



UNIVERSIDAD PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACSITEL

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
AUTOMATIZACIÓN

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

**“IMPLEMENTACIÓN DE PROTOCOLOS
DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL EN
EL LABORATORIO DE
AUTOMATIZACIÓN DE LA
UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE
SANTA ELENA - UPSE”**

**Leslie Mishelle Malavé Orrala
Julissa Janeth Orrala Flores**

Dirigido por:
Ing. Óscar Wladimir Gómez Morales, Mgtr.

La Libertad - 2025

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado principalmente a Dios, por haberme brindado sabiduría y perseverancia a lo largo de mi etapa estudiantil. Gracias por ser mi guía constante, por iluminar mi camino y darme fuerzas en los momentos de mayor debilidad. Sin su presencia este logro no habría sido posible

.

A mis queridos padres, Narcisa Orrala y Luis Malavé, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo inquebrantable. Gracias por creer en mí incluso en aquellos momentos en los que yo misma dudaba de mis capacidades, este logro no solo me pertenece, sino que también es reflejo de todo su esfuerzo, paciencia y cariño que me han entregado a lo largo de los años.

.

A mi hermana Doménica Malavé por estar siempre a mi lado, tanto en los buenos momentos como en los más difíciles, brindándome su apoyo incondicional y palabras de aliento que siempre me ayudaron a seguir adelante. .

.

A la memoria de mi abuelito Sergio Malavé, aunque ya no está físicamente conmigo, sigue presente en mi corazón a través de sus enseñanzas y su ejemplo de vida. Le agradezco tanto por haberme inspirado con su sabiduría, humildad, y fortaleza, sus valores continúan guiando mis pasos.

.

Finalmente dedico este trabajo a mi novio y mis amigos quienes nunca dudaron en brindarme su compañía, comprensión y ánimo cuando más lo necesitaba. Su apoyo me motivó a dar siempre lo mejor de mí.

.

Leslie Mishelle Malavé Orrala

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación lo dedico con todo mi amor y gratitud a Dios, por darme la sabiduría, la fortaleza y la fe necesarias para no rendirme y culminar esta etapa, especialmente a mi madre, Mélida Flores, quien, aunque ya no está físicamente, fue y seguirá siendo mi mayor fuente de inspiración. Este logro es para ti y por ti.

A mi padre, Sergio Orrala, quien, a pesar de las dificultades, siempre hizo todo lo posible por brindarme lo necesario para salir adelante. Gracias por tu amor, esfuerzo y dedicación incondicional.

A mis hermanas Maribell, Eliana y Sandy, por estar presentes de muchas formas y jamás dejarme sola, por su apoyo constante y por creer en mí en todo momento. A mi hermano Armando Orrala, quién me dió sus consejos desde el día uno en la que decidí postularme para tener un cupo en la universidad, gracias también por darme tu apoyo incondicional.

A mis sobrinas y sobrinos, quienes con su admiración y cariño me motivaron a seguir adelante en los momentos difíciles. Su confianza en mí, al verme como un referente profesional, ha sido una fuente constante de orgullo e inspiración.

A mi novio Eduardo Alarcón, por llegar a mi vida y ser parte de este proceso, por ser muy paciente, cariñoso y confiar en mi cuando yo menos lo hacia sobre todo por impulsarme a mejorar en cada paso que daba, este logro también es tuyo. TE AMO.

Y a mis amigos Jonathan Salinas, José Calva, Roger Carbo, Leslie Malavé, Fanny González, Ariel Buenaño y a quienes fueron parte de mi círculo amistoso y social, por las palabras de aliento, la compañía en los momentos clave y por hacer de este proceso una experiencia más llevadera. Su amistad ha sido un regalo invaluable.

Julissa Janeth Orrala Flores

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento es para Dios, quien me ha permitido crecer en el ámbito profesional como espiritual. Sin su guía, no se donde habría terminado, su presencia fue fundamental en cada etapa de este proceso.

Un especial reconocimiento al Ing. Óscar Gómez, quien con gran paciencia y dedicación nos guió en el desarrollo de este proyecto. Sus consejos y explicaciones nos brindaron las herramientas necesaria para poder implementar el módulo didáctico. Su orientación fue invaluable para la culminación del mismo.

