



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO DE LA
TRAYECTORIA SOLAR USANDO PLC Y HMI”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero(a) en Electrónica

AUTOR: JOSÉ JAVIER BELTRÁN CRUZ

CÉSAR DAVID CORAL CAMACHO

TUTOR: ING. VÍCTOR LARCO TORRES

Guayaquil - Ecuador

2024 - 2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, José Javier Beltrán Cruz con documento de identificación N° 1204725434 y César David Coral Camacho con documento de identificación N° 0950033548, manifestamos que:

Somos las autores y responsables del presente trabajo y autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación

Guayaquil, 15 de septiembre de 2025.

Atentamente,


José Javier Beltrán Cruz

1204725434


César David Coral Camacho
0950033548

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

Nosotros, José Javier Beltrán Cruz con documento de identificación N° 1204725434 y César David Coral Camacho con documento de identificación N° 0950033548, manifestamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO DE LA TRAYECTORIA SOLAR USANDO PLC Y HMI", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.


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

Guayaquil, 5 de septiembre del 2025.

Atentamente,


José Javier Beltrán Cruz

1204725434


César David Coral Camacho

0950033548

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Víctor David Larco Torres con documento de identificación N° 0923270136, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Diseño y simulación de un sistema de seguimiento de la trayectoria solar usando PLC y HMI, realizado por José Javier Beltrán Cruz con documento de identificación N° 1204725434 y César David Coral Camacho con documento de identificación N° 0950033548, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de septiembre del año 2025.

Atentamente,



Ing. Víctor David Larco Torres, MSc

0923270136

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, Leonor Elizabeth Camacho Falcony y Alfonso David Coral Tumipamba, por su cariño, comprensión y apoyo emocional en cada etapa de mi vida. Gracias a su ejemplo de perseverancia y dedicación, he aprendido a luchar con esfuerzo y convicción.

De igual manera, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, han aportado con su tiempo, ánimo y compañía para que este proyecto sea una realidad. A cada palabra de aliento y a cada gesto de apoyo, les debo parte de este logro que hoy comparto con orgullo y gratitud.

Dedicatoria

Dedico este trabajo con todo mi amor a mis hijos, Jaydenth David Coral y Jeremyth Dayvis Coral que son mi mayor tesoro y la razón más grande de mi esfuerzo diario. Ellos me inspiran a seguir adelante, a superar cada obstáculo y a soñar con un futuro lleno de esperanza y amor.

También lo dedico a mis padres, Leonor Elizabeth Camacho Falcony y Alfonso David Coral Tumipamba, quienes me han brindado su apoyo incondicional y me han guiado con sus valores. A Dios, por ser mi fortaleza en cada paso, y por darme la luz y la fe necesarias para alcanzar este logro.

Agradecimiento

Agradezco profundamente a Dios por darme la vida y la oportunidad de cumplir este sueño que, en mi niñez, parecía inalcanzable. Su fidelidad me acompañó desde el inicio, durante cada desafío, y hasta el final de esta etapa universitaria. A mi madre, Leonila Rosina Cruz Ramírez (la mami Dosi), y a mi hermana, María Stefanía Beltrán Cruz (mi BB), gracias por ser mi fuerza, mi apoyo constante y mi mayor inspiración para alcanzar el título de Ingeniero Electrónico. A Andrea Zurita, esa hermana que Dios puso en mi camino, gracias por animarme a estudiar y por estar siempre presente; tú sabes cuánto te quiero y lo especial que eres en mi vida. A Jenny Ortega, gracias por compartir parte de tu vida conmigo y acompañarme en este proceso. Y a mi tío Tarquino, le agradezco de corazón por abrirme las puertas de su casa y brindarme el apoyo necesario para lograr este objetivo. Cada uno de ustedes ha sido parte esencial de este logro, y este título también les pertenece.

Dedicatoria

Dedico este logro con todo mi corazón a Dios, por su fidelidad constante y por darme la fuerza para convertir en realidad un sueño que en mi niñez parecía inalcanzable. A mi madre, Leonila Rosina Cruz Ramírez (la mami Dosi), y a mi hermana, María Stefanía Beltrán Cruz (mi BB), gracias por ser mi pilar, mi apoyo incondicional y mi mayor inspiración en este camino hacia el título de Ingeniero Electrónico. A Andrea Zurita, esa hermana que Dios puso en mi vida, gracias por animarme a estudiar y por estar siempre presente; tú sabes cuánto te quiero y lo especial que eres para mí. A la persona que estuvo en este tiempo, gracias por compartir conmigo momentos valiosos durante esta etapa. Y a mi tío Tarquino, le agradezco de corazón por abrirme las puertas de su casa y brindarme el apoyo necesario para alcanzar este objetivo. Este logro no es solo mío, también les pertenece a ustedes.

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar un sistema de seguimiento solar mediante un PLC y una HMI aplicados a paneles fotovoltaicos. La propuesta se direcciona como una alternativa para mejorar la captación de energía, ya que permite ubicar el panel de manera automática siguiendo el recorrido del sol a lo largo del día. La metodología empleada fue de tipo experimental, con un enfoque inductivo y un proceso sistemático. Además, se realizó la programación en lenguaje Ladder mediante el software TIA Portal y se diseñaron pantallas en el HMI que permiten la configuración y el monitoreo en modos manual y automático. Asimismo, se implementó un prototipo a escala en el laboratorio de Automatización Industrial, empleando un PLC SIMATIC S7-1200, servomotores de alto torque y dispositivos electrónicos adicionales. Los resultados demostraron que el sistema logra reproducir la trayectoria solar en un rango de 0° a 180° en condiciones de laboratorio, con la función de retorno automático al final del ciclo diario. Las pruebas verificadas en el HMI indicaron que el operador puede seleccionar el modo de funcionamiento, analizar parámetros en tiempo real y registrar el desplazamiento de los ejes, lo que muestra la eficacia del desarrollo en Ladder. Las conclusiones señalaron que el sistema cumplió con los objetivos planteados, pues la programación en Ladder garantizó un control confiable, las pantallas HMI facilitaron la supervisión y la configuración, y la implementación del prototipo comprobó la factibilidad técnica de la propuesta.

Palabras Claves: Seguimiento solar, Trayectoria solar, Paneles solares. PLC, HMI.

Abstract

The objective of this project is to design a solar tracking system using a PLC and an HMI applied to photovoltaic panels. The proposal is intended as an alternative to improve energy collection, as it allows the panel to be automatically positioned following the sun's path throughout the day. The methodology employed was experimental, with an inductive approach and a systematic process. In addition, programming was performed in Ladder language using TIA Portal software, and HMI screens were designed to allow configuration and monitoring in manual and automatic modes. A scale prototype was also implemented in the Industrial Automation laboratory, using a SIMATIC S7-1200 PLC, high-torque servomotors, and additional electronic devices. The results demonstrated that the system can reproduce the solar trajectory in a range of 0° to 180° under laboratory conditions, with an automatic return function at the end of the daily cycle. Tests conducted on the HMI indicated that the operator could select the operating mode, analyze parameters in real time, and record axis movement, demonstrating the effectiveness of the Ladder development. The conclusions indicated that the system met the stated objectives, as Ladder programming guaranteed reliable control, the HMI screens facilitated monitoring and configuration, and the prototype implementation confirmed the technical feasibility of the proposal.

Keywords: Solar tracking, Solar trajectory, Solar panels, PLC, HMI.

Índice de Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMA	3
1.1.1 Antecedentes	3
1.1.2 Importancia y Alcance	4
1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.2.1 Temporal	5
1.2.2 Geográfica	5
1.2.3 Académica.....	5
1.3 OBJETIVOS.....	6
1.3.1 Objetivo General	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
2 REVISIÓN DE LA LITERATURA	7
2.1 Energía y seguimiento solares.....	7
2.1.1 Sistema de seguimiento de la trayectoria solar	7
2.1.2 Importancia de la Orientación de los Paneles Fotovoltaicos.....	8
2.1.3 Comparación entre sistemas fijos y con seguimiento sola.....	9
2.2 Componentes de un sistema de seguimiento solar	10
2.2.1 PLC (Controlador Lógico Programable) en Sistemas de Automatización ..	10
2.2.2 Procesamiento (PLC)	12
2.2.3 Interfaz Hombre-Máquina (HMI) en la Supervisión de Procesos.....	14
2.2.4 Motores eléctricos	16
2.2.5 Tarjeta de conversión de nivel de voltaje.....	19
2.2.6 Fuente de alimentación.....	21
2.3 Simulación de Sistemas Fotovoltaicos.....	22
3 MARCO METODOLÓGICO.....	24
3.1 Conexiones y equipos.....	24
3.2 Programación del Controlador Lógico.....	25
3.3 Interfaz Humano-Máquina.....	32
3.3.1 Pantalla “1_Portada”	33

3.3.2 Pantalla “2_Proceso”.....	34
3.3.3 Pantalla “3_Configuracion”	35
3.3.4 Pantalla “4_Graficos”	36
3.4 Diseño del prototipo.....	38
4. RESULTADOS	39
4.1. Resultados de la interfaz HMI	39
4.2. Resultados de la programación Ladder	44
5. Cronograma de Actividades	46
6. PRESUPUESTO.....	47
7. CONCLUSIONES.....	48
8. RECOMENDACIONES.....	48
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
10. ANEXOS	53

Índice de Tablas

Tabla 1 Comparación: sistema fijo vs sistema con seguimiento solar	9
Tabla 2 Beneficios de la Integración HMI-PLC en Sistemas Fotovoltaicos.....	15
Tabla 3 Cronograma de Actividades	46
Tabla 4 Presupuesto.....	47

Índice de Figuras

Figura 1 Sistema de seguimiento solar	8
Figura 2 Declinación del sol de acorde al día del año.	9
Figura 3 SIMATIC S7-1200.....	11
Figura 4 Estructura del PLC o autómatas programables	12
Figura 5 PLC Siemens S7-1200.....	13
Figura 6 Esquema del HMI	14
Figura 7 Esquema de Motores Eléctricos	16
Figura 8 Servomotor de alto torque 40 kg para el sistema de seguimiento solar	18
Figura 9 Tarjeta de conversión de nivel de voltaje Yunir de 8 canales (5V/24V)	20
Figura 10 Fuente de alimentación PHEVOS 5 V/5 A utilizada en el sistema automatizado	21
Figura 11 Fuente de alimentación PHEVOS 5 V/5 A empleada en el sistema de automatización.....	23
Figura 12 Diagrama de bloques y su interconexión	24
Figura 13 Listado de variables de entradas y salidas del PLC	25
Figura 14 Árbol de proyecto - PLC	26
Figura 15 Programación de bloque OB30	26
Figura 16 Segmentos 1 y 2 – OB1.....	27
Figura 17 Segmentos 3 y 4 – OB1.....	28
Figura 18 Segmento 5 – OB1	29
Figura 19 Segmento 6 – OB1	30
Figura 20 Segmento 7 – OB1	31
Figura 21 Segmentos 8 y 9 – OB1.....	32
Figura 22 Árbol de proyecto - HMI	33
Figura 23 Pantalla inicial de interfaz humano - máquina.....	34
Figura 24 Pantalla de proceso para control automático de servos.....	35
Figura 25 Pantalla de configuración y control manual de servos.....	36
Figura 26 Pantalla de visualización de valores angulares	37
Figura 27 Variables utilizadas en el HMI.....	38
Figura 28 Prototipo diseñado.....	38
Figura 29 Portada de la HMI	39
Figura 30 Pantalla de proceso del HMI.....	40

Figura 31 Pantalla de configuración del HMI	40
Figura 32 Gráfica del movimiento a 20°	41
Figura 33 Gráfica de los dos ejes en diferentes grados	42
Figura 34 Portada del modo automático.....	43
Figura 35 Gráfico del modo automático.....	44
Figura 36 Bloque OB30 en Ladder	44

1. INTRODUCCIÓN

En el actual escenario energético, la dependencia de los combustibles fósiles ha generado un impacto ambiental considerable, incrementando las emisiones de gases de efecto invernadero y acelerando la crisis climática. Se estima que alrededor del 80% de las emisiones globales de dióxido de carbono provienen del consumo y transformación de estos combustibles, lo que refleja la urgencia de diversificar la matriz energética mundial (González, 2020).

En Ecuador, la situación se ha visto agravada por la sequía más severa de los últimos sesenta años, lo que ha afectado gravemente la capacidad de las hidroeléctricas, responsables del 90% de la generación eléctrica. Este escenario ha derivado en prolongados cortes de energía y ha puesto en evidencia la vulnerabilidad del sistema eléctrico nacional, así como la necesidad de impulsar alternativas renovables como la energía solar (Larrea, 2024).

La energía solar, pese a su amplio potencial en el país por su ubicación en la zona intertropical, aún no se aprovecha plenamente. Estudios señalan que un sistema de seguimiento solar puede incrementar la eficiencia de captación de radiación en un 25–40% en comparación con sistemas fijos, justificando su aplicación en proyectos de mediana y gran escala (Niño, 2025).

En este contexto, el presente trabajo se centra en el diseño y simulación de un sistema automatizado de seguimiento solar mediante un Controlador Lógico Programable (PLC) y una Interfaz Hombre-Máquina (HMI). El objetivo principal es maximizar la captación energética ajustando de forma automática la posición del panel en función de la trayectoria del sol, integrando principios de automatización industrial y energías renovables.

La metodología aplicada es de carácter experimental, inductivo y sistemático. Incluye el diseño de la programación en lenguaje Ladder, la construcción de pantallas en el HMI para los modos manual y automático, y la implementación de un prototipo en el laboratorio de Automatización Industrial de la Universidad Politécnica Salesiana. Para ello se emplean herramientas de software como TIA Portal, junto con dispositivos como el PLC SIMATIC S7-1200, servomotores de alto torque, módulos de conversión y fuentes de alimentación.

El desarrollo del proyecto abarca diversas fases: revisión bibliográfica sobre sistemas fotovoltaicos y automatización, diseño de la lógica de control, creación de la interfaz HMI, integración de los componentes electrónicos y pruebas de simulación.

El resultado esperado es un sistema demostrativo capaz de replicar la trayectoria solar en el rango de 0° a 180° , retornando automáticamente a su posición inicial al final de la jornada. Con ello, se busca fortalecer las competencias técnicas en el campo de la electrónica y la automatización, además de aportar al uso eficiente de la energía solar como alternativa sostenible para el país.

1.1.PROBLEMA

1.1.1 Antecedentes

En la actualidad, los combustibles fósiles representan las principales fuentes de energía primaria, las cuales son convertidas para generar energía térmica y eléctrica. Sin embargo, su uso implica procesos de combustión, extracción, conversión y transporte que contribuyen significativamente al deterioro ambiental debido a los efectos del cambio climático, principalmente por el incremento de gases de efecto invernadero. Se estima que aproximadamente el 80% de las emisiones globales de dióxido de carbono están relacionadas con el consumo y la transformación de combustibles fósiles en diversas formas de energía (Cunduri et al., 2020).

A nivel mundial, los combustibles fósiles continúan dominando el consumo energético, representando el 82% del total, pese al crecimiento de las energías renovables, cuya participación aún es limitada al 7,5%. Este predominio se refleja en el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, que alcanzaron un récord de 39.300 millones de toneladas de dióxido de carbono, concentrándose en Asia Pacífico y América del Norte. Aunque el petróleo lidera el mix energético global con un 31,5%, la lenta transición hacia fuentes sostenibles evidencia la necesidad urgente de optimizar tecnologías limpias como la energía solar, especialmente en zonas con condiciones geográficas favorables (Sánchez y Tomás, 2020).

Ecuador enfrenta en 2024 una crisis energética profunda, exacerbada por la sequía más severa en 60 años, lo que ha afectado gravemente la capacidad de las plantas hidroeléctricas, responsables del 90% de la electricidad del país. La disminución de lluvias ha provocado que los embalses, entre ellos el de Mazar, reduzcan su capacidad, pudiendo abastecer de energía por apenas 45 días en ausencia de precipitaciones. Esta situación ha dejado en evidencia la fuerte dependencia del Ecuador de la hidroelectricidad, generando apagones de hasta 14 horas diarias (France 24, 2024).

