medir” (p. 160). En este trabajo de grado no se realizará confiabilidad a los instrumentos, motivado a que no se realizará la técnica de la encuesta.

Para validar los instrumentos de recolección de datos descritos en los puntos anteriores se pretende recibir la aprobación de distintos expertos, en este caso, profesores de ingeniería mecánica de la Universidad José Antonio Páez. En el caso de la entrevista, al tratarse de técnicas estructuradas, es necesario elaborar el guión con las preguntas. Estas herramientas serán presentadas y validadas por al menos tres profesores de ingeniería, de manera que, los datos a obtener por la aplicación de dichas herramientas sean realmente de utilidad. En relación con el análisis documental, resulta pertinente verificar la fuente del documento, corroborando que su procedencia sea confiable.

3.9 Fases metodológicas

Fase I: Diagnóstico de las diferentes tecnologías de seguimiento solar en lo referente a capacidades técnicas y operativas.

En esta etapa se realiza un examen exhaustivo de las diferentes tecnologías de seguimiento solar disponibles en el mercado. Se evalúan sus capacidades técnicas y operativas, es decir, se analizan aspectos como la eficiencia, la precisión del seguimiento solar, la durabilidad, materiales y la facilidad de mantenimiento. El objetivo es obtener información detallada sobre las opciones disponibles y sus características para poder tomar decisiones informadas en las siguientes fases del proyecto.

Fase II: Análisis de las variables que intervienen en el movimiento y control de una celda fotovoltaica generadora de energía eléctrica como alternativa sostenible para la comunidad Cardón en el estado Falcón.

En esta etapa se estudian aspectos como la posición del sol a lo largo del día, el ángulo de incidencia, inclinación óptima de los paneles solares y las variables que intervienen en los mecanismos necesarios para garantizar un seguimiento preciso, como el torque, transmisión. potencia de los actuadores, entre otros. El objetivo es identificar los factores clave que influirán en el diseño y funcionamiento del sistema de seguimiento solar.

Fase III: Selección de la alternativa de solución del sistema de seguimiento solar a diseñar.

Es necesario seleccionar la alternativa de solución más adecuada para el sistema de seguimiento solar a diseñar. Para ello, se aplican las estrategias creativas en el diseño mecánico del Prof. Vilchez. Esta consiste en proponer diferentes opciones del sistema a diseñar, se establecen los requisitos principales, se evalúan restricciones y se ponderan criterios para cada una de ellas. Por medio de las entrevistas a los especialistas se pueden obtener recomendaciones y criterios basada en la experiencia de los entrevistados, que deben ser tomadas en cuenta para el diseño. El objetivo es elegir la opción más adecuada que cumpla con los objetivos establecidos.

Fase IV: Diseño del seguidor fotovoltaico seleccionado, que permita generar energía eléctrica a su máximo rendimiento.

En esta etapa se realizará el diseño del seguidor fotovoltaico seleccionado. Abarca el cálculo esfuerzos, dimensionamiento de las partes, incluso la estética y los acabados. Así mismo, se desarrolla un plan detallado que incluye todos los componentes eléctricos y electrónicos necesarios, como los motores, sensores y controladores, así como el sistema de control que

regulara la conducta del seguidor. El objetivo es crear un diseño funcional y ergonómico que permita maximizar la generación de energía eléctrica a partir de paneles solares.

Fase V: Evaluación de la viabilidad técnica, operativa, ambiental y económica del seguidor fotovoltaico diseñado.

Una vez realizado el diseño, se procederá a realizar pruebas y simulaciones para verificar su funcionamiento bajo diferentes condiciones climáticas y escenarios operativos dentro de los mismo softwares CAD. Se tomará en consideración pruebas de fatiga y viento. También se analizan los impactos ambientales asociados al uso del seguidor solar y se realiza un análisis económico para determinar su rentabilidad. El objetivo es asegurar que el seguidor fotovoltaico cumple con todos los requisitos establecidos y es una opción viable para su implementación en la comunidad Cardón en el estado Falcón.

3.10 Cuadro de Operacionalización de Variables

La operacionalización de variables es un proceso metodológico que consiste en descomponer deductivamente las variables que componen el problema de investigación, partiendo desde lo más general a lo más específico con la finalidad de convertir un concepto abstracto en uno empírico, susceptible de ser medido a través de la aplicación de un instrumento, en este caso a través de una entrevista. En el cuadro 1 se puede observar la operacionalización.

Cuadro 1: Cuadro de Operacionalización de variables

OBJETIVO ESPECÍFICO 1	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍTEMS	FUENTE DE INFORMACIÓN	
Diagnosticar las diferentes tecnologías de seguimiento solar en lo referente a capacidades técnicas y operativas.	Tecnologías de seguimiento solar	Tipos de tecnología	Configuración de los ejes	1	Técnica: Entrevista estructurada	
			Algoritmo de seguimiento	2		
	Características Operativas	Movimiento	Actuadores	3		
	Capacidades Técnicas	Eficiencia energética	Captación	4		
			Sistema de control	Sensores		5
				Limitaciones		6

Fuente: Prato, L. (2023)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En el presente capítulo se desarrollarán las cinco fases claves de la investigación, las cuales han sido planteadas con el fin de cumplir cada uno de los objetivos propuestos. El objetivo de este capítulo es analizar de manera exhaustiva cada uno de los datos recopilados, permitiendo así, comprender los resultados y generar las debidas conclusiones al respecto, así como presentarlos de manera clara y concisa para el correcto entendimiento del lector. Dentro de las fases a llevar a cabo se encuentran: Diagnóstico de las diferentes tecnologías de seguimiento solar en lo referente a capacidades técnicas y operativas, el análisis de las variables que intervienen en el movimiento y control de una celda fotovoltaica generadora de energía eléctrica como alternativa sostenible para la comunidad Cardón en el estado Falcón, la selección de la alternativa de solución del sistema de seguimiento solar a diseñar, el diseño del seguidor fotovoltaico seleccionado y finalmente la evaluación de la viabilidad técnica, operativa, ambiental y económica del seguidor fotovoltaico diseñado.

4.1 Fase I: Diagnóstico de las diferentes tecnologías de seguimiento solar en lo referente a capacidades técnicas y operativas

El primer paso a llevar a cabo fue el diagnóstico de las diferentes tecnologías de seguimiento solar evaluándolas en base a sus capacidades técnicas y operativas. Esto implica analizar aspectos como la capacidad de carga, precisión, actuadores, sensores y el algoritmo de seguimiento que utilizan. Para ello se evaluaron todos los tipos de seguidores solares existentes en el mercado siguiendo lo establecido en la población de estudio. No obstante, es importante dejar en claro que se estudiaron únicamente los sistemas de seguimiento más no el tipo de panel solar que estos utilizan, a pesar de que la elección de un tipo u otro sí influye en el aprovechamiento energético. Así mismo, solo se consideraron los elementos que intervengan e influyan en el seguimiento solar, por lo cual los demás elementos que pertenezcan al sistema fotovoltaico como por ejemplo baterías, reguladores de carga e inversores quedarán fuera de este punto.

En la actualidad, existen diversas tecnologías de seguimiento solar que han revolucionado la eficiencia y el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. Estas tecnologías se pueden clasificar en función de diferentes aspectos, como el número de ejes que utilizan para seguir la trayectoria del sol, la configuración de dichos ejes y el algoritmo de seguimiento que emplean. Esta

clasificación permite identificar las características, ventajas y desventajas específicas de cada tipo de tecnología, brindando a la investigación una amplia gama de opciones para optimizar la captación de energía solar y que serán recopiladas en la presente fase. Los seguidores son construidos con cierto "grado de libertad" o "ejes" de movimiento, que permite a la estructura principal donde se encuentran instalados ubicarse en la posición más favorable para captación solar.

4.1.1 Clasificación de los seguidores solares

4.1.1.1 Seguidores solares monoaxiales horizontales

También llamados de inclinación, son los más simples ya que únicamente rotan con respecto a un único eje horizontal dispuesto en dirección norte-sur, lo que permite el seguimiento del Sol desde el amanecer hasta el atardecer (este a oeste). Este tipo de sistemas tienden a conectar sus módulos en serie y en una misma fila, llamados string o cadenas. El string puede ser de tantos módulos como el inversor soporte. Esto abre paso a dos configuraciones ampliamente utilizadas, la configuración 1P y 2P. Por un lado, los seguidores 1P generalmente comprenden hasta 90 módulos dispuestos en una única fila en posición vertical, observable en la Figura 13a. Por otro lado, los seguidores 2P comprenden una configuración vertical de dos paneles de mayor altura y dispuestos en dos filas de hasta 45 módulos, como se puede observar en la Figura 13b.



Figura 13: Seguidores solares horizontales con configuración 1P (a) y 2P (b)

Fuente: Deger Iberica (s/f)

Algunas de las compañías que se encargan de la producción y comercialización de este tipo de seguidores son HD Solartech, Arctech, Array Technologies y Deger Iberica. En su gran mayoría han optado por utilizar actuadores lineales y unidades de giro para guiar el movimiento. A pesar de que muchas de estas compañías han solucionado parcialmente el problema de los terrenos irregulares logrando instalaciones con pendientes de hasta 18%, los terrenos con múltiples desniveles siguen representando un desafío a superar. Por otra parte, el diseño modular de este tipo

de seguidores favorece un montaje ágil. Dicho esto, en el Cuadro 2 se muestran las ventajas y desventajas de este tipo de seguidores.

Cuadro 2: Ventajas y desventajas de los seguidores solares monoaxiales horizontales.

Ventajas	Desventajas
Capacidad de montaje a gran escala en sistemas de filas, lo que permite utilizar un único actuador para mover muchos paneles.	Alta vulnerabilidad a condiciones climáticas extremas, como vientos fuertes o tormentas, que pueden afectar su funcionamiento.
En relación al punto anterior, el utilizar menos actuadores se traduce en un consumo de potencia menor para mover los seguidores. Así mismo, la electrónica también disminuye.	Dificultad de instalación en terrenos muy irregulares o con pendientes altamente pronunciadas, lo que ocasiona que el terreno se deba preparar con anterioridad.
Mayor facilidad de montaje. En su gran mayoría este tipo de sistemas brillan por la simplicidad de sus componentes, lo que asegura un montaje sencillo y en menos tiempo.	Resulta un tipo de seguimiento deficiente para ubicaciones de alta latitud, donde la trayectoria del sol es, menos ancha la mitad del año.

Fuente: Prato, L. (2023)

4.1.1.2 Seguidores solares monoaxiales azimutales

Los seguidores de azimut tienen un grado de libertad con un eje vertical, cuyo giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano local que contiene al Sol. Para lograr esto, el panel se monta sobre una base giratoria servoasistida, al ras del suelo. A pesar de su existencia y fácil implementación, los sistemas de seguimiento azimutal no resultan prácticos por sí solos. Esto se debe a que su seguimiento no representa una ganancia considerable con respecto a su instalación, por ende, tampoco han sido explotados en el mercado. Dicho esto, resulta complicado evaluar sus ventajas y desventajas. No obstante, en sistemas de doble eje si son utilizados en conjunto con el seguimiento horizontal como se estudiará más adelante.

4.1.1.3 Seguidores solares monoaxiales polares

Se mueven de manera oblicua de este a oeste siguiendo la trayectoria polar del sol en un solo eje orientado en dirección norte-sur e inclinado con respecto al suelo y aproximadamente paralelo al eje de rotación de la Tierra. Están diseñados para seguir el movimiento del sol, ajustando la inclinación de los paneles solares según la latitud geográfica donde se encuentre, lo

que le permite seguir parcialmente tanto el azimut como el ángulo de elevación del Sol. Por lo tanto, brinda la máxima eficiencia que se puede obtener con un solo eje de rotación.



Figura 14: Seguidor solar de eje polar DEGER-S15

Fuente: Deger Iberica (s/f)

Huayue New Energy, Deger Iberica y MecaSolar son algunas de las compañías que desarrollan este tipo de seguidores. En su gran mayoría han optado por utilizar actuadores lineales como método de accionamiento debido a su facilidad de instalación y bajo consumo. Su estructura consta principalmente de perfiles o barras dispuestos de tal manera que se forme un triángulo con respecto al suelo como se puede observar en la Figura 14. El eje se encuentra montado de manera inclinada sostenido en uno de sus extremos por dos barras que proporcionan la altura ajustable y en el otro extremo con un pasador. De esta manera se consigue el giro inclinado de los paneles. Con respecto a sus ventajas y desventajas se pueden ver en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Ventajas y desventajas de los seguidores solares monoaxiales de eje polar.

Ventajas	Desventajas
<p>Poseen un bajo consumo de potencia, debido a que únicamente utiliza un actuador para su movimiento.</p>	<p>No admisible para terrenos irregulares. El ángulo de inclinación debe ser paralelo al eje de rotación de la Tierra. En terrenos irregulares habría que modificar el ángulo de cada panel individualmente, lo que traduce en un alto tiempo de instalación.</p>

Continuación Cuadro 3

Ventajas	Desventajas
El ajuste de la altura en función de la inclinación del eje proporciona adaptabilidad para distintas latitudes, lo que lo hace funcional para cualquier parte del mundo.	En términos generales, los seguidores solares de eje polar ocupan una mayor superficie que los de eje horizontal. A diferencia de estos últimos, no están en la capacidad de instalarse en filas.
Concepción modular y escalable, para poder empalmar hasta 15 módulos con un único actuador. Además de su montaje sencillo.	Su aprovechamiento de la radiación reflejada es muy reducido. Por lo cual no sale rentable utilizar paneles bifaciales.
Brinda la máxima eficiencia que se puede obtener con un solo eje de rotación.	

Fuente: Prato, L. (2023)

4.1.1.4 Seguidores solares biaxiales

Estos sistemas poseen dos grados de libertad, permitiendo el movimiento en dos ejes, lo que posibilita seguir tanto el movimiento diario del Sol como su movimiento estacional a lo largo del año. Están compuestos por una estructura mecánica que permite que los paneles solares giren alrededor de dos ejes en simultáneo, un eje horizontal y un eje azimutal, cuyo trabajo en conjunto logran una captación directa de la radiación solar durante todo el año.

El eje horizontal permite el movimiento de rotación del seguidor en dirección este-oeste, siguiendo la trayectoria aparente del Sol a lo largo del día de manera latitudinal. El eje vertical (azimutal), por otro lado, permite el movimiento de inclinación siguiendo la trayectoria aparente del sol a lo largo del año de manera longitudinal. Esto se puede apreciar en el esquema de la Figura 15. Estos movimientos también se logran mediante actuadores que ajustan el ángulo de los paneles solares en función de la posición actual del Sol.

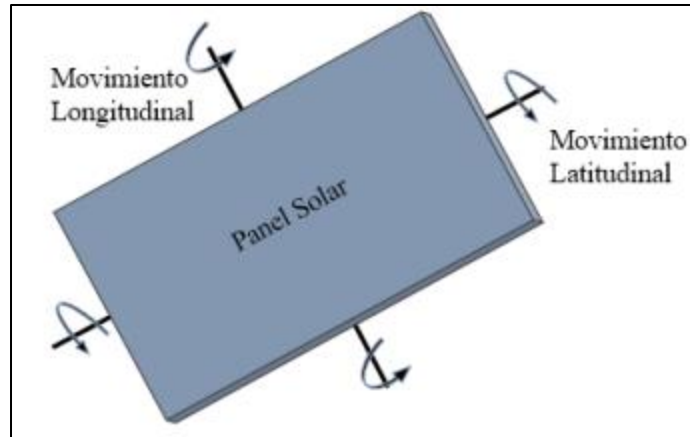


Figura 15: Esquema básico de los movimientos de un seguidor biaxial.

Fuente: Arpi y Prado (2022)



Figura 16: Seguidores de dos ejes Ever Faith Industry

Fuente: Zhangjiagang Ever Faith Industry (s/f)

Algunas de las compañías que se encargan de la producción y comercialización de este tipo de seguidores son Solener, Shandong Huayue New Energy Co., Ever Faith Industry y Deger Ibérica. Un ejemplo de este tipo de seguidores se muestra en la Figura 16. Estas compañías proponen en su gran mayoría diseños de seguidores del tipo monoposte accionados por una combinación entre actuadores lineales y unidades de giro como el que se muestra en la Figura 17. No obstante, los motores de paso y servomotores también son opciones que podrían desempeñar correctamente esta labor. Este tipo de estructuras poseen una base con un poste principal que soporta todo el peso del módulo fotovoltaico.



Figura 17: Estructura de un seguidor solar de dos ejes.

Fuente: Zhangjiagang Ever Faith Industry (s/f)

Cuadro 4: Ventajas y desventajas de los seguidores solares biaxiales

Ventajas	Desventajas
<p>Los seguidores de dos ejes agregan entre un 5% y 10% adicionales a la eficiencia conseguida por los seguidores de un único eje.</p>	<p>Los seguidores solares de dos ejes son más costosos que los sistemas de un eje debido a su complejidad mecánica y tecnológica, requiriendo una mayor inversión inicial.</p>
<p>La alta capacidad de producción mediante el movimiento en dos ejes en un espacio reducido, permite instalar un mayor número de seguidores en una misma superficie sin restricciones físicas, lo que se traduce en una multiplicación de la potencia instalada por hectárea.</p>	<p>Consumen una mayor cantidad de energía. Este se debe a que poseen más actuadores, uno adicional en comparación con los sistemas de un eje. Esto sin mencionar los demás elementos de control.</p>
<p>Permiten posicionar mejor los paneles para protegerlos ante situaciones de viento excesivo. Con ayuda de instrumentos como el anemómetro, cuando el viento exceda un límite preestablecido, permiten situar los paneles en posición de máxima resistencia al viento.</p>	<p>Al igual que los seguidores de eje polar, este tipo de seguidores ocupan una mayor superficie y no están en la capacidad de instalarse en largas filas.</p>

Continuación Cuadro 4

Ventajas	Desventajas
La disposición de sus ejes admite una gran diversidad de configuraciones en su diseño, lo que permite implementar mecanismos distintos según la situación.	Su sistema de control de seguimiento requiere de una mayor complejidad debido a que se deben controlar ambos ejes de manera armónica.
Proporcionan una potencia de salida constante durante prácticamente todo el día.	

Fuente: Prato (2023)

4.1.2 Actuadores utilizados

Entre los actuadores utilizados en instalaciones de seguimiento se pueden encontrar los actuadores lineales. Estos son dispositivos electromecánicos que convierten la energía eléctrica en un movimiento lineal. Estos dispositivos son utilizados para generar fuerza y movimiento en una línea recta, a diferencia de los actuadores rotativos que generan movimiento en un eje de rotación. El funcionamiento básico de un actuador lineal se basa en la interacción entre un motor eléctrico y un tren de transmisión de engranajes. El motor eléctrico proporciona la energía necesaria para generar el movimiento, mientras que el mecanismo de transmisión convierte ese movimiento rotatorio del motor en un movimiento lineal por medio de un tornillo y un vástago o eje extensivo roscado internamente el cual se extenderá o retraerá según sea se requiera. Las posiciones máximas que adopta el vástago del actuador se pueden observar en la Figura 18.



Figura 18: Vista sección de un actuador lineal. (a) Vástago retraído, (b) Vástago extendido

Fuente: Firgelli (2020)

En los seguidores solares, los actuadores lineales se distribuyen estratégicamente en la estructura de soporte y se encargan de ajustar el ángulo de inclinación según las señales que

transmite el sistema de control. Este sistema interpreta las señales recibidas y activa los actuadores lineales correspondientes para mover los paneles solares hacia la posición óptima. Una representación de lo mencionado se puede observar en la Figura 19, donde según la posición del vástago, ya sea extendido, retraído o en una posición intermedia, se consigue ajustar el ángulo de los paneles. Se utilizan principalmente en los seguidores de doble eje y de eje horizontal.

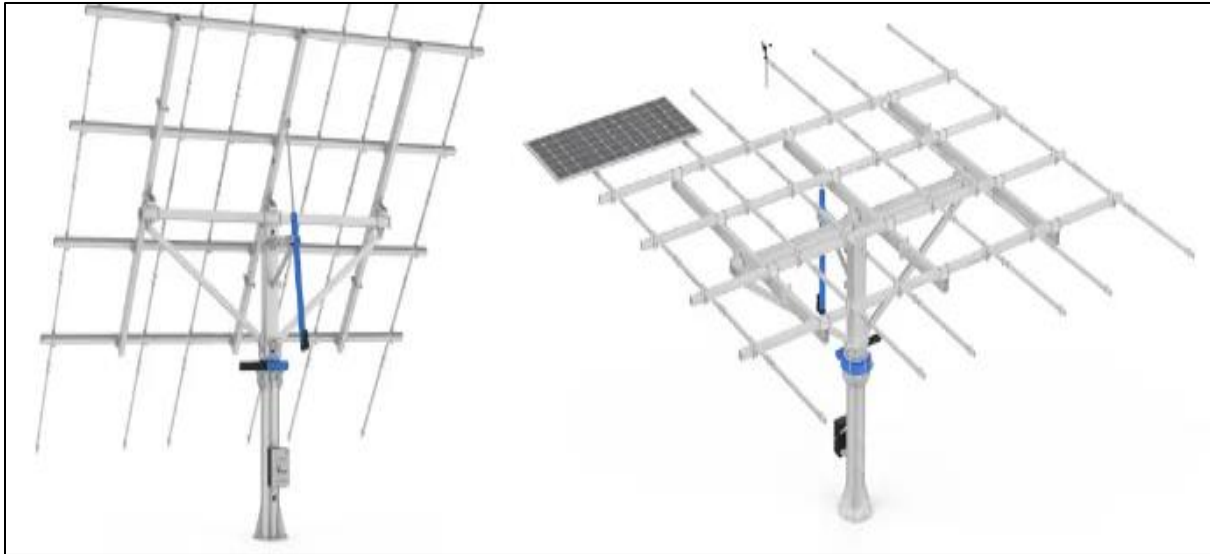


Figura 19: Cambio en la inclinación del seguidor solar por acción de un actuador lineal.

Fuente: Huayue New Energy Co. (2022)

De igual forma, las unidades impulsoras de giro son ampliamente utilizadas para guiar el movimiento de los seguidores solares. Las unidades impulsoras de giro o slewing drive en inglés, son dispositivos mecánicos que se utilizan para controlar y transmitir el movimiento de rotación en aplicaciones industriales y de ingeniería, reemplazando innumerables piezas mecánicas en un único elemento compacto listo para instalar, facilitando considerablemente la instalación de los seguidores.

Consta de un tren de transmisión compuesto por un tornillo sinfín y un engranaje fijado al marco del anillo externo de un rodamiento de bolas o rodillo, como se puede observar en la Figura 20. Así mismo, el anillo interno del rodamiento se encuentra conectado a la carga, eje u objeto a girar; y finalmente, una carcasa completamente cerrada, sin mencionar el motor acoplado a un extremo del tornillo sinfín, encargado de generar el movimiento. Se puede personalizar con motores hidráulicos o eléctricos, frenos, cajas de cambios planetarias, entre muchas otras opciones, según sean los requerimientos. En la Figura 21, se puede observar una unidad de giro montada en un seguidor de eje horizontal.



Figura 20: Unidad impulsora de giro

Fuente: Fenghe (2022)

Para instalaciones a menor escala y tamaño los motores de paso a paso y servomotores resultan una gran alternativa. Por un lado, los motores de paso (Ver Figura 21) son actuadores que se caracterizan por que no giran de manera continua, sino que avanzan un paso a la vez gracias a pequeños pulsos eléctricos. Su giro de 360 grados está dividido en un determinado número de pasos. Cada paso representa una pequeña fracción angular (generalmente de $1,8^\circ$ cada uno), por lo que, a mayor número de pasos, mejor será el control y precisión de los movimientos del seguidor.



Figura 21: Motor de paso a paso.

Fuente: Amazon (s/f)

En cuanto a los servomotores, su funcionamiento se basa en el principio de retroalimentación. Cuando se envía una señal al circuito de control, este compara la posición actual del motor con la posición deseada y ajusta la velocidad y dirección del motor para alcanzar dicha posición. Esta corrección se realiza mediante el ajuste continuo del voltaje aplicado al motor. La información sobre la posición actual se obtiene a través del sistema de retroalimentación, que puede ser un potenciómetro o encoder.

La precisión del movimiento del servomotor depende en gran medida de la calidad del sistema de retroalimentación utilizado. Cuanto más precisa sea esta retroalimentación, mayor será la precisión en el posicionamiento del motor. Además, los servomotores también ofrecen otras

características importantes como alta velocidad, alto par/torque y un bajo consumo. Anteriormente, los servomotores se caracterizaban por no girar su eje 360° como los motores normales, sino que lo hacían girando 180° hacia la izquierda y hacia la derecha (ida y retorno). No obstante, ya hay modelos que si lo permiten (Ver Figura 22).



Figura 22: Servomotores síncronos.

Fuente: HVH Industrial (s/f)

En el Cuadro 5 se recopilan las principales características de los actuadores estudiados. Muchas de las características se obtuvieron de las especificaciones dadas por los fabricantes. De igual forma, por las definiciones anteriormente dadas, se pueden deducir tanto el tipo de movimiento como su precisión. Por otro lado, la velocidad, consumo y fuerza ejercida por el actuador es información general y puede variar según el modelo específico de actuador.

Cuadro 5: Cuadro comparativo de los distintos actuadores.

Característica	Actuador lineal	Slew drive	Motor de paso	Servomotor
Tipo de movimiento	Lineal	Rotativo	Rotativo	Rotativo
Consumo	Bajo	Variable	Bajo	Variable
Precisión	Alta	Media	Alta	Muy alta
Velocidad	Alta	Media	Media	Alta
Fuerza	Variable	Alta	Media	Alta
Costo	Medio	Alto	Bajo	Medio

Fuente: Prato, L. (2024)

4.1.3 Sensores utilizados

En relación a los instrumentos que hacen posible el seguimiento, en la mayoría de los casos, para orientar los paneles en la posición correcta se requieren de sensores que determinen el punto más apropiado en el cielo al cual deben apuntar los paneles. Estos instrumentos se encargan de

generar y enviar una señal al sistema de control indicando que hay una posición más ideal que la que poseen. Existen diversos tipos, cada uno con sus respectivas prestaciones.

Primero se describieron de los sensores fotorresistivos o LDR (Light Dependent Resistor) por sus siglas en inglés, son dispositivos electrónicos que varían su resistencia eléctrica en función de la intensidad de la luz que incide sobre ellos. Están compuestos por un material semiconductor sensible a la luz cuya conductividad varía con la cantidad que recibe. Cuando la luz incide sobre el LDR, los electrones en el material semiconductor se excitan, lo que aumenta la conductividad y disminuye la resistencia eléctrica del dispositivo. En contraparte, cuando hay poca luz o ausencia de ella, su conductividad disminuye y, por ende, su resistencia aumenta. Cuando el LDR detecta una disminución en la intensidad de la luz solar, envía una señal al sistema de control para que ajuste la posición de los paneles y así mantenerlos orientados hacia el sol. En la Figura 23 se muestra un módulo de sensor LDR.

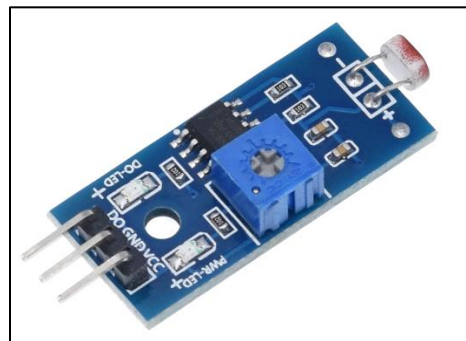


Figura 23: Módulo sensor fotorresistivo (LDR)

Fuente: Electronica.club (2020)

Otro tipo de sensores comúnmente utilizados son los de luminosidad. Estos son instrumentos que detectan la intensidad de luz. Funcionan utilizando un dispositivo llamado fotodiodo. El fotodiodo es un semiconductor de unión PN que genera una corriente eléctrica cuando se expone a la luz y se conecta a un circuito electrónico que convierte dicha corriente eléctrica en una señal digital. Para que su funcionamiento sea correcto se polariza inversamente. Se utilizan en pares, de esta manera proporcionan valores de referencia que son comparados por un módulo lógico para girar la superficie modular durante el curso del día. En la Figura 24 se puede apreciar el sensor de luminosidad utilizado y patentado en los seguidores desarrollados por la empresa Deger Iberica.

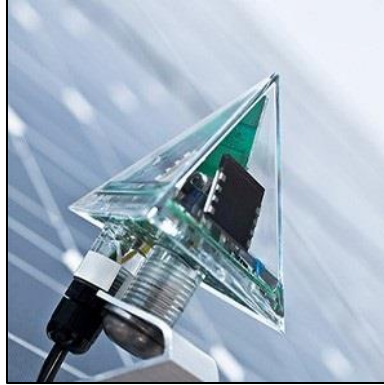


Figura 24: Sensor de luminosidad MLD

Fuente: Deger Iberica (s/f)

Por último, se pueden encontrar los instrumentos de medición de radiación solar incidente, entre los que destacan el piranómetro (Ver Figura 25) y el pirheliómetro (Ver Figura 26). Los piranómetros fotovoltaicos son instrumentos diseñados específicamente para medir la radiación solar global, es decir, la suma de la radiación directa, difusa y reflejada en un plano horizontal. El elemento de detección consta de una termopila compuesta de múltiples termopares conectados en serie, los cuales absorben la radiación solar que se transforma en calor. Este calor fluye atravesando los termopares, generando una señal eléctrica por el gradiente de temperatura y proporcional a la radiación incidente. Todos los piranómetros tienen un campo de recepción de 180° lo que permite medir la radiación solar hemisférica. Debido a su alta complejidad poseen un costo elevado.



Figura 25: Piranómetro

Fuente: Wikipedia (2021)

Por otro lado, los pirheliómetros están diseñados para medir exclusivamente la radiación solar directa, es decir, la radiación que llega sin ser dispersada por las nubes o reflejada por alguna otra superficie. Al igual que los piranómetros constan de una termopila, en este caso ubicada en el interior de un cilindro. La luz solar entra en el instrumento a través de una ventana y es dirigida a

la termopila el cual convierte el calor generado por la radiación en una señal eléctrica que se puede grabar. El voltaje de la señal es convertido a través de una fórmula para medir la irradiancia.



Figura 26: Pirheliómetro

Fuente: Wikipedia (2023)

En el Cuadro 6 que se muestra a continuación se comparan los distintos tipos de sensores en términos de sus capacidades técnicas y operativas. De esta manera se tiene una visión más clara de sus diferencias.

Cuadro 6: Cuadro comparativo de sensores utilizados.

Característica	Sensor LDR	Sensor de luminosidad	Piranómetro	Pirheliómetro
Tipo de sensor	Fotorresistencia	Fotodiodo o fototransistor	Termopila	Termopila
Medición	Intensidad de la luz	Luminosidad	Irradiancia solar total	Irradiancia solar directa
Rango de medición	Baja a moderada	Baja a moderada	Alta	Alta
Sensibilidad	Alta	Alta	Media	Baja
Coste	Bajo	Bajo	Alto	Muy Alto
Tiempo de respuesta	Medio	Rápido	Rápido	Lento

Fuente: Prato, L. (2024)

4.1.4 Elementos constitutivos adicionales

Es importante mencionar, qué muchos de estos sistemas cuentan con instrumentos o dispositivos que establecen mecanismos de protección para las condiciones climáticas adversas. Por ejemplo, vientos fuertes pueden ejercer fuerzas laterales sobre los paneles solares, generando un momento lo suficientemente elevado como para desestabilizar el sistema o incluso causar

daños. Al utilizar anemómetros como el mostrado en la Figura 27, los seguidores solares pueden detectar cambios en la velocidad y dirección del viento. Esto les permite ajustar su posición y orientación para minimizar el impacto del viento sobre los paneles solares. Al detectarse un aumento repentino en la velocidad del viento, el seguidor solar puede moverse a una posición más baja o bloquear sus paneles para reducir la exposición al viento.



Figura 27: Anemómetro de 2 relés modelo SC-Y210

Fuente: Saioa Control Industrial (2021)

De igual modo, los sensores de inclinación o inclinómetros son instrumentos utilizados en los sistemas de seguimiento para medir los cambios en la inclinación de los ejes de movimiento con respecto a la horizontal con una altísima precisión, asegurando un óptimo control y posicionamiento. Estos sensores admiten configuraciones que permiten la medición tanto en un eje (simple) como en dos ejes (dual), por lo cual son bastante versátiles.



Figura 28: Inclinómetro de salida digital.

Fuente: Sensing (2021)

4.1.5 Algoritmos de seguimiento

De igual forma, los seguidores solares también se pueden clasificar de acuerdo al algoritmo de seguimiento que utilizan. Estos algoritmos se encargan de controlar la posición de los paneles solares en función de la posición del Sol, permitiendo así capturar la mayor cantidad de radiación solar posible a lo largo del día. Estos algoritmos se basan en diferentes técnicas y estrategias, como el seguimiento basado en sensores solares, el seguimiento astronómico o el seguimiento basado en

procesamiento de imágenes. Cada uno de estos algoritmos presenta ventajas y desventajas, por lo que es importante evaluar cuál es el más adecuado para cada aplicación específica.

4.1.5.1 Por punto luminoso

Este tipo de algoritmo se apoya en el uso de los distintos sensores explicados anteriormente para cambiar la orientación del panel. Estos indican cual es el punto del cielo más luminoso y al cual deben apuntar, generando una señal y dando la orden al sistema de control para posicionar la superficie de captación en la dirección apropiada. Es el algoritmo más utilizado debido a su facilidad de instalación.

4.1.5.2 Por programación astronómica

En este caso, se utilizan modelos matemáticos y datos astronómicos para calcular y predecir la posición del Sol en el cielo en cualquier momento dado, ajustando de manera muy precisa la orientación del panel. Estos sistemas presentan total independencia de las condiciones climáticas, ya que no requieren de sensores. No obstante, en algunos sistemas se utilizan sensores dando como resultado un algoritmo híbrido.

4.1.5.3 Por procesamiento de imágenes

En este algoritmo se utilizan cámaras y software especializado para obtener una imagen la cual debe ser transformada a escala de grises mediante un programa de procesamiento de imágenes, a fin de detectar la posición exacta del sol en el cielo. Estos sistemas pueden realizar ajustes continuos en tiempo real para mantener los paneles o colectores orientados hacia el sol con una precisión excepcional. Es muy poco convencional y actualmente no ha sido explotado en el mercado.

Cuadro 7: Cuadro comparativo de los algoritmos de seguimiento.

Criterio	Por punto luminoso	Por programación astronómica	Por procesamiento de imágenes
Precisión	Alta precisión en condiciones ideales. Depende del sensor utilizado.	Alta precisión.	Alta precisión en condiciones ideales, adaptable a condiciones no ideales.
Costo	Bajo costo de implementación.	Bajo costo de implementación.	Alto costo de implementación (requiere hardware especializado).

Continuación Cuadro 7

Criterio	Por punto luminoso	Por programación astronómica	Por procesamiento de imágenes
Complejidad	Baja complejidad.	Complejidad media.	Alta complejidad, requiere mayor procesamiento computacional.
Calibración	Requiere calibración manual.	No requiere calibración manual.	Requiere calibración manual
Condiciones climáticas	Afectado por condiciones climáticas adversas (nubosidad, niebla).	No afectado por condiciones climáticas adversas.	Afectado por condiciones climáticas adversas, pero más resistente que por punto luminoso.

Fuente: Prato, L. (2024)

4.1.6 Lista de cotejo

La lista de cotejo es una herramienta apoyada en la observación directa en la cual se recolectó información en la comunidad donde está enfocada la investigación. En este caso se realizó una visita a la comunidad Cardón ubicada en el estado Falcón y se recopiló información relevante sobre las condiciones y necesidades los cuales fueron detallados en el Cuadro 8. Esta información será fundamental para el desarrollo de propuestas y acciones que contribuyan al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de esta comunidad.

Cuadro 8: Lista de Cotejo

N°	Lista de cotejo	Si	No
1	Se ha realizado un análisis comparativo de las características de los diferentes seguidores solares disponibles en el mercado		
2	Se han identificado las ventajas y desventajas de cada tipo de seguidor solar analizado		
3	Existen otras fuentes renovables que alimenten así sea una pequeña parte de la comunidad		
4	Se ha identificado la ubicación geográfica donde se instalará el seguidor solar		
5	Se ha consultado con expertos en energía solar y diseño de sistemas fotovoltaicos para obtener retroalimentación sobre el proyecto		
6	Se ha identificado espacios de tamaño considerable dentro de la comunidad donde se podrían instalar múltiples sistemas de seguimiento solar		
7	Existen obstrucciones como árboles, edificios u otros objetos que puedan generar sombras y reducir la eficiencia de los paneles		
8	Se han establecido los requisitos específicos que debe cumplir el seguidor solar a diseñar		

Fuente: Prato, L. (2023)

4.1.7 Entrevista estructurada

Para la ejecución de la entrevista estructurada se escogieron distintos profesores de las escuelas de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad José Antonio Páez especializados en la rama de los sistemas de control y automatización. Entre ellos se encuentran el profesor José Pérez Colón, con buena experiencia en el campo de los sistemas de control; el profesor Germán Fernández, con amplia experiencia en el área de la automatización industrial con PLCs y sistemas supervisorios; y, por último, el profesor César Seijas, PhD en ingeniería con experiencia en el área de automatización y Deep Learning. Resulta pertinente dejar en claro que las respuestas transcritas en el Cuadro 9 consisten en un resumen de las respuestas completas suministradas por el entrevistado, resaltando lo más importante y lo que se considera de mayor valor para el diseño, enriqueciendo así el análisis e información obtenidos a partir de las entrevistas.

Cuadro 9: Lista de control. Respuestas de la entrevista estructurada

Preguntas	Respuestas		
	Entrevistado Nro. 1 Prof. José Colón	Entrevistado Nro. 2 Prof. German Fernández	Entrevistado Nro. 3 Prof. Cesar Seijas
<p>Pregunta No. 1</p> <p>Los seguidores solares se clasifican en base a un número y configuración de sus ejes ¿Cuál considera que es la configuración más apropiada para el diseño?</p>	<p>Nuestro país está ubicado prácticamente en el Ecuador, entonces el Sol varía muy poco su inclinación. Sin embargo, sí se mueve un poco. En este caso se debe implementar dos ejes de posicionamiento, uno horizontal y otro vertical que permita corregir los ángulos de posicionamiento en base a la ubicación del sol.</p>	<p>La configuración más apropiada para el diseño de seguidores solares en Venezuela es un sistema de dos ejes, debido a la variación del Sol a lo largo del día y año. Aunque son más costosos que los de un solo eje, permiten un seguimiento más preciso del Sol. Sin embargo, se debe considerar el costo-beneficio que este pueda ofrecer.</p>	<p>Para las condiciones climáticas de nuestro país sugiero un sistema de dos ejes. Un sistema de dos ejes es más efectivo para adaptarse a estas variaciones y maximizar la generación de energía.</p>

Continuación Cuadro 9

Preguntas	Respuestas		
	Entrevistado Nro. 1 Prof. José Pérez Colón	Entrevistado Nro. 2 Prof. Germán Fernández	Entrevistado Nro. 3 Prof. Cesar Seijas
<p>Pregunta No. 2 ¿Cuál considera que es el mejor algoritmo para implementar en el sistema de seguimiento solar de un seguidor solar, y por qué?</p>	<p>Se pueden guiar con un sistema de control de ganancias que tenga ya las disposiciones del sol durante todo el año y que simplemente haga mover los motores a la inclinación adecuada de acuerdo a una especie de calendario de posicionamiento.</p>	<p>La elección del algoritmo puede depender de varios factores, como la precisión deseada y la complejidad del sistema. No existe un algoritmo único "mejor" para todos los sistemas de seguimiento solar. La elección del algoritmo debe basarse en las necesidades específicas del proyecto.</p>	<p>El algoritmo de control, más recomendable es el PID, por su robustez y adaptabilidad en función de la estrategia de realimentación negativa, el cual actualmente es implementable con técnicas de inteligencia artificial.</p>
<p>Pregunta No. 3 ¿Cuáles considera que son los actuadores más adecuados para mover un seguidor solar y qué características deben tener para garantizar un óptimo rendimiento del sistema de control?</p>	<p>En el mecanismo de seguimiento se puede implementar con dos motores de paso a paso. Estos motores de paso a paso son muy precisos ya que un paso de estos motores es una pequeña cantidad angular muy, muy pequeña por lo tanto se puede ubicar un panel con bastante precisión en ambos ejes.</p>	<p>Para mover o hacer desplazar cualquier pieza o mecanismo existen muchas cosas, accionamiento eléctrico o neumático, todo está en cómo se defina como se quiere controlar. Preferiblemente actuadores que provoquen un movimiento angular, como lo pueden ser motores de paso o servomotores.</p>	<p>El actuador más recomendable es un servomotor por su alta rapidez y precisión. Para garantizar un rendimiento óptimo del sistema de control, es importante que el servomotor seleccionado tenga una alta resolución angular, es decir, que sea capaz de mover el seguidor solar con la máxima precisión posible.</p>

Continuación Cuadro 9

Preguntas	Respuestas		
	Entrevistado Nro. 1 Prof. José Pérez Colón	Entrevistado Nro. 2 Prof. Germán Fernández	Entrevistado Nro. 3 Prof. Cesar Seijas
<p>Pregunta No. 4</p> <p>En base a su experiencia ¿Cuál considera usted que es la metodología correcta para diseñar e implementar un sistema de control adecuado que pueda maximizar la captación de energía solar?</p>	<p>Para la implementación de un sistema de control intervienen dos cosas. El conocimiento del proceso, esto llevará a conocer las variables que caracterizan dicho proceso. También, el objetivo que estamos considerando, el cual es específicamente lo que se quiere controlar. Con esto podemos abrazar los equipos de instrumentación llámese sensores, controladores, captadores, etc.</p>	<p>Como primer paso se deben definir los objetivos que se quieren conseguir. Se debe realizar un análisis detallado de los factores que intervienen en el proceso, evaluando los riesgos y posibles perturbaciones. Después se pueden seleccionar los componentes. Cuando el sistema este en práctica se debe monitorear y ajustar en caso de ser necesario.</p>	<p>La metodología a seguir es la estándar en metodología de investigación en proyectos científicos de ingeniería. En primer lugar, es fundamental realizar un análisis detallado de los requerimientos del sistema, el diseño adecuado del control, una implementación precisa y un seguimiento continuo.</p>
<p>Pregunta No. 5</p> <p>En su opinión, ¿Qué tipo de sensores considera usted que son esenciales para asegurar la mayor captación de energía solar?</p>	<p>Los sensores utilizar en el caso de los dos motores serían dos encoders. Los encoder son sensores de posición que permiten ubicar un motor en una posición determinada, ubicando el ángulo correcto de cada motor y va a permitir que la inclinación del panel solar con respecto a la incidencia sea la mejor posible.</p>	<p>Se pueden utilizar encoder que no es más que un dispositivo que mide desplazamientos en función de ángulos. Puede ser un encoder incremental, puede ser un encoder absoluto. La inventiva está abierta para lo que se quiera proponer allí. También se deberían considerar sensores fotosensibles capaces de detectar a donde se debe apuntar.</p>	<p>Existe una variedad de sensores, pero los más recomendables son: los de posición solar, de efecto Hall y fotodiodos. En conjunto, estos sensores garantizan un funcionamiento eficiente y óptimo del sistema de energía solar.</p>

Preguntas	Respuestas		
	Entrevistado Nro. 1 Prof. José Pérez Colón	Entrevistado Nro. 2 Prof. Germán Fernández	Entrevistado Nro. 3 Prof. Cesar Seijas
Pregunta No. 6 ¿Cuáles considera que son las limitaciones u obstáculos que se pueden presentar al momento de implementar el sistema de seguimiento solar?	Entre las principales limitaciones está el área donde se va a implementar, por ejemplo, la sombra de árboles o de algún otro obstáculo que pudiera perturbar la energía de incidencia. Otra es la energía que se va a proporcionar al sistema de control. Si se desea implementar el sistema que sea autosuficiente, es decir, el propio sistema genera la energía para los motores o si va a estar conectado a la red de alimentación.	Algunas limitaciones que se pueden presentar al momento de implementarlo son la necesidad de contar con un espacio amplio y despejado para su colocación. En este caso se busca evitar que la presencia de sombras de árboles o edificios afecten el rendimiento. La presencia de suciedad, polvo también podrían afectar la precisión del sistema. En general es necesario tomar en cuenta los factores externos del ambiente.	Hay limitaciones técnicas que definen la precisión y rango de medición del sistema como la necesidad de espacio suficiente para la colocación de paneles solares móviles, la complejidad técnica del sistema y la dependencia de las condiciones climáticas para su eficiencia, pero al final la de tipo presupuestario y económica es la más importante.

Fuente: Prato, L. (2024)

Una vez recopilada la información, resulta muy interesante comparar las respuestas, en busca de posibles tendencias. En la Pregunta No. 1 los tres entrevistados concuerdan en que lo ideal es un sistema de seguimiento de dos ejes, debido a la variación existente que se presenta en la inclinación de la tierra en el transcurso del año. Por otro lado, en la Pregunta No. 2 se tienen respuestas muy variadas. El Entrevistado 1 propone un sistema de ganancias similar al algoritmo astronómico, mientras que el Entrevistado 2 establece que ninguno es mejor que otro, sino que la elección entre uno u otro dependerá de los requerimientos del proyecto y por último el Entrevistado 3 propone un algoritmo de control basado en PID con la aplicación de la inteligencia artificial.

En relación con la Pregunta No. 3, existe una clara tendencia hacia los motores de paso y los servomotores debido a su bajo consumo, alta precisión y practicidad. Sin embargo, para la Pregunta No. 4 no existe una tendencia definida. En este caso, cada uno de los entrevistados propuso la metodología o paso a paso que cada uno de ellos considera la correcta, de una forma subjetiva, pero destacando la importancia de conocer las variables que intervienen en el proceso.

Por otro lado, en la Pregunta No. 5, los entrevistados 1 y 2 estuvieron de acuerdo en la implementación de encoders en conjuntos con los motores de paso. Así mismo, el entrevistado 3 propone utilizar además fotodiodos (sensores LDR), sensores de posición solar y sensores de efecto Hall. Finalmente, para la Pregunta No. 6, todos estuvieron de acuerdo en que una de las principales limitantes para la implementación es el espacio disponible, así como también las sombras producidas por diversos obstáculos que ocasionen un impacto negativo en el rendimiento. El Entrevistado 2 mencionó también la presencia de factores externos como el polvo, mientras que el Entrevistado 3 tomó en consideración las condiciones climáticas.



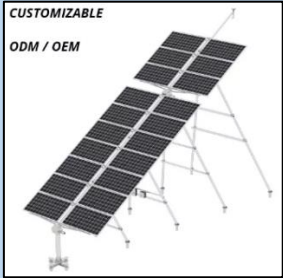
A través de preguntas cuidadosamente diseñadas, fue posible obtener respuestas detalladas y precisas que permitieron profundizar en temas específicos y obtener una visión más completa y detallada del tema en cuestión. La estructura de la entrevista también facilitó la comparación de las respuestas, lo que permitió identificar patrones y tendencias significativas. Además, al seguir un guión preestablecido, se garantizó que se abordaran todos los aspectos relevantes del tema, evitando desviaciones u omisiones. En resumen, la entrevista estructurada demostró ser una herramienta eficaz para recopilar información de expertos de manera sistemática y rigurosa.

4.2 Fase II: Análisis de las variables que intervienen en el movimiento y control de una celda fotovoltaica generadora de energía eléctrica como alternativa sostenible para la comunidad Cardón en el estado Falcón

En la presente fase, se estudian y analizan diversos aspectos que de alguna forma intervienen o afectan en el movimiento de los seguidores solares. En primer lugar, se recopilarán las variables de los distintos tipos de seguidores solares por medio de cuadros comparativos obtenidos a partir de fichas técnicas. También se realizarán entrevistas para juntar aún más información valiosa a tener en cuenta a la hora de generar las alternativas de solución en las fases posteriores. Toda la información obtenida será analizada utilizando herramientas como la matriz FODA y el diagrama de causa-efecto, lo que permitirá desglosar y establecer estrategias y un orden de prioridades sobre los puntos realmente importantes a tener en cuenta en el diseño.




