



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

**“CONTROL AUTOMÁTICO DEL SEGUIMIENTO SOLAR DE
UN EJE MEDIANTE ALGORITMO ASTRONÓMICO PARA
UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE 1 kWp”**

PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORES:

Jiménez Porras Erick David
Tipantuña Caisa Alex Jeferson

TUTOR:

Ing. Luis Rolando Cruz Panchi Ms.C

LATACUNGA – ECUADOR

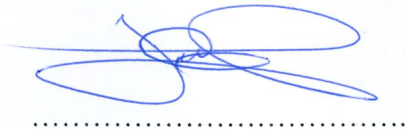
MARZO– 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

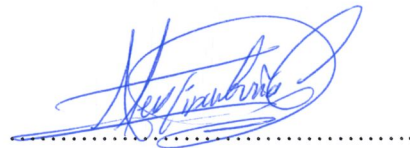
Nosotros, Jiménez Porras Erick David y Tipantuña Caisa Alex Jeferson, declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica “**CONTROL AUTOMÁTICO DEL SEGUIMIENTO SOLAR DE UN EJE MEDIANTE ALGORITMO ASTRONÓMICO PARA UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE 1 KWP**”, siendo el Ing. Ms.C Luis Rolando Cruz Panchi, tutor del presente proyecto; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, marzo 2026



.....
Jiménez Porras Erick David
C.I. 210105074-4
AUTOR 1

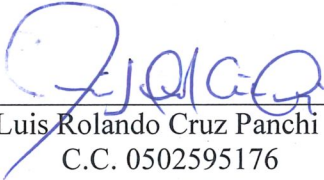


.....
Tipantuña Caisa Alex Jeferson
C.I. 050411985-0
AUTOR 2

Latacunga, marzo 2026

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“CONTROL AUTOMÁTICO DEL SEGUIMIENTO SOLAR DE UN EJE MEDIANTE ALGORITMO ASTRONÓMICO PARA UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE 1KWP”**, propuesto por el estudiante Jiménez Porras Erick David, con cédula de ciudadanía N.º 2101050744 y Tipantuña Caisa Alex Jeferson, con cédula de ciudadanía N.º 0504119850, de la Carrera de **INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.


Ing Luis Rolando Cruz Panchi Ms.C
C.C. 0502595176
TUTOR

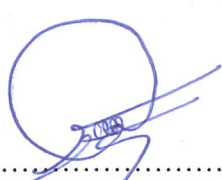
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto los postulantes: Jiménez Porras Erick David y Tipantuña Caisa Alex Jeferson, con el título de Proyecto de Titulación: **“CONTROL AUTOMÁTICO DEL SEGUIMIENTO SOLAR DE UN EJE MEDIANTE ALGORITMO ASTRONÓMICO PARA UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE 1KW PICO”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.


Por lo antes expuesto, se autoriza realizar el CD correspondiente según la normativa institucional.

Latacunga, marzo 2026


Para constancia firman:



.....
Ing. Albarracín Álvarez Mauro Dario Ms.C
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



.....
Ing. Moreano Martínez Edwin Homero Ms.C
LECTOR 2 (MIEMBRO)



.....
Ing. Freire Martínez Luigi Orlando Ms.C
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la fortaleza para nunca rendirme en el transcurso de este camino.

A mi familia por ser mi principal motivación durante todo este proceso.

A mi tutor Ing. Luis Cruz, por su orientación y por compartir sus conocimientos con dedicación y paciencia.

Agradezco a mi tribunal de lectores conformado por el Ing. Mg. Mauro Albarracin, el Ing. Mg. Edwin Moreano y el Ing. Mg. Luigi Freire, por haberme impartido sus conocimientos, ya que me fue de gran ayuda a la finalización del proyecto y en un futuro me servirá como apoyo en mi vida profesional.

Y a todas las personas que, de alguna forma u otra, aportaron su apoyo o colaboración durante este proceso, mi más sincero agradecimiento.

Erick Jiménez

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado principalmente a mis padres y hermanos, por ser mis pilares en todo momento, por su apoyo incondicional y por no dejar de confiar en mi incluso cuando yo dudaba.

A mis amigos que, con sus palabras de aliento me ayudo a seguir adelante en este camino.

Y a mis mascotas Dolton y Frida, por acompañarme en las noches de desvelo.

Erick Jiménez

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la fortaleza y sabiduría necesarias para avanzar en los momentos más difíciles de mi vida, a mis padres, hermanos y hermanas, por su apoyo constante, sus consejos y su fe en mí, a mi esposa, por su paciencia y compañía incondicional; y a mi hijo, por ser mi mayor fuente de inspiración.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por brindarme un espacio de formación académica y personal.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica y a mi tutor de tesis, por sus enseñanzas y orientación. De igual manera agradecer a mis amigos y demás personas que de múltiples maneras contribuyeron y me apoyaron en la realización del presente trabajo.

Alex Tipantuña

DEDICATORIA

Dedico este proyecto investigativo de manera muy especial a Dios, por iluminar mi camino y fortalecer mi espíritu en los momentos más desafiantes.

A mi esposa, por su amor, paciencia y apoyo constante, y a mi hijo, por ser mi mayor fuente de inspiración y Esperanza; mis padres y hermanos, por sus consejos, ejemplo y aliento incondicional.

A todos quienes me acompañaron con palabras de ánimo y confianza, les agradezco profundamente, este logro es el reflejo del esfuerzo compartido con quienes siempre creyeron en mí.

Alex Tipantuña

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “CONTROL AUTOMÁTICO DEL SEGUIMIENTO SOLAR DE UN EJE MEDIANTE ALGORITMO ASTRONÓMICO PARA UNA ESTACIÓN FOTOVOLTAICA DE 1 kWp”

Autores:

Jiménez Porras Erick David
Tipantuña Caisa Alex Jeferson

RESUMEN

El presente proyecto aborda el diseño y la implementación de un sistema de control automático para un seguidor solar de un eje instalado en una estación fotovoltaica de capacidad 1kWp cuyo propósito principal es mejorar la captación de radiación solar mediante la orientación dinámica de los paneles fotovoltaicos conforme a la trayectoria aparente del Sol durante el día, para determinar la posición solar se emplean parámetros astronómicos y geográficos asociados a la ubicación del proyecto DIRGI-CP2021-008 de la Universidad Técnica de Cotopaxi situado en Latacunga, Ecuador con coordenadas aproximadas de latitud 0.93° S y longitud 78.62° O dentro de la zona horaria UTC-5. La metodología empleada se basó en el enfoque experimental y aplicado, en el que se desarrolló el modelo matemático del movimiento solar por medio de las ecuaciones astronómicas. A la vez, este modelo se lo programó en el PLC logo 8,4, lo que permitió que el control automático del actuador línea se encargue de la orientación del panel fotovoltaico. Se integró el sistema de medición para la verificación de la posición angular, realizando las pruebas de funcionamiento bajo las condiciones reales de operación. Como resultado, el sistema logró posicionar el panel en un rango de $\pm 55^{\circ}$, alcanzando un error aproximado de $0,2^{\circ}$ en relación con los valores teóricos, lo que evidencia un seguimiento adecuado de la trayectoria solar y una mejora en la captación de radiación.

Palabras clave: Seguidor solar, algoritmo astronómico, estación fotovoltaica, PLC LOCO, control automático, sistema fijo.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

THEME: “AUTOMATIC CONTROL OF SINGLE AXIS SOLAR TRACKING USING AN ASTRONOMICAL ALGORITHM FOR A 1KW PEAK PHOTOVOLTAIC STATION”

Authors:

Jiménez Porras Erick David
Tipantuña Caisa Alex Jeferson

ABSTRACT

This project addresses the design and implementation of an automatic control system for a single-axis solar tracker installed in a 1 kWp photovoltaic power plant. Its main purpose is to improve solar radiation capture by dynamically orienting the photovoltaic panels according to the apparent path of the sun throughout the day. To determine the sun's position, astronomical and geographical parameters associated with the location of the DIRGI-CP2021-008 project at the Technical University of Cotopaxi are used. The project is located in Latacunga, Ecuador, at approximately 0.93° S latitude and 78.62° W longitude, within the UTC-5 time zone. The methodology employed was based on an experimental and applied approach, in which a mathematical model of solar motion was developed using astronomical equations. This model was then programmed into a LOGO 8.4 PLC, enabling the automatic control of the line actuator to manage the orientation of the photovoltaic panel. The measurement system was integrated to verify the angular position, and functional tests were performed under actual operating conditions. As a result, the system was able to position the panel within a range of $\pm 55^{\circ}$, achieving an approximate error of 0.2° in relation to the theoretical values, which demonstrates proper tracking of the solar trajectory and an improvement in radiation capture.

Keywords: Solar tracker, astronomical algorithm, photovoltaic station, LOGO PLC, automatic control, fixed system

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN.....	ii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	3
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	4
2.3.1 Objeto de investigación	4
2.3.2 Campo de acción	4
2.4 BENEFICIARIOS	4
2.4.1 Directo	4
2.4.2 Indirecto.....	4
2.5 JUSTIFICACIÓN	4

2.6	OBJETIVOS	5
2.6.1	General	5
2.6.2	Específicos.....	5
2.6.3	SISTEMA DE TAREAS	5
3.	FUNDAMENTACION TEÓRICA.....	7
3.1	LA GEOMETRÍA SOLAR	7
3.1.1	Origen de la geometría solar.....	7
3.1.2	Concepto de la geometría solar y su relación con la energía renovable.....	7
3.2	CÁLCULOS SOLARES.....	10
3.3	El algoritmo astronómico.....	10
3.4	FÓRMULAS BÁSICAS DEL ALGORITMO ASTRONÓMICO.....	11
3.4.1	Ángulo horario.....	11
3.4.2	Ángulo de declinación.....	11
3.4.3	La altura solar	11
3.4.4	Azimut solar	12
3.4.5	Algoritmo astronómico aplicado al seguimiento solar	12
3.4.6	Cálculo de la posición solar.....	12
3.5	CONTROL AUTOMÁTICO.....	13
3.5.1	Control ON- OFF	13
3.5.2	Control en lazo cerrado y abierto	14
3.6	SENSOR DE EFECTO HALL	14
3.6.1	Introducción al sensor de efecto Hall	14
3.6.2	Principio físico del efecto hall.....	14
3.6.3	Funcionamiento técnico del sensor de efecto hall.....	15
3.6.4	Componentes internos del sensor de efecto hall.....	15
3.6.5	Tipos de sensores de efecto hall	16
3.7	SISTEMA DE SEGUIDOR SOLAR.....	16

3.7.1	Definición de Seguidor Solar	16
3.7.2	Tipos de seguidores solares	17
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	18
4.1	UBICACIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO	18
4.1.1	Área disponible	18
4.1.2	Etapa de análisis	19
4.1.3	Etapa de diseño	19
4.1.4	Etapa de implementación	20
4.1.5	Descripción del proceso	20
4.2	DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR DE UN EJE	21
4.2.1	El sistema de control	22
4.2.2	El sistema de medición	23
4.2.3	El sistema de accionamiento	25
4.2.4	Datos de entrada del sistema	26
4.2.5	Métodos de cálculo	26
4.2.6	Arquitectura del sistema	28
4.2.7	Tipo de control ON OFF	29
4.2.8	Determinación de la posición de referencia	29
4.2.9	Implementación en PLC	30
4.3	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	31
4.3.1	Unidad de control del sistema	31
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	32
5.1	CONDICIONES DEL SISTEMA	32
5.2	VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	32
5.2.1	Optoacoplador PC817	33
5.3	CONTROLADOR BMD-40DIN VER.2	34

5.4	DIAGRAMA GENERAL DE LA METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN...	35
5.5	DISEÑO DEL ALGORITMO ASTRONÓMICO.....	36
5.5.1	Cálculo de la declinación solar.....	36
5.5.2	Cálculo del tiempo cenital.....	38
5.5.3	Cálculo del ángulo Horario Solar (ω).....	38
5.5.4	Desplazamiento del panel solar.....	39
5.5.5	Tiempo de corrección.....	40
5.5.6	Relación de tiempo.....	41
5.6	EVALUACIÓN DEL ERROR DEL SISTEMA.....	44
5.7	PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA.....	45
5.7.1	Interconexión funcional de los componentes.....	45
5.8	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	48
6.	CONCLUSIONES Y REMOMENDACIONES.....	50
6.1	CONCLUSIONES.....	50
6.2	RECOMENDACIONES.....	50
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	53
8.	ANEXOS.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1 Geometría solar.	8
Figura 3. 2 Latitud de un punto.	8
Figura 3. 3 Longitud de un punto.	9
Figura 3. 4 Movimiento de rotación.	9
Figura 3. 5 sensor de efecto hall lineal.	14
Figura 3. 6 Funcionamiento del sensor de efecto hall.	15
Figura 3. 7 Detectores de proximidad de efecto hall.	16
Figura 3. 8 Coordenadas x, y, z. [30]	17
Figura 4. 1 Ubicación del proyecto. [13].....	18
Figura 4. 2 Área de ejecución del proyecto. [30]	19
Figura 4. 3 Diagrama de control automático de seguimiento solar de un eje.....	21
Figura 4. 4 Sistemas de control ON- OFF.....	23
Figura 4. 5 Sistemas de medición.....	24
Figura 4. 6 Sistemas de accionamiento	25
Figura 4. 7 Datos de entrada del sistema	26
Figura 4. 8 Estructura del sistema	28
Figura 4. 9 Control On Off en lazo cerrado.....	29
Figura 4. 10 Determinación de las posiciones de referencia	30
Figura 4. 11 Implementación en PLC.....	31
Figura 5. 1. Circuito de acondicionamiento y aislamiento de señales de encoder para entradas de PLC mediante optoacopladores PC817.	33
Figura 5. 2. Esquema de conexión desde el Sensor Hall (entrada PLC).	34
Figura 5. 3. Conexión de la salida del PLC hacia el controlador BMD-40DIN ver.2.....	34
Figura 5. 4. Diagrama metodológico del sistema de control automático de seguimiento solar de un eje basado en algoritmo astronómico y PLC.	35
Figura 5. 5. Recorrido de los paneles solares.	39
Figura 5. 6. Recorrido total del panel solar. (demostrado en ángulo).	40
Figura 5. 7. Base para la mejora del ángulo de acuerdo con la simulación.....	43
Figura 5. 8. Lectura medición 1	43
Figura 5. 9. Lectura medición 2.....	44
Figura 5. 10. Lectura medición 3.....	44

Figura 5. 11. Programa de control automático del seguidor solar de un eje desarrollado en LOGO! Soft Comfort.	46
Figura 5. 12. Esquema de la Arquitectura General del Sistema de Control.	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO.....	2
Tabla 2. 1 Sistema de Tareas del Plan de Titulación.....	6
Tabla 4. 1 Valores de datos del Logo	41
Tabla 4. 2 Comportamiento del ángulo de 3° a 110° de desplazamiento.....	42
Tabla 5. 1 Descripción de gastos directos.	48
Tabla 5. 2 Gastos indirectos.	48
Tabla 5. 3 Gasto total del proyecto.....	49

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Fuente de alimentación Delta DRL-24V240W1EN.	56
ANEXO 2. PLC LOGO 8.4 6ED 1052-1MD08-0BA1.	58
ANEXO 3. Controlador BMD-40DIN.....	59
ANEXO 4. Instalación de los componentes eléctricos en un riel DIN dentro de una caja de control.....	60
ANEXO 5. Se colocó la fuente conmutada, ¡el PLC Siemens LOGO!, interruptores de protección, módulos de seguridad y terminales.	61
ANEXO 6. Cableado de la fuente, PLC, protecciones y terminales.....	62
ANEXO 7. Se presenta el cuadro eléctrico con todos los elementos instalados y conectados.	63
ANEXO 8. El sistema se encuentra preparado para funcionar, asegurando organización, seguridad.....	64
Anexo 9. Tabla de la hora solar.....	65
ANEXO 10. Conexiones del sistema Logo	74

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del Proyecto:

Control automático del seguimiento solar de un eje mediante algoritmo astronómico para una estación fotovoltaica de 1 kWp.

Modalidad de titulación:

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica	X
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	
Proyecto de investigación	Informe de Proyecto de investigación	
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
Exámen de indicadores de RDA		

Trabajo de Titulación Vinculada al Proyecto: “DIRGI-CP2021-008 Implementación de tecnologías de eficiencia energética en el sector productivo del sector San Felipe para reducir las pérdidas en la red eléctrica.”

Equipo de trabajo de titulación:

Jiménez Porras Erick David

Estudiante

Tipantuña Caisa Alex Jeferson

Estudiante

ING. Cruz Panchi Luis Rolando

Tutor

Área de Conocimiento:

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

Tabla 1. 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO.

33. Ciencias Tecnológicas	3311. Tecnología de la instrumentación	3311.02 Ingeniería de control
		3311.05 Equipos eléctricos de control
		3311.06 Instrumentos eléctricos

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub líneas de investigación de la carrera:

Eficiencia energética e integración de fuentes de energía renovables.

2. INTRODUCCIÓN

El crecimiento sostenido de la demanda energética, junto con la necesidad de reducir los impactos ambientales derivados del uso de combustibles fósiles, ha impulsado la investigación y la implementación de fuentes de energía renovable. Entre estas alternativas, la energía solar fotovoltaica se ha consolidado como una de las tecnologías más prometedoras debido a su disponibilidad, sostenibilidad y capacidad de transformar la radiación solar en energía eléctrica mediante dispositivos semiconductores denominados celdas fotovoltaicas. En este contexto, Lino Veas (2022) señalan que el aprovechamiento de la energía solar constituye una estrategia fundamental para fortalecer la transición hacia sistemas energéticos sostenibles en países con alta disponibilidad de radiación solar como Ecuador.

Sin embargo, los sistemas fotovoltaicos tradicionales con paneles de inclinación fija presentan limitaciones relacionadas con la variación diaria y estacional de la posición aparente del Sol. Esta situación provoca que el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre los módulos fotovoltaicos no sea óptimo durante todo el día, lo que reduce la eficiencia en la captación de energía solar. De acuerdo con Samaniego Peláes & Espinoza Abad, (2015) la orientación y el ángulo de inclinación de los paneles influyen directamente en el rendimiento energético del sistema fotovoltaico, por lo que su optimización resulta clave para mejorar la producción eléctrica.

Con el propósito de mejorar el aprovechamiento de la radiación solar, se han desarrollado sistemas de seguimiento solar que permiten orientar los paneles fotovoltaicos hacia la posición del Sol durante el día. Vega Iñiguez & Marín Apolo (2025) mencionan que los sistemas de seguimiento solar incrementan significativamente la captación de radiación incidente sobre los

módulos fotovoltaicos, lo que permite mejorar la radiación solar eléctrica en comparación con sistemas de estructura fija.

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

A pesar de estos avances en diferentes regiones del país, muchos sistemas fotovoltaicos instalados aún utilizan estructuras fijas, lo que limita el aprovechamiento de la radiación solar disponible durante el día. Esta situación evidencia la necesidad de desarrollar sistemas de seguimiento solar automatizado, que permitan mejorar la captación de radiación solar y mejorar el rendimiento energético de las instalaciones fotovoltaicas en el contexto ecuatoriano [7].

En América Latina, se tiene un elevado potencial de radiación solar y el crecimiento progresivo dentro de la adopción de los sistemas fotovoltaicos, muchas instalaciones de pequeña escala aún continúan en uso de la inclinación fija por causa de las limitaciones económicas y tecnológicas. La poca implementación de los sistemas del seguimiento solar automatizado, dentro de los algoritmos astronómicos minimiza la eficiencia de el recurso energética [1].

En Europa, aun cuando se tiene el desarrollo avanzado de las energías renovables, el sistema fotovoltaico enfrenta un desafío de la optimización del rendimiento bajo las condiciones de menor irradiancia solar. La aplicación en los sistemas escala como 1kWp es poca a causa de las consideraciones de complejidad técnica. La ausencia de las soluciones de control eficiente y accesible de acuerdo con los algoritmos astronómicos [2].

La Universidad Técnica de Ambato, en la ciudad de Ambato, se realizó un estudio comparativo entre un panel fotovoltaico fijo y uno móvil, demostrando que el sistema con seguimiento solar logra captar mayor radiación y generar mayor intensidad de corriente eléctrica que un sistema fijo [3].

Por otra parte, proyectos desarrollados en la Universidad Internacional SEK en Quito demostraron que los sistemas fotovoltaicos con seguimiento solar pueden incrementar la eficiencia de generación aproximadamente en un 24,6 % respecto a paneles solares fijos. [6]

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El proyecto DIRGI-CP2021-008 cuenta con una estación fotovoltaica de 1 kWp, presenta limitaciones n la captación de la radiación solar debido a que se requiere implementar un sistema de seguimiento solar automatizado basado en un algoritmo astronómico, que permita incrementar la captación mediante la orientación de los paneles.

2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de investigación

Sistema fotovoltaico fijo

2.3.2 Campo de acción

3301.01 Tecnología de la automatización

2.4 BENEFICIARIOS

Este estudio servirá como punto de inicio para futuros proyectos en los que se pretenda implementar sistemas de seguimiento solar automático en estaciones fotovoltaicas de pequeña escala.

2.4.1 Directo

Los estudiantes para la obtención del Título de Ingenieros Electromecánicos y al grupo de investigación DIRGI-CP2021-008.

2.4.2 Indirecto

Los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica perteneciente a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.5 JUSTIFICACIÓN

Uno de los factores que limita la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos es la utilización de estructuras fijas, las cuales no permiten mantener una orientación óptima del panel con respecto a la posición del Sol durante el día. Investigaciones en sistemas fotovoltaicos han demostrado que la implementación de seguidores solares de un eje puede incrementar la radiación solar entre un 20 % y un 30 % en comparación con sistemas fijos, debido a que permiten mejorar el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre el panel. [8]

La presente investigación propone la implementación de un sistema de seguimiento solar automático de un eje aplicado a una estación fotovoltaica de 1 kWp. En el estudio, el algoritmo astronómico constituye la variable independiente, ya que los cálculos de la posición solar dependen únicamente de parámetros externos como la fecha, la hora y la ubicación geográfica. Por otro lado, el sistema de control y el sistema fotovoltaico representan las variables dependientes, debido a que su funcionamiento y rendimiento energético dependen directamente de la información generada por dicho algoritmo. [9]

De esta manera, el desarrollo de este sistema permitirá optimizar la orientación del panel fotovoltaico, mejorar la captación de radiación solar y contribuir al desarrollo de soluciones tecnológicas que promuevan el uso eficiente de energías renovables en el país.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 General

Implementar un sistema automatizado de seguimiento solar de un eje mediante la aplicación de un algoritmo astronómico integrado a un sistema de control programable, con el fin de regular de manera precisa la orientación de una estación fotovoltaica de 1 kWp, permitiendo ajustar la posición del panel en función de la trayectoria aparente del Sol, para que se maximice la captación de la radiación solar.