Mi gratitud también está dirigida a mis padres, por ser mi pilar constante a lo largo de esta etapa. Su amor incondicional, su paciencia, y el refugio que me brindaron en los momentos más difíciles me sostuvieron y dieron fuerzas para continuar. Sus palabras de aliento y consejos sabios fortalecieron mi espíritu, llenándome de confianza para superar cada obstáculo y hacer posible la culminación de este proyecto que tanto significa para mí.

A mis compañeros de la carrera de electrónica y automatización quienes con su compañía y colaboración hicieron mas llevadero este camino.

Finalmente agradezco a la Universidad Estatal Península de Santa Elena por brindarme la oportunidad de estudiar esta carrera, por haberme brindado los recursos necesarios, el ambiente de aprendizaje y concretar este proyecto.

Leslie Mishelle Malavé Orrala

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa a la realización de este trabajo de titulación. En especial, extendo mi sincero reconocimiento al Ingeniero Oscar Gómez, mi tutor, cuya guía experta, paciencia y apoyo incondicional fueron pilares fundamentales en cada etapa del desarrollo de este proyecto. Sus conocimientos, observaciones precisas y recomendaciones oportunas no solo enriquecieron el contenido de mi investigación, sino que también fortalecieron mi comprensión del tema y me motivaron a superar cada desafío con determinación.

A mi familia, por ser mi motor y mi mayor fuente de fortaleza. Gracias por impulsarme constantemente a dar lo mejor de mí, por enseñarme a no rendirme ante las dificultades y por brindarme su amor, comprensión y apoyo incondicional en cada etapa de esta travesía académica. Cada uno de sus gestos y palabras de aliento fueron fundamentales para mantenerme firme en mi propósito.

También deseo expresar mi gratitud a mis compañeros y amigos que conocí a lo largo de esta prestigiosa carrera de Electrónica y Automatización. Compartir este camino con ustedes no solo enriqueció mi formación académica, sino que también me permitió construir valiosas amistades, aprender en equipo y encontrar inspiración en el esfuerzo colectivo. Gracias por las experiencias compartidas, el compañerismo y por ser parte esencial de este logro.

Finalmente, expreso mi agradecimiento a la Universidad Estatal Península de Santa Elena por brindarme los recursos, las instalaciones y un entorno académico adecuado que hicieron posible el desarrollo de este trabajo de titulación. Su compromiso con la formación profesional de calidad fue clave para mi crecimiento personal y académico, y me permitió adquirir los conocimientos y habilidades necesarios para alcanzar este importante logro.

Julissa Janeth Orrala Flores

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación denominado: **“Implementación de protocolos de comunicación industrial en el laboratorio de automatización de la Universidad Estatal Península de Santa Elena-Upse”** , elaborado por las estudiantes: **Leslie Mishelle Malavé Orrala** y **Julissa Janeth Orrala Flores**, de la carrera de **Ingeniería en Electrónica y Automatización** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, declaro que luego de haber orientado, estudiado y revisado, lo apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante que inicie los trámites legales correspondientes.

A handwritten signature in black ink, written over a horizontal line. The signature is stylized and appears to read "Ing. Oscar".

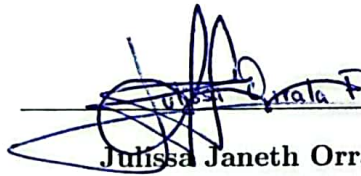
Ing. Óscar Wladimir Gómez Morales, Mgtr.
Tutor

DECLARACIÓN

El contenido del presente trabajo de titulación es de nuestra estera responsabilidad, el patrimonio intelectual del mismo le pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



Leslie Mishelle Malavé Orrala
Autor



Julissa Janeth Orrala Flores
Autor

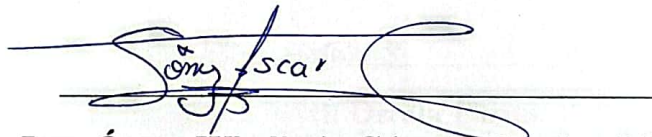
TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Ronald Humberto Rovira Jurado, Ph.D.
DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Luis Enrique Chuquimarca Jiménez, Mgtr.
DOCENTE GUÍA UIC
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Óscar Wladimir Gómez Morales, Mgtr.
TUTOR



Ing. Corina Gonzabay De La A, Mgtr.
SECRETARIA DEL TRIBUNAL

Resumen

El presente proyecto de titulación se enfoca en la implementación de protocolos de comunicación industrial como PROFINET, HART y RS-485, con el objetivo de desarrollar un sistema didáctico que permita a los estudiantes de la carrera de Electrónica y Automatización comprender, configurar y aplicar estos estándares en entornos reales. El sistema fue construido utilizando equipos industriales compatibles con dichos protocolos, entre ellos dos PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C AC/DC/RLY, módulo HART y HMI Delta DOP-103BQ.