4.2.1 Comparación de variables técnicas en distintos tipos de seguidores solares

Cuadro 10: Especificaciones de algunos seguidores de eje polar disponibles en el mercado.

Variable	DEGER S-8.5 Deger Ibérica 	MS 1EP Mecasolar 	HYX30-2-20PV-210-IR-M-2SD Huayue New Energy 
Potencia nominal pico [kWp]	2 kWp	2,6 kWp	8 kWp
Algoritmo de seguimiento	Punto luminoso	Astronómico	Astronómico
Rango de inclinación	20° ~ 30°	20° ~ 25° ~ 30°	20° ~ 25° ~ 30°
Rango de azimut	-60° ~ +60°	-45° ~ +45°	-60° ~ +60°
Accionamiento	Actuador lineal	Actuador lineal	Unidad de giro (slew drive)
Material de la estructura	Acero galvanizado en caliente y Aluminio	Acero galvanizado en caliente	Acero galvanizado en caliente
Superficie max. del módulo [m ²]	8,5 m ²	17 m ²	30 m ²
Velocidad max. del viento [km/h]	130 km/h	120 km/h	65 km/h




Fuente: Deger Iberica (s/f), MecaSolar (2021) y Huayue New Energy (2021)

Cuadro 11: Especificaciones de algunos seguidores de eje horizontal disponibles en el mercado.

Variable	DEGER S100-PF-DR Deger Ibérica 	Mars1Tracker HD Solartech 	Skyline II Artech 
Potencia nominal [kW]	30 kWp	20 kWp	28 kWp
Algoritmo de seguimiento	Punto luminoso	Astronómico	Astronómico
Rango de seguimiento de elevación	-70° ~ +50°	-60° ~ +60°	-60° ~ +60°
Actuadores	Unidades de giro (slew drive)	Actuadores lineales	Unidades de giro (slew drive)
Material de la estructura	Acero galvanizado en caliente	Acero galvanizado y Acero de baja aleación	Acero galvanizado en caliente, Acero recubierto Zn-Al-Mg
Configuración	2P	1P	2P
N. de módulos admisible	Hasta 60 módulos	Hasta 120 módulos	Hasta 120 módulos
Superficie max. del módulo [m ²]	120 m ²	250 m ²	384 m ²
Velocidad max. del viento [km/h]	120 km/h	136 km/h	120 km/h

Fuente: Deger Iberica (s/f), HD Solartech (2020) y Arctech (2020)

Cuadro 12: Especificaciones de algunos seguidores biaxiales disponibles en el mercado.

Variable	DEGER D-100 Deger Ibérica 	Seguidor solar 2 ejes Solener 	HYS - Serie Atenea Huayue New Energy 
Potencia nominal pico [kWp]	12 kWp	11,7 kWp	10 kWp
Algoritmo de seguimiento	Punto luminoso	Punto luminoso	Astronómico
Rango de elevación	0 ~ 80°	0 ~ 85°	0 ~ 72°
Rango de azimut	-150° ~ +150°	-155° ~ +155°	-175 ~ +175°
Accionamiento	Motores DC y actuadores lineales	Unidades de giro	Actuadores lineales y unidad de giro
Material de la estructura	Acero galvanizado en caliente	Acero galvanizado en caliente y aluminio	Acero galvanizado en caliente
Superficie max. del módulo [m ²]	52 m ²	55 m ²	47 m ²
Velocidad max. del viento [km/h]	130 km/h	160 km/h	133 km/h

Fuente: Deger Iberica (s/f), Solener (s/f) y Huayue New Energy (2021)

Si bien la potencia nominal pico que entrega un sistema es importante, este depende mucho del tipo y cantidad de paneles que utiliza cada seguidor, por lo cual no representa una variable realmente importante en el diseño. Por otro lado, los rangos de movimiento sí que determinan en gran medida la capacidad de un sistema de seguir el Sol en su trayectoria, por lo cual se debe tener muy en cuenta en el diseño. Hay que mencionar, además, los materiales utilizados, que en su gran mayoría constan de acero galvanizado en caliente; un material resistente a las condiciones ambientales, otorgando una gran durabilidad a la estructura.

La relación entre el número de paneles y superficie que ocupa el sistema es un indicativo de que tan aprovechable son las estructuras de seguimiento. Finalmente, la velocidad del viento admisible da una idea de lo importante que es tener en cuenta esta variable que puede alterar la

posición de los seguidores, por ende, resulta pertinente establecer un sistema de seguridad ante los vientos fuertes y en general, las condiciones climáticas.

4.2.2 Matriz FODA

Una de las técnicas de análisis de datos a utilizar es la matriz FODA. Al identificar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas que rodean la investigación, se podrá diseñar estrategias específicas que potencien los aspectos positivos y minimicen los riesgos. De esta forma, se garantiza una toma de decisiones informada y acertada que permita alcanzar los objetivos planteados con éxito. Esta herramienta será de gran ayuda a la hora de generar las posibles soluciones en la fase siguiente.

Cuadro 13: Matriz de análisis FODA.

<p>Interno</p> <p>Externo</p>	<p style="text-align: center;">Fortalezas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Aumento del rendimiento a comparación de los sistemas solares fijos. 2. Capacidad de instalación en zonas donde no llega la red eléctrica. Disminuyendo así, la dependencia de la misma. 3. Sistema poco ruidoso a comparación de otros sistemas renovables. 	<p style="text-align: center;">Debilidades</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Alta dependencia de las condiciones climáticas para la generación de energía. 2. Necesidad de espacios extensos para la instalación de los seguidores solares. 3. Potencial alteración del paisaje natural o urbano.
<p style="text-align: center;">Oportunidades</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Contexto actual con una mayor conciencia ambiental y demanda por soluciones sostenibles. 2. Ausencia de un servicio eléctrico confiable que cubra la demanda actual. 3. Crecimiento del mercado en el área de la energía solar. 4. Elevada irradiancia en la comunidad caso estudio. 	<p style="text-align: center;">Estrategias FO</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Incorporar nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia y el rendimiento de los seguidores solares. 2. Promover la sostenibilidad y las ventajas ambientales de los seguidores solares. 3. Aprovechar la capacidad de instalación en zonas sin red eléctrica para acceder a nuevos mercados en desarrollo. 	<p style="text-align: center;">Estrategias DO</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollar seguidores solares más resistentes a las condiciones climáticas adversas y preparados para contrarrestar las mismas. 2. Considerar la relación entre el espacio y la radiación en la zona de manera que sea la más aprovechable.

Continuación Cuadro 13

Amenazas	Estrategias FA	Estrategias DA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Competencia con otras fuentes de energía renovable. 2. Posibles impactos negativos en el medio ambiente durante el proceso de fabricación y desecho del equipo. 3. Dificultad para obtener componentes o materiales necesarios para la fabricación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar en cuenta la cantidad de materiales y partes móviles involucrados en el seguidor solar a diseñar. 2. Enfatizar el mayor rendimiento de los sistemas fotovoltaicos móviles como una ventaja competitiva frente a otras fuentes de energía renovable. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diseñar e implementar un seguidor solar que sea estéticamente atractivo y eficiente que se imponga sobre otras fuentes de energía alternativa. 2. Desarrollar programas de recuperación y reciclaje de los componentes de los seguidores solares al final de su vida útil.

Fuente: Prato, L. (2024)

4.2.3 Diagrama de causa - efecto (Ishikawa)

Un diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa-efecto, es una herramienta gráfica que ayuda a identificar, analizar y clasificar las causas de un problema o evento específico. Su forma de "espina de pescado" facilita la visualización de las relaciones entre las causas principales y sus subcausas.

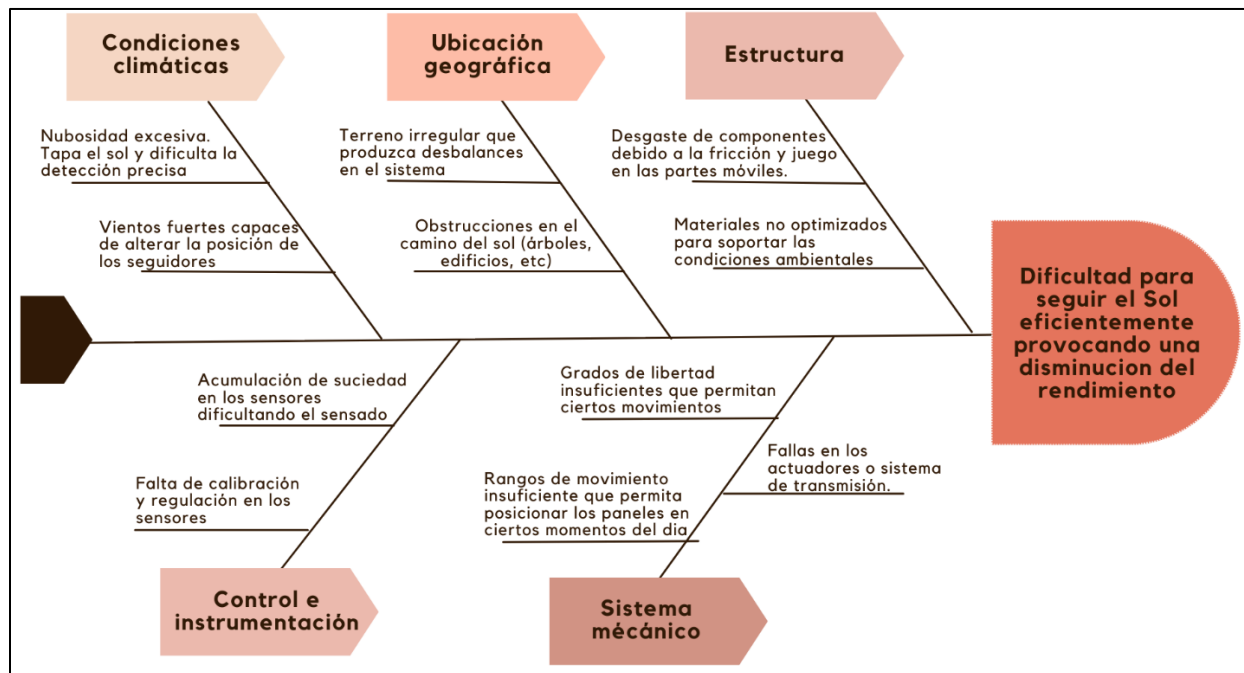


Figura 29: Diagrama causa - efecto (Ishikawa)

Fuente: Prato, L. (2024)

En el contexto de la presente investigación un diagrama de Ishikawa fue útil para identificar las posibles causas que dificultan la capacidad de captación solar y afectar el rendimiento del seguidor solar. En la Figura 29 se puede observar el diagrama de Ishikawa realizado en el cual se puede apreciar que las principales causas que dificultan el seguimiento solar son originadas por las condiciones climáticas, la ubicación geográfica, la estructura, el sistema de control e instrumentación y el sistema mecánico.

4.2.4 Diagrama de Pareto

Ahora que se han determinado cuales son las principales causas que dificultan el seguimiento solar, es necesario determinar cuáles de ellas son las de mayor y menor impacto. El diagrama de Pareto consiste en representar gráficamente los datos en forma de barras, ordenados de mayor a menor según su frecuencia o impacto. La barra más alta representa la causa principal, seguida por las siguientes causas en orden descendente. Este diagrama es útil para identificar y priorizar los principales problemas o desafíos que se presentan en el proceso y de esta manera tomar decisiones informadas sobre dónde enfocar los esfuerzos de mejora.

Cuadro 14: Frecuencia de las causas

Causas	Cantidad	Frecuencia	Frecuencia acumulada
Sistema mecánico	3	28%	28%
Ubicación geográfica	2	18%	46%
Estructura	2	18%	64%
Control e Instrumentación	2	18%	82%
Condiciones climáticas	2	18%	100%
	11		

Fuente: Prato, L. (2024)

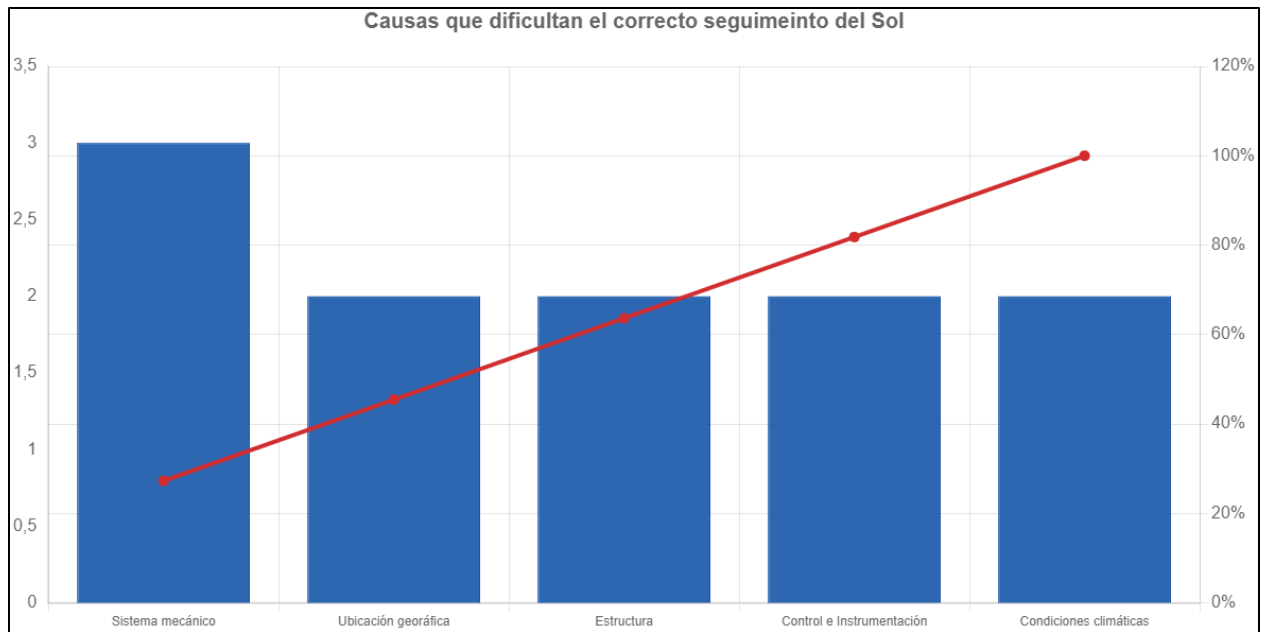


Figura 30: Diagrama de Pareto

Fuente: Prato, L. (2024)

Por medio del diagrama de Pareto ilustrado en la Figura 30, se ha demostrado que los problemas ocasionados por el sistema mecánico son las de mayor impacto y por ende las que merecen la mayor atención.

4.3 Fase III: Selección de la alternativa de solución del sistema de seguimiento solar a diseñar

En la presente fase se proponen diferentes alternativas para resolver el problema planteado en base a la síntesis de la información recopilada y analizada en las dos fases anteriores. En esta etapa, se establecen y ponderan las restricciones y criterios que deben cumplir las posibles soluciones con el objetivo de seleccionar la mejor opción, siempre siguiendo la metodología desarrollada por el profesor Nelson Vilchez. Esta fase es fundamental para asegurar que el sistema de seguimiento solar diseñado cumpla con los requerimientos y expectativas establecidas previamente.

4.3.1 Especificaciones del sistema a diseñar

La etapa de especificaciones del sistema a diseñar es una fase fundamental en el proceso de diseño mecánico, ya que establece las bases para el desarrollo posterior del diseño. En ella se explicarán las funciones principales, los criterios y las restricciones que debe cumplir el seguidor solar a diseñar. Primeramente, las funciones principales describen las tareas que el sistema debe realizar. Por otro lado, según Vilchez (2001) las restricciones “son especificaciones que nos

permiten rechazar algunas de las probables soluciones sin necesidad de compararlas con las restantes” (p. 62). Mientras que para el mismo autor los criterios “son especificaciones usadas para comparar soluciones y eventualmente decidir cuál de ellas es mejor” (p. 62).

4.3.1.1 Funciones principales

Entre las funciones principales que debe cumplir el sistema a diseñar se encuentran:

1. Seguir la trayectoria del Sol a lo largo del día ajustando la orientación de los paneles solares con el fin de maximizar la captación de luz solar.
2. Detección y corrección automática ante posibles perturbaciones en el seguimiento solar causadas por factores externos.

4.3.1.2 Restricciones del diseño

Las restricciones que se deben contemplar para el diseño se encuentran:

1. Estructura resistente a la corrosión. Debido a las condiciones adversas del entorno y el ambiente donde serán ubicados los seguidores, es necesario que los materiales con los que serán construida la estructura posean esta propiedad.
2. Seguimiento tanto de azimut como de elevación. Si se busca una salida de energía constante a lo largo del año es necesario que el sistema a diseñar permita el seguimiento tanto del azimut como del ángulo de elevación del Sol, el cual ira variando a lo largo del año.
3. Rango de elevación mínimo de 70°. Un rango de elevación mínimo de 70° asegura que el sistema pueda seguir al sol incluso cuando está bajo en el cielo, como en las primeras horas de la mañana o las últimas horas de la tarde.
4. Resistencia al viento. Esto se refiere a la capacidad del sistema para soportar las fuerzas del viento sin sufrir daños, así como también la forma en la que se protegen de estas. Esta restricción es importante porque los vientos fuertes pueden causar daños a los distintos componentes del sistema y alterar la posición de los paneles.
5. Adaptable a todo tipo de terrenos. Se refiere a la capacidad de instalarse en terrenos con diferentes características topográficas, independientemente de su pendiente, orientación o tipo de suelo. Así mismo, el sistema de fijación del seguidor solar al terreno debe ser robusto.

4.3.1.3 Criterios de evaluación del diseño

Los criterios a tomar en cuenta y que serán ponderados para cada probable solución son los siguientes:

1. Menor consumo de sus actuadores. Si se utilizan actuadores que consuman demasiada energía, la ganancia que obtienen los seguidores solares con respecto a las estructuras fijas se verá recortada. Es por ello que resulta fundamental considerar los actuadores a utilizar.
2. Mayor precisión en el sistema de seguimiento. A la hora de seguir el sol existen cierta desviación o margen de error. Mientras menos sea el error, mayor será la precisión y, por ende, la captación. Esto dependerá no solo de los actuadores utilizados, sino también del algoritmo de seguimiento y sensores utilizados.
3. Menor costo de fabricación. Este criterio se refiere al costo de producción del seguidor solar asociado tanto a los materiales, procesos de manufactura utilizados y acabados. Un menor costo de fabricación lo hace más accesible para su implementación.
4. Menor cantidad de componentes móviles. Este criterio se refiere al número de piezas móviles que tiene el seguidor solar. Un menor número de componentes móviles se traduce en un menor mantenimiento.
5. Diseño estético. Los seguidores solares son estructuras de gran tamaño que pueden tener un impacto significativo en el paisaje. Un diseño estético puede ayudar a integrar el seguidor solar al entorno de forma armoniosa y minimizar su impacto visual.

4.3.2 Búsqueda de soluciones

En esta etapa se busca acumular tantas posibles soluciones como el tiempo y los recursos disponibles lo permitan, se sugiere que las soluciones planteadas sean radicalmente diferentes entre sí pero que busquen siempre la originalidad e innovación ante las necesidades anteriormente presentadas. En este punto es importante apoyarse de distintos recursos como representaciones en 3D realizadas en softwares CAD para dar con un mejor enfoque de las ideas que se tienen. Es importante destacar que, las figuras mostradas en este punto son únicamente ilustrativas para un mejor entendimiento por parte del lector y no representan necesariamente la idea final.

4.3.2.1 Probable Solución No. 1

Como primera propuesta se plantea el diseño de un seguidor de eje polar como el mostrado en la Figura 31. Este diseño hace posible la implementación de hasta doce paneles fotovoltaicos. Accionados únicamente por un mecanismo de giro que hace posible el movimiento del eje principal inclinado. Posee amortiguadores en la parte inferior lo que permite un movimiento menos brusco y un anemómetro como instrumento de seguridad ante los vientos extremos. Se rige por un

algoritmo de movimiento astronómico lo cual le confiere una alta precisión. Además, cuenta con correderas lo que permite ajustar la inclinación de la estructura según sea necesario.

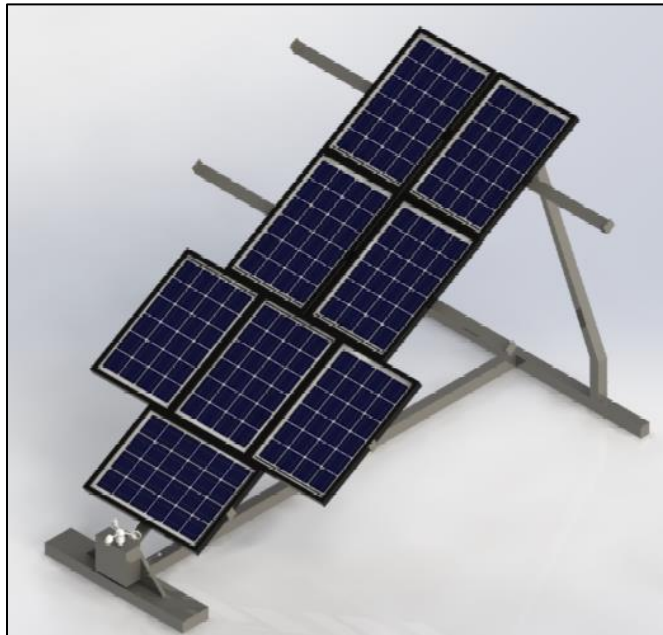


Figura 31: Alternativa de solución No. 1. Seguidor de eje polar.

Fuente: Prato, L. (2024)

4.3.2.2 Probable Solución No. 2

Se propone diseñar un seguidor de doble eje cuyo aspecto sea parecido al de una flor como el mostrado en la Figura 32a, donde en este caso los paneles no serían los convencionales rectangulares, sino que tendrían una geometría específica simulando los pétalos de una flor, los cuales se desplegarían de manera giratoria por un servomotor. Sus ejes serían accionados por un motor paso a paso ubicado en el interior de la base por un mecanismo por correa hasta un engrane central, mientras que su ángulo de inclinación sería ajustado por un actuador lineal ubicado en la parte superior de la base como se puede apreciar en la vista lateral indicada en la Figura 32b. Además, se considera un algoritmo de punto luminoso apoyado de sensores de luminosidad ubicados en su centro y un anemómetro como dispositivo de seguridad para los vientos extremos.

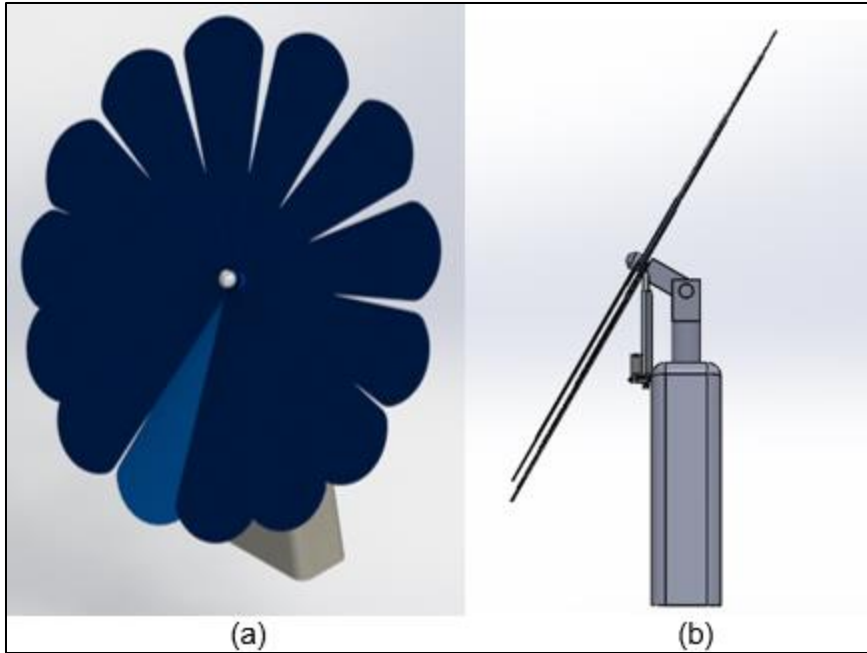


Figura 32: Alternativa de solución No. 2. Seguidor de doble eje tipo flor.
(a) Vista isométrica (b) Vista lateral

Fuente: Prato, L. (2024)

4.3.2.3 Probable Solución No. 3

Como tercera alternativa se propone un seguidor solar de doble eje accionado por motores de paso a paso. El movimiento de rotación se transmite desde la base por medio de un mecanismo compuesto por una correa y un par de engranajes cónicos accionados por un motor de paso a paso alojado en el interior de la base, mientras que el ángulo de inclinación del panel se transmite por el acople directo del motor de paso a un engrane hasta el eje principal horizontal. Esto se puede apreciar en la Figura 33. En este caso se planea implementar un algoritmo por programación astronómica para asegurar la máxima precisión. Además, cuenta con un anemómetro en caso de vientos extremos.

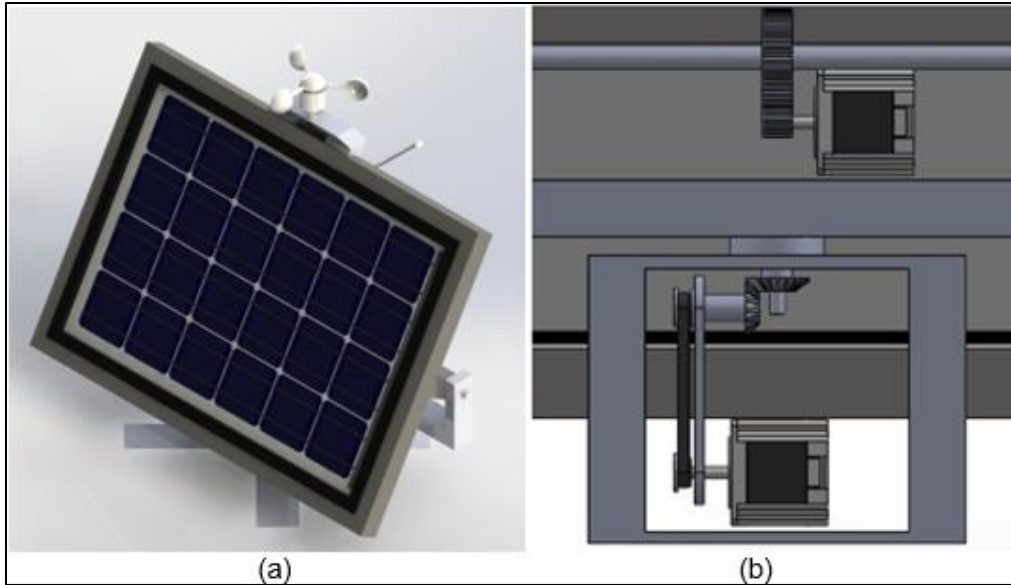


Figura 33: Alternativa de solución No. 3. Seguidor de doble eje con engranajes cónicos. (a) Vista isométrica, (b) Vista trasera del mecanismo

Fuente: Prato, L. (2024)

4.3.2.4 Probable Solución No. 4

Se propone el diseño de un seguidor de doble eje cuyo movimiento del azimut sea transmitido desde un motor de paso a paso por medio de una correa a un tornillo sinfín y de este último a un engranaje o corona (similar a un accionamiento de giro) en donde se ubicará el eje de rotación (Ver Figura 34c). Por otro lado, el movimiento de inclinación del panel será posible gracias a un actuador lineal cuyo vástago se retraerá o extenderá para cambiar el ángulo de elevación de los paneles (Ver Figura 34b). Como algoritmo de seguimiento se utilizará el algoritmo luminoso apoyado de cuatro sensores LDR ubicados estratégicamente, de manera que, cuando los 4 sensores posean el mismo valor de resistencia indicarán a donde apuntar. Una de las ventajas que presenta esta alternativa de diseño es que la rotación de la base no se encuentra al ras del suelo sino en una posición elevada y cercana a los paneles, lo que permite que la base que soporta la estructura sea totalmente fija, sin partes móviles.

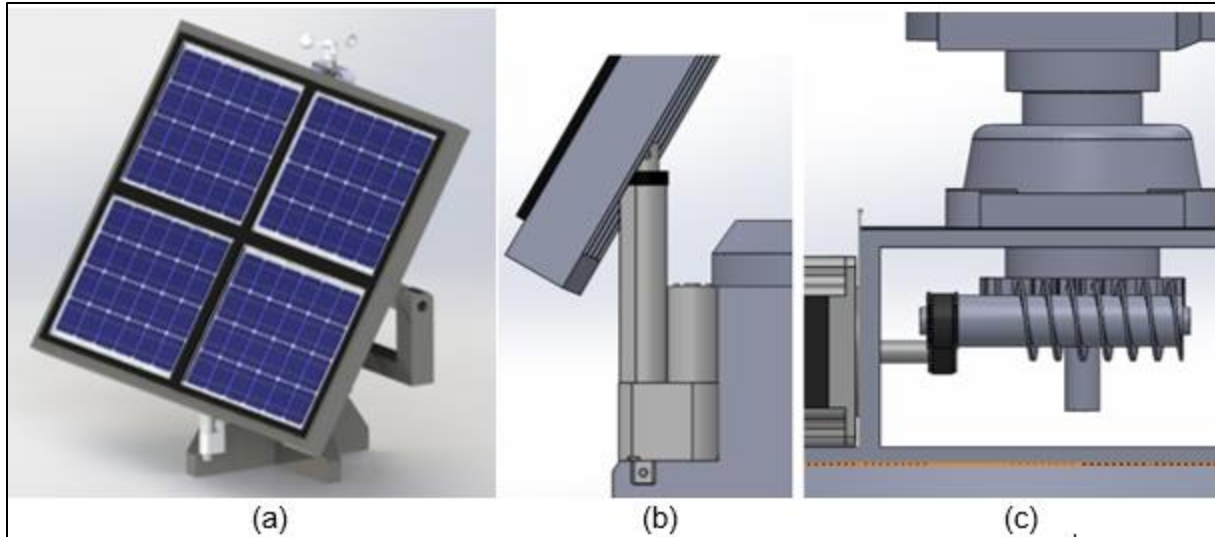


Figura 34: Alternativa de solución No. 4. Seguidor de doble eje con tornillo sinfín-corona. (a) Vista isométrica, (b) Vista lateral, (c) Vista del mecanismo de tornillo sinfín

Fuente: Prato, L. (2024)

4.3.2.5 Probable Solución No. 5

Como última alternativa se propone un seguidor solar de doble eje distinto a los sistemas anteriormente mostrados. En este caso, la estructura consta de una base giratoria que mueve toda la estructura al ras del suelo, por medio de un juego de ruedas y correa dentada, inspirado en el concepto de los seguidores de azimut. Por otra parte, se añade un segundo movimiento por medio de un tornillo sinfín que al girar desplaza una corredera (hacia arriba o hacia abajo) el cual cambia la inclinación de dos barras conforme esta avanza y con ella la inclinación de los paneles (Ver Figura 35). De esta manera se consigue un seguimiento parcial en dos ejes con un sistema mucho más simple. Sin embargo, el rango o ángulo que puede adoptar el panel se encuentra más limitado. Así mismo, se dispone de un seguimiento por punto luminoso debido a que el astronómico no sería del todo aprovechable.

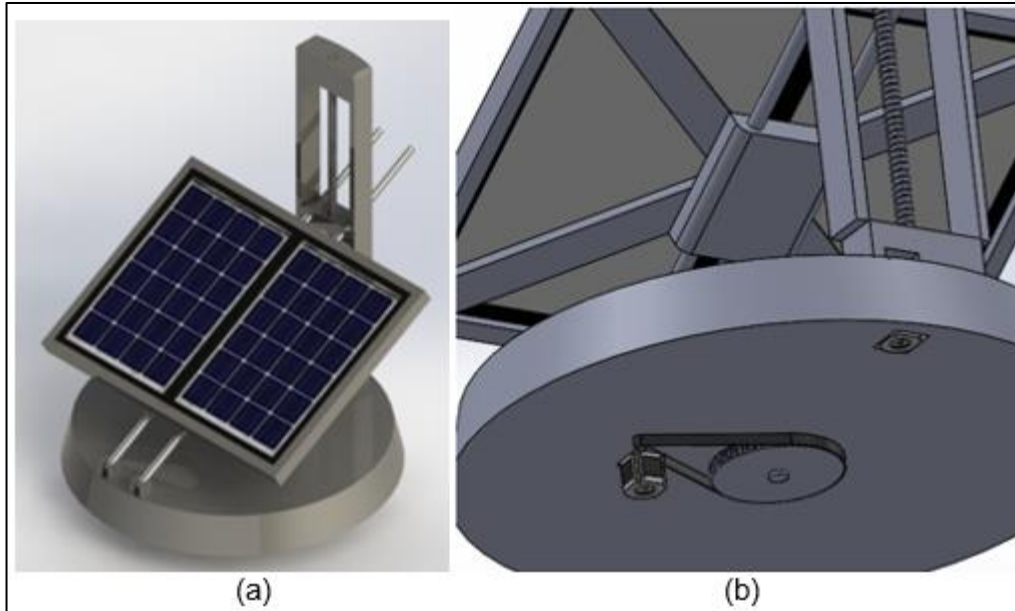


Figura 35: Alternativa de solución No. 5. Seguidor de doble eje con rotación al ras del suelo. (a) Vista isométrica, (b) Vista del mecanismo inferior

Fuente: Prato, L. (2024)

4.3.3 Selección de la mejor solución

Esta etapa consiste en evaluar y comparar las diferentes alternativas de diseño que se han generado en la etapa anterior en base a los criterios, restricciones, funcionalidad y rendimiento con la finalidad de elegir la más adecuada. Resulta obvio destacar qué, para que una probable solución se convierta en una verdadera solución, debe cumplir con todas y cada una de las restricciones aplicadas al diseño durante la etapa de especificaciones del sistema a diseñar, de lo contrario, será completamente descartada.

4.3.3.1 Aplicación de restricciones a las probables soluciones

Las probables soluciones (PS)_n son las siguientes:

- (PS)1: Seguidor de eje polar
- (PS)2: Seguidor de doble eje tipo flor
- (PS)3: Seguidor de doble eje con engranajes cónicos.
- (PS)4: Seguidor de doble eje con tornillo sinfín-corona.
- (PS)5: Seguidor de doble eje con rotación al ras del suelo.

Por otra parte, las restricciones (R_n) se indican de la siguiente manera:

- R1: Materiales resistentes a la corrosión.
- R2: Seguimiento tanto de azimut como de elevación.

- R3: Rango de elevación mínimo de 70°.
- R4: Resistencia al viento.
- R5: Adaptable a todo tipo de terrenos.

Cuadro 15: Restricciones aplicadas a las probables soluciones.

Restricciones	Probable Soluciones				
	(PS)1	(PS)2	(PS)3	(PS)4	(PS)5
R1	Si	Si	Si	Si	Si
R2	Si	Si	Si	Si	Si
R3	No	Si	Si	Si	No
R4	Si	Si	Si	Si	No
R5	No	Si	No	Si	No

Fuente: Prato, L. (2024)

Como se puede observar en el Cuadro 11 las únicas probables soluciones que cumplen con todas las restricciones planteadas son (PS)2 y (PS)4. Por lo tanto, (PS)1, (PS)3 y (PS)5 serán descartadas como posibles soluciones.

4.3.3.2 Ponderación de criterios

Una vez obtenidas las verdaderas soluciones y descartadas las probables soluciones que no cumplen con todas las restricciones, se deben evaluar los criterios en base a una puntuación, siendo “1” un criterio con poca importancia y “5” el criterio con mayor importancia. Para ello se indicará cada criterio de la siguiente manera:

- C1: Menor consumo de sus actuadores.
- C2: Mayor precisión en el sistema de seguimiento.
- C3: Menor costo de fabricación.
- C4: Menor cantidad de componentes móviles.
- C5: Diseño estético.

Por medio del Cuadro 16 se le otorgará una ponderación a cada criterio en relación al número de veces que se repite cada uno de ellos.

Cuadro 16: Comprobación lógica de criterios en base a su importancia.

Comparación	C1	C2	C3	C4	C5	No. de veces	Ponderación PC_x
C1						3	4
C2	C2					4	5
C3	C1	C2				1	2
C4	C1	C2	C4			2	3
C5	C1	C2	C3	C4		0	1
Orden de importancia	2do	1ero	4to	3ro	5to		

Fuente: Prato, L. (2024)

4.3.3.3 Ponderación de soluciones respecto a cada criterio

Partiendo de las soluciones obtenidas a partir de las posibles soluciones, se procede a relacionarlas con los criterios para obtener valores lógicos de comprobación, donde P_{xn} es la ponderación que tendrá cada solución “x” respecto a cada criterio “n”. Las dos soluciones obtenidas (S2 y S4) cumplen con las restricciones, por lo que se debe ver cuál es mejor en base a los criterios establecidos. En este caso, al solo comparar únicamente dos soluciones, se colocará un puntaje de 2 a la solución que se repita y 1 a la solución que no aparezca.

- S2: Seguidor de doble eje tipo flor.
- S4: Seguidor de doble eje con tornillo sinfín-corona.

Cuadro 17: Soluciones evaluadas con respecto al criterio C1.

C1	S2	S4	No. de veces	$P_{x1} = N$
S2			0	$P_{21} = 1$
S4	S4		1	$P_{41} = 2$
Orden de aceptación	2do	1ero		

Fuente: Prato, L. (2024)

Cuadro 18: Soluciones evaluadas con respecto al criterio C2.

C2	S2	S4	No. de veces	$P_{x2} = N$
S2			0	$P_{22} = 1$
S4	S4		1	$P_{42} = 2$
Orden de aceptación	2do	1ero		

Fuente: Prato, L. (2024)

Cuadro 19: Soluciones evaluadas con respecto al criterio C3.

C3	S2	S4	No. de veces	$P_{x3} = N$
S2			0	$P_{23} = 1$
S4	S4		1	$P_{43} = 2$
Orden de aceptación	2do	1ero		

Fuente: Prato, L. (2024)

Cuadro 20: Soluciones evaluadas con respecto al criterio C4.

C4	S2	S4	No. de veces	$P_{x4} = N$
S2			1	$P_{24} = 2$
S4	S2		0	$P_{44} = 1$
Orden de aceptación	1ero	2do		

Fuente: Prato, L. (2024)

Cuadro 21: Soluciones evaluadas con respecto al criterio C5.

C5	S2	S4	No. de veces	$P_{x5} = N$
S2			1	$P_{25} = 2$
S4	S2		0	$P_{45} = 1$
Orden de aceptación	1ero	2do		

Fuente: Prato, L. (2024)

4.3.3.4 Ponderación final

La ponderación final de criterios es importante porque permite a los diseñadores tomar decisiones informadas y basadas en datos objetivos. Al tener una comprensión clara de los diferentes factores que influyen en el diseño del sistema, pueden tomar decisiones más efectivas y eficientes para lograr los objetivos del proyecto. Para ello, se utilizará una fórmula que relaciona la ponderación de cada criterio con cada solución dando al final un valor numérico, la solución que tenga el número mayor será la solución elegida.

Cuadro 22: Valor final de cada solución

PC_x	P_{2x}	$PC_x \cdot P_{2x}$	P_{4x}	$PC_x \cdot P_{4x}$
PC_1	P_{21}	$PC_1 \cdot P_{21} = 4$	P_{41}	$PC_1 \cdot P_{41} = 8$
PC_2	P_{22}	$PC_2 \cdot P_{22} = 5$	P_{42}	$PC_2 \cdot P_{42} = 10$
PC_3	P_{23}	$PC_3 \cdot P_{23} = 2$	P_{43}	$PC_3 \cdot P_{43} = 4$
PC_4	P_{24}	$PC_4 \cdot P_{24} = 6$	P_{44}	$PC_4 \cdot P_{44} = 3$
PC_5	P_{25}	$PC_5 \cdot P_{25} = 2$	P_{45}	$PC_5 \cdot P_{45} = 1$
		$\sum (PC_x \cdot P_{2x}) = 19$	$\sum (PC_x \cdot P_{4x}) = 26$	

Fuente: Prato, L. (2024)

Por medio de los resultados obtenidos en el Cuadro 22, se puede concluir que la solución S4 (Seguidor de doble eje con tornillo sinfín-corona) es la más indicada para satisfacer las necesidades establecidas. Una vez determinado esto, se puede pasar a la fase del diseño.

4.4 Fase IV: Diseño del seguidor fotovoltaico seleccionado, que permita generar energía eléctrica a su máximo rendimiento

La presente fase consiste en el diseño detallado del seguidor fotovoltaico correspondiente a la solución seleccionada. En esta etapa se realizan los debidos cálculos de esfuerzos, factores de seguridad, selección de materiales y dimensionamiento de los principales elementos mecánicos que conforman la estructura del seguidor solar, así como también su modelado en softwares CAD. Además, se realizan pruebas y simulaciones para garantizar que el diseño cumpla con los requerimientos de fiabilidad. De igual manera, se seleccionarán todos los componentes eléctricos y electrónicos necesarios, así como el sistema de control que conducirá el seguidor.

4.4.1 Diseño mecánico del seguidor solar

4.4.1.1 Dimensionamiento del soporte de los paneles

Para dimensionar correctamente el soporte donde irán colocados los paneles es necesario saber las dimensiones de los paneles a utilizar. Para ello, se escogerán los paneles tomando en consideración aspectos como la masa, potencia nominal y dimensiones. Por medio del Cuadro 23 se recopilaron las características técnicas de distintos modelos de paneles solares disponibles en el mercado.

Cuadro 23: Cuadro comparativo características técnicas de paneles solares en el mercado.

Fabricante	Modelo	Eficiencia	Potencia nominal [W]	Dimensiones [mm]	Masa [kg]
SunPower	MAX3-390	22.1%	390	1690 x 1046	19
SunPower	MAX3-400	22.6%	400	1690 x 1046	19
SunPower	SRP-MAX3-360	22,7%	415	1812 x 1046	21,2
Novelec	PERC bifacial	21,3%	550	2278 x 1134	32,5
Novelec	LR5-54HTB	22%	430	1722 x 1134	20,8
Novelec	POWERXT-415R	20,9%	415	1813 x 1095	20,7
Techno-Sun	215 NHE	21,6 %	210	1570 x 798	15
Techno-Sun	QFC 210	21,6 %	210	1480 x 985	21
Intelligenio	Split Max	21%	340	2024 x 1004	22,8
Intelligenio	Bifacial DuoMax	21,5%	405	1658 x 992	23

Fuente: SunPower (2022), Intelligenio (2020), Techno-Sun (2020), Novelec (2024)

En base a estos datos se considera que la mejor elección es el panel monocristalino MAX3-400 de SunPower (Ver Figura 36) que además de poseer una alta eficiencia entre los modelos de la tabla, posee una potencia nominal de 400W, masa de 19 kg y dimensiones de 1690 x 1046 mm. En la Figura 37 se puede ver el modelo 3D del panel seleccionado.

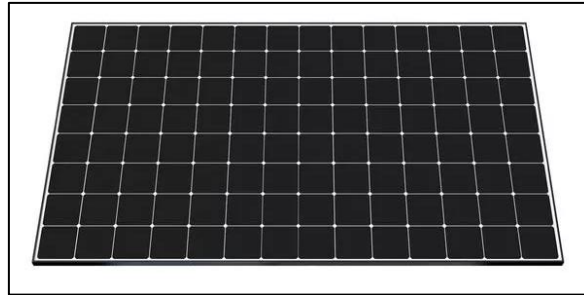


Figura 36: Panel monocristalino MAX3-400

Fuente: SunPower (2022)

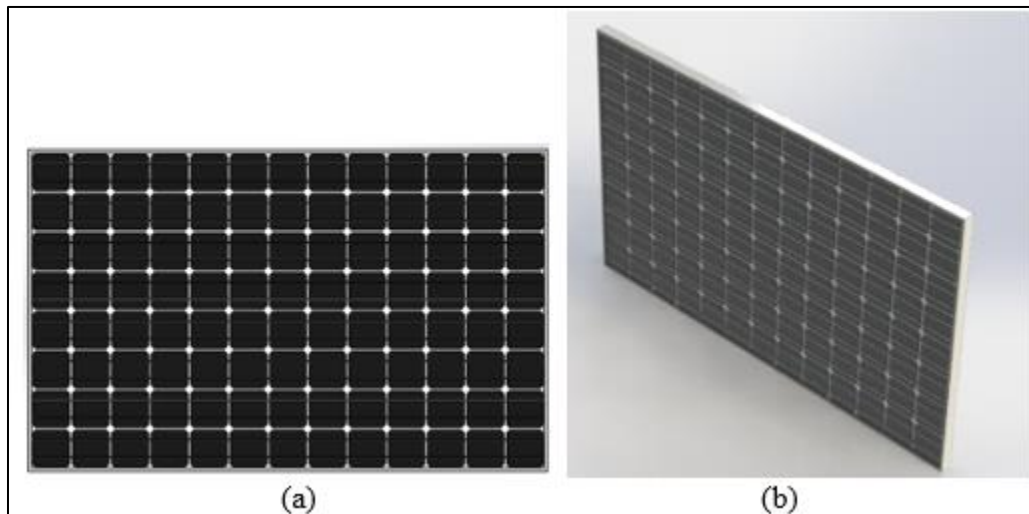


Figura 37: Panel modelado en SolidWorks. (a) Vista en alzado, (b) Renderizado

Fuente: Prato, L. (2024)

En lo que respecta al diseño del soporte se dispondrán de perfiles de acero galvanizado en caliente de manera que puedan soportar las condiciones del ambiente. Luego para definir sus dimensiones, se debe considerar que el espesor de cada panel es de 50 mm, por lo que, se utilizara el perfil cuyas dimensiones estén dentro del rango establecido. A continuación, se muestran los planos y el modelado del soporte en las Figuras 38 y 39 respectivamente. Dichos planos se encuentran dimensionados en milímetros (mm).

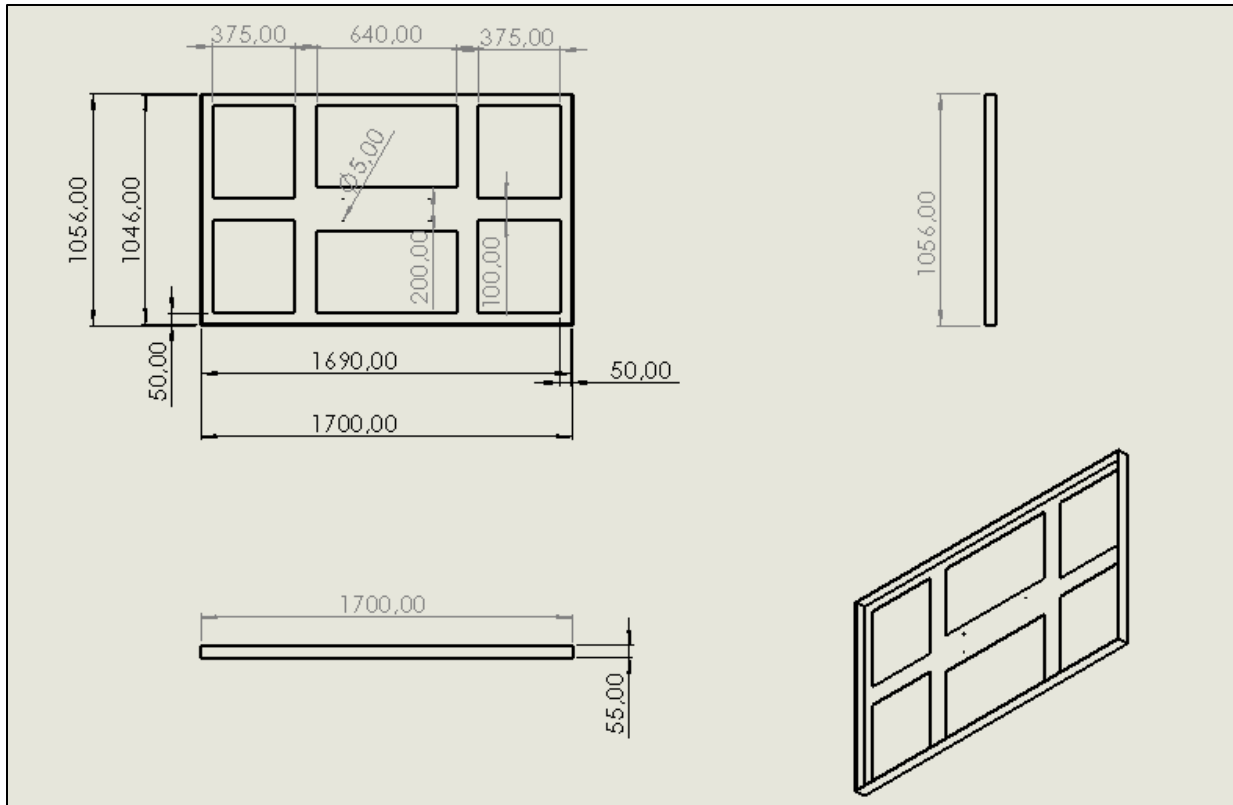


Figura 38: Planos del soporte.