2.6.2 Específicos

- Diseñar el sistema de control para el mecanismo de orientación de un seguidor solar de un eje aplicado a una estación fotovoltaica de 1 kWp, por medio de la formulación e integración de un algoritmo astronómico para determinar la posición solar en función de los parámetros geográficos y temporales del sistema.
- Programar en un controlador lógico programable (PLC) el algoritmo astronómico de cálculo de la posición solar teniendo en cuenta las variables como fecha, hora y ubicación geográfica, para el propósito de controlar automáticamente el actuador encargado de orientar el panel fotovoltaico.
- Validar el funcionamiento del sistema de seguimiento solar de un eje en la estación fotovoltaica de 1 kWp por medio de pruebas experimentales de posicionamiento, comparando los ángulos de orientación calculados por el algoritmo astronómico con la posición angular real del mecanismo de seguimiento, para la verificación de la precisión y eficiencia del sistema de control.

2.6.3 SISTEMA DE TAREAS

A continuación, se detalla la planificación de las actividades en la Tabla 2.1. Este se estructuró bajo los objetivos planteados, asegurando los resultados programados mediante el uso de técnicas, instrumentos y recursos de investigación.

Tabla 2. 1 Sistema de Tareas del Plan de Titulación.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
<p>•Diseñar el sistema de control para el mecanismo de orientación de un seguidor solar de un eje aplicado a una estación fotovoltaica de 1 kWp, por medio de la formulación e integración de un algoritmo astronómico para determinar la posición solar en función de los parámetros geográficos y temporales del sistema.</p>	<p>¡Análisis de hojas técnicas del PLC LOGO! 8.4, actuador PA-100, controlador BMD-40DIN y sensor Hall.</p>	<p>Sistema eléctrico y de control correctamente integrado. Tablero de control operativo y seguro.</p>	<p>Hojas técnicas de fabricantes. Normativa IEC para baja tensión. Multímetro digital. PLC Siemens LOGO! 8.4. Herramientas de montaje.</p>
	<p>Dimensionamiento de fuentes de 24 VDC y 5 VDC considerando consumo real y picos de arranque.</p>	<p>Alimentación estable sin interferencias eléctricas. Funcionamiento confiable del sistema en operación continua.</p>	
<p>Programar en un controlador lógico programable (PLC) el algoritmo astronómico de cálculo de la posición solar teniendo en cuenta las variables como fecha, hora y ubicación geográfica, para el propósito de controlar automáticamente el actuador encargado de orientar el panel fotovoltaico.</p>	<p>Investigación de fundamentos astronómicos (declinación solar, ángulo horario).</p>	<p>Algoritmo astronómico implementado y funcional. Cálculo correcto de la trayectoria solar diaria.</p>	<p>¡LOGO! Soft Comfort. Herramientas de cálculo astronómico. Documentación técnica especializada. Simulación en PLC.</p>
	<p>¡Programación del algoritmo astronómico en LOGO! Soft Comfort. Simulación y ajuste del algoritmo en el PLC.</p>	<p>Orientación automática del panel sin intervención manual. Movimiento progresivo y sincronizado con el recorrido solar.</p>	
<p>•Validar el funcionamiento del sistema de seguimiento solar de un eje en la estación fotovoltaica de 1 kWp por medio de pruebas experimentales de posicionamiento, comparando los ángulos de orientación calculados por el algoritmo astronómico con la posición angular real del mecanismo de seguimiento, para la verificación de la precisión y eficiencia del sistema de control.</p>	<p>Ejecución de pruebas de extensión y retracción del actuador. Verificación del seguimiento solar en diferentes horas del día.</p>	<p>Funcionamiento estable y seguro del sistema de seguimiento solar. Correcto posicionamiento del panel según la trayectoria solar.</p>	<p>Observación técnica directa. Instrumentos de medición eléctrica. Registro visual del movimiento. Software de análisis (Excel / Matlab).</p>
	<p>Medición del desplazamiento y orientación del panel. Comparación del movimiento automático frente a una estructura fija.</p>	<p>Evidencia de mejora en la orientación frente a un sistema fijo. Validación práctica del sistema implementado.</p>	

3. FUNDAMENTACION TEÓRICA

3.1 LA GEOMETRÍA SOLAR

3.1.1 Origen de la geometría solar

Se puede decir que el origen de la geometría solar está cercano a las primeras ciudades donde se asentaron los agricultores. Independientemente de su condición de nómadas, su comprensión de la naturaleza y de la observación de las estrellas es mucho mayor. La agricultura dio paso al conocimiento de los ciclos lunares y estacionales e incluso de las órbitas de las estrellas. Nació la creación de los relojes de sol y luna. Sólo élites y grupos cerrados gestionaban el conocimiento en este campo. Por lo tanto, pocos dominaban tanto los fundamentos básicos como su diseño. Por tanto, su acción recae sobre un determinado punto [4].

La geometría solar ha influido en la arquitectura, el arte, las construcciones tecnológicas, entre otras. Actualmente, los conceptos gestionados dentro de estos fondos lo han hecho más accesible. Gracias a su ritmo ligado a la naturaleza, se convierte en una forma de vida que es más que una simple expresión [5].

3.1.2 Concepto de la geometría solar y su relación con la energía renovable

Es la medida del ángulo del sol con relación a la tierra en conjunto con la cantidad social que incide en un objeto o superficie determinado. Es adecuado poseer en cuenta la posición del sol de acuerdo con la hora de determinar la ubicación de las ventanas de la estructura y de acuerdo a la cantidad de luz solar que ingresa al edificio [6].

La geometría solar es capaz de crear espacios donde la armonía se desarrolla de forma saludable. Donde las mediciones tengan una determinada frecuencia y activen procesos que serán mucho más eficientes.

La geometría solar es fundamental para calcular la producción energética de las instalaciones solares. Con el objetivo de establecer conocimientos sobre la radiación solar en su plano correspondiente. Teniendo en cuenta la instalación y el recorrido del sol, independientemente de las distintas épocas del año. Es importante recordar que las condiciones solares están determinadas por la altitud y el azimut del sol [4].

En geometría solar, el acimut solar se refiere al ángulo que forma la dirección sur con su proyección horizontal.

Asimismo, existen otros factores a considerar en la geometría solar que apoyan el desarrollo de la energía solar. Lo que también facilita el proceso de posicionamiento y su eficiencia.

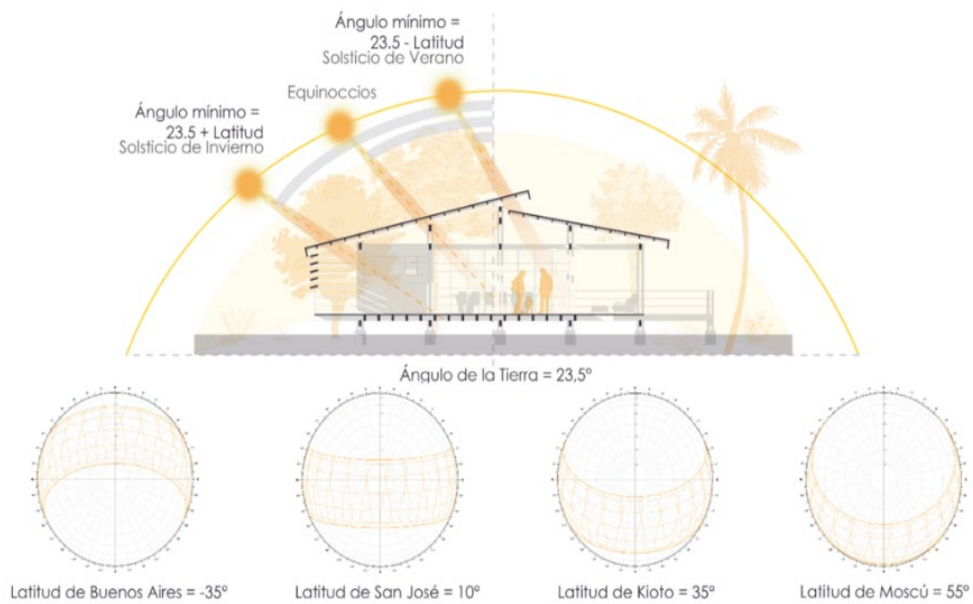


Figura 3. 1 Geometría solar [4].

Latitud

La latitud constituye la distancia angular del punto de la Tierra con respecto a la línea del Ecuador. Se lo mide hacia el norte o el sur y es expresado $^{\circ}$.

- Puede ser latitud Sur (s) o Latitud Norte (N)
- Va desde 0° del Ecuador hasta los 90° dentro de los polos.
- Es representado con las líneas paralelas al Ecuador denominados paralelos.
- Los polos Sur y Norte poseen latitud 90°S y 90°N [5].

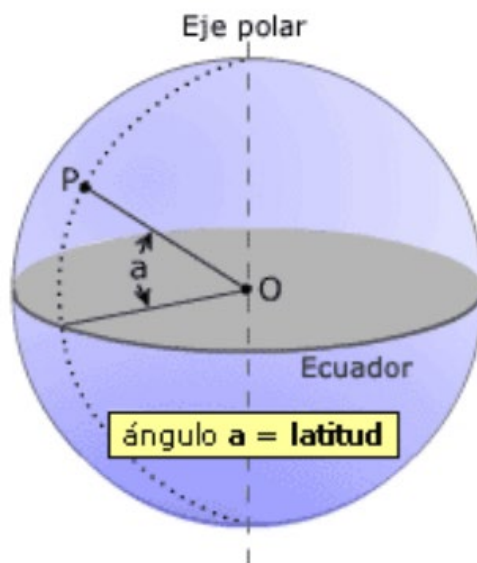


Figura 3. 2 Latitud de un punto [5].

Longitud

Se refiere a la distancia existente de un punto cualquiera con el meridiano de Greenwich, la cual se mide sobre el paralelo que circula por dicho punto.

- Es representado por la letra L
- Se lo mide de 0° a 180° dentro de grados sexagesimales.
- La totalidad de los puntos ubicados en el mismo meridiano poseen la misma longitud
- Dentro del meridiano de Greenwich tiene una longitud de 0° .
- Los polos Sur y norte no contienen longitud [5].



Figura 3. 3 Longitud de un punto [5].

Movimiento de rotación

La tierra rota en su propio eje considerando el sentido contrario al de las manecillas del reloj, para que se genere el giro completo de 360° a 24 horas 0 minutos y 57,33 segundos; el eje de la tierra posee la inclinación de $23^\circ 27'$ [6].

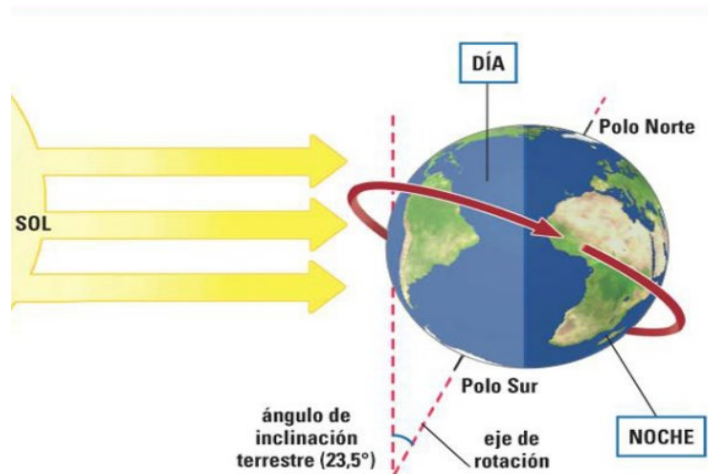


Figura 3. 4 Movimiento de rotación [6].

3.2 CÁLCULOS SOLARES

Hacen referencia a la determinación de la posición del sol del cielo de acuerdo a la fecha, hora y ubicación geográfica como longitud y latitud. Estos cálculos son esenciales dentro de las aplicaciones del diseño de los paneles solares y la predicción de los fenómenos astronómicos. A la vez, se hace uso en las áreas de arquitectura bioclimática, navegación y estudios climáticos [7].

Dentro de la finalidad del cálculo solar es el conocimiento de:

- El ángulo de la incidencia del rayo solar.
- La trayectoria del sol a largo de los días.
- La posición solar en los momentos del año.
- La sombra proyectada de acuerdo con una superficie [8].

En los parámetros principales se encuentran:

Altura solar (α). Constituye el ángulo del sol y el plano horizontal en la tierra. Mide que tan alto está el sol en el cielo.

Azimut solar (γ). Constituye el ángulo del sol y el norte verdadero, que se proyecta de acuerdo con el plano horizontal. Se lo mide desde el norte con el pase hacia el este (0° a 80°) y al oeste de 180° a 360° .

Ángulo cenital (θ). Constituye el ángulo del sol y vertical del lugar de observación. De esta manera se calcula el complemento de la altura del sola ($\theta = 90^\circ - \alpha$) [9].

3.3 El algoritmo astronómico

Este algoritmo es un conjunto de las fórmulas matemáticas que se usan para el cálculo de la posición del Sol y demás cuerpos celestes del cielo, en un lugar específico de la Tierra para cualquier hora y fecha.

- El algoritmo se basa dentro de los factores en los que se destacan:
- El movimiento de la Tierra en el sol incluye la inclinación axial y la excentricidad de la órbita.
- La precisión del equinoccio, que afecta la orientación dentro del eje de la Tierra.
- El tiempo estándar y solar verdadero [7].

3.4 FÓRMULAS BÁSICAS DEL ALGORITMO ASTRONÓMICO

3.4.1 Ángulo horario

El ángulo horario (ω) es un parámetro astronómico que representa el desplazamiento angular del Sol respecto al meridiano local debido a la rotación de la Tierra. Este ángulo indica cuánto se ha movido el Sol desde el mediodía solar, momento en el cual el Sol alcanza su punto más alto en el cielo. El ángulo horario se mide en grados y cambia aproximadamente 15° por cada hora, ya que la Tierra rota 360° en 24 horas. Por convención, los valores del ángulo horario son negativos en la mañana (antes del mediodía solar) y positivos en la tarde (después del mediodía solar) [11].

$$\omega = 15^\circ \cdot (Ts - 12)$$

Donde

Ts = Hora solar local en horas.

3.4.2 Ángulo de declinación

Se representa por δ , que se da de los rayos del sol y plano del ecuador terrestre. Varía de manera estacional a causa de la inclinación de la Tierra en su eje de rotación y alrededor del sol. Si la tierra no se encontrara inclinada en el eje de rotación, la declinación fuera 0° .

$$\delta = \arcsin(\sin(\epsilon) \cdot \sin(Ls)) \tag{3.1}$$

Donde:

ϵ . Constituye la inclinación del eje en la Tierra de $23,44^\circ$.

Ls . Longitud solar

3.4.3 La altura solar

Constituye el ángulo formado de los rayos del sol y horizonte del plano del observador, constituyendo la elevación del sol en el cielo. Varía de 0° puesta/salida hasta el máximo al mediodía solar, depende la altitud y la declinación con la fecha del año y la hora del día. Es decir, se calcula por medio del uso del ángulo horario y la declinación solar [6].

$$\sin(\alpha) = \sin(\delta) \cdot \sin(\Phi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\Phi) \cdot \cos(\omega) \tag{3.2}$$

Donde:

Φ = Latitud del lugar

3.4.4 Azimut solar

Denominado γ que indica la dirección hacia el cual el sol se localiza del observador. Constituye un esencial en el diseño de los paneles solares. Se lo calcula por medio de fórmulas específicas los cuales consideran la declinación solar y el ángulo horario [12].

3.4.5 Algoritmo astronómico aplicado al seguimiento solar

El algoritmo astronómico aplicado al seguimiento solar es un conjunto de ecuaciones matemáticas que permiten calcular la posición del Sol en el cielo en función de parámetros como la fecha, la hora y la ubicación geográfica del sistema. Este algoritmo se utiliza en los sistemas de seguimiento solar para orientar automáticamente los paneles fotovoltaicos y mantenerlos alineados con la radiación solar durante el día [15].

Para determinar la posición del Sol se utilizan datos como la latitud y longitud del lugar. Por ejemplo, en el caso de una estación fotovoltaica ubicada en Latacunga, Ecuador, las coordenadas aproximadas son latitud -0.93° y longitud -78.61° . Con estos datos y la fecha del día se calcula la declinación solar, que puede variar entre -23.45° y $+23.45^\circ$ dependiendo de la época del año. Posteriormente se calcula el ángulo horario, el cual depende de la hora solar y cambia aproximadamente 15° por cada hora, debido a que la Tierra rota 360° en 24 horas. Por ejemplo, si el mediodía solar ocurre a las 12:00, entonces a las 11:00 el ángulo horario es -15° y a las 13:00 es $+15^\circ$.

En sistemas de seguimiento solar de un eje, como el implementado en esta investigación para una estación fotovoltaica de 1 kWp, el algoritmo astronómico permite programar movimientos periódicos del panel. Por ejemplo, si el sistema realiza un desplazamiento de aproximadamente 3° cada 12 minutos, se logra mantener una orientación más precisa hacia el Sol, lo que puede aumentar la captación de radiación solar [16].

3.4.6 Cálculo de la posición solar

El cálculo de la posición solar permite determinar la ubicación exacta del Sol en el cielo para un lugar y momento determinados. Este cálculo es fundamental en los sistemas de seguimiento solar, ya que permite orientar los paneles fotovoltaicos de forma que reciban la mayor cantidad posible de radiación solar durante el día [14].

Para determinar la posición del Sol se utilizan parámetros astronómicos como la latitud, longitud, fecha y hora solar. A partir de estos datos se calculan variables como la declinación solar (δ), el ángulo horario (ω), el ángulo de elevación solar y el ángulo azimut, los cuales describen la trayectoria aparente del Sol en el cielo.

3.5 CONTROL AUTOMÁTICO

El control automático es una técnica utilizada para regular el funcionamiento de un sistema sin necesidad de intervención humana continua. Este tipo de control utiliza dispositivos electrónicos, sensores, controladores y actuadores para monitorear y ajustar el comportamiento de un sistema con el fin de mantener determinadas condiciones de operación.

En los sistemas de seguimiento solar, el control automático permite orientar los paneles fotovoltaicos siguiendo la trayectoria aparente del Sol durante el día. Para ello, el sistema utiliza un controlador, como un PLC (Controlador Lógico Programable), que procesa la información obtenida a partir de un algoritmo astronómico basado en parámetros como fecha, hora, latitud y longitud. Con estos datos se calcula la posición del Sol y se envían señales de control a un actuador o motor, el cual ajusta la posición del panel solar [17].

Por ejemplo, en un sistema de seguimiento solar de un eje, el controlador puede programar movimientos periódicos del panel desde el este hacia el oeste durante el día. En un caso práctico, el sistema puede realizar desplazamientos de aproximadamente 3° cada 12 minutos, permitiendo mantener una orientación adecuada hacia el Sol y mejorar la captación de radiación solar.

El uso de control automático en sistemas fotovoltaicos permite optimizar el rendimiento energético, reducir errores humanos y mejorar la eficiencia del sistema en comparación con estructuras solares fijas [18].

3.5.1 Control ON- OFF

Conocido como el control todo o nada, constituye uno de los métodos simples del control automático. El funcionamiento está basado en la activación o desactivación completa del actuador de acuerdo con la condición establecida sin que se considere valores intermedios.

Este tipo de control la señal de salida únicamente puede tomar dos estados el encendido ON y apagado OFF. Este comportamiento lo hace esencial para el sistema en el que no se necesita de la regulación continua, sino únicamente a que se mantenga la variable en el rango determinado.

Dentro del contexto del seguimiento solar, el control ON-OFF se lo utiliza para que se accione el actuador línea orientado al panel fotovoltaico. El sistema compara la posición del panel con la calculada por el sol en base al algoritmo astronómico. Si se da una diferencia mayor al umbral establecido, el actuado se activa ON corrigiendo la posición, caso contrario está desactiva OFF. Este tipo de control tiene ventajas como la simplicidad de la implementación, la facilidad integral y el bajo costo de los controles programables como el PLC.

3.5.2 Control en lazo cerrado y abierto

El sistema de control se lo puede clasificar de lazo cerrado y abierto dependiendo de que exista o no retroalimentación [13].

Control de lazo abierto: No usa la retroalimentación del sistema. La acción se la ejecuta sin que se verifique si la salida corresponde el valor deseado.

Control de lazo cerrado: Usa la retroalimentación por medio de los sensores para que se compare la salida real con el referencial, lo que permite que se corrija los errores [5].

Dentro del sistema de seguimiento solar, se utiliza el control de lazo cerrado, dado que se usa la retroalimentación proporcionada por los sensores como el sensor del efecto de Hall, determinado la posición del actuador y permitiendo que se ajuste de acuerdo con la posición solar calculada [13].

3.6 SENSOR DE EFECTO HALL

3.6.1 Introducción al sensor de efecto Hall

Un sensor de efecto Hall es un dispositivo electrónico que permite detectar la presencia, intensidad o variación de un campo magnético y transformar esa información en una señal eléctrica proporcional, generalmente en forma de voltaje o señal digital se muestra en la Figura 3.5.

Estos sensores se emplean con gran frecuencia en sistemas de automatización, control industrial, y en la medición de corriente, velocidad y posición, gracias a su fiabilidad, velocidad de respuesta y falta de contacto mecánico [25].

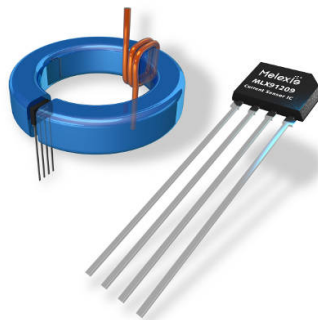


Figura 3. 5 sensor de efecto hall lineal. [14]

3.6.2 Principio físico del efecto hall

El funcionamiento del sensor se fundamenta en el efecto Hall, fenómeno hallado por Edwin Hall en 1879 este efecto ocurre cuando un conductor o semiconductor que lleva una corriente eléctrica se encuentra en un campo magnético perpendicular a la dirección de esa corriente [26].

Descripción del fenómeno

1. Al suministrar una corriente eléctrica a un material semiconductor, los electrones se mueven en una dirección específica.
2. Al introducir un campo magnético perpendicular, las cargas eléctricas sufren una fuerza de Lorentz que las desvía lateralmente.
3. Esta acumulación de cargas produce una diferencia de potencial transversal, denominada voltaje Hall.
4. El voltaje Hall es directamente proporcional a la magnitud del campo magnético que se aplica

3.6.3 Funcionamiento técnico del sensor de efecto hall

Desde el punto de vista funcional un sensor de efecto hall, permite detectar movimiento, posición o velocidad sin contacto físico esto opera de la siguiente manera se muestra en la Figura 3.6 [27].

- El sensor recibe energía eléctrica (usualmente a 5 V, 12 V o 24 V).
- Internamente, un material semiconductor conserva una corriente fija.
- Al acercarse un imán o campo magnético externo al sensor:
- Se produce un voltaje Hall que es proporcional al campo magnético.
- Este voltaje se amplifica y se procesa de forma electrónica.
- El sensor proporciona una señal eléctrica, que puede ser:
- Analógica: tensión relacionada con el campo magnético.
- Digital: señal activada/desactivada al alcanzar un límite previamente establecido.