Durante el desarrollo del proyecto se abordaron aspectos clave como el diseño de topologías de red adecuadas utilizando topología estrella para la red PROFINET y punto a punto para la comunicación RS-485, garantizando una transmisión de datos óptima y confiable, la configuración de dispositivos mediante el software TIA Portal, y la elaboración de diagramas eléctricos detallados que respaldan la instalación y conexión de los elementos del sistema. Como parte de la aplicación se desarrolló la simulación del llenado de un tanque, usando una señal estandarizada de 4 a 20 mA simulando la señal del nivel, donde es interpretada por el PLC, gestionando el encendido y apagado del sistema.

Se integraron configuraciones prácticas para la lectura y escritura de variables entre el PLC, el módulo HART y la interfaz HMI, fomentando el aprendizaje aplicado de la comunicación industrial. Se busca facilitar la enseñanza de redes industriales en el laboratorio académico, fortaleciendo las destrezas técnicas de los estudiantes en el manejo de tecnologías de automatización, y contribuyendo a su formación profesional para enfrentar desafíos de la industria.

Palabras clave: HART, PROFINET, Protocolos de comunicación, Redes industriales, RS-485.

Abstract

The present graduation project focuses on the implementation of industrial communication protocols such as PROFINET, HART, and RS-485, with the objective of developing a didactic system that enables students in the Electronics and Automation program to understand, configure, and apply these standards in real-world environments. The system was built using industrial-grade equipment compatible with the mentioned protocols, including two Siemens S7-1200 PLCs, model CPU 1214C AC/DC/RLY, a HART module, and a Delta DOP-103BQ HMI.

Throughout the development of the project, key aspects were addressed, such as the design of appropriate network topologies—using a star topology for the PROFINET network and point-to-point topology for RS-485 communication—ensuring optimal and reliable data transmission. Additionally, the configuration of devices was carried out using TIA Portal software, and detailed electrical diagrams were developed to support the installation and connection of all system components.

As part of the application, a tank filling simulation was implemented using a standard 4–20 mA signal to emulate the level sensor signal, which is interpreted by the PLC to manage the system’s on/off operation.

Practical configurations were also integrated for reading and writing variables between the PLC, the HART module, and the HMI interface, promoting hands-on learning of industrial communication. This system aims to facilitate the teaching of industrial networks in academic laboratories, strengthening students’ technical skills in automation technologies and contributing to their professional training to face challenges in the industrial sector.

Keywords: HART, PROFINET, Communication Protocols, Industrial Networks, RS-485

Índice

Índice de figuras	XII
Índice de tablas	XV
1. Introducción	1
1.1. Justificación	2
1.2. Panorama actual	3
1.3. Objetivos del proyecto	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Alcance del proyecto	6
1.5. Fundamento teórico	6
1.5.1. Redes de comunicación industrial	6
1.5.2. Protocolos de comunicación industrial	8
1.5.3. Protocolo de comunicación Profinet	9
1.5.4. Protocolo de comunicación Hart	15
1.5.4.1. Características del protocolo Hart	15
1.5.4.2. Señal de frecuencia	16
1.5.4.3. Topologías de Hart	17
1.5.5. Protocolo de comunicación RS-485	19
1.5.6. Normas eléctricas	20
1.5.7. Pirámide de automatización - CIM	20
1.5.8. Interfaz Humano Máquina	22
1.5.9. Controlador Lógico Programable	23
1.5.10. Comunicación entre sistemas	24
1.6. Marco contextual	26
2. Métodos y diseño experimental	27
2.1. Métodos	27
2.2. Descripción del proyecto	28
2.3. Componentes de la Propuesta	30
2.3.1. Componentes físicos	30