Aunque el gobierno ha implementado medidas como la compra de 430 MW adicionales, la importación de electricidad desde Colombia y la aprobación de normativas orientadas a incentivar la inversión en renovables, el déficit energético continúa. La limitada diversificación de fuentes y el escaso desarrollo de tecnologías alternativas intensifican la crisis, lo que resalta la urgencia de avanzar hacia una matriz energética

más equilibrada y sostenible, capaz de brindar estabilidad en el largo plazo (Ministerio de Energía y Minas, 2024).

En este contexto, Ecuador ha comenzado a dar pasos en la adopción de sistemas fotovoltaicos, favorecido por políticas públicas y avances tecnológicos. No obstante, la implementación de esta energía renovable aún es incipiente y enfrenta retos significativos, como su integración a la red eléctrica, la viabilidad económica y la reducida disponibilidad de fabricantes de paneles solares en el mercado nacional. A pesar de su ubicación estratégica en la zona intertropical, que le permite recibir altos niveles de radiación solar, el potencial fotovoltaico del país aún no se ha aprovechado plenamente (Yajamín et al., 2023).

Según ARCERNNR (2022), alrededor del 9,3% del territorio es apto para el desarrollo de energía solar, lo que sugiere un gran potencial, pero la falta de infraestructura y la necesidad de avances tecnológicos continúan siendo aspectos que limitan su expansión. El país cuenta con un nivel de radiación solar promedio que oscila entre 4,5 y 6,0 kWh/m², con mayor intensidad en la zona costera y en el sur del país. Estas condiciones representan una oportunidad favorable para ampliar el uso de la energía fotovoltaica, siempre que se logre superar las limitaciones actuales y se impulse con mayor rapidez la transición hacia fuentes renovables.

1.1.2 Importancia y Alcance

Este trabajo de investigación tiene importancia en el ámbito académico, ya que ofrece la posibilidad de aplicar de manera práctica las tecnologías de automatización vinculadas al aprovechamiento de la energía solar. Mediante este estudio demostrativo se busca simular la implementación de un sistema automatizado con PLC y HMI para regular la orientación de los paneles solares, lo que permite comprender las herramientas y su aporte a la optimización de la captación de energía a través del control automatizado.

Cabe mencionar que las vitales aportaciones enfatizan en el fortalecimiento de capacidades en programación de PLC, a la vez, el uso del HMI para el monitoreo y conocimiento de los elementos básicos de la automatización industrial. También, se pretende evidenciar la viabilidad técnica de incorporar estos sistemas en proyectos relacionados con energías renovables. La simulación constituye un recurso esencial para evaluar procesos de optimización sin asumir los riesgos ni los costos asociados a una implementación directa.

La factibilidad de proyecto implica en la incorporación de PLC y HMI en este tipo de simulaciones es accesible y adecuada para el entorno educativo, al referirse de tecnologías utilizadas en la automatización industrial. Su integración favorece el aprendizaje práctico de los estudiantes, también establece una base fuerte para futuras aplicaciones en el campo de la energía solar y de la automatización.

1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Temporal

El proyecto de investigación tuvo una duración de seis meses, tiempo que se requirió para cubrir las fases centrales del estudio: diseño, construcción, programación y validación del prototipo. Este plazo se consideró adecuado para comprobar la viabilidad técnica del sistema planteado y, para implementar los ajustes solicitados a partir de las pruebas y simulaciones realizadas en un entorno controlado.

1.2.2 Geográfica

Asimismo, el estudio fue efectuado en los laboratorios de Electrónica y Automatización de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, en la provincia del Guayas, Ecuador. Siendo este espacio complementario para conseguir los recursos técnicos y tecnológicos necesarios para la realización del proyecto práctico, con el uso de estos se puede garantizar el trabajo experimental.

El establecimiento universitario posee una infraestructura adecuada para efectuar el experimento técnico, donde cuenta con sistemas de automatización, control y monitoreo para la simulación y evaluación de tecnologías aplicadas a la orientación automatizada de paneles solares. Al mismo tiempo, beneficia la unificación de la teoría con la práctica, forjando un enfoque metodológico que promueva el análisis y el desempeño de objetivos del estudio.

1.2.3 Académica

Este proyecto pertenece a la carrera de Ingeniería en Electrónica y Automatización de la Universidad Politécnica Salesiana, en su sede de Guayaquil. El cual pretende poner en práctica los conocimientos adquiridos en las áreas de sistemas de control, programación de PLC, interfaces HMI y energías renovables.

En Trabajo de Titulación es un estudio demostrativo y experimental para fortalecer las habilidades técnicas y analíticas de los estudiantes, a la vez, aporta al desarrollo de soluciones innovadoras en el campo de la automatización industrial y la energía solar. Igualmente, este invento e innovación origina una herramienta pedagógica dentro del programa académico, induciendo el aprendizaje práctico y el análisis crítico de tecnologías emergentes.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de seguimiento de la trayectoria solar usando PLC y HMI para los paneles solares.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar la programación en lenguaje Ladder para el ajuste del mecanismo del seguimiento.
- Diseñar la programación de las pantallas del HMI para la configuración de los parámetros.
- Implementar el sistema en el Laboratorio de Automatización Industrial para su demostración.

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Energía y seguimiento solares

2.1.1 *Sistema de seguimiento de la trayectoria solar*

Ccapa y Tejeda (2024) definen que los sistemas de seguimiento solar son métodos ingeniosos que permiten maximizar la captación de radiación solar. Esto se logra acordando la orientación de los paneles fotovoltaicos a medida que el sol se mueve durante el día. Estos sistemas emplean dispositivos que permiten el movimiento, certificando que las placas solares sigan la trayectoria del sol con precisión.

Este seguimiento permite mejorar de manera evidente la eficiencia energética. Al optimizar el ángulo en el que los rayos solares ingresan sobre los paneles, se aumenta la conversión de energía solar en electricidad. Como modelo se tiene el amanecer, los paneles se orientan hacia el Este, y al mediodía, se acuerdan para captar la radiación solar cuando el sol está en su punto más alto. Luego, por la tarde, se reorientan hacia el Oeste para aprovechar al máximo la luz solar que queda antes de que anochezca.

Pérez (2024) menciona que estos sistemas de seguimiento solar utilizan mecanismos, ya sean mecánicos o electrónicos, para ajustar la posición de los paneles y mantenerlos siempre orientados hacia el sol durante el día. Este enfoque no solo aumenta la captación de luz solar, sino que también se traduce en una mayor generación de energía.

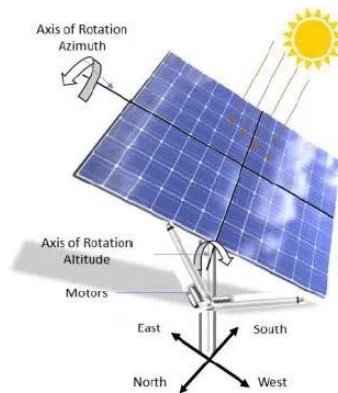
Además, Guamán (2024) señala que, en cuanto a su configuración, los sistemas de seguimiento solar se dividen en dos tipos principales:

- **De un solo eje:** que realizan ajustes en un único plano, permitiendo un seguimiento parcial del recorrido solar.
- **De doble eje:** que ofrecen una orientación más precisa al moverse en dos planos, maximizando así la exposición a la radiación solar (Guamán, 2024).

Esta tecnología es esencial para mejorar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos y maximizar su rendimiento energético. En la Figura 1 se ilustra el sistema de seguimiento solar:

Figura 1

Sistema de seguimiento solar



Nota. La Figura muestra la rotación del panel al solar. al estar en contacto con la luz solar Tomado de Pachas et al. (2022).

2.1.2 Importancia de la Orientación de los Paneles Fotovoltaicos

La orientación de los paneles solares es importante para asegurar su óptimo funcionamiento y una generación eficiente de electricidad (Oyuela y Antúnez, 2023). Su configuración adecuada ofrece varios beneficios:

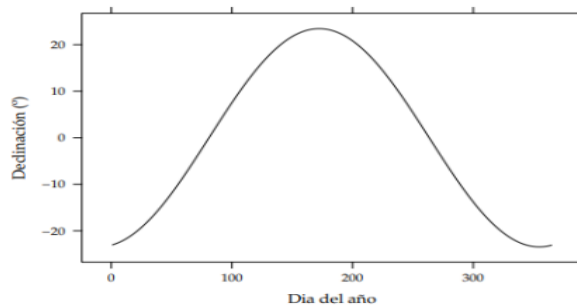
- **Optimización de la captación de energía:** Cuando los paneles solares están bien orientados, logran absorber la mayor cantidad de radiación solar posible, lo que se traduce en una mayor producción de electricidad.
- **Minimización de pérdidas energéticas:** Si los paneles no están orientados correctamente, se puede limitar la cantidad de energía que captan, lo que puede afectar notablemente el rendimiento del sistema.
- **Preservación de las células fotovoltaicas:** Errores en la orientación pueden dañar las células de los módulos, afectando su desempeño e incluso inutilizándolos (Oyuela y Antúnez, 2023).

En el hemisferio norte, la mejor orientación para los paneles solares es hacia el sur, con un ángulo azimutal de 180° . Esto asegura que se reciba la mayor cantidad de irradiación solar, especialmente durante las horas de mayor intensidad (Loor, 2024).

Además de la orientación, es esencial tener en cuenta la inclinación de los paneles y asegurarse de que no haya objetos o estructuras que proyecten sombras sobre ellos. Para mejorar aún más su rendimiento, se pueden implementar sistemas de seguimiento solar que ajusten automáticamente tanto la orientación como la inclinación de los paneles (Loor, 2024). En la Figura 2, se debe presentar la gráfica de traslación y rotación solar.

Figura 2

Declinación del sol de acorde al día del año.



Nota. El movimiento de la tierra combina traslación y rotación, que genera estaciones debido a la inclinación del eje terrestre ($23,45^\circ$). En el hemisferio norte, la declinación varía entre $23,45^\circ$ en junio y $-23,45^\circ$ en diciembre, afectando la duración del día y la radiación solar recibida. Tomado de Lamigueiro (2013).

2.1.3 Comparación entre sistemas fijos y con seguimiento solar

Tabla 1

Comparación: sistema fijo vs sistema con seguimiento solar

Criterio	Fijo	Seguimiento
Eficiencia	Baja–media	Alta (+25–40%)
Costo	Bajo	Alto
Mantenimiento	Mínimo	Medio–alto
Durabilidad	Mayor	Menor
Aplicación	Pequeña escala	Mediana/gran escala
ROI	Lento	Rápido

Nota. La Tabla presenta la diferencia entre sistemas solares fijos y sistemas con seguimiento, considerando criterios de eficiencia, costos, mantenimiento, durabilidad, aplicación y retorno de inversión (ROI). Tomado de Ccapa y Tejeda (2024), Guamán (2024) y Encina (2024).

La Tabla 1 evidencia que los sistemas fijos se caracterizan por su simplicidad, bajo costo y mantenimiento reducido, lo que los hace adecuados en proyectos de pequeña escala o con presupuestos limitados. Sin embargo, su eficiencia energética es limitada, ya que dependen de una orientación inicial y no aprovechan al máximo la radiación solar durante todo el día.

Por el contrario, los sistemas con seguimiento solar requieren mayor inversión inicial y mantenimiento periódico, debido a la inclusión de motores, sensores y controladores. No obstante, ofrecen una eficiencia significativamente superior (25–40% más), lo que acelera el retorno de inversión en proyectos de mediana y gran escala ubicados en zonas con alta radiación.

Por aquello, mientras el sistema fijo prioriza economía y durabilidad, el sistema con seguimiento busca optimización energética y rentabilidad a largo plazo, justificando su aplicación en contextos donde la maximización de la producción eléctrica es esencial.

2.2 Componentes de un sistema de seguimiento solar

2.2.1 PLC (Controlador Lógico Programable) en Sistemas de Automatización

Los PLC (Controladores Lógicos Programables) son dispositivos electrónicos diseñados para gestionar y controlar procesos automatizados en entornos industriales. Estos sistemas integran una CPU, memoria RAM y ROM, junto con módulos de entradas y salidas digitales y analógicas, lo que permite interpretar y gestionar las condiciones del entorno (Aucapiña y Rivera, 2024). En la Figura 3 se ilustra sobre el Simatic S7-1200:

Figura 3

SIMATIC S7-1200



Nota. El SIMATIC S7-1200 incluye módulos de señal, tecnología y comunicación, centralizados o descentralizados, diseñado para gabinetes de control con protección IP20. Tomado de SIEMENS (2024).

Las aplicaciones más comunes de los PLC son el manejo de materiales, el embalaje, la clasificación, el control de calidad, la mezcla, el etiquetado y la supervisión de sistemas HVAC y de seguridad. La programación de estos terminales se realiza en lenguajes, tales como Ladder, texto estructurado y diagramas de bloques funcionales, almacenando las instrucciones en memoria no volátil para componer acciones de manera sistemática (Benites, 2024).

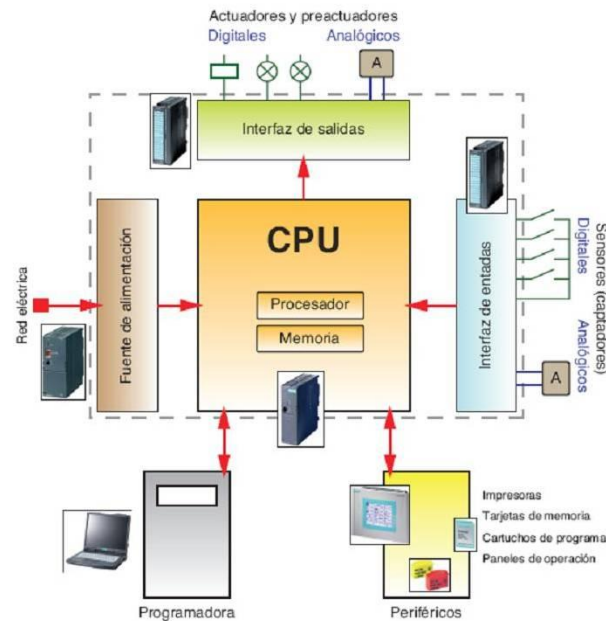
La composición de PLC con interfaces HMI (Interfaz Hombre-Máquina) optimiza la experiencia del operador al brindar un control visual más automático y facilitar el cableado. Este enfoque tiene beneficios esenciales en sistemas fotovoltaicos, donde el PLC se comisiona de automatizar el seguimiento solar y maximizar la eficiencia energética mediante ajustes exactos (La Scala, 2020).

2.2.2 Procesamiento (PLC)

La Figura 4 observa la estructura de un PLC conectados sensores y actuadores.

Figura 4

Estructura del PLC o autómata programable.



Nota. La Figura 4 muestra la estructura de un Controlador Lógico Programable (PLC), en el que se evidencia la interacción de la unidad central de proceso (CPU), las interfaces de entradas y salidas, los sensores, actuadores, la programadora y los periféricos asociados. Tomada de Ponguillo y Gómez (2021).

- **Aplicación del PLC en la automatización**

La función del Controlador Lógico Programable (PLC) es esencial en un sistema automatizado. Su desempeño vital es recoger las señales de entrada de los sensores, procesarlas mediante el programa de control y posterior a eso, expresar señales de salida que activan los actuadores. De esta forma, el PLC se encarga de coordinar todo el trabajo del sistema, certificando que los paneles fotovoltaicos se direccionen correctamente según la trayectoria del sol (Aceitón, 2020).