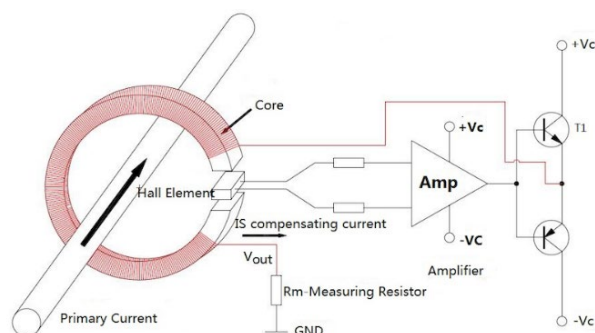


Figura 3. 6 Funcionamiento del sensor de efecto hall. [1]

3.6.4 Componentes internos del sensor de efecto hall

Un sensor de efecto hall típico está compuesto por se muestra en la Figura 3.7 [28].

- **Elemento Hall:** semiconductor que responde al campo magnético.
- **Circuito amplificador:** aumenta el voltaje generado por el Hall.

- **Comparador (en sensores digitales):** establece el estado ON/OFF.
- **Etapa de salida:** transistor o circuito lógico que proporciona la señal.
- **Carcasa protectora:** resguarda el sensor de polvo, humedad y vibraciones

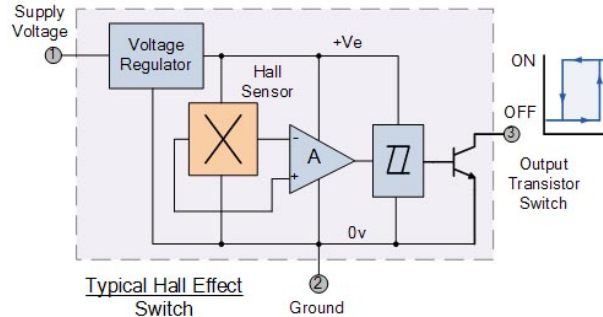
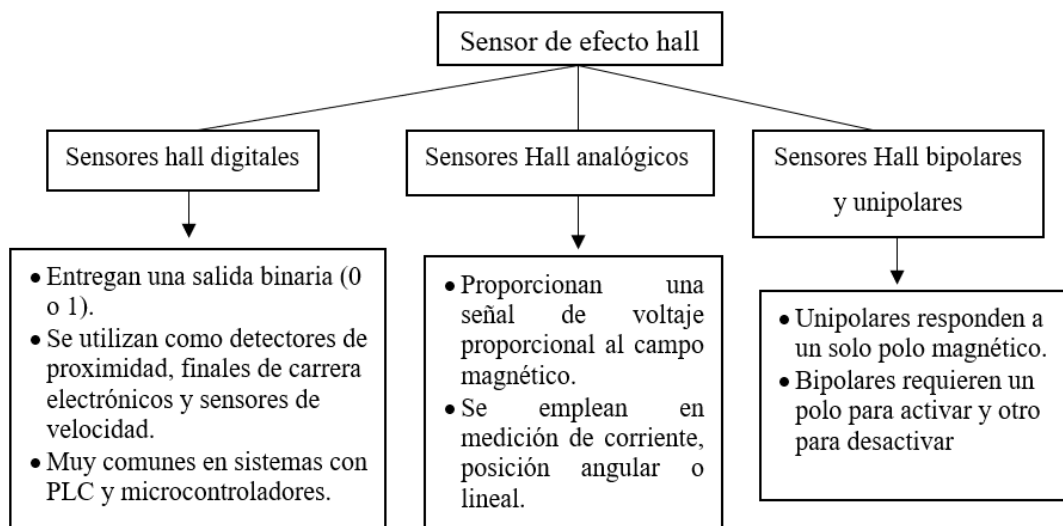


Figura 3. 7 Detectores de proximidad de efecto hall. [15]

3.6.5 Tipos de sensores de efecto hall



3.7 SISTEMA DE SEGUIDOR SOLAR

3.7.1 Definición de Seguidor Solar

Un seguidor solar es un sistema electromecánico diseñado para orientar de forma automática los módulos fotovoltaicos asegurando que se mantengan en una posición ideal en relación con el recorrido aparente del Sol a lo largo del día. Su objetivo principal es optimizar la captación de radiación solar, asegurando que el ángulo de incidencia de los rayos solares sea lo más perpendicular posible a la superficie del panel.

A diferencia de los sistemas fotovoltaicos fijos los seguidores solares incluyen componentes de control, actuadores y estructuras móviles lo que permite el movimiento controlado de los paneles según la ubicación del sol [5].

3.7.2 Tipos de seguidores solares

Existen diferentes tipos de seguidores solares por lo que se clasifican y se instalan tomando en consideración varios aspectos y según las necesidades de las personas, empresas o industria que los requieran. Hay tres tipos de sistemas de seguimiento:

3.7.2.1 Seguidores solares manuales

Los seguidores manuales requieren que alguien ajuste físicamente los paneles a diferentes horas del día para seguir al sol. Esto no es siempre práctico, porque necesitas que alguien esté constantemente controlando el sol y cambiando la posición del sistema de paneles solares [28]

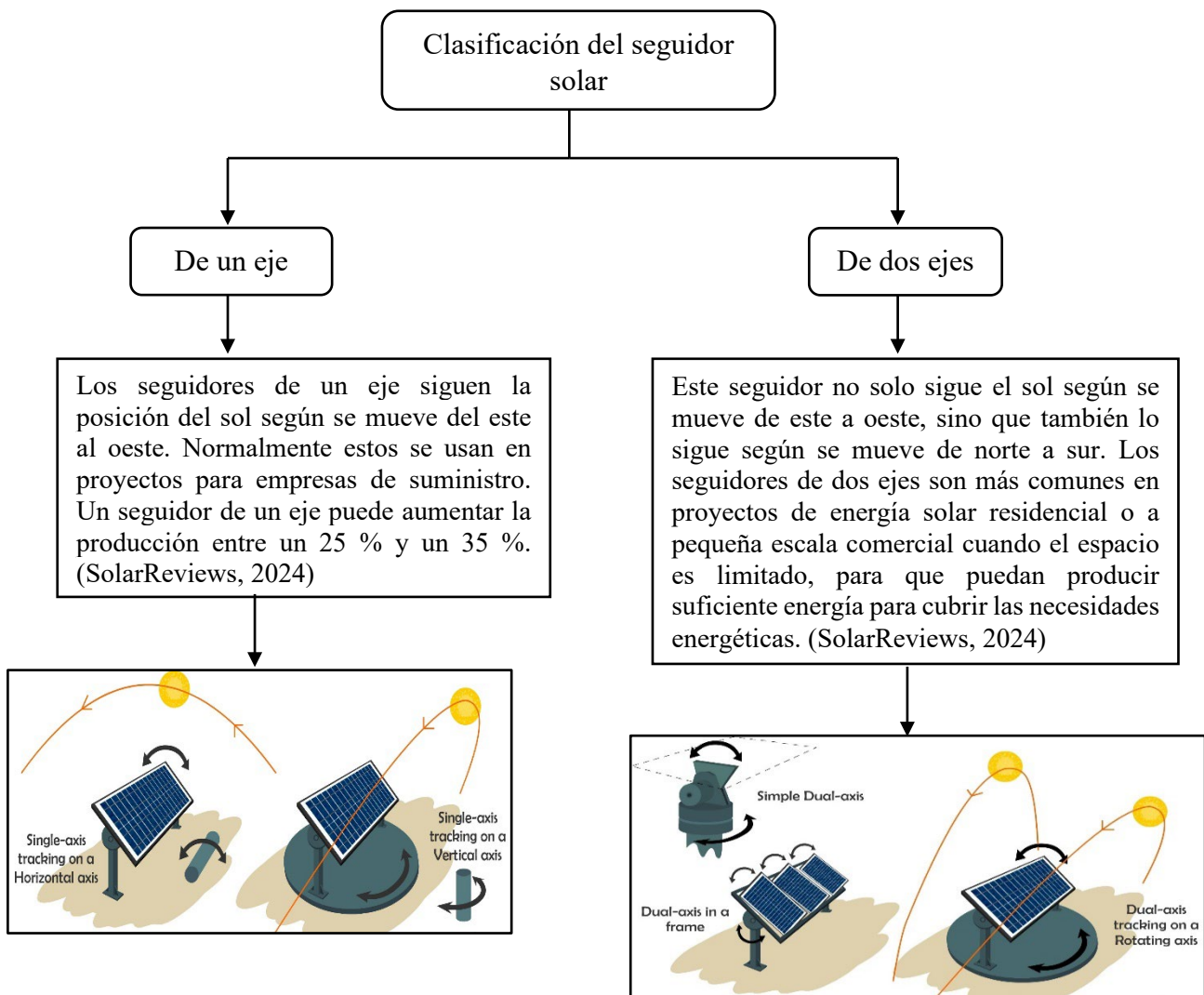


Figura 3. 8 Coordenadas x, y, z. [30]

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 UBICACIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

La presente propuesta tecnológica se realiza dentro de la Universidad técnica de Cotopaxi, localizada en la Avenida Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe del Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi; en el área de la azotea del bloque B como se muestra en la Figura 4.1.



Figura 4. 1 Ubicación del proyecto [13].

La selección del sitio se realizó considerando:

- La disponibilidad de la radiación solar directa
- El acceso a la alimentación eléctrica
- La seguridad del sistema
- La facilidad del monitoreo

El área corresponde al Laboratorio de eficiencia energética, que permite integrar el sistema con la infraestructura existente.

4.1.1 Área disponible

La implementación del sistema fotovoltaico está condicionada por la disponibilidad y características del espacio físico destinado para su instalación. En este contexto, la presente

propuesta contempla el aprovechamiento del área disponible en el Laboratorio de Eficiencia Energética, ubicado en la azotea del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

La Figura 4.2 presenta la distribución de las zonas asignadas dentro del laboratorio; entre ellas, el área 2 se identifica como la más adecuada para la instalación del sistema ya que esta selección se fundamenta en que dicha zona alberga la estación de control del laboratorio, lo cual facilita la interconexión eléctrica y la alimentación energética requerida para el funcionamiento del sistema automatizado propuesto.

De esta manera, la ubicación seleccionada optimiza las condiciones de integración técnica y operativa del sistema fotovoltaico dentro de la infraestructura existente.

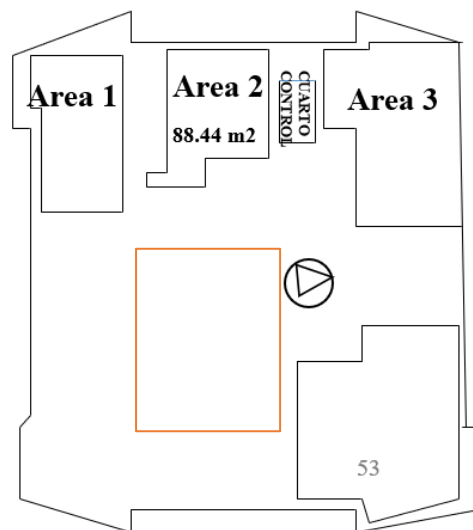


Figura 4. 2 Área de ejecución del proyecto [30].

Metodología del desarrollo

El desarrollo del sistema se basa dentro de la metodología aplicada y experimental, estructurada en diferentes etapas:

4.1.2 Etapa de análisis

Dentro de esta etapa se definieron los requerimientos del sistema, el cual considera:

- El tipo del seguidor solar como un eje.
- El método del cálculo como algoritmo astronómico.
- El tipo del control On- off.
- Los elementos físicos del sistema

4.1.3 Etapa de diseño

Se diseñaron los siguientes componentes:

- El sistema de control PLC: permite que se procese los datos del sistema, generando señales de salida hacia el actuador. El diseño incluirá la programación de las condiciones de parada y activación.
- El sistema eléctrico: Se elaborará el esquema eléctrico teniendo en cuenta las fuentes de alimentación, la distribución de la energía, las protecciones.
- El sistema mecánico como el actuador: Se diseñará la integración del actuador lineal bajo la estructura del panel, que permite el movimiento controlado. El sistema se encarga de ejecutar físicamente el seguimiento solar.
- El sistema de medición o sensor Hall. Se incorporará el sensor para la medición de la posición del actuador por medio de los pulsos eléctricos, permitiendo conocer la ubicación del panel en el tiempo real.

4.1.4 Etapa de implementación

Dentro de la etapa de implementación se considera los aspectos desde el montaje hasta la integración de los sensores.

- Montaje del actuador: Se los instara en la estructura del panel solar, permitiendo la correcta fijación y alineación. Lo que hace que el movimiento sea eficiente y sin desviaciones.
- Cableado del tablero eléctrico: Se realizará la conexión de los componentes eléctricos, considerando el PLC, los sensores las fuentes. Siguiendo las normas de seguridad para que se garantice el sistema confiable.
- La programación del PLC: Desarrollando el programa en el software LOCO, considerando la lógica del control necesario para el funcionamiento del sistema.
- La integración de los sensores: El sensor hall se lo conectará al sistema, permitiendo la medición de la posición del actuador y el uso del control del sistema.

4.1.5 Descripción del proceso

El sistema funcionará mediante la secuencia continua de la obtención de datos, el cálculo de la posición solar, entre otros.

El diagrama de metodología se diseñará para detallar todos los pasos que se presentan en el desarrollo del proyecto. La figura 4.3, dispone de los parámetros y variables que se deben considerar en la estructura del contenido para el análisis de resultados y datos obtenidos durante el desarrollo del presente proyecto.

El diagrama representa la metodología del sistema de control automático para el seguimiento solar de un eje, donde un algoritmo astronómico determina la posición óptima del panel fotovoltaico. Los datos son gestionados por un PLC que activa el sistema de potencia para desplazar el panel utilizando un actuador lineal la posición real del eje es detectada por un sensor Hall, lo que posibilita la realimentación y el ajuste automático de la orientación del panel.

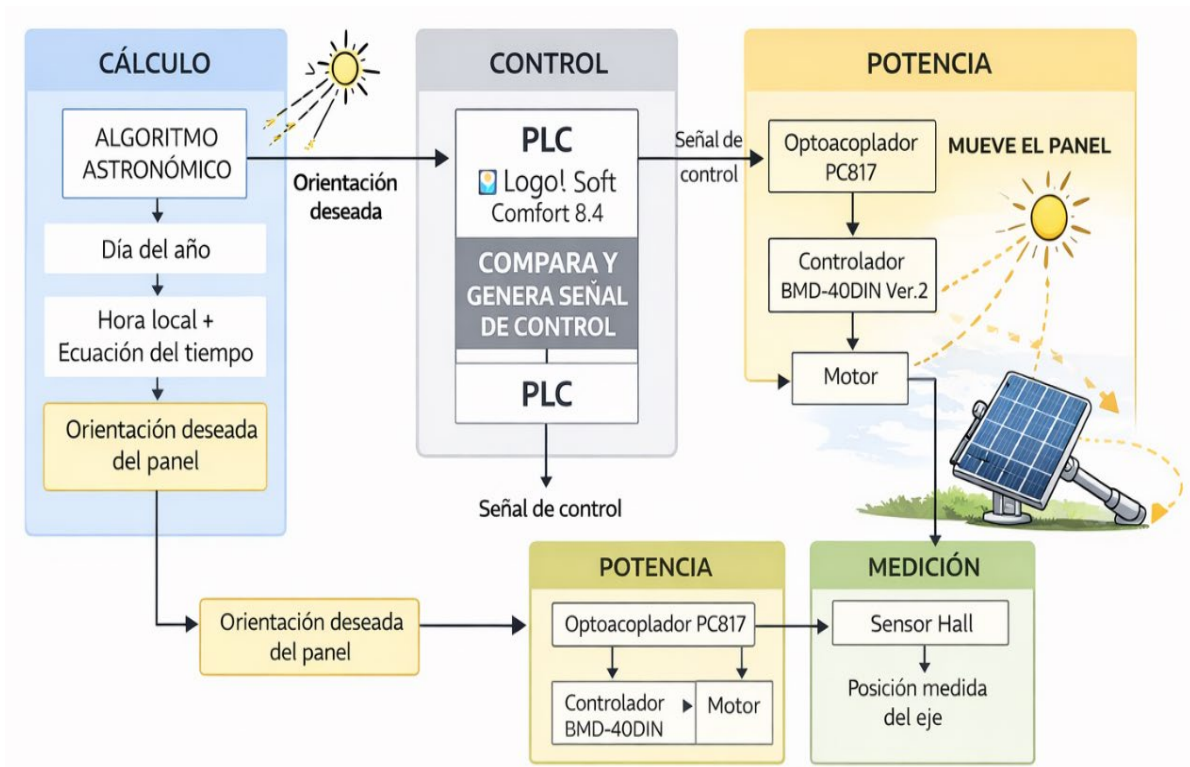


Figura 4. 3 Diagrama de control automático de seguimiento solar de un eje.

4.2 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR DE UN EJE

La presente propuesta describe el proceso de diseño, implementación y operación de un sistema de control automático para un seguimiento solar de un eje, orientado a mejorar la captación solar mediante la correcta alineación de los paneles fotovoltaicos. El desarrollo del sistema ha integrado múltiples métodos y procesos técnicos con el fin de posicionar la orientación de los paneles solares y que esta pueda mejorar la capacidad solar deseada.

El diseño se fundamenta en la estructura de un sistema de seguimiento solar que actualmente se encuentra implementado en el laboratorio de eficiencia energética de la Universidad Técnica de Cotopaxi, orientado a la conversión de radiación solar en energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos.

Cabe destacar que el sistema cuenta con un actuador lineal previamente montado e integrado a la estructura de los paneles solares, lo que permite un movimiento automatizado y controlado para mantener la orientación óptima respecto a la posición del sol.

El sistema funcionará por medio de la secuencia continua de:

La obtención de los datos de entrada: El sistema obtiene la fecha y hora desde el PLC, permitiendo que se determine el momento exacto del día. Estos datos son esencial para el cálculo de la posición del sol.

- El cálculo de la posición solar: Se aplicará el algoritmo astronómico para que se determine la ubicación del sol en el cielo, permitiendo que se defina la posición ideal del panel.
- Medición de la posición real: El sensor Hall detectará el movimiento del actuador por medio de pulsos, lo que permite se conozca la posición actual del sistema.
- La comparación de las posiciones: Se comparará la posición real de acuerdo con la posición calculada, teniendo en cuenta el valor del error que será usado en el control.
- La activación del actuador: Si se tiene la diferencia, el actuador se activa para una corrección de la posición del panel.

4.2.1 El sistema de control

Para el sistema de control se considera la comparación de la posición, en el que el PLC se comparará continuamente la posición real de acuerdo con la referencia calculada. Este proceso permitirá que se identifique si el sistema requiere corregir la orientación

La activación del actuador, cuando se detecte el error, el sistema enviará la señal para que se active el actuador, considerando el movimiento del panel.

La detención del sistema. Al momento que el panel alcance la posición deseada, el actuador se detendrá de manera automática, lo que evitará los sobre desplazamientos.

La banda de tolerancia que se implementaría en un rango de tolerancia que evite la activación constante del sistema con una mejora de la estabilidad del control.

De esta manera, el sistema de control del presente proyecto posee con finalidad regular de forma automática la orientación del panel fotovoltaico de acuerdo con la posición solar calculada por

medio del algoritmo astronómico. Este control se basará considerando la comparación de la posición de la referencia al Sol y la posición del actuador línea.

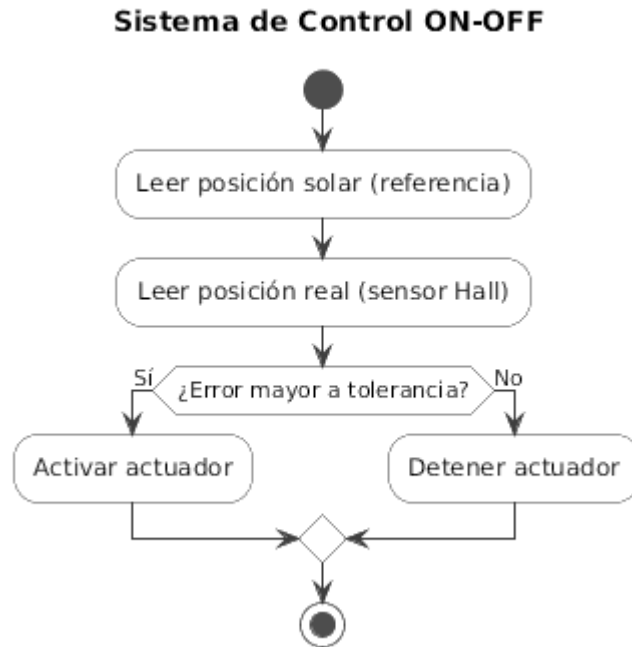


Figura 4. 4 Sistemas de control ON- OFF.

El diagrama presentado indica la lógica del funcionamiento del sistema de control implementado. En un inicio, el PLC sirve la posición de la referencia producida por el algoritmo astronómico y la comparación de la posición real que se obtendrá por medio del sensor de efecto Hall. En el caso de que se tenga una diferencia superior al margen de tolerancia, el sistema activará el actuador lineal para que se corrija la orientación del panel.

4.2.2 El sistema de medición

El sistema de medición consiste en proporcionar la información necesaria acerca de la posición real del actuador lineal, lo que es esencial para el funcionamiento del control automático. Este proyecto hace uso del sensor de efecto Hall, el mismo que generará los pulsos eléctricos de acuerdo con el movimiento del actuador.

Estos puntos se los enviará al PLC, en el que será contabilizando para que se determine la posición el sistema. De esta forma, se establecerá el lazo de retroalimentación que permitirá ajustar de manera continua la orientación del panel solar considerando la referencia calculada.

Dado las diferencias del nivel de voltaje del sensor y PLC, se implementará el sistema de acondicionamiento de la señal por medio del optoacoplador, lo que garantizará la correcta transmisión de la señal, protegiendo los dispositivos electrónicos involucrados.

Dentro de este proceso se consideran:

- El recurso de los pulsos.
- El acondicionamiento de la señal
- El conteo del PLC
- La conversión posición

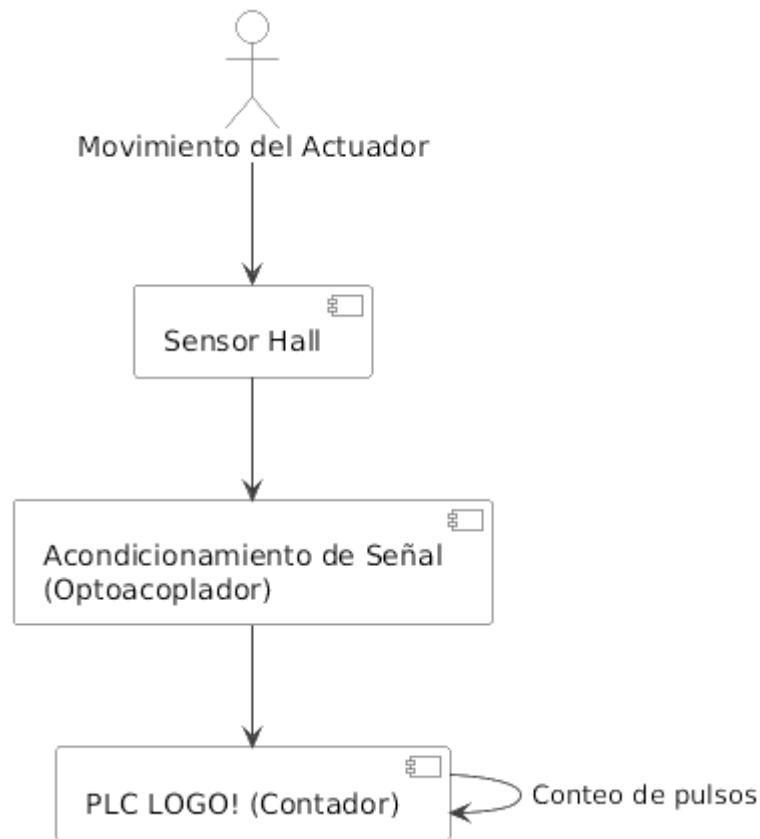


Figura 4. 5 Sistemas de medición.