2.3.2.	Componentes Lógicos	40
2.4.	Implementación de la propuesta	41
2.4.1.	Diagrama de conexión eléctrica elaborado en CADE- SIMU	41
2.4.2.	Diseño 3D de la estructura	41
2.4.2.1.	Ensamblaje del Módulo Didáctico	42
3.	Resultados	43
3.1.	Análisis de los protocolos de comunicación industrial	43
3.2.	Topologías aplicadas en el sistema	44
3.2.1.	Topología en estrella	44
3.2.2.	Topología punto a punto	45
3.3.	Integración de los equipos en el módulo didáctico	46
3.4.	Conexión de los PLC's S71200	46
3.5.	Conexión del módulo de expansión RS- 485	48
3.6.	Conexión del módulo HART	48
3.7.	Conexión del HMI Delta DOP-103BQ	50
3.8.	Configuración y prueba de la comunicación del protocolo in- dustrial PROFINET	51
3.9.	Configuración y prueba de la comunicación del protocolo in- dustrial RS-485	58
3.10.	Configuración y prueba de la comunicación del protocolo in- dustrial HART	63
3.11.	Análisis de latencia del protocolo de comunicación industrial .	65
3.12.	Análisis del tráfico de datos	67
4.	Conclusiones y recomendaciones	68
4.1.	Conclusiones	68
4.2.	Recomendaciones	69
	Referencias	70

Índice de figuras

1.	Comunicación PROFINET [5].	9
2.	Canales de comunicación [5].	10
3.	Topología tipo linea. Fuente: Orrala J. Malavé L. (2025).	12
4.	Topología árbol. Fuente: Orrala J. Malavé L. (2025).	13
5.	Topología estrella. Fuente: Orrala J. Malavé L. (2025).	13
6.	Topología anillo. Fuente: Orrala J. Malavé L. (2025).	14
7.	Señales analógica[8].	17
8.	Conexión punto a punto. Fuente: Orrala J. Malavé L. (2025).	18
9.	Conexión multipuntos. Fuente: Orrala J. Malavé L. (2025).	18
10.	Pirámide CIM [10].	22
11.	Pasos involucrados en el diseño e implementación de protocolos de comunicación industrial. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	29
12.	PLC S7-1200 1214C AC/DC/RELAY [15].	31
13.	Pantalla HMI DELTA DOP-103BQ [16].	33
14.	Módulo RS 485[19].	35
15.	Módulo HART [20]	36
16.	Funete de alimentación QYR-60-24 [21].	38
17.	Switch 10/100 Mbps [22].	39
18.	Diagrama eléctrico. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	41
19.	Diseño 3D de la estructura. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	42
20.	Implementación de estructura. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	43
21.	Comparación de los protocolos. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	44
22.	Topología estrella. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	45
23.	Topología punto a punto. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	45
24.	Incorporación de módulos de protocolos de comunicación. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	46
25.	Conexión del PLC 1 y PLC 2. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	47

26.	Conexión del módulo RS 422/485. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	48
27.	Diagrama de conexión del módulo Hart al PLC 2. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	49
28.	Conexión del HMI Delta Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	50
29.	Configuración de pines del HMI . Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	50
30.	Configuración de pines del módulo RS-485. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	51
31.	Adaptación del protocolo PROFINET. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	51
32.	Configuración PUT en TIA PORTAL. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	52
33.	Configuración GET en TIA PORTAL. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	53
34.	Configuración de parámetros. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	54
35.	Parámetros de conexión PUT y GET LOCAL. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	55
36.	Parámetros de conexión PUT y GET INTERLOCUTOR Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	56
37.	Prueba de comunicación industrial del PLC maestro - esclavo. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	57
38.	Prueba de comunicación industrial del PLC esclavo - maestro. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	57
39.	Prueba de comunicación industrial del protocolo Profinet. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	58
40.	Selección y adaptación del modulo CM 1241 RS422/485. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	59
41.	Configuración de parámetros del PLC y HMI. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	59
42.	Configuración del PLC como esclavo y HMI como maestro . Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	60

43.	Datos analógicos y datos digitales en modo de registros . Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	61
44.	Configuración de la comunicación de Dopsoft. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	62
45.	Configuración de la comunicación de Dopsoft. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	62
46.	Prueba de comunicación industrial del protocolo RS-485 . Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	63
47.	Adaptación de bloques para el protocolo Hat. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	64
48.	Prueba de comunicación del protocolo Hart: a) Nivel bajo, b) Nivel medio, c) Nivel alto. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	65
49.	PING con la IP del PLC1. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	66
50.	PING con la IP del PLC2. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	66
51.	Análisis del tráfico de datos. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).	67