- **Lenguaje de programación Ladder**

El diseño del control se efectúa manipulando el lenguaje Ladder, siendo el modelo internacional para la programación de PLC. El lenguaje muestra las instrucciones de forma gráfica, usando contactos y bobinas que se asimilan a un esquema eléctrico

habitual. Su forma visual proporciona la comprensión de la lógica de control, la identificación de fallos y su aplicación se ejerce en prácticas académicas y en proyectos técnicos (Medina, 2022).

- **Ventajas del modelo SIMATIC S7-1200 (Siemens)**

El PLC SIMATIC S7-1200 presenta características que lo hacen idóneo para sistemas de automatización de mediana escala y de carácter didáctico (Ver Figura 5):

- **Flexibilidad:** admite módulos de entradas y salidas digitales y analógicas, lo que permite integrar una amplia variedad de sensores y actuadores.
- **Capacidad de comunicación:** soporta protocolos industriales como Ethernet y Modbus TCP/IP, lo que facilita la conexión con la HMI y otros dispositivos externos.
- **Fiabilidad:** diseñado para aplicaciones industriales, asegura un desempeño estable, continuo y seguro.
- **Aplicación pedagógica:** su uso frecuente en laboratorios universitarios brinda a los estudiantes la posibilidad de familiarizarse con estándares reales de la industria (Nolasco, 2021).

Figura 5

PLC Siemens S7-1200



Nota. Controlador Lógico Programable Siemens S7-1200, diseñado para el diseño y simulación del sistema de seguimiento solar. Tomado de Siemens (2025).

2.2.3 Interfaz Hombre-Máquina (HMI) en la Supervisión de Procesos

2.2.3.1 Concepto y funciones del HMI.

Para De La Cruz y Alban (2024) define que una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es “una herramienta tecnológica que permite la interacción entre los operadores y los sistemas automatizados, facilitando el control y monitoreo de procesos”.

Funciona como un panel que centraliza información clave y presenta datos de manera visual para que los usuarios puedan supervisar, coordinar y ajustar las operaciones de forma eficiente en la Figura 6 se presenta el HMI de manera ilustrativa.

Figura 6

Esquema del HMI



Nota. El HMI facilita la interacción entre el operador y el sistema, lo que permite el monitoreo y control en tiempo real del proceso automatizado. Tomado de SIEMENS (2024).

2.2.3.2 HMI en el Sistema de Seguimiento Solar.

En un sistema de seguimiento solar, la HMI logra permitir que el operador:

- Monitorear en tiempo real el estado y el rendimiento de los paneles solares.
- Hacer ajustes en los parámetros operativos de forma intuitiva mediante pantallas táctiles o interfaces gráficas.
- Recoja alertas e información de posibles fallos o inconvenientes en el sistema, lo que consiente una respuesta adecuada (Quiñónez, 2022).

2.2.3.3 Beneficios de Integrar HMI con PLC.

Integrar el HMI y PLC en sistemas fotovoltaicos genera muchas ventajas que mejoran la supervisión y el control de los procesos. Al reunir los datos, se facilita el acceso a información primordial desde un solo lugar, lo que mejora la eficiencia operativa al permitir decisiones más informadas y reducir los tiempos de inactividad. Además, las interfaces automáticas hacen que manejar el sistema sea sencillo, lo que reduce la necesidad de una formación extensa (Silvestre y Soriano, 2021).

Este enfoque admite el progreso de la productividad al permitir ajustes simples y precisos, sino que también refuerza la seguridad operativa al minimizar los errores humanos mediante de controles visuales y multitáctiles. En el ámbito fotovoltaico, esta combinación responde al seguimiento solar eficiente, facilitando la captación de energía y fomentando la sostenibilidad del sistema. En la Tabla 2 se presenta la integración del HMI-PLC en los sistemas.

Tabla 2

Beneficios de la integración HMI-PLC en sistemas fotovoltaicos.

Beneficio	Descripción
Centralización de datos	Los operadores acceden a información clave desde un único punto de control.
Eficiencia Operativa	Visualización gráfica y datos en tiempo real optimizan decisiones y reducen tiempos de inactividad.
Facilidad de uso	Interfaces intuitivas minimizan la necesidad de formación extensa para operadores.
Productividad mejorada	Permite ajustes rápidos y precisos, maximizando la eficiencia del sistema.
Seguridad Operativa	Los controles multitáctiles y visuales reducen errores y garantizan estabilidad.

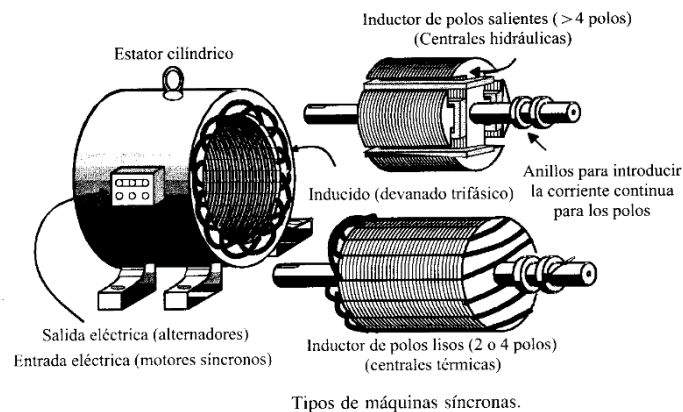
Nota. La tabla demuestra los vitales beneficios que brinda la integración del HMI y PLC en sistemas fotovoltaicos, priorizando la eficiencia, seguridad y facilidad de operación, adaptado de Silvestre y Soriano (2021).

2.2.4 Motores eléctricos

Según Nuevo (2020), los motores eléctricos son dispositivos rotativos que tienen la capacidad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, lo que a su vez genera movimiento en un eje. Su principio de operación se fundamenta en la interacción de fuerzas de atracción y repulsión que ocurren entre un campo magnético y un conductor arrollado en forma de bobina por el cual circula corriente eléctrica. Como ejemplo, se muestra la presentación visual de motores eléctricos en la Figura 7.

Figura 7

Esquema de Motores Eléctricos



Nota. La figura ilustra los componentes principales de distintos tipos de motores eléctricos y su disposición interna, mostrando elementos como el estator, el inducido y los anillos de excitación. Tomada de Martínez et al. (2024).

Es necesario detallar los tipos de motores empleados en el diseño:

- **Motores eléctricos (actuadores):**

Convierte energía eléctrica en movimiento mecánico rotativo del eje, actuando como actuadores del sistema.

- **Control desde PLC:**

El PLC gobierna posición y movimiento de los paneles mediante señales de control, ajustando la trayectoria solar requerida.

- **Selección: motores CC de bajo voltaje**

Se emplean por su respuesta precisa y control sencillo, adecuados para automatización ligera y entornos didácticos.

Ventajas principales

- **Precisión:** seguimiento fino de la trayectoria.
- **Bajo consumo:** mínima demanda energética.
- **Compacidad:** integración fácil en el soporte del panel.
- **Uso académico:** compatibles con módulos de enseñanza.

Alimentación

Operan en corriente continua y se alimentan mediante una fuente regulada (derivada del sistema fotovoltaico o de laboratorio), protegiendo y estabilizando el conjunto.

2.2.4.1 Salidas (actuadores)

Los actuadores empleados en el sistema corresponden a motores eléctricos y servomotores, encargados de transformar la señal de control enviada por el PLC en movimiento mecánico. Este movimiento permite la orientación de los paneles solares hacia la posición óptima respecto al sol, garantizando un mayor aprovechamiento de la radiación solar (Coronel y Melgarejo, 2024).

En este proyecto se considera el uso de servomotores de alto torque (40 kg·cm), los cuales ofrecen alta precisión en el posicionamiento angular, bajo consumo energético y una integración sencilla con sistemas de control automático (Ver Figura 8). Estas características hacen que sean adecuados para aplicaciones de seguimiento solar, donde se requiere un ajuste continuo y estable de la estructura.

Dentro de sus ventajas técnicas, se destacan:

- Precisión y estabilidad en el control de ángulos.
- Eficiencia energética, al consumir potencia solo cuando realizan un movimiento.
- Compatibilidad con controladores lógicos programables mediante señales PWM o digitales.
- Capacidad de respuesta rápida, adaptándose a los cambios en la posición solar.

En relación con el material presentado, el Servo 40 kg garantiza el torque necesario para desplazar la estructura de los paneles sin pérdida de fuerza ni movimientos bruscos, asegurando un funcionamiento confiable del seguidor solar (Kahelin, 2025).

Figura 8

Servomotor de alto torque 40 kg para el sistema de seguimiento solar.



Nota. El servomotor ilustrado corresponde a un modelo digital de 40 kg de torque, empleado en el sistema de seguimiento solar por su capacidad de soportar cargas elevadas y garantizar precisión en el movimiento de los ejes. Tomado de Amazon (2025).

2.2.4.2 Tarjeta de conversión de nivel de voltaje (24V a 5V).

La Tarjeta de conversión se considera un dispositivo, el cual ayuda a conectar el PLC con los equipos de campo, ya que convierte las señales de 24 V a 5 V para que sean compatibles y no causen daños por sobretensión. Al mismo tiempo, regular el voltaje, por otro lado, puede incluir optoacopladores para aislar eléctricamente el sistema y resguardar al PLC de picos de tensión o interferencias (Rico, 2025).

Asimismo, se estima fundamental ya que permite una comunicación segura y estable entre sensores, actuadores y el controlador, logrando a que cada dispositivo reciba las señales dentro de su rango apropiado. De este modo, se consigue prevenir fallos, alargar la vida útil de los aparatos y mantener así la fiabilidad del sistema (Rico, 2025).

Para fundamentar la teoría, se presenta un ejemplo real y práctico, donde un sensor de temperatura que funciona a 5 V, con su tarjeta puede interpretar correctamente la señal proveniente del PLC, que maneja a 24 V. Asimismo, la tarjeta se convierte en un elemento prioritario para lograr integración, protección y estabilidad en los sistemas de control automatizados.

2.2.4.3 Fuente de alimentación.

En este apartado se detalla a la fuente de alimentación como el componente importante en sistemas electrónicos que contienen PLC, HMI, motores y tarjetas de conversión. El funcionamiento de esta trata en transformar la energía eléctrica de corriente alterna (CA) en corriente continua (CC), que es la que necesitan estos terminales. También, de suministrar energía, como también se encarga de regular y certificar el voltaje, cuidando los equipos de variaciones, sobrecargas o picos de tensión (Huamaní, 2024).

- **Funciones principales:**
 - ✓ **Conversión de energía:** adapta la corriente alterna de la red a corriente continua para alimentar los dispositivos.
 - ✓ **Regulación de voltaje:** asegura una salida constante y estable, independientemente de fluctuaciones en la entrada o en la carga conectada.
 - ✓ **Protección del sistema:** integra fusibles y limitadores de corriente que evitan daños por cortocircuitos o sobrecargas.
- **Relevancia en entornos académicos y de laboratorio:**

Las fuentes con salida regulada en corriente continua resultan idóneas por su fiabilidad, ya que garantizan prácticas seguras y continuas, minimizan riesgos de averías y extienden la vida útil de los equipos. Asimismo, contribuyen a la protección de los dispositivos sensibles y ofrecen un entorno más seguro para estudiantes e investigadores al reducir incidentes eléctricos (Huamaní, 2024).

2.2.5 Tarjeta de conversión de nivel de voltaje

La tarjeta de conversión de nivel de voltaje actúa como un intermediario entre el PLC (que trabaja comúnmente a 24 V) y los dispositivos de campo (sensores y actuadores que suelen operar a 5 V). Su función principal es garantizar la compatibilidad de señales, evitando daños por sobretensión y asegurando una comunicación confiable entre todos los elementos del sistema.

Entre sus características más importantes se encuentran:

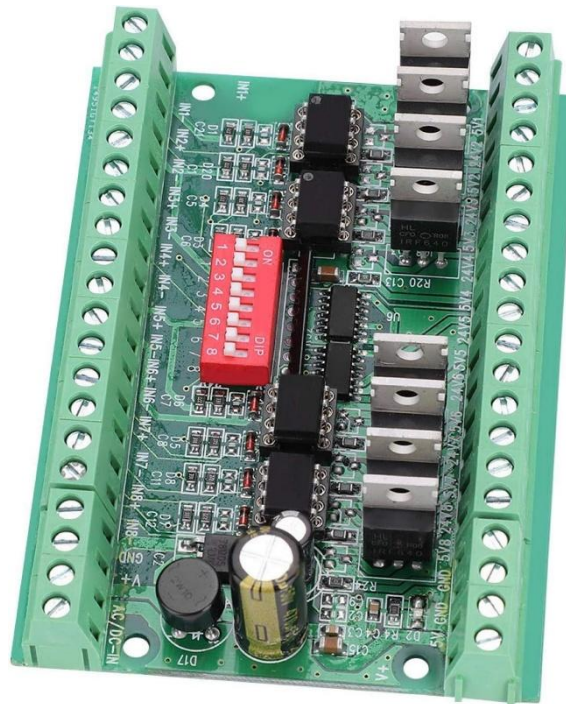
- **Adaptación de voltaje:** convierte señales de 24 V a 5 V (y viceversa).

- **Protección del sistema:** incorpora aislamiento mediante optoacopladores, reduciendo el riesgo de interferencias y picos de tensión.
- **Compatibilidad:** permite que dispositivos con diferentes rangos de operación trabajen juntos en el mismo entorno de control.
- **Estabilidad en la comunicación:** asegura que las señales transmitidas y recibidas sean interpretadas correctamente por el PLC y los actuadores/sensores.

La figura 9 indica la Tarjeta de conversión de nivel de voltaje utilizada como interfaz entre el PLC (24 V) y los dispositivos de campo (5 V). Este módulo asegura la compatibilidad eléctrica, evitando daños en los componentes de bajo voltaje y garantizando una comunicación segura y estable en el sistema de automatización.

Figura 9

Tarjeta de conversión de nivel de voltaje Yunir de 8 canales (5V/24V).



Nota. La tarjeta de conversión mostrada permite adaptar señales de 5V a 24V y viceversa, garantizando la compatibilidad entre el PLC y otros dispositivos electrónicos del sistema. Tomado de Amazon (2025).

2.2.6 Fuente de alimentación

- La corriente continua (CC) regulada y estable, que se obtiene mediante la conversión de la energía eléctrica en la red, es un componente esencial del sistema automatizado; esto es así porque es necesaria para que los aparatos electrónicos funcionen (Krindges et al., 2024). En este proyecto, se encarga de ofrecer 5 V/5 A para alimentar los módulos de control, sensores y actuadores, asegurando una provisión segura y confiable.
- La importancia de esto radica en:
- **Estabilidad:** garantiza un voltaje uniforme, previniendo cambios que podrían perjudicar el funcionamiento de la tarjeta de conversión, los servomotores o el PLC.
- **Protección:** incluye sistemas que previenen cortocircuitos, sobrecargas y sobrevoltajes, lo que extiende la vida de los componentes.
- **Seguridad:** Su carcasa metálica perforada permite una disipación pasiva del calor, lo que disminuye el peligro de sobrecalentamiento y averías.

En esta investigación se usa la fuente de alimentación PHEVOS 5 V/5 A, que es muy común en proyectos de automatización y electrónicos por su confiabilidad, tamaño reducido y eficacia.

La Figura 10 exhibe una fuente de alimentación de la marca PHEVOS, que se usa con frecuencia en proyectos electrónicos para convertir la corriente alterna (CA) que viene de la red eléctrica en corriente continua (CC) estable. Este modelo particular posibilita la regulación del voltaje, por ejemplo, a 5 V o 24 V dependiendo de cómo se configure; esto garantiza que los aparatos conectados funcionen adecuadamente.

Figura 10

Fuente de alimentación PHEVOS 5 V/5 A utilizada en el sistema automatizado.



Nota. La figura indica que la fuente de alimentación PHEVOS de 5V y 5A se utiliza para suministrar energía estable a los componentes electrónicos del sistema de automatización, asegurando un funcionamiento confiable. Adaptado de Amazon (2025).