El diagrama muestra el proceso por el cual se obtendrá la posición real del sistema. El movimiento del actuador será detectado por el sensor de efecto Hall, el cual producirá la señal a manera de pulsos eléctricos. Esta señal se lo acondiciona antes de que se envíe al PLC, en el que es procesada por medio del contador de pulsos.

4.2.3 El sistema de accionamiento

El sistema de acondicionamiento posee como función la ejecución del movimiento físico del panel solar teniendo en cuenta las señales producidas por el sistema de control. Por ello, se emplea el actuador lineal, lo que permite transformar la señal eléctrica desde el desplazamiento mecánico.

El actuador se lo controla por medio del driver electrónico, lo que recibe las señales del PLC, regulando la alimentación del actuador, lo que permitirá la extensión o la retracción como sea necesario. Este sistema garantizará el movimiento controlado y preciso del panel, dando la adecuada orientación hacia el Sol.

El actuador lineal PA -100 permitirá el movimiento del panel, considerando las siguientes características:

- El movimiento bidireccional
- El control, eléctrico
- La elevada precisión

Sistema de Accionamiento del Seguidor Solar

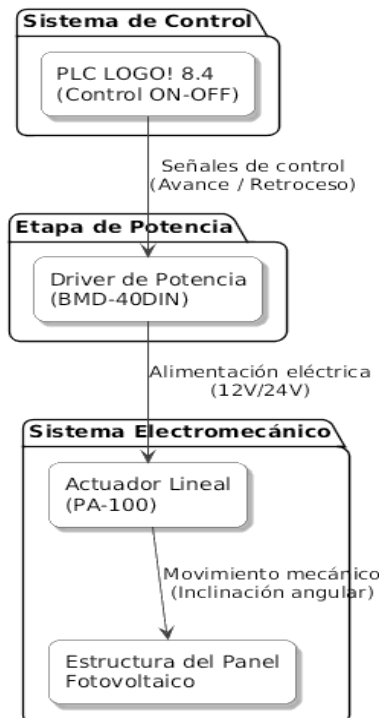


Figura 4. 6 Sistemas de accionamiento

El diagrama indica la interacción de los elementos que forman el sistema de accionamiento. El PLC envía las señales del control al drive, lo que gestiona la alimentación del actuador lineal. Esto produce el movimiento mecánico que es necesario para la orientación del panel solar. Este proceso permitirá que se ajuste la inclinación al panel teniendo en cuenta la trayectoria solar, cumpliendo los requerimientos del sistema de seguimiento.

4.2.4 Datos de entrada del sistema

Los datos de la entrada del sistema son esenciales para que se garantice el adecuado funcionamiento del seguidor solar, dado que permitirá determinar la posición de referencia del panel de acuerdo con la trayectoria aparente del Sol. Estos datos se los utilizará como la base para la ejecución del algoritmo astronómico implementado dentro del sistema de control.

Entre el principal dato de entrada será, la hora local, la fecha, las coordenadas geográficas del lugar de la instalación y los parámetros astronómicos que se asocian al movimiento solar. Dichos valores permitirán que se calcule las variables:

- La declinación solar
- El ángulo horario
- El ángulo de elevación.

Adicional se incluirá los datos de entradas de las señales provenientes de los sensores de efecto de Hall, los que se presentarán la posición real del actuador lineal.



Figura 4. 7 Datos de entrada del sistema

4.2.5 Métodos de cálculo

El cálculo de la posición solar se la realiza por medio de la aplicación del algoritmo astronómico el cual permite que se determine la posición aparente del sol de acuerdo a la función del tiempo y considerando la ubicación geográfica. Para ello, se consideran variables de la entrada como la hora local, la fecha y las coordenadas geográficas:

En este caso, se determinarán las coordenadas adecuadas referentes a la ciudad de Latacunga:

$$\text{Latitud} = 0,93^\circ$$

$$\text{Longitud} = -78,61^\circ$$

Estos valores serán esenciales para desarrollar los cálculos astronómicos dado que contribuyen a obtener la posición solar.

Cálculo del día del año

El día se calcula de acuerdo a la fecha, teniendo en cuenta los valores de 1 a 365.

$$N = \text{día del año} \tag{4.1}$$

Este valor permitirá que se establezca la posición de la Tierra en la órbita alrededor del Sol, constituyendo un parámetro esencial en el cálculo de la declinación solar.

Cálculo de la declinación solar

La declinación solar es un ángulo de los rayos solares y el plano del ecuador terrestre. El valor varía de acuerdo con el año y se lo utiliza para que se determine la posición de la Tierra con respecto al Sol.

$$\delta = 23.45 \circ \cdot \sin\left(\frac{360}{365}(n - 81)\right) \tag{4.2}$$

Cálculo del ángulo horario

Es el desplazamiento angular del Sol con relación al mediodía solar. Este valor depende de la hora solar local y permitirá que se determine la posición del sol en el cielo con relación a la largo del día.

$$H = 15 \circ (tsolar - 12) \tag{4.3}$$

Cálculo del ángulo de elevación solar δ

Este ángulo permitirá que se determine la altura del sol acerca del horizonte, que es esencial para la definición de la orientación del panel.

$$\sin(\alpha) = \sin(\delta)\sin(\phi) + \cos(\delta)\cos(\phi)\cos(H)$$

(4. 4)

Donde:

ϕ es la latitud del lugar

δ es la declinación solar

H es el ángulo horario

4.2.6 Arquitectura del sistema

Se basa en la integración del algoritmo astronómico del sistema de control programable, que permite que se regule la orientación del panel fotovoltaico del control programable, permitiendo que se regule la orientación del panel de acuerdo con la posición solar.

El sistema de estructurará en diversos bloques funcionales que interactuarán entre sí para que se garantice el adecuado funcionamiento del seguidor solar.

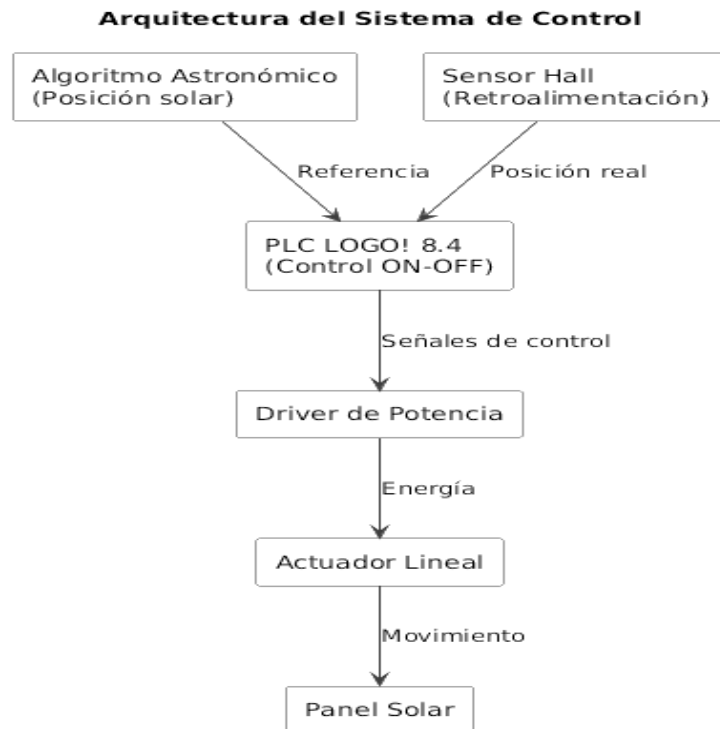


Figura 4. 8 Estructura del sistema

4.2.7 Tipo de control ON OFF

El sistema de control corresponde al tipo ON – OFF en lazo cerrado, el cual se basará en la activación o desactivación del actuador de acuerdo con la función del error que se puede generar en la posición de referencia o real del sistema.

Este tipo de control permite que se tenga una implementación sencilla, adecuado en donde se necesita un control continuo y con un margen de tolerancia.

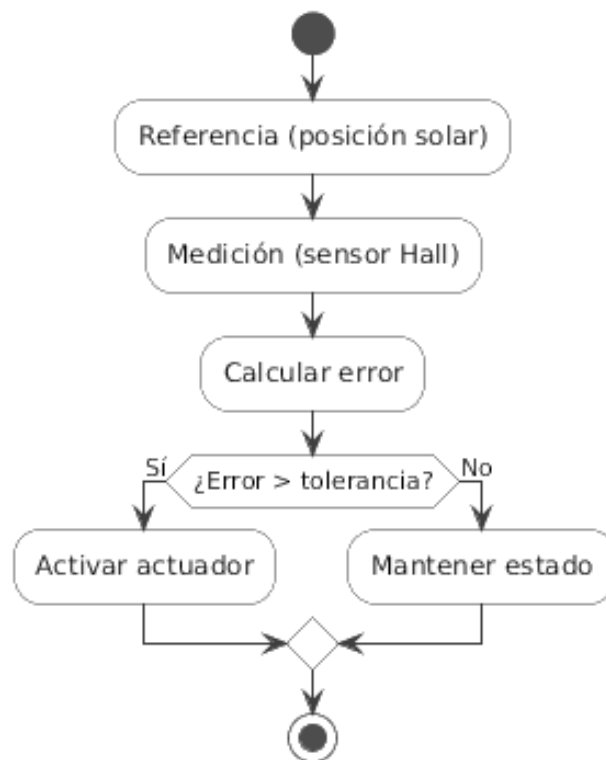


Figura 4. 9 Control On Off en lazo cerrado

4.2.8 Determinación de la posición de referencia

A partir del ángulo de la elevación solar, se lo define la posición la cual se la debe adoptar el panel fotovoltaico del sistema de seguimiento del eje, En esta posición se la utilizará como referencia dentro del sistema de control para que se accione el actuador lineal.

Determinación de la Posición de Referencia del Panel Solar

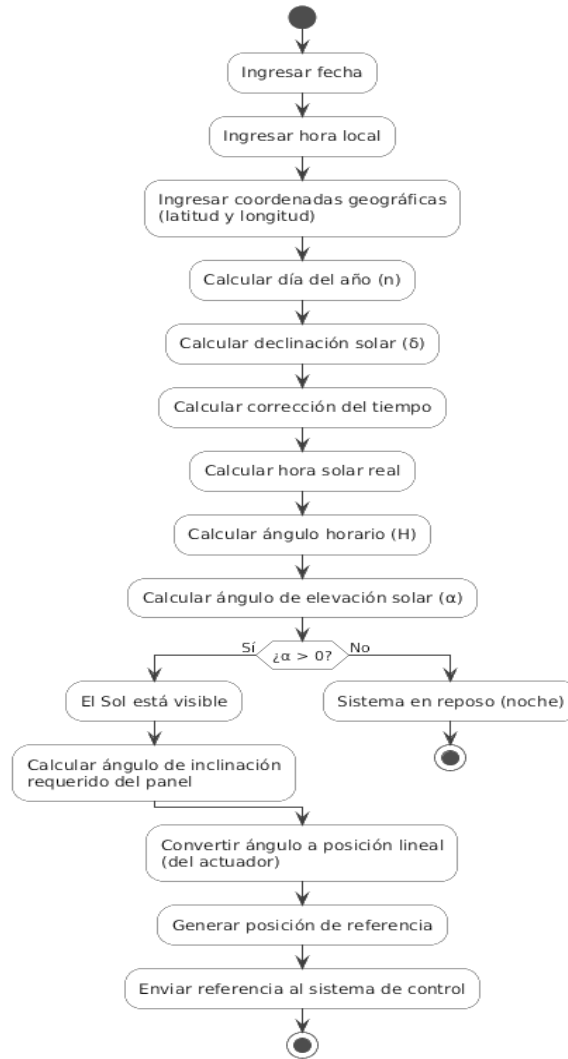


Figura 4. 10 Determinación de las posiciones de referencia

4.2.9 Implementación en PLC.

La implementación del sistema se la realizará en PLC LOGO 8,4 por medio de la programación de los bloques funcionales que permitirán la ejecución lógica del control del seguidor solar. El programa incluirá la lectura de las entradas, la activación de las salidas y el procesamiento de los datos del algoritmo definido.

El PLC recie como la entrada la señal del sensor de efecto Hall y tomando en cuenta la posición e la referencia calculada previamente. A partir de dicha información se la ejecuta la lógica de control ON OFF lo que produce señales que permitirá se accione el actuador línea de acuerdo a la dirección correspondiente.

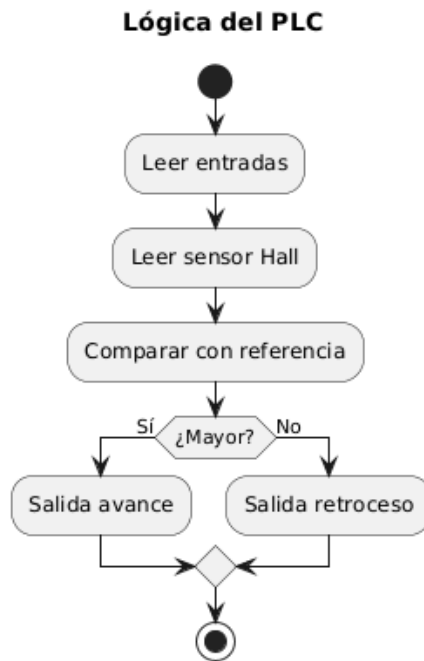


Figura 4. 11 Implementación en PLC

4.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Los valores determinados serán programados dentro del PLC por medio de tablas o funciones predefinidas las cuales consideran los intervalos actualizados periódicos. Esto permitirá que se ajuste el sistema de acuerdo con la posición del panel en el movimiento aparente del sol en el transcurso del día.

4.3.1 Unidad de control del sistema

El PLC Siemens LOGO V8.4 es la unidad central de control del sistema de seguimiento solar de un eje opera a 24 V CC y se encarga de ejecutar el algoritmo astronómico que está programado en LOGO! Soft Comfort, a través del cual se determina la mejor orientación del panel fotovoltaico según el día del año y la hora local.

El PLC procesa las señales de entrada que recibe del sensor Hall, compara la posición deseada con la posición real del panel y genera las señales de salida requeridas para activar el actuador lineal, mediante el sistema de potencia. Asimismo, regula los límites operativos y las condiciones de seguridad asegurando un funcionamiento automático, estable y fiable del sistema se muestra en Anexo 2.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se detalla el proceso de implementación, las pruebas funcionales, los ajustes y la validación del sistema automatizado de seguimiento solar de un eje. Se analiza el control lógico del actuador lineal PA-100, incluyendo la adquisición de posición mediante el sensor Hall integrado, la conversión del desplazamiento lineal a movimiento angular del panel y la transformación de la hora local a hora solar dentro del algoritmo programado en el PLC Siemens LOGO 8.4.

Los resultados obtenidos se presentan mediante curvas comparativas de generación de energía del panel fotovoltaico con y sin el seguidor solar, por un lado, la curva correspondiente al sistema con seguidor muestra un incremento notable en la captación de radiación a lo largo del día, reflejando que el panel mantiene un ángulo óptimo respecto al Sol en cada momento, por otro lado, la curva del sistema sin seguidor, correspondiente a un panel de inclinación fija, evidencia una captación de energía menor, especialmente en las primeras y últimas horas del día, cuando la incidencia solar no es perpendicular a la superficie del módulo, esta diferencia gráfica permite observar de manera clara el impacto positivo del seguimiento solar sobre la eficiencia energética del sistema fotovoltaico.

5.1 CONDICIONES DEL SISTEMA

Inicio de movimiento: 08:20

Fin de movimiento: 16:20

Rango total: 55° Este a 55° Oeste

Movimiento: 3° cada 12 minutos

Tipo: Seguidor solar de un eje

Esto significa que el panel se mueve 110° en total durante 8 horas, siguiendo la trayectoria del sol.

5.2 VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control implementado por medio del PLC Siemens LOGO 8,4 permitió que se regule el movimiento del actuador lineal considerando la posición solar calculada.

El control operativo bajo el esquema ON OFF de lazo cerrado en el que esta la posición real del actuador es retroalimentada por medio del sensor de efecto Hall. Esta señal es acondicionada y adaptada por medio del uso de optoacopladores PC 817, lo que garantiza el aislamiento

eléctrico y la compatibilidad de los niveles de tensión de los diferentes dispositivos. Este se encuentra conectado a una fuente de alimentación visualizada en el Anexo 1.

5.2.1 Optoacoplador PC817

El circuito electrónico presentado corresponde a una etapa de acondicionamiento y aislamiento de señales provenientes de un encoder incremental para su conexión a las entradas digitales de un PLC de 24 VDC. Posteriormente, estas señales excitan los optoacopladores tipo PC817 (U1, U2 y U3), cuyos diodos emisores internos convierten la señal eléctrica en una señal óptica que es detectada por un fototransistor en la etapa de salida, proporcionando aislamiento galvánico entre el encoder y el PLC.

En conjunto, el circuito garantiza adaptación de niveles de señal, protección eléctrica y monitoreo visual del estado de cada canal del encoder, asegurando una lectura confiable de los pulsos por parte del sistema de control se muestra en la figura 5.1.

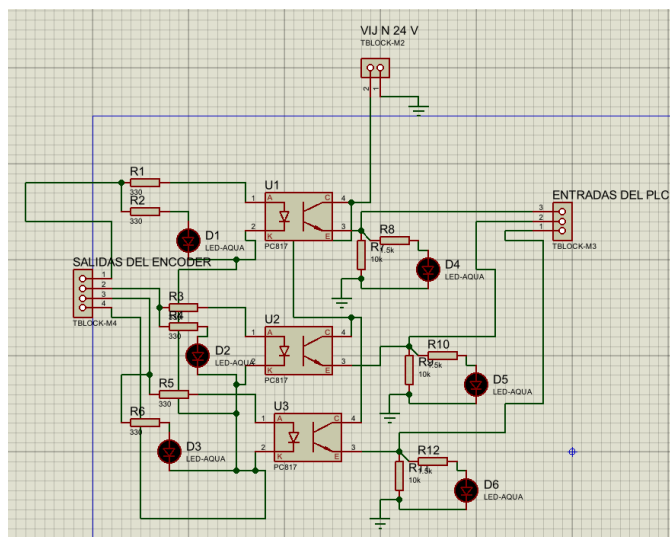


Figura 5. 1. Circuito de acondicionamiento y aislamiento de señales de encoder para entradas de PLC mediante optoacopladores PC817.

Desde el sensor Hall (entrada al PLC):

La placa PCB-817, funciona como una interfaz de aislamiento y adaptación de señales entre el sensor de efecto Hall del actuador lineal PA-100 y el PLC Siemens LOGO 8.4. El sensor Hall genera señales digitales de 5 V DC, las cuales no son compatibles directamente con las entradas del PLC, que operan a 24 V DC, por lo que se requiere un sistema intermedio de acondicionamiento.

Gracias a este esquema, el sistema queda protegido frente a ruido eléctrico, picos de tensión y corrientes inducidas por el motor, asegurando la integridad del PLC y la estabilidad del control automático del actuador.

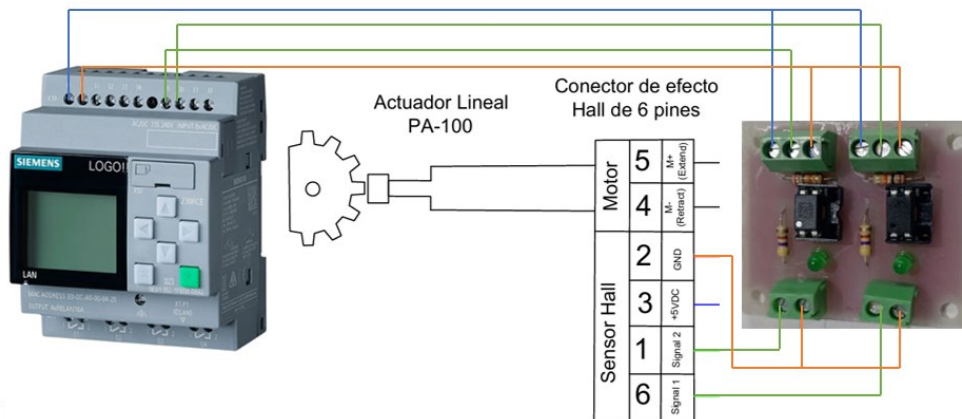


Figura 5. 2. Esquema de conexión desde el Sensor Hall (entrada PLC).

Desde el PLC hacia el actuador (salida del PLC):

La Figura 5.3, muestra el flujo de control desde el PLC Siemens LOGO! 8.4 hacia el actuador lineal PA-100, pasando por el controlador de motor BMD-40DIN ver.2. El PLC genera señales digitales de 24 V DC desde sus salidas, las cuales no alimentan directamente al motor, sino que actúan como señales de mando para el controlador BMD-40DIN.

De esta manera, el PLC cumple una función de control lógico y decisión, mientras que el BMD-40DIN realiza la conversión de señales de control en potencia eléctrica, garantizando un accionamiento seguro, controlado y adecuado del actuador lineal PA-100, su instalación se ve en el anexo 5.

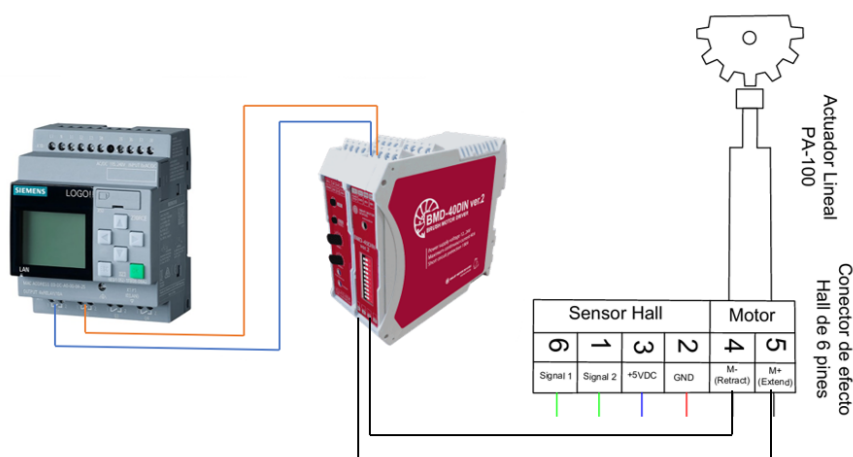


Figura 5. 3. Conexión de la salida del PLC hacia el controlador BMD-40DIN ver.2

5.3 CONTROLADOR BMD-40DIN VER.2

El controlador BMD-40DIN ver.2 actúa como la etapa de potencia y mando intermedio entre el PLC Siemens LOGO! 8.4 y el actuador lineal PA-100. Su función principal es interpretar las

señales digitales de control de 24 V DC provenientes del PLC y transformarlas en la alimentación eléctrica adecuada para el motor del actuador, la cual requiere corrientes mayores que las que puede suministrar directamente el PLC mostrado en el anexo 3.