Índice de tablas

1.	Tabla de características técnicas del PLC S7-1200 [15].	32
2.	Tabla de características técnicas HMI DELTA DOP-103BQ [17].	34
3.	Tabla de características técnicas del protocolo RS-485	35
4.	Tabla de características técnicas del módulo HART [20].	37
5.	Tabla de características técnicas de la fuente de alimentación .	38
6.	Tabla de características técnicas del Switch[22].	39
7.	Tabla de Configuración de la instrucción PUT [15].	52
8.	Tabla de Configuración de la instrucción GET [15].	53
9.	Relación entre el nivel del tanque, señal de corriente y valor analógico escalado.	64

1. Introducción

En la actualidad, la automatización industrial constituye un componente fundamental para mejorar la eficiencia, la calidad y la seguridad en los procesos productivos de diversos sectores. Para alcanzar niveles óptimos de automatización, resulta indispensable una comunicación fluida y precisa entre los distintos dispositivos que integran una planta industrial, tales como sensores, controladores y actuadores. Esta interconectividad permite una coordinación efectiva de los sistemas, lo que se traduce en una mayor productividad y una reducción significativa de errores operativos. Por tanto, la implementación de tecnologías de automatización no solo optimiza el desempeño industrial, sino que también fortalece la fiabilidad y sostenibilidad de los procesos.

La necesidad de comunicar dispositivos a largas distancias ha impulsado el desarrollo y la implementación de diversos protocolos de comunicación industrial. Cada uno de estos protocolos posee características particulares que permiten funciones como la transmisión de datos en tiempo real, la configuración remota de equipos y el diagnóstico de fallos, entre otras. Entre los protocolos más destacados se encuentran PROFINET, HART y RS-485, los cuales ofrecen altas velocidades de transmisión, baja latencia y una fácil integración en sistemas complejos.

En el ámbito educativo, la enseñanza de los protocolos de comunicación industrial es fundamental para la formación técnica de los estudiantes en carreras como Electrónica y Automatización. Esta instrucción permite que los alumnos se familiaricen con entornos similares a los que enfrentarán en el sector industrial, aplicando de manera práctica los conocimientos adquiridos en el aula. Además, fomenta el desarrollo de habilidades para la resolución de problemas reales, fortaleciendo su capacidad para proponer soluciones innovadoras. Por ello, la implementación de estos protocolos en proyectos académicos contribuye significativamente a la preparación integral de los futuros profesionales del área.

1.1. Justificación

La creciente necesidad de interconectar dispositivos y sistemas de distintos fabricantes en entornos industriales ha hecho indispensable el uso de protocolos de comunicación estandarizados. Estos protocolos permiten establecer reglas claras que aseguran la interoperabilidad entre equipos, facilitando una comunicación fluida y eficiente. Además, promueven la integración de datos y optimizan los procesos industriales al mejorar la coordinación entre los distintos elementos del sistema. Por ello, su enseñanza y aplicación resultan fundamentales en la formación de profesionales en el área de automatización.

En el ámbito educativo, es esencial replicar condiciones reales de la industria para que los estudiantes adquieran competencias técnicas aplicables al entorno laboral. En este contexto, el laboratorio de automatización de la Universidad Estatal Península de Santa Elena representa una oportunidad para diseñar redes industriales que cumplan con normas y protocolos vigentes. Esta aproximación práctica permite a los estudiantes aplicar conocimientos teóricos en escenarios simulados, fortaleciendo su preparación profesional. Así, se garantiza una formación integral que responde a las demandas del sector productivo.

Este proyecto surge como una iniciativa para aprovechar el laboratorio recientemente implementado, donde se han desarrollado módulos de procesos industriales con componentes reales. A partir de experiencias previas de estudiantes de la carrera de Automatización, se plantea la incorporación de protocolos como HART, Profinet y RS-485, con el fin de establecer redes de comunicación industrial funcionales. Esta implementación permitirá generar recursos educativos que fortalezcan el aprendizaje práctico y técnico de los estudiantes. En consecuencia, se consolidará un entorno formativo alineado con las exigencias del mercado laboral.