2.3 Simulación de Sistemas Fotovoltaicos

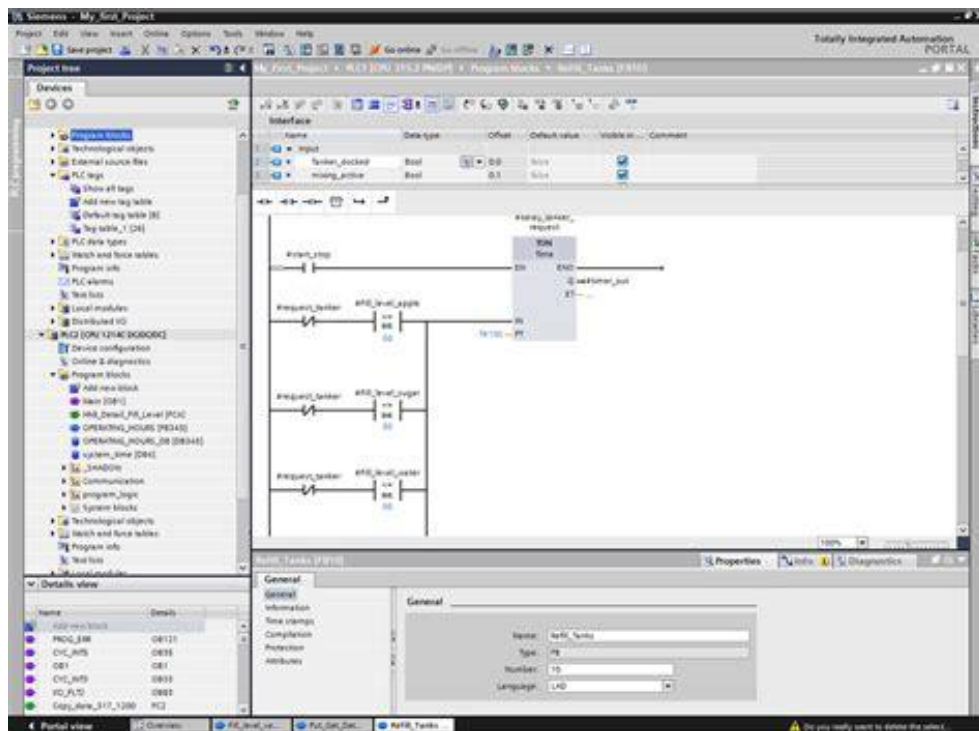
La simulación en el campo de la automatización y control de sistemas fotovoltaicos no se restringe solamente a dimensionar energéticamente, sino que también incluye validar procesos e interactuar con los equipos de campo. En estas circunstancias, resulta esencial utilizar TIA Portal para desarrollar y verificar el prototipo de seguimiento solar.

TIA Portal es una plataforma de programación y simulación de controladores lógicos programables (PLC), cuyo propósito es simular y validar el desempeño del sistema de control antes de que sea implementado físicamente. Esta herramienta permite verificar la lógica de seguimiento solar, identificar posibles fallos en el control y modificar parámetros sin arriesgar los equipos reales (Siemens, 2023).

Así, TIA Portal se transforma en el software fundamental para asegurar que la automatización del sistema fotovoltaico sea fiable, eficaz y segura; esto lo logra al ofrecer un ambiente que combina programación, diseño y simulación en una única plataforma. La Figura 11 muestra la programación de TIA Portal para la fuente de alimentación PHEVOS 5 V/5 A.

Figura 11

Fuente de alimentación PHEVOS 5 V/5 A empleada en el sistema de automatización.



Nota. La figura muestra el entorno gráfico de TIA Portal, donde se configuran los dispositivos y se desarrollan programas en lenguaje Ladder para validar la lógica de control en sistemas automatizados. Tomada de Mercado (2019).

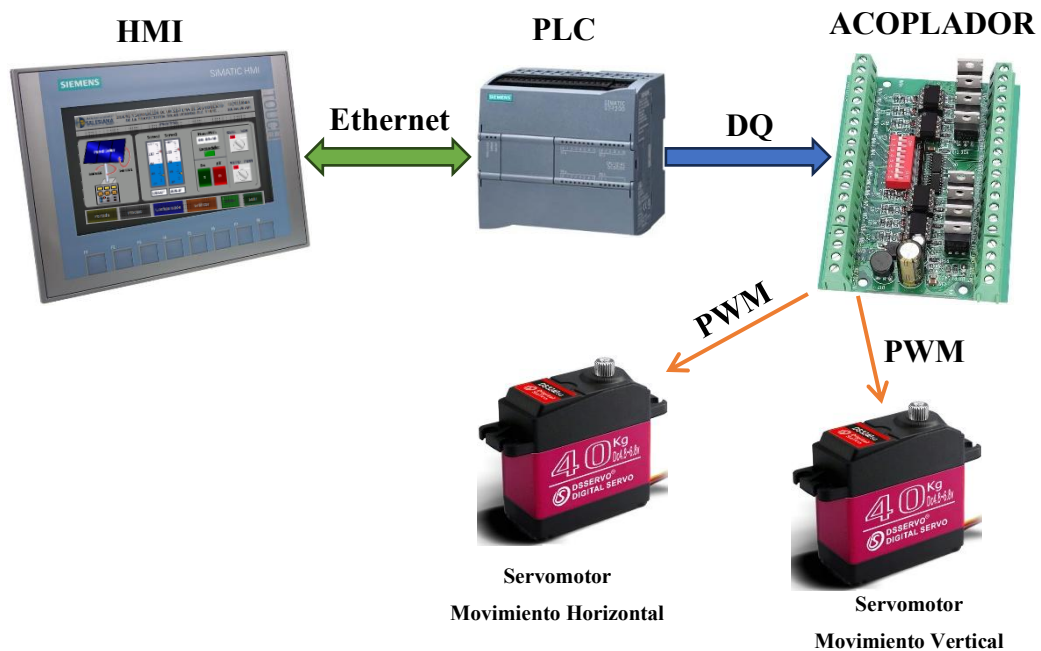
3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Conexiones y equipos.

En el presente trabajo de titulación se ha considerado la utilización de un controlador lógico programable de S7-1200, un panel de operador táctil de 7 pulgadas, dos servomotores DC y una placa para el acoplamiento de señales de 24 y 5V. En la Figura 12, un esquema simplificado de las conexiones realizadas entre los diferentes componentes:

Figura 12

Diagrama de bloques y su interconexión



Nota. Esquema de conexiones para el sistema de posicionamiento de panel solar con dos ejes.

La comunicación entre el PLC y el HMI se realiza mediante Ethernet considerando cable multipar y conectores RJ45 según lo requerido por el fabricante. Esta comunicación es importante para el intercambio de parámetros como valores angulares aplicados como referencia hacia los servomotores en modo manual y automático, así como la lectura de hora que tiene el PLC para poder asignar la posición del panel.

El servo motor Eje 1 se encarga de controlar la posición vertical del panel según la hora del día en modo automático y el servomotor Eje2 se controla de forma manual para
















la ubicación inicial de la estructura según el lugar de instalación del sistema considerando que el movimiento del panel debe coincidir con la trayectoria de Este a Oeste tal como se mueve el sol durante el día.

3.2 Programación del Controlador Lógico.

El controlador lógico programable utilizado en esta aplicación cuenta con entradas y salidas físicas que corresponden a elementos que se pueden conectar a través de cableado paralelo y a una tensión de 24Vdc en caso de ser controlado por un operador desde un tablero eléctrico. Sin embargo, hay que recordar que el proyecto hace un mayor énfasis en la interacción principal con el panel de operador táctil. En la Figura 13 se puede observar el listado de entradas y salidas físicas utilizadas por el PLC considerando pulsadores para la puesta en marcha, indicadores luminosos para conocer el estado de trabajo del sistema (manual/automático), salidas de tipo pulsante controladas a través de modulación de ancho de pulso (PWM).

Figura 13

Listado de variables de entradas y salidas del PLC

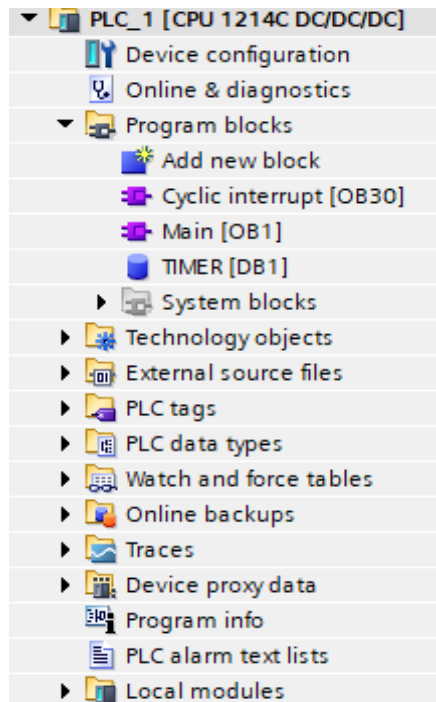
PLC tags				
	Name	Tag table	Data type	Address ▲
1	 PB_MARCHA	Default tag table	Bool	%I0.0
2	 PB_PARO	Default tag table	Bool	%I0.1
3	 SW_MAX_EJE1	Default tag table	Bool	%I0.2
4	 SW_MIN_EJE1	Default tag table	Bool	%I0.3
5	 SW_MAX_EJE2	Default tag table	Bool	%I0.4
6	 SW_MIN_EJE2	Default tag table	Bool	%I0.5
7	 LDR1	Default tag table	Int	%IW64
8	 LDR2	Default tag table	Int	%IW66
9	 PWM_SERVO1	Default tag table	Bool	%Q0.0
10	 PWM_SERVO2	Default tag table	Bool	%Q0.2
11	 AUTOMATICO	Default tag table	Bool	%Q0.3
12	 MANUAL	Default tag table	Bool	%Q0.4
13	 ON_OFF	Default tag table	Bool	%Q0.5
14	 EJE1_PWM_UINT	Default tag table	UInt	%QW1000
15	 EJE2_PWM_UINT	Default tag table	UInt	%QW1002

Nota. Entradas representadas con la letra I y salidas con la letra Q.

La estructura configurada en TIA PORTAL se puede visualizar en la Figura 14 mediante el árbol, en la cual se puede observar la utilización de dos bloques de programación principal, OB30 y OB1.

Figura 14

Árbol de proyecto - PLC

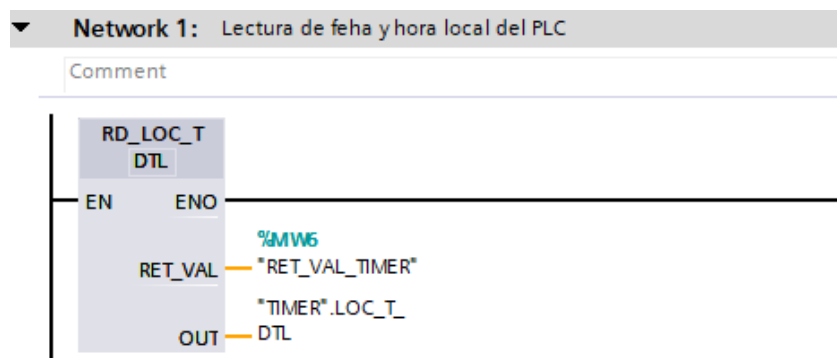


Nota. Bloques de programación, funciones y bloques de función del proyecto.

OB30 corresponde a un bloque de ejecución cíclica con un tiempo de muestreo de 1000 ms y en este caso es utilizado para la lectura periódica de la hora local del PLC mediante el bloque RD_LOC_T como se muestra en la Figura 15.

Figura 15

Programación de bloque OB30

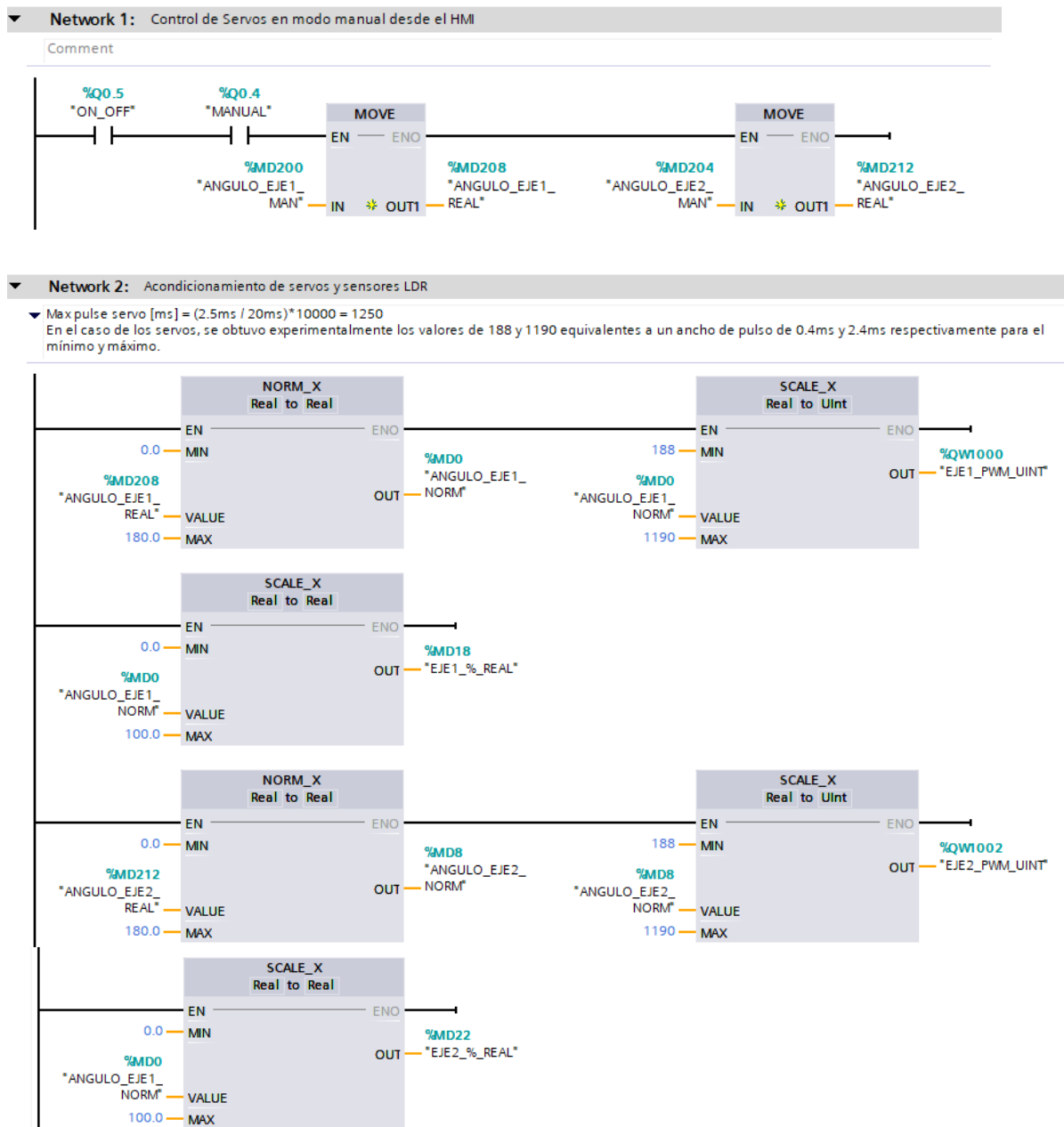


Nota. Lectura de fecha y hora local cada 1 segundo.

El bloque organizacional OB1 tiene la estructura principal de control para posición del panel solar y está conformado por 9 segmentos con diferentes funciones relevantes para el proyecto. Todos los segmentos cuentan con el respectivo comentario que permite la comprensión de la lógica implementada a diferentes usuarios. En la Figura 16, se puede observar 2 segmentos de programación para la asignación de los valores angulares a los servomotores de los dos ejes en modo manual, así como el escalamiento de señales.