Adicionalmente, el controlador proporciona protección eléctrica al sistema, aislando al PLC de las corrientes elevadas, picos de tensión y transitorios generados por el motor del actuador. Esta separación funcional garantiza un funcionamiento estable, confiable y seguro, prolongando la vida útil tanto del PLC.

5.4 DIAGRAMA GENERAL DE LA METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN.

El diagrama muestra la metodología de funcionamiento del sistema de control automático desarrollado para el seguimiento solar de un eje en él se combinan los módulos de software, control, potencia y medición que permiten determinar la posición ideal del panel fotovoltaico mediante un algoritmo astronómico y realizar el desplazamiento necesario a través de un actuador lineal. La retroalimentación del sistema se efectúa a través de un sensor Hall, asegurando un posicionamiento exacto del panel de acuerdo con la trayectoria del sol como se muestra en la Figura 5.4.

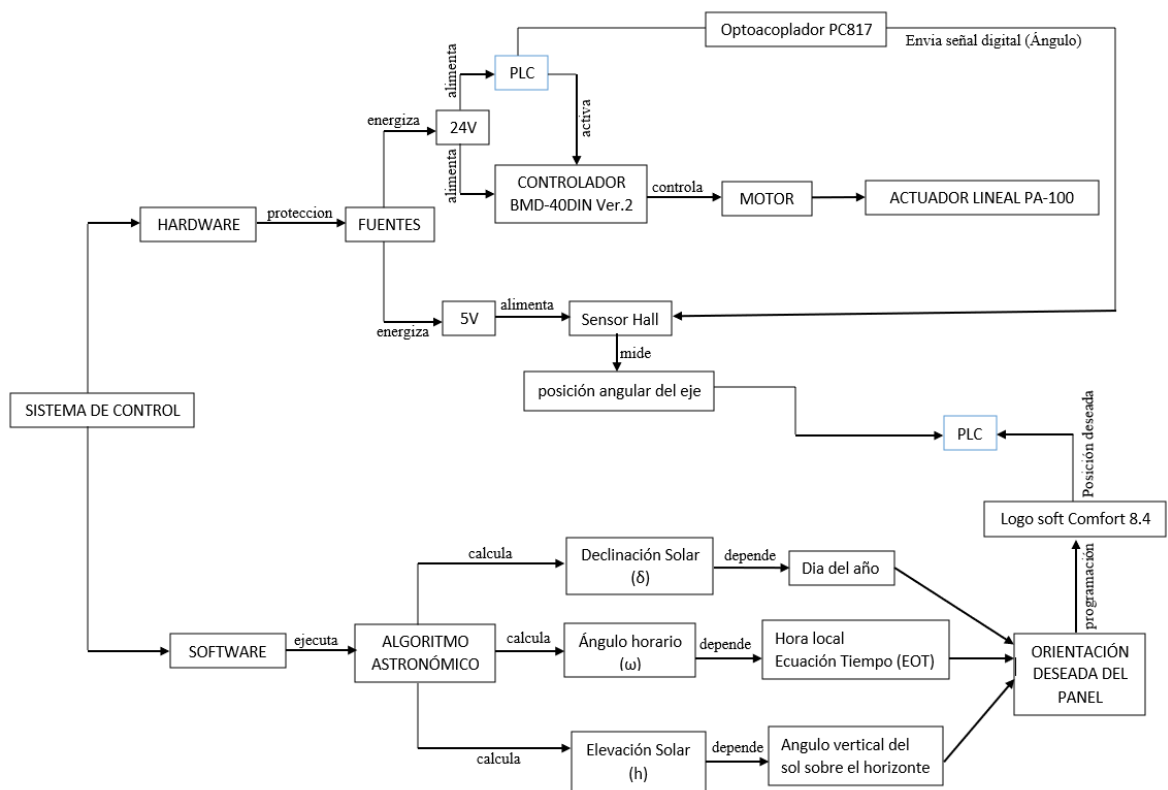


Figura 5. 4. Diagrama metodológico del sistema de control automático de seguimiento solar de un eje basado en algoritmo astronómico y PLC.

El esquema presenta un sistema de seguimiento solar de un solo eje compuesto por hardware y software. El sistema hardware incluye un PLC Siemens LOGO! 8.4, fuentes de 5 V y 24 V, un controlador BMD-40DIN, un actuador lineal PA-100, un sensor Hall y un optoacoplador PC817, que garantiza aislamiento y protección eléctrica. ¡El software ejecuta un algoritmo astronómico programado en LOGO! Soft Comfort, el cual calcula la orientación óptima del panel según el día del año y la hora local. La posición real es medida por el sensor Hall permitiendo el ajuste automático del movimiento del panel fotovoltaico.

La instalación del sistema fotovoltaico depende de la disponibilidad del área, por esta razón, la presente propuesta propone el uso de -55° y $+55^\circ$.

5.5 DISEÑO DEL ALGORITMO ASTRONÓMICO

El algoritmo fue desarrollado para determinar los ángulos de elevación solar y el ángulo de azimut solar, los cuales van a permitir la orientación dinámica del sistema, logrando así maximizar la captación de radiación durante todo el año.

5.5.1 Cálculo de la declinación solar

La declinación solar (δ), es el ángulo entre el eje de rotación terrestre y el plano de la órbita de la Tierra alrededor del Sol. Este valor permite conocer la posición vertical del Sol en el cielo para un día específico del año. Su cálculo es fundamental en sistemas de seguimiento solar, ya que influye directamente en la determinación del ángulo de incidencia de la radiación solar.

Se calcula mediante la siguiente expresión empírica, válida para la mayoría de las aplicaciones solares:

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

(5.1)

Donde:

- δ es la declinación solar (en grados)
- n es el día del año (número ordinal entre 1 y 365)

En este estudio se consideran fechas específicas que representen los límites extremos del recorrido solar anual. Según la herramienta SunPath 3D, en la región ecuatorial donde se instalará el seguidor solar, el Sol traza dos trayectorias notables en el cielo:

Cuando el Sol se encuentra al norte, su día más cercano es el 21 de junio. En esta fecha, el Sol sigue una trayectoria inclinada hacia el hemisferio norte, alcanzando su posición más extrema en esa dirección.

De forma similar, cuando el Sol se encuentra al sur, su día más cercano es el 21 de diciembre, siguiendo una trayectoria más inclinada hacia el hemisferio sur.

Estas trayectorias extremas, visibles como las curvas más alejadas en el domo solar generado por la herramienta SunPath 3D, sirven como referencia para definir los límites que deberá cubrir el seguidor solar durante el año.

$n = 173 \rightarrow$ *Día correspondiente a 21 de Junio*

$$\delta_1 = 23.45^\circ \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (284 + 173)\right) \quad (5.2)$$

$$\delta_1 = 23.45^\circ \times \sin(450.74)$$

$$\delta_1 = 23.449^\circ$$

$$\delta_1 \approx 23.45^\circ$$

De forma similar, cuando el Sol se encuentra al sur, su día más cercano es el 21 de diciembre, siguiendo una trayectoria más inclinada hacia el hemisferio sur.

$n = 355 \rightarrow$ *Día correspondiente a 21 de Diciembre*

$$\delta_2 = 23.45^\circ \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (284 + 355)\right) \quad (5.3)$$

$$\delta_2 = 23.45^\circ \times \sin(629,59)$$

$$\delta_2 = -23,449^\circ$$

$$\delta_2 \approx -23.45^\circ$$

Estas trayectorias extremas, visibles como las curvas más alejadas en el domo solar generado por la herramienta *SunPath 3D*, sirven como referencia para definir los límites que deberá cubrir el seguidor solar durante el año.

5.5.2 Cálculo del tiempo cenital

El tiempo solar verdadero se refiere al instante exacto del mediodía solar en una localización geográfica específica, es decir, cuando el Sol alcanza su punto más alto en el cielo (cenit). Se puede calcular mediante la fórmula:

$$T_{sol} = 12 + \frac{\text{longitud local} - \text{longitud estandar}}{15} \times 60 \quad (5.4)$$

En Ecuador, la zona horaria UTC-5 corresponde al meridiano estándar de -75° . Mientras que la longitud local donde se instalaran los paneles solares es -78.63° .

$$T_{sol} = 12 + \frac{-78.63 - (-75)}{15} \times 60 \quad (5.5)$$

$$T_{sol} = 12h - 14.52min$$

$$T_{sol} = 11h 45min$$

5.5.3 Cálculo del ángulo Horario Solar (ω)

Ángulo horario (ω) es el ángulo formado por el Sol con respecto al mediodía solar. Este valor es igual a cero cuando el Sol se encuentra en su punto más alto (mediodía solar), y toma valores negativos en la mañana y positivos en la tarde.

$$\omega = \frac{12 - T}{24} * 360 = 15(T - 12) \quad (5.6)$$

Este valor es esencial para conocer la posición del Sol a lo largo del día y ajustar el seguimiento del panel.

$$-55^\circ \text{ Mañana} \rightarrow 0^\circ \leftarrow \text{Tarde} +55^\circ$$

Inicio del seguimiento solar 8:20am

Hora solar: 8:20

$$\omega = 15(8 - 12) \quad (5.7)$$

$$\omega = -60^\circ$$

Inicio del seguimiento solar 15:40 pm

Hora solar: 16:20 pm

$$\omega = 15(16 - 12)$$

(5.8)

$$\omega = 60^\circ$$

5.5.4 Desplazamiento del panel solar

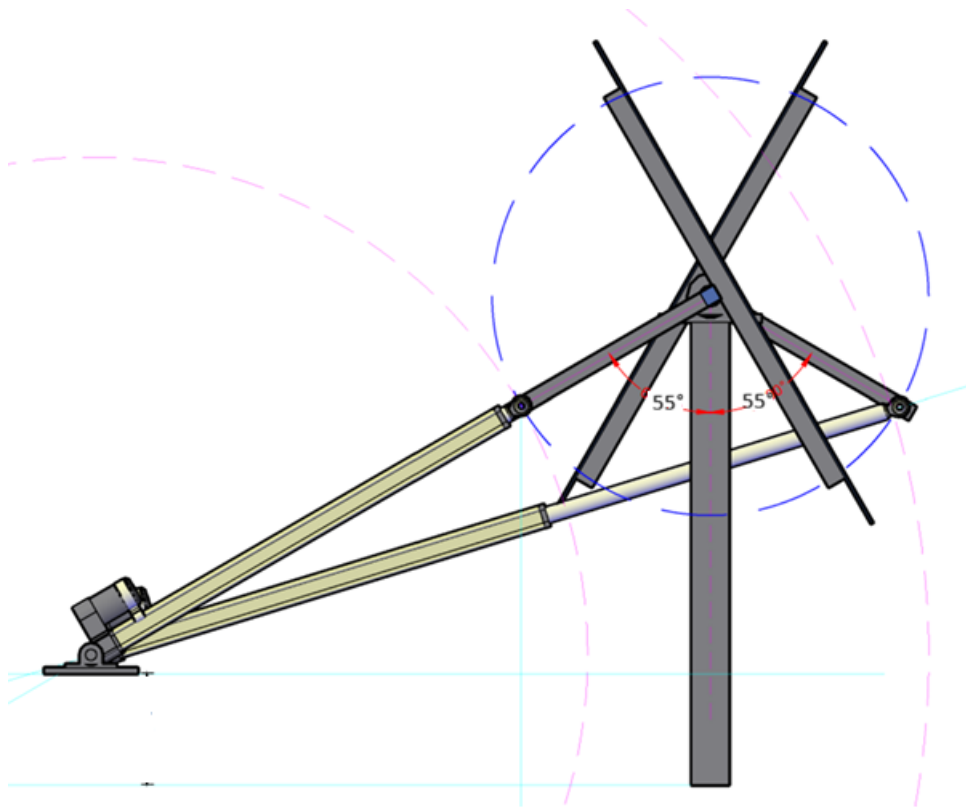


Figura 5. 5. Recorrido de los paneles solares.

Aunque teóricamente el sistema se lo diseñó para la operación de -60° y $+60^\circ$, dentro de la implementación del prototipo se determinó que el rango adecuado es de -55° a $+55^\circ$. Esta modificación se adopta para que se mejore la estabilidad mecánica, evitando que el actuador trabaje solo en los extremos absolutos de la carrera. Es decir, en esas posiciones, la transmisión de fuerza es menor, con eficiencia disminuida, y el torque bajo, lo que afecta a la precisión del movimiento. Por ello, reducir 5° a cada extremo permite que exista un desplazamiento más uniforme, mejorando el control del posicionamiento del panel. A la vez que se minimizan las vibraciones, los posibles desajustes al finalizar el recorrido y los esfuerzos excesivos. El nuevo rango operativo tiene un funcionamiento coherente y estable con las condiciones reales.

El recorrido se realizará desde las 8:20 am hasta las 16:20 pm, debido a condiciones mecánicas de la estructura.

Hora de recorrido

$$HR = 7:20 h$$

(5.9)

Minutos recorridos

$$MR = 440 \text{ min}$$

El ángulo total de recorrido observa en la Figura 5,6 y se obtiene mediante:

$$\alpha_T = 55^\circ + 55^\circ$$

(5.10)

$$\alpha_T = 110^\circ$$

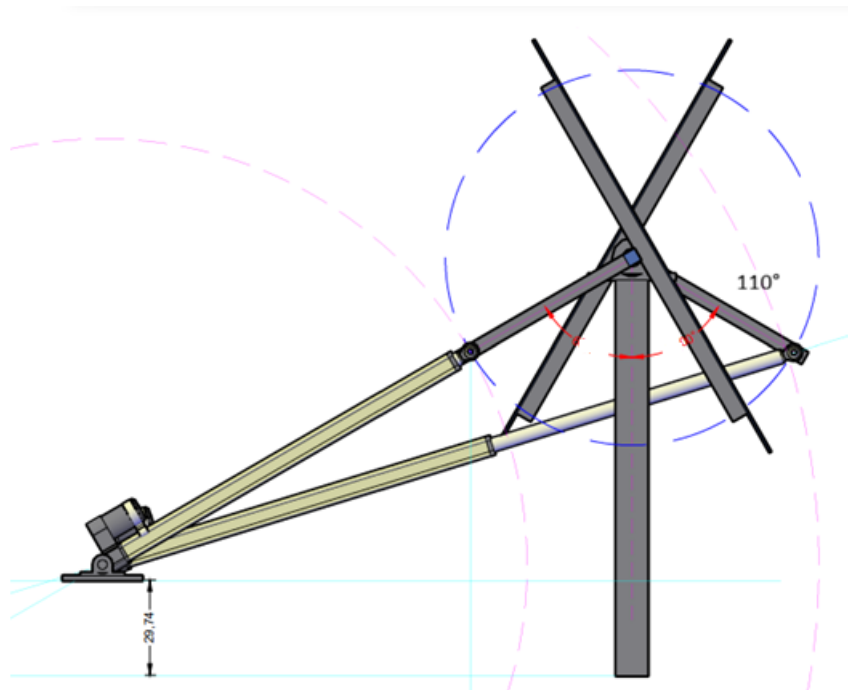


Figura 5. 6. Recorrido total del panel solar. (demostrado en ángulo).

5.5.5 Tiempo de corrección

El tiempo de corrección (TC) se usa para transformar la hora del reloj (conocida como hora civil) en hora solar verdadera, la cual se utilizó para calcular la posición del solar en el proyecto. A continuación, se presenta la fórmula para calcular el tiempo de corrección.

$$TC = 4 * (\lambda - LSTM) + EoT$$

(5.11)

Donde:

λ = Longitud

LSTM = Meridiano del uso horario

EoT = Ecuación del tiempo (minutos)

Tabla 4. 1 Valores de datos del Logo

DATOS DE HORA SOLAR Y DURACION DEL DÍA				
DIA	Nº DE DÍA	SALIDA DEL SOL	PUESTA DEL SOL	DIF.
1 de Enero	1	6:17	18:27	+17
31 de Enero	31	6:27	18:36	+27
1 de Febrero	32	6:27	18:37	+27
28 de Febrero	59	6:27	18:35	+27
1 de Marzo	60	6:27	18:34	+27
31 de Marzo	90	6:19	18:25	+19
1 de Abril	91	6:19	18:25	+19
30 de Abril	120	6:13	18:18	+13
1 de Mayo	121	6:13	18:18	+13
31 de Mayo	151	6:14	18:18	+14
1 de Junio	152	6:14	18:18	+14
30 de Junio	181	6:20	18:24	+20
1 de Julio	182	6:20	18:24	+20
31 de Julio	212	6:23	18:27	+23
1 de Agosto	213	6:22	18:27	+22
31 de Agosto	243	6:16	18:21	+16
1 de Septiembre	244	6:16	18:21	+16
30 de Septiembre	273	6:05	18:12	+5
1 de Octubre	274	6:05	18:11	+5
31 de Octubre	304	5:58	18:06	-2
1 de Noviembre	305	5:58	18:06	-2
30 de Noviembre	334	6:02	18:12	+2
1 de Diciembre	335	6:02	18:13	+2
31 de Diciembre	365	6:16	18:27	+16

Los datos salen de manera directa de Tiempo +/-, cuando es negativo se suma como en el caso de noviembre y cuando es positivo se resta en el PLC, los datos totales de mediciones se los visualiza en el Anexo 9.

5.5.6 Relación de tiempo

Como se conocen los valores del tiempo de seguimiento total (TP) y la relación de tiempo por giro (RT), se puede calcular el giro parcial (GP) para el sistema, usando la siguiente fórmula:

$$RT = \frac{MR}{\alpha_T} \tag{5.12}$$

$$RT = \frac{440min}{110^\circ}$$

$$RT = 4 \text{ min}/^\circ$$

Se tiene que el panel gira durante 8 horas por lo que para producir una rotación de 3 grados se ejecuta el siguiente cálculo de tiempo:

Dónde:

TP es el tiempo parcial

GP son los grados parciales $GP = 3^\circ$

$$GP = \frac{TP}{RT}$$

(5.13)

$$TP = GP \times RT$$

$$TP = 3^\circ \times 4min/^\circ$$

$$TP = 12 \text{ min}$$

Nota: El actuador lineal se activará en lapsos de 12 minutos para generar un desplazamiento angular de 3° .

Tabla 4. 2 Comportamiento del ángulo de 3° a 110° de desplazamiento

N.º	Ángulos de referencias °	Ángulos verificados °	Diferencias °	Observaciones
1	19.5	19.7	'0,2	Variaciones leves
2	10	10.1	+0,1	Variaciones leves
3	1	0.7	-0,3	Desviación por el ajuste mecánico
4	-3.5	-3.5	0	Variaciones mínimas
5	-7	-7.1	-0,1	Variaciones mínimas
6	-10	-10.2	-0.2	Variaciones leves
7	-13	-13.1	-0,1	Variaciones leves
8	-19	-19.3	-0,3	Desviación leve
9	-22	-22.4	-0,4	Mayor diferencia observada

La tabla indica el comportamiento real de los desplazamientos angulares programados en los pasos de 3° en el recorrido operativo a 110° , que son de los rangos de -55° a 55° . Esto permitió que se verifique el comportamiento del sistema a manera real con el seguimiento solar en su operación.

Las diferencias por pequeñas variaciones son por los factores ambientales y mecánicos, pero las desviaciones observadas no son una falla, sino que son la respuesta adecuada y propia de la condición real del funcionamiento.



Figura 5. 7. Base para la mejora del ángulo de acuerdo con la simulación

Los resultados obtenidos del sistema de medición permiten que se valide el comportamiento del actuador en la operación. La posición máxima registrada tiene una desviación mínima con relación al valor teórico.

Las lecturas del sensor Hall tienen estabilidad y consistencia. Lo que garantiza la adecuada retroalimentación hacia el sistema de control.



Figura 5. 8. Lectura medición 1



Figura 5. 9. Lectura medición 2



Figura 5. 10. Lectura medición 3

5.6 EVALUACIÓN DEL ERROR DEL SISTEMA

El valor experimental registrado en la prueba inicial evidencia el valor de $60,2^\circ$. No obstante, tras realizar un análisis del comportamiento mecánico del actuador en los extremos se decir,

que se limite el rango operativo final a $\pm 55^\circ$ esto con la finalidad estabilizar y mejorar el torque disponible.

El error obtenido se lo determina por medio del ángulo anterior y el medido.

$$Error = | 55,2^\circ - 55^\circ |$$

(5. 14)

$$Error = 0.2^\circ$$

El error demuestra la precisión del sistema, ya que es mínimo. Esta desviación no afecta el desempeño del seguimiento solar.

El resultado valida el adecuado funcionamiento del sistema de medición y control. Las variaciones se las puede atribuir a los factores mecánicas.

5.7 PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA

La programación del sistema se desarrolló en LOGO por medio del PLC Siemens V8.4 como la unidad de control, con la finalidad de que se gestione el movimiento del actuador línea la cual orienta a los paneles fotovoltaicos de la estación de 1kWp de manera eficiente y segura. El programa genera una integración de manera manual y automático por medio de las entradas digitales lo que permite que el usuario habilite el funcionamiento autónomo del sistema.

A la vez, se usan bloques lógicos, temporizadores y funciones de calendario mensual para el ajuste del desplazamiento progresivo del panel durante el día y el año, con un control de las salidas que accionan el actuador en los dos sentidos, con rangos de -55 a $+55^\circ$.

5.7.1 Interconexión funcional de los componentes

La Figura 5.11, representa el diagrama interconexión de los principales componentes del sistema de control.