La adopción de estos protocolos no solo beneficiará a la comunidad universitaria, sino que también abrirá nuevas oportunidades en el sector industrial. Al mejorar la confiabilidad de las conexiones y optimizar los procesos, se

impulsa la eficiencia y la innovación tecnológica. Además, se promueve la transferencia de conocimientos desde el ámbito académico hacia la industria. Por tanto, este proyecto representa una contribución significativa al fortalecimiento de la educación técnica y al desarrollo de soluciones industriales sostenibles.

1.2. Panorama actual

El desarrollo de los protocolos de comunicación industrial ha sido clave en la evolución de los sistemas de automatización desde finales del siglo XX. Desde la invención del primer PLC por Bedford Associates en 1968 hasta la creación del protocolo Modbus en 1979, se sentaron las bases para la interoperabilidad entre dispositivos industriales. Estos avances permitieron establecer estándares de comunicación como ASCII y RTU, fundamentales para el intercambio de datos entre controladores. Así, se consolidó una infraestructura técnica que ha permitido el crecimiento sostenido de la automatización industrial [1].

En la actualidad, los procesos industriales dependen de redes de comunicación robustas y eficientes para garantizar el control y monitoreo de sistemas automatizados. Tecnologías como ControlNet, DeviceNet, Profibus y Profinet han surgido como respuesta a la necesidad de mejorar la productividad y reducir la complejidad del cableado. Estas redes han evolucionado significativamente desde los años 80 y 90, con la participación de empresas líderes como Siemens, Bosch y Moeller. Como resultado, se ha logrado una mayor integración entre dispositivos, optimizando los procesos industriales [2].

La aparición de tecnologías como AS-Interface y la evolución de redes Ethernet han transformado la forma en que se diseñan los sistemas de automatización. Desde 1992, AS-Interface ha permitido simplificar el cableado y reducir costos, mientras que Profinet ha emergido como una alternativa moderna basada en Ethernet. Paralelamente, el desarrollo de redes inalámbricas como WLAN bajo el estándar IEEE 802.11 ha ampliado las posibilidades de

comunicación en entornos industriales. Estas innovaciones han impulsado la transición hacia sistemas más flexibles, escalables y eficientes [1].

El uso de protocolos de comunicación industrial se ha convertido en un componente esencial para mejorar la eficiencia, seguridad y productividad en las empresas. La implementación de estos sistemas permite la interconexión entre dispositivos, facilitando el intercambio de datos en tiempo real y la toma de decisiones automatizadas. Considerando esto, la formación académica debe incluir el estudio y aplicación de estos protocolos para preparar a los futuros profesionales. Por lo tanto, es fundamental que las instituciones educativas cuenten con laboratorios que simulen entornos industriales reales [1].

En la actualidad, las tecnologías de comunicación industrial continúan evolucionando rápidamente, siendo Profinet una de las alternativas más prometedoras por sus ventajas basadas en Ethernet. Esta tecnología está desplazando a otras más antiguas debido a su capacidad para integrar sistemas complejos con mayor velocidad, flexibilidad y eficiencia. Paralelamente, la comunicación inalámbrica ha ganado protagonismo en la automatización industrial, impulsada por el desarrollo de estándares como IEEE 802.11 desde 1997, los cuales han mejorado progresivamente la velocidad de transmisión de datos, alcanzando hasta 433 Mb/s con la versión 802.11ac en 2014. Este avance constante en los protocolos de comunicación refleja la necesidad de adoptar soluciones modernas que respondan a los desafíos actuales de conectividad y control en entornos industriales. [2].

1.3. Objetivos del proyecto

1.3.1. Objetivo general

Implementar protocolos de comunicaciones industriales mediante el uso de autómatas programables, para aumentar la confiabilidad entre los dispositivos y sistemas automatizados empleados en ámbitos industriales.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar los protocolos de comunicación industrial Profinet, HART y RS-485, identificando sus características y aplicaciones en entornos de automatización.
- Elaborar diagramas de conexión para cada protocolo, facilitando la comprensión de la estructura del sistema y apoyando la detección y solución de fallas.
- Integrar los dispositivos industriales en el módulo didáctico, incluyendo la demostración de los protocolos PROFINET, HART y RS-485.
- Aplicar topologías de comunicación en función de parámetros técnicos como distancia de transmisión, cantidad de dispositivos conectados y la fiabilidad del sistema.
- Configurar los dispositivos industriales como PLC siemens, HMI delta, módulo Hart, asegurando la compatibilidad con los protocolos definidos.
- Desarrollar pruebas experimentales para evaluar el desempeño de cada protocolo.
- Evaluar prueba de latencia en el protocolo de comunicación industrial PROFINET con la finalidad de medir el tiempo de respuesta.
- Elaborar una guía de configuración de los protocolos Profinet, HART y RS-485 para facilitar su uso en futuras prácticas dentro del laboratorio de automatización.