Figura 16

Segmentos 1 y 2 – OB1



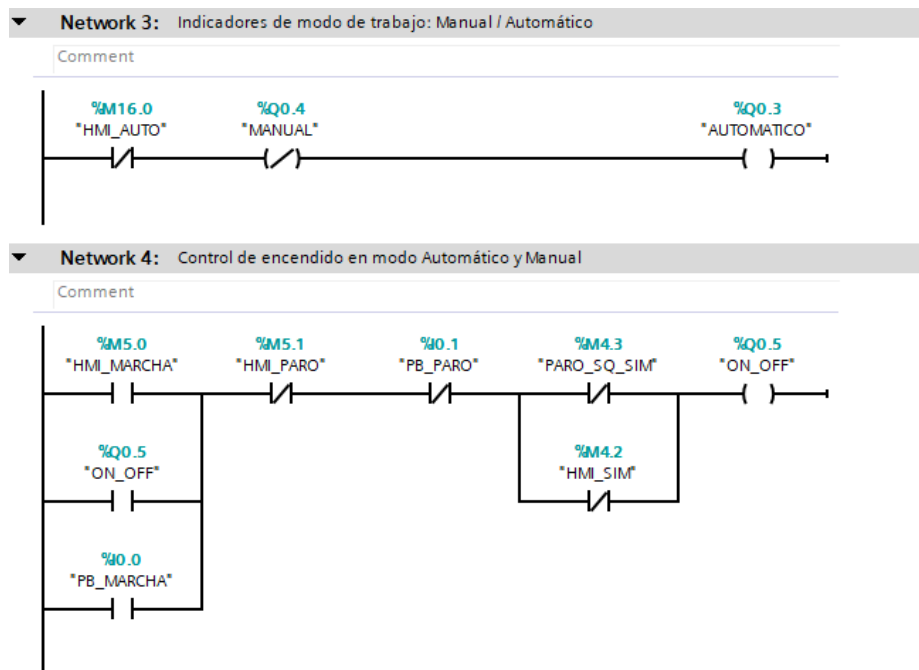
Nota. Modo manual y acondicionamiento de señales.

En el segmento 1 se utiliza los bloques MOVE para transferir los valores angulares seteados en la pantalla para ser aplicados directamente al servomotor. En el segmento 2 se observa la conversión del valor angular considerado en el PLC a valores equivalentes para la modulación de ancho de pulso, en este caso de 188 a 1190. Estos valores se han obtenido de forma experimental mediante la aplicación de valores al servomotor y la visualización del ángulo de rotación recorrido por el actuador, idealmente estos valores deberían estar entre 0 y 1250, correspondiente a 0ms y 2.5ms dependiendo de las características del servomotor.

En el segmento 3 se encuentra la activación de luces piloto para el modo de trabajo, manual o automático. En el segmento 4 se encuentra el control de encendido del posicionamiento de paneles en ambos modos de trabajo y se puede realizar con las entradas físicas, así como desde el panel de operador como se aprecia en la Figura 17.

Figura 17

Segmentos 3 y 4 – OBI

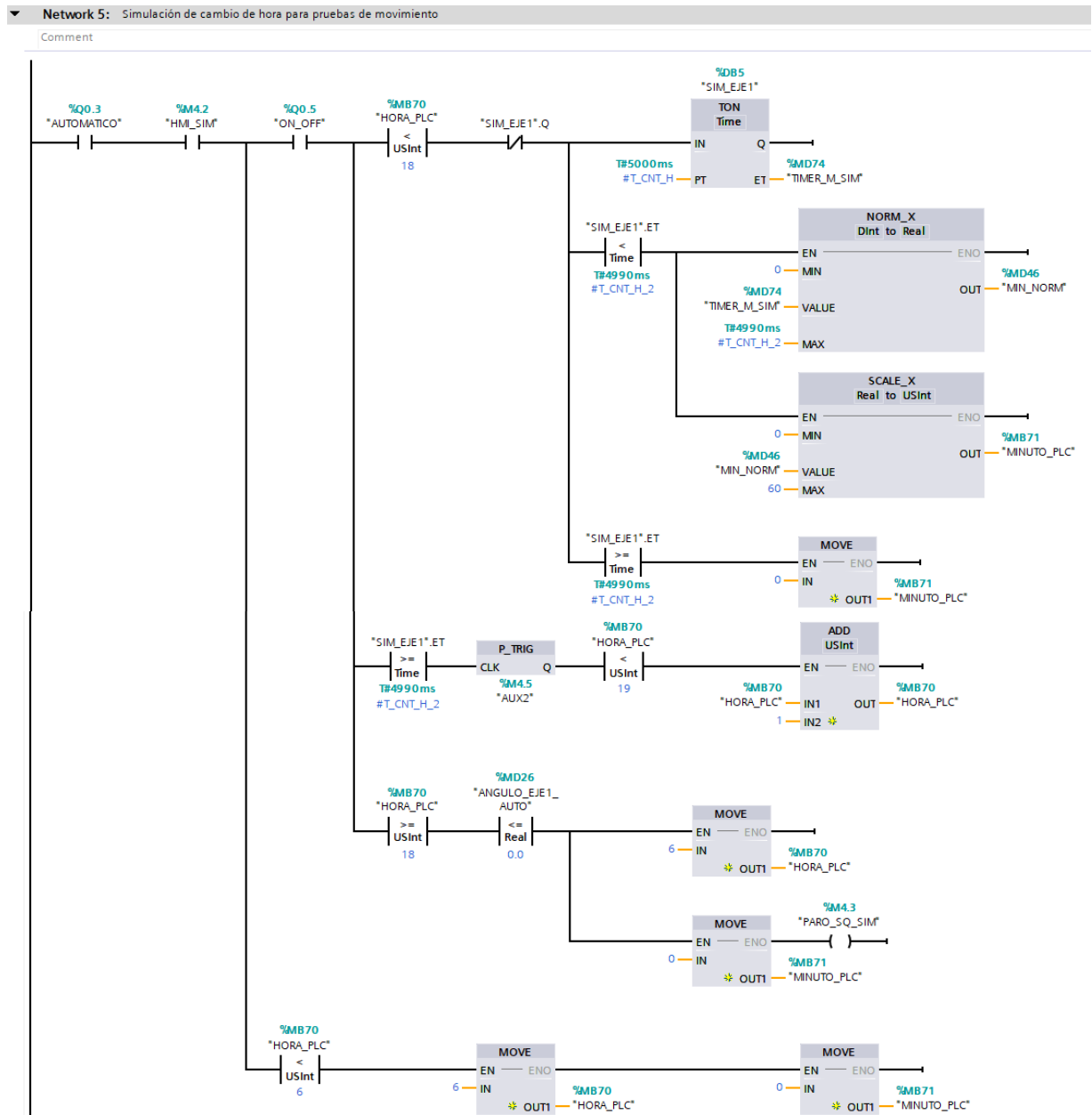


Nota. Indicador de modo de trabajo y control de encendido.

Como se puede observar en la Figura 18, el segmento 5 tiene la función de simular el incremento de horas desde las 06h00 hasta las 18h00 con una velocidad mayor para observar el funcionamiento correcto del servomotor. Esta rutina considera el retorno automático del servomotor 1 en las horas menor a 6m y mayor a 6pm.

Figura 18

Segmento 5 – OBI



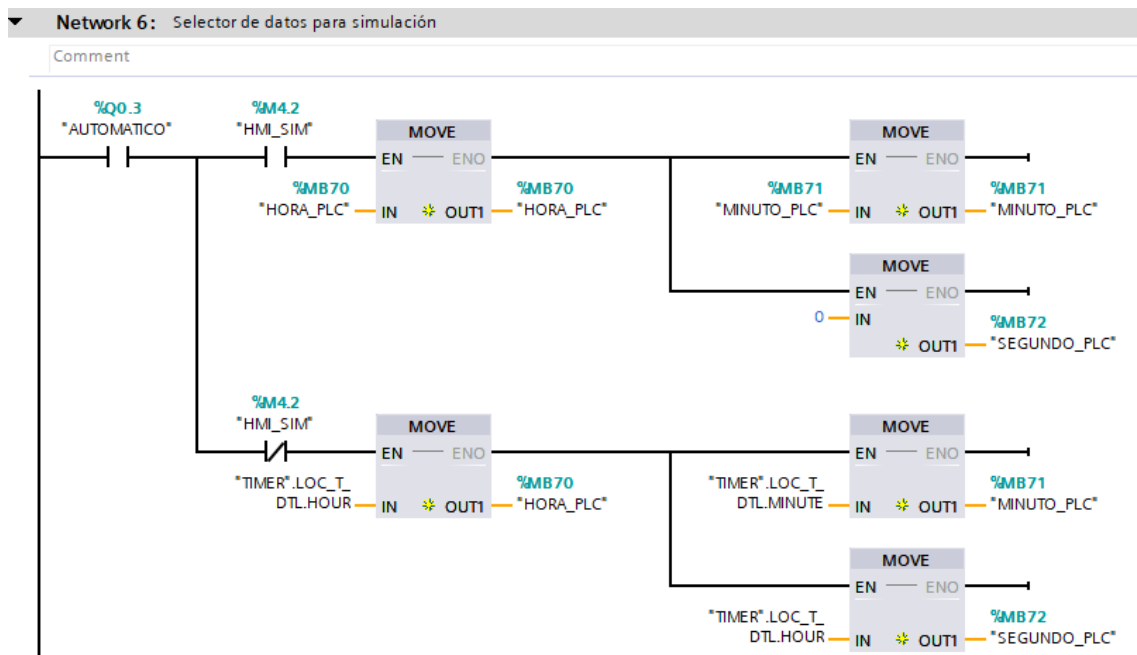
Nota. Indicador de modo de trabajo y control de encendido.

En este segmento también se encuentra la rutina de retorno del panel para un horario fuera de rango para movimiento. El temporizador Retorno genera pulsos de 100ms teniendo un tiempo de regreso entre 9 y 10 segundos aproximadamente.

Como se puede observar en la Figura 19 el modo de operación automático verifica el rango horario para mover el servo el cual se encuentra entre las 6am y las 6pm, en función de ello se aplica un valor proporcional en el ancho de pulso para control del servo.

Figura 19

Segmento 6 – OBI



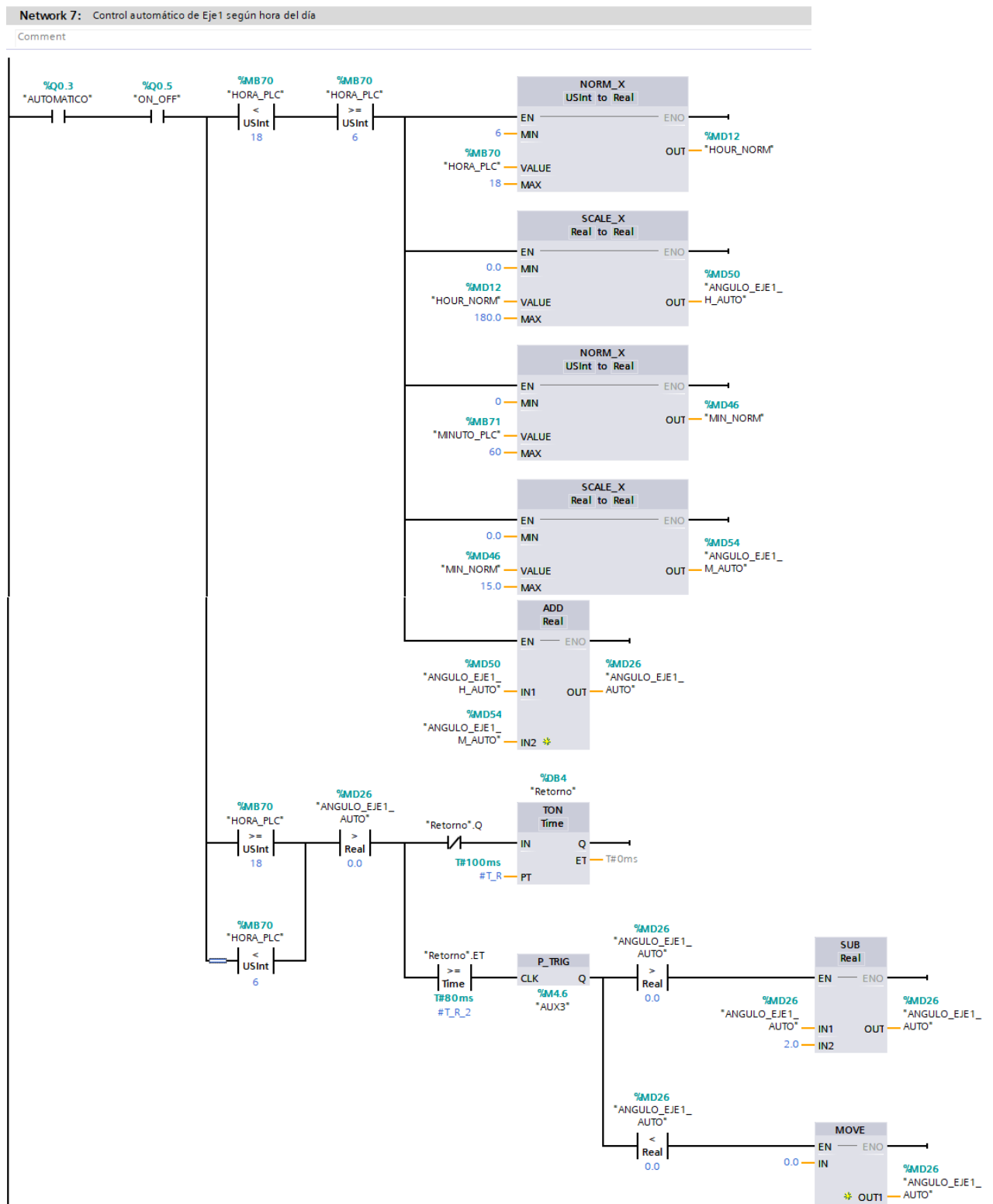
Nota. Selección de hora para hora local o simulación.

En este segmento también se encuentra la rutina de retorno del panel para un horario fuera de rango para movimiento. El temporizador Retorno genera pulsos de 100ms teniendo un tiempo de regreso entre 9 y 10 segundos aproximadamente.

Como se puede observar en la Figura 20, el modo de operación automático verifica el rango horario para mover el servo el cual se encuentra entre las 6am y las 6pm, en función de ello se aplica un valor proporcional en el ancho de pulso para control del servo.

Figura 20

Segmento 7 – OBI

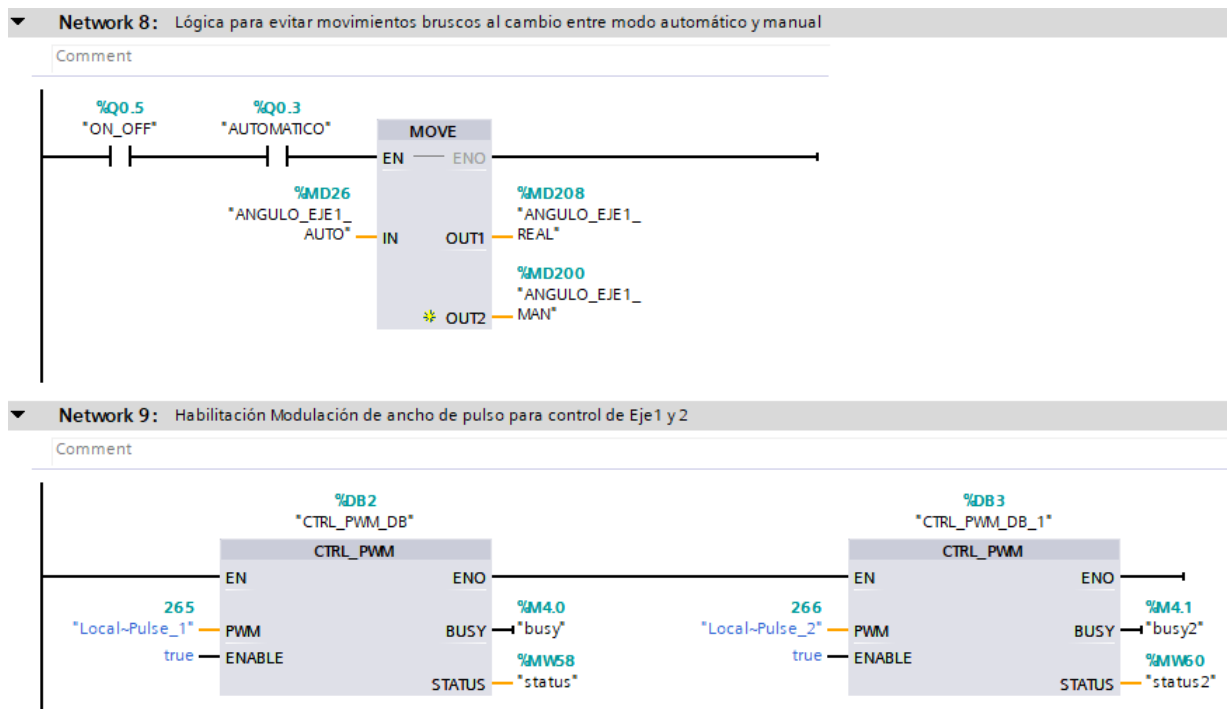


Nota. Control de movimiento para el Eje1 en modo automático.