Fuente: Prato, L. (2024)

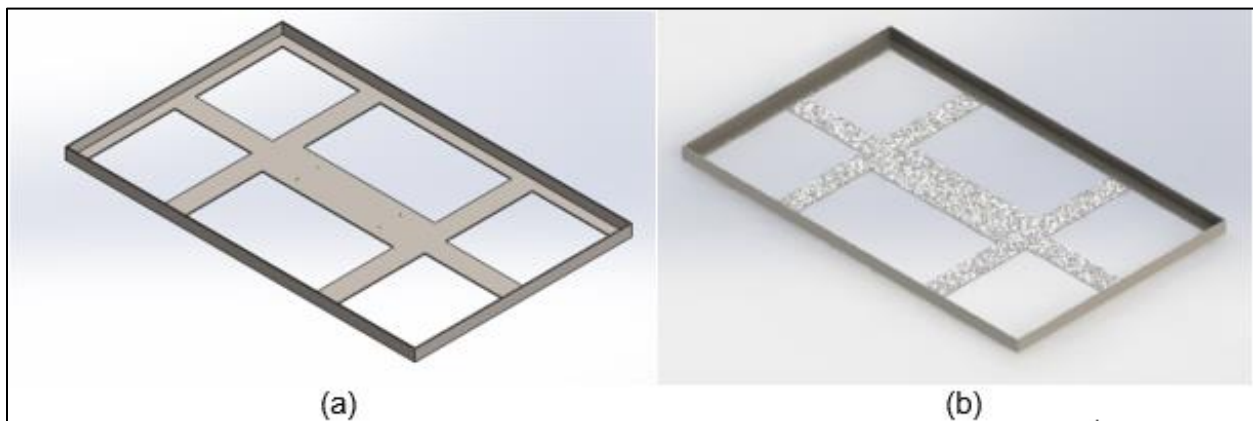


Figura 39: Soporte modelado en SolidWorks. (a) Vista isométrica, (b) Renderizado

Fuente: Prato, L. (2024)

4.4.1.2 Diseño y dimensionamiento del mecanismo de inclinación

El mecanismo de inclinación permitirá cambiar la orientación del panel solar siguiendo la trayectoria del Sol de este a oeste. En este caso se busca un rango de movimiento relativamente amplio que permita seguir la trayectoria hasta el punto más alto del Sol en el día. Para ello se considerará un desplazamiento angular total de 75° , empezando en su punto bajo de 15° con

respecto a la horizontal, hasta llegar a los 90° al final de su recorrido. Este mecanismo consta de tres partes principales, unidas entre sí; y un eje mediante el cual gira dicho mecanismo por acción de un actuador lineal. En las Figuras 40 a la 47 se observan las dimensiones y modelos 3D de las tres partes anteriormente mencionadas y el eje que permite el movimiento de inclinación.

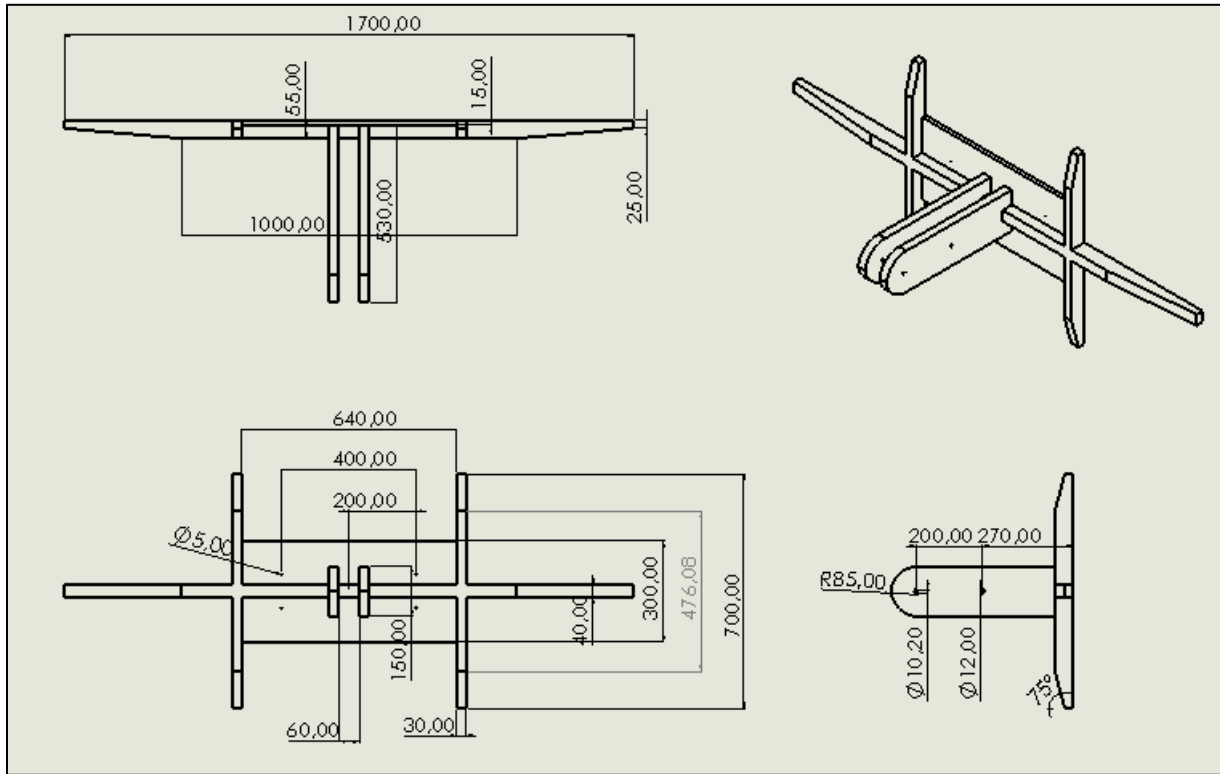


Figura 40: Plano parte No. 1 mecanismo de inclinación

Fuente: Prato, L. (2024)

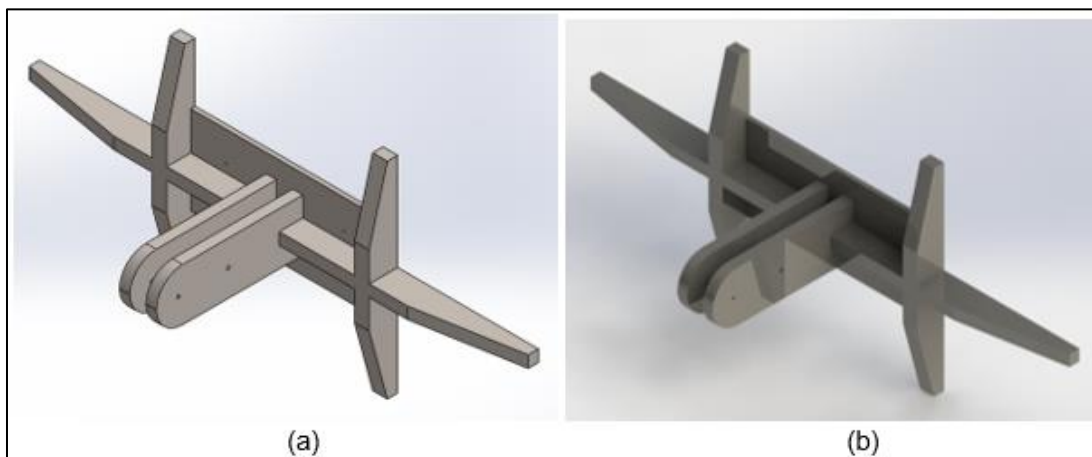


Figura 41: Parte No. 1 mecanismo de inclinación modelado en SolidWorks.

(a) Vista isométrica, (b) Renderizado.

Fuente: Prato, L. (2024)

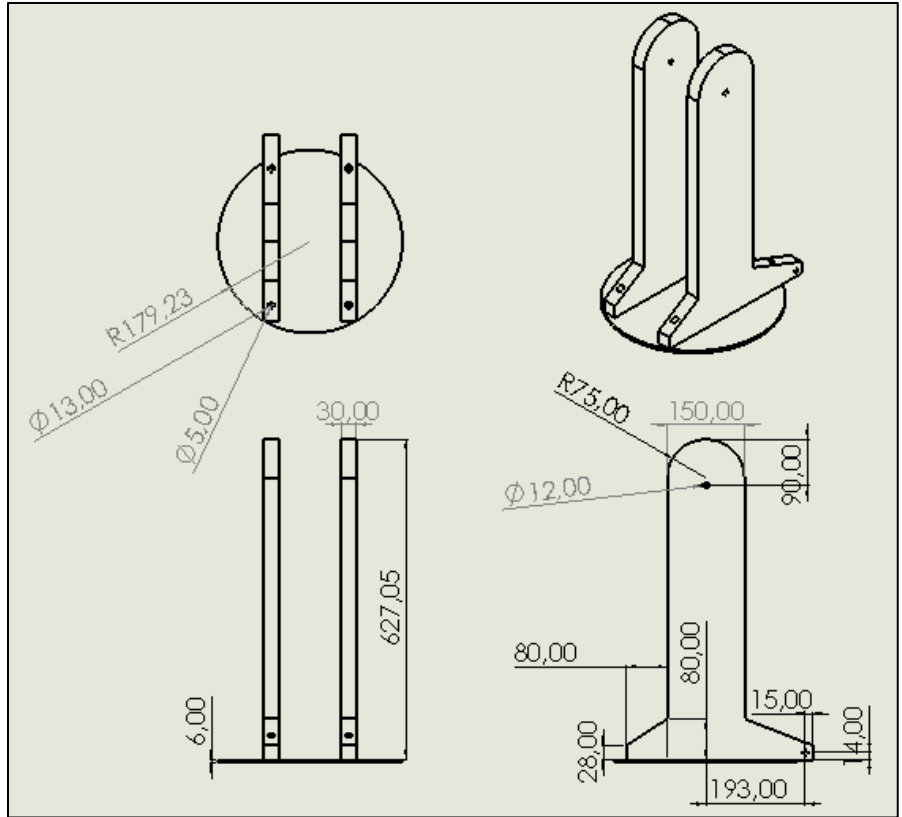


Figura 42: Plano parte No. 2 mecanismo de inclinación.

Fuente: Prato, L. (2024)

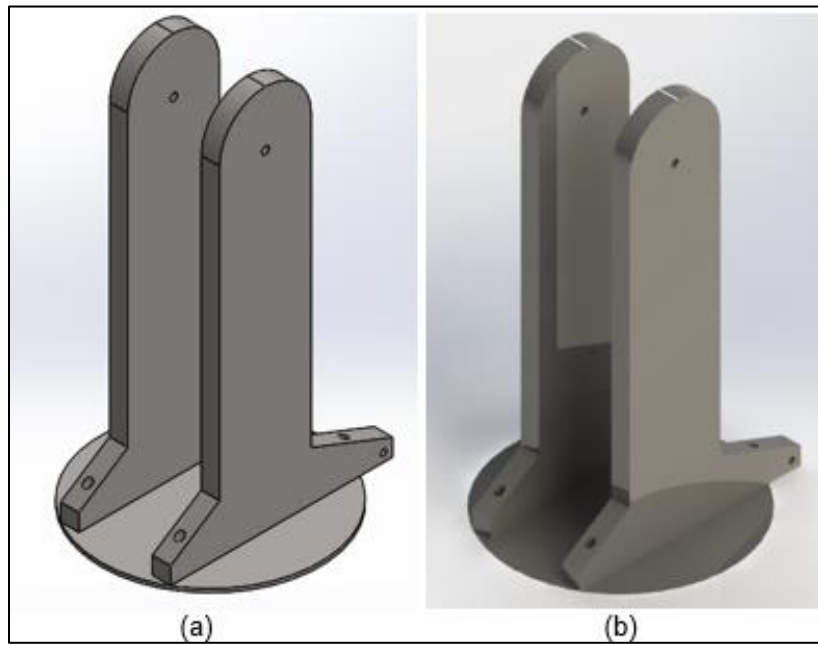


Figura 43: Parte No. 2 mecanismo de inclinación modelado en SolidWorks.
(a) Vista isométrica, (b) Renderizado.

Fuente: Prato, L. (2024)

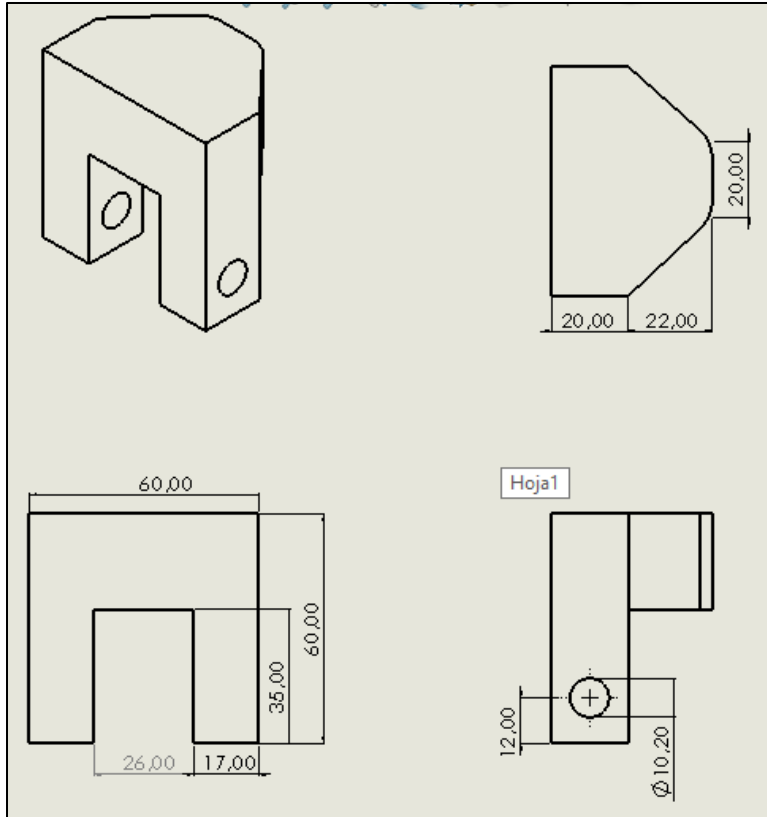


Figura 44: Plano Parte No. 3 mecanismo de inclinación.

Fuente: Prato, L. (2024)

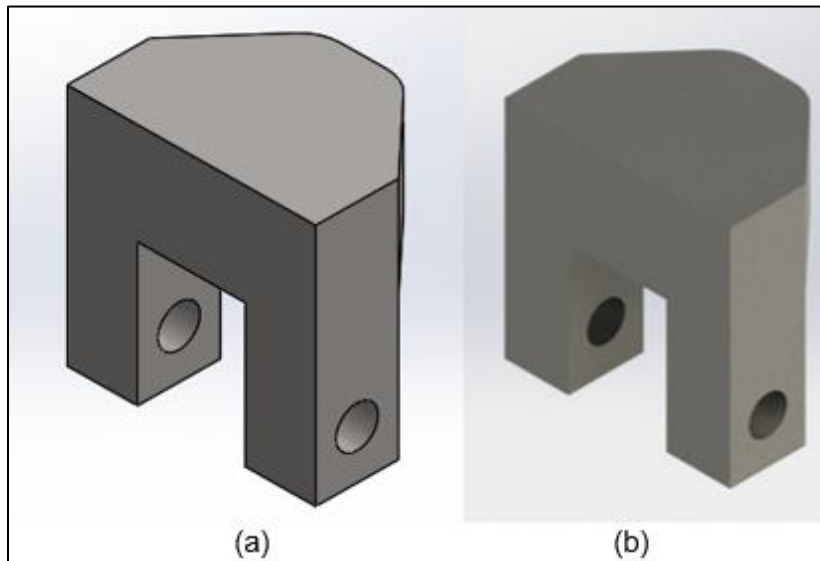


Figura 45: Parte No. 3 mecanismo de inclinación modelado en SolidWorks.

(a) Vista isométrica, (b) Renderizado.

Fuente: Prato, L. (2024)

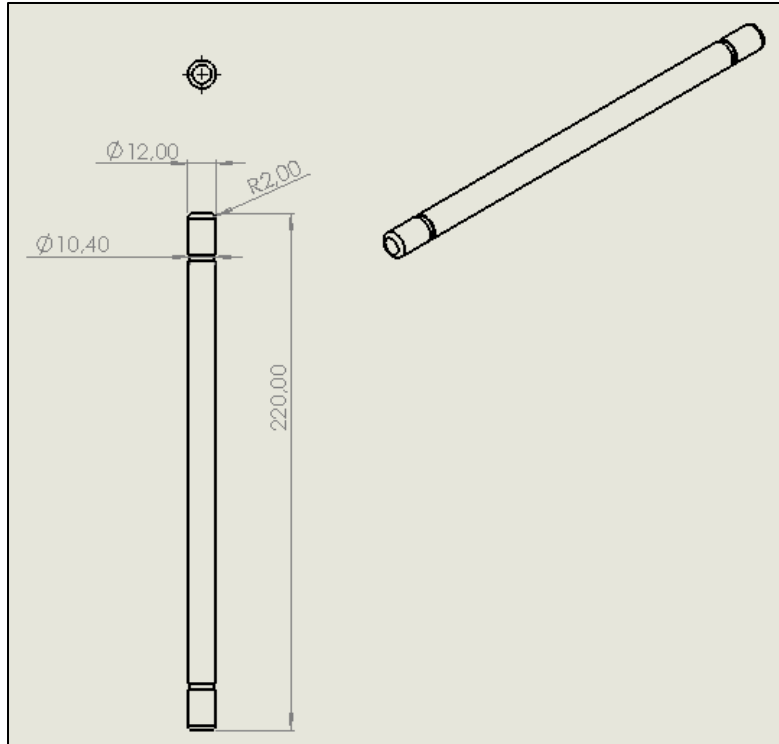


Figura 46: Planos del eje de inclinación.

Fuente: Prato, L. (2024)

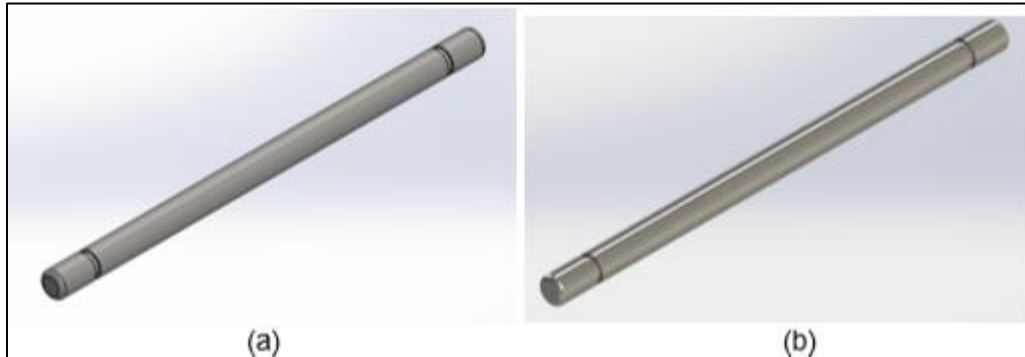


Figura 47: Eje de inclinación modelado en SolidWorks.

(a) Vista isométrica, (b) Renderizado.

Fuente: Prato, L. (2024)

La parte No. 1 del mecanismo de inclinación deberá ir unida al soporte que sostiene el panel. Esto se logra empleando cuatro tornillos uniformemente distanciados. Estos tornillos están sometidos a un esfuerzo cortante simple producido por el peso del panel y el soporte, como se puede apreciar en la Figura 48. Para escoger los tornillos adecuados se necesita saber el diámetro mínimo capaz de aguantar el esfuerzo sin deformarse plásticamente. Para ello, se hará uso de las Ecuaciones 4 y 5.

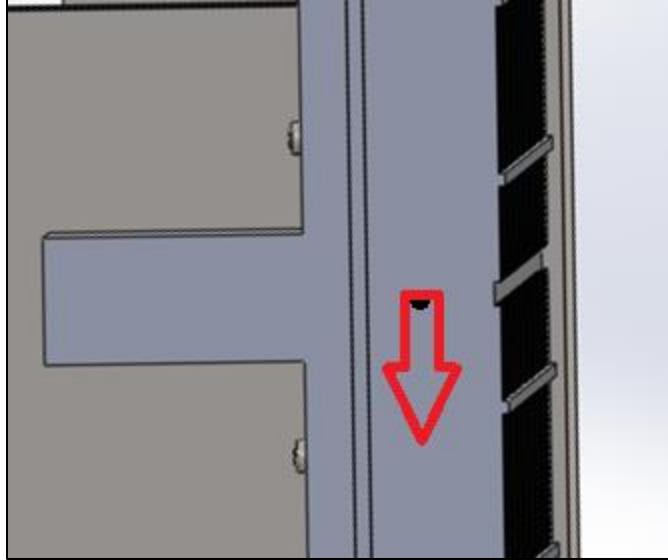


Figura 48: Esfuerzo cortante producido por el peso del panel y soporte

Fuente: Prato, L. (2024)

$$\tau_{adm} = \frac{P}{A_{Total\ de\ corte}} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

τ_{adm} : Esfuerzo cortante

P : Carga producida por el peso

$A_{Total\ de\ corte}$: Área de corte total

La Ecuación 5 es una forma más desarrollada de la Ecuación 4.

$$\frac{S_{ycorte}}{N} = \frac{P}{A_{Tornillos} \cdot n} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

S_{ycorte} : Límite elástico a corte

N : Factor de seguridad

$A_{Tornillos}$: Área de la sección de corte de los tornillos

n : Número de tornillos

La carga P que soportan los tornillos, se obtienen a partir del cálculo de la masa del soporte más la masa del panel. Esta última ya se conoce. Sin embargo, la del soporte no. Para determinarla se utilizó el comando calcular en SolidWorks, lo que permitió determinar primeramente el volumen del sólido y posteriormente la masa, obteniendo que la masa del soporte es de 35,08 kg, por lo tanto, la masa total es de 54,8kg, lo que se traduce en un peso de 530,56 N.

Debido a que la estructura estará expuesta a las condiciones ambientales, se escogió acero inoxidable como el material idóneo para estos tornillos. El límite elástico S_y para el acero inoxidable es de 241 MPa . Por otra parte, el límite elástico a corte es aproximadamente la mitad del límite elástico a tracción por lo cual se tiene que $S_{y_{corte}} = 0,5S_y = 120,5 \text{ MPa}$. Para uniones sometidas únicamente a corte se asume un factor de seguridad de $N = 2$, El área de los tornillos sometida a corte corresponde al área de una circunferencia y el número de tornillo del que se disponen es de 4. Una vez aclarado esto, sustituyendo y despejando el diámetro, se tiene:

$$\frac{S_{y_{corte}}}{N} = \frac{P}{A_{\text{Tornillos}} \cdot n}$$

$$\frac{S_{y_{corte}}}{N} = \frac{4P}{\pi d^2 \cdot n}$$

$$d = \sqrt{\frac{4P \cdot N}{\pi \cdot n \cdot S_{y_{corte}}}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4(530,56N) \cdot (2)}{\pi \cdot (4) \cdot (120,5 \times 10^6 \text{ Pa})}}$$

$$d = 1,67 \times 10^{-3} \text{ m} = 1,67 \text{ mm}$$

Los tornillos de diámetro 2mm servirían para esta aplicación. Sin embargo, se escogieron tornillos de acero inoxidable Phillips M5 x 20 con paso de 0,8mm como los mostrados en la Figura 49. En las Figuras 50 y 51 se muestran las dimensiones y modelos 3D de los tornillos anteriormente seleccionados.



Figura 49: Tornillos Phillips M5x20 de acero inoxidable.

Fuente: Torec (2024)

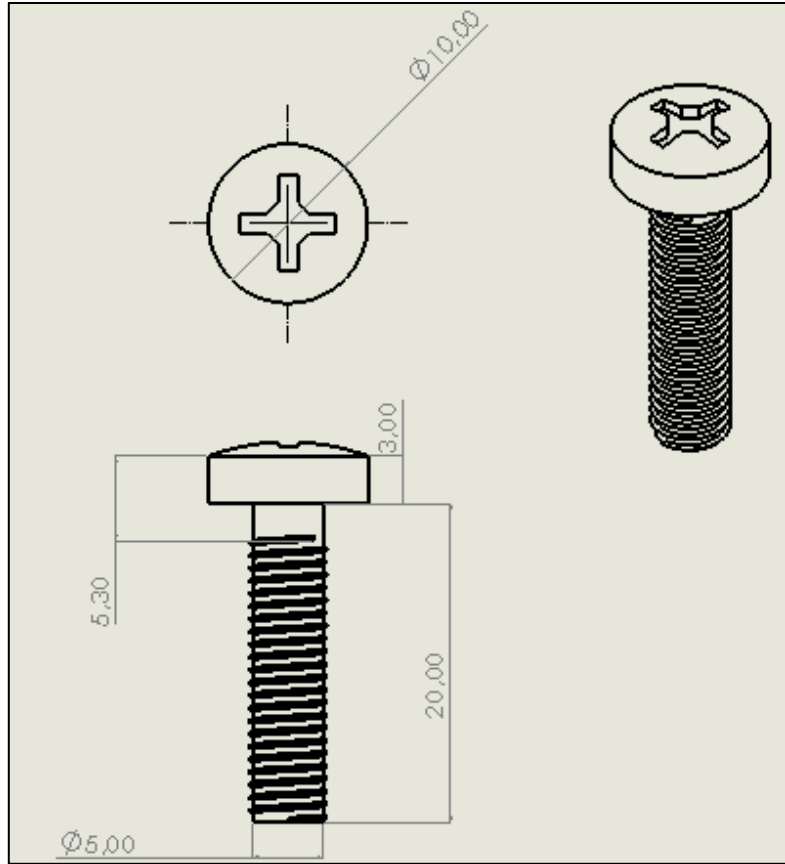


Figura 50: Plano del tornillo Phillips M5x20

Fuente: Prato, L. (2024)

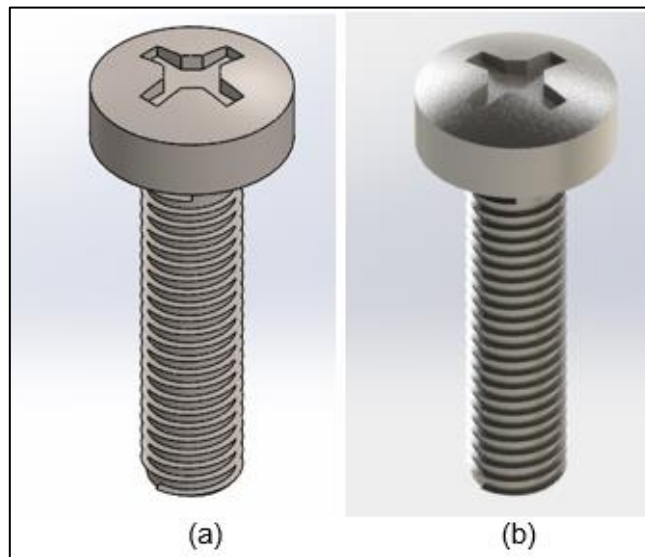


Figura 51: Tornillo M5x20 modelado en SolidWorks.
(a) Vista Isométrica, (b) Renderizado

Fuente: Prato, L. (2024)

4.4.1.3 Selección del actuador lineal

Al momento de seleccionar un actuador lineal es importante considerar varios factores clave. En primer lugar, se debe tener en cuenta el consumo de energía del actuador, ya que esto afectará directamente en el rendimiento final. Además, es fundamental evaluar tanto la fuerza de empuje como la fuerza de tracción que el actuador es capaz de ejercer. Estas dos variables determinarán la capacidad del actuador para mover cargas pesadas o realizar trabajos que requieran una gran fuerza. Por último, la longitud de la carrera del vástago también es un factor crucial a tener en cuenta, ya que determinará el rango de movimiento del actuador. Esto último dependerá en gran medida del dimensionamiento que se les haya dado a las distintas partes del mecanismo.

Antes de seleccionar un actuador para un sistema en particular, es fundamental determinar la fuerza necesaria que este debe producir. El torque producido por la fuerza ejercida del actuador debe ser suficiente para vencer al torque producido por el peso del centro de masa del objeto que se desea mover. De lo contrario, es posible que el actuador seleccionado no sea lo suficientemente potente para mover el mecanismo. En la Figura 52 se tiene un análisis de fuerzas donde se pueden observar las distancias correspondientes a los brazos de momento. Tanto el centroide correspondiente al punto C como la masa fueron determinados gracias a la opción Calcular del software SolidWorks.

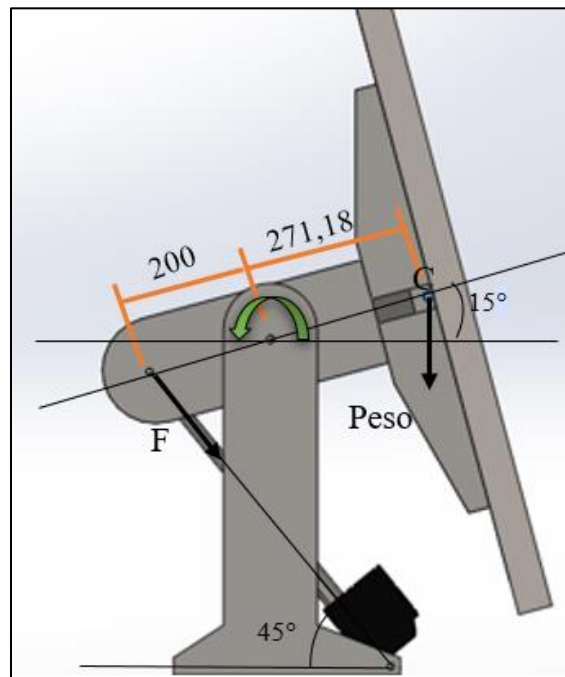


Figura 52: Esquema ilustrativo del mecanismo de inclinación.

Fuente: Prato, L. (2024)

Se evaluará en su posición más baja donde el brazo es el de mayor longitud con respecto al eje de giro.

$$\sum M_o = 0 \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde M_o es la sumatoria de los momentos que giran en torno al eje. Asumiendo un momento positivo si es contrario a la aguja del reloj.

$$\sum M_o = 0$$

$$F \cdot d_F - \text{Peso} \cdot d_{\text{peso}} = 0$$

$$F \cdot d_F - m \cdot g \cdot d_{\text{peso}} = 0$$

$$F \cdot (\cos 30) \cdot (200 \times 10^{-3} m) - (153,48 kg) \cdot (9,8 m/s^2) \cdot (\cos 15) \cdot (271,18 \times 10^{-3} m) = 0$$

$$F = \frac{(1504,10 N) \cdot (\cos 15) \cdot (271,18 \times 10^{-3} m)}{(200 \times 10^{-3} m) \cdot (\cos 30)}$$

$$F = 2274,67 N$$

De manera que, para que el sistema esté en equilibrio el actuador debe producir una fuerza de 2274,67 N. Por lo tanto, para mover el mecanismo se necesitará una fuerza de tracción y empuje mayor a la obtenida.

Se busca que el mecanismo tenga el mayor rango de movimiento posible. Como se mencionó anteriormente el objetivo es permitir que el panel pueda desplazarse desde una posición de 15° a 90° con respecto a la horizontal; de esta manera se consigue que el panel pueda seguir al Sol cuando este se encuentra en el horizonte, como el amanecer, por ejemplo, hasta el punto más alto en la esfera solar, al medio día aproximadamente. En la Figura 53, se puede observar cómo será el funcionamiento, donde el vástago extendido (Figura 53a) corresponde al punto más bajo de su recorrido y conforme el vástago se vaya retrayendo el panel se elevará hasta alcanzar los 90° en su punto más elevado (Figura 53b). Es necesario que la longitud de la carrera del vástago del actuador permita cubrir estas distancias.

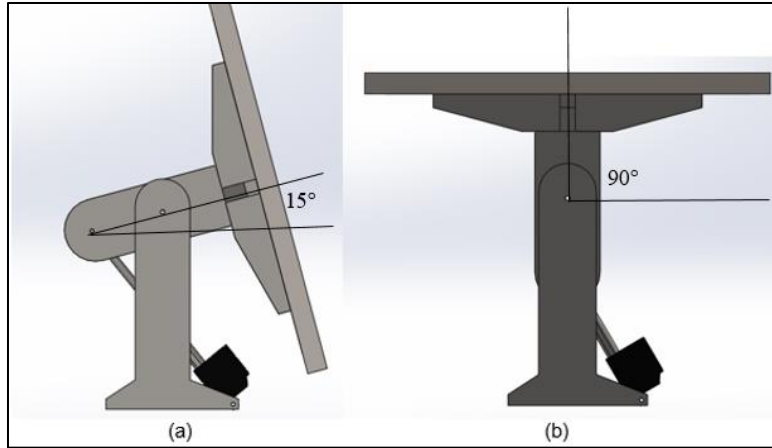


Figura 53: Ilustración del movimiento angular de inclinación.
(a) Vástago extendido (b) Vástago retraído

Fuente: Prato, L. (2024)

Una vez considerado lo anteriormente mencionado y evaluando datos técnicos en distintos catálogos, se escogió el actuador lineal LA23 mostrado en la Figura 54 de la marca Linak (Ver Anexo A). Posee un motor que se alimenta de una fuente de 24V DC, consume 1,7A, es capaz de ejercer 2500N de fuerza tanto en empuje como en tracción y una longitud de carrera de 250mm. El actuador fue modelado en el software SolidWorks cuyas dimensiones tanto del cuerpo como del vástago y modelo 3D se aprecian en las Figuras 55, 56 y 57 respectivamente mostradas a continuación.



Figura 54: Actuador lineal marca LINAK modelo LA23.

Fuente: LINAK (2024)

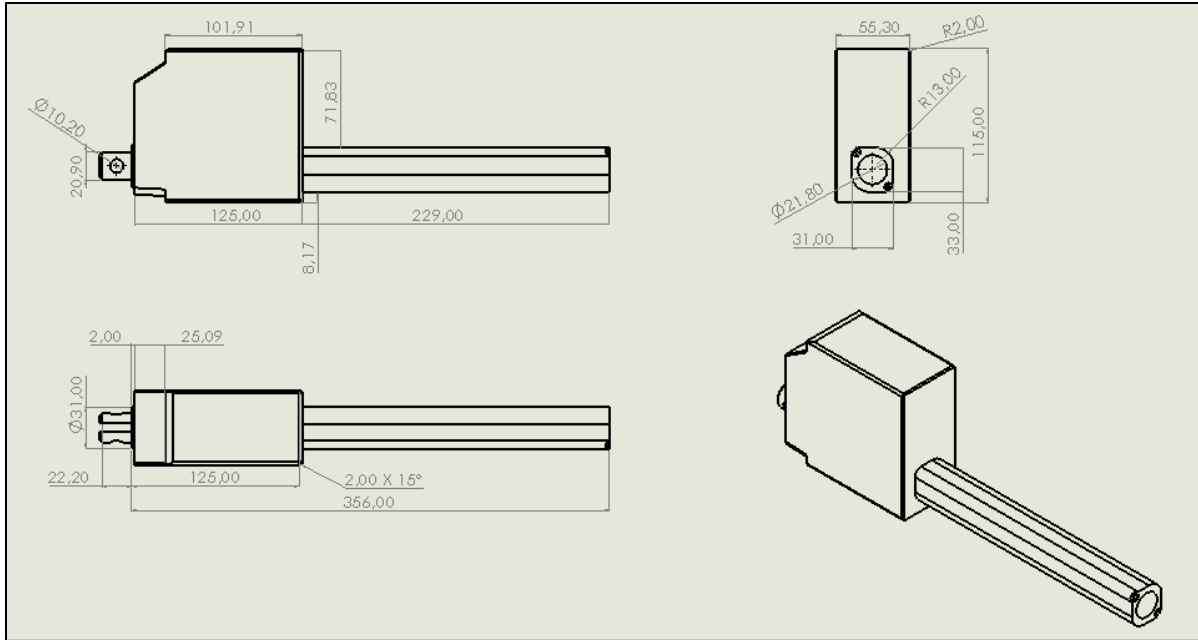


Figura 55: Plano del cuerpo del actuador lineal.

Fuente: Prato, L. (2024)

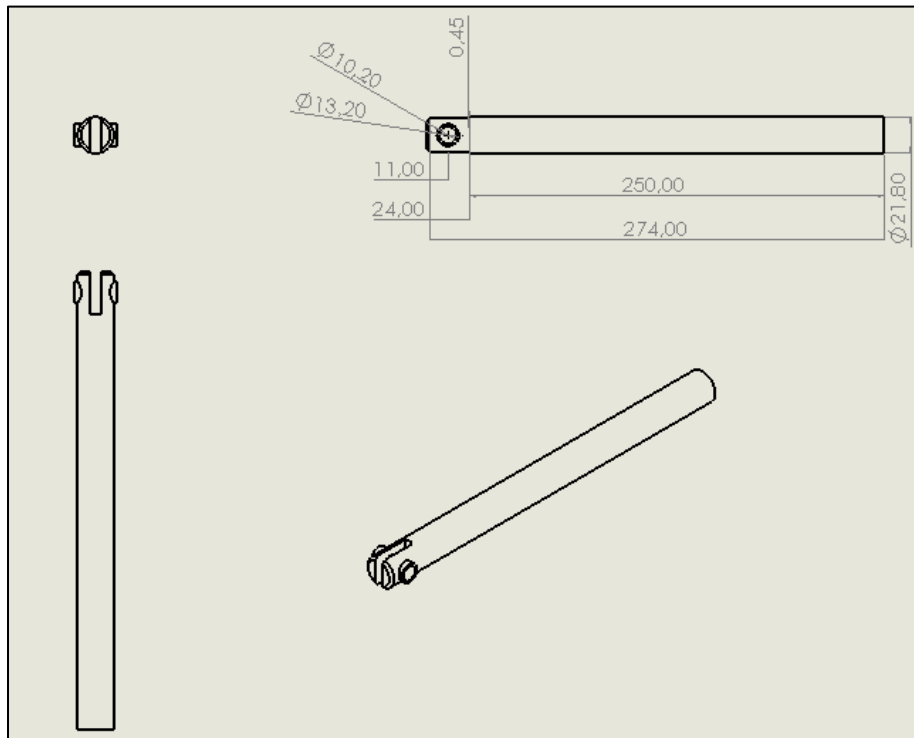


Figura 56: Plano del vástago del actuador lineal

Fuente: Prato, L. (2024)

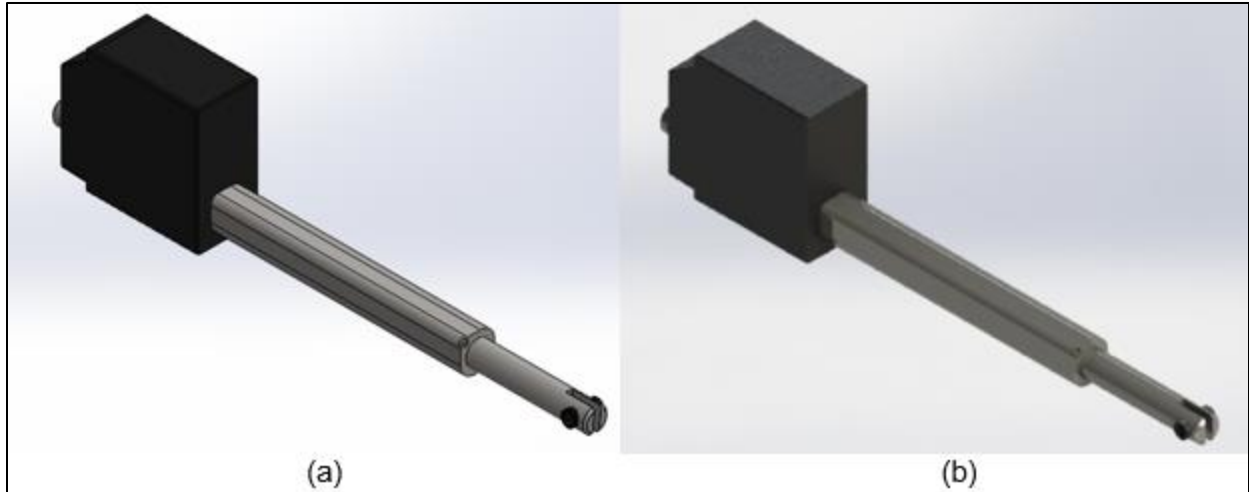


Figura 57: Actuador lineal modelado en SolidWorks. (a) Vista isométrica, (b) Renderizado

Fuente: Prato, L. (2024)

4.4.1.4 Diseño del sistema de transmisión

El mecanismo de seguimiento vertical complementa el seguimiento de elevación. Este permite rotar la estructura para seguir el Sol la otra mitad del día y así permitir el descenso de inclinación del panel, además de adaptar el seguimiento para ubicaciones de media y alta latitud. está compuesto por una correa, un tornillo sinfín y rueda dentada o corona que trabajan en conjunto para garantizar un movimiento preciso. La correa se encarga de transmitir la fuerza del motor de pasos al tornillo sinfín, el cual a su vez hace girar la corona para generar un desplazamiento angular en torno a un eje vertical desde la base. En la Figura 58 mostrada a continuación se puede observar una representación del mecanismo.

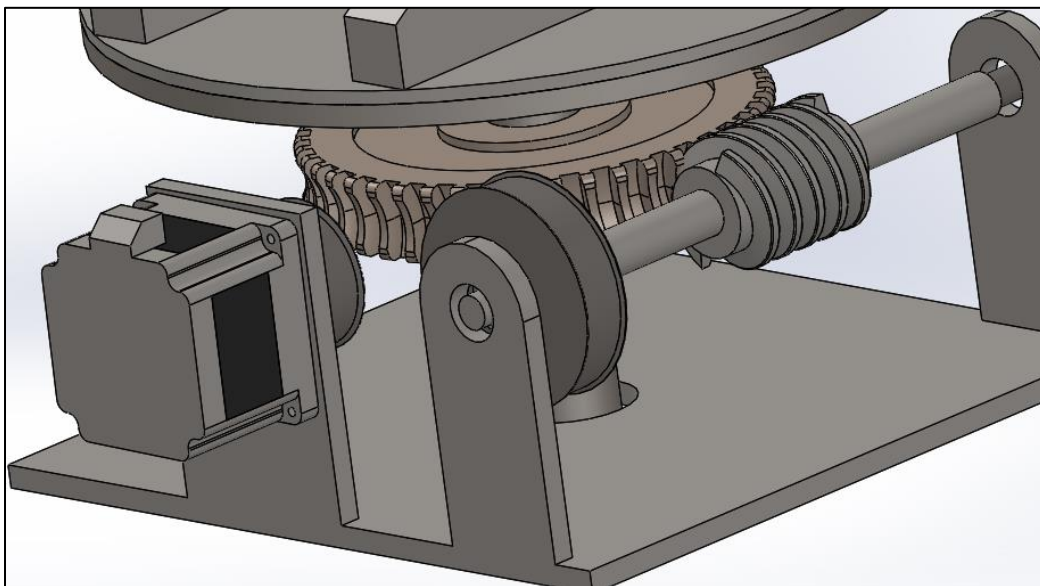


Figura 58: Mecanismo de transmisión de seguimiento en azimut

Fuente: Prato, L. (2024)

Primero fue necesario diseñar la correa de transmisión. Sin embargo, antes de comenzar a diseñar la correa, es fundamental elegir el actuador adecuado. Este es el componente que se encarga de transmitir el movimiento a la correa, por lo que su elección determinará en gran medida el rendimiento del sistema. Se consideraron motores de paso para esta aplicación debido a su excelente relación tamaño/torque, además de permitir movimiento precisos y reducidos. En este caso, se seleccionó el motor NEMA 34 de la marca Elindar (Ver Anexo B). En las Figuras 60 y 61 se presentan las dimensiones y modelo 3D del motor seleccionado.



Figura 59: Motor de pasos NEMA 34

Fuente: Elindar (2019)

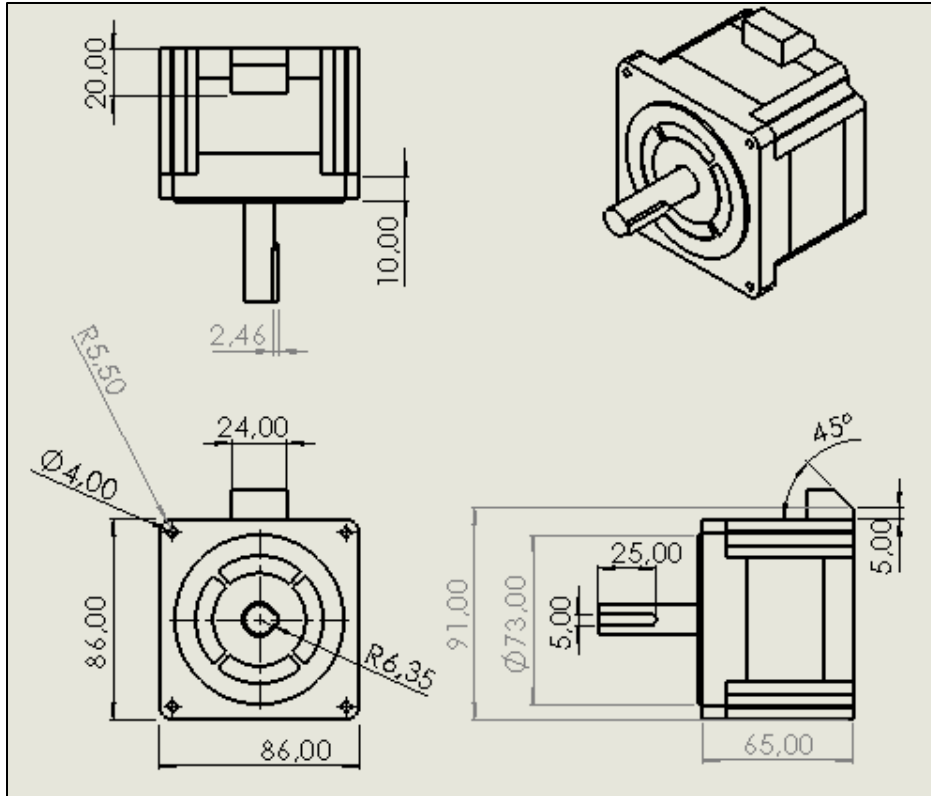


Figura 60: Planos del motor de pasos NEMA 34.

Fuente: Prato, L. (2024)

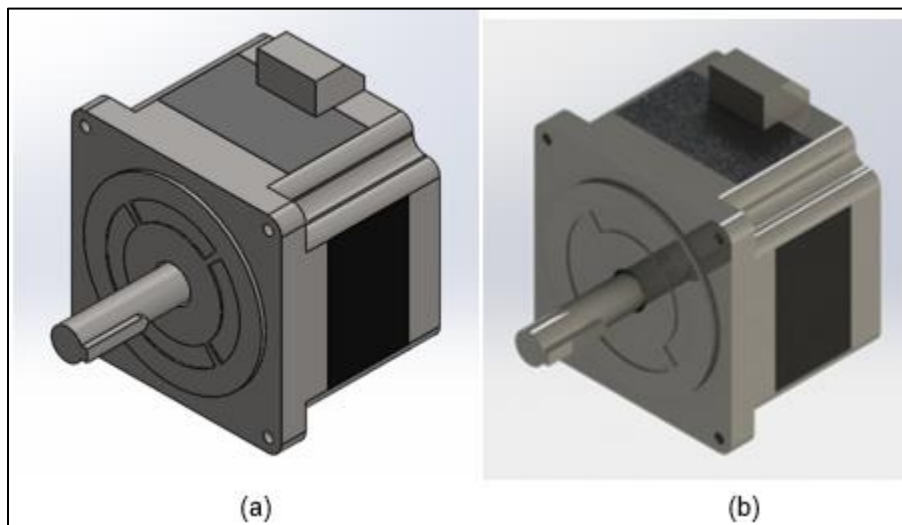


Figura 61: Motor NEMA 34 modelado en SolidWorks.

(a) Vista Isométrica (b) Renderizado

Fuente: Prato, L. (2024)

En vista de que la velocidad de movimiento y la distancia entre centros no es muy elevada, se diseñó una correa. Para ello se asumió una distancia entre centros $C = 140mm$, un diámetro

mayor $D = 92mm = 3,6 \text{ pulg}$ y un diámetro menor correspondiente al piñón del eje del motor $d = 61mm = 2,4 \text{ pulg}$. Primero se calcula los respectivos ángulos de contacto de ambos ejes (θ_d y θ_D) utilizando las Ecuaciones (7) y (8). Posteriormente, con los ángulos obtenidos se calcula la longitud de la banda tentativa ($L_{tentativa}$) aplicando la Ecuación (9).

$$\theta_d = \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{D-d}{2C} \right) \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$\theta_d = \pi - 2 \sin^{-1} \left(\frac{92mm - 61mm}{2(140mm)} \right)$$

$$\theta_d = 167,29^\circ \approx 2,92 \text{ rad}$$

$$\theta_D = \pi + 2 \sin^{-1} \left(\frac{D-d}{2C} \right) \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$\theta_D = \pi + 2 \sin^{-1} \left(\frac{92mm - 61mm}{2(130mm)} \right)$$

$$\theta_D = 192,71^\circ \approx 3,36 \text{ rad}$$

Habiendo determinado los ángulos se calcula la longitud de banda tentativa:

$$L_{tentativa} = [4C^2 - (D - d)^2]^{1/2} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d) \quad \text{Ecuación (10)}$$

$$L_{tentativa} = [4(140mm)^2 - (92mm - 61mm)^2]^{1/2} + \frac{1}{2} [(92mm)(2,92) + (61mm)(3,36)]$$

$$L_{tentativa} = 515,08 \text{ mm}$$

La relación o razón de velocidad (R_v) está dada por el cociente entre los diámetros.

$$R_v = \frac{D}{d} \quad \text{Ecuación (11)}$$

$$R_v = \frac{92}{61}$$

$$R_v = 1,5$$

Ahora es necesario calcular las fuerzas que actúan en la correa y durante todo su recorrido. Para ello se calculó primero la velocidad lineal (V_b) aplicando al Ecuación (13). Si bien para las condiciones de trabajo no se tendrá un movimiento continuo debido a que el seguimiento solar es un proceso paulatino; igualmente resulta necesario para términos de diseño considerar la velocidad. Por lo cual se utiliza la Ecuación (12) para calcular las RPM máximas del motor de pasos (n_{motor}).

$$n_{motor} = \frac{V}{2L.I.spr} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Donde: (L) es la Inductancia, (I) es la corriente máxima y (spr) son los pasos por revolución.

$$n_{motor} = \frac{1,7V}{2(4,3 \times 10^{-3}H) \cdot (4A) \cdot (200 \text{pasos/rev})}$$

$$n_{motor} = 0,398 \text{ rps} = 23,88 \text{ rpm}$$

$$V_b = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{motor}}{12} \quad \text{Ecuación (13)}$$

$$V_b = \frac{\pi \cdot (2,4 \text{ pulg}) \cdot (23,88 \text{ rpm})}{12}$$

$$V_b = 15 \text{ fpm}$$

Una vez obtenido esto, se procede a calcular la fuerza centrífuga (F_c) por medio de la Ecuación (14). Para ello se recurre a la Tabla 1. Escogiendo como material para banda poliamida de especificación F-2^c cuyo diámetro mínimo debe ser de 2,4 pulg. Obteniendo un espesor $t = 0,07$ pulg, coeficiente de fricción $\mu = 0,5$, peso específico $\gamma = 0,51 \text{ lb/pulg}^3$ de y tensión permisible $F_a = 60 \text{ lbf/pulg}$. Además, se asume un ancho de banda $b = 0,75 \text{ pulg}$.

Tabla 1: Propiedades de algunos materiales de las bandas

Material	Especificación	Tamaño, pulg	Diámetro mínimo de la polea, pulg	Tensión permisible por ancho unitario a 600 pies/min, lbf/pulg	Peso específico, lbf/pulg ³	Coefficiente de fricción	
Cuero	1 capa	$t = \frac{11}{64}$	3	30	0.035-0.045	0.4	
		$t = \frac{13}{64}$	$3\frac{1}{2}$	33	0.035-0.045	0.4	
	2 capas	$t = \frac{18}{64}$	$4\frac{1}{2}$	41	0.035-0.045	0.4	
		$t = \frac{20}{64}$	6 ^a	50	0.035-0.045	0.4	
		$t = \frac{23}{64}$	9 ^a	60	0.035-0.045	0.4	
Poliamida ^b	F-0 ^c	$t = 0.03$	0.60	10	0.035	0.5	
	F-1 ^c	$t = 0.05$	1.0	35	0.035	0.5	
	F-2 ^c	$t = 0.07$	2.4	60	0.051	0.5	
	A-2 ^c	$t = 0.11$	2.4	60	0.037	0.8	
	A-3 ^c	$t = 0.13$	4.3	100	0.042	0.8	
	A-4 ^c	$t = 0.20$	9.5	175	0.039	0.8	
	A-5 ^c	$t = 0.25$	13.5	275	0.039	0.8	
Uretano ^d	$w = 0.50$	$t = 0.062$	Vea la tabla	5.2 ^e	0.038-0.045	0.7	
	$w = 0.75$	$t = 0.078$	17-3	9.8 ^e	0.038-0.045	0.7	
	$w = 1.25$	$t = 0.090$		18.9 ^e	0.038-0.045	0.7	
	Redonda	$d = \frac{1}{4}$		Vea la tabla	8.3 ^e	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{3}{4}$		17-3	18.6 ^e	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{1}{2}$			33.0 ^e	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{3}{4}$			74.3 ^e	0.038-0.045	0.7

Fuente: Shigley (2008)

$$F_c = \frac{w}{g} \left(\frac{V}{60} \right)^2 \quad \text{Ecuación (14)}$$

$$F_c = \frac{\gamma \cdot b \cdot t}{g} \left(\frac{V}{60} \right)^2$$

$$F_c = \frac{(12 \text{ pulg/pie})(0,051 \text{ lbf/pulg}^3) \cdot (0,75 \text{ pulg})(0,11 \text{ pulg}) \left(\frac{15 \text{ pies/min}}{60} \right)^2}{32,17 \text{ pies/s}^2}$$

$$F_c = 9,81 \times 10^{-5} \text{ lbf}$$

La fuerza centrífuga resulta prácticamente despreciable debido a las bajas velocidades. Ahora calculamos la tensión permisible máxima $((F_1)_a)$ utilizando al Ecuación (15).

$$(F_1)_a = F_a \cdot b \cdot C_v \cdot C_p \quad \text{Ecuación (15)}$$

Donde C_v es el factor de velocidad que para bandas de poliamidas es igual a 1, C_p es el factor de corrección que se obtiene por medio de la Tabla 2, b el ancho de banda y F_a la tensión permisible dada por el fabricante.

$$(F_1)_a = (60 \text{ lbf/pulg}) \cdot (0,75 \text{ pulg}) \cdot (1) \cdot (0,73)$$

$$(F_1)_a = 32,85 \text{ lbf}$$

Tabla 2: Factor de corrección C_p .

Material	Diámetro de la polea menor, pulg					
	1.6 a 4	4.5 a 8	9 a 12.5	14 y 16	18 a 31.5	Más de 31.5
Cuero	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Poliamida	F-0	0.95	1.0	1.0	1.0	1.0
	F-1	0.70	0.92	0.95	1.0	1.0
	F-2	0.73	0.86	0.96	1.0	1.0
	A-2	0.73	0.86	0.96	1.0	1.0
	A-3	—	0.70	0.87	0.94	0.96
	A-4	—	—	0.71	0.80	0.85
A-5	—	—	—	0.72	0.77	0.91

* Los valores promedio de C_p para los intervalos dados se aproximaron a partir de curvas en el *Habasit Engineering Manual*, Habasit Belting, Inc., Chamblee (Atlanta), Ga.

Fuente: Shigley (2008)

Finalmente, se calculó la tensión del lado flojo (F_2) y tensión del lado tirante (F_i) aplicando las Ecuaciones (16) y (17) respectivamente. El motor de pasos seleccionado ejerce un torque de $T = 3,5 \text{ Nm} = 30,97 \text{ lbf} \cdot \text{pulg}$ (Ver Anexo B).

$$(F_1)_a - F_2 = \frac{2T}{d} \quad \text{Ecuación (16)}$$

$$F_2 = (F_1)_a - \frac{2T}{d}$$

$$F_2 = 32,85 \text{ lbf} - \frac{2(30,96 \text{ lbf} \cdot \text{pulg})}{(2,4 \text{ pulg})}$$

$$F_2 = 7,05 \text{ lbf}$$

$$F_i = \frac{(F_1)_a + F_2}{2} \quad \text{Ecuación (17)}$$

$$F_i = \frac{32,85 \text{ lbf/pulg} + 7,05 \text{ lbf}}{2}$$

$$F_i = 19,95 \text{ lbf}$$

Con la longitud de banda tentativa $L_{tentativa} = 515,08\text{mm}$ y asumiendo una carga ligera de acuerdo a la Tabla 3 se seleccionó una correa sincrónica. Utilizando el catálogo TEXROPE, se seleccionó la correa sincrónica dentada 210 L (Ver Anexo C) que posee una longitud $L = 533,4\text{mm}$.

Tabla 3: Pasos estándares de correas síncronas

Servicio	Designación	Paso p , pulgadas
Extraligero	XL	$\frac{1}{5}$
Ligero	L	$\frac{3}{8}$
Pesado	H	$\frac{1}{2}$
Extrapesado	XH	$\frac{7}{8}$
Doble extrapesado	XXH	$1\frac{1}{4}$

Fuente: Shigley (2008)

Se recalcula la distancia entre centros calculando primero el factor B por medio de las Ecuaciones (18) y (19).

$$B = 4L - 2\pi(D + d) \quad \text{Ecuación (18)}$$

$$B = 4(533,4\text{mm}) - 2\pi(92\text{mm} + 61\text{mm})$$

$$B = 1171,87\text{mm}$$

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D - d)^2}}{16} \quad \text{Ecuación (19)}$$

$$C = \frac{1171,87\text{mm} + \sqrt{(1171,87\text{mm})^2 - 32(92\text{mm} - 61\text{mm})^2}}{16}$$

$$C = 145,66 \text{ mm}$$



Figura 62: Correa 210L.

Fuente: Prato, L. (2024)

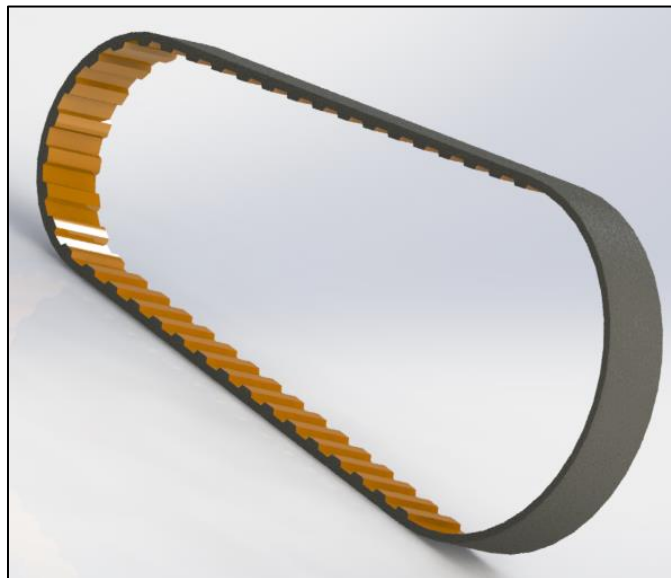


Figura 63: Correa 210L modelada en SolidWorks.

Fuente: Prato, L. (2024)

En lo que respecta al tornillo sinfín, este se somete a esfuerzos muy altos por lo que normalmente se requiere acero endurecido. Se utilizan aceros de bajo carbono como el AISI 1020, 1117, 8620, 4320 o al medio carbono como los AISI 4140 o 4150 endurecidos con un recubrimiento HRC 58-62. Se escogió el acero 1020 sometido a un proceso de cementación como material para el sinfín. Por otro lado, el engrane o corona requiere fabricarse con un material blando, así como lo suficientemente manipulable para funcionar en condiciones de alto deslizamiento. Normalmente se utilizan bronce al fósforo, platino o al manganeso. Para las

condiciones de trabajo que se presentan se escogió un bronce al manganeso fundido y enfriado como material para la corona debido a las escasas RPM requeridas.

Para el cálculo del grupo tornillo sinfín-corona se utilizó la metodología AGMA. Para el diseño fue pertinente asumir ciertos datos que son necesarios para el correcto dimensionamiento. Entre ellos se asumieron: ángulo de presión $\phi = 14,5^\circ$, paso diametral $P_d = 6 \text{ pulg}^{-1}$ y número de entradas en el tornillo sinfín $N_w = 2$.

Tabla 4: Número de dientes mín. parar engranes según el ángulo de presión.

ϕ_n	$(N_G)_{\min}$
14.5	40
17.5	27
20	21
22.5	17
25	14
27.5	12
30	10

Fuente: Shigley (2008)

Según la Tabla 4, para un ángulo de presión de $14,5^\circ$ el número mínimo de dientes para la corona es $N_{gmin} = 40$, por lo que se usará $N_{gmin} = 45$. Ahora bien, como el paso diametral de la corona $P_d = 6 \text{ pulg}^{-1}$, se calcula el paso circular normal (P_c) mediante la Ecuación (20) y el paso axial (P_x) mediante la Ecuación (21):

$$P_c = \frac{\pi}{P_d} \quad \text{Ecuación (20)}$$

$$P_c = \frac{\pi}{6 \text{ pulg}^{-1}}$$

$$P_c = 0,524 \text{ pulg}$$

Debido a que el ángulo entre los ejes de rotación del sinfín y la corona es de 90° el paso axial del tornillo sinfín es igual al paso circular de la corona.

$$P_x = P_c \quad \text{Ecuación (21)}$$

$$P_x = P_c = 0,524 \text{ pulg}$$

Ahora se determina la geometría del diente de la corona, para esto se calcula el addendum o altura de cabeza (a) mediante la ecuación (22), el dedendum o altura de raíz (b) mediante la

ecuación (23), la altura de trabajo (h_k) mediante la ecuación (24) y la altura total del diente (h_t) mediante la ecuación (25). Siguiendo lo indicado en la Tabla 5.

Tabla 5: Dimensiones comunes tornillo sinfín cilíndrico y corona

Cantidad	Símbolo	ϕ_n		
		14.5° $N_W \leq 2$	20° $N_W \leq 2$	25° $N_W > 2$
Cabeza (addendum)	a	$0.3183p_x$	$0.3183p_x$	$0.286p_x$
Raíz (dedendum)	b	$0.3683p_x$	$0.3683p_x$	$0.349p_x$
Profundidad total	h_t	$0.6866p_x$	$0.6866p_x$	$0.635p_x$

Fuente: Shigley (2008)

$$a = 0,3183P_x \quad \text{Ecuación (22)}$$

$$a = 0,3183(0,524)$$

$$a = 0,167 \text{ pulg}$$

$$b = 0,3683P_x \quad \text{Ecuación (23)}$$

$$b = 0,3683(0,524)$$

$$b = 0,193 \text{ pulg}$$

$$h_k = \frac{2}{P_d} \quad \text{Ecuación (24)}$$

$$h_k = \frac{2}{6 \text{ pulg}^{-1}}$$

$$h_k = 0,333 \text{ pulg}$$

$$h_t = \frac{2,167}{P_d} \quad \text{Ecuación (25)}$$

$$h_t = \frac{2,167}{6 \text{ pulg}^{-1}}$$

$$h_t = 0,361 \text{ pulg}$$

A continuación, se determina la geometría de la corona, para esto se calcula el diámetro de paso (D_g) mediante la Ecuación (26), el diámetro exterior (D_{tG}) mediante la Ecuación (27), y el diámetro de raíz (D_{rG}) mediante la Ecuación (28):

$$D_g = \frac{N_g}{P_d} \quad \text{Ecuación (26)}$$

$$D_g = \frac{45}{6 \text{ pulg}^{-1}}$$

$$D_g = 7,5 \text{ pulg}$$

$$D_{tG} = D_g + 2a$$

Ecuación (27)

$$D_{tG} = 7,5 \text{ pulg} + 2(0,167 \text{ pulg})$$

$$D_{tG} = 7,834 \text{ pulg}$$

$$D_{rG} = D_g - 2b$$

Ecuación (28)

$$D_{rG} = 7,5 \text{ pulg} - 2(0,193 \text{ pulg})$$

$$D_{rG} = 7,114 \text{ pulg}$$

Posteriormente, se determina la geometría del tornillo sinfín, para esto se calcula el diámetro de paso del sinfín (D_w) mediante la Ecuación (29), el diámetro exterior (D_{eW}) mediante la Ecuación (30), el diámetro de raíz (D_{rW}) mediante la Ecuación (31), el avance (L) mediante la Ecuación (32), el ángulo de avance (λ) mediante la Ecuación (33), el ángulo de hélice (Ψ) mediante la Ecuación (34) y la longitud del ancho de cara del sinfín (F_w) mediante la Ecuación (35).

Teniendo en cuenta que se debe cumplir $\frac{c^{0,875}}{1,7} \leq D_w \leq \frac{c^{0,875}}{3}$, entonces se utiliza $D_w = \frac{c^{0,875}}{2,2}$.

Asumiendo una distancia entre centros $C = 5,25 \text{ pulg}$.

$$D_w = \frac{c^{0,875}}{2,2}$$

Ecuación (29)

$$D_w = \frac{(5,25 \text{ pulg})^{0,875}}{2,2}$$

$$D_w = 1,94 \text{ pulg}$$

$$D_{eW} = D_w + 2a$$

Ecuación (30)

$$D_{eW} = 1,94 \text{ pulg} + 2(0,167 \text{ pulg})$$

$$D_{eW} = 2,274 \text{ pulg}$$

$$D_{rW} = D_w - 2b$$

Ecuación (31)

$$D_{rW} = 1,94 \text{ pulg} - 2(0,193 \text{ pulg})$$

$$D_{rW} = 1,554 \text{ pulg}$$

$$L = N_w P_x \quad \text{Ecuación (32)}$$

$$L = (2)(0,524 \text{ pulg})$$

$$L = 1,048 \text{ pulg}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{L}{\pi D_w} \right) \quad \text{Ecuación (33)}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left[\frac{1,048 \text{ pulg}}{\pi(1,94 \text{ pulg})} \right]$$

$$\lambda = 9,76^\circ$$

$$\Psi = 90 - \lambda \quad \text{Ecuación (34)}$$

$$\Psi = 90 - 9,76^\circ$$

$$\Psi = 80,24^\circ$$

$$F_w = 2 \left[\sqrt{\left(\frac{1}{2} D_{tG} \right)^2 - \left(\frac{1}{2} D_G - a \right)^2} \right] \quad \text{Ecuación (35)}$$

$$F_w = 2 \left[\sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot (7,7 \text{ pulg}) \right)^2 - \left(\frac{1}{2} \cdot (7,5 \text{ pulg}) - 0,167 \text{ pulg} \right)^2} \right]$$

$$F_w = 2,82 \text{ pulg}$$

La distancia entre centros real (C_{real}) del tornillo sinfín y de la corona se calcula mediante la Ecuación (36).

$$C_{real} = \frac{D_w + D_g}{2} \quad \text{Ecuación (36)}$$

$$C_{real} = \frac{1,94 \text{ pulg} + 7,5 \text{ pulg}}{2}$$

$$C_{real} = 4,72 \text{ pulg}$$

Finalmente, se calcula la longitud roscada del tornillo sinfín (LR), el ancho de cara efectivo de la corona (F_{eG}) y el radio de la garganta (R_g) mediante las Ecuaciones (37), (38) y (39).

$$LR = P_c \left[4,5 + \frac{N_g}{50} \right]$$

$$LR = (0,524) \left[4,5 + \frac{45}{50} \right]$$

$$LR = 2,83 \text{ pulg}$$

$$F_{eG} = 0,67D_w$$

Ecuación (38)

$$F_{eG} = 0,67(1,94 \text{ pulg})$$

$$F_{eG} = 1,3 \text{ pulg}$$

$$R_g = \frac{D_w}{2} - a$$

Ecuación (39)

$$R_g = \frac{1,94 \text{ pulg}}{2} - 0,167 \text{ pulg}$$

$$R_g = 0,803 \text{ pulg}$$

Para el cálculo de las fuerzas en el tornillo sinfín y las fuerzas en la corona es importante conocer la velocidad de deslizamiento (V_s) y velocidad para la corona (V_w). Sabiendo que la razón de velocidad anteriormente calculada es de $R_v = 1,5$ y las RPM máximas a las que giraría el motor de paso es de $n_{motor} = 23,88 \text{ rpm}$. Por otro lado, la relación entre el número de dientes de la corona y el número de entradas del sinfín es de $\frac{N_g}{N_w} = 22,5$.

Ecuación (40)

$$V_s = \frac{\pi n_w D_w}{12 \cos \lambda}$$

$$V_s = \frac{\pi \left(\frac{n_{motor}}{R_v} \right) D_w}{12 \cos \lambda}$$

$$V_s = \frac{\pi \cdot (15,83 \text{ rpm}) \cdot (1,94 \text{ pulg})}{12 \cos(9,76^\circ)}$$

$$V_s = 8,16 \text{ fpm}$$

$$V_g = \frac{\pi n_g D_g}{12}$$

Ecuación (41)

$$V_s = \frac{\pi \left(\frac{n_w}{22,5} \right) D_w}{12}$$

$$V_g = \frac{\pi \cdot (0,707 \text{ rpm}) \cdot (7,5 \text{ pulg})}{12}$$

$$V_g = 1,4 \text{ fpm}$$

Se calculan el coeficiente de fricción (μ) mediante la Ecuación (42), la eficiencia (η) mediante la Ecuación (43), fuerza tangencial en la corona (W_{tg}) mediante la Ecuación (44), la fuerza radial en la corona (W_{rg}) mediante la Ecuación (45) y la fuerza axial en la corona (W_{ag}) mediante la Ecuación (46). La potencia del motor de pasos es de $6,8W=0,0912$ HP.

$$\mu = 0,124e^{-0,074V^{0,0845}} \quad \text{Ecuación (42)}$$

$$\mu = 0,124e^{-0,074(8,16)^{0,0845}}$$

$$\mu = 0,113$$

$$\eta = \frac{\cos \phi_n - \mu \tan \lambda}{\cos \phi_n + \mu \cot \lambda} \quad \text{Ecuación (43)}$$

$$\eta = \frac{\cos 14,5 - (0,113) \tan 9,76}{\cos 14,5 + (0,113) \cot 9,76}$$

$$\eta = 0,584$$

$$W_{tg} = \frac{33000P\eta}{V_g} \quad \text{Ecuación (44)}$$

$$W_{tg} = \frac{33000 \cdot (0,0912Hp) \cdot (0,584)}{(1,4 \text{ fpm})}$$

$$W_{tg} = 1255,43 \text{ lbs}$$

$$W_{rg} = \frac{W_{tg} \sin \phi_n}{\cos \phi_n \cos \lambda - \mu \sin \lambda} \quad \text{Ecuación (45)}$$

$$W_{rg} = \frac{(1255,43 \text{ lbs}) \sin(14,5)}{\cos(14,5) \cos(9,76) - (0,113) \sin(9,76)}$$

$$W_{rg} = 336,19 \text{ lbs}$$

$$W_{ag} = W_{tg} \left[\frac{\cos \phi_n \sin \lambda + \mu \cos \lambda}{\cos \phi_n \cos \lambda - \mu \sin \lambda} \right] \quad \text{Ecuación (46)}$$

$$W_{ag} = (1255,43 \text{ lbs}) \left[\frac{\cos(14,5) \sin(9,76) + (0,113) \cos(9,76)}{\cos(14,5) \cos(9,76) - (0,113) \sin(9,76)} \right]$$

$$W_{ag} = 369,9 \text{ lbs}$$

Teniendo en cuenta que por la perpendicularidad que existe entre los ejes de rotación se tiene que: $W_{tg} = W_{aw}$, $W_{rg} = W_{rw}$ y $W_{ag} = W_{tw}$.

El esfuerzo a flexión (σ_f) en los dientes de la corona está dada por la siguiente Ecuación (47). Donde (y) es el factor de forma de Lewis. Este valor se obtiene por medio de la Tabla.

Tabla 6: Factor de Lewis para diversos ángulos de presión y avance

Ángulo de presión, ϕ_n (grados)	Ángulo de avance máximo λ (grados)	Factor de forma de Lewis y
14 $\frac{1}{2}$	15	0.100
20	25	0.125
25	35	0.150
30	45	0.175

Fuente: Juvinal (1996)

$$\sigma_f = \frac{W_{Gt}}{P_c F_g y} \quad \text{Ecuación (47)}$$

$$\sigma_f = \frac{1255,43 \text{ lbs}}{(0,524 \text{ pulg})(1,3 \text{ pulg})(0,100)}$$

$$\sigma_f = 18429 \text{ psi}$$

Finalmente es necesario calcular la fuerza tangencial permisible. Esto se consigue por medio de la Ecuación (48).

$$W_{tg \text{ perm}} = C_s C_m C_r D_g^{0,8} F_g \quad \text{Ecuación (48)}$$

Donde C_s es el factor de materiales, C_m es el factor de corrección y C_v es el factor de velocidad. Para el factor de materiales se consideran los parámetros mostrados en la Figura 64.

Para engranes fundidos en arena,		
$C_s = \begin{cases} 1000 & C > 3 \\ 1190 - 477 \log d_G & C > 3 \end{cases}$	$C > 3$	$d_G \leq 2.5 \text{ pulg}$ $d_G > 2.5 \text{ pulg}$
Para engranes enfriados en la fundición,		
$C_s = \begin{cases} 1000 & C > 3 \\ 1412 - 456 \log d_G & C > 3 \end{cases}$	$C > 3$	$d_G \leq 8 \text{ pulg}$ $d_G > 8 \text{ pulg}$

Figura 64: Parámetros para el factor de materiales C_s

Fuente: Shigley (2008)

Al tratarse de un bronce fundido y enfriado y poseer una distancia entre centros mayor a 3 pulg, entonces se utiliza la ecuación siguiente:

$$C_s = 1412 - 456 \log D_g \quad \text{Ecuación (49)}$$

$$C_s = 1412 - 456 \log(7,5 \text{ pulg})$$

$$C_s = 1012,97$$

El factor de corrección depende de la razón de engrane (m_G). Esta se obtiene dividiendo el número de dientes de la corona entre las entradas del sinfín, como se aprecia en la Ecuación (50).

$$m_G = \frac{N_g}{N_w} \quad \text{Ecuación (50)}$$

$$m_G = 45/2$$

$$m_G = 22,5$$

Para $20 < m_G \leq 76$, entonces el factor de corrección es tal que:

$$C_m = 0,0107 \sqrt{-m_G^2 + 56m_G + 5,145} \quad \text{Ecuación (51)}$$

$$C_m = 0,0107 \sqrt{-(22,5)^2 + 56(22,5) + 5,145}$$

$$C_m = 0,294$$

Para velocidades de deslizamiento (V_s) menores a 700 fpm, entonces el factor de velocidad esta dado por:

$$C_v = 0,659 e^{-0,0011 V_s} \quad \text{Ecuación (52)}$$

$$C_v = 0,659 e^{-0,0011(8,16)}$$

$$C_v = 0,653$$

Una vez calculados los respectivos factores, se determinó la fuerza tangencial permisible, sustituyendo los valores correspondientes en la Ecuación (48).

$$W_{tg \text{ perm}} = (1012,97) \cdot (0,294) \cdot (0,653) \cdot (7,5)^{0,8} \cdot (1,3)$$

$$W_{tg \text{ perm}} = 1267,21 \text{ lbf}$$

Finalmente se calcula la fuerza de fricción (W_f) por medio de las Ecuación (53).

$$W_f = \frac{\mu W_{tg}}{\cos \lambda \cos \phi_n} \quad \text{Ecuación (53)}$$

$$W_f = \frac{(0,113) \cdot (1255,43 \text{ lbs})}{\cos(9,76^\circ) \cos(14,5^\circ)}$$

$$W_f = 148 \text{ lbs}$$

Cuadro 24: Resultados de la geometría del sinfín

Parámetros del sinfín	
Número de entradas	2
Paso axial	0,524 <i>pulg</i>
Diámetro exterior	2,274 <i>pulg</i>
Diámetro interior	1,554 <i>pulg</i>
Diámetro de paso	1,94 <i>pulg</i>
Adendum	0,167 <i>pulg</i>
Dedendum	0,193 <i>pulg</i>
Altura total	0,361 <i>pulg</i>
Longitud de cara	2,82 <i>pulg</i>
Avance	1,048 <i>pulg</i>
Ángulo de presión	14,5°
Ángulo de avance	9,76°
Ángulo de hélice	80,24°

Fuente: Prato, L. (2024)

Una vez obtenidos los valores necesarios para el diseño, se procedió a modelar en 3D tanto el sinfín (Figuras 65 y 66) como la corona (Ver Figuras 67 y 68). Por medio del gráfico de barras ubicado en el lado derecho de la Figura 69 correspondiente al análisis estático realizado a la corona se tiene una máxima tensión de Von Mises es de 27906,18 psi, indicado por el color rojo/anaranjado. Mientras que el límite elástico para el bronce al manganeso es de 29994,82 psi.

Cuadro 25: Resultados de la geometría de la corona

Parámetros de la corona	
Número de dientes	45
Paso Diametral	6 <i>pulg</i> ⁻¹
Diámetro exterior	7,834 <i>pulg</i>
Diámetro de paso	7,5 <i>pulg</i>
Diámetro de raíz	7,114 <i>pulg</i>
Adendum	0,167 <i>pulg</i>
Dedendum	0,193 <i>pulg</i>
Altura de trabajo	0,333 <i>pulg</i>
Altura total	0,361 <i>pulg</i>
Ancho de cara	1,3 <i>pulg</i>
Radio de garganta	0,803 <i>pulg</i>

Fuente: Prato, L. (2024)

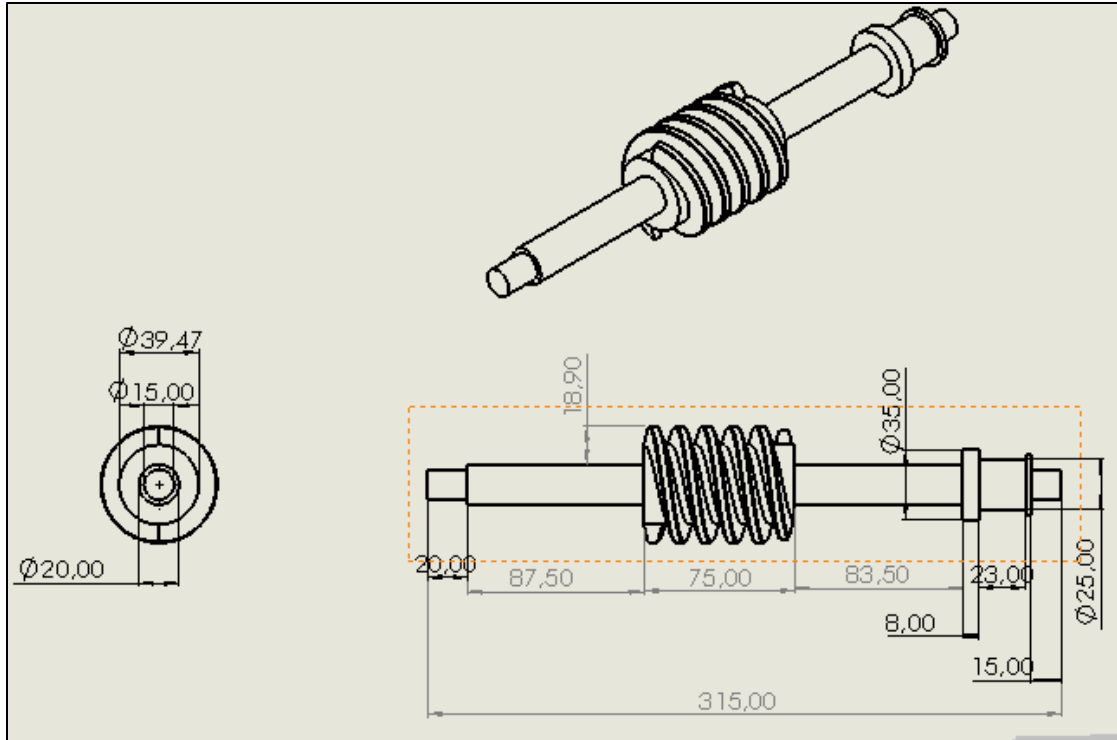


Figura 65: Planos del tornillo sinfín.

Fuente: Prato, L. (2024)

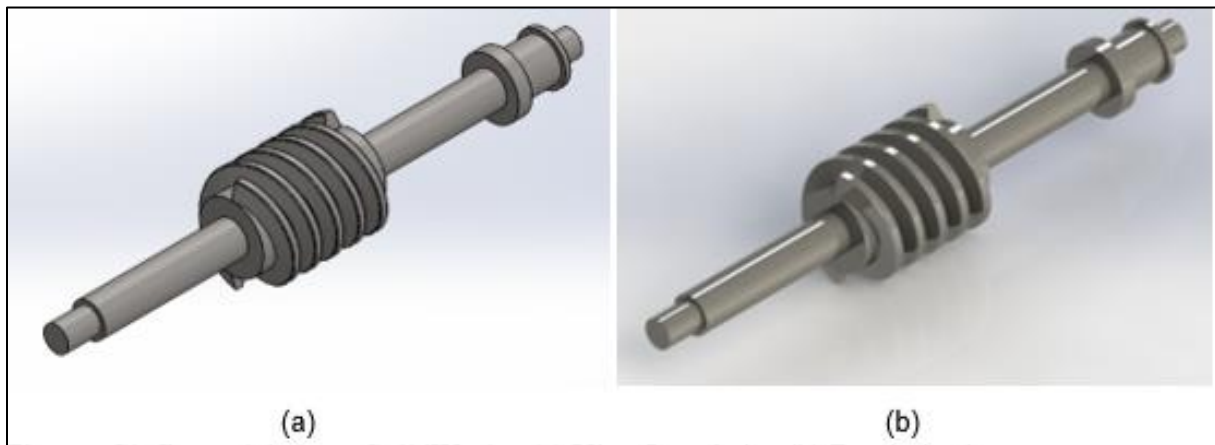


Figura 66: Sinfín modelado en SolidWorks. (a) Vista Isométrica (b) Renderizado

Fuente: Prato, L. (2024)

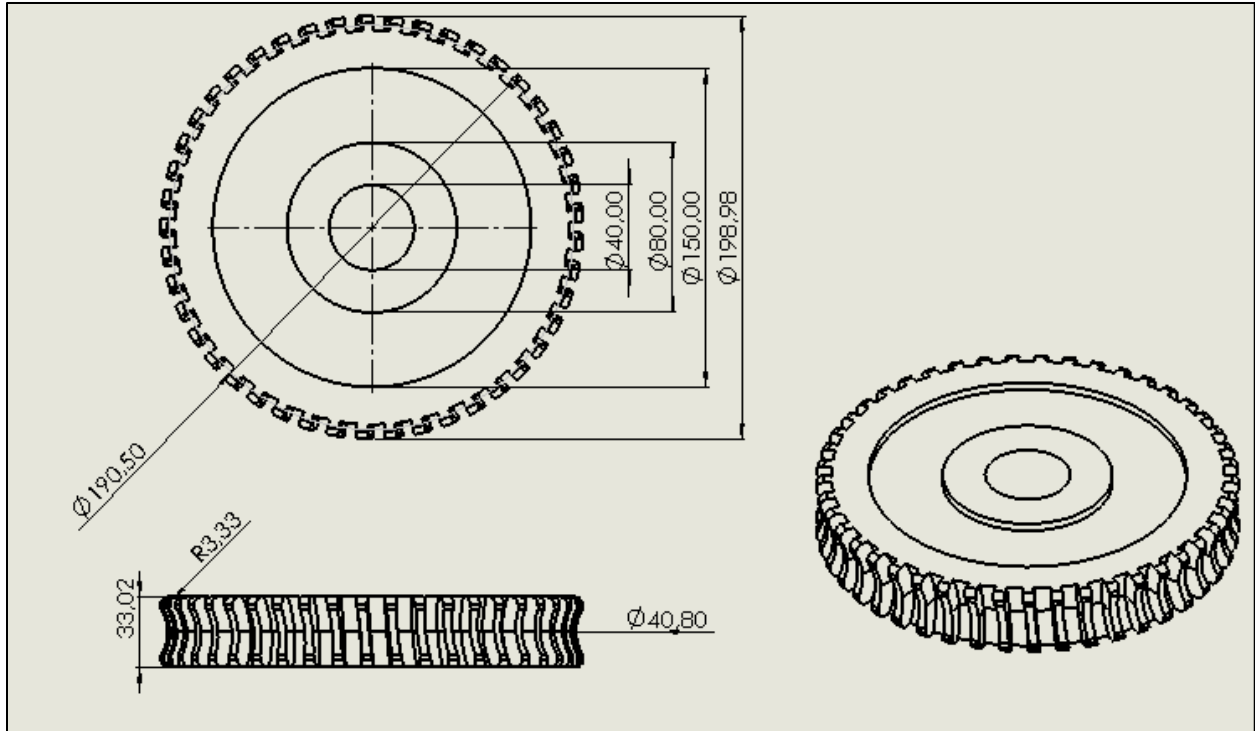


Figura 67: Planos de la corona

Fuente: Prato, L. (2024)



Figura 68: Corona modelada en SolidWorks. (a) Vista isométrica (b) Renderizado.

Fuente: Prato, L. (2024)

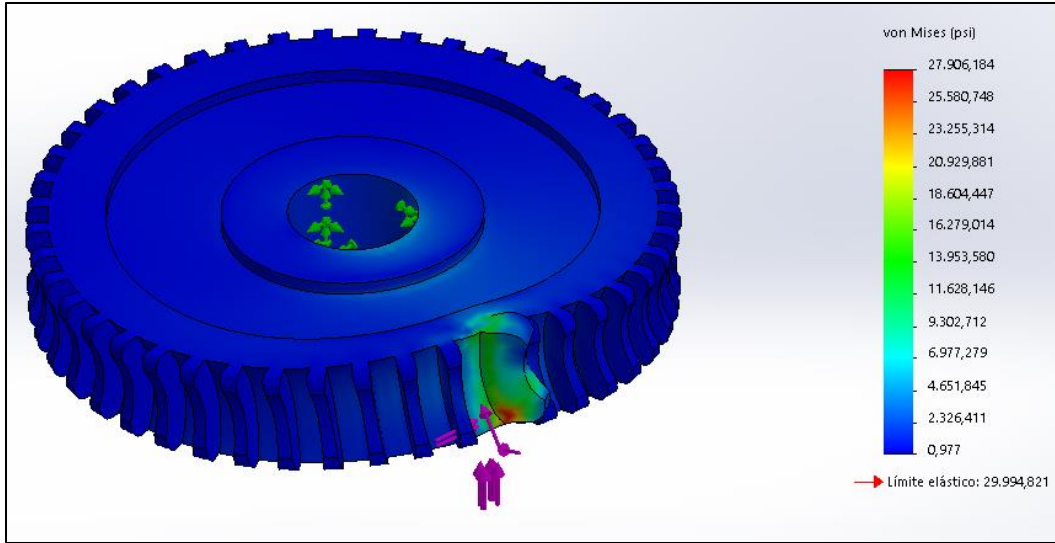


Figura 69: Análisis estático a la corona de transmisión.

Fuente: Prato, L. (2024)

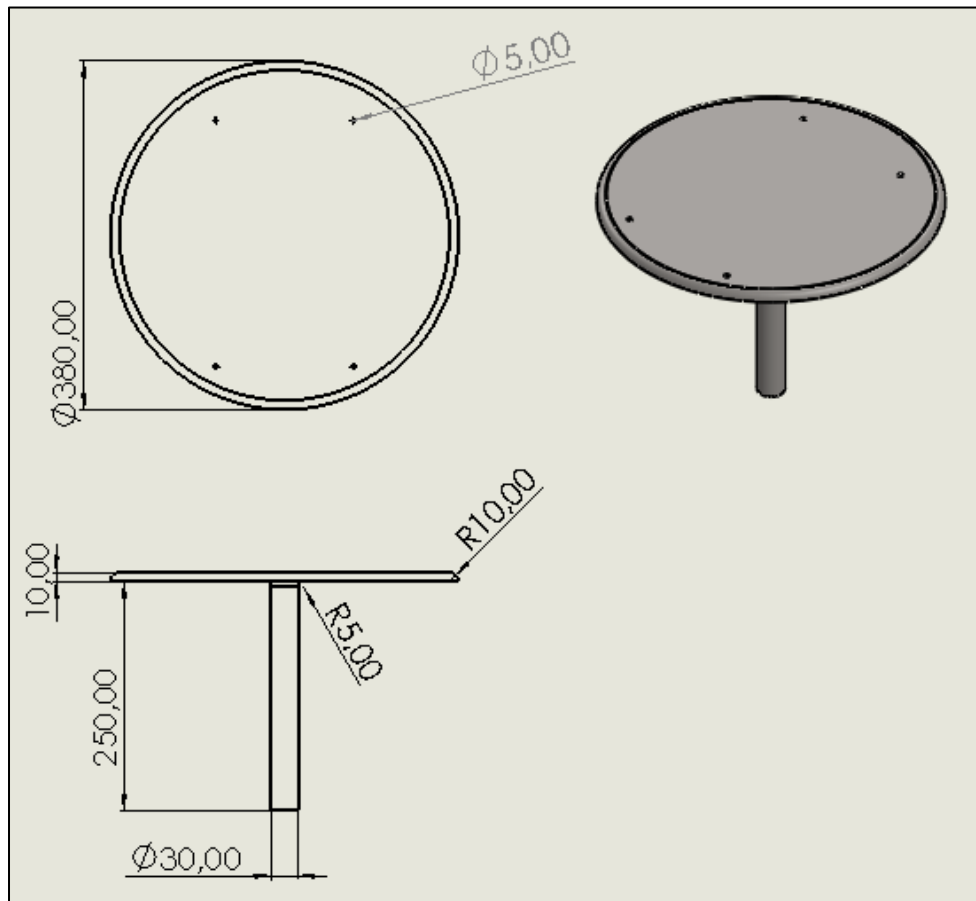


Figura 70: Planos del eje y plato vertical.

Fuente: Prato, L. (2024)

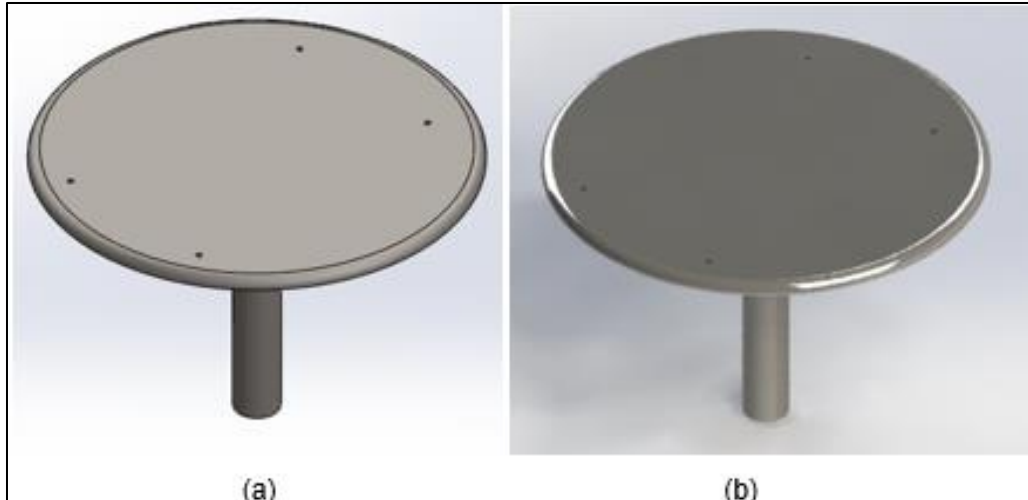


Figura 71: Eje y plato vertical modelado en SolidWorks.

(a) Vista isométrica, (b) Renderizado

Fuente: Prato, L. (2024)

4.4.1.5 Dimensionamiento de la base

Una vez que se han dimensionado las partes principales del seguidor solar, es necesario pasar a dimensionar los elementos secundarios y constitutivos de la base de la estructura. Estos elementos incluyen soportes y otros componentes que son fundamentales para garantizar la estabilidad y resistencia de la estructura en su conjunto.

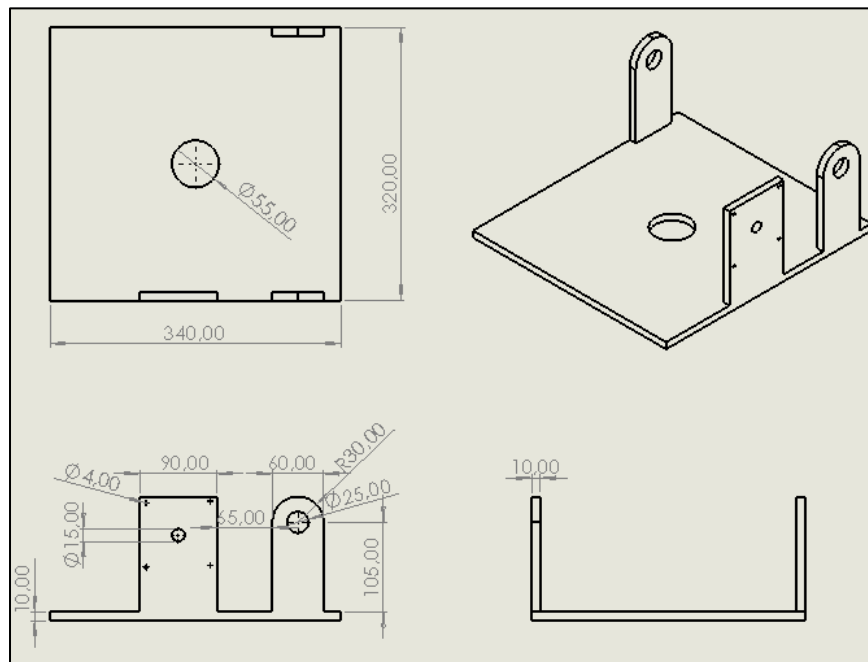


Figura 72: Planos de la base de la transmisión

Fuente: Prato, L. (2024)

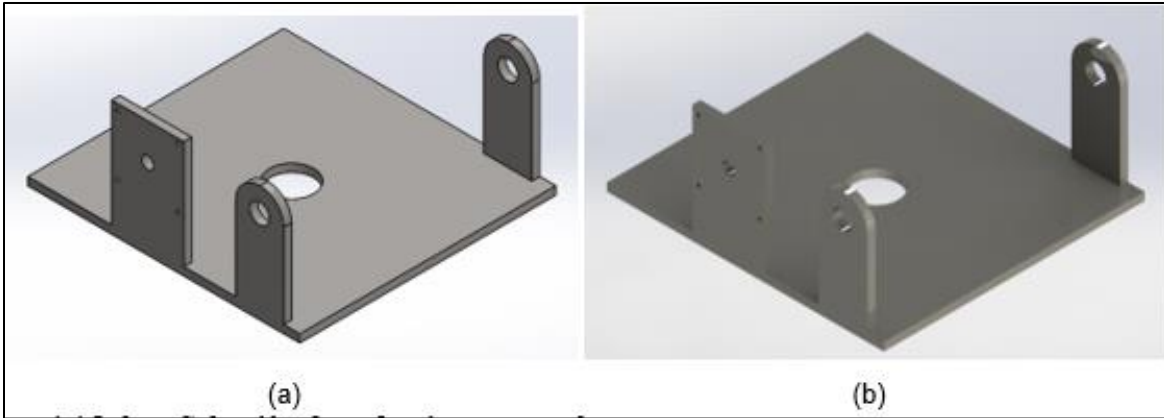


Figura 73: Base de la transmisión modelada en SolidWorks.

(a) Vista isométrica, (b) Renderizado

Fuente: Prato, L. (2024)

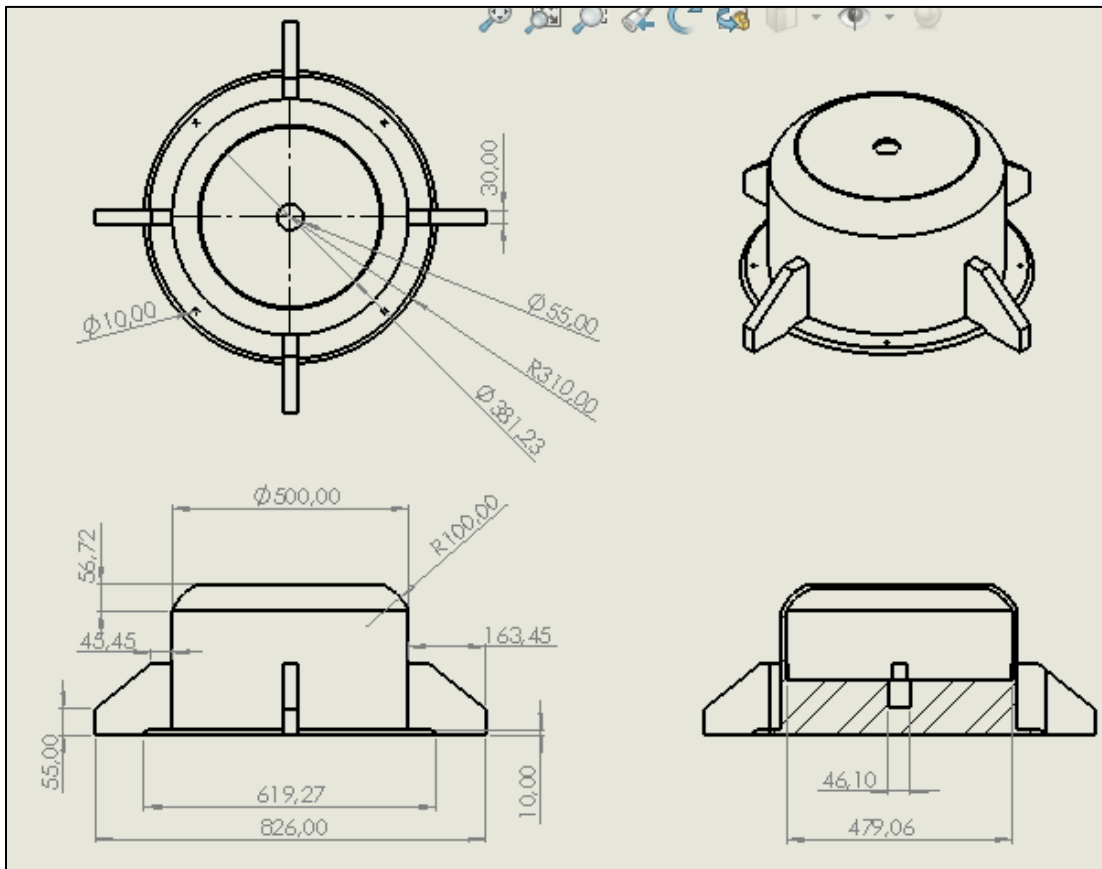


Figura 74: Planos de la base de la estructura

Fuente: Prato, L. (2024)

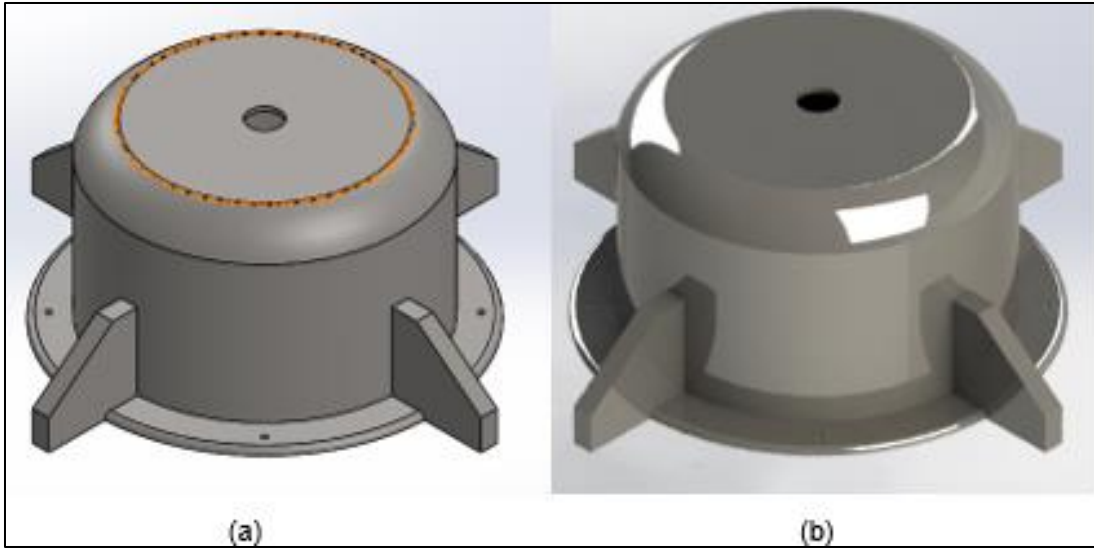


Figura 75: Base de la estructura modelada en SolidWorks.

(a) Vista isométrica (b) Renderizado.

Fuente: Prato, L. (2024)

En el interior de la pieza mostrada en la Figura 75 se alojan los elementos de la transmisión (motor de pasos, correa, corona, tornillo sinfín) de esta manera quedan protegidos del exterior. Además, brinda una sujeción robusta para la estructura de seguimiento.

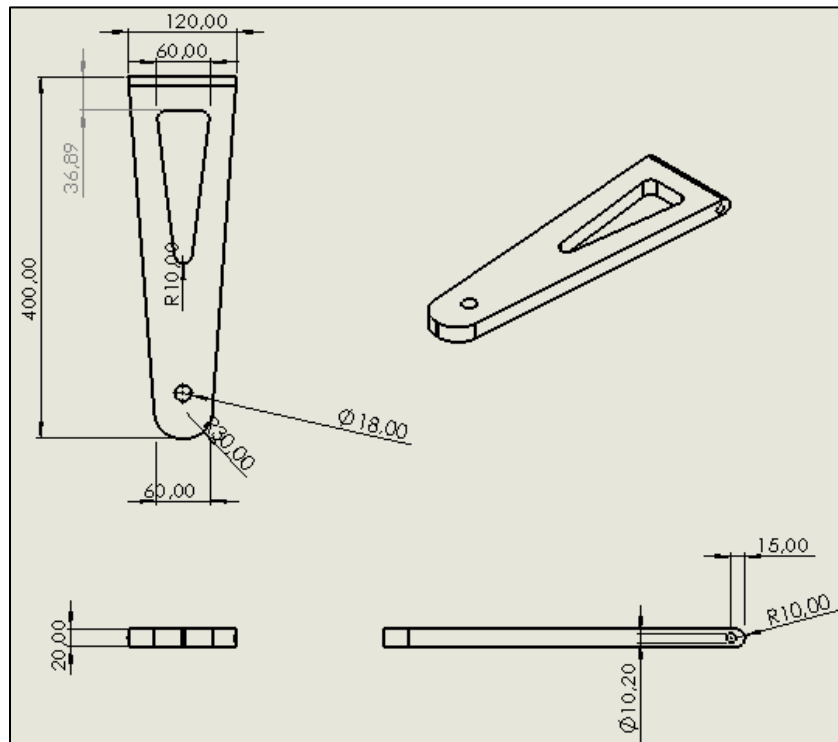


Figura 76: Planos del soporte del anemómetro.

Fuente: Prato, L. (2024)

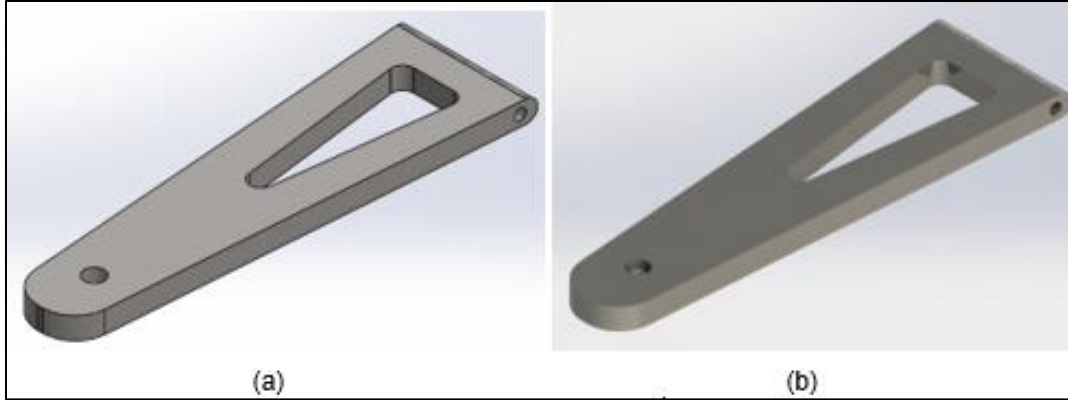


Figura 77: Soporte del anemómetro en SolidWorks. (a) Vista isométrica (b) Renderizado.

Fuente: Prato, L. (2024)

4.4.1.6 Selección de los rodamientos

Para finalizar el diseño mecánico de la estructura, es necesario escoger los rodamientos a utilizar tanto en el eje donde está dispuesto el sinfín, como el eje de rotación vertical en la base. Para la selección de rodamientos se utilizarán las Ecuaciones (54) y (55).

$$L_{10} = \left(\frac{L_{10h} \cdot 60 \cdot n}{10^6} \right)^a \quad \text{Ecuación (54)}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^a \quad \text{Ecuación (55)}$$

Donde: L_{10} es la vida nominal del rodamiento para la tarea requerida, n son las RPM, a es el factor del rodamiento (3 para rodamiento de bolas y $1/3$ para rodamiento de rodillos), C es la capacidad básica de carga y P es la carga estática equivalente.

Para el eje del sinfín se tiene un diámetro de 15mm, una carga estática radial de $336,19 \text{ lbs} = 1495N$ y una carga axial de $1255,43 \text{ lbs} = 5584N$ por lo cual se escogerá un rodamiento de rodillos. Las RPMs máximas del sinfín son de 15,83 rpm. El factor L_{10} se obtiene por medio de la Tabla 7. Se asume en 4000 según máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos.

Tabla 7: Valores orientativos en horas en la vida útil según diferentes tipos de máquinas.

Tipo de máquina	Vida útil especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	> 100 000

Fuente: Manual general SKF (2019)

Utilizando la Ecuación (54) se tiene:

$$L_{10} = \left(\frac{L_{10h} \cdot 60 \cdot n}{10^6} \right)^a$$

$$L_{10} = \left[\frac{(4000) \cdot (60) \cdot (15,83rpm)}{10^6} \right]^{1/3}$$

$$L_{10} = 1,56$$

Despejando C de la Ecuación (55)

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^a$$

$$C = (L_{10})^{1/a} \cdot P$$

$$C = (1,56)^3 \cdot (5584N)$$

$$C = 21,214 \text{ kN}$$

Con este último valor obtenido utilizamos el catálogo de rodamientos SKF. Se escogió un rodamiento de rodillos cónicos 30302 J2 (Ver Anexo E). Por otro lado, para el rodamiento del eje de rotación vertical se tiene una carga radial de $336,19 \text{ lbs} = 1495N$ y una carga axial de

369,9 lbs = 1641,39N producida por los engranajes y de 2235,09N producida por el peso.

Ademas, gira a $n = 0,707 \text{ rpm} \approx 1 \text{ rpm}$

Utilizando la Ecuación (54) se tiene:

$$L_{10} = \left(\frac{L_{10h} \cdot 60 \cdot n}{10^6} \right)^a$$

$$L_{10} = \left[\frac{(4000) \cdot (60) \cdot (1 \text{ rpm})}{10^6} \right]^{1/3}$$

$$L_{10} = 0,621$$

Despejando C de la Ecuación (55)

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^a$$

$$C = (L_{10})^{1/a} \cdot P$$

$$C = (0,621)^3 \cdot (1641,39 \text{ N} + 2235,09 \text{ N})$$

$$C = 0,93 \text{ kN}$$

Con el valor $C = 0,93 \text{ kN}$ y para un diámetro de 30mm, utilizando el mismo catálogo anteriormente mencionado se escogió un rodamiento de rodillos cónicos 32006 X/Q (Ver Anexo E). Debido a la posición oblicua de los rodillos y caminos de rodadura, es especialmente adecuado para resistir cargas radiales y axiales simultáneas.

4.4.1 Ensamblaje de la estructura del seguidor

Una vez todas las piezas de la estructura han sido dimensionadas, se procedió al ensamblaje de la estructura asegurando las relaciones de posición y orientación adecuada para cada una de ellas. Además, se realizaron las juntas correspondientes a tuercas y tornillos, así como también la selección de los rodamientos con ayuda de la ToolBox del software SolidWorks. En las Figuras 78, 79 y 80 se muestran distintas vistas del ensamblaje final.

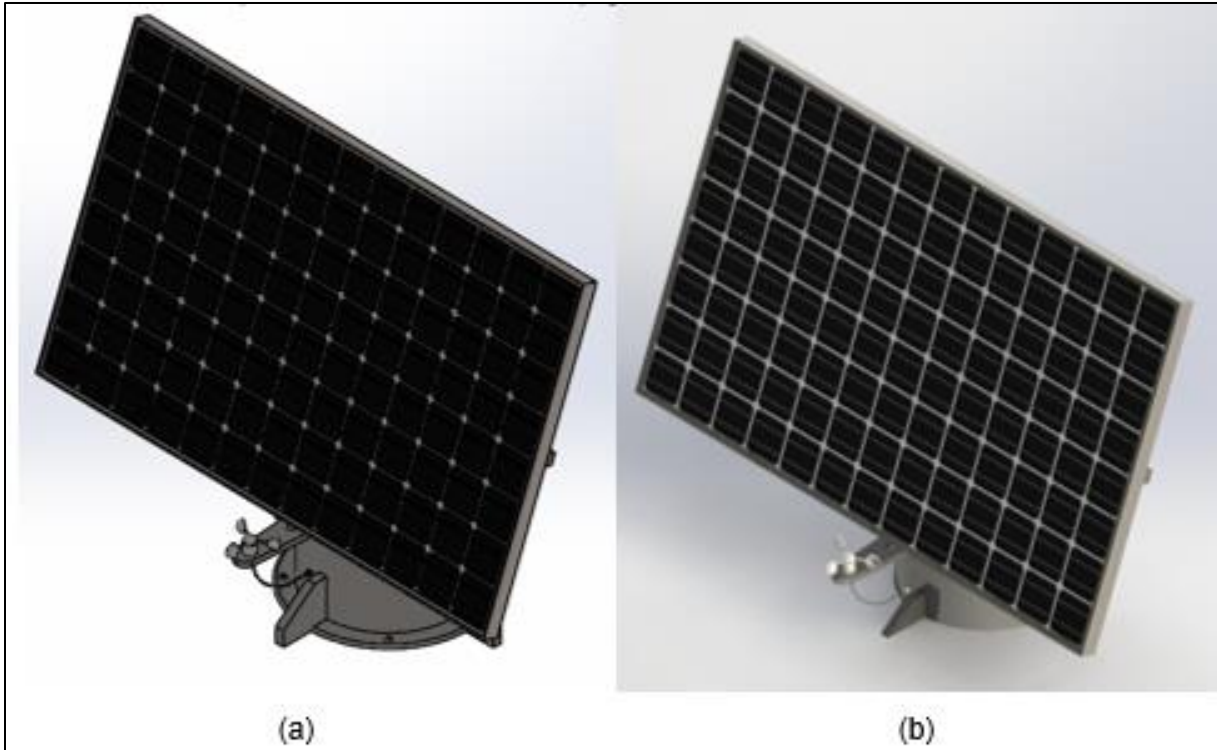


Figura 78: Seguidor solar diseñado modelado en SolidWorks.

(a) Vista isométrica (b) Renderizado.

Fuente: Prato, L. (2024)

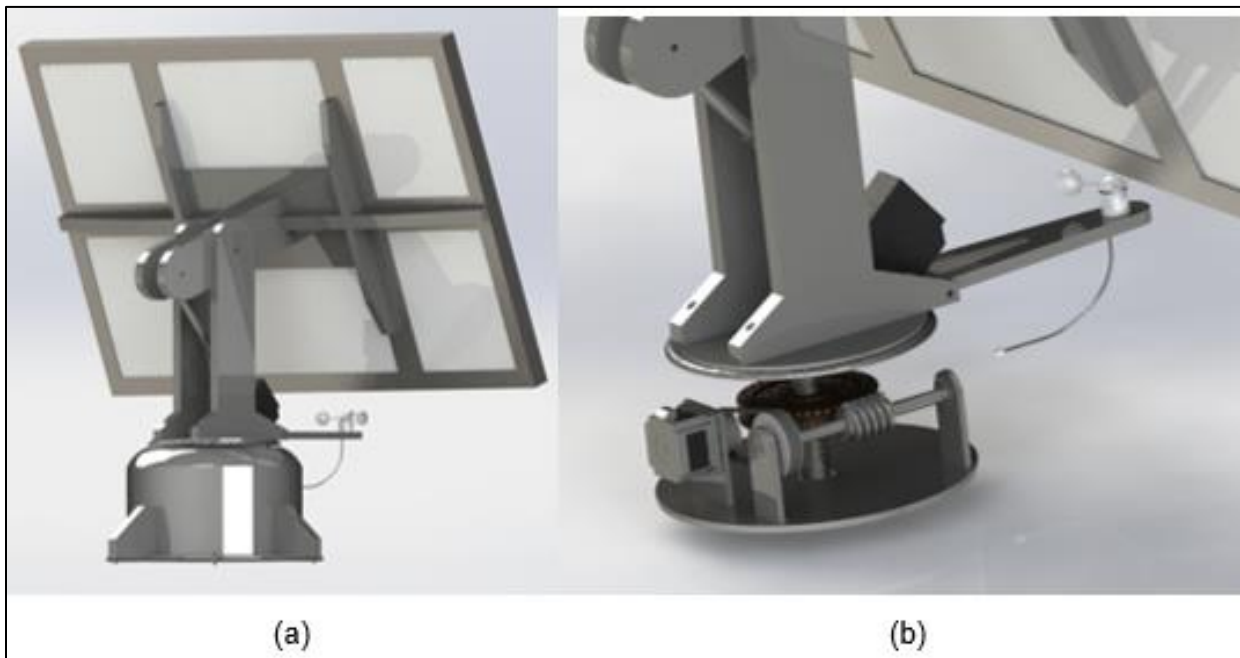


Figura 79: Distintas vistas renderizadas del seguidor solar diseñado.

(a) Vista perspectiva isométrica trasera, (b) Mecanismo de transmisión.

Fuente: Prato, L. (2024)

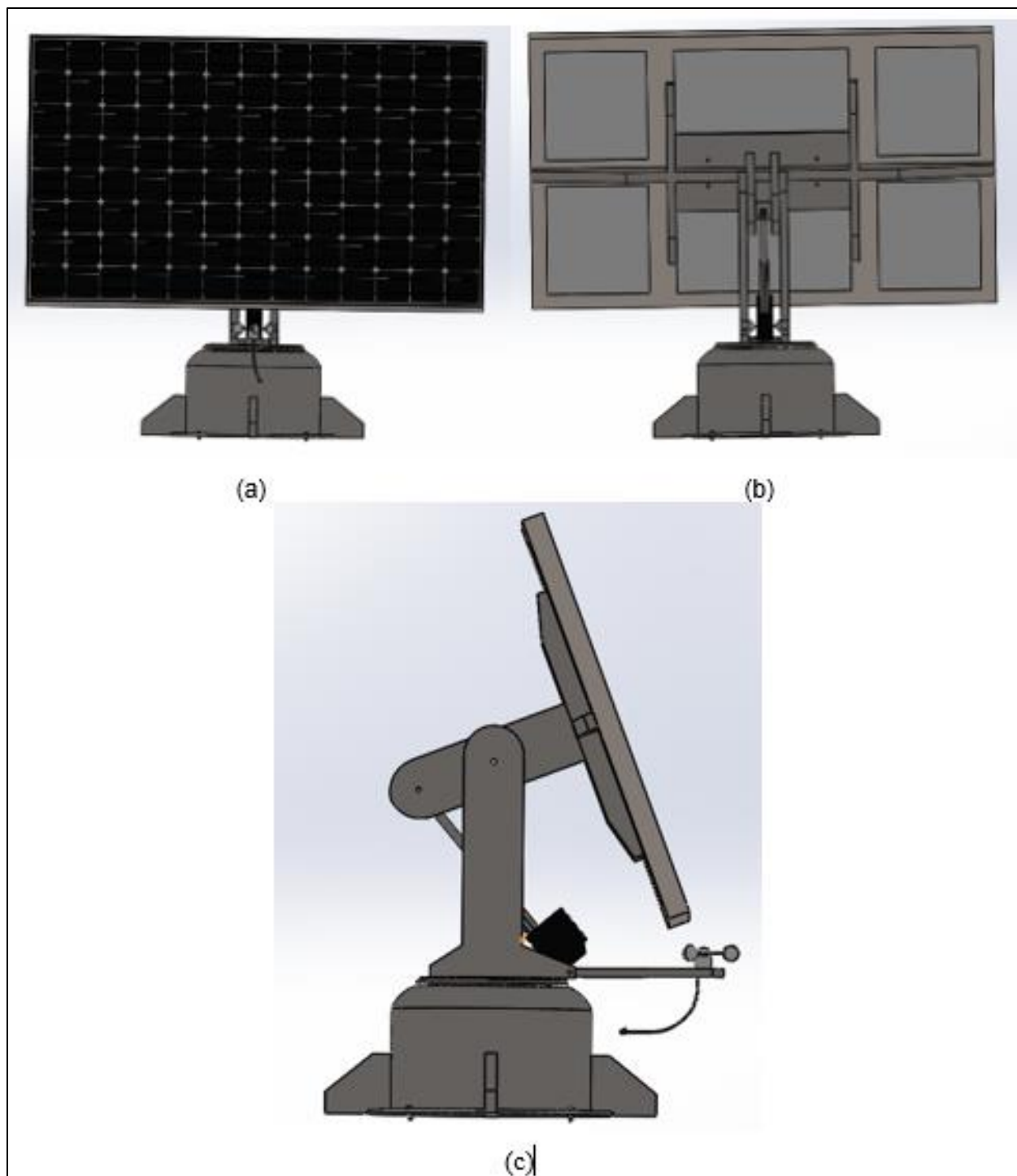


Figura 80: Distintas vistas del seguidor solar diseñado.
(a) Vista frontal, (b) Vista trasera, (c) Vista lateral

Fuente: Prato, L. (2024)

4.4.2 Simulación del viento

Se realizó una simulación a la estructura completa en el software SolidWorks con el fin de garantizar su funcionamiento ante los vientos. Para ello, se recurrió al sitio web Weather Spark que suministró los datos meteorológicos actuales a tener en cuenta durante el estudio de manera que se pudiera simular en las condiciones más parecidas a las existentes en la ciudad donde se ubica la comunidad de estudio. Así mismo, también se indicó que la dirección del viento promedio por hora predominante en la comunidad es desde el Este durante el año; dirección por la cual sale el Sol. Aclarado esto, se consideraron los valores indicados en el Cuadro 26. Por otro lado, en la Figura 81 se muestra la simulación realizada

Cuadro 26: Valores para la simulación

Variable	Valor
Velocidad máxima del viento	35km/h
Temperatura promedio	28°C
Humedad relativa	79%

Fuente: Weather Spark (2024)

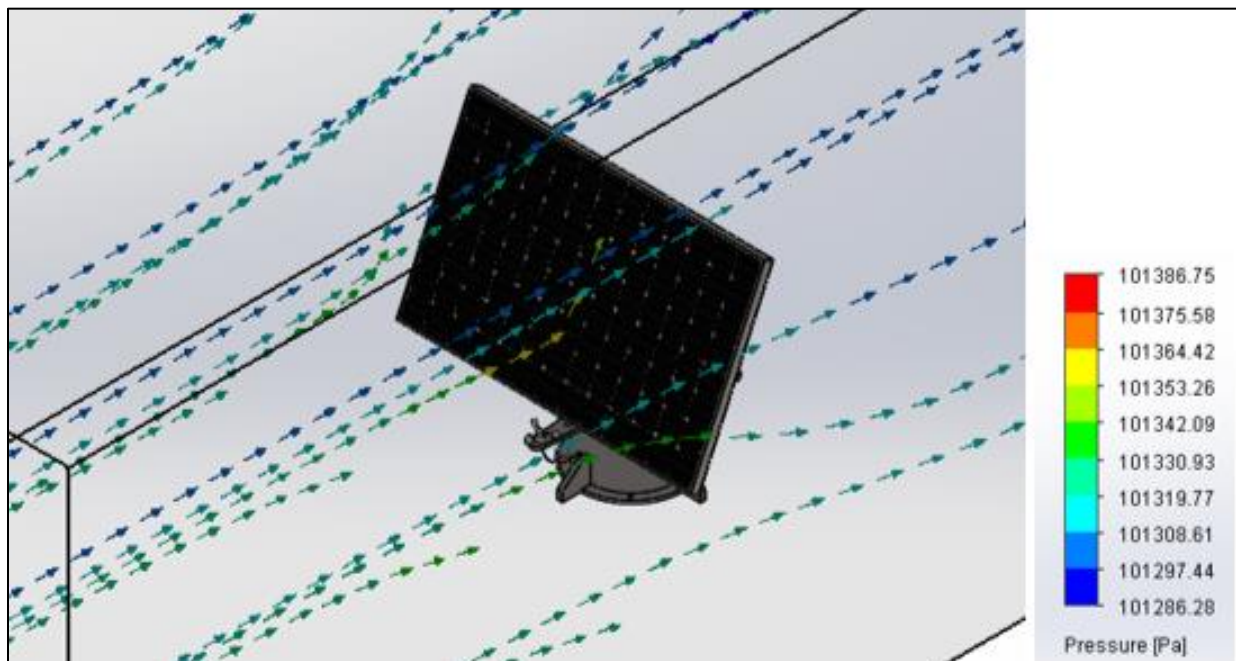


Figura 81: Simulación del viento.

Fuente: Prato, L. (2024)

En la Figura 82 se puede apreciar los distintos valores que toma la velocidad en su recorrido y choque a través del seguidor solar, indicado por distintos colores de acuerdo al grafico de barras a la derecha. Se puede observar que una vez que el aire choca con la superficie del panel este busca rodearlo y disminuye considerablemente su velocidad, indicado por las tonalidades azules. En la base de la estructura al poseer una superficie redondeada, le resulta más fácil al aire rodearlo por lo tanto la disminución de velocidad es ligeramente menor como indican las tonalidades verdes.

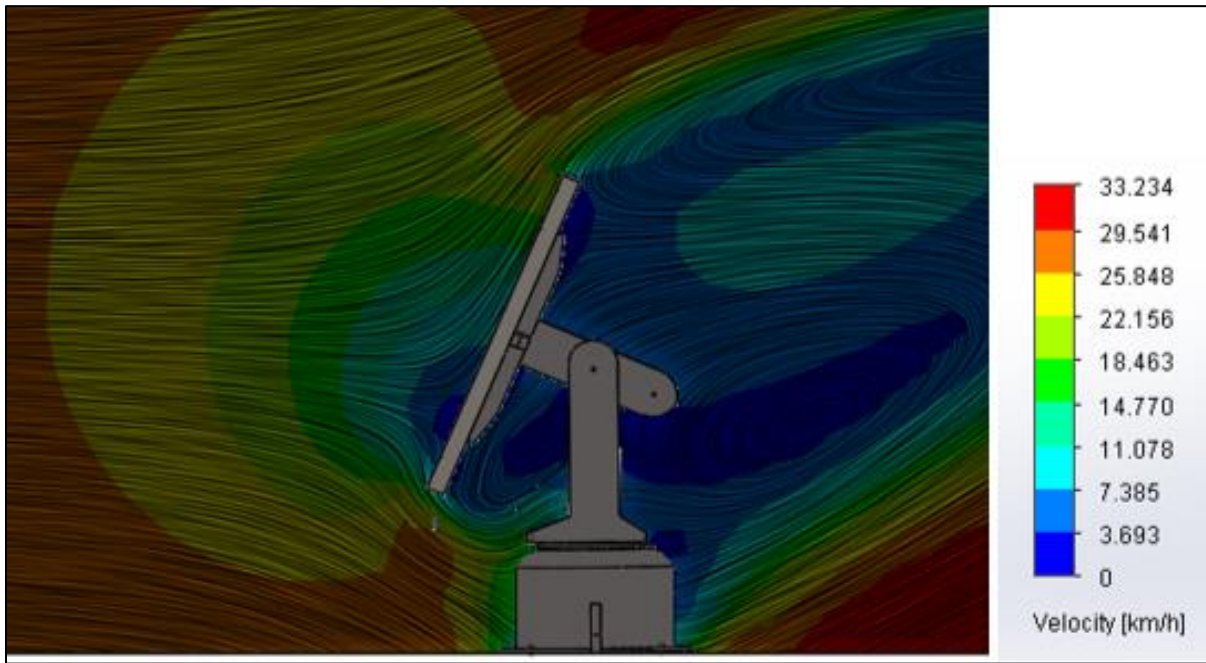


Figura 82: Espectro de velocidades del viento.

Fuente: Prato, L. (2024)

Name	Current Value	Averaged Value
GG Force (X) 1	-0.464515 N	-0.525282 N
GG Force (Y) 1	-26.0356 N	-25.8145 N
GG Force (Z) 1	-75.0574 N	-74.22 N
GG Force 1	79.4461 N	78.583 N
GG Maximum Shear Stress (X) 1	0.313211 Pa	0.316567 Pa
GG Maximum Shear Stress (Y) 1	0.282763 Pa	0.280743 Pa
GG Maximum Shear Stress (Z) 1	0.211626 Pa	0.222869 Pa
GG Maximum Shear Stress 1	0.888839 Pa	0.879872 Pa
GG Maximum Velocity (X) 1	26.3978 km/h	26.3208 km/h
GG Maximum Velocity (Y) 1	22.6349 km/h	22.5493 km/h
GG Maximum Velocity (Z) 1	12.3314 km/h	12.1865 km/h
GG Maximum Velocity 1	33.5979 km/h	34.1005 km/h

Figura 83: Valores obtenidos por medio de la simulación.

Fuente: Prato, L. (2024)

Por medio de la Figura 83 se pueden observar los valores obtenidos en la simulación. De todos ellos, los más importantes son la fuerza máxima (Force 1) con un valor de 79,4461N y la velocidad máxima (Maximum Velocity 1) con un valor de 33,5979 km/h.

4.4.3 Selección de componentes electrónicos

Para el diseño electrónico y de control se busca la utilización de sensores y actuadores que controlen la orientación de los paneles solares. Debido a que ya se han considerado los actuadores a utilizar en los apartados anteriores, en el presente punto se proponen los sensores a implementar en el sistema de seguimiento y de esa manera optimizar la mayor captación de energía solar, controlando el movimiento del mecanismo acorde a los requerimientos del sistema. Estos sensores serán fundamentales para recopilar datos precisos sobre la posición del sol en el cielo y también las condiciones ambientales.

De acuerdo a la información recopilada y analizada en las fases I y II, se considera que los sensores que poseen una mayor versatilidad a la hora de captar la luz solar son los sensores LDR (Light Dependent Resistor). Si bien no poseen un tiempo de respuesta extremadamente rápido, para este caso, donde la posición del Sol cambia paulatinamente y lentamente a lo largo del día, puede desarrollar la labor. Además de poseer un bajo costo, fácil obtención y una alta sensibilidad ajustable mediante un potenciómetro. En este caso se escogió un LDR con conexión a 4 pines. Este posee una salida analógica ideal para aplicación requerida.

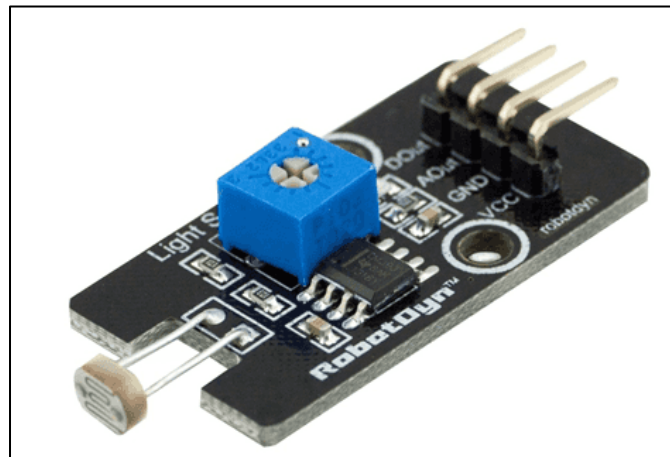


Figura 84: Sensor LDR seleccionado.

Fuente: Dynamo Electronics (s/f)

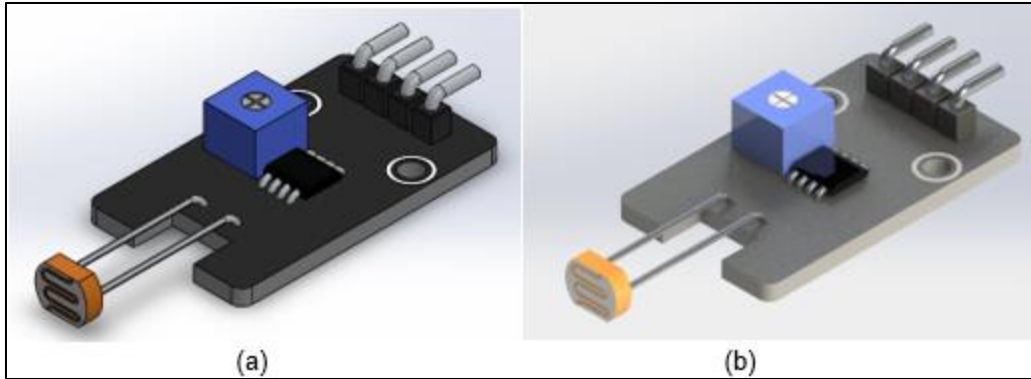


Figura 85: Sensor LDR modelado en SolidWorks.

(a) Isométrico, (b) Renderizado

Fuente: Prato, L. (2024)

Este tipo de sensores debido a su alta sensibilidad suelen tener un filtro para evitar la interferencia y mejorar la precisión de la medición. Estos filtros pueden ser polarizados o filtros ópticos que permiten que solo pase la luz deseada para el funcionamiento del sensor. Para su uso en el seguidor solar, se implementaron en pares de manera que puedan comparar los valores entre ellos y determinar que movimiento debe realizar el seguidor. Para ello se diseñaron plataformas en la cual están montados los pares de LDR, separadas por una pared o tabique que crea una sombra sobre uno de los dos LDR cuando no estén perpendiculares al Sol. En la Figura 86 se observan los tabiques diseñados.

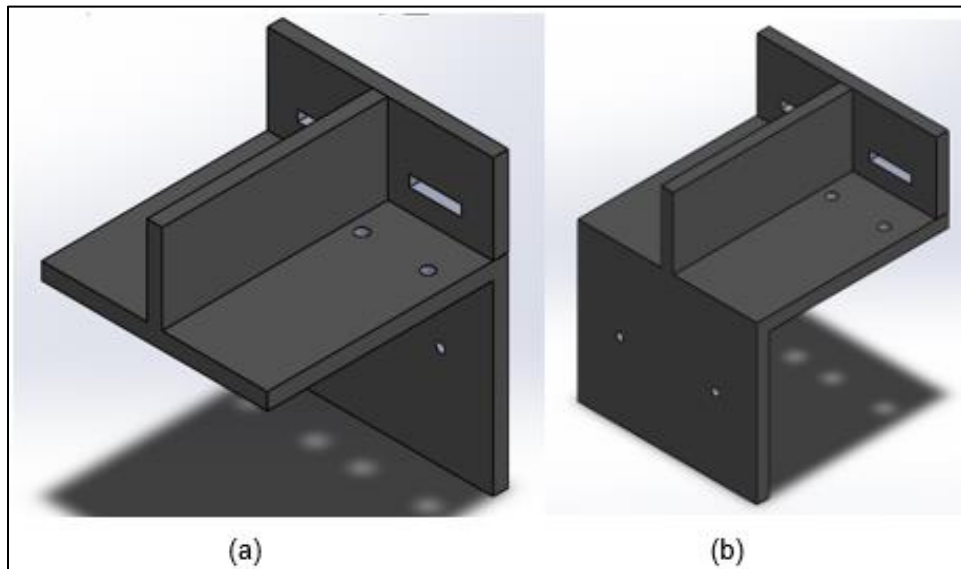


Figura 86: Plataformas de los pares de LDRs modelado en SolidWorks.

(a) Vertical, (b) Horizontal

Fuente: Prato, L. (2024)

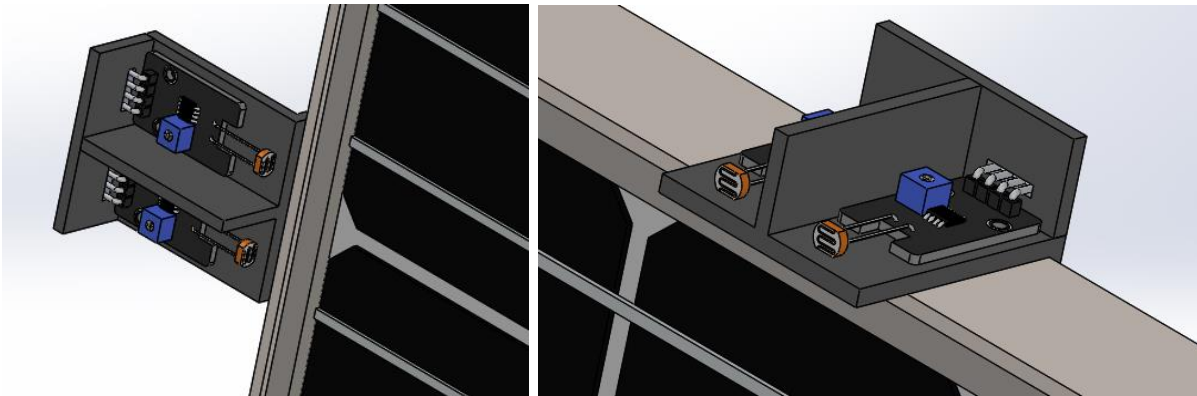


Figura 87: Pares de LDRs montados en la estructura. (a) Horizontal, (b) Vertical

Fuente: Prato, L. (2024)

Por otro lado, se consideró la utilización de un reloj en tiempo real. Una vez que el Sol se oculta, el seguidor se queda apuntando en la dirección Oeste debido a que es por este lado por donde el Sol se esconde. Con la aplicación de un reloj en tiempo real se busca que al final del día, el seguidor retorne a la posición inicial o Home apuntando al Este. De esta manera, se consigue que el seguidor se oriente en la dirección correcta cuando el Sol vuelva a salir el día siguiente. Se seleccionó el módulo RTC DS3231 (Ver Anexo D).

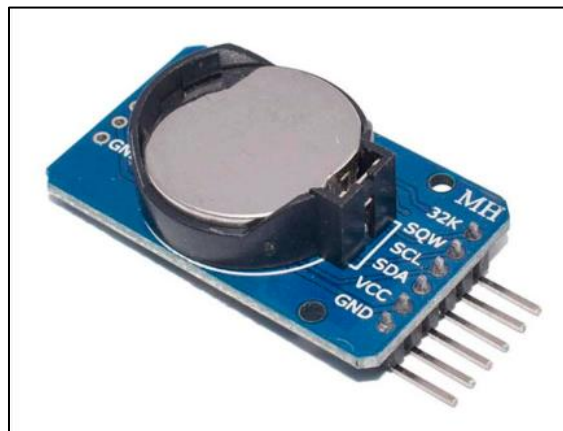


Figura 88: Módulo de reloj digital seleccionado.

Fuente: Moviltronics (s/f)

Los encoders o codificador rotativo son dispositivos electromecánicos que se utilizan para medir la posición angular de un eje en un sistema mecánico. Funcionan emitiendo pulsos eléctricos que son contados y convertidos en información digital que indica la posición exacta del eje del motor en un momento dado. En un sistema de seguimiento solar accionado por motores de paso, los encoders son fundamentales para garantizar la precisión y la fiabilidad del sistema. Al proporcionar retroalimentación en tiempo real sobre la posición del panel solar, los encoders

permiten corregir cualquier desviación o error en la orientación del panel, asegurando así que esté siempre apuntando hacia el sol de manera óptima para maximizar la captación de energía solar. Se seleccionó el encoder ETx25k (Ver Anexo E).



Figura 89: Encoder rotativo seleccionado

Fuente: Megatron (2022)

Por último, se implementó un anemómetro o sensor de velocidad de viento. El anemómetro es un instrumento fundamental en un sistema de seguimiento solar, ya que permite medir la velocidad y dirección del viento en tiempo real. Conocer esta información es crucial, ya que vientos fuertes pueden afectar su rendimiento y causar daños en la estructura. Con la ayuda de un anemómetro, se contribuye a la seguridad del sistema al alertar sobre condiciones climáticas adversas. Este puede enviar una señal en cuanto se detecten velocidades de viento elevadas y posicionar el panel en una posición segura. Se escogió el RS485 de la marca DFRobot (Ver Anexo G).



Figura 90: Anemómetro seleccionado.

Fuente: DFRobot (2021)

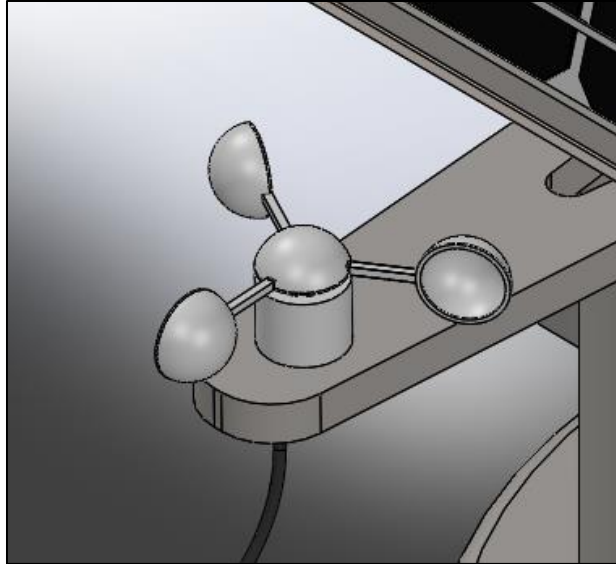


Figura 91: Anemómetro montado en la estructura

Fuente: Prato, L. (2024)

4.4.4 Diseño del sistema de control del seguidor solar

El algoritmo a utilizar es del tipo por punto luminoso. Este se encargará de enviar las señales correctas para que los actuadores realicen su función de mover el panel solar a la posición deseada. En este caso, se consideraron dos sensores LDR separados por un tabique para que cuando reciban la luz del sol, lateralmente haga sombra a uno de ellos y su resistencia, al recibir menos intensidad de luz, se haga mayor que la otra, y pueda activar el movimiento hacía un lado del seguidor solar detectando el punto más luminoso en el cielo correspondiente al Sol. Esto se logra comparando los valores de la resistencia entre los distintos LDR conforme el seguidor se va desplazando; una vez todos posean el mismo valor en su resistencia es un indicativo de que el panel está en la posición correcta (perpendicular al haz de luz). Así mismo, se hicieron dos arreglos, con el fin de sensar cada eje por separado. No obstante, también hay que tener en cuenta las perturbaciones del sistema, como el viento o las sombras. En la Figura 92 se observa el diagrama de bloques de lazo cerrado simplificado correspondiente al sistema de control de seguimiento.

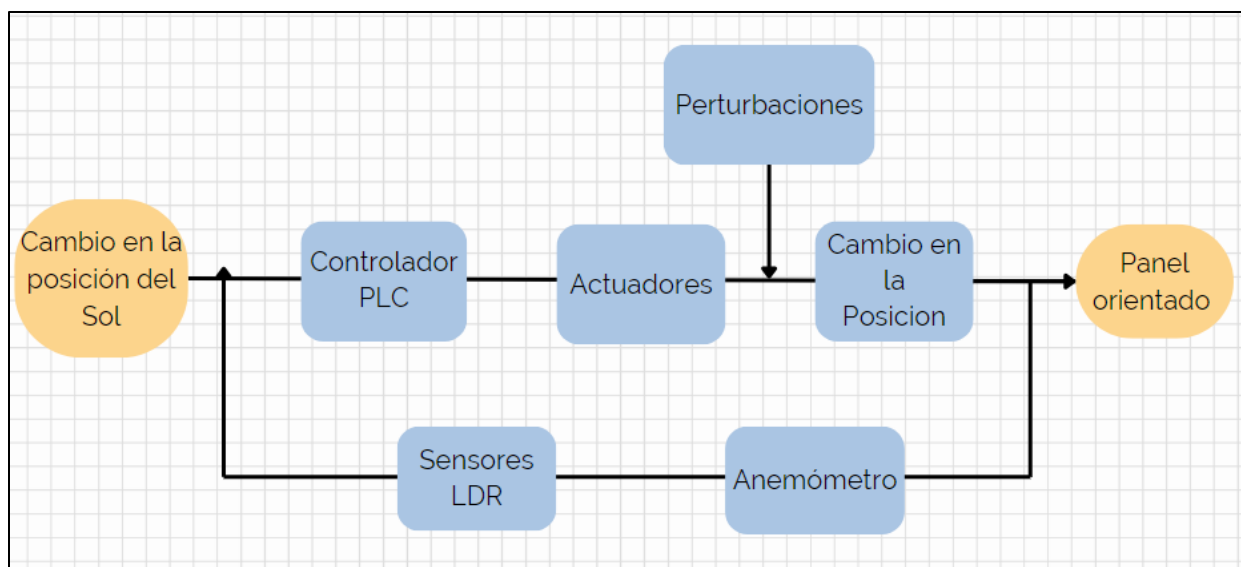


Figura 92: Diagrama de bloques del seguidor.

Fuente: Prato, L (2024)

El posicionamiento se realiza con un sistema de control que debe ser automatizado. Por lo cual, resultó necesario programar un controlador lógico programable (PLC). Para el tipo de tarea a realizar también se pudo optar por un microcontrolador o arduino. Sin embargo, para aplicaciones exteriores como un seguidor solar donde se presenta humedad y polvo la mayor robustez y durabilidad de los PLCs lo vuelven ideal. Además, el lenguaje gráfico utilizado en su programación en conjunto con el software que estos brindan, permite realizar la programación sin tener amplios conocimientos en un lenguaje en concreto, como si sucede con los microcontroladores.

Por otro lado, los microcontroladores son ideales para aplicaciones más simples (como puede ser el caso de un seguidor de un solo eje) y no cuentan con la misma capacidad de monitoreo, mientras que los PLCs tienen la capacidad de manejar tareas más complejas con múltiples entradas y salidas debido a su mayor capacidad de procesamiento. Si bien un PLC puede tener un costo inicial mayor que la mayoría de microcontroladores, su robustez, confiabilidad y facilidad de uso pueden traducirse en un menor costo total.

Mediante el uso del software RSLogix Micro siguiendo un lenguaje de programación en escalera y apoyado en bloques funcionales se programó el PLC. Se escogió este software, ya que es más intuitivo cuando existe la presencia de variables analógicas. El PLC seleccionado para esta aplicación es el MicroLogix 1000 analog de la marca Allen-Bradley mostrado en la Figura 93 (Ver Anexo H). Este PLC se alimenta de una fuente de 24VDC.

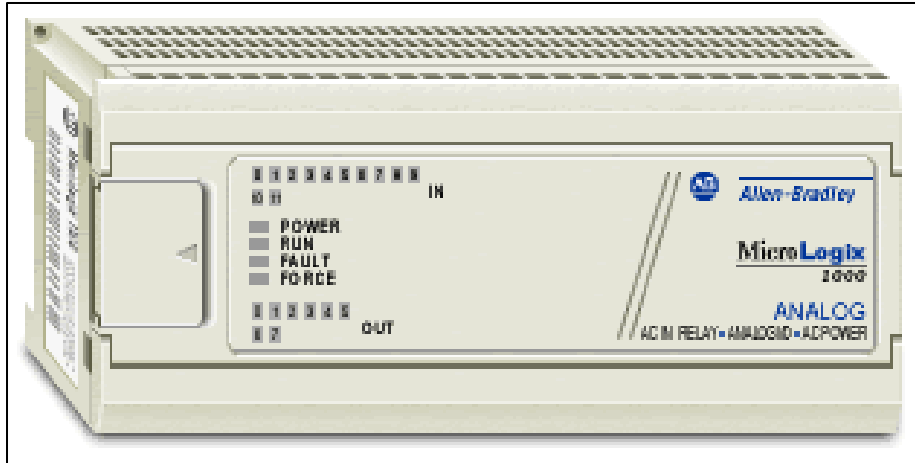


Figura 93: PLC Micrologix 1000 analog.

Fuente: Prato, L (2024)

El programa debe incluir las siguientes funciones:

1. Seguimiento solar:

- Lectura y comparación de los valores de los sensores LDR para determinar la posición al cual el panel debe apuntar.
- Control del motor de pasos y del actuador lineal para ajustar la posición del seguidor solar en base a las entradas de los sensores.

2. Protección contra condiciones climáticas adversas:

- Lectura del valor del anemómetro para detectar ráfagas de viento fuertes.
- Detención automática del movimiento por medio de una señal digital si la velocidad del viento supera un umbral predefinido.

3. Retorno al home:

- Utilización del módulo de reloj en tiempo real para determinar el momento en que finaliza el día.
- Movimiento automático hacia la posición inicial (home) al finalizar el día.

4. Finales de carrera:

- Utilización de finales de carrera para registrar el movimiento o recorrido del vástago del actuador lineal.

Cuadro 27: Variables del programa.

Entradas	Tipo	Salidas	Tipo
Sensor fotorresistivo LDR 1	Analógica	Extensión del actuador lineal A1	Digital
Sensor fotorresistivo LDR 2	Analógica	Retracción del actuador lineal A2	Digital
Sensor fotorresistivo LDR 3	Analógica	Giro horario del motor A3	Digital
Sensor fotorresistivo LDR 4	Analógica	Giro antihorario del motor A4	Digital
Anemómetro ANEM	Digital	Retorno a home HOME	Digital
Reloj en tiempo real RTC	Digital	Detención del sistema DET	Digital
Final de carrera FC1	Digital		
Final de carrera FC2	Digital		

Fuente: Prato, L (2024)

Del Cuadro 27 se tiene qué en la columna las variables indicadas en la columna de Entradas representan las entradas al sistema o variables independientes. Estas le indican al PLC qué y cuales acciones debe ejecutar. Entre ellas se encuentran los sensores fotorresistentes LDR 1, LDR2, LDR3 y LDR4, el anemómetro ANEM, el reloj en tiempo real RTC y los finales de carrera FC1 y FC2 que indican si el vástago del actuador lineal está extendido o retraído. Además, se debe añadir un pulsador de inicio (Start) para iniciar el programa con su respectivo enclavamiento y otro de parada (Stop) para detenerlo en caso de ser necesario; ambos correspondientes a entradas digitales.

Por otro lado, las variables indicadas en la columna Salida representan las salidas del sistema o variables dependientes. Estas son las acciones que deben ser ejecutadas por el PLC. Entre ellas se encuentran A1 y A2 para el actuador lineal (energiza y detiene la extensión o retracción del actuador), A3 y A4 para el motor de pasos (energiza y detiene el movimiento del motor en dirección horaria o antihoraria respectivamente), Home el cual posiciona al seguidor solar en una posición inicial ideal y Detención el cual detendrá el movimiento de los actuadores por seguridad en caso de que el anemómetro mande una señal.

Debido a la presencia de variables analógicas, fue necesario un convertidor de analógico - digital (ADC), donde básicamente la entrada analógica recibe una señal eléctrica (sea voltaje o corriente) y la convierte en un número binario que se interpreta como un número. El primer paso para incluir el ADC en el sistema fue encontrar su resolución. Este valor indica el número de combinaciones en binario que maneja el PLC. La resolución de entrada para el PLC utilizado es de 16 bit (Ver Anexo H), esto quiere decir que, se tendrán 65536 combinaciones, en un rango

establecido de -32768 a 32767. Esto quiere decir que, si se trabaja con 20mA o 10V como valor crítico y este entra al módulo, el PLC lo almacenará con un valor de 32767, mientras que, si entra un valor mínimo de 4mA o 0V, el PLC lo guardará como 0. El resto de valores será una relación lineal de estos puntos extremos. Esta resolución es suficiente para lograr la sensibilidad necesitada.

Offset	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
I:0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1761-Micro-Discrete
I:0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1761-Micro-Discrete
I:0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1761-Micro-(RESERVED)
I:0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1761-Micro-(RESERVED)
I:0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1761-Micro-Analog Inp 0
I:0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1761-Micro-Analog Inp 1
I:0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1761-Micro-Analog Inp 2
I:0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1761-Micro-Analog Inp 3

Figura 94: Entradas del PLC seleccionado.

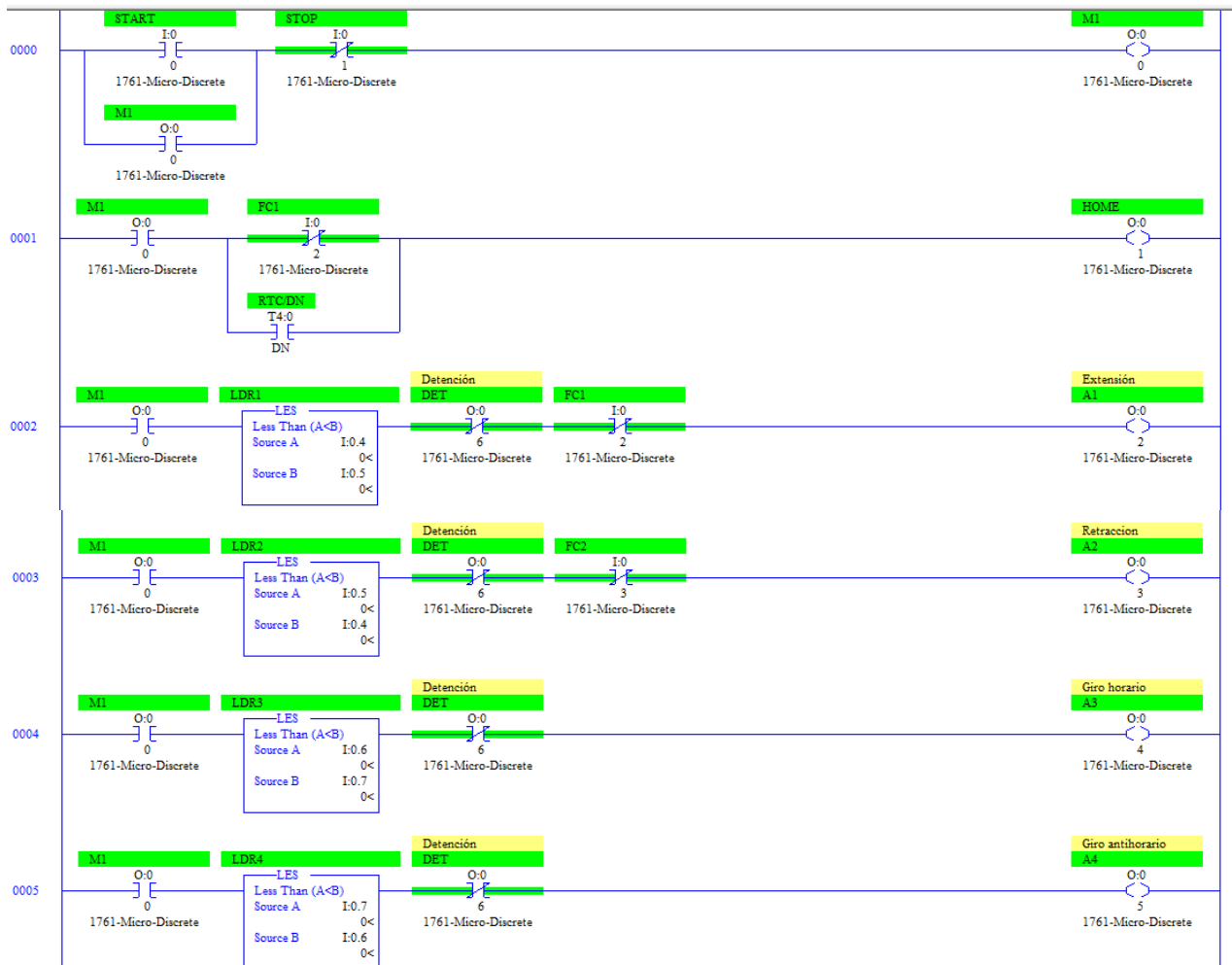
Fuente: Prato, L (2024)

Por medio de la Figura 94 se pueden observar las respectivas entradas a utilizar, tanto discretas o digitales y analógicas. A diferencia de las entradas digitales que utilizan únicamente 1 bit, las analógicas utilizan toda la fila de bits. De manera que, las entradas I:0.4 hasta la I:0.7 serán las entradas de los LDR 1 al 4 respectivamente. Esto sirve de referencia para un mejor entendimiento de las variables asignadas en el diagrama realizado. El diagrama funciona de la siguiente manera:

1. Iniciado el programa el seguidor solar se orienta a una posición inicial o Home, el cual es apuntando hacia el este (dirección por donde sale el Sol) con una inclinación de 15° con respecto a la horizontal (esto es con el vástago del actuador extendido). Una vez llegue a esta posición el actuador lineal acciona el final de carrera FC1 normalmente cerrado para indicar la posición en Home.
2. El programa comprueba la intensidad de la luz solar mediante los sensores LDR1 y LDR2 para el posicionamiento de inclinación o eje horizontal; y los sensores LDR3 y LDR4 para el posicionamiento vertical o de rotación.
3. Si la intensidad de la luz solar es mayor en LDR1 que en LDR2, el programa activa el actuador lineal para elevar el ángulo de inclinación del panel. En caso contrario, el programa activa el actuador lineal para disminuir el ángulo de inclinación del panel. Una

vez que ambos sensores posean el mismo valor en su resistencia (porque ambas reciben la misma cantidad de luz), se detiene el mecanismo.

4. En simultaneo y siguiendo el mismo principio, si la intensidad de la luz solar es mayor en LDR3 que en LDR4, el programa activa el motor de pasos para mover el seguidor solar en torno a un eje vertical en el sentido de las agujas de reloj. En caso contrario, el motor gira en sentido opuesto. Una vez que ambos sensores posean el mismo valor en su resistencia se detiene el mecanismo.
5. El programa comprueba la velocidad del viento mediante el anemómetro. Si la velocidad del viento supera un valor máximo preestablecido, el programa detiene el movimiento del seguidor solar en ambos ejes por seguridad.
6. El programa comprueba la hora actual mediante el módulo de reloj en tiempo real RTC. Cuando llega la hora de finalizar el día, el programa activa la orden de retorno a Home y esta a su vez activa la bobina de Reset del contador.



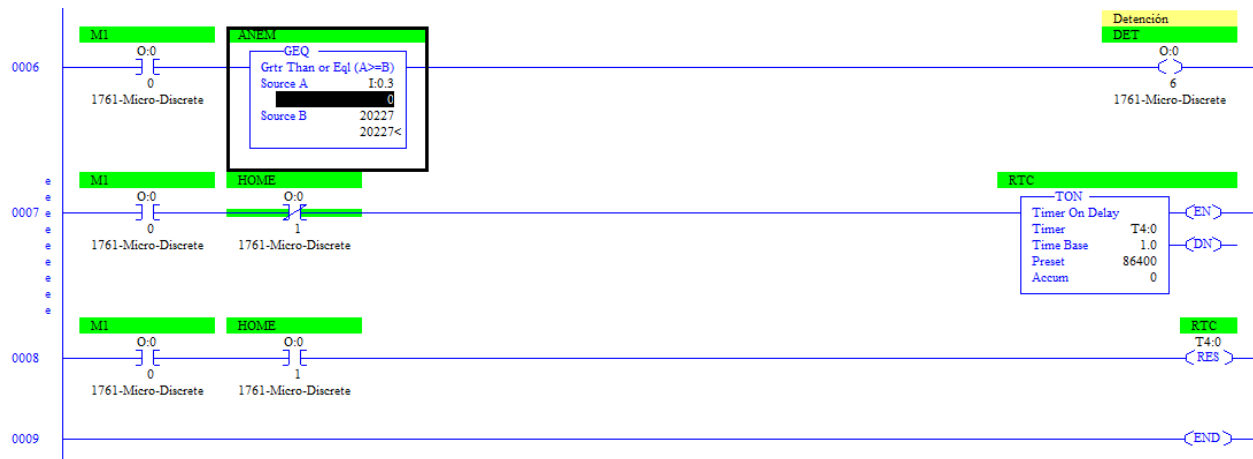


Figura 95: Diagrama ladder y de bloques funcionales realizado.

Fuente: Prato, L (2024)

Para la realización del diagrama mostrado en la Figura 95 se utilizaron bloques funcionales como el temporizador de retardo a la conexión (TON) estableciendo un preset de 86400 seg, correspondiente al número de segundos que tiene un día y los bloques de menor que (LES), en el cual se comparan los valores de entrada de los pares de LDR y el bloque mayor o igual qué (GEQ) para el anemómetro, permitiendo que en caso que se iguale o sobrepase un valor prefijado mande una señal de corriente para detener el movimiento.

Ahora es necesario realizar el diagrama de conexiones eléctricas para controlar el sentido de giro de los actuadores tanto del motor de pasos como del actuador lineal, recordando que en el interior de este último se encuentra un motor que según su sentido de giro extiende o retrae el vástago. Para ello se hizo uso de la configuración mostrada en la Figura 96.

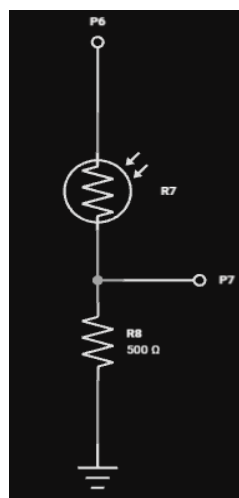


Figura 96: Divisor de tensión

Fuente: Prato, L (2024)

El diagrama representado en la Figura 97 representa el circuito que permitirá la rotación del actuador en un sentido u otro según sea necesario.

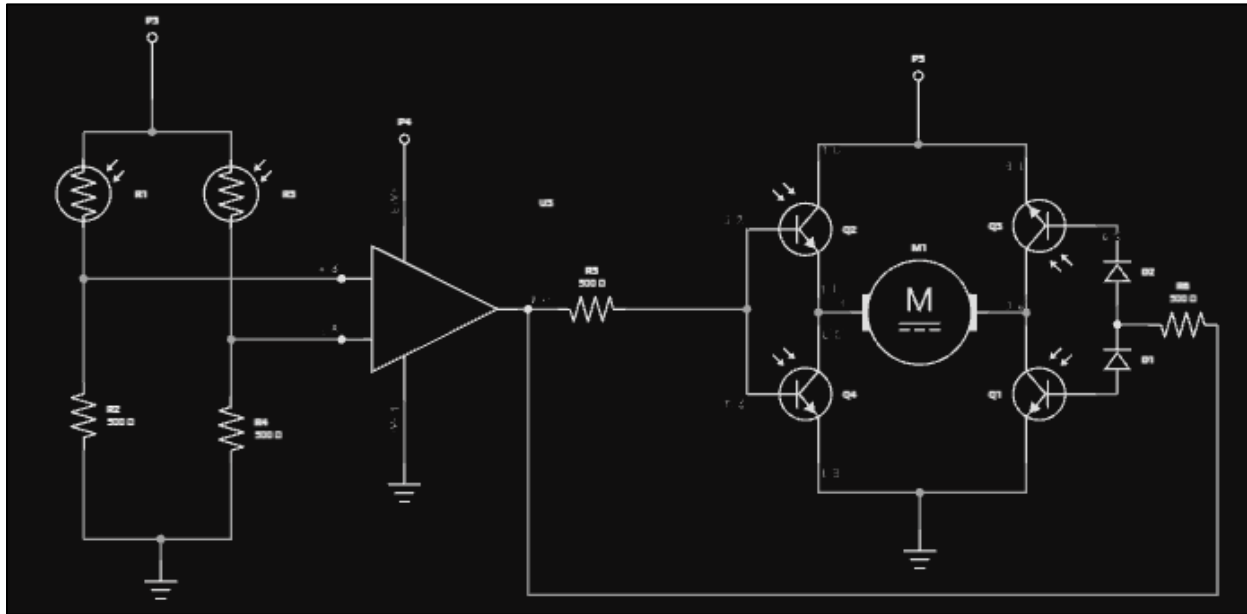


Figura 97: Diagrama de conexiones eléctricas para la activación de los actuadores.

Fuente: Prato, L (2024)

Este circuito basado en fotorresistencias y varios componentes electrónicos adicionales como transistores, diodos, resistencias y un comparador de voltaje. Los transistores se usan aquí como interruptores o amplificadores de señal. Controlan el flujo de corriente hacia el motor (M) en función de la diferencia de luz detectada por las LDR. Por otro lado, los diodos previenen el flujo de corriente en la dirección incorrecta, protegiendo así otros componentes del circuito. El comparador de voltaje basado en LM393MX (indicado por el triángulo en la figura) compara los niveles de voltaje de las señales provenientes de las fotorresistencias. Esta comparación determina cuál lado del panel solar está recibiendo más luz y, por lo tanto, hacia qué dirección se debe mover el panel. Finalmente, las resistencias establecen niveles de corriente adecuados para proteger otros componentes y para la operación correcta de los transistores.

Después de analizar el consumo de energía de los distintos dispositivos que conforman el sistema (Ver Anexos), se determinó que una fuente de alimentación de 24V como la mostrada en la Figura 98 sería la más adecuada. Esta decisión se basó en la necesidad de proporcionar la potencia suficiente para todos los componentes, garantizando un funcionamiento óptimo y estable. De esta manera, se asegura que el sistema pueda operar correctamente y sin interrupciones debido a problemas de suministro eléctrico.



Figura 98: Fuente conmutada 24V

Fuente: UNIT Electronics (s/f)

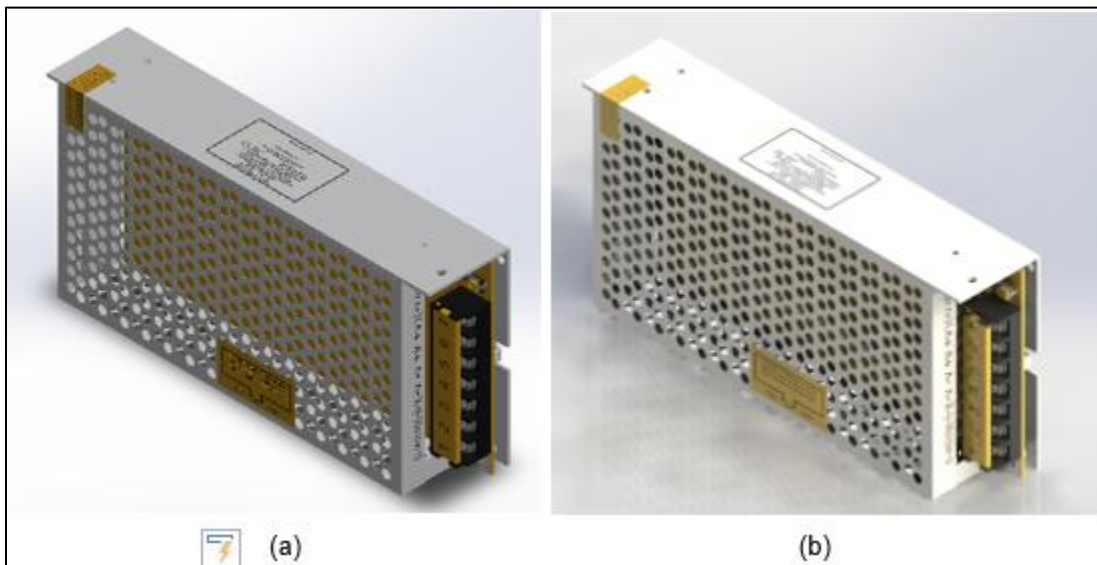


Figura 99: Fuente conmutada 24V modelada en SolidWorks.

(a) Isométrica, (b) Renderizado

Fuente: Prato, L. (2024)

4.5 Fase V: Evaluación de la viabilidad técnica, operativa, ambiental y económica del seguidor fotovoltaico diseñado

En esta fase del proyecto, se analizaron detalladamente todos los aspectos relacionados con el funcionamiento y rendimiento del sistema, su aplicabilidad en la comunidad caso estudio, así como su impacto en el entorno y su rentabilidad a largo plazo. Esta evaluación permitió tomar decisiones informadas sobre la implementación y optimización del seguidor fotovoltaico, garantizando su eficiencia y sostenibilidad en el tiempo.

4.5.1 Viabilidad técnica

La viabilidad técnica de un proyecto se refiere a la evaluación de si es factible llevar a cabo el proyecto desde un punto de vista técnico. Esto implica analizar si se cuenta con los recursos, conocimientos y tecnologías necesarios para llevar a cabo la propuesta del seguidor solar diseñado de manera exitosa. Algunos aspectos que se consideraron se incluyen en el Cuadro 28.

Cuadro 28: Aspectos técnicos requeridos para evaluar la viabilidad técnica.

Propuesta	Aspecto técnico requerido	Se tiene	
		Si	No
Seguidor solar de 2 ejes con transmisión de tornillo sinfín-corona, accionamiento por motor de paso y actuador lineal.	Los paneles solares a utilizar se consiguen con facilidad en el mercado.	X	
	Los actuadores a utilizar se consiguen con relativa facilidad en el mercado.	X	
	Los componentes electrónicos requeridos se consiguen con facilidad en el mercado.		X
	Los materiales utilizados en la estructura son de fácil obtención.	X	
	Se cuenta con un terreno de un área considerable para implementar la instalación de los seguidores.	X	
	Se cuentan con datos meteorológicos de la ubicación de la comunidad caso estudio.	X	
	Se cuentan con datos de la demanda y consumo total de la comunidad caso estudio.		X
	El mecanizado de las distintas piezas constitutivas de la estructura es de fácil acceso.	X	
	Los elementos de sujeción y rodamientos se consiguen con facilidad en el mercado.	X	

Fuente: Prato, L. (2024)

4.5.2 Viabilidad operativa

La viabilidad operativa de un proyecto se refiere a la capacidad que tiene este para ser llevado a cabo de manera eficiente y efectiva en términos de procesos y actividades necesarias. Para determinar la viabilidad operativa, se deben analizar diversos aspectos como los cambios que traería su implementación. Además, es importante considerar factores externos que puedan afectar la ejecución del proyecto, como el entorno económico o social. En el Cuadro 29 se muestran los aspectos a considerar.

Cuadro 29: Aspectos operativos para evaluar la viabilidad operativa.

Propuesta	Cambio que genera	Criterios del cambio	Se tiene	
			Si	No
Seguidor solar de 2 ejes con transmisión de tornillo sinfín-corona, accionamiento por motor de paso y actuador lineal.	Menor dependencia de la red eléctrica local.	¿Una instalación fotovoltaica basada en el seguidor solar diseñado es capaz de cubrir (en gran medida) la demanda local?	X	
	Efecto en el apartado visual del paisaje en la comunidad	¿Los seguidores solares instalados podrían tener un impacto negativo en el entorno de la comunidad?	X	
	Equipamiento con tecnología novedosa	¿Se requiere de personal de mantenimiento regularmente en la zona ante cualquier imprevisto?	X	
	Generación de excedentes energéticos que pueden ser vendidos a la red eléctrica.	¿Los seguidores pueden almacenar energía en baterías para su posterior uso o venta?	X	
	Equipos eléctricos sometidos a menores fluctuaciones de voltaje	¿El seguidor solar diseñado es capaz de seguir fielmente al Sol produciendo energía constante?	X	
	Disminución de la huella de carbono por habitante	¿El sistema diseñado produce emisiones nulas durante su vida útil?	X	

Fuente: Prato, L (2024)

4.5.3 Viabilidad ambiental

La viabilidad ambiental de un proyecto se refiere tanto a la capacidad de este para ser desarrollado sin causar impactos negativos significativos en el medio ambiente como la capacidad que tiene para reducir o contrarrestar los impactos causados por factores externos. Para determinar la viabilidad ambiental de la presente investigación, se consideraron los objetivos de desarrollo sostenibles formulados por la Organización de Naciones Unidas (ONU) que intervienen directamente con la propuesta planteada. De esta manera, si tiene una visión más clara de los lineamientos que sigue el diseño propuesto.

Cuadro 30: Aspectos ambientales para evaluar la viabilidad ambiental.

Propuesta	Meta	Objetivo	Sostenible	
			Si	No
Seguidor solar de 2 ejes con transmisión de tornillo sinfín-corona, accionamiento por motor de paso y actuador lineal.	7.2	De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas	X	
	7.3	De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética	X	
	8.4	Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, conforme al Marco Decenal de Programas sobre modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, empezando por los países desarrollados	X	
	9.4	De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas	X	
	9.5	Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando considerablemente, de aquí a 2030, el número de personas que trabajan en investigación y desarrollo por millón de habitantes y los gastos de los sectores público y privado en investigación y desarrollo	X	
	11.6	De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo	X	

Fuente: Prato, L. (2024)

En el Cuadro 30 anteriormente mostrados se puede observar que la propuesta diseñada contribuye al cumplimiento de distintos objetivos de la agenda sostenible 2030. No esta demás de añadir qué, si bien una instalación fotovoltaica basada en seguidores solares puede afectar la flora y fauna del lugar donde está situada, en cómputos generales sigue representando una gran opción para el desarrollo sostenible debido a las emisiones nulas de CO₂ que emite al ambiente durante su vida útil.

4.5.4 Viabilidad económica

Para determinar la viabilidad económica se elaboró un presupuesto abarcando desde los costos por elementos a utilizar hasta el costo correspondiente a la mano de obra empleada. Una vez obtenido este presupuesto, es fundamental compararlo con otros modelos existentes en el mercado para determinar si el proyecto es competitivo en términos de costos y beneficios. Solo a través de un análisis exhaustivo de los costos y beneficios potenciales se podrá evaluar adecuadamente la viabilidad económica del proyecto y tomar decisiones informadas sobre su implementación.

Cuadro 31: Costo total de la estructura diseñada.

Elemento	Cantidad	Precio p/u	Precio total
Panel solar monocristalino	1	227\$	227\$
Actuador Lineal con carrera de 250mm	1	180\$	180\$
Motor de pasos NEMA 34	1	80\$	80\$
Correa síncrona	1	6,67\$	6,67\$
Tornillo sinfín (material + maquinación)	1	25\$	25\$
Corona (material + maquinación)	1	35\$	35\$
Rodamiento 30302 J2	2	16\$	32\$
Rodamiento 32006 X/Q	1	30\$	30\$
Finales de carrera	2	2,6\$	5,2\$
Tornillos de cabeza plana M5x20	4	0,65\$	2,62\$
Tornillo hexagonal M10x20x18,5	4	0,67\$	2,68\$
Tornillo de cabeza de gota M4x20	4	0,27\$	1,08\$
Tornillo métrico de cabeza hexagonal M5x20	4	1,17\$	4,68\$
Tuerca hexagonal métrica M5	4	0,36\$	1,44\$

Continuación Cuadro 31

Elemento	Cantidad	Precio p/u	Precio total
Sensor LDR	4	1,5\$	6\$
Modulo Reloj en tiempo real	1	4,45\$	4,45\$
Encoder	1	19,70\$	19,70\$
Anemómetro	1	48\$	48\$
PLC Micrologix 1000 Analog	1	200\$	200\$
Acero galvanizado (laminas y perfiles)	-	-	240\$
Mano de obra (ensamblaje)	3 horas	15\$ / h	45\$
Imprevistos y miscelaneos	-	-	20\$
		Total	1216,52 \$

Fuente: Prato, L. (2024)

Una vez estimado el costo total de fabricación del seguidor, se comparó con otros seguidores solares de doble eje, mostrados en el Cuadro 31. Se realizó una relación entre el costo y la potencia nominal de cada uno para determinar el costo por vatio generado, de esta manera se pudieron considerar incluso seguidores de una mayor capacidad. Claro está que, la potencia nominal no es la entregada realmente por los seguidores. Sin embargo, es un indicativo que sirvió de guía para esta comparación (Ver Anexo I).

Cuadro 32: Comparación de seguidores de dos ejes en términos de costo.

Seguidor solar	Capacidad nominal	Costo en USD	Costo por vatio
Seguidor solar diseñado 	400W	\$1216,52	3,04 \$/W

Continuación Cuadro 32

Seguidor solar	Capacidad nominal	Costo	Costo por vatio
<p style="text-align: center;">Solener</p> 	2000W	\$6276,27	3,13 \$/W
<p style="text-align: center;">Solartech STS8</p> 	3000W	9668\$	3,22\$/W
	2000W	6200\$	3,1\$

Fuente: Prato, L. (2024), Solener (s/f), Deger Iberica (s/f) y Huayue New Energy Co. (2022)

Para determinar el número de seguidores solares a utilizar en la comunidad, es necesario primero conocer el consumo energético promedio de los hogares en la misma. Al tener esta

información, se podrá calcular cuántos seguidores solares son necesarios para cubrir las necesidades energéticas de la comunidad. Para ello, se recopiló información sobre el consumo promedio de los principales dispositivos eléctricos de un hogar convencional. Esta información se puede detallar en el Cuadro 33.

Cuadro 33: Consumo de los principales dispositivos eléctricos de un hogar

Dispositivo	Consumo promedio [Wh]
Nevera	370
Televisor	200
Lavadora	400
Secadora	2750
Aire acondicionado	1625
Computadora de escritorio	150
Microondas	190
Iluminación	75
Total	5760 W

Fuente: Prato, L. (2024)

Los dispositivos eléctricos esenciales de un hogar consumen 5760Wh aproximadamente, mientras que el sistema de seguimiento produce 400Wh en su capacidad máxima lo que implica que se necesitarían aproximadamente 14 seguidores solares para cubrir la demanda diaria de un hogar. Esto considerando la independencia total del sistema eléctrico nacional por parte del hogar.

CONCLUSIONES

Concluyendo la presente investigación centrada en el diseño de un seguidor solar fotovoltaico para la generación de energía en la comunidad Cardón del Estado Falcón; se han obtenido hallazgos y resultados notables que enfatizan la importancia de esta investigación. A lo largo de su desarrollo se ha identificado, recopilado y analizado información de distintos aspectos con la finalidad de cumplir el objetivo planteado.

En cuanto al diagnóstico de las distintas tecnologías de seguimiento solar en lo referente a sus capacidades técnicas y operativas se concluye que los seguidores de dos ejes son los de mayor versatilidad. Al poseer dos grados de libertad, su capacidad para cubrir los distintos puntos de la esfera solar es considerablemente mayor a comparación de los de un único eje. Además de que permiten no solo seguir el Sol en el día, sino también adaptarse con el cambio de las estaciones. Por otro lado, se consideraron también los actuadores utilizados normalmente en este tipo de sistemas, concluyendo que ninguno es mejor que otro, su elección dependerá de la magnitud del sistema y los requerimientos. Así mismo, entre los sensores más utilizados se encontraban los basados en fotodiodos.

En la fase correspondiente al análisis de las variables que intervienen en el movimiento y control de una celda fotovoltaica se determinaron las principales variables a tener en cuenta en el diseño. Utilizando las herramientas de análisis de datos se determinaron las causas que dificultan el seguimiento del Sol eficientemente, concluyendo que la principal causa tiene su origen en el sistema mecánico, específicamente en la configuración de sus ejes, rango de movimiento. No obstante, factores como la instrumentación, ubicación geográfica, condiciones climáticas y desgaste en su estructura también afectan el rendimiento. Todo ello, permitió adoptar una estrategia basada en desarrollar un seguidor solar resistente a condiciones climáticas con el menor número de partes móviles y con la mejor relación de espacio utilizado-eficiencia.

Con respecto a la selección de la alternativa de solución del sistema de seguimiento solar a diseñar se definieron las funciones principales, establecieron criterios y restricciones en base a la información obtenida. Se realizaron las respectivas ponderaciones por medio de las matrices de decisión de Vilchez, concluyendo que la mejor solución para satisfacer las necesidades establecidas fue la No. 4 correspondiente al seguidor solar con transmisión de sinfín-corona, ya

que, además de cumplir con cada una de las restricciones también fue la que mayor viabilidad tiene con los criterios.

En relación con el diseño del seguidor fotovoltaico seleccionado, que permita generar energía eléctrica a su máximo rendimiento, se diseñó tanto el sistema mecánico, como el sistema de control. En cuanto al apartado mecánico, mediante los respectivos cálculos y dimensionamientos, se determinó que los actuadores a utilizar son el actuador lineal LA23 con una carrera de 250mm para el posicionamiento horizontal y un motor de pasos NEMA 34 para el posicionamiento vertical. Por otro lado, el material seleccionado para la corona fue el bronce al manganeso, mientras que para el sinfín fue acero 1020 endurecido. Así mismo, debido a las condiciones ambientales se seleccionó el acero galvanizado como el material idóneo para la estructura. Además, se seleccionaron los rodamientos 30302 J2 y 32006 X/Q.

Por otro lado, para el sistema de control basado en un algoritmo de punto luminoso, fue necesario la programación de un PLC Micrologix 1000 analog. Debido a la presencia de entradas analógicas fue necesario seleccionar un PLC que admitiera este tipo de entradas. Se utilizó un lenguaje Ladder y bloques funcionales de comparación para una mayor facilidad y entendimiento de la rutina del programa. Además, fue necesario incluir un reloj en tiempo real que permita el retorno a HOME de manera sencilla al finalizar el día. Los demás sensores seleccionados fueron los sensores LDR, un encoder y un anemómetro.

Con respecto al último punto enfocado en la evaluación de la viabilidad técnica, operativa, ambiental y económica del seguidor fotovoltaico a implementar en la comunidad. Las conclusiones obtenidas permiten afirmar que la instalación de un seguidor solar fotovoltaico es una opción viable y eficiente para mejorar el suministro eléctrico en la comunidad, contribuyendo además a la protección del medio ambiente y al desarrollo sostenible. No obstante, se necesitarían una cantidad elevada de seguidores para cubrir las necesidades de la comunidad entera. Si bien el retorno de inversión se logra al largo plazo, sigue siendo una opción económicamente rentable si lo comparamos con otros sistemas de seguimiento.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar las condiciones climáticas y geográficas de la zona donde se instalarán los seguidores solares. Se deben considerar tanto la ubicación como la dirección del viento promedio durante el año.
- Realizar pruebas piloto para verificar el rendimiento del seguidor solar en condiciones reales antes de su implementación a gran escala.
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo para garantizar el correcto funcionamiento del seguidor solar a lo largo del tiempo, tanto del sistema mecánico como el de control.
- Considerar integrar sistemas de almacenamiento de energía para optimizar su uso y reducir costos.
- Se debe realizar un análisis topográfico del terreno donde serán ubicados e instalados los seguidores solares, con el fin de minimizar la existencia de desniveles.
- Realizar un análisis financiero detallado que incluya los costos de inversión, operación y mantenimiento, así como los beneficios económicos esperados a lo largo del tiempo.
- En caso de llevar a cabo, se considera necesario coordinar con la compañía de electricidad nacional, así como verificar las normas locales, nacionales y las licencias necesarias para llevar el proyecto a cabo.

REFERENCIAS

- Amazon. (s/f). Stepperonline Motor paso a paso de doble eje Nema 17 1.8deg 26ncm/37oz.in 12v 0.4a 1.654x1.654x1.339 in 4-Wire.
- Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación 6ta Edición. Editorial Episteme, C.A.
- Arpi, S. & Prado, B. (2022). Diseño de un seguidor solar de doble eje para un sistema de energía fotovoltaica en el centro de salud de la comunidad de Yaapi.
- Autosolar.pe (s/f). Diferencias entre el silicio monocristalino y silicio policristalino en el sector de la energía solar. Recuperado el 14 de diciembre de 2023, de <https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/diferencias-entre-el-silicio-monocristalino-y-silicio-policristalino-en-el-sector-de-la-energia-solar>
- Balestrini, M. (2002). Como Se Elabora El Proyecto de Investigacion 6ta Edicion. BL Consultores Asociados.
- Beer, F. & Johnston, Jr. (2010). Mecánica de Materiales 5ta Edición. McGraw-Hill, Interamericana de España.
- Bulnes y Roberto Best y Brown, C. A. (2010). Energía del Sol. Ciencia- Academia Mexicana de Ciencias, 10–17.
- Carbonell, M. (2023). ¿Qué es la radiación solar directa e indirecta? Hogarsense.es; DAA GmbH. <https://www.hogarsense.es/placas-solares/radiacion-solar-directa-e-indirecta>
- Deger Iberica (s/f). Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <https://degeriberica.com/>
- DFRobot (s/f) RS485 wind speed transmitter (0~32.4m/s). Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <https://www.dfrobot.com/product-2339.html>
- Díaz Corcobado, T. y Carmona Rubio, G. (2010). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. McGraw-Hill, Interamericana de España.
- Dosi, G. (1988): “Fuente, Métodos y Efectos Microeconómicos de la Innovación”, Ekonomiaz. Revista Internacional de Economía, vol. 22, pp. 269-331.
- Doval, O. (2023, September 15). Sector eléctrico en Venezuela. Efecto Cocuyo. <https://efectococuyo.com/opinion/sector-electrico-en-venezuela/>
- Dynamo Electronics. (s/f). Sensor luz analógico, digital (Fotorresistencia). DynamoElectronics. Recuperado el 30 de marzo de 2024, de <https://www.dynamoelectronics.com/tienda/sensor-luz-analogico-y-digital-dyn/>

- Efecto Cocuyo – AVIEM (2020). La demanda eléctrica cayó 41% pero no hay capacidad para cubrirla. <https://efectococuyo.com/la-humanidad/la-demanda-electrica-cayo-41-pero-no-hay-capacidad-para-cubrirla/>
- Elindar (s/f). Motores paso a paso. Com.Ar. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <http://www.elindar.com.ar/ver-motores-pap.html>
- Electronica.club (s/f) Sensor LDR Módulo Detector Ajustable Luminosidad Luz Arduino. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <https://electronica.club/producto/sensor-ldr-modulo-detector-ajustable-luminosidad-luz-arduino/>
- Fenghe. (2022). Solar tracker slewing drive. <https://www.directindustry.com/prod/xuzhou-fenghe-slewing-bearing-co-ltd/product-199891-2465561.html>
- Firgelli Automations (s/f) Actuadores lineales. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <https://www.firgelliauto.com/es/>
- Global Energy Monitor (2022). Perfil energético: Venezuela. (2022, September 27). https://www.gem.wiki/Perfil_energ%C3%A9tico:_Venezuela
- HDSOLAR. (s/f). China solar tracker, solar ground mounting system, solar rooftop system manufacturers, suppliers, factory -. Hdsolartech.com. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <https://www.hdsolartech.com/>
- Humberto Gutiérrez Pulido, R. de la V. S. (2009). Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma 2da Edición. McGraw Hill Higher Education.
- HVHIndustrial.com (s/f). Tipos de servomotores.. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <https://hvhindustrial.com/es/blog/tipos-de-servomotores>
- Juvinall, R. (1996). Fundamentos De Diseño Para Ingenieria Mecánica. LIMUSA S.A.
- Laenergiasolar.org (2018) Seguidor Solar. <https://laenergiasolar.org/energia-fotovoltaica/seguidor-solar/>
- LINAK. (2024). Actuadores electricos lineales. Linak-latinamerica.com. <https://www.linak-latinamerica.com/>
- MEGATRON Elektronik (s/f). GmbH & Co. KG - Catálogo PDF. Directindustry.es. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <https://pdf.directindustry.es/pdf-en/megatron-elektronik-gmbh-co-kg/etx25k/13783-965954.html>
- Morales, L. (2021). Propuesta de implementación de un generador eléctrico a través de conversión de energía solar por medio de paneles solares. Caso: Parcela 566. Sector Uverote, municipio Francisco de Miranda, estado Guárico.

- Moviltronics (s/f). Modulo Reloj RTC DS3231Tiempo Real. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <https://moviltronics.com/tienda/modulo-reloj-rtc-ds3231/>
- NexTracker (2017) Transform your solar plant performance. <https://nextracker.com/>
- Ogata, K. (2010). Ingeniería de Control Moderna 5ta Edición. Prentice Hall.
- Ordóñez, A. (s/f). Efecto de la radiación solar en la Tierra. Seiscubos.com. Recuperado el 9 de octubre de 2023, de <https://www.seiscubos.com/conocimiento/efecto-de-la-radiacion-solar-en-la-tierra>
- OVSP (2023). Servicios públicos en Venezuela archivos. Retrieved October 8, 2023, from <https://www.observatoriovsp.org/tag/servicios-publicos-en-venezuela/>
- Palella, S. & Martins, F. (2012). Metodología De La Investigación Cuantitativa 3ra Edición. FEDUPEL.
- Perpiñán, O.(2013). Energía Solar Fotovoltaica. <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>
- Ron, A., & Velázquez, H. (2021). Evaluación del potencial fotovoltaico en los embalses de Venezuela, con énfasis en el embalse de la central hidroeléctrica Juan Antonio Rodríguez Domínguez.
- Ronchetti, R., & Amaya, A. (2019). Alternativa Tecnológica para la Generación de Energía Eléctrica en la Industria Petroquímico Venezolano.
- Saioa Control Industrial. (2021). Anemómetro Seguidores Solares - Anemómetros de seguridad - Con relés. SAIOA CONTROL. <https://saioacontrol.com/anemometros-de-seguridad-para-seguidores-solares>
- Sánchez Juárez, A. y Martínez Escobar, D. (2017). Aplicaciones Fotovoltaicas de la Energía Solar en los Sectores Residencial, Servicio e Industrial. Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sensing S.L (2022) Inclinómetro económico SST20. Sensing, Sensores de Medida;. <https://sensores-de-medida.es/catalogo/inclinometro-economico-sst20/>
- Shandong Huayue New Energy Co., Ltd. (s/f). Alibaba.com. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <https://uniquesolar.en.alibaba.com/>
- Shigley, J. E. (2008). Diseño en Ingeniería Mecánica - 9b: Edicion. McGraw-Hill Companies.
- Siancha, J. O. (2013). Ahorro de Energía: USO Eficiente de la Energía. Ahorro de Energía.
- Smith, W. F. (2006). Fundamentos de la ciencia E ingenieria de materiales 4ta Edición. McGraw-Hill Companies.

- Solar, M. (s/f). El seguidor más grande del mercado. Proinso.net. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <https://www.proinso.net/pub/doc/File/cast/1-axis-polar-tracker-mecasolar-catalog.pdf>
- Solargis (s/f). Global Solar Atlas. Globalsolaratlas.Info. Retrieved October 8, 2023, from <https://globalsolaratlas.info/map?c=11.83039,-70.20401,10&m=site&s=11.719478,-70.206757>
- SOLENERSA (s/f). Seguidor solar 2 ejes 55-80m2 12KW con electrónica. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <https://solenersa.com/producto/seguidor-solar-2-ejes-55-80m2-12kw-con-electronica/>
- SunPower Maxeon. (s/f). Paneles solares. Maxeon.com. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <https://sunpower.maxeon.com/es/productos-de-paneles-solares/paneles-solaressunpower-maxeon>
- Tamayo & Tamayo. (2012) The Process of Scientific Research. Limusa Noriega Editors. 4th Edition Mexico.
- TOREC (s/f). tornillo Fijadora Phillips - M5 x 20. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de https://www.torec.mx/products/tfp5x20?_pos=2&_sid=7d963d7d1&_ss=r
- Trackers. (s/f). Arctechsolar.us. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <https://www.arctechsolar.us/gzxt>
- UNIT Electronics (s/f). Fuente Conmutada 24V 10A. Recuperado el 12 de abril de 2024, de <https://uelectronics.com/producto/fuente-conmutada-24v-10a/>
- Villamizar, J. (2021). Propuesta de la aplicación de la energía solar como medio alternativo para el sistema de agua caliente del área de lavandería del hospital Dr. Luis Razetti, ubicado en el municipio Barinas del estado Barinas.
- Weather Spark (s/f). El clima en Punto Fijo, el tiempo por mes, temperatura promedio (Venezuela) - Weatherspark.com. Recuperado el 12 de marzo de 2024, de <https://es.weatherspark.com/y/26694/Clima-promedio-en-Punto-Fijo-Venezuela-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Wikipedia contributors. (s/f). Pirheliómetro. Wikipedia, The Free Encyclopedia. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Pirheli%C3%B3metro&oldid=157796702>
- Zhangjiagang Ever Faith Industry Co., Ltd. (s/f)- solar carport system; Solar Mounting System, Light Guage Steel House. Alibaba.com. Recuperado el 11 de marzo de 2024, de <https://everfaith.en.alibaba.com/>

APÉNDICE

APÉNDICE A: Instrumentos de Recolección de Datos

N°	Lista de cotejo	Si	No
1	¿La comunidad Cardón cuenta con una subestación propia?		
2	¿Parte del sistema de distribución eléctrico de la comunidad como cables o postes se encuentran deteriorados?		
3	¿Existen otras fuentes renovables que alimenten así sea una pequeña parte de la comunidad?		
4	¿Los habitantes de la comunidad hacen uso de plantas eléctricas cuando hay cortes de luz?		
5	¿Las viviendas poseen techos que resistan la instalación de un sistema fotovoltaico?		
6	¿Existen espacios de tamaño considerable dentro de la comunidad donde se podrían instalar múltiples sistemas de seguimiento solar?		
7	¿Existen obstrucciones como árboles, edificios u otros objetos que puedan generar sombras y reducir la eficiencia de los paneles?		
8	¿Hay algún centro de salud dentro de la comunidad que requiera de energía eléctrica constante?		

N°	Guion de entrevista
1	Los seguidores solares se clasifican en base a un número y configuración de sus ejes ¿Cuál considera que es la configuración más apropiada para el diseño?
2	¿Cuál considera que es el mejor algoritmo para implementar en el sistema de seguimiento solar de un seguidor solar, y por qué?
3	¿Cuáles considera que son los actuadores más adecuados para mover un seguidor solar fotovoltaico y qué características deben tener para garantizar un óptimo rendimiento del sistema de control?
4	En base a su experiencia ¿Cuál considera usted que es la metodología correcta para diseñar e implementar un sistema de control adecuado que pueda maximizar la captación de energía solar?
5	En su opinión, ¿Qué tipo de sensores considera usted que son esenciales para asegurar la mayor captación de energía solar?
6	¿Cuáles considera que son las limitaciones u obstáculos que se pueden presentar al momento de implementar el sistema de seguimiento solar?

APÉNDICE B: Validación de los instrumentos



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7	✓			✓		

Fecha: 13/10/2023


 Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Ing. Electricista Especialista en Docencia para la Educación Sup. Magister Scientiarum en Instrumentación
--	---



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7	✓			✓		

Fecha: 13/10/2023


Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Ingeniero Mecánico Doa. Ciencia de la Educación
--	--



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

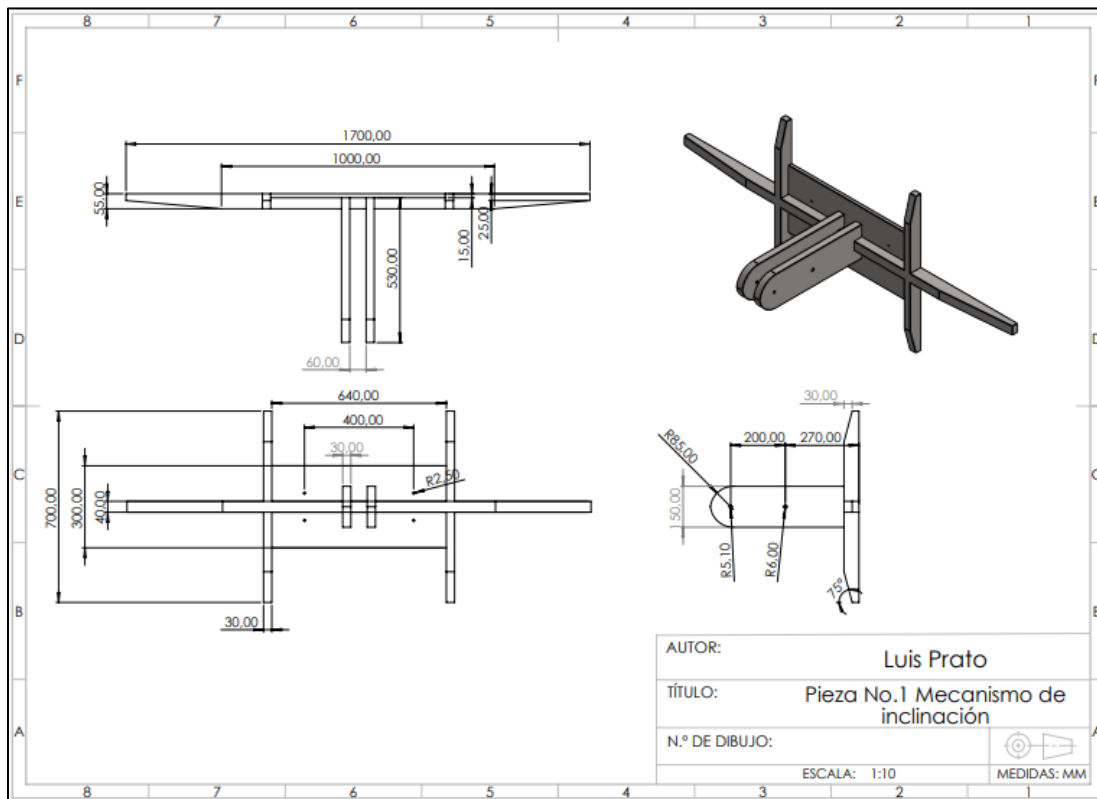
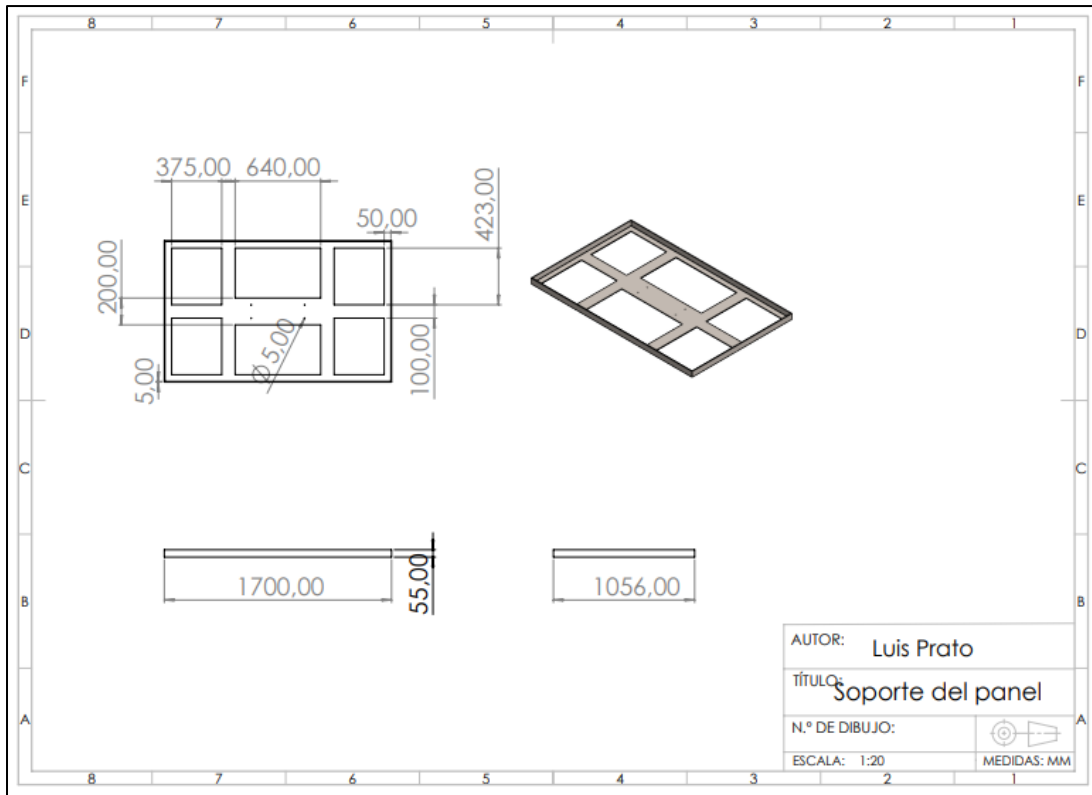
Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	X			X		
2	X			X		
3	X			X		
4	X			X		
5	X			X		
6	X			X		
7	X			X		

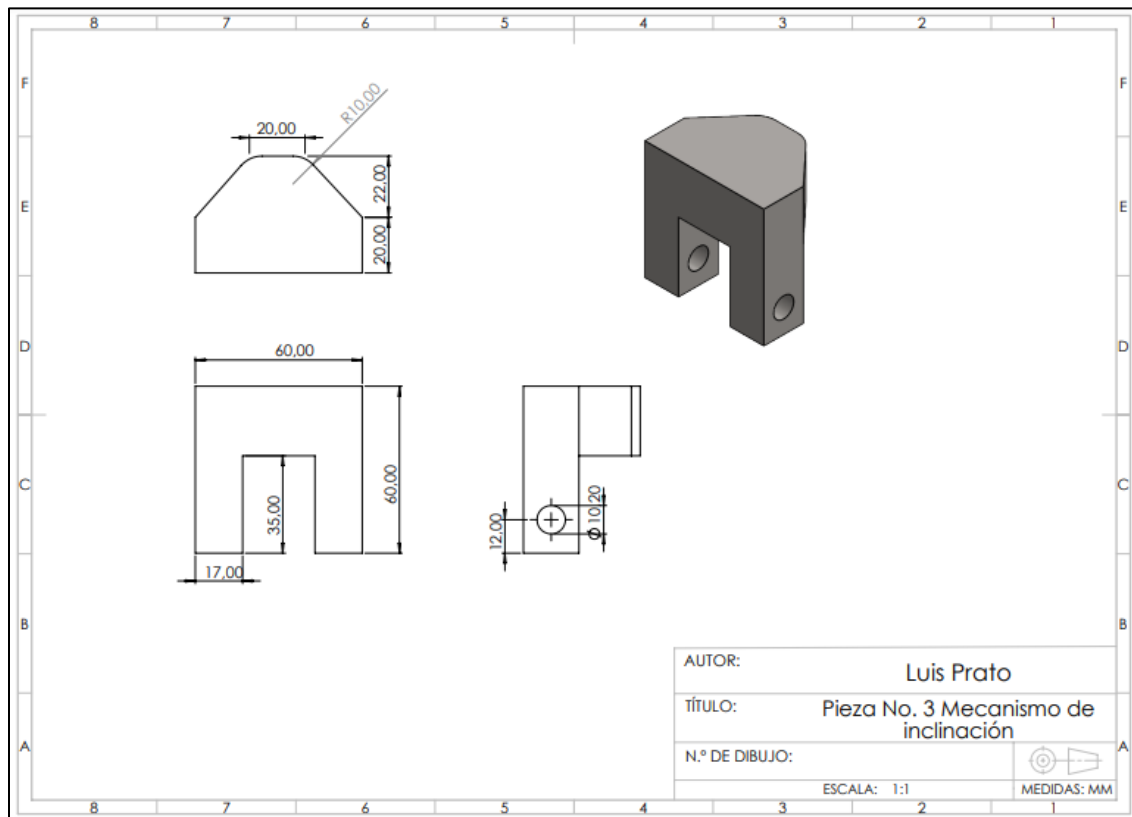
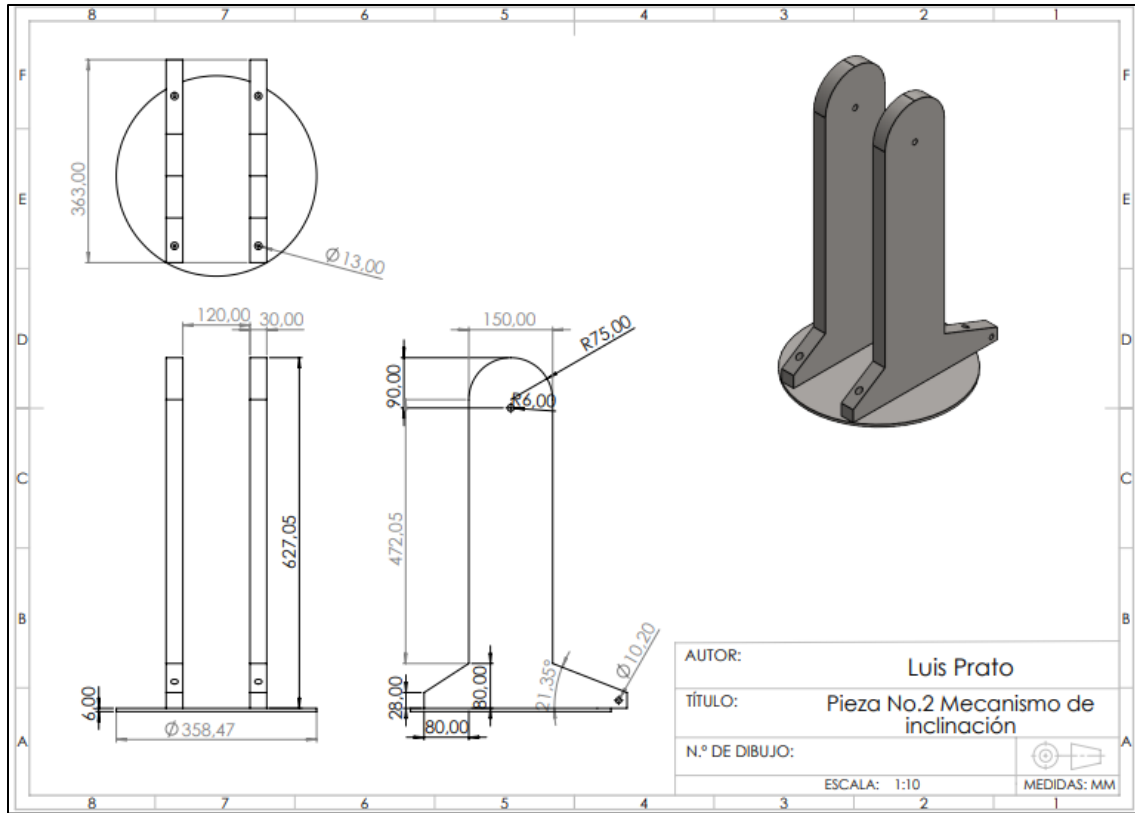
Fecha 13/10/2023

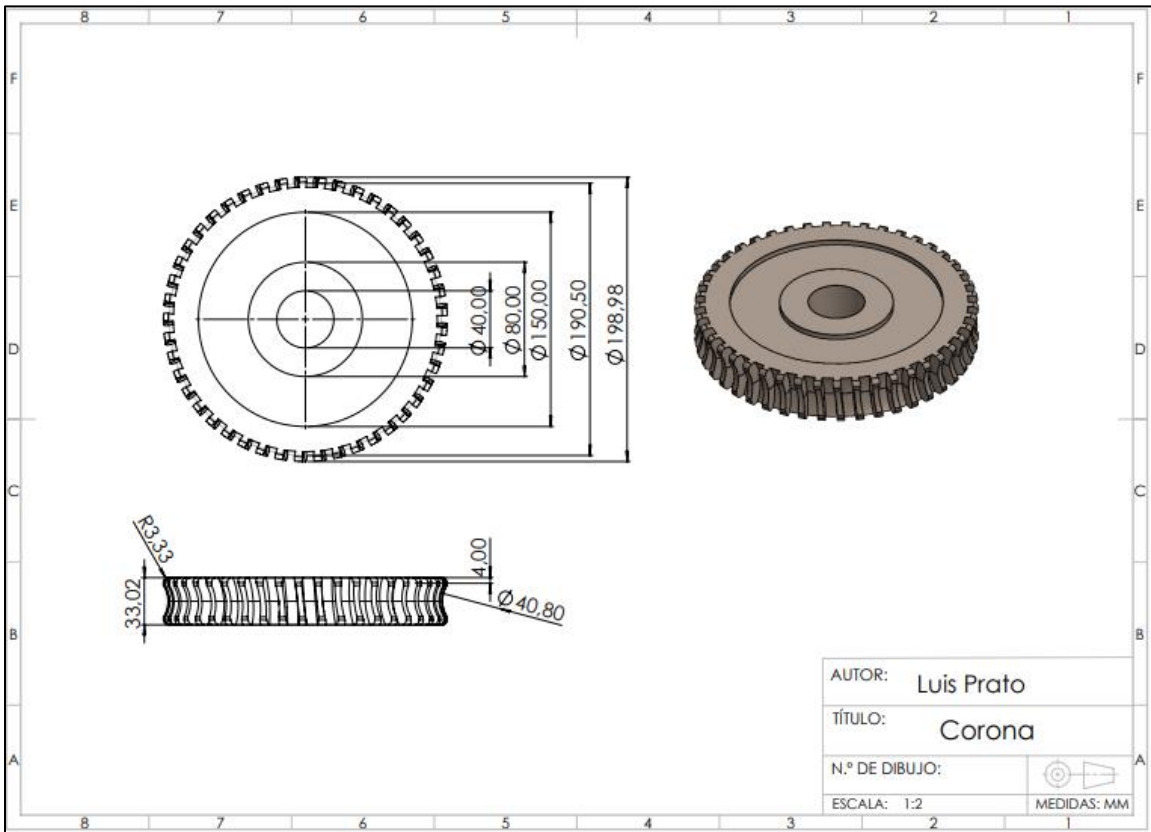
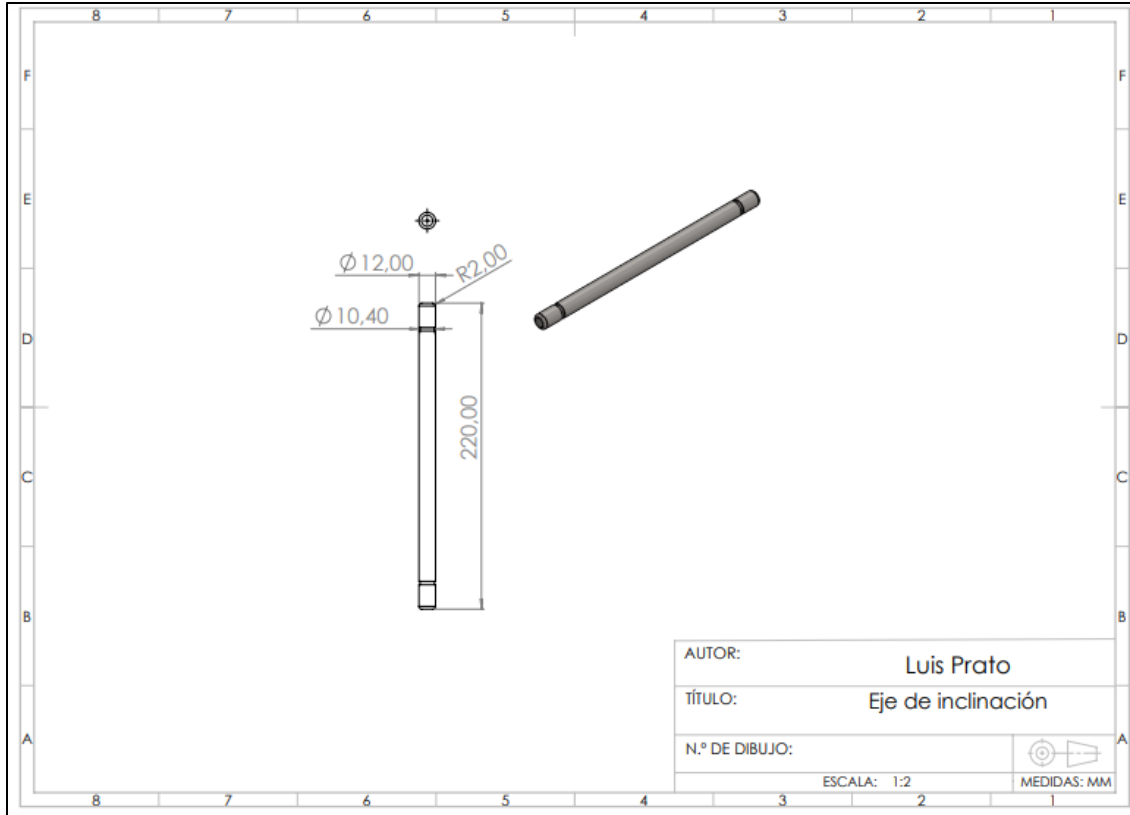

Firma del Especialista:

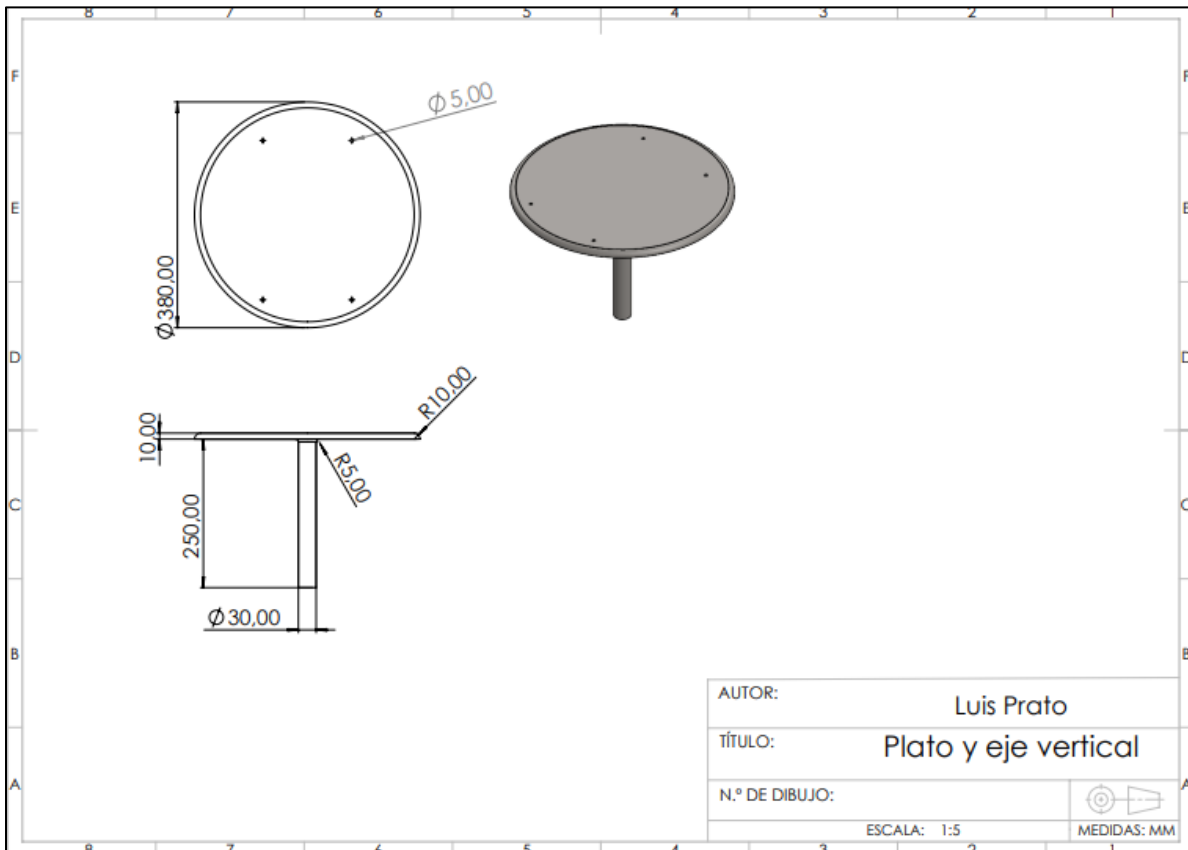
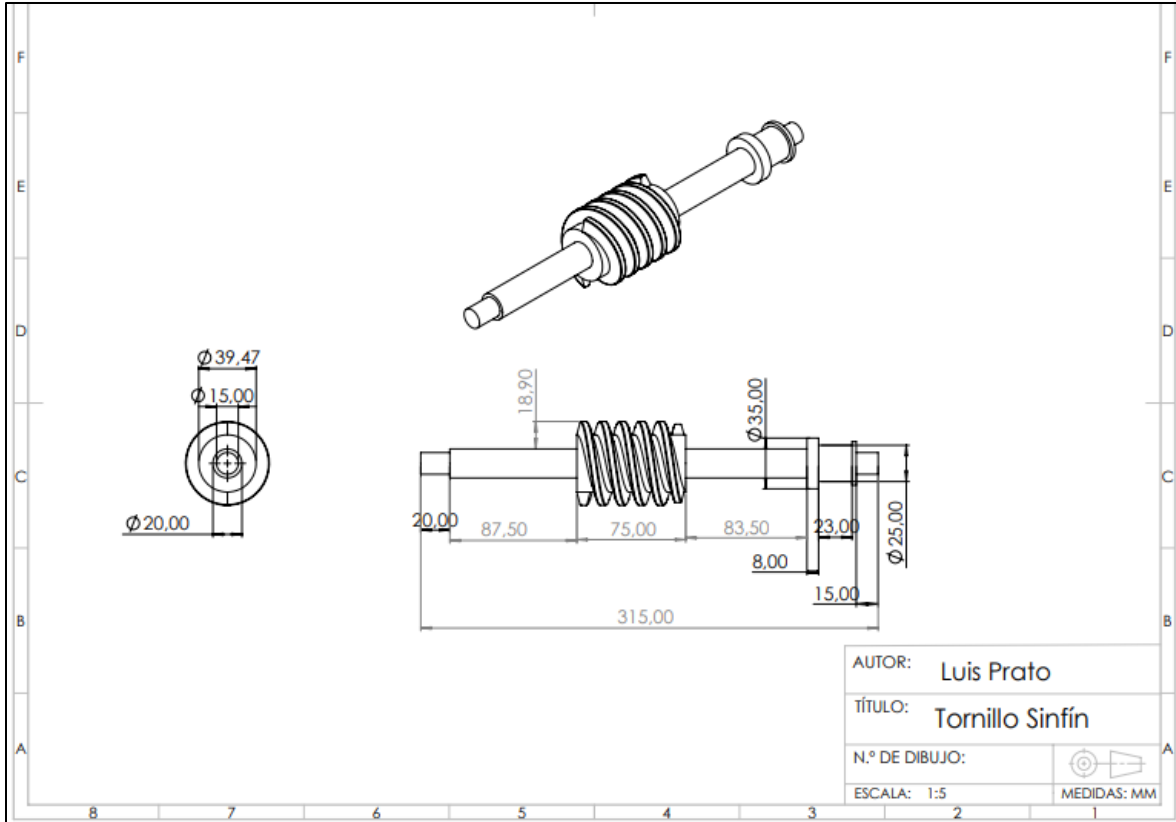
Breve descripción del perfil académico del Especialista.	ING. MECÁNICO
--	---------------

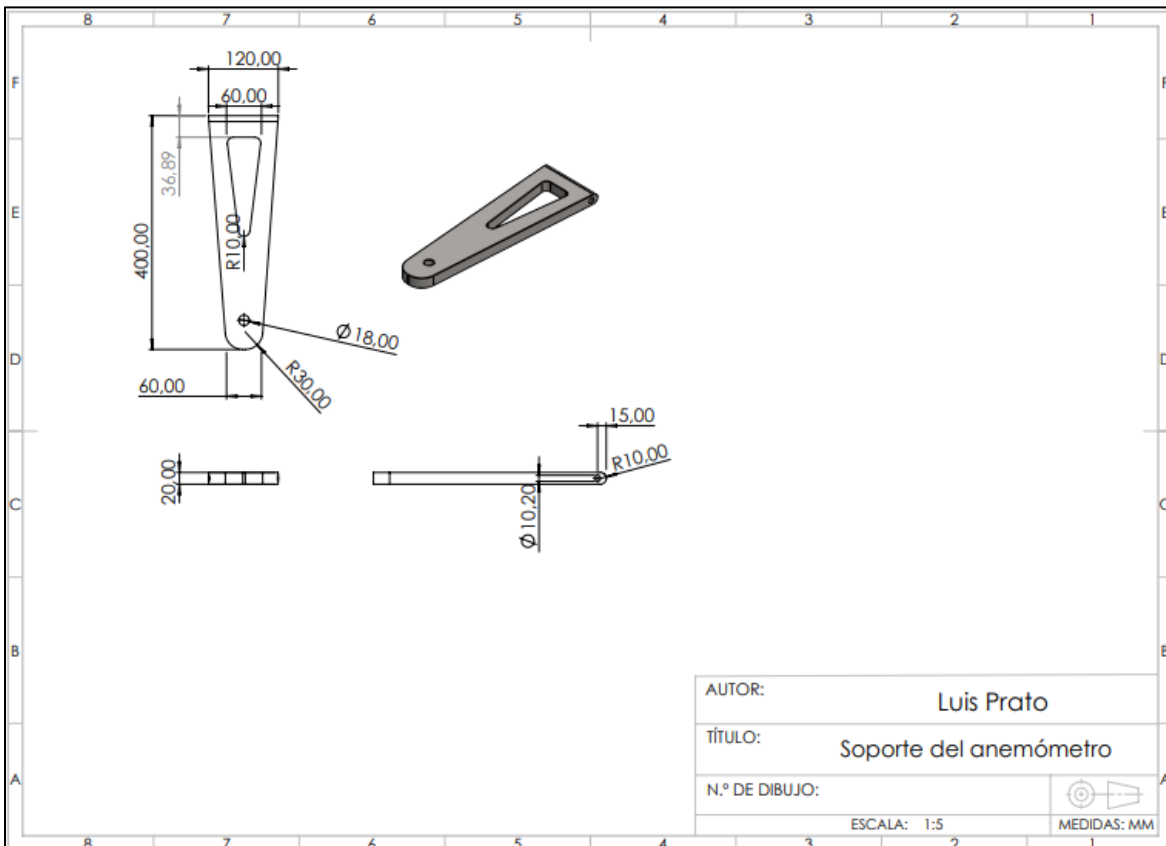
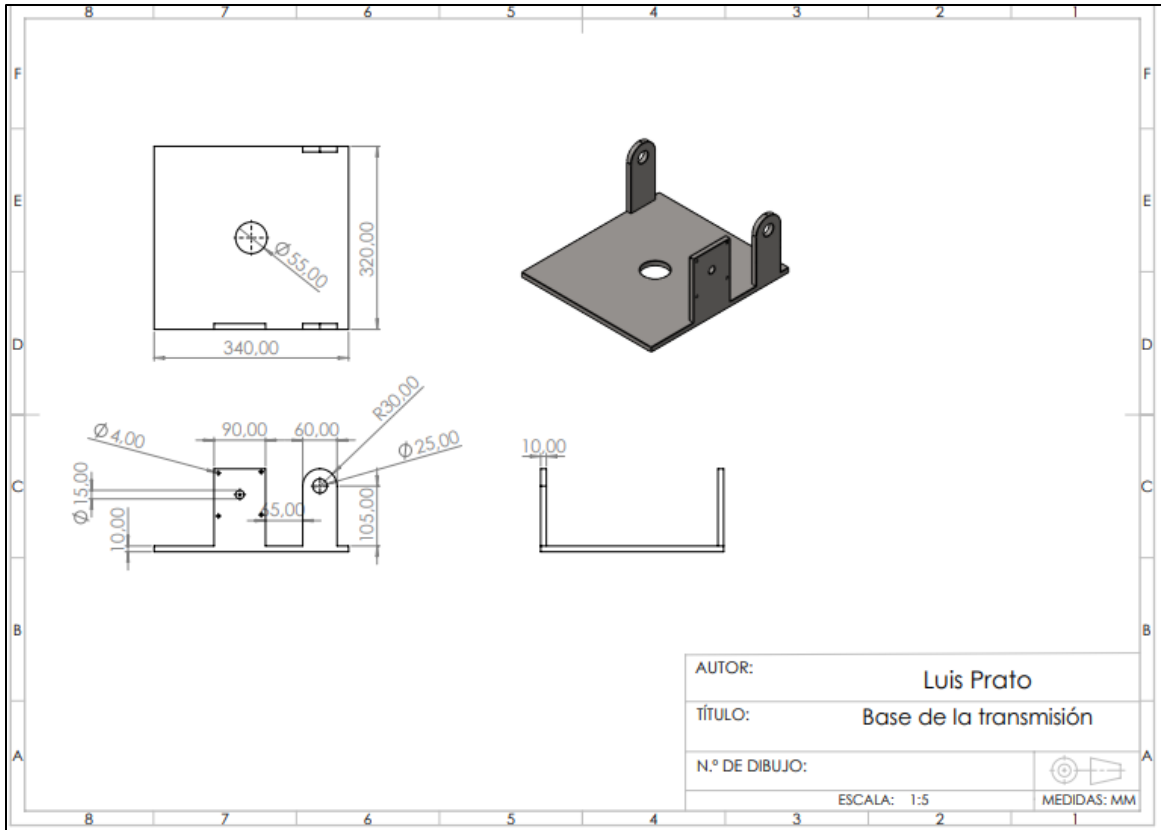
APÉNDICE C: Planos de las partes del seguidor solar

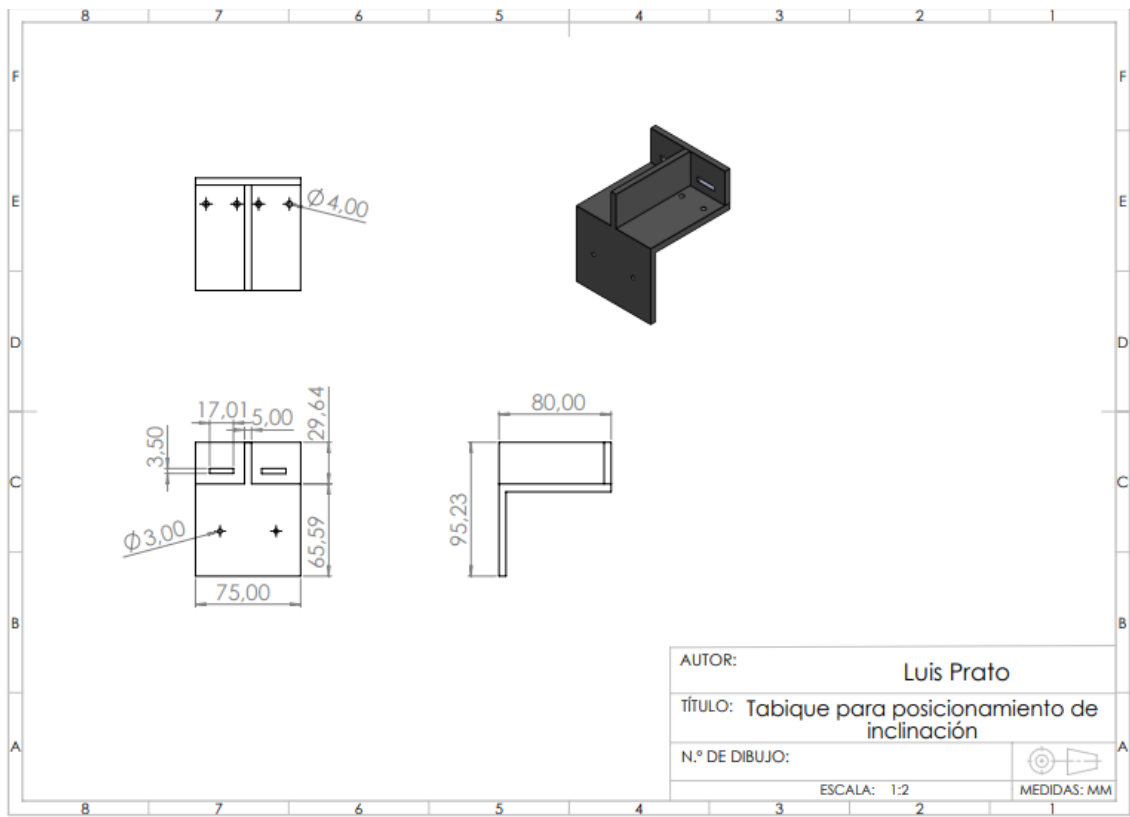
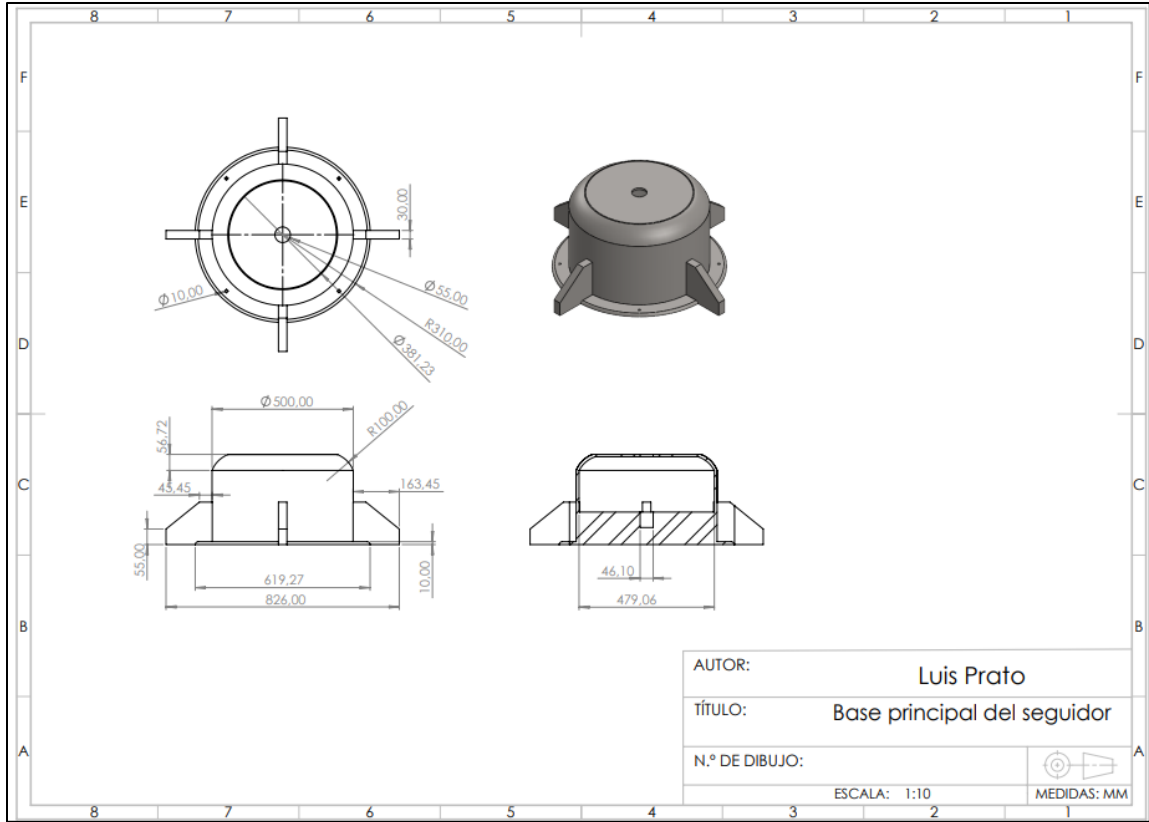


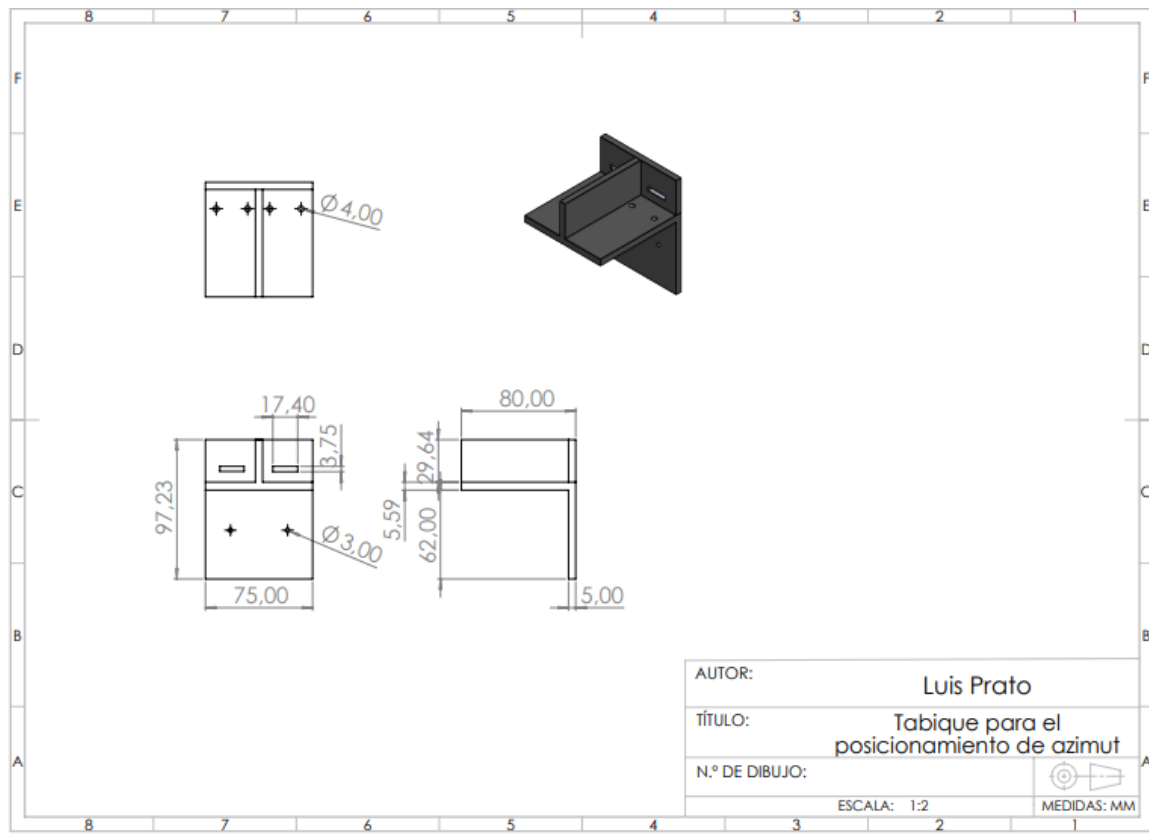












ANEXOS

ANEXO A: Actuador lineal LA23 LINAK



Features and options:

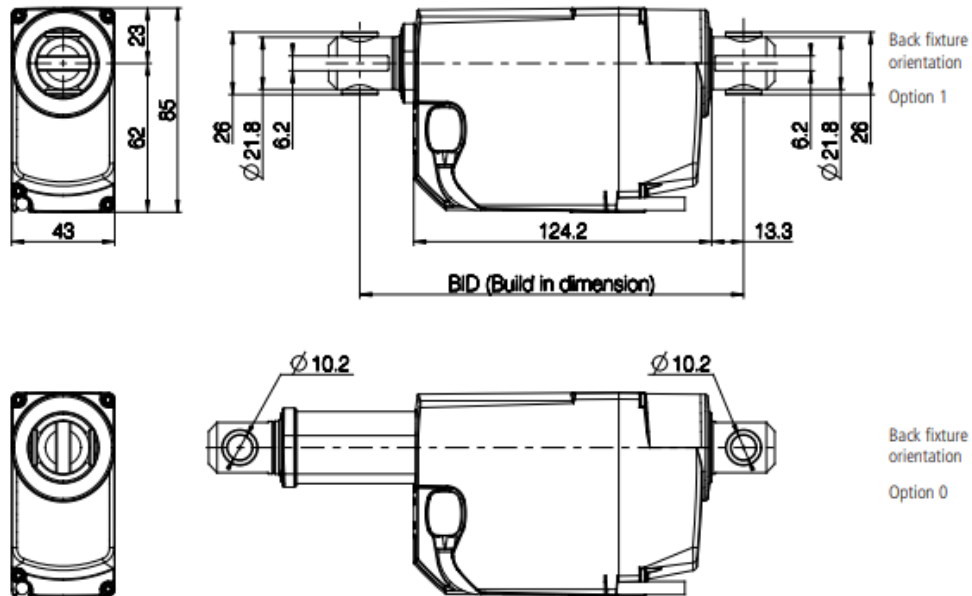
- Load in push: 2,500 N, 1,800 N, 1,500 N, 1,200 N, 900 N or 300 N
- Load in pull: 2,500 N, 1,800 N, 1,500 N, 1,200 N, 900 N or 300 N
- Housing colour: Black (RAL 9005), outer tube steel or black Light grey (RAL 7035), outer tube steel
- Protection class: IPX4, IPX6
- Motor: 12 V DC, 24 V DC
- Stroke length: 20 - 500 mm (for stroke 300-500 mm max. load is 1,000 N for pitch 3, 5, 6 and 9)
Pitch 12 mm (for stroke 300-500 mm max. load is 900 N)
Pitch 20 mm (for stroke 300-500 mm max. load is 300 N)
- Built-in dimensions: 110 - 146 mm + stroke length
- Positioning options: Potential free end stop signals
Hall potentiometer or Hall PWM position
Single Hall, Dual Hall
- Back fixture material: Plastic or steel
- Nut: Guided
- Safety nut: In push or pull (2,500 N and 1,800 N version only safety nut in push)
- Mechanical spline: Yes

- Built-in electrical end-stop: Yes
- Exchangeable cable: Yes
- Static safety factor: 2.5
- Noise level: Max. 58.5 dB(A) (At nominal voltage and with no load, according to EN ISO 3743-1)
- Mechanical end stop: Yes
- Integrated Control: Yes

Usage:

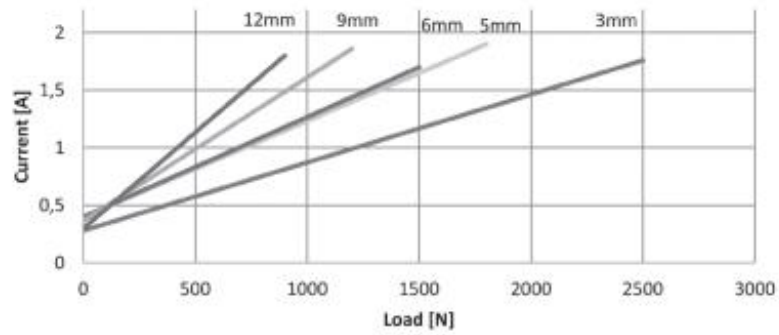
- Duty cycle: 10%, 2 minutes continuous use followed by 18 minutes not in use
- Usage temperature: +5° - +40° normal operating temp. -30° - +50° according to test conditions: ISO 7176-9
- Storage temperature: -45°C to +70°C (according to ISO 7176-9)
- Compatibility: Compatible with LINAK control boxes. Please contact LINAK.
- Approvals: IEC60601-1, ANSI/AAMI E560601-1, CAN/CSA 22.2 No 60601-01.
LA23IC is not approved according to the above.
LA23 in combination with CBD4, CBD5 & CBD6 has no approvals.
- Flammability rating: Enclosure UL94-V0

Dimensions:

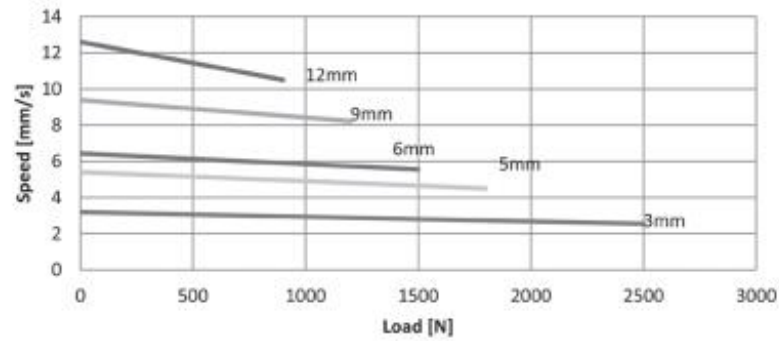


24V motor type B

LA23 24V B motor, typical current vs load




LA23 24V B motor, typical speed vs load

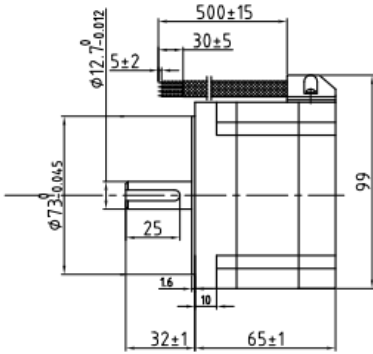


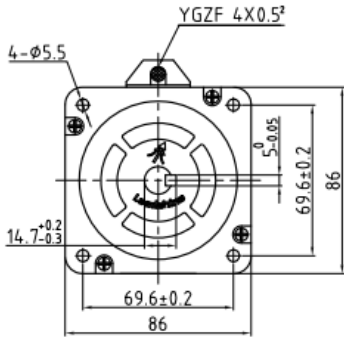
ANEXO B: Motor NEMA 34 ELINDARSRL 86CM35

Common Rating		Specification	
Step angle	1.8°	Current/phase	4.0 A
Position accuracy	1.8±0.09°	Voltage	1.7 V
Dielectric strength	500VAC 1min	DC Resistance/phase	0.42 Ω
Insulation resistance	100MΩm(500VDC)	Inductance/phase	2.67 mH
Insulation class	B	Holding torque	3.5N·M
Temp rise(Max)	80K	Inertia	1 kg·cm ²
Radial play	Max.0.02mm(Load 450g)	Weight	1.8 kg
Axial play	Max.0.08mm(Load 900g)		

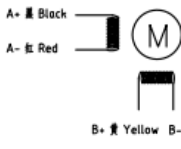
Dimension: (Unit: mm)






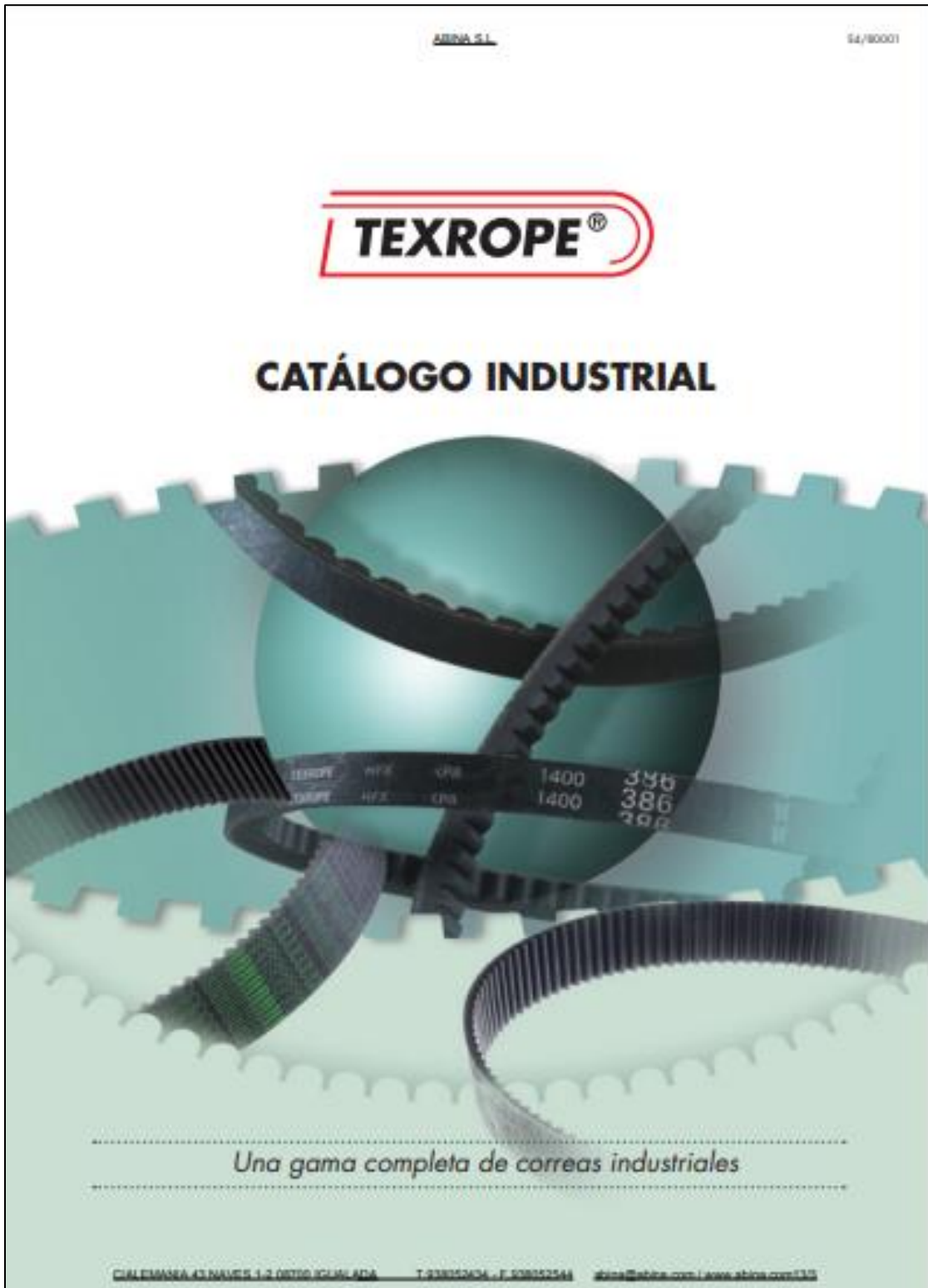


版本 Rev	日期 Date	更改内容 Content	变更内容 Revision	设计 by
V1.0	17.5.19		增LOGO	王洪松

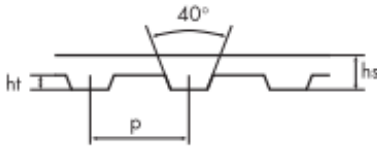
Common Rating		Specification		Motor Connections	
Step angle	1.8°	Current/phase	4.0 A	A- 黑 Black	
Position accuracy	1.8±0.09°	Voltage	1.7 V	A- 红 Red	
Dielectric strength	500VAC 1min	DC Resistance/phase	0.42 Ω		
Insulation resistance	100MΩm(500VDC)	Inductance/phase	2.67 mH		
Insulation class	B	Holding torque	3.5N·M		
Temp rise(Max)	80K	Inertia	1 kg·cm ²		
Radial play	Max.0.02mm(Load 450g)	Weight	1.8 kg		B+ 黄 Yellow B- 蓝 Blue
Axial play	Max.0.08mm(Load 900g)				

设计 Designed	王洪松	日期 Date	17.05.19	材料 Material		深圳市雷赛智能控制股份有限公司 SHENZHEN LEADSHINE TECHNOLOGY CO., LTD.	
审核 Checked	刘佩峰		17.05.19	第一角画法 First Angle projection		名称 Title	混合式步进马达
批准 Approved	王洪松		17.05.19	比例/重量 Scale/Weight	1:1	图号 Drawing No.	86CM35
图号 Drawing No.				共 1 张 第 1 张	Sheet 1 of 1		

ANEXO C: Catalogo de correas transmisión TEXROPE



Características físicas



	XL	L	H	XH
Paso p (mm)	5,080	9,525	12,700	22,225
Altura de diente ht (mm)	1,27	1,91	2,29	6,35
Altura nominal hs (mm)	2,3	3,5	4,0	11,4
Masa lineal (g/m) para 1 mm de anchura	2,4	3,2	3,9	11,3
Diámetro mín. de enrollamiento en número de dientes	10	10	14	18
Diámetro primitivo mínimo (mm)	16,17	30,32	56,6	127,34

El método de cálculo "Correas sincronas TEXROPE®" (ref. E4/80019) da todas las indicaciones necesarias para calcular una transmisión por correas TEXROPE® STB. Asimismo, puede consultar el software de diseño de transmisiones TEXROPE® disponible en CD-ROM (ref. E/80008).

ABINA S.L.

TEXROPE®

TEXROPE® STB

XL			XL			H			XH		
Referencia	Lp (mm)	Número de dientes	Referencia	Lp (mm)	Número de dientes	Referencia	Lp (mm)	Número de dientes	Referencia	Lp (mm)	Número de dientes
60 XL	152,40	30	310 XL	787,40	155	240 H	609,60	48	507 XH	1289,05	58
70 XL	177,80	35	316 XL	802,64	158	255 H	647,70	51	560 XH	1422,40	64
76 XL	193,04	38	322 XL	817,88	161	270 H	685,80	54	630 XH	1600,20	72
80 XL	203,20	40	330 XL	838,20	165	300 H	762,00	60	700 XH	1778,00	80
86 XL	218,44	43	340 XL	863,60	170	330 H	838,20	66	770 XH	1955,80	88
88 XL	223,52	44	344 XL	873,76	172	360 H	914,40	72	840 XH	2133,60	96
90 XL	228,60	45	350 XL	889,00	175	370 H	939,80	74	980 XH	2489,20	112
92 XL	233,68	46	380 XL	965,20	190	390 H	990,60	78	1120 XH	2844,80	128
94 XL	238,76	47	382 XL	970,28	191	420 H	1066,80	84	1260 XH	3200,40	144
96 XL	243,84	48	390 XL	990,60	195	450 H	1143,00	90	1400 XH	3556,00	160
100 XL	254,00	50	392 XL	995,68	196	480 H	1219,20	96	1540 XH	3911,60	176
102 XL	259,08	51	412 XL	1046,48	206	510 H	1295,40	102	1750 XH	4445,00	200
106 XL	269,24	53	432 XL	1097,28	216	540 H	1371,60	108			
108 XL	274,32	54	438 XL	1112,52	219	570 H	1447,80	114			
110 XL	279,40	55	460 XL	1168,40	230	600 H	1524,00	120			
112 XL	284,48	56	506 XL	1285,24	253	630 H	1600,20	126			
114 XL	289,56	57	580 XL	1473,20	290	660 H	1676,40	132			
116 XL	294,64	58				700 H	1778,00	140			
118 XL	299,72	59				750 H	1905,00	150			
120 XL	304,80	60				800 H	2032,00	160			
124 XL	314,96	62				850 H	2159,00	170			
126 XL	320,04	63				900 H	2286,00	180			
128 XL	325,12	64				1000 H	2540,00	200			
130 XL	330,20	65				1100 H	2794,00	220			
134 XL	340,36	67				1250 H	3175,00	250			
136 XL	345,44	68				1400 H	3556,00	280			
138 XL	350,52	69				1700 H	4318,00	340			
140 XL	355,60	70									
148 XL	375,92	74									
150 XL	381,00	75									
156 XL	396,24	78									
160 XL	406,40	80									
166 XL	421,64	83									
170 XL	431,80	85									
174 XL	441,96	87									
176 XL	447,04	88									
178 XL	452,12	89									
180 XL	457,20	90									
182 XL	462,28	91									
184 XL	467,36	92									
188 XL	477,52	94									
190 XL	482,60	95									
192 XL	487,68	96									

L		
Referencia	Lp (mm)	Número de dientes
124 L	314,33	33
150 L	381,00	40
187 L	476,25	50
202 L	514,35	54
210 L	533,40	56
225 L	571,50	60
236 L	600,08	63
240 L	609,60	64
244 L	619,13	65
255 L	647,70	68
270 L	685,80	72
285 L	723,90	76
300 L	762,00	80
322 L	819,15	86
345 L	876,30	92
367 L	933,45	98
390 L	990,60	104
420 L	1066,80	112
450 L	1143,00	120
480 L	1219,20	128
510 L	1295,40	136

ANEXO D: Datasheet modulo TRC DS3231

DS3231

Extremely Accurate I²C-Integrated
RTC/TCXO/Crystal

Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground -0.3V to +6.0V
 Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ_{JA}) (Note 1) 73°C/W
 Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC}) (Note 1) 23°C/W
 Operating Temperature Range
 DS3231S 0°C to +70°C
 DS3231SN -40°C to +85°C

Junction Temperature +125°C
 Storage Temperature Range -40°C to +85°C
 Lead Temperature (soldering, 10s) +260°C
 Soldering Temperature (reflow, 2 times max) +260°C
 (see the *Handling, PCB Layout, and Assembly* section)

Note 1: Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to www.maximintegrated.com/thermal-tutorial.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Recommended Operating Conditions

($T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{CC}		2.3	3.3	5.5	V
	V_{BAT}		2.3	3.0	5.5	V
Logic 1 Input SDA, SCL	V_{IH}		0.7 x V_{CC}		$V_{CC} + 0.3$	V
Logic 0 Input SDA, SCL	V_{IL}		-0.3		0.3 x V_{CC}	V

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 2.3V$ to $5.5V$, V_{CC} = Active Supply (see Table 1), $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.) (Typical values are at $V_{CC} = 3.3V$, $V_{BAT} = 3.0V$, and $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Supply Current	I_{CCA}	(Notes 4, 5)	$V_{CC} = 3.63V$		200	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		300	
Standby Supply Current	I_{CCS}	I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off (Note 5)	$V_{CC} = 3.63V$		110	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		170	
Temperature Conversion Current	$I_{CCSCONV}$	I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off	$V_{CC} = 3.63V$		575	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		650	
Power-Fail Voltage	V_{PF}		2.45	2.575	2.70	V
Logic 0 Output, 32kHz, INT/SQW, SDA	V_{OL}	$I_{OL} = 3mA$			0.4	V
Logic 0 Output, RST	V_{OL}	$I_{OL} = 1mA$			0.4	V
Output Leakage Current 32kHz, INT/SQW, SDA	I_{LO}	Output high impedance	-1	0	+1	μA
Input Leakage SCL	I_{LI}		-1		+1	μA
RST Pin I/O Leakage	I_{OL}	RST high impedance (Note 6)	-200		+10	μA
V_{BAT} Leakage Current (V_{CC} Active)	I_{BATLKG}			25	100	nA

Electrical Characteristics (continued)

($V_{CC} = 2.3V$ to $5.5V$, $V_{CC} =$ Active Supply (see Table 1), $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.) (Typical values are at $V_{CC} = 3.3V$, $V_{BAT} = 3.0V$, and $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Frequency	f_{OUT}	$V_{CC} = 3.3V$ or $V_{BAT} = 3.3V$		32.768		kHz
Frequency Stability vs. Temperature (Commercial)	$\Delta f/f_{OUT}$	$V_{CC} = 3.3V$ or $V_{BAT} = 3.3V$, aging offset = 00h	$0^\circ C$ to $+40^\circ C$		± 2	ppm
			$>40^\circ C$ to $+70^\circ C$		± 3.5	
Frequency Stability vs. Temperature (Industrial)	$\Delta f/f_{OUT}$	$V_{CC} = 3.3V$ or $V_{BAT} = 3.3V$, aging offset = 00h	$-40^\circ C$ to $<0^\circ C$		± 3.5	ppm
			$0^\circ C$ to $+40^\circ C$		± 2	
			$>40^\circ C$ to $+85^\circ C$		± 3.5	
Frequency Stability vs. Voltage	$\Delta f/V$			1		ppm/V
Trim Register Frequency Sensitivity per LSB	$\Delta f/LSB$	Specified at:	$-40^\circ C$		0.7	ppm
			$+25^\circ C$		0.1	
			$+70^\circ C$		0.4	
			$+85^\circ C$		0.8	
Temperature Accuracy	Temp	$V_{CC} = 3.3V$ or $V_{BAT} = 3.3V$	-3		+3	$^\circ C$
Crystal Aging	$\Delta f/f_O$	After reflow, not production tested	First year		± 1.0	ppm
			0–10 years		± 5.0	

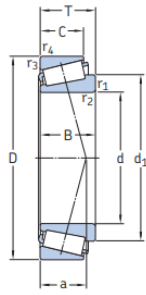
Electrical Characteristics

($V_{CC} = 0V$, $V_{BAT} = 2.3V$ to $5.5V$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Battery Current	I_{BATA}	$\overline{E\overline{O\overline{S\overline{C}}}} = 0$, $BBSQW = 0$, $SCL = 400kHz$ (Note 5)	$V_{BAT} = 3.63V$		70	μA
			$V_{BAT} = 5.5V$		150	
Timekeeping Battery Current	I_{BATT}	$\overline{E\overline{O\overline{S\overline{C}}}} = 0$, $BBSQW = 0$, $EN32kHz = 1$, $SCL = SDA = 0V$ or $SCL = SDA = V_{BAT}$ (Note 5)	$V_{BAT} = 3.63V$	0.84	3.0	μA
			$V_{BAT} = 5.5V$	1.0	3.5	
Temperature Conversion Current	I_{BATTTC}	$\overline{E\overline{O\overline{S\overline{C}}}} = 0$, $BBSQW = 0$, $SCL = SDA = 0V$ or $SCL = SDA = V_{BAT}$	$V_{BAT} = 3.63V$		575	μA
			$V_{BAT} = 5.5V$		650	
Data-Retention Current	I_{BATTDR}	$\overline{E\overline{O\overline{S\overline{C}}}} = 1$, $SCL = SDA = 0V$, $+25^\circ C$			100	nA

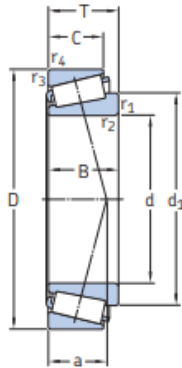


7.1 Rodamientos de una hilera de rodillos cónicos métricos
d 15–32 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades nominales		Masa kg	Designación	Series de dimensiones para la normativa ISO 355 (ABMA)
d	D	T	dinámica C	estática C_0		Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			kN		kN	r. p. m.			-	-
15	42	14,25	22,4	20	2,08	13 000	18 000	0,094	30302 J2	2FB
17	40	13,25	19	18,6	1,83	13 000	18 000	0,079	30203 J2	2DB
	47	15,25	28,1	25	2,7	12 000	16 000	0,13	30303 J2	2FB
	47	20,25	34,7	33,5	3,65	11 000	16 000	0,17	32303 J2/Q	2FD
20	42	15	24,2	27	2,65	12 000	16 000	0,098	32004 X/Q	3CC
	47	15,25	27,5	28	3	11 000	15 000	0,12	30204 J2/Q	2DB
	52	16,25	34,1	32,5	3,55	11 000	14 000	0,17	30304 J2/Q	2FB
	52	22,25	44	45,5	5	10 000	14 000	0,23	32304 J2/Q	2FD
22	44	15	25,1	29	2,85	11 000	15 000	0,1	320/22 X	3CC
25	47	15	27	32,5	3,25	11 000	14 000	0,11	32005 X/Q	4CC
	52	16,25	30,8	33,5	3,45	10 000	13 000	0,15	30205 J2/Q	3CC
	52	19,25	35,8	44	4,65	9 500	13 000	0,19	32205 BJ2/Q	5CD
	52	22	47,3	56	6	9 000	13 000	0,22	33205/Q	2CE
	62	18,25	44,6	43	4,75	9 000	12 000	0,26	30305 J2/Q	2FB
	62	18,25	38	40	4,4	7 500	11 000	0,27	31305 J2	7FB
28	62	25,25	60,5	63	7,1	8 000	12 000	0,36	32305 J2	2FD
	52	16	31,9	38	4	9 500	13 000	0,14	320/28 X/Q	4CC
	58	17,25	38	41,5	4,4	9 000	12 000	0,2	302/28 J2	3DC
30	58	20,25	41,8	50	5,5	8 500	12 000	0,25	322/28 BJ2/Q	5DD
	55	17	35,8	44	4,55	9 000	12 000	0,17	32006 X/Q	4CC
	62	17,25	40,2	44	4,8	8 500	11 000	0,23	30206 J2/Q	3DB
32	62	21,25	49,5	58,5	6,55	8 000	11 000	0,3	32206 BJ2/QCL7CVA606	5DC
	62	21,25	50,1	57	6,3	8 500	11 000	0,29	32206 J2/Q	3DC
	62	25	64,4	76,5	8,5	7 500	11 000	0,35	33206/Q	2DE
	72	20,75	56,1	56	6,4	7 500	10 000	0,38	30306 J2/Q	2FB
	72	20,75	47,3	50	5,7	6 700	9 500	0,39	31306 J2/Q	7FB
32	72	28,75	76,5	85	9,65	7 000	10 000	0,55	32306 J2/Q	2FD
	53	14,5	27	35,5	3,65	9 000	13 000	0,11	JL 26749 F/710	(L 26700)
	58	17	36,9	46,5	4,8	8 500	11 000	0,19	320/32 X/Q	4CC

7.1 Rodamientos de una hilera de rodillos cónicos métricos d 15–32 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades nominales		Masa	Designación	Series de dimensiones para la normativa ISO 355 (ABMA)
d	D	T	C	C_0		Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	–	–
15	42	14,25	22,4	20	2,08	13 000	18 000	0,094	30302 J2	2FB
17	40	13,25	19	18,6	1,83	13 000	18 000	0,079	30203 J2	2DB
	47	15,25	28,1	25	2,7	12 000	16 000	0,13	30303 J2	2FB
	47	20,25	34,7	33,5	3,65	11 000	16 000	0,17	32303 J2/Q	2FD
20	42	15	24,2	27	2,65	12 000	16 000	0,098	32004 X/Q	3CC
	47	15,25	27,5	28	3	11 000	15 000	0,12	30204 J2/Q	2DB
	52	16,25	34,1	32,5	3,55	11 000	14 000	0,17	30304 J2/Q	2FB
	52	22,25	44	45,5	5	10 000	14 000	0,23	32304 J2/Q	2FD
22	44	15	25,1	29	2,85	11 000	15 000	0,1	320/22 X	3CC
25	47	15	27	32,5	3,25	11 000	14 000	0,11	32005 X/Q	4CC
	52	16,25	30,8	33,5	3,45	10 000	13 000	0,15	30205 J2/Q	3CC
	52	19,25	35,8	44	4,65	9 500	13 000	0,19	32205 BJ2/Q	5CD
	52	22	47,3	56	6	9 000	13 000	0,22	33205/Q	2CE
	62	18,25	44,6	43	4,75	9 000	12 000	0,26	30305 J2/Q	2FB
	62	25,25	60,5	63	7,1	8 000	12 000	0,36	32305 J2	2FD
28	52	16	31,9	38	4	9 500	13 000	0,14	320/28 X/Q	4CC
	58	17,25	38	41,5	4,4	9 000	12 000	0,2	302/28 J2	3DC
	58	20,25	41,8	50	5,5	8 500	12 000	0,25	322/28 BJ2/Q	5DD
30	55	17	35,8	44	4,55	9 000	12 000	0,17	32006 X/Q	4CC
	62	17,25	40,2	44	4,8	8 500	11 000	0,23	30206 J2/Q	3DB
	62	21,25	49,5	58,5	6,55	8 000	11 000	0,3	32206 BJ2/QCL7CVA606	5DC
	62	21,25	50,1	57	6,3	8 500	11 000	0,29	32206 J2/Q	3DC
	62	25	64,4	76,5	8,5	7 500	11 000	0,35	33206/Q	2DE
	72	20,75	56,1	56	6,4	7 500	10 000	0,38	30306 J2/Q	2FB
	72	28,75	76,5	85	9,65	7 000	10 000	0,55	32306 J2/Q	2FD
32	53	14,5	27	35,5	3,65	9 000	13 000	0,11	JL 26749 F/710	(L26700)
	58	17	36,9	46,5	4,8	8 500	11 000	0,19	320/32 X/Q	4CC

ANEXO F: Datasheet Reloj en tiempo real DS3231

DS3231

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

General Description

The DS3231 is a low-cost, extremely accurate I²C real-time clock (RTC) with an integrated temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) and crystal. The device incorporates a battery input, and maintains accurate timekeeping when main power to the device is interrupted. The integration of the crystal resonator enhances the long-term accuracy of the device as well as reduces the piece-part count in a manufacturing line. The DS3231 is available in commercial and industrial temperature ranges, and is offered in a 16-pin, 300-mil SO package.

The RTC maintains seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. Two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output are provided. Address and data are transferred serially through an I²C bidirectional bus.

A precision temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the status of V_{CC} to detect power failures, to provide a reset output, and to automatically switch to the backup supply when necessary. Additionally, the $\overline{\text{RST}}$ pin is monitored as a pushbutton input for generating a μP reset.

Benefits and Features

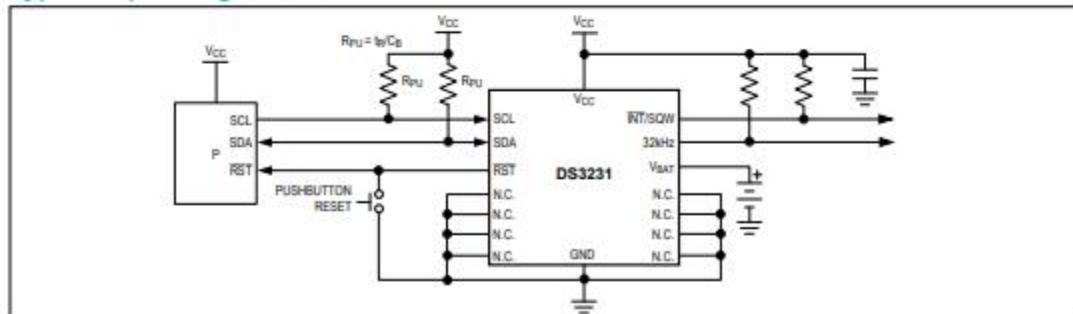
- Highly Accurate RTC Completely Manages All Timekeeping Functions
 - Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the Week, and Year, with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
 - Accuracy $\pm 2\text{ppm}$ from 0°C to +40°C
 - Accuracy $\pm 3.5\text{ppm}$ from -40°C to +85°C
 - Digital Temp Sensor Output: $\pm 3^\circ\text{C}$ Accuracy
 - Register for Aging Trim
 - $\overline{\text{RST}}$ Output/Pushbutton Reset Debounce Input
 - Two Time-of-Day Alarms
 - Programmable Square-Wave Output Signal
- Simple Serial Interface Connects to Most Microcontrollers
 - Fast (400kHz) I²C Interface
- Battery-Backup Input for Continuous Timekeeping
 - Low Power Operation Extends Battery-Backup Run Time
 - 3.3V Operation
- Operating Temperature Ranges: Commercial (0°C to +70°C) and Industrial (-40°C to +85°C)
- Underwriters Laboratories® (UL) Recognized

Applications

- Servers
- Telematics
- Utility Power Meters
- GPS

Ordering Information and Pin Configuration appear at end of data sheet.

Typical Operating Circuit



Underwriters Laboratories is a registered certification mark of Underwriters Laboratories Inc.

Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground -0.3V to +6.0V
 Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ_{JA}) (Note 1) 73°C/W
 Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC}) (Note 1) 23°C/W
 Operating Temperature Range
 DS3231S 0°C to +70°C
 DS3231SN -40°C to +85°C

Junction Temperature +125°C
 Storage Temperature Range -40°C to +85°C
 Lead Temperature (soldering, 10s) +260°C
 Soldering Temperature (reflow, 2 times max) +260°C
 (see the *Handling, PCB Layout, and Assembly* section)

Note 1: Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to www.maximintegrated.com/thermal-tutorial.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Recommended Operating Conditions

($T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{CC}		2.3	3.3	5.5	V
	V_{BAT}		2.3	3.0	5.5	V
Logic 1 Input SDA, SCL	V_{IH}		0.7 x V_{CC}		$V_{CC} + 0.3$	V
Logic 0 Input SDA, SCL	V_{IL}		-0.3		0.3 x V_{CC}	V

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 2.3V$ to $5.5V$, V_{CC} = Active Supply (see Table 1), $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.) (Typical values are at $V_{CC} = 3.3V$, $V_{BAT} = 3.0V$, and $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Supply Current	I_{CCA}	(Notes 4, 5)	$V_{CC} = 3.63V$		200	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		300	
Standby Supply Current	I_{CCS}	I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off (Note 5)	$V_{CC} = 3.63V$		110	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		170	
Temperature Conversion Current	$I_{CCSCONV}$	I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off	$V_{CC} = 3.63V$		575	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		650	
Power-Fail Voltage	V_{PF}		2.45	2.575	2.70	V
Logic 0 Output, 32kHz, INT/SQW, SDA	V_{OL}	$I_{OL} = 3mA$			0.4	V
Logic 0 Output, RST	V_{OL}	$I_{OL} = 1mA$			0.4	V
Output Leakage Current 32kHz, INT/SQW, SDA	I_{LO}	Output high impedance	-1	0	+1	μA
Input Leakage SCL	I_{LI}		-1		+1	μA
RST Pin I/O Leakage	I_{OL}	RST high impedance (Note 6)	-200		+10	μA
V_{BAT} Leakage Current (V_{CC} Active)	I_{BATLKG}			25	100	nA

Electrical Characteristics (continued)

(V_{CC} = 2.3V to 5.5V, V_{CC} = Active Supply (see Table 1), T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Typical values are at V_{CC} = 3.3V, V_{BAT} = 3.0V, and T_A = +25°C, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Frequency	f _{OUT}	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V		32.768		kHz
Frequency Stability vs. Temperature (Commercial)	Δf/f _{OUT}	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V, aging offset = 00h	0°C to +40°C		±2	ppm
			>40°C to +70°C		±3.5	
Frequency Stability vs. Temperature (Industrial)	Δf/f _{OUT}	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V, aging offset = 00h	-40°C to <0°C		±3.5	ppm
			0°C to +40°C		±2	
Frequency Stability vs. Voltage	Δf/V			1		ppm/V
Trim Register Frequency Sensitivity per LSB	Δf/LSB	Specified at:	-40°C		0.7	ppm
			+25°C		0.1	
			+70°C		0.4	
			+85°C		0.8	
Temperature Accuracy	Temp	V _{CC} = 3.3V or V _{BAT} = 3.3V	-3		+3	°C
Crystal Aging	Δf/f _O	After reflow, not production tested	First year		±1.0	ppm
			0–10 years		±5.0	

Electrical Characteristics

(V_{CC} = 0V, V_{BAT} = 2.3V to 5.5V, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Battery Current	I _{BATA}	E _{OSC} = 0, BBSQW = 0, SCL = 400kHz (Note 5)	V _{BAT} = 3.63V		70	μA
			V _{BAT} = 5.5V		150	
Timekeeping Battery Current	I _{BATT}	E _{OSC} = 0, BBSQW = 0, EN32kHz = 1, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = V _{BAT} (Note 5)	V _{BAT} = 3.63V	0.84	3.0	μA
			V _{BAT} = 5.5V	1.0	3.5	
Temperature Conversion Current	I _{BATTTC}	E _{OSC} = 0, BBSQW = 0, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = V _{BAT}	V _{BAT} = 3.63V		575	μA
			V _{BAT} = 5.5V		650	
Data-Retention Current	I _{BATTDR}	E _{OSC} = 1, SCL = SDA = 0V, +25°C			100	nA

Data Sheet for Angle Sensors



Hall-Effect Kit Encoder with Flange Mounting

Family ETx25K



Family Key Features:

- 3D Hall magnetic gradient-based signal capturing
- μ Processor controlled digital signal processing
- Housing made of glass-fibre reinforced thermoplastic
- Magnet included in delivery
- Only 8 mm housing depth
- IP67
- Operating temperature range -40..85°C
- Measuring range up to 360° singleturn, 72000° multiturn
- Electrical connection: 0.15 m flat ribbon cable or 1 m round cable
- Low budget version without encapsulated electronics
- Programmable

Applications:

- Apparatus construction
- Angular measurements
- Speed measurement
- With low operational speeds [up to 100 rpm]
- Simple up to medium environmental requirements
- High requirements on the lifetime
- Applications with increased vibrations
- Requirements to an user defined signal output function

Output electronics:

- Analogue singleturn: voltage - also redundant, current, PWM
- Analogue multiturn: voltage
- Incremental: AB+index (Z) up to 1024 ppr (4096 steps)
- Digital: SPI - also redundant, SER

Rotary encoders with shaft and shaft bearing:

Our ETx25K rotary encoder product family is based exclusively on state-of-the-art 3D Hall gradient-based μ Processors with digital signal processing. ETx25K angle encoders use the well-established rotary encoder platform from the hugely popular ETx25 high-runner rotary encoder family from Megatron.

The ETx25K Kit Encoder concept focuses on applications with low to medium environmental requirements. Due to the missing shaft bearing, ETx25K kit encoders are economically very attractive kit encoders with an extremely long lifespan.

For measurement value detection, a magnet which is part of delivery is placed on a shaft in the application. The ETx25K is facing the magnet. The shaft can have basically any diameter.

With ETx25K kit encoders, there is no mechanical connection to the shaft of the application. Due to this non-existent mechanical connection, the ETx25K is decoupled thermally and from vibrations. A galvanic separation between measurement evaluation and signal processing is also easy to implement. This is also favoured by the plastic housing of the ETx25K kit encoder.

ETx25K kit encoders are widely resistant to temperature changes, external magnetic fields, shocks and vibrations.

Megatron implements customer-specific adaptations in a timely manner starting from small series on the basis of a clearly structured price model. The signal output function of single-turn rotary encoders with analogue signal output can be programmed ex works according customer's wishes. Our combined single-/multiturn-absolute-encoder ETA25K PM allows also the programming of the encoder by the customer according to the needs of his application.

General

Overview
Comparison

Drawing

Mechanical
Data

Analogue (magnet)
Resolution
Voltage (output)
Ppr

Incremental
(ETx25K)

Serial (magnet)
Resolution
Ppr

Multiturn
(ETA25K PM)

Accessory

Data Sheet for Angle Sensors



Hall-Effect Kit Encoder with Flange Mounting

Family ETx25K

Quick overview		Singleturn absolute kit encoders with analog output		
1 Series	ETA25K	ETA25K X	ETA25K PWM	
2 Technology	Magnetic gradient-based signal capturing, with μ Processor controlled digital signal processing			
3 Not redundant / redundant	Not redundant	Redundant	Not redundant	
4 Output signal	1 x Analogue, absolute	2 x Analogue, absolute	1 x Analogue, absolute	
5 Operating temperature range	-40...+85 °C			
6 Protection grade	Standard IP67			
7 Effective electrical angle of rotation	360°			
8 Supply voltage / output signal	VSUP=5 V (4.5...5.5 V) / OUT=0...5 V (ratiometric)	VSUP=5 V (4.5...5.5 V) / OUT=0...5 V (ratiometric)	VSUP=5 V (4.5...5.5 V) / OUT=5 V / 244 Hz / PWM 10-90 %	
	VSUP=24 V (15...30 V) / OUT=0...10 V	VSUP=24 V (15...30 V) / OUT=0...10 V	-	
	VSUP=24 V (9...30 V) / OUT=4...20 mA	-	-	
	Option: VSUP=24 V (9...30 V) / OUT=0...5 V	-	-	
12 Electrical connection	Standard: flat ribbon cable 0.15 m, option: round cable 1 m, AWG26			
13 Programmable by customer	NO	NO	NO	
14 Programmable ex works	YES	YES	YES	
15 Detailed information about the series see pages	13/14	15/16/17	18/19	

- General
- Overview Comparison
- Drawing
- Mechanical Data
- Analogue ETA25K ETA25K X ETA25K PWM Wedge Connect
- Incremental ET25K
- Serial ET25K ET25K X
- Multiturn ET25K-PM

Data Sheet for Angle Sensors



Hall-Effect Kit Encoder with Flange Mounting

Family ETx25K

Series ETA25K - Singleturn, analogue output, not redundant

Key features ETA25K :

- Supply voltage: 5 VDC $\pm 10\%$, 15..30 VDC, 9..30 VDC
- Signal output: 0..5 V, 0..10 V, 4..20 mA

Electrical Data ETA25K - Singleturn, analogue output, not redundant

Effective electrical angle of rotation 1.)	$15^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ (programmable in factory), $\pm 0.5^\circ$		
Independent linearity (best straight line) 1.)	$\pm 0.3\%$ @ 360°		
Absolute Linearity 1.)	$\pm 0.6\%$ @ 360°		
Output signal	0..5 V ratiometric	0..10 V	4..20 mA
Resolution	14 Bit for $15^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ resp. 12 Bit for $90^\circ \leq \alpha < 360^\circ$		
Update rate	200 μ s		600 μ s
Supply voltage	5 V $\pm 10\%$	15..30 V	9..30 V
Power consumption (no load)	≤ 16 mA		≤ 14 mA
Output load	≥ 5 kOhm		≤ 500 Ohm
Insulation voltage 1.)	1000 VAC @ 50 Hz, 1 min		
Insulation resistance 1.)	2 MOhm @ 500 VDC, 1 min		

1.) According IEC 60393

General

Overview
Comparison

Drawing

Mechanical
Data

Analogue (ETA25K)
Resolution
Voltage / Current

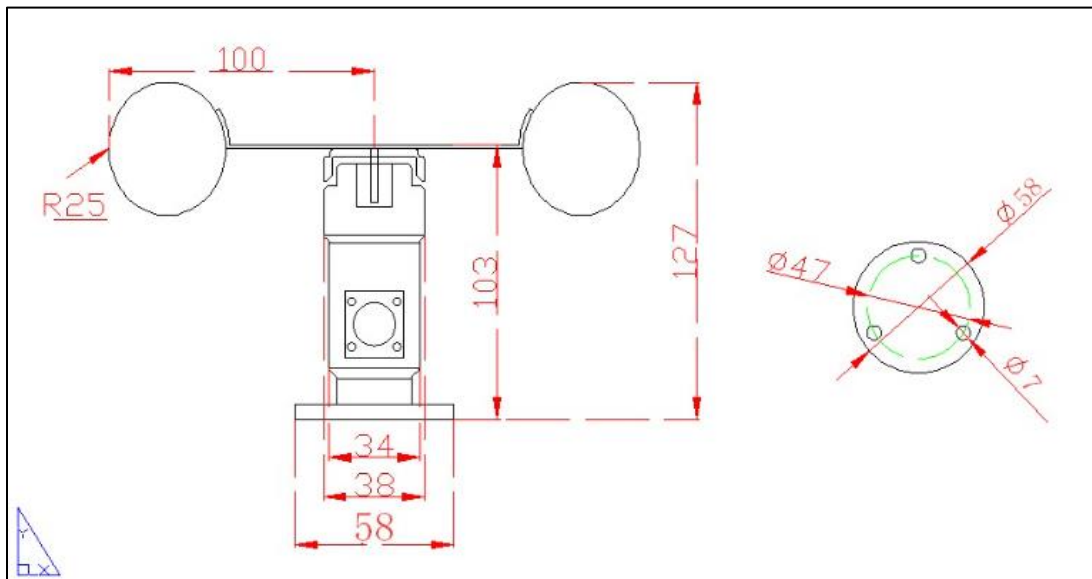
ANEXO H: Datasheet anemómetro RS485 DFROBOT

Features

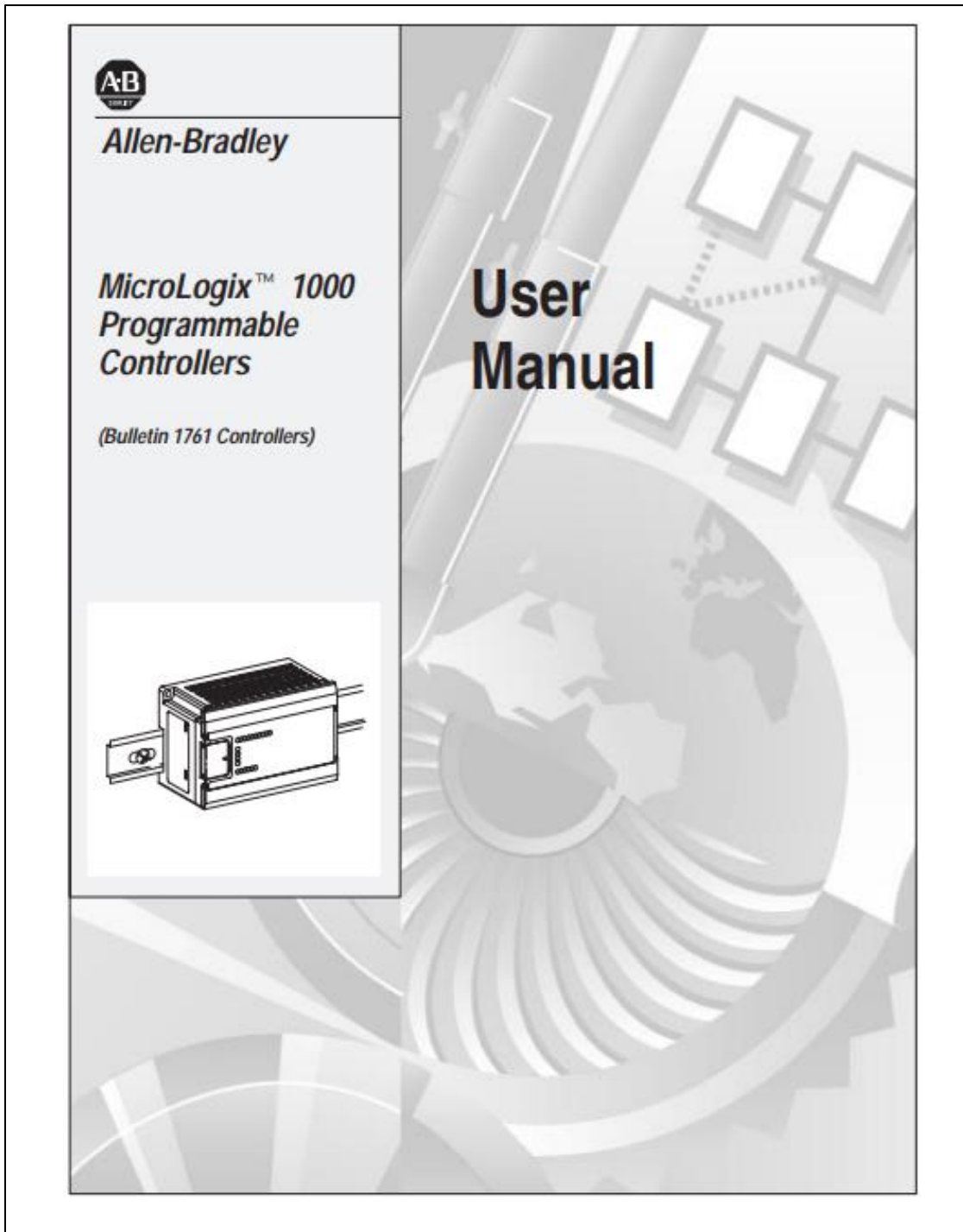
- Compact size, easy to carry, easy to install
- The surface of aluminum alloy material is sprayed with plastic. Corrosion and high temperature resistance
- Imported bearings, low resistance, low start-up wind speed
- High measurement accuracy, wide range, good stability
- Reasonable structure design, good appearance quality
- Long signal transmission distance, strong anti-interference ability

Specification

- Measuring range: 0~32.4m/s
- Start-up wind speed: 0.2-0.4m/s
- Accuracy: $\pm 0.3\text{m/s}$
- Lead length: 2.5m/98.43"
- Power voltage: 7-24V
- Communication protocol: RS485 interface Modbus protocol



ANEXO I: PLC MicroLogix 1000 Analog

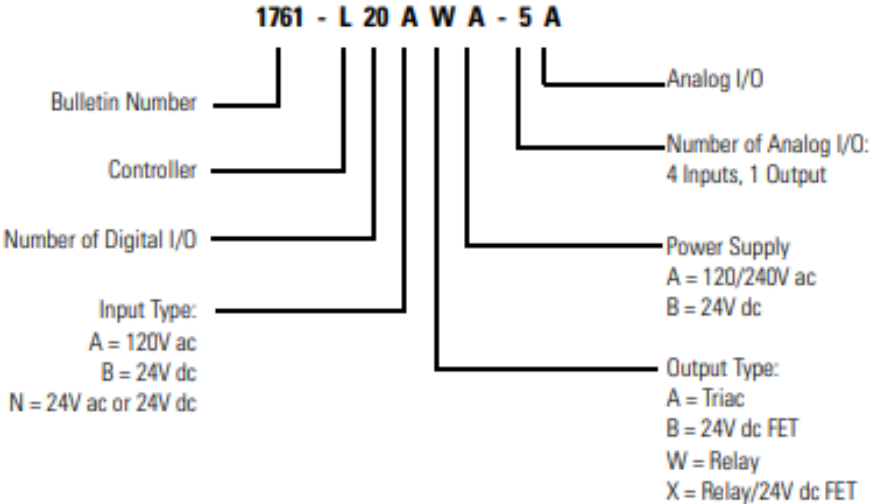


Overview

Install your controller using these installation instructions. The only tools you require are a Flat head or Phillips head screwdriver and drill.

Catalog Number Detail

The catalog number for the controller is composed of the following:



Specification ⁽¹⁾		AC Excitation ⁽²⁾	DC Excitation
Turn On Time ⁽³⁾	Minimum	2 ms	2 ms
	Maximum	20 ms	20 ms
Turn Off Time ⁽³⁾	Minimum	10 ms	10 ms
	Maximum	20 ms	20 ms

⁽¹⁾ Input circuits may be operated ac or dc on a group basis only.

⁽²⁾ All ac specifications are sinusoidal RMS values.

⁽³⁾ Turn On and Turn Off Times are not adjustable.

Analog Input Specifications

Description	Specification
Voltage Input Range	-10.5 to +10.5V dc - 1LSB
Current Input Range	-21 to +21 mA - 1LSB
Type of Data	16-bit signed integer
Input Coding -21 to +21 mA - 1LSB, -10.5 to +10.5V dc - 1 LSB	-32,768 to +32,767
Voltage Input Impedance	210K Ω
Current Input Impedance	160 Ω
Input Resolution ⁽¹⁾	16 bit
Non-linearity	0.002%
Overall Accuracy 0°C to +55°C	$\pm 0.7\%$ of full scale
Overall Accuracy Drift 0°C to +55°C (max.)	$\pm 0.176\%$
Overall Error at +25°C (+77°F) (max.)	$\pm 0.525\%$
Voltage Input Overvoltage Protection	24V dc
Current Input Overcurrent Protection	± 50 mA
Input to Output Isolation	30V rated working/500V isolation
Field Wiring to Logic Isolation	

⁽¹⁾ The analog input update rate and input resolution are a function of the input filter selection.

Analog Input Update Rates

Programmable Filter Characteristics				
1st Notch Freq (Hz)	Filter Bandwidth (-3 dB Freq Hz)	Update Time (mSec) ⁽¹⁾	Settling Time (mSec) ⁽¹⁾	Resolution (Bits)

I/O Image

The input and output image files of the MicroLogix 1000 analog controllers have the following format:

Address	Input Image	Output Image	Address
I:0.0	Discrete Input Word 0	Discrete Output Word 0	O:0.0
I:0.1	Discrete Input Word 1	Reserved	O:0.1
I:0.2	Reserved	Reserved	O:0.2
I:0.3	Reserved	Reserved	O:0.3
I:0.4	Analog Input 0 (Voltage)	Analog Output 0 (Voltage or Current)	O:0.4
I:0.5	Analog Input 1 (Voltage)		
I:0.6	Analog Input 2 (Current)		
I:0.7	Analog Input 3 (Current)		

Input words 0 and 1 contain discrete input data. Unused inputs in the discrete inputs image space are reset during each input scan. Input words 2 and 3 are reserved and are not updated by the controller. These inputs have no direct effect on controller operation, but they can be modified like other data bits.

Input words 4-7 contain the status of the four analog input channels respectively. Analog input image words are cleared at Going To Run (GTR). For enabled channels, the analog input image is updated on a cyclical basis.

Output word 0 contains discrete output data. Output words 1-3 are reserved output image space. Unused outputs in both the discrete output image space and the reserved output image space have no direct effect on controller operation. But these outputs can be modified like other data bits. Output word 4 holds the value of the analog output channel.

I/O Configuration

The analog input channels are single-ended (unipolar) circuits and can be individually enabled or disabled. The default is all input channels enabled. The two voltage inputs accept $\pm 10.5\text{V}$ dc, and the two current inputs accept ± 21 mA.

The analog output channel is also a single-ended circuit. You can configure either voltage (0V dc to +10V dc) or current (+4 to +20 mA) output operation. The default is voltage output.

The output must be configured for either voltage *or* current, *not both*. This is determined by the output configuration. When in the Run mode and the output is configured for voltage, the voltage output terminal is active and the current output terminal is inactive. Similarly, when in the Run mode and the output is configured for current, the current output terminal is active and the voltage output terminal is inactive. When the system is not in Run mode, both the voltage and current outputs are inactive.

ANEXO J: Algunos seguidores solares en el mercado



Seguidor solar 2 ejes hasta 2KW con electrónica

6.276,27€

1

AÑADIR AL CARRITO

SKU: 17SEGPEQ Categorías: [ENERGÍA SOLAR](#), [Seguidores](#)
Etiquetas: [energía solar](#), [tracker](#)

Inicio / Seguidores solares / Ejes seguidores fotovoltaicos 2 a 8 paneles



Ejes seguidores fotovoltaicos 2 a 8 paneles

8.911,05 €
Impuestos incluidos

Referencia: 0244
EAN13: 0712971125179

Este seguidor solar puede tomar entre 8 y 10 hasta un rendimiento con una instalación completa del sur

Fabricados a pedido. En contacto con nosotros para obtener más información.

Bonjour, comment puis-je vous aider ?

© Pages 100% seguros