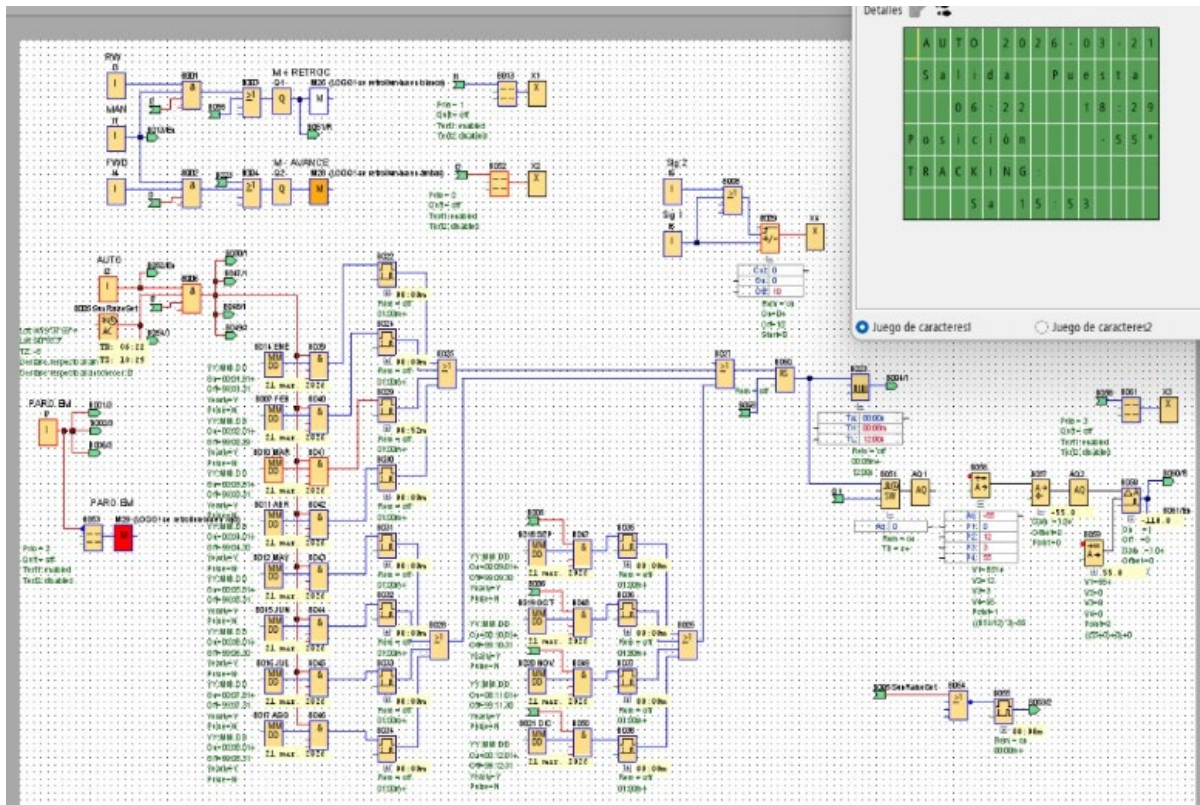


Figura 5. 11. Programa de control automático del seguidor solar de un eje desarrollado en LOGO! Soft Comfort.

La figura 5.11 corresponde al programa del control automático desarrollado en LOGO Soft Comfort, en la cual se visualiza la integración de las entradas, marcas internas, los temporizadores, comparadores, los bloques matemáticos y las salidas, las cuales permiten que se gobierne el movimiento del panel.

La lógica de la programación se encuentra estructurada en diversas formas con la finalidad de que se procesen las condiciones horarias del sistema, las referencias angulares determinadas por el algoritmo astronómico y la señal de retroalimentación del mecanismo, para que se active de forma secuencial el actuador responsable del desplazamiento de los paneles. Por medio de esta arquitectura, el PLC evalúa de forma continua la hora de operación, comparando los valores programados con la posición necesitada y genera las órdenes de los retrocesos o avances de acuerdo con lo que corresponda, lo que permite que se asegure que el panel tenga una orientación adecuada con respecto a la trayectoria aparente del Sol.

A la vez, se visualiza la orientación al tratamiento de las variables como temporización y el calendario en la cual se identifican los bloques relacionados con fechas, meses y las condiciones lógicas de activación. Bajo esta perspectiva la programación organiza la operación del sistema teniendo en cuenta los periodos definidos del año, con la asociación determinada de las condiciones astronómicas o los parámetros del control con los meses adecuados, permitiendo

que se asocie las condiciones astronómicas con los meses específicos como parte del cálculo dentro del seguimiento solar. Esto demuestra que el programa responde a las órdenes instantáneas, incorporando la estructurada de la decisión en base al calendario, necesario para que se adapte el funcionamiento del seguidor a la variación estacional de la trayectoria solar. Por ende, esta sección cumple con la función automatizada, que vincula la información de acuerdo con la ejecución del algoritmo de seguimiento, para que el movimiento del panel se acople a la condición real de cada periodo.

Finalmente, como resultado del diseño, ensamblaje e integración de los componentes eléctricos, se obtuvo un tablero final completamente funcional, cumpliendo con los lineamientos de instalaciones de baja tensión y normativas IEC. Se emplearon canalizaciones estandarizadas, rieles DIN para montaje modular y códigos de colores para identificación de conductores, priorizando seguridad, orden lógico de conexión y facilidad de mantenimiento, mostrado en el Anexo 4.

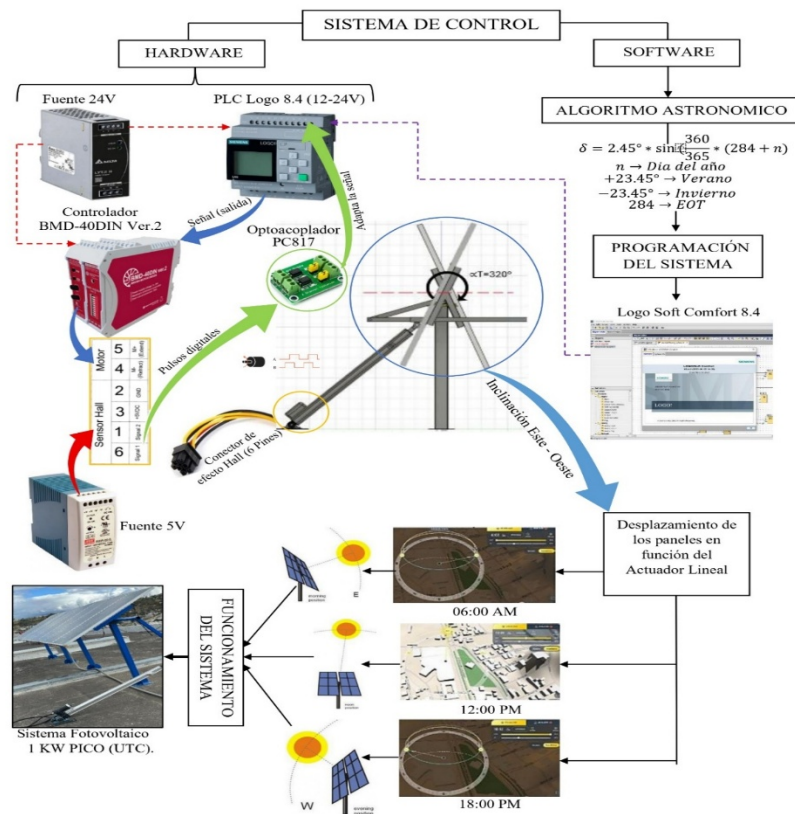


Figura 5. 12. Esquema de la Arquitectura General del Sistema de Control.

5.8 EVALUACIÓN ECONÓMICA

El análisis económico del sistema de seguimiento solar automatizado se basó en los costos reales de implementación y su comparación con el valor de un sistema comercial equivalente. A continuación, se presenta la desagregación de los gastos directos e indirectos asumidos durante la construcción del prototipo en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Tabla 5. 1 Descripción de gastos directos.

Componente	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
PLC Siemens LOGO! 8.4	1	200.00	200.00
Fuente 24 VDC	1	117.00	117.00
Fuente 5 VDC	1	45.00	45.00
Controlador BMD-40DIN	1	10.00	10.00
Optoacoplador PC817	1	40.00	40.00
Cableado y canaletas	1 lote	30.00	30.00
Actuador Lineal PA-100	1	300.00	300.00
Breaker	1	12.00	12.00
Tablero de control	1	50.00	50.00
Paro de emergencia	1	3.50	3.50
Selector de 3 posiciones	2	3.50	7.00
Cable 16 AWG	1 lote	5.00	5.00
Terminales tipo punta	1 lote	3.00	3.00
Borneras	20	1.50	30.00
Portafusible – fusible	2	2.50	5.00
Mano de obra	1	500.00	500.00
Total, estimado		0	1350.50

La Tabla 5.2, muestra los costos de los gastos indirectos durante la construcción del seguidor solar para lo cual se tomó en cuenta transporte, imprevistos y gastos extras.

Tabla 5. 2 Gastos indirectos.

Descripción	Cantidad	Costo/Unidad (USD)	Costo Total (USD)
Transporte	2 personas	20.00	40.00
Imprevistos	1	50.00	50.00
Gastos extras	2 personas	15.00	30.00
Total			120.00

La Tabla 5.3, muestra el costo total de en la implementación del seguidor solar, donde se suma los gastos directos e indirectos generando un total de \$1.697,00.

Tabla 5. 3 Gasto total del proyecto.

Gastos	Valor
Gastos directos	\$1350,50
Gastos indirectos	\$120,00
Total	\$1470,50

El seguidor solar tiene un costo en el mercado de \$4000.00 USD mientras que la implementación tuvo un costo de \$1.470,50; el ahorro es de \$2.529,50 USD lo cual resulta muy rentable el equipo desarrollado en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

$$\text{Ahorro} = \text{costo comercial} - \text{costo implementado}$$

$$\text{Ahorro} = \$4000.00 \text{ USD} - \$1.470,50\text{USD} = \$2.529,50 \text{ USD}$$

El ahorro en porcentaje representa el 63.24%, resulta ser una diferencia significativa de costos un seguidor en el mercado y la implementación realizada, ofreciendo una reducción de costo grande, obteniendo así un proyecto viable.

$$\text{Ahorro}\% = \frac{2.539,50 * 100}{4000} * \%100$$

(5. 1)

$$\text{Ahorro}\% = 63.24\%$$

6. CONCLUSIONES Y REMOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El sistema de seguimiento solar de un eje, basado en un algoritmo astronómico implementado en el PLC Siemens LOGO 8.4, demostró un desempeño preciso y estable en condiciones reales de operación. El panel fotovoltaico alcanzó un rango de desplazamiento de $\pm 55^\circ$, equivalente a un recorrido total de 110° desde el este hacia el oeste, operando en un intervalo de tiempo comprendido entre las 08:20 y las 16:20, con ajustes periódicos de 3° cada 12 minutos, lo que permitió un seguimiento continuo de la trayectoria solar.
- El algoritmo astronómico, fundamentado en el cálculo de variables como la declinación solar, el ángulo horario y la elevación solar, permitió determinar la posición del Sol con alta exactitud considerando las coordenadas geográficas de Latacunga (latitud $0,93^\circ$ S y longitud $78,62^\circ$ O). Como resultado, el sistema presentó un error promedio de posicionamiento de aproximadamente $0,2^\circ$ respecto a los valores teóricos, evidenciando una desviación mínima y un alto nivel de precisión en el control.
- La implementación del control ON-OFF en lazo cerrado, junto con la retroalimentación del sensor de efecto Hall y el acondicionamiento de señales mediante optoacopladores PC817, garantizó una correcta lectura de posición y una respuesta adecuada del actuador lineal PA-100. Este esquema permitió minimizar errores de posicionamiento, evitar sobre desplazamientos y asegurar la estabilidad del sistema durante su funcionamiento continuo.
- En términos de rendimiento energético, las pruebas comparativas evidenciaron que el sistema con seguimiento solar incrementó la captación de radiación a lo largo del día, especialmente en horas de baja incidencia solar (mañana y tarde), en comparación con un sistema fijo. Este comportamiento confirma que el seguimiento solar puede mejorar la eficiencia del sistema fotovoltaico en un rango estimado entre el 20% y 30%, de acuerdo con la literatura técnica y los resultados observados.
- Finalmente, el sistema desarrollado presenta características de bajo costo, fácil implementación y alta confiabilidad, utilizando componentes accesibles como el PLC LOGO 8.4, el controlador BMD-40DIN y sensores Hall, lo que lo convierte en una solución

viable para aplicaciones en sistemas fotovoltaicos de pequeña escala (1 kWp), contribuyendo al aprovechamiento eficiente de la energía solar en el contexto ecuatoriano.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar la incorporación de un seguidor solar de doble eje o sistemas híbridos que ajusten tanto la inclinación como la orientación horizontal del panel, con el objetivo de incrementar aún más la captación de radiación solar durante todo el año y mejorar la eficiencia energética general del sistema fotovoltaico.
- Se sugiere implementar un programa de mantenimiento preventivo del actuador lineal PA-100 y del sensor Hall integrado, verificando periódicamente su calibración y funcionamiento, esto garantizará la precisión de los movimientos del panel y prolongará la vida útil del sistema.
- Se recomienda ajustar el algoritmo astronómico del PLC para considerar variaciones estacionales más detalladas, cambios en la radiación solar debido a nubosidad y posibles sombras parciales, esto permitirá optimizar aún más la orientación del panel en condiciones reales de operación.
- Se sugiere evaluar la integración de paneles adicionales o sistemas fotovoltaicos de mayor capacidad, utilizando el mismo controlador automatizado, con el fin de aumentar el recurso eléctrica y analizar el comportamiento del seguidor solar en sistemas de mayor escala.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Renzo, «Latin America towards Sustainability through Renewable Energies: A Systematic Review,» *MDPI*, vol. 16, nº 21, p. 23, 2023.
- [2] E. Sepúlveda, «Fault diagnosis of photovoltaic systems using artificial intelligence: A bibliometric approach,» *21*, vol. 9, nº 11, p. National Library OF Medicine, 2023.
- [3] L. Macancela, «Diagnóstico de la implementación de los sistemas fotovoltaicos correspondientes a la primera etapa del proyecto Yantsa ii Etsari,» 2022.
- [4] Universidad De Costa Rica, «Geometría solar,» *Of Convalescence*, vol. 6, 2025.
- [5] J. Vargas, «Análisis Comparativo de Generación Energía Fotovoltaica entre Paneles Solares Fijos Versus Paneles Automatizados,» *Ciencia Latina Multidisciplinar*, vol. 8, nº 6, p. 20, 2022.
- [6] F. Capa y N. Tejeda, «Diseño e implementación del seguidor solar considerando un actuador lineal para la optimización del sistema fotovoltaico, cusco 2018,» 2024.
- [7] D. Moscoso y W. Romero, «Elaboración del mapa de susceptibilidad al movimiento de las masas dentro del tramo final de conducción Chanlud - Tuñi,» 2022.
- [8] C. Chávez, «Propuesta de un método para el cálculo de número de panel fotovoltaico para la microgeneración y el autoabastecimiento del consumidor final por medio de la estimación de la irradiancia solar global.,» 2021.
- [9] L. Crespo, «Proyecto solar fotovoltaico y solar térmico en la Urbanización El manantial,» 2023.
- [10] R. Angulo y W. Gonzáles, «Dimensionamiento de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer un sistema de iluminación,» *Ingeniería y sus Alcances, Revista de Investigación*, vol. 7, nº 17, p. 23, 2023.
- [11] J. Simbaña, «Implementación del sistema para el control del posicionamiento angular de 1 eje de una estación fotovoltaica de 1 kw,» 2023.
- [12] J. Bustos, «Desempeño de un concentrador solar e influencia de la altura hidrodinámica de los tubos en el efecto termosifón,» *Revista perfiles*, vol. 31, nº 1, 2024.
- [13] M. Castañeda, «Diseño e implementación de una estructura de control a lazo abierto para posicionar un óptico con 3 grados de libertad,» *Universidad Autónoma de Zacatecas*, vol. 2, nº 3, p. 23, 2020.
- [14] R. Berizzo, «Sensor Hall, un dispositivo presente en la vida,» *Ingeniería eléctrica*, vol. 3, nº 2, p. 6, 2025.

- [15] R. Jacopo, «Sensor magnético de efecto Hall de silicio de 3 ejes con pirámide invertida y cancelación de desplazamiento.,» *Microsistemas y nanoingeniería*, vol. 11, n° 26, p. 23, 2025.
- [16] J. Bedoya, «Análisis de la estrategia de detección de las fallas incipientes para las redes de distribución con los cables subterráneos basados en las similitudes del voltaje,» 2024.
- [17] J. Ramos, «Estudio de factibilidad de la implementación de sistemas fotovoltaicos en sectores residenciales,» 2023.
- [18] J. Vidal, «Diseño de seguidor solar por medio del sensor de radiación para el incremento de la producción de energía eléctrica,» 2022.
- [19] A. Cotrado, «Diseño e implementación de un sistema seguidor solar para la optimización de la carga en un acumulador de energía, usando paneles solares, 2022,» 2023.
- [20] R. Varela, «Control difuso de un seguidor solar,» *Universidad Autónoma de Zacatecas*, vol. 1, n° 7, p. 18, 2024.
- [21] J. Ramírez, «Desarrollo del prototipo de evaluación y cuantificación de radiación solar,» 2025.
- [22] M. Serrano, «Digitalización de equipos de convertidores de frecuencia y uso del Centro ABB de Servicios avanzados,» *Universidad Pontificia de Comillas*, vol. 2, n° 3, p. 9, 2023.
- [23] A. Valdez, «Implementación digital basada en FPGA de la técnica PWM para el inversor multinivel en cascada,» *Ingeniería, investigación y tecnología*, vol. 20, n° 20, p. 21, 2020.
- [24] C. Avilez, «Instalación del sistema eléctrico y de iluminación en la escuela 13 de abril de la parroquia Mulalillo,» 2024.
- [25] M. Pérez, «Diseño de guía práctica para la comprobación de los sensores y actuadores eléctricos y electrónicos,» 2020.
- [26] C. Grijala, «Estudio e implementación del sistema fotovoltaico aplicado a las luminarias,» 2020.
- [27] Q. Sunny, «Estudio de Factibilidad para la Implementación de un Sistema Fotovoltaico en la Escuela Jaime Roldós Aguilera: Análisis Técnico y Económico,» *Casedelpo*, vol. 10, n° 4, p. 21, 2025.
- [28] G. Vega, «Optimización energética y ambiental del sistema fotovoltaico para la integración de la edificación,» 2020.
- [29] J. Mena, «Sistema fotovoltaico para la mejora de la economía de las familias en las zonas Mayas,» *Digital Publisher*, vol. 9, n° 2, pp. 288-302, 2024.

[30] E. Guanuche, «Implementation of a photovoltaic generation system with solar tracker and automatic control,» *Ingenio*, vol. 7, n° 2, p. 18, 2024.

8. ANEXOS

ANEXO 1. Fuente de alimentación Delta DRL-24V240W1EN.



LYTE II

Highlights & Features

- Universal AC input voltage range
- Built-in constant current circuit for reactive loads
- High power density
- Operate from -40°C to +70°C with
- Reduced no-load power consumption
- Compliance with DOE VI Energy Standard
- Compliance to SEMI F47 @ 200 Vac

Safety Standards



CB Certified for worldwide use

Model Number: DRL-□V240W1EN□
Unit Weight: 0.62 kg (1.37 lb)
Dimensions (H x W x D): 123.6 x 40 x 116.8 mm
 (4.87 x 1.57 x 4.60 inch)

General Description

Delta's LYTE II DIN rail power supply series is designed for cost sensitive users who need to fulfill essential features needed for many general industrial applications, without compromising on quality and reliability. The convection-cooled LYTE II series will operate full power from -40°C to +50°C, then de-rating up to +70°C at 230 Vac. It can operate in constant current mode, making it suitable for inductive and capacitive loads. The product is certified according to safety standards IEC/EN/UL 62368-1. Electromagnetic radiated and conducted emissions are compliant to heavy industrial EN 61000-6-4 Class B Emission standard and EN 61000-6-2 Immunity standard. The product comply with environmental protection requirements as per RoHS Directive.

Model Information

LYTE II DIN Rail Power Supply

Model Number	Input Voltage Range	Rated Output Voltage	Rated Output Current
DRL-12V240W1EN□	90-264 Vac	12 Vdc	20.0 A
DRL-15V240W1EN□		15 Vdc	16.0 A
DRL-24V240W1EN□		24 Vdc	10.0 A
DRL-48V240W1EN□		48 Vdc	5.0 A

Model Number	DRL-12V240W1EN□	DRL-15V240W1EN□	DRL-24V240W1EN□	DRL-48V240W1EN□
--------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Input Ratings / Characteristics

Nominal Input Voltage	100-240 Vac			
Input Voltage Range	90-264 Vac			
Nominal Input Frequency	50-60 Hz			
Input Frequency Range	47-63 Hz			
Input Current	2.5 A typ. @ 115 Vac, 1.3 A typ. @ 230 Vac			
Efficiency at 100% Load	86.5% typ. @ 230 Vac	87.0% typ. @ 230 Vac	90.0% typ. @ 230 Vac	90.5% typ. @ 230 Vac
Average Efficiency (25%, 50%, 75%, 100%)	88.0% typ. @ 115 Vac	88.5% typ. @ 115 Vac	88.0% typ. @ 115 Vac	88.0% typ. @ 115 Vac
No Load Power Consumption	0.15 W max @ 115 Vac & 230 Vac	0.21 W max @ 115 Vac & 230 Vac	0.21 W max @ 115 Vac & 230 Vac	0.3 W max @ 115 Vac & 230 Vac
Max Inrush Current (Cold Start)	40 A typ. @ 230 Vac			
Power Factor at 100% Load	> 0.95 @ 115 Vac & 230 Vac			
Leakage Current	< 0.75 mA @ 240 Vac			

Output Ratings / Characteristics^{*2}

Nominal Output Voltage	12 Vdc	15 Vdc	24 Vdc	48 Vdc
Factory Set Point Tolerance	12 Vdc ± 1%	15 Vdc ± 1%	24 Vdc ± 1%	48 Vdc ± 1%
Output Voltage Adjustment Range	10.8-13.2 Vdc	13.5-16.5 Vdc	21.6-26.4 Vdc	43.2-52.8 Vdc
Output Current	20.0 A	16.0A	10.0 A	5.0 A
Output Power	240 W max			
Line Regulation	± 0.5% @ 115 Vac & 230 Vac			
Load Regulation	± 1.0%	± 1.0%	± 0.5%	± 0.5%
PARD ^{*3} (20 MHz)	< 120 mVpp @ 0°C to +70°C < 360 mVpp @ -30°C to 0°C	< 120 mVpp @ 0°C to +70°C < 360 mVpp @ -30°C to 0°C	< 150 mVpp @ 0°C to +70°C < 450 mVpp @ -30°C to 0°C	< 200 mVpp @ 0°C to +70°C < 600 mVpp @ -30°C to 0°C
Rise Time	30 ms typ. @ 115 Vac & 230 Vac			
Start-up Time	500 ms typ. @ 115 Vac & 230 Vac			
Hold-up Time	20 ms typ. @ 115 Vac (100% load) 20 ms typ. @ 230 Vac (100% load)			
Dynamic Response (Overshoot & Undershoot O/P Voltage)	± 10% @ 115 Vac & 230 Vac input, 10-100% load (Slew Rate: 2.5 A/μs, 50% duty cycle @ 5 Hz & 10 kHz)			
Start-up with Capacitive Loads	8,000 μF Max	8,000 μF Max	8,000 μF Max	3,000 μF Max

^{*2} For power will be de-rating from 40°C to 70°C @ 115 Vac & 50°C to 70°C @ 230 Vac, and Vin < 100 Vac, see Engineering Data power de-rating information.

^{*3} PARD is measured with an AC coupling mode, 5 cm wires, and in parallel to end terminal with 0.1 μF ceramic capacitor & 47 μF electrolytic capacitor. PSU need to burn in around 5 minutes when AMB ≤ 0°C

ANEXO 2. PLC LOGO 8.4 6ED 1052-1MD08-0BA1.