En el segmento 8 se considera la transferencia del valor de posición del servomotor1 en modo automático para la variable que se maneja en modo manual con la finalidad de que al momento de hacer el cambio de automático a manual no exista un cambio brusco. Como se puede observar en la Figura 21, el segmento 9 permite la activación de las funciones PWM en los canales 1 y 2 correspondientes a las salidas Q1.0 y Q1.1 para el eje1 y eje2 respectivamente.

Figura 21

Segmentos 8 y 9 – OBI



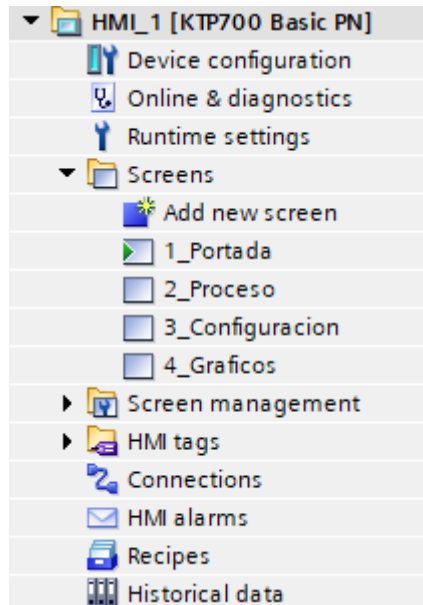
Nota. Activación de PWM y seguridades.

3.3 Interfaz Humano-Máquina.

Para el control y monitoreo del proceso se ha diseñado una aplicación HMI que consta de 4 pantallas: Portada, Proceso, Configuración y Gráficos. Esto se puede observar en el árbol del proyecto como en la Figura 22.

Figura 22

Árbol de proyecto - HMI



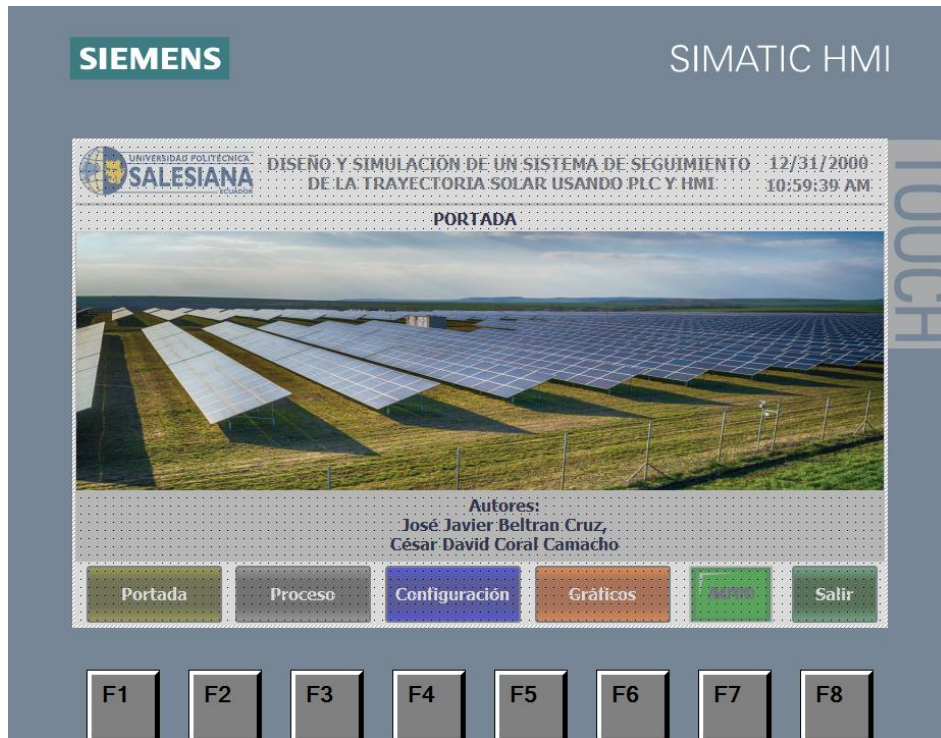
Nota. Configuración de elementos utilizados en la interfaz de operador.

3.3.1 Pantalla “1_Portada”

Esta pantalla es la primera que se apreciará al momento de energizar el panel y permite el acceso a la pantalla de proceso (modo automático) y a la pantalla de configuración (modo manual). Hay que tener en cuenta que el acceso a las pantallas depende del modo de trabajo seleccionado y si el sistema se encuentra encendido, los botones para navegación entre pantallas se pueden observar en la Figura 23.

Figura 23

Pantalla inicial de interfaz humano - máquina



Nota. Datos informativos del trabajo de titulación.

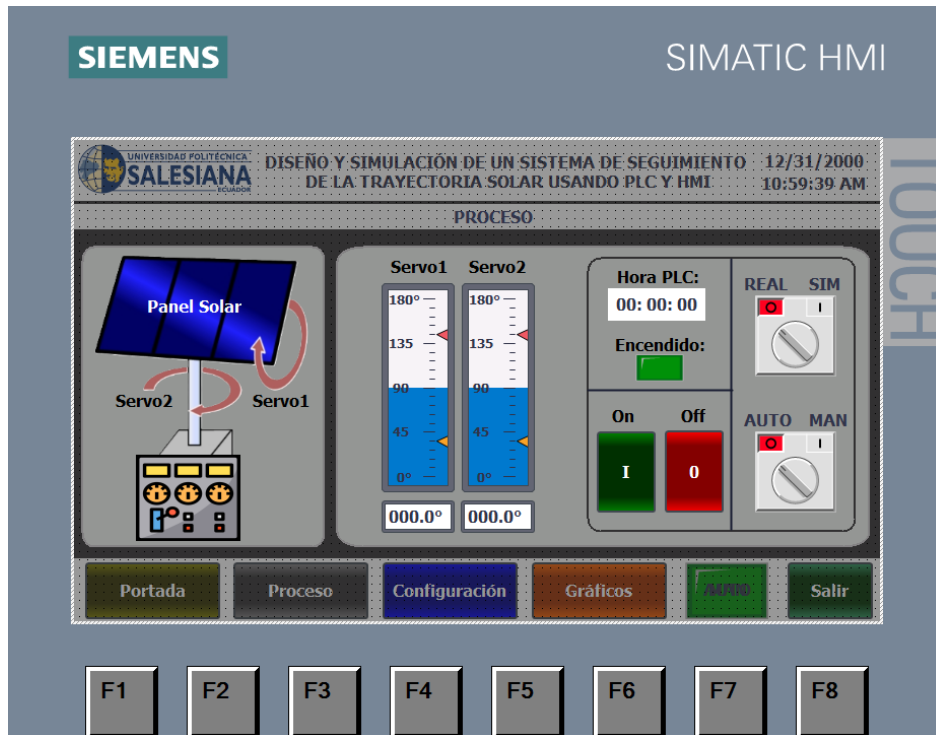
3.3.2 Pantalla “2_Proceso”

La pantalla de Proceso permite controlar el movimiento del Eje1 en función de la hora del día. El horario considerado para el movimiento es de 06h00 a 18h00 considerando posiciones angulares en un rango de 0° a 180° respectivamente. El Eje 2 se mantiene fijo ya que el mismo se controla de forma manual y se ajusta a la hora de la instalación o en el primer día de trabajo para tener una trayectoria que permita captar la mayor cantidad de energía a través del panel solar.

Como se observa en la Figura 24, esta pantalla se tiene la opción de realizar una simulación de cambio horario para observar si los ejes están calibrados y trabajan de forma correcta; esto se habilita a través del selector con opciones REAL y SIM que corresponden a el trabajo con la hora real obtenida desde el PLC o con una hora simulada que cambia cada 5 segundos de 6am a 6pm considerando la rutina de retorno a cero al término de la jornada.

Figura 24

Pantalla de proceso para control automático de servos



Nota. Los motores se mueven en función de la hora del día.

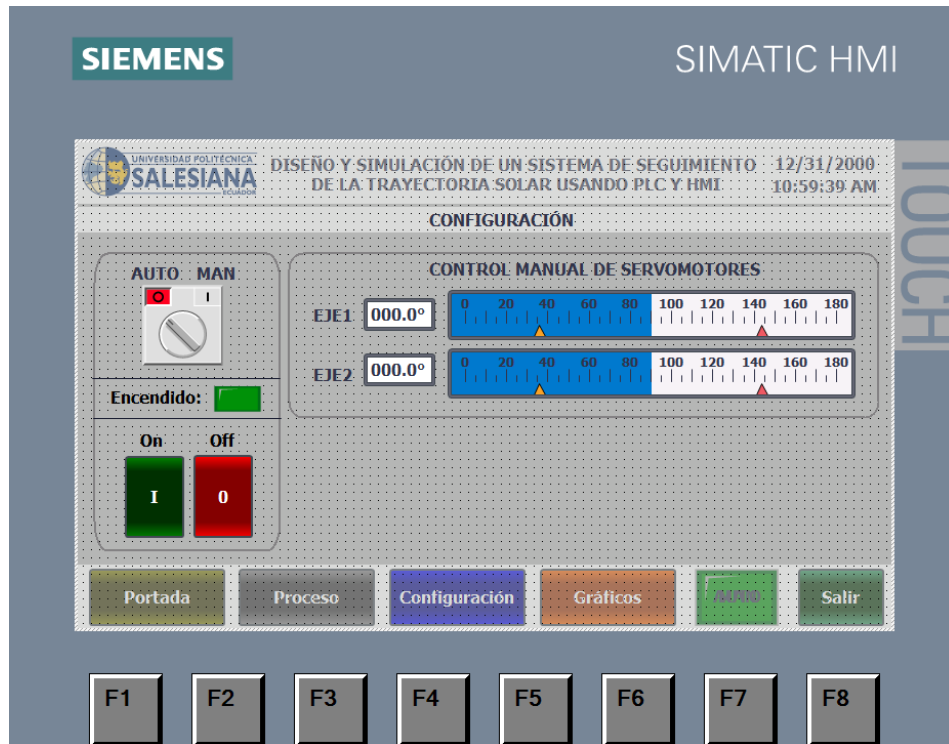
Esta simulación de horario tiene un tiempo de ejecución de 1.5 minutos aproximadamente. En cualquiera de los casos, el movimiento de los servos se habilita y deshabilita con los botones de Marcha y Paro con los colores verde y rojo respectivamente.

3.3.3 Pantalla “3_Configuracion”

A través de esta pantalla puede controlar de forma manual cada uno de los servomotores correspondientes a los Ejes 1 y 2, esto se puede apreciar en la Figura 25.

Figura 25

Pantalla de configuración y control manual de servos



Nota. Los motores se mueven en función del valor fijado en los controles numéricos.

En los controles numéricos se puede ubicar los ángulos de 0° a 180° que internamente son convertidos a un valor adimensional que va de 188 a 1190 lo que implica cambios en el ancho de pulso aplicado a la señal de control de los servos. Es importante mencionar que estos valores son aplicados siempre y cuando se active el sistema a través de los botones On y Off de color verde y rojo respectivamente.

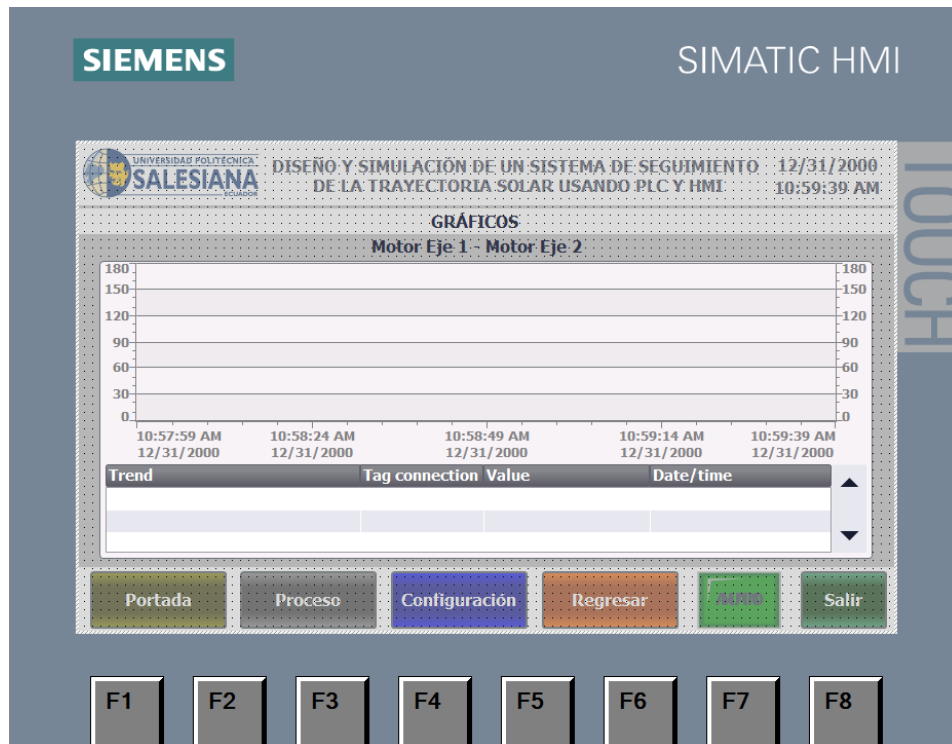
3.3.4 Pantalla “4_Graficos”

Como se puede observar en la Figura 26, en esta pantalla es posible tener la visualización de los valores angulares de cada eje con respecto al paso del tiempo. Para el eje1 se ha considerado el color negro y para el eje2 el color rojo respectivamente. El eje horizontal tiene programado un tiempo de 100 segundos (1 min 40 segundos) para observar el comportamiento de las señales. En eje vertical de la gráfica se encuentra en grados considerando el rango total de movimiento desde 0 hasta 180° .

Cabe mencionar que los botones de la sección inferior están habilitados según la operación actual del sistema, es decir, si están trabajando en modo automático se habilita el botón de retorno para la pantalla de proceso así mismo como el modo manual y la pantalla configuración.

Figura 26

Pantalla de visualización de valores angulares



Nota. Se considera la evolución temporal de los ejes.

En la Figura 27 se presenta la tabla de variables utilizada en el HMI para la comunicación con el PLC para visualización de variables y operación del sistema. Como es habitual en la comunicación de equipos de la marca Siemens, se está utilizando un direccionamiento simbólico (*symbolic address*) para tener un canal directo de envío – recepción de datos.

Se ha considerado un tiempo de adquisición de información de 100 milisegundos para todas las variables y así tener una interacción amigable al usuario sin generar retardos en la actualización de datos.