1.4. Alcance del proyecto

En el presente proyecto se implementó protocolos de comunicación industrial centralizados a procesos industriales. Del cual se obtendrá información del laboratorio de automatización para considerar los diversos componentes que puedan adaptarse al proyecto.

Otro de los puntos importantes es la creación de la red industrial que implica realizar unas prácticas previas para rectificar que el proceso esté en perfectas condiciones y así lograr obtener mecanismos de redundancia y alta disponibilidad para que la respectiva comunicación sea efectiva sin tener fallos al momento de su ejecución y permita analizar las diferentes respuestas, corrección de errores y eventos que se presentan en la transmisión de datos entre los diferentes controladores y sensores en un ámbito industrial.

1.5. Fundamento teórico

1.5.1. Redes de comunicación industrial

Las redes industriales desempeñan un papel fundamental en la automatización industrial, ya que proporcionan un medio para el intercambio y control de datos, así como permiten la conexión de múltiples dispositivos. De esta manera, las redes industriales se convierten en una de las partes principales en el entorno de la automatización industrial [3].

El uso de redes industriales conlleva varias ventajas, entre las cuales se incluyen:

- Mejora en la calidad de los procesos.
- Mayor flujo de datos disponible.
- Reducción de costos.
- Facilita el control de los procesos.
- Permite el uso de dispositivos inteligentes.

Las redes de comunicación industrial se clasifican en tres niveles según su funcionalidad:

- **Nivel de dispositivo:** es el nivel más bajo encargado de transferir información entre los sensores y actuadores mediante el PLC.
- **Nivel de control:** en este nivel se encuentran los controladores industriales como los PLC y sistemas informáticos. Aquí se puede configurar dispositivos, supervisar y controlar procesos, visualizar datos en pantallas HMI, entre otras funciones.
- **Nivel de información:** es el nivel más alto y se encarga de recopilar la información del nivel de control, manejando grandes cantidades de datos.

Existen diversos tipos de redes de comunicación industrial, que se describen a continuación:

- **Fundación Fieldbus:** es una red de área local que permite la comunicación digital, serial y bidireccional, conectando sensores, actuadores y controladores [3].
- **Controlnet:** es un protocolo de red abierta utilizado en aplicaciones de automatización industrial. Se basa en la arquitectura productor-consumidor y permite la comunicación de varios controladores en una red [3].
- **Devicenet:** es una red industrial digital multipunto utilizada en la automatización para interconectar sensores, actuadores y sistemas industriales. Destaca por su alta velocidad, capacidad de comunicación con equipos discretos y analógicos, y su poder de diagnóstico en la red [3].
- **Profibus:** es un bus de campo abierto que permite la conexión de dispositivos digitales. Presenta características como la transmisión de pequeñas cantidades de datos, compatibilidad electromagnética, facilidad de configuración y el uso de protocolos simples y limitados [3].

- **Modbus:** este protocolo utiliza la relación maestro-esclavo, donde el dispositivo esclavo, generalmente un sensor, debe solicitar y esperar una respuesta del dispositivo maestro, como un HMI o un sistema SCADA [3].
- **Ethernet industrial:** este protocolo de comunicación es similar a Ethernet, pero está diseñado específicamente para su uso en plantas de manufactura o procesos continuos en la industria. Es valorado por su facilidad de configuración, operación, mantenimiento y escalabilidad. Ethernet se ha convertido en el protocolo de comunicación preferido en sistemas de control industrial debido a su confiabilidad, rendimiento e interoperabilidad inherentes [3].

1.5.2. Protocolos de comunicación industrial

Los protocolos de comunicación son conjuntos de reglas y normas que deben seguirse para permitir el intercambio de información entre dos o más máquinas dentro de