Figura similar

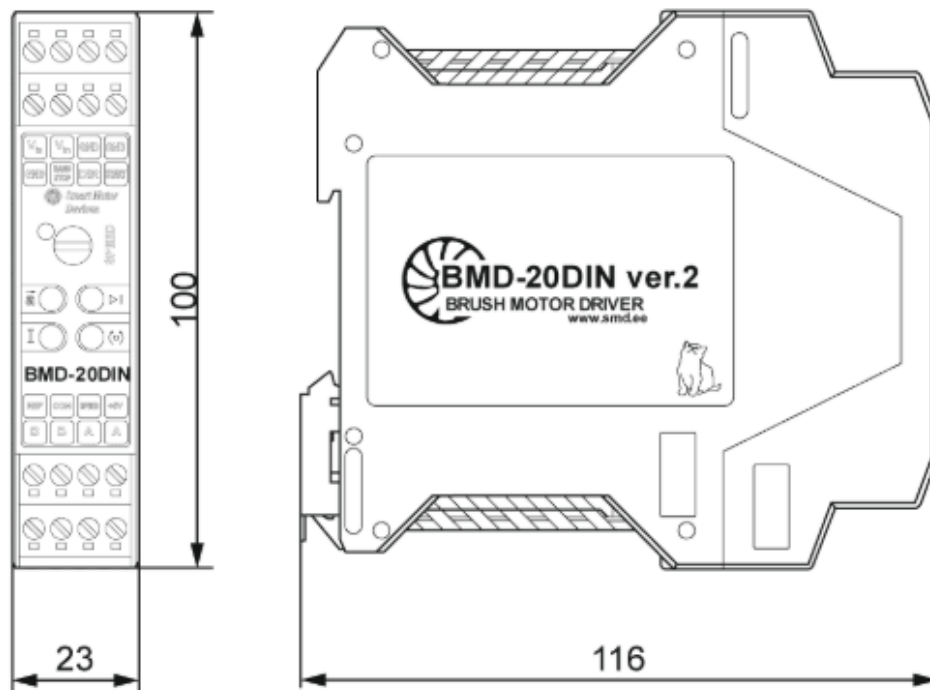
LOGO! 12/24RCE, mód. lógico, display FA/E/S: 12/24 V DC/relé, 8 DI (4 AI)/4 DO, mem. 400 bloques, posibilidad de ampliación modular, Ethernet, servidor web integrado, Datalog, páginas web personalizadas, tarjeta microSD estándar para LOGO! Soft Comfort a partir de V8.3, proyectos anteriores ejecutables conexión a la nube en todos los aparatos base LOGO! 8.3

Display	
Con display	Sí
Diseño/montaje	
Montaje	sobre perfil normalizado de 35 mm, 4 módulos de ancho
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	
• 12 V DC	Sí
• 24 V DC	Sí
Rango admisible, límite inferior (DC)	10,8 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Hora	
Programadores horario	
• Cantidad	400; Máx. 400, según la función
• Reserva de marcha	480 h
Entradas digitales	
Nº de entradas digitales	8; de ellas, 4 aptas como E analógicas (0 a 10 V)
Salidas digitales	
Número de salidas	4; Relé
Protección contra cortocircuito	No; requiere protección externa
Intensidad de salida	
• para señal "1" rango admisible para 0 a 55 °C, máx.	10 A
Salidas de relé	
Poder de corte de los contactos	
— con carga inductiva, máx.	3 A
— con carga resistiva, máx.	10 A

ANEXO 3. Controlador BMD-40DIN.

Voltaje	12 - 24 VDC	Control de velocidad analógico	0...5 V, -10...10 V, 4...20 mA, PWM
Corriente de salida continua, ajustable	0.2 - 20 A	Rango de control de velocidad	1 : 100
Protección contra cortocircuitos (no se requiere fusible externo)	30 A, 15 μ s		

Dimensiones del controlador de motor CC cepillado BMD-20DIN ver.2



Descripción del controlador de motor CC cepillado BMD-20DIN ver.2

El controlador de velocidad del motor BMD-20DIN ver.2 está diseñado para la regulación de velocidad de motores de CC con voltaje hasta 24V y una potencia de hasta 500W.

La velocidad del motor se puede ajustar con uno de los siguientes métodos:

- potenciómetro interno;
- potenciómetro externo;
- señal analógica 4...20 mA;

ANEXO 4. Instalación de los componentes eléctricos en un riel DIN dentro de una caja de control.



En la imagen se visualiza el proceso de instalación de los componentes eléctricos acerca del riel DIN en la caja de control, esta actividad es esencial para que se garantice la adecuada organización y fijación de los dispositivos. El técnico hace el montaje de forma precisa, asegurando los elementos firmemente hacia el riel, facilitando el posterior mantenimiento y la identificación de los elementos.

ANEXO 5. Se colocó la fuente conmutada, ¡el PLC Siemens LOGO!, interruptores de protección, módulos de seguridad y terminales.



Se visualiza que los elementos esenciales del sistema de control eléctrico. Se integra la fuente conmutada con el PLC LOGO, lo que permite se garantice la correcta alimentación y el control del sistema. Además, se aprecian los interruptores de protección, los que resguardan los equipos bajo posibles fallas eléctricas.

ANEXO 6. Cableado de la fuente, PLC, protecciones y terminales.



Se visualiza el cableado de la fuente, en el que se realiza las conexiones seguras y precisas considerando el esquema eléctrico previamente diseñado. Se visualiza la utilización de las herramientas adecuadas para que se garantice el trabajo eficiente y seguro. El cableado permite que se organice de mejor manera la distribución de los componentes sin cruces innecesarios.

ANEXO 7. Se presenta el cuadro eléctrico con todos los elementos instalados y conectados.



Se visualiza el cuadro eléctrico instalado con los elementos conectados. El operario esta junto al tablero, lo que verifica el estado general del sistema. Los dispositivos se los ha montado y cableados de acuerdo con las especificaciones técnicas. El gabinete brinda la protección interna que genera una fácil instalación.

ANEXO 8. El sistema se encuentra preparado para funcionar, asegurando organización, seguridad.



Se tiene el sistema eléctrico finalizado y listo para la puesta de marcha. En el interior se visualiza la adecuada organización de los dispositivos y cables. Cada elemento se encuentra correctamente identificado, lo que facilita las intervenciones futuras. Se ha implementado las medidas de seguridad adecuadas para que se evite los riesgos eléctricos.

Anexo 9. Tabla de la hora solar 2026

TABLA DE LA HORA SOLAR DEL AÑO 2026				
FECHA	NUM DE DÍA	INICIO	FIN	TIEMPO + -
01/01/2026	1	06:17	18:27	17
02/01/2026	2	06:17	18:28	17
03/01/2026	3	06:18	18:28	18
04/01/2026	4	06:18	18:29	18
05/01/2026	5	06:19	18:29	19
06/01/2026	6	06:19	18:29	19
07/01/2026	7	06:19	18:30	19
08/01/2026	8	06:20	18:30	20
09/01/2026	9	06:20	18:31	20
10/01/2026	10	06:21	18:31	21
11/01/2026	11	06:21	18:31	21
12/01/2026	12	06:22	18:32	22
13/01/2026	13	06:22	18:32	22
14/01/2026	14	06:22	18:33	22
15/01/2026	15	06:23	18:33	23
16/01/2026	16	06:23	18:33	23
17/01/2026	17	06:23	18:34	23
18/01/2026	18	06:24	18:34	24
19/01/2026	19	06:24	18:34	24
20/01/2026	20	06:24	18:34	24
21/01/2026	21	06:25	18:35	25
22/01/2026	22	06:25	18:35	25
23/01/2026	23	06:25	18:35	25
24/01/2026	24	06:26	18:35	26
25/01/2026	25	06:26	18:36	26
26/01/2026	26	06:26	18:36	26
27/01/2026	27	06:27	18:36	27
28/01/2026	28	06:27	18:36	27
29/01/2026	29	06:27	18:36	27
30/01/2026	30	06:27	18:36	27
31/01/2026	31	06:27	18:36	27
01/02/2026	32	06:27	18:37	27
02/02/2026	33	06:27	18:37	27
03/02/2026	34	06:28	18:37	28
04/02/2026	35	06:28	18:37	28
05/02/2026	36	06:28	18:37	28
06/02/2026	37	06:28	18:37	28
07/02/2026	38	06:28	18:37	28
08/02/2026	39	06:28	18:37	28
09/02/2026	40	06:28	18:37	28
10/02/2026	41	06:28	18:37	28
11/02/2026	42	06:28	18:37	28

12/02/2026	43	06:28	18:37	28
13/02/2026	44	06:28	18:37	28
14/02/2026	45	06:28	18:37	28
15/02/2026	46	06:28	18:37	28
16/02/2026	47	06:28	18:37	28
17/02/2026	48	06:28	18:36	28
18/02/2026	49	06:28	18:36	28
19/02/2026	50	06:28	18:36	28
20/02/2026	51	06:28	18:36	28
21/02/2026	52	06:28	18:36	28
22/02/2026	53	06:28	18:36	28
23/02/2026	54	06:28	18:36	28
24/02/2026	55	06:27	18:35	27
25/02/2026	56	06:27	18:35	27
26/02/2026	57	06:27	18:35	27
27/02/2026	58	06:27	18:35	27
28/02/2026	59	06:27	18:35	27
01/03/2026	60	06:27	18:34	27
02/03/2026	61	06:27	18:34	27
03/03/2026	62	06:26	18:34	26
04/03/2026	63	06:26	18:34	26
05/03/2026	64	06:26	18:33	26
06/03/2026	65	06:26	18:33	26
07/03/2026	66	06:26	18:33	26
08/03/2026	67	06:25	18:33	25
09/03/2026	68	06:25	18:32	25
10/03/2026	69	06:25	18:32	25
11/03/2026	70	06:25	18:32	25
12/03/2026	71	06:24	18:31	24
13/03/2026	72	06:24	18:31	24
14/03/2026	73	06:24	18:31	24
15/03/2026	74	06:24	18:31	24
16/03/2026	75	06:23	18:30	23
17/03/2026	76	06:23	18:30	23
18/03/2026	77	06:23	18:30	23
19/03/2026	78	06:23	18:29	23
20/03/2026	79	06:22	18:29	22
21/03/2026	80	06:22	18:29	22
22/03/2026	81	06:22	18:28	22
23/03/2026	82	06:22	18:28	22
24/03/2026	83	06:21	18:28	21
25/03/2026	84	06:21	18:27	21
26/03/2026	85	06:21	18:27	21
27/03/2026	86	06:21	18:27	21
28/03/2026	87	06:20	18:26	20
29/03/2026	88	06:20	18:26	20

30/03/2026	89	06:20	18:26	20
31/03/2026	90	06:19	18:25	19
01/04/2026	91	06:19	18:25	19
02/04/2026	92	06:19	18:25	19
03/04/2026	93	06:19	18:24	19
04/04/2026	94	06:18	18:24	18
05/04/2026	95	06:18	18:24	18
06/04/2026	96	06:18	18:23	18
07/04/2026	97	06:17	18:23	17
08/04/2026	98	06:17	18:23	17
09/04/2026	99	06:17	18:23	17
10/04/2026	100	06:17	18:22	17
11/04/2026	101	06:17	18:22	17
12/04/2026	102	06:16	18:22	16
13/04/2026	103	06:16	18:21	16
14/04/2026	104	06:16	18:21	16
15/04/2026	105	06:16	18:21	16
16/04/2026	106	06:15	18:21	15
17/04/2026	107	06:15	18:20	15
18/04/2026	108	06:15	18:20	15
19/04/2026	109	06:15	18:20	15
20/04/2026	110	06:15	18:20	15
21/04/2026	111	06:14	18:20	14
22/04/2026	112	06:14	18:19	14
23/04/2026	113	06:14	18:19	14
24/04/2026	114	06:14	18:19	14
25/04/2026	115	06:14	18:19	14
26/04/2026	116	06:14	18:19	14
27/04/2026	117	06:13	18:18	13
28/04/2026	118	06:13	18:18	13
29/04/2026	119	06:13	18:18	13
30/04/2026	120	06:13	18:18	13
01/05/2026	121	06:13	18:18	13
02/05/2026	122	06:13	18:18	13
03/05/2026	123	06:13	18:18	13
04/05/2026	124	06:13	18:17	13
05/05/2026	125	06:13	18:17	13
06/05/2026	126	06:13	18:17	13
07/05/2026	127	06:13	18:17	13
08/05/2026	128	06:13	18:17	13
09/05/2026	129	06:12	18:17	12
10/05/2026	130	06:12	18:17	12
11/05/2026	131	06:12	18:17	12
12/05/2026	132	06:12	18:17	12
13/05/2026	133	06:12	18:17	12
14/05/2026	134	06:12	18:17	12

15/05/2026	135	06:12	18:17	12
16/05/2026	136	06:12	18:17	12
17/05/2026	137	06:13	18:17	13
18/05/2026	138	06:13	18:17	13
19/05/2026	139	06:13	18:17	13
20/05/2026	140	06:13	18:17	13
21/05/2026	141	06:13	18:17	13
22/05/2026	142	06:13	18:17	13
23/05/2026	143	06:13	18:17	13
24/05/2026	144	06:13	18:17	13
25/05/2026	145	06:13	18:17	13
26/05/2026	146	06:13	18:18	13
27/05/2026	147	06:13	18:18	13
28/05/2026	148	06:14	18:18	14
29/05/2026	149	06:14	18:18	14
30/05/2026	150	06:14	18:18	14
01/06/2026	152	06:14	18:18	14
02/06/2026	153	06:14	18:19	14
03/06/2026	154	06:14	18:19	14
04/06/2026	155	06:15	18:19	15
05/06/2026	156	06:15	18:19	15
06/06/2026	157	06:15	18:19	15
07/06/2026	158	06:15	18:19	15
08/06/2026	159	06:15	18:20	15
09/06/2026	160	06:16	18:20	16
10/06/2026	161	06:16	18:20	16
11/06/2026	162	06:16	18:20	16
12/06/2026	163	06:16	18:20	16
13/06/2026	164	06:16	18:21	16
14/06/2026	165	06:17	18:21	17
15/06/2026	166	06:17	18:21	17
16/06/2026	167	06:17	18:21	17
17/06/2026	168	06:17	18:21	17
18/06/2026	169	06:17	18:22	17
19/06/2026	170	06:18	18:22	18
20/06/2026	171	06:18	18:22	18
21/06/2026	172	06:18	18:22	18
22/06/2026	173	06:18	18:22	18
23/06/2026	174	06:19	18:23	19
24/06/2026	175	06:19	18:23	19
25/06/2026	176	06:19	18:23	19
26/06/2026	177	06:19	18:23	19
27/06/2026	178	06:19	18:24	19
28/06/2026	179	06:20	18:24	20
29/06/2026	180	06:20	18:24	20
30/06/2026	181	06:20	18:24	20

01/07/2026	182	06:20	18:24	20
02/07/2026	183	06:20	18:25	20
03/07/2026	184	06:21	18:25	21
04/07/2026	185	06:21	18:25	21
05/07/2026	186	06:21	18:25	21
06/07/2026	187	06:21	18:25	21
07/07/2026	188	06:21	18:25	21
08/07/2026	189	06:21	18:26	21
09/07/2026	190	06:21	18:26	21
10/07/2026	191	06:22	18:26	22
11/07/2026	192	06:22	18:26	22
12/07/2026	193	06:22	18:26	22
13/07/2026	194	06:22	18:26	22
14/07/2026	195	06:22	18:26	22
15/07/2026	196	06:22	18:27	22
16/07/2026	197	06:22	18:27	22
17/07/2026	198	06:22	18:27	22
18/07/2026	199	06:22	18:27	22
19/07/2026	200	06:22	18:27	22
20/07/2026	201	06:23	18:27	23
21/07/2026	202	06:23	18:27	23
22/07/2026	203	06:23	18:27	23
23/07/2026	204	06:23	18:27	23
24/07/2026	205	06:23	18:27	23
25/07/2026	206	06:23	18:27	23
26/07/2026	207	06:23	18:27	23
27/07/2026	208	06:23	18:27	23
28/07/2026	209	06:23	18:27	23
29/07/2026	210	06:23	18:27	23
30/07/2026	211	06:22	18:27	22
01/08/2026	213	06:22	18:27	22
02/08/2026	214	06:22	18:27	22
03/08/2026	215	06:22	18:27	22
04/08/2026	216	06:22	18:27	22
05/08/2026	217	06:22	18:27	22
06/08/2026	218	06:22	18:27	22
07/08/2026	219	06:22	18:26	22
08/08/2026	220	06:22	18:26	22
09/08/2026	221	06:21	18:26	21
10/08/2026	222	06:21	18:26	21
11/08/2026	223	06:21	18:26	21
12/08/2026	224	06:21	18:26	21
13/08/2026	225	06:21	18:26	21
14/08/2026	226	06:21	18:25	21
15/08/2026	227	06:20	18:25	20
16/08/2026	228	06:20	18:25	20

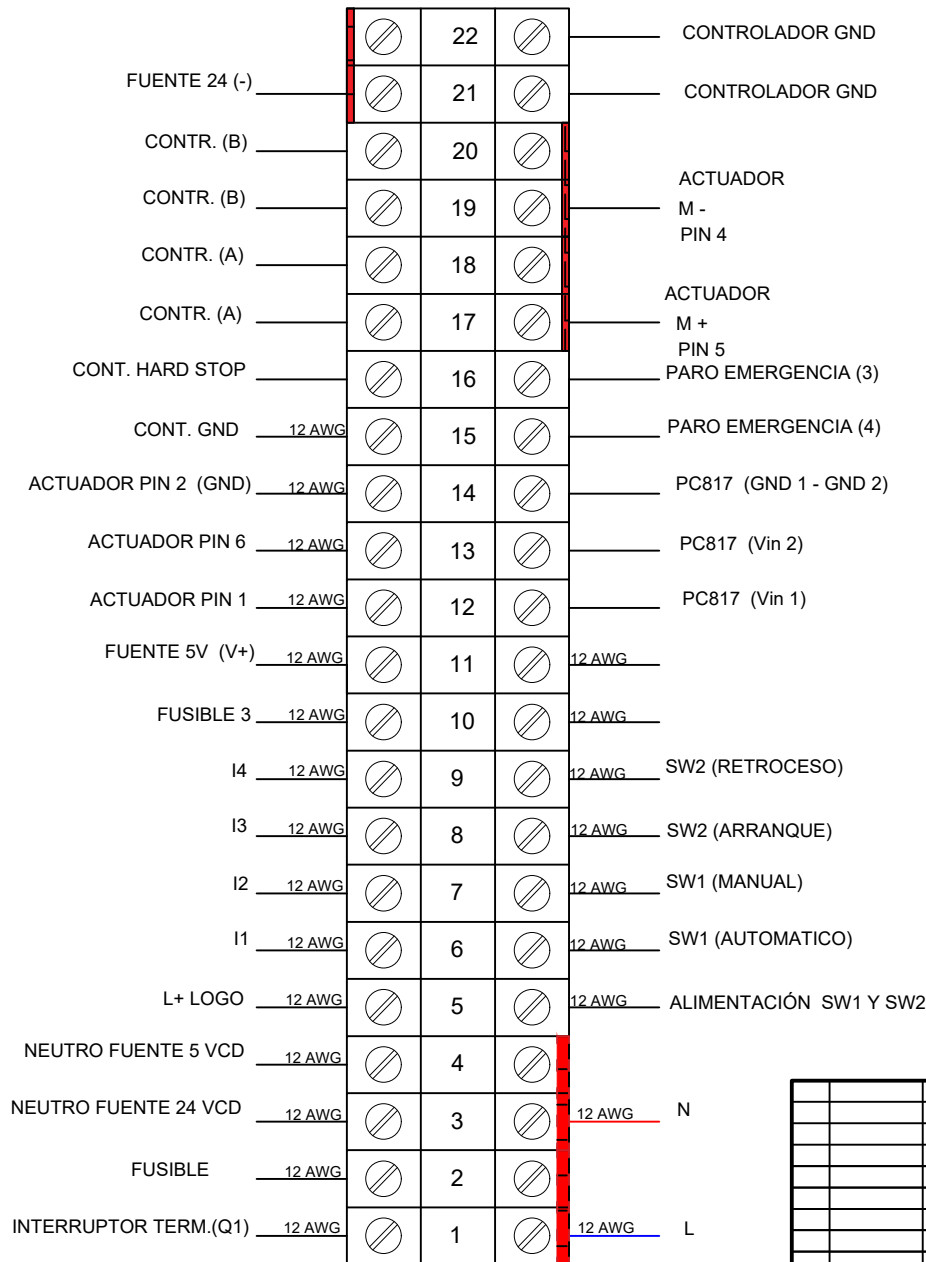
17/08/2026	229	06:20	18:25	20
18/08/2026	230	06:20	18:25	20
19/08/2026	231	06:19	18:24	19
20/08/2026	232	06:19	18:24	19
21/08/2026	233	06:19	18:24	19
22/08/2026	234	06:19	18:24	19
23/08/2026	235	06:18	18:23	18
24/08/2026	236	06:18	18:23	18
25/08/2026	237	06:18	18:23	18
26/08/2026	238	06:17	18:23	17
27/08/2026	239	06:17	18:22	17
28/08/2026	240	06:17	18:22	17
29/08/2026	241	06:16	18:22	16
30/08/2026	242	06:16	18:22	16
31/08/2026	243	06:16	18:21	16
01/09/2026	244	06:16	18:21	16
02/09/2026	245	06:15	18:21	15
03/09/2026	246	06:15	18:20	15
04/09/2026	247	06:14	18:20	14
06/09/2026	249	06:14	18:19	14
07/09/2026	250	06:13	18:19	13
08/09/2026	251	06:13	18:19	13
09/09/2026	252	06:13	18:18	13
10/09/2026	253	06:12	18:18	12
11/09/2026	254	06:12	18:18	12
12/09/2026	255	06:12	18:18	12
13/09/2026	256	06:11	18:17	11
14/09/2026	257	06:11	18:17	11
15/09/2026	258	06:10	18:17	10
16/09/2026	259	06:10	18:16	10
17/09/2026	260	06:10	18:16	10
18/09/2026	261	06:09	18:16	9
19/09/2026	262	06:09	18:15	9
20/09/2026	263	06:09	18:15	9
21/09/2026	264	06:08	18:15	8
22/09/2026	265	06:08	18:14	8
23/09/2026	266	06:07	18:14	7
24/09/2026	267	06:07	18:14	7
25/09/2026	268	06:07	18:13	7
26/09/2026	269	06:06	18:13	6
27/09/2026	270	06:06	18:13	6
28/09/2026	271	06:05	18:12	5
29/09/2026	272	06:05	18:12	5
30/09/2026	273	06:05	18:12	5
01/10/2026	274	06:05	18:11	5
02/10/2026	275	06:04	18:11	4

03/10/2026	276	06:04	18:11	4
04/10/2026	277	06:04	18:11	4
05/10/2026	278	06:03	18:10	3
06/10/2026	279	06:03	18:10	3
07/10/2026	280	06:03	18:10	3
08/10/2026	281	06:02	18:10	2
09/10/2026	282	06:02	18:09	2
10/10/2026	283	06:01	18:09	1
11/10/2026	284	06:01	18:09	1
12/10/2026	285	06:01	18:09	1
13/10/2026	286	06:01	18:08	1
14/10/2026	287	06:01	18:08	1
15/10/2026	288	06:00	18:08	0
16/10/2026	289	06:00	18:08	0
17/10/2026	290	06:00	18:08	0
18/10/2026	291	06:00	18:08	0
19/10/2026	292	05:59	18:07	-1
20/10/2026	293	05:59	18:07	-1
21/10/2026	294	05:59	18:07	-1
22/10/2026	295	05:59	18:07	-1
23/10/2026	296	05:59	18:07	-1
24/10/2026	297	05:59	18:07	-1
25/10/2026	298	05:58	18:07	-2
26/10/2026	299	05:58	18:07	-2
27/10/2026	300	05:58	18:07	-2
28/10/2026	301	05:58	18:06	-2
29/10/2026	302	05:58	18:06	-2
30/10/2026	303	05:58	18:06	-2
31/10/2026	304	05:58	18:06	-2
01/11/2026	305	05:58	18:06	-2
02/11/2026	306	05:58	18:06	-2
03/11/2026	307	05:58	18:06	-2
04/11/2026	308	05:58	18:06	-2
05/11/2026	309	05:58	18:07	-2
06/11/2026	310	05:58	18:07	-2
07/11/2026	311	05:58	18:07	-2
08/11/2026	312	05:58	18:07	-2
09/11/2026	313	05:58	18:07	-2
10/11/2026	314	05:58	18:07	-2
11/11/2026	315	05:58	18:07	-2
12/11/2026	316	05:58	18:07	-2
13/11/2026	317	05:58	18:07	-2
14/11/2026	318	05:58	18:08	-2
15/11/2026	319	05:58	18:08	-2
16/11/2026	320	05:59	18:08	-1
17/11/2026	321	05:59	18:08	-1

18/11/2026	322	05:59	18:08	-1
19/11/2026	323	05:59	18:09	-1
20/11/2026	324	05:59	18:09	-1
21/11/2026	325	06:00	18:09	-1
22/11/2026	326	06:00	18:10	0
23/11/2026	327	06:00	18:10	0
24/11/2026	328	06:00	18:10	0
25/11/2026	329	06:01	18:11	1
26/11/2026	330	06:01	18:11	1
27/11/2026	331	06:01	18:11	1
28/11/2026	332	06:01	18:11	1
29/11/2026	333	06:02	18:12	2
30/11/2026	334	06:02	18:12	2
01/12/2026	335	06:02	18:13	2
02/12/2026	336	06:03	18:13	3
03/12/2026	337	06:03	18:13	3
04/12/2026	338	06:04	18:14	4
05/12/2026	339	06:04	18:14	4
06/12/2026	340	06:04	18:15	4
07/12/2026	341	06:05	18:15	5
08/12/2026	342	06:05	18:16	5
09/12/2026	343	06:06	18:16	6
10/12/2026	344	06:06	18:16	6
11/12/2026	345	06:06	18:17	6
12/12/2026	346	06:07	18:17	7
13/12/2026	347	06:07	18:18	7
14/12/2026	348	06:08	18:18	8
15/12/2026	349	06:08	18:19	8
17/12/2026	351	06:09	18:20	9
18/12/2026	352	06:10	18:20	10
19/12/2026	353	06:10	18:21	10
20/12/2026	354	06:11	18:21	11
21/12/2026	355	06:11	18:22	11
22/12/2026	356	06:12	18:22	12
23/12/2026	357	06:12	18:23	12
24/12/2026	358	06:13	18:23	13
25/12/2026	359	06:13	18:24	13
26/12/2026	360	06:14	18:24	14
27/12/2026	361	06:14	18:25	14
28/12/2026	362	06:15	18:25	15
29/12/2026	363	06:15	18:26	15
30/12/2026	364	06:16	18:26	16
31/12/2026	365	06:16	18:27	16
01/01/2027	366	06:17	18:27	17

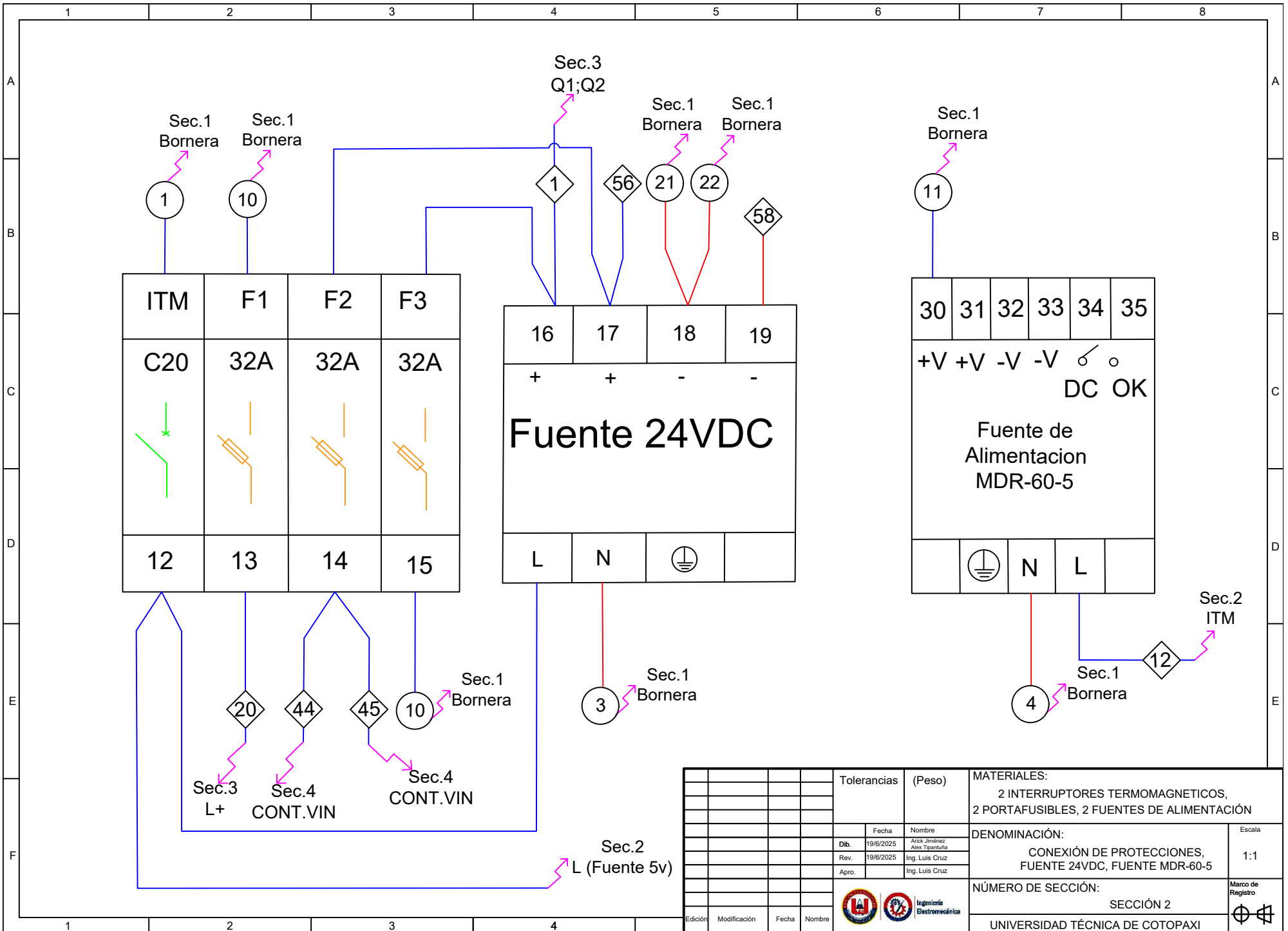
ANEXO 10. Conexiones del sistema Logo

CONEXIÓN EN LAS BORNERAS DE TIPO RIEL

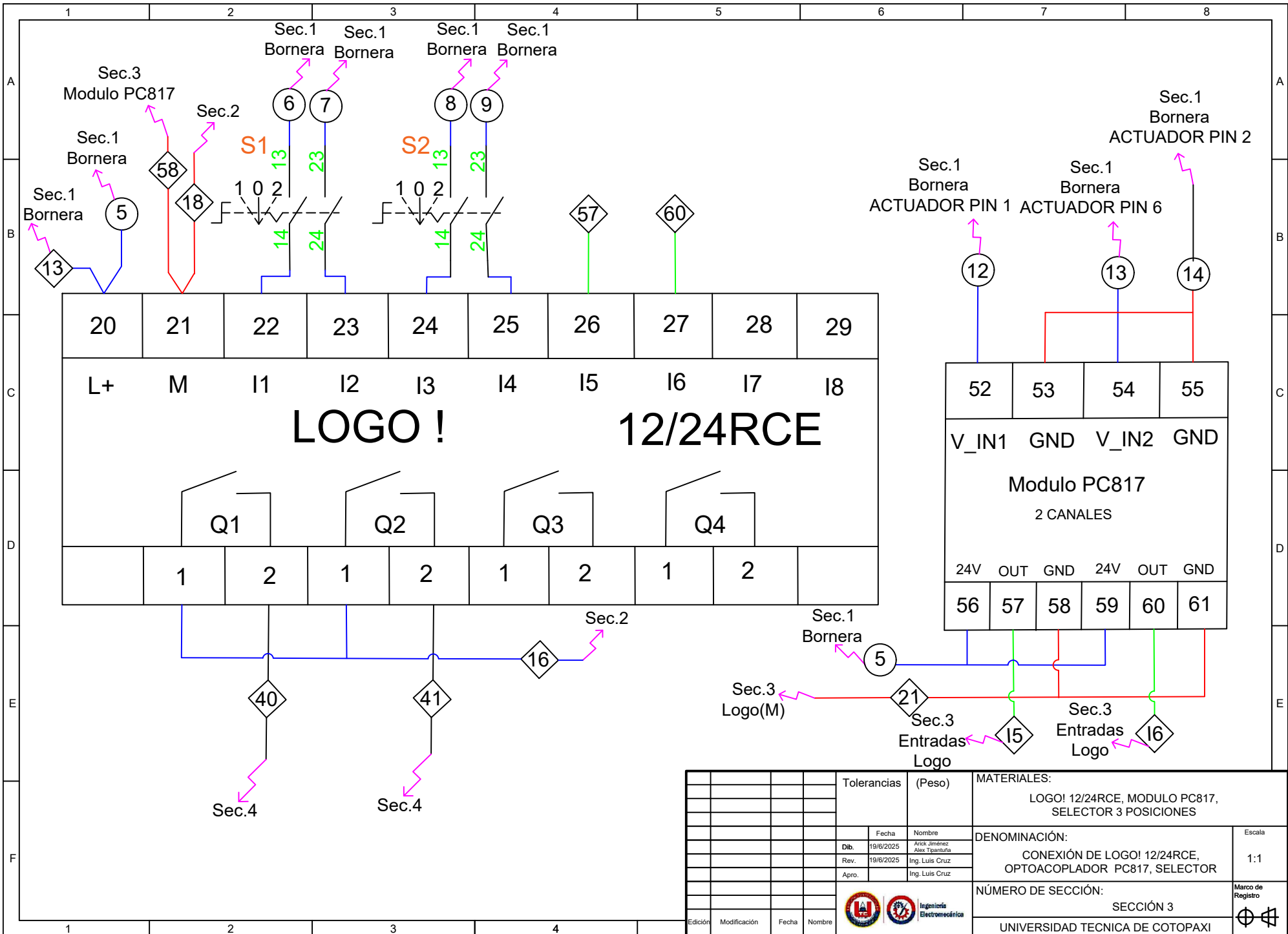


Simbología Eléctrica Normalizada		
Marca	Simbolo Esquema de Mando	Descripción
L		Linea de alimentacion positivo (FASE).
N		Linea de alimentacion negativo, (NEUTRO).
ITM		Interruptor termomagnetico (C20).
F1,F2, F3		Fusible 1 (32 A) , Fusible 2 (32 A), Fusible 3 (32A).
PAT		Puesta a Tierra.
L+ , M		Alimentacion del Logo (FASE) y (NEUTRO).
11,12,13,14, 15,16,17,18		Entradas Digitales (LOGO).
Q1,Q2, Q3,Q4		Salidas Digitales (LOGO).
		Linea que sube y Linea que baja a las diferentes Secciones del Plano.
		Puntos de conexión para facilitar el seguimiento de las conexiones y la localización de elementos.
		Puntos de conexión a bornera para Riel Din.
S1, S2		Selector de 3 posiciones a las Entradas digitales al logo: S1 (11, 12) S2 (13, 14)

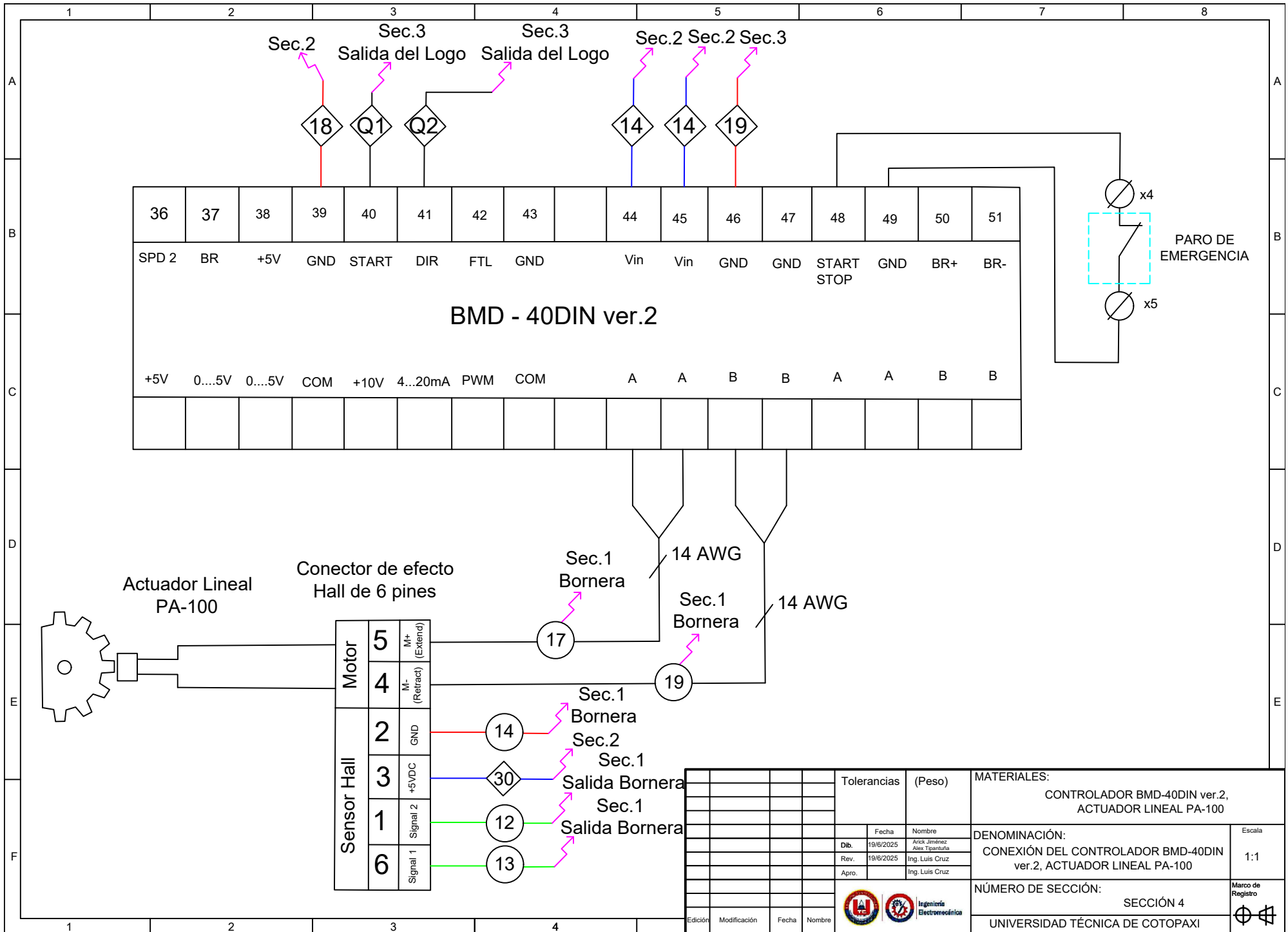
				Tolerancias	(Peso)	MATERIALES: BORNERAS	
				Fecha	Nombre	DENOMINACIÓN:	
				Dib.	19/6/2025	Erick Jiménez Alex Tigaruña	ESCALA
				Rev.	19/6/2025	Ing. Luis Cruz	CONEXIÓN EN LAS BORNERAS
				Apro.		Ing. Luis Cruz	
				NÚMERO DE SECCIÓN: SECCIÓN 1			Marco de Registro
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



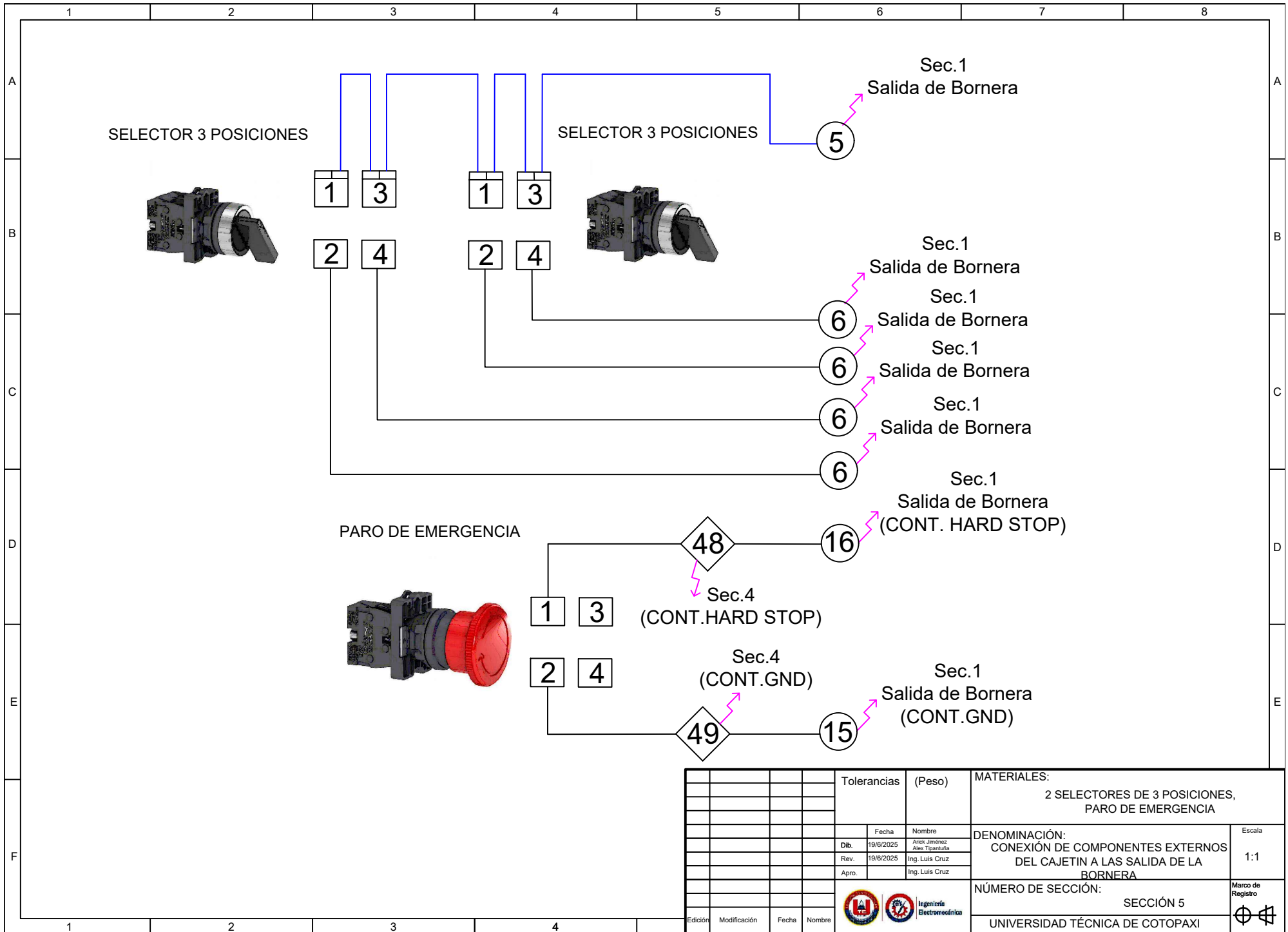
				Tolerancias	(Peso)	MATERIALES: 2 INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS, 2 PORTAFUSIBLES, 2 FUENTES DE ALIMENTACIÓN	
						DENOMINACIÓN:	Escala
				Fecha	Nombre	CONEXIÓN DE PROTECCIONES, FUENTE 24VDC, FUENTE MDR-60-5	1:1
				Dib.	19/6/2025 Arick Jiménez Alex Tigaruña		
				Rev.	19/6/2025 Ing. Luis Cruz		
				Apro.	Ing. Luis Cruz	NÚMERO DE SECCIÓN:	Marco de Registro
						SECCIÓN 2	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancias (Peso)		MATERIALES:	
						LOGO! 12/24RCE, MODULO PC817, SELECTOR 3 POSICIONES	
				Fecha		DENOMINACIÓN:	
				19/6/2025		CONEXIÓN DE LOGO! 12/24RCE, OPTOACOPADOR PC817, SELECTOR	
				Nombre		Escala	
				Arick Jiménez		1:1	
				Rev.		Ing. Luis Cruz	
				19/6/2025		NÚMERO DE SECCIÓN:	
				Apro.		SECCIÓN 3	
				Ing. Luis Cruz		UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI	
				Edición		Marco de Registro	
				Modificación			
				Fecha			
				Nombre			



Tolerancias		(Peso)	MATERIALES: CONTROLADOR BMD-40DIN ver.2, ACTUADOR LINEAL PA-100	
Fecha		Nombre	DENOMINACIÓN:	Escala
Dib.	19/6/2025	Arick Jiménez Alex Tigaruña	CONEXIÓN DEL CONTROLADOR BMD-40DIN ver.2, ACTUADOR LINEAL PA-100	1:1
Rev.	19/6/2025	Ing. Luis Cruz		
Apro.		Ing. Luis Cruz		
Edición			NÚMERO DE SECCIÓN:	Marco de Registro
Modificación			SECCIÓN 4	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
Fecha				
Nombre				



				Tolerancias	(Peso)	MATERIALES: 2 SELECTORES DE 3 POSICIONES, PARO DE EMERGENCIA	
				Fecha	Nombre	DENOMINACIÓN: CONEXIÓN DE COMPONENTES EXTERNOS DEL CAJETIN A LAS SALIDA DE LA BORNERA	
				Dib.	19/6/2025	Arick Jiménez Alex Tigaruña	Escala 1:1
				Rev.	19/6/2025	Ing. Luis Cruz	Número de Registro
				Apro.		Ing. Luis Cruz	
							Marco de Registro
				Edición	Modificación	Fecha	Nombre
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			SECCIÓN 5