Figura 27

Variables utilizadas en el HMI

HMI tags									
Name ▲	Tag table	Data type	Connection	PLC name	PLC tag	Address	Access mode	Acquisition cycle	
ANGULO_EJE1_MAN	Default tag table	Real	HMI_Connection_2	PLC_2	ANGULO_EJE1_MAN		<symbolic access>	100 ms	
ANGULO_EJE1_REAL	Default tag table	Real	HMI_Connection_2	PLC_2	ANGULO_EJE1_REAL		<symbolic access>	100 ms	
ANGULO_EJE2_MAN	Default tag table	Real	HMI_Connection_2	PLC_2	ANGULO_EJE2_MAN		<symbolic access>	100 ms	
ANGULO_EJE2_REAL	Default tag table	Real	HMI_Connection_2	PLC_2	ANGULO_EJE2_REAL		<symbolic access>	100 ms	
AUTOMATICO	Default tag table	Bool	<Internal tag>		<Undefined>			100 ms	
HMI_AUTO	Default tag table	Bool	HMI_Connection_2	PLC_2	HMI_AUTO		<symbolic access>	100 ms	
HMI_MARCHA	Default tag table	Bool	HMI_Connection_2	PLC_2	HMI_MARCHA		<symbolic access>	100 ms	
HMI_PARO	Default tag table	Bool	HMI_Connection_2	PLC_2	HMI_PARO		<symbolic access>	100 ms	
HMI_SIM	Default tag table	Bool	HMI_Connection_2	PLC_2	HMI_SIM		<symbolic access>	100 ms	
HORA_PLC	Default tag table	USInt	HMI_Connection_2	PLC_2	HORA_PLC		<symbolic access>	100 ms	
MINUTO_PLC	Default tag table	USInt	HMI_Connection_2	PLC_2	MINUTO_PLC		<symbolic access>	100 ms	
ON_OFF	Default tag table	Bool	HMI_Connection_2	PLC_2	ON_OFF		<symbolic access>	100 ms	
SEGUNDO_PLC	Default tag table	USInt	HMI_Connection_2	PLC_2	SEGUNDO_PLC		<symbolic access>	100 ms	
TIMER_LOC_T_DTL_HOUR	Default tag table	USInt	HMI_Connection_2	PLC_2	*TIMER*.LOC_T_DTL.HOUR		<symbolic access>	100 ms	
TIMER_LOC_T_DTL_MINUTE	Default tag table	USInt	HMI_Connection_2	PLC_2	*TIMER*.LOC_T_DTL.MINUTE		<symbolic access>	100 ms	
TIMER_LOC_T_DTL_SECOND	Default tag table	USInt	HMI_Connection_2	PLC_2	*TIMER*.LOC_T_DTL.SECOND		<symbolic access>	100 ms	

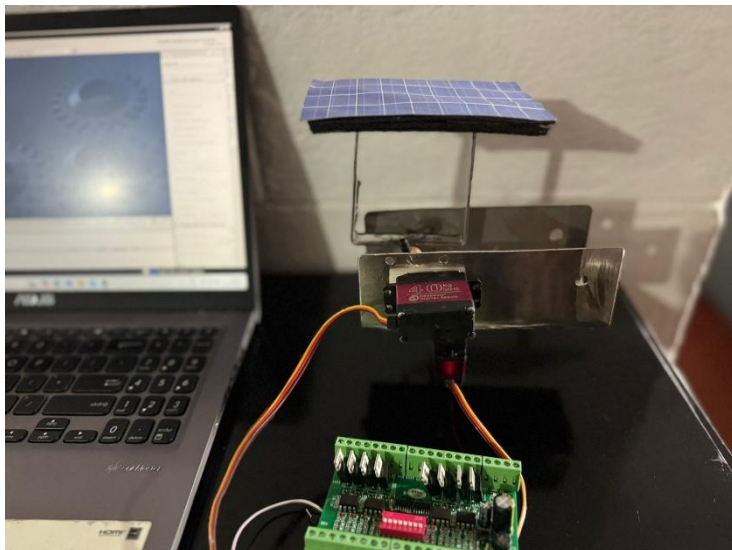
Nota. Detalle de las variables utilizadas en el panel.

3.4 Diseño del prototipo.

Para poner a prueba el sistema propuesto en el presente trabajo de titulación se ha considerado un prototipo a escala reducida con dos servomotores digitales DS3240 con una capacidad de 40kg con engranajes metálicos. En la Figura 28 que se encuentra adjunta se puede observar el prototipo implementado para pruebas de laboratorio.

Figura 28

Prototipo diseñado



Nota: Modelo a escala del sistema.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados de la interfaz HMI

Se diseñaron y probaron cuatro pantallas en el HMI para verificar el control y monitoreo del sistema: Portada, Proceso, Configuración y Gráficos. Se energizó el panel de operador táctil y se verificó la navegación entre pantallas en los modos manual y automático. La Figura 29 muestra que la portada garantiza que el usuario pueda identificar el sistema desde su inicio y seleccionar la operación deseada, cumpliendo con el objetivo de diseñar la programación de pantallas de la HMI.

Figura 29

Portada de la HMI



Nota. Pantalla inicial del sistema, que permite acceder al modo automático y manual.

En el modo automático se programó que el Eje 1 se mueva de 0° a 180° según la hora del día (06h00–18h00), mientras que el Eje 2 permanece fijo. La Figura 30 muestra la interfaz que refleja el movimiento del Eje 1 en relación con el tiempo. El sistema verifica su funcionamiento automático al replicar el camino del sol en el intervalo de tiempo fijado.

La Figura 30 muestra la interfaz que refleja el movimiento del Eje 1 en relación con el tiempo. El sistema verifica su funcionamiento automático al replicar el camino del sol en el intervalo de tiempo fijado.

Figura 30

Pantalla de proceso del HMI



Nota. Pantalla de monitoreo en modo automático que muestra el control del Eje 1.

Se introdujeron, desde el HMI, valores angulares (0° - 180°) en la modalidad manual, los cuales se transformaron internamente a señales PWM para los servomotores.

La Figura 31, en su caso, muestra que la configuración manual posibilita verificar la exactitud del control, lo que demuestra que el operador tiene la capacidad de modificar la posición de los dos ejes sin estar sujeto al ciclo horario.

Figura 31

Pantalla de configuración del HMI



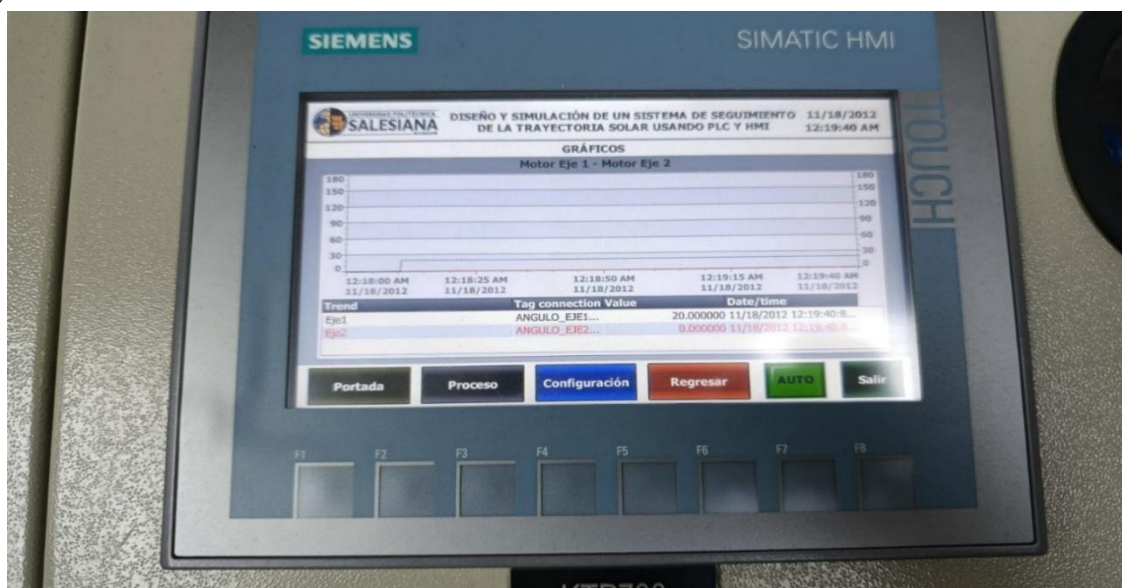
Nota. Pantalla de control manual en la que el operador ajusta directamente los ángulos de los ejes.

Después, se habilitó la visualización gráfica en el HMI para que los ángulos de los ejes fueran registrados en tiempo real.

La Figura 32 indica que los dos ejes reaccionan adecuadamente a sus modos de control, lo que demuestra la flexibilidad del sistema.

Figura 32

Gráfica del movimiento a 20°



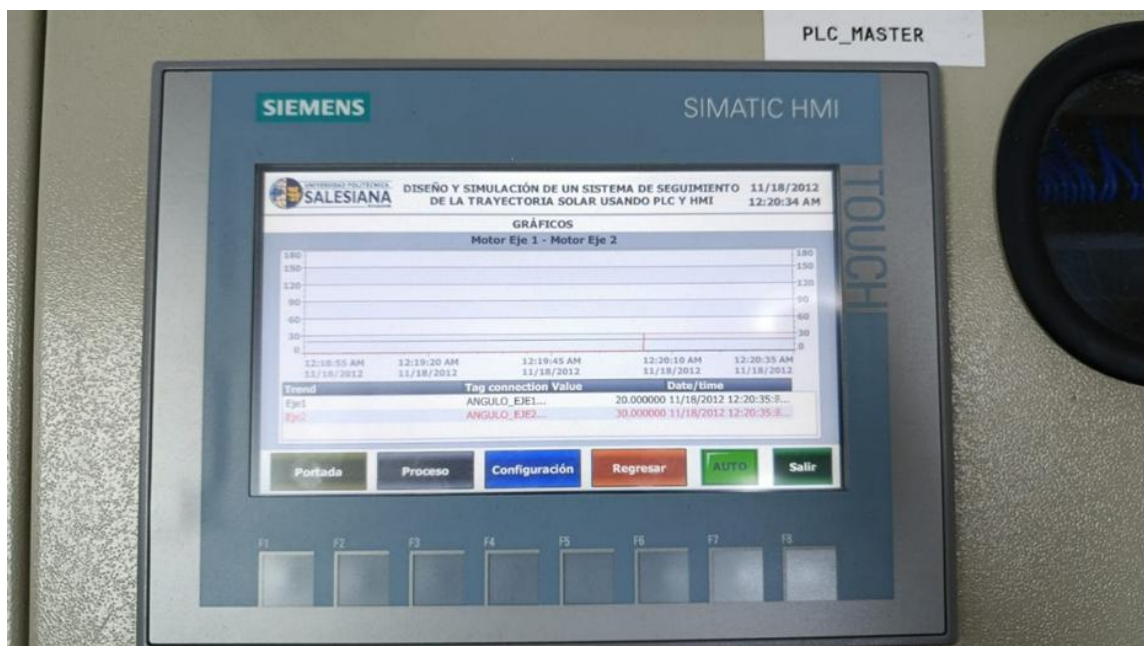
Nota. Visualización del servomotor desde el HMI con un ángulo de 20°.

Con el propósito de comprobar que el sistema funciona correctamente en modo automático, se estableció que el Eje 1 se moviera gradualmente entre los ángulos de 0° a 180°, emulando la trayectoria del sol entre las seis y las seis y media. El control se mostró en la pantalla del proceso del HMI y, además, se registró el progreso gráfico de los valores angulares en tiempo real.

La Figura 33 refleja que los dos ejes responden a las órdenes establecidas en sus respectivos modos. El Eje 1 sigue la trayectoria solar diaria de manera automática, mientras que el Eje 2 se ajusta a valores definidos por el operador. Este resultado confirma la flexibilidad del sistema, ya que demuestra que puede trabajar en modo combinado sin interferencias, cumpliendo con el objetivo de validar la programación del mecanismo de seguimiento solar mediante Ladder y HM.

Figura 33

Gráfica de los dos ejes en diferentes grados



Nota. Evolución simultánea de los ángulos del Eje 1 (automático) y Eje 2 (manual).

Asimismo, para validar el funcionamiento del sistema en modo automático, se programó que el Eje 1 se desplazara de manera progresiva entre los ángulos de 0° a 180°, simulando el recorrido solar entre las 06h00 y 18h00. El control se visualizó en la pantalla de proceso del HMI y, adicionalmente, se registró la evolución gráfica de los valores angulares en tiempo real.

La Figura 34 muestra la portada del HMI en modo automático, lo que permite al operador identificar el estado del sistema con rapidez y acceder a las pantallas de supervisión. Este descubrimiento demuestra que el propósito de diseñar las pantallas del HMI se ha cumplido, ya que posibilita la identificación exacta de los diversos modos de operación.

Figura 34

Portada del modo automático



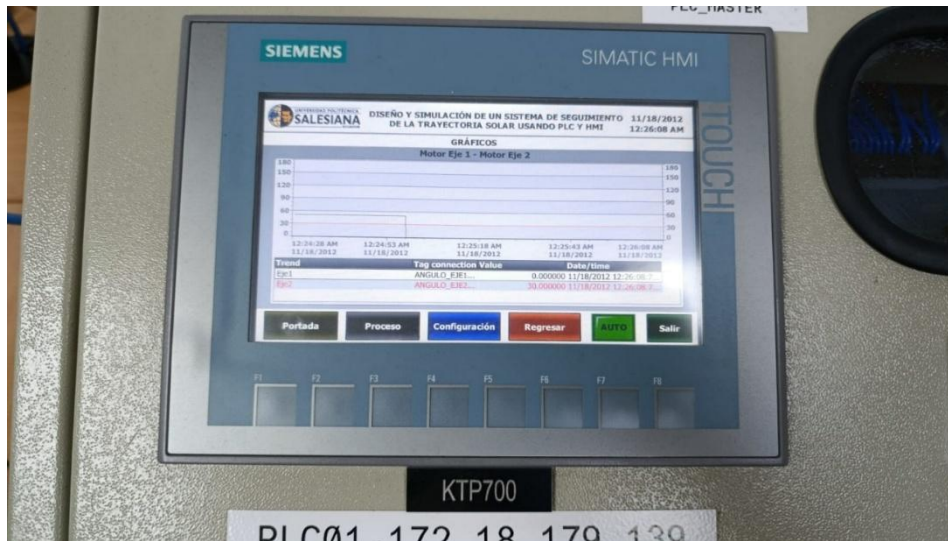
Nota. Pantalla inicial del HMI en modo automático, que permite acceder al monitoreo y control de los servomotores.

Al mismo tiempo, se programó el sistema en modo automático para que el Eje 1 realice un desplazamiento progresivo desde los 0° hasta los 180°, representando el movimiento solar entre las 06h00 y las 18h00. El PLC ejecutó la rutina de control en Ladder, y el HMI registró los valores angulares en tiempo real. Al finalizar la jornada, se activó la rutina de retorno automático para que el panel vuelva a su posición inicial.

La Figura 35 evidencia que el servomotor reproduce de manera fiel la trayectoria solar diaria. Se observa la evolución angular en el tiempo y la rutina de retorno al valor inicial una vez finalizada la jornada. Con este resultado se demuestra el cumplimiento del objetivo de simular el mecanismo de seguimiento solar en laboratorio.

Figura 35

Gráfico del modo automático



Nota. Simulación gráfica del movimiento angular del Eje 1 entre 06h00 y 18h00 con retorno automático al punto inicial.

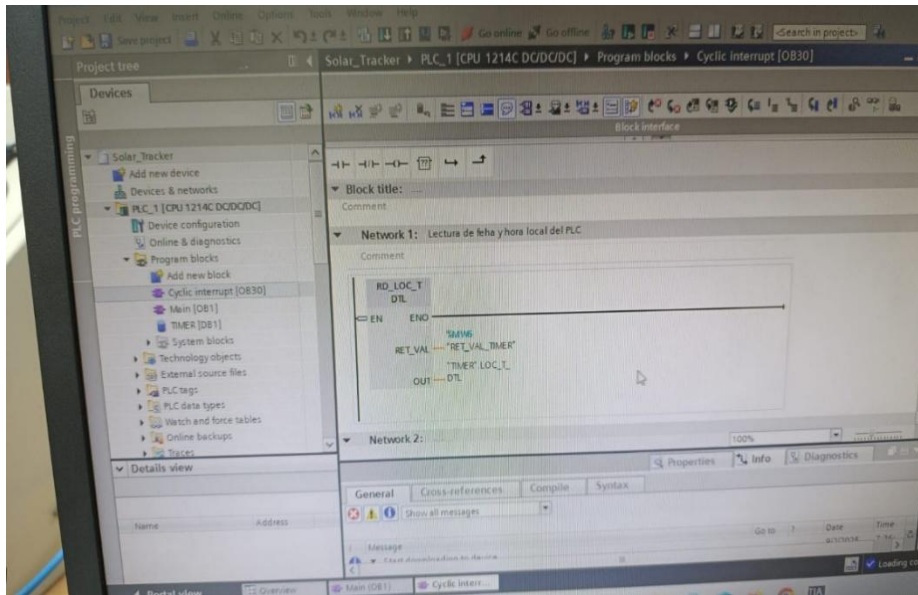
4.2.Resultados de la programación Ladder

Se programaron bloques de control en Ladder. El OB30 se configuró para la lectura periódica de la hora local en intervalos de 1 segundo.

En la Figura 36 se observa el bloque de programación encargado de la lectura de la hora local en el PLC, lo cual permite la ejecución del control del panel en tiempo real. El resultado evidencia la validez de la lógica desarrollada en lenguaje Ladder, al asegurar la precisión y confiabilidad del mecanismo de seguimiento solar.

Figura 36

Bloque OB30 en Ladder



Nota. Rutina de lectura de la hora local utilizada para el control automático del panel solar.

5. Cronograma de Actividades

En la tabla 3 se puede observar el cronograma de actividades diseñadas en tiempo aproximado para la ejecución del proyecto de grado.

Tabla 3

Cronograma de Actividades

Actividades	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Investigación y Planificación	X				
Revisión de literatura técnica y ajustes al diseño	X	X			
Diseño del sistema		X			
Optimización de la programación en Ladder		X	X		
Diseño y pruebas de las pantallas HMI		X	X		
Implementación del prototipo			X	X	
Montaje del prototipo en laboratorio			X		
Integración de PLC, HMI y servomotores			X	X	
Simulación y validación				X	
Pruebas de funcionamiento en modo manual y automático				X	
Registro de gráficas de resultados				X	
Pruebas y depuración				X	X
Identificación y corrección de errores				X	X
Documentación y presentación				X	X
Redacción de informe final y preparación de defensa					X

6. PRESUPUESTO

La tabla 4 describe los costos y gastos necesarios para llevar a cabo esta propuesta de titulación:

Tabla 4

Presupuesto

Descripción de materiales	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Envío / Estructura (USD)	Costo Total (USD)
Bocina de bronce	1	5	0	5
Plancha de acero inoxidable doblada en U	1	10	0	10
Panel solar 20W 12V	1	30.17	10	40.17
Módulo convertidor 8 canales	1	31.57	10	41.57
Fuente de poder DC 5V 5A	1	12.99	10	22.99
Servo Motor 40Kg metal gear (180°)	2	21.99	20	63.98
TOTAL				183.71

Nota: Descripción de los costos incurridos para llevar a cabo el proyecto técnico.

7. CONCLUSIONES

- En base a los beneficios que ofrece a programación en lenguaje Ladder, fue posible calibrar apropiadamente el mecanismo de seguimiento, lo que aseguró la captura de la hora en tiempo real y el control gradual del ángulo del panel solar. Esto comprueba que al incluir el PLC en la innovación tecnológica es factible y viable facilitar la automatización del sistema.
- En base al cumplimiento del objetivo específico, se diseñaron pantallas en el HMI las cuales permitieron supervisar y controlar el sistema en modos manual y sistemático, con esto el operador pudo interactuar con él y revisar sus parámetros de funcionamiento.
- Es necesario indicar que al momento de probar el sistema en el laboratorio se comprobó que el funcionamiento del prototipo es compatible y beneficioso para validar la propuesta de este proyecto, ya que sigue la trayectoria solar entre 0° y 180° y regresa a su posición inicial al terminar el día. Mediante estos resultados se alcanza la creación de un sistema de seguimiento solar con PLC y HMI.

8. RECOMENDACIONES

- Es necesario ampliar la programación en Ladder incorporando rutinas de protección adicionales que garanticen mayor seguridad ante fallos eléctricos o mecánicos.
- Además, se requiere optimizar las pantallas HMI integrando indicadores de eficiencia energética y alarmas que alerten sobre desviaciones en el funcionamiento.
- A la vez, se propone probar el sistema en prototipos más grandes y en condiciones de campo, con esto se podrá verificar el funcionamiento en entornos reales y mejorar su validez en alcances de energía renovable.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceitón, J. E. (2020). *El IOT-PLC: una nueva generación de controladores lógicos programables para la industria 4.0 (Master's thesis, Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile))*. Obtenido de Aceitón, J. E. M. (2020). *El IOT-PLC : una nueva generación de controladores lógicos programables para la industria 4.0*. 4(0A), 28345875. <https://doi.org/10.7764/tesisuc/ing/50019>
- Amazon . (2025). *Servo Motor 40Kg High Speed servo Metal Gear Digital Servo RC Baja Servo for 1/8 1/10 Scale RC Cars (180 Degree)*. Obtenido de [https:// Servo motor 40Kg high speed servo metal gear digital servo RC Baja servo for 1/8 1/10 scale RC cars \(180 degree\)](https:// Servo motor 40Kg high speed servo metal gear digital servo RC Baja servo for 1/8 1/10 scale RC cars (180 degree).). (s/f).
- ARCERNNR. (2022). *Estadística del Sector Electrico Ecuatoriano 2022*. Quito - Ecuador : Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no renovables, 316. Obtenido de [https:// \(S/f\). Gob.ec. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de http://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/Estadistica-2020-baja.pdf](https:// (S/f). Gob.ec. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de http://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/Estadistica-2020-baja.pdf)
- ESPOCH DSpace. (s/f). Edu.ec. Recuperado el 15 de septiembre de 2025, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/21968>
- Benites, C. F. (2024). *Implementación de Sistema de Transferencia para el arranque de 2 Bombas Sumergibles por Variadores de Frecuencia en Fundo Camposol Gloria*. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/items/f8e07ada-29bc-437f-956e-7c917acc6d7f>
- Ccapa, W. C., & Tejada, N. E. (2024). *Diseño e implementación de un seguidor solar empleando un actuador lineal para la optimización de un sistema fotovoltaico, Cusco 2018*. Obtenido de <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/9856>
- Coronel, C. E., & Melgarejo, Y. D. (2024). *Desarrollo de un módulo didáctico para el control de velocidad y posición con un servomotor industrial*. Obtenido de <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/9200>
- Corro, F. J. (2018). *Desarrollo de un sistema de micro-posicionamiento mediante sensores absolutos y relativos*. Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1389>
- Cunduri, M. A., Segarra, I. E., & Cabezas, E. A. (2020). Diseño e implementación de un seguidor solar de un eje para la optimización de un sistema fotovoltaico de 100 W aplicando cálculos matemáticos y automatización industrial. *Ciencia Digital*, 4(3), 336-354. doi:<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i3.1359>
- Cuzcano, L. D. (2024). *Diseño de un Sistema de Seguidor Solar para la mejora en la eficiencia de un Sistema de Panel Fotovoltaico aplicado a Sistemas de Iluminación*. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/11690>
- De La Cruz, C. S., & Alban, C. J. (2024). *Diseño y construcción de una interfaz hombre máquina aplicada a la automatización de un Tomblor*. Obtenido de <http://dspace.istvidanueva.edu.ec/handle/123456789/394>

- Encina, A. (2024). *Análisis de prefactibilidad y diseño completo de una Planta Solar Fotovoltaica*. Obtenido de <https://idus.us.es/items/1ebb46a0-54dd-419a-994b-b36d28dbf752>
- Flores, J. A. (2022). *Análisis, diseño y simulación del sistema de control de un microinversor tipo flyback para aplicaciones residenciales utilizando celdas fotovoltaicas (Bachelor's thesis, Quito, 2022)*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22260>
- France 24. (24 de octubre de 2024). La triple crisis que atravesó Ecuador: falta de luz, de agua y con incendios. *Medio Ambiente* .
- Gómez, D. (2023). *Automatización de un apuntador solar mediante PLC*. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/28477/445922.pdf?sequence=1>
- Gómez, J. (2018). *Definición y Aplicación de PION-PLC para Redes de Sensores*. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/14012>
- González, R. (2020). *Matriz energética mundial y el cambio climático: Estado actual*. Obtenido de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/15654>
- Guamán, M. D. (2024). *Estudio y diseño de una instalación de energía solar térmica para agua caliente sanitaria en un hospital*. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/95348/fichero/TFG-5348+Marcos+del+Pino.pdf>
- Huamaní, R. D. (2024). *Diseño de la transferencia automática de energía eléctrica en las oficinas de la empresa JRM SOLUTIONS PERU EIRL*. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNMS_a21e683ce039666c2d4734d2bb2e45fa
- Kahelin, M. (2025). *Automation control system design for indexing table application using servo motor drives*. Obtenido de <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/170094>
- Krindges, F., Korpys, E. A., Botterón, F., & Maxit, A. (2024). Fuente de Corriente Continua: Digitalización de Control Analógico para Fuente de Alimentación Ajustable. *JIDeTEV*, 14. Obtenido de <https://autoresjidetev.fio.unam.edu.ar/index.php/jidetev/article/view/49>
- La Scala, M. (2020). *De las redes inteligentes a las ciudades inteligentes*. ISTE Group.
- Lamigueiro, O. P. (2013). *Energía solar fotovoltaica*. España: Creative Commons ebook.
- Larrea, C. A. (2024). *Transición energética y crisis en el Ecuador*. Obtenido de <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/10341/1/Larrea%20C-CON-041-Transici%C3%B3nEnerg%C3%A9ticaEcuador.pdf>
- Loor, S. M. (2024). *Diseño e instalación de un sistema fotovoltaico para una vivienda unifamiliar en la parroquia Viche, provincia Esmeraldas (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica)*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/items/bbf908d7-2e05-4ece-b906-33cc0c37b132>
- Martínez, L. O., Fiallos, J. N., Asimbaya, L. A., & Moreno, A. G. (2024). *Control de motores eléctricos*. Editorial Internacional Alema. Editorial Internacional Alema. Obtenido de <https://editorialalema.org/libros/index.php/alema/article/view/28>
- Medina, D. A. (2022). *Diseño e implementación de un software compatible con arduino basado en el estándar IEC 61131-3 para programación LADDER y supervisión mediante un sistema SCADA*. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/93af31a6-19d9-400c-a03f-a17ba4377152/content>
- Mercado, J. A. (2019). *Sistemas programables avanzados*. Ediciones Paraninfo, SA.

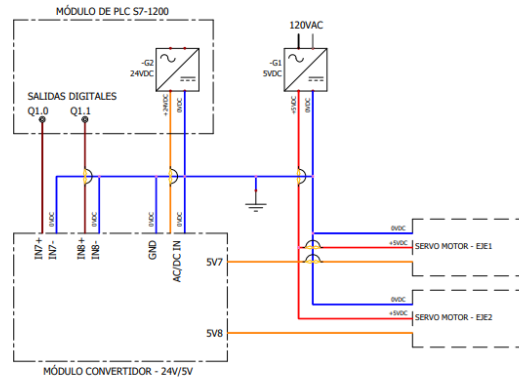
- Ministerio de Energía y Minas. (2024). *El Gobierno contratará 788 megavatios de potencia adicionales para enfrentar el estiaje*. Quito : Gobierno Nacional. Obtenido de <https://www.recursoyenergia.gob.ec/el-gobierno-contratara-788-megavatios-de-potencia-adicionales-para-enfrentar-el-estiaje/>
- Niño, W. J. (2025). *Análisis a estrategias de optimización energética en sistemas de energía solar fotovoltaica para aplicaciones residenciales: Un enfoque comparativo*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/68290>
- Nolasco, L. A. (2021). *Diseño De Un Módulo Didáctico De Simulación De Procesos Industriales Usando Plc S7-1200 Y Hmi Ktp 700 Basic. Para El Laboratorio De Automatización Y Control, De La Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur-Untels*. Obtenido de <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/81f75729-a56d-458b-92f8-8ddf599f165f>
- Nuevo, A. (2020). *Montaje y mantenimiento eléctrico-electrónico*. Ediciones Paraninfo, SA. Ediciones Paraninfo, SA.
- Oyuela, A. E., & Antúnez, H. P. (2023). *Prefactibilidad para la instalación de un sistema solar fotovoltaico aislado en Marcovia, Choluteca (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC)*. Obtenido de <https://repositorio.unitec.edu/server/api/core/bitstreams/30dbc25f-1e4b-4b42-9db3-2a4d9c33784b/content>
- Pachas, D. A., Arancibia, A. P., & Cabrera, A. S. (2022). Diseño y construcción de un sistema de control y seguimiento basado en servomotores para optimizar el ángulo de incidencia de la radiación solar. *Ingeniería Industrial*, 123-135. doi:<https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n.5803>
- Pérez, D. (2024). *Energía solar térmica. Fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. Marcombo.
- Pérez, G. C. (2016). *Diseño e implementación de un sistema automático de seguimiento solar para un generador termo solar*. Obtenido de <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5821/3/ARTICULO.pdf>
- Ponguillo, V. F., & Gómez, G. A. (2021). *Diseño e implementación de un sistema fundamentado en un autómatas programable PLC S7-1500 para el control de posición de un levitador neumático aplicando controladores proporcional, integral, derivativo (PID) y difuso (Bachelor's thesis)*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22400>
- Quiñónez, M. G. (2022). *Implementación de un banco de pruebas fotovoltaico con y sin seguimiento solar monitoreado desde un interfaz HMI*. Obtenido de <https://repositorio.puce.edu.ec/items/504a0aa3-db9d-40f7-830a-bb57109252e2>
- Rico, S G M. (2025). *Estudio y diseño de una red de área local bajo tecnología de comunicación por red eléctrica (PLC) para el laboratorio de la facultad de electrónica de CEUTEC*. Obtenido de <https://repositorio.unitec.edu/items/de44946f-d58c-4911-968c-ce8d0ea8c8be>
- Sánchez, A., & Tomás, J. A. (2020). *Política económica 2019*. Valencia. España: Editorial Tirant lo Blanch.
- SIEMENS. (2024). *SIMATIC S7-1200*. Obtenido de <https://www.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/s7-1200.html>
- Silvestre, E., & Soriano, J. I. (2021). *Diseño de un sistema de estacionamiento vertical rotatorio tipo carrusel automatizado para 8 vehículos de cuatro ruedas de la categoría M1 utilizando PLC Siemens y HMI*. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4552>

- Yajamín, G. S., Carrión, D. F., Zurita, R. C., & Carrion, H. D. (2023). Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 9493-9509. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6835
- Ygos, F., Vilaragut, M., Martínez, A., Salgado, Y., & Szpytko, J. (2022). Modelos de radiación solar a emplear en PowerFactory para la simulación de Sistemas Fotovoltaicos. *Ingeniería Energética*, 43(2), 19-26. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012022000200019&script=sci_arttext&tlng=en

10. ANEXOS

Anexo 1. Esquema diagrama eléctrico

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----



Document book				REVISION
				0
0	11/9/2025	Blimax		SCHEME
REV.	DATE	NAME	CHANGES	04
CONTRACT:	LOCATION: +L1	Main electrical closet	User data 1	User data 2

Nota. El anexo muestra el diagrama de conexiones entre PLC, tarjeta de modulación y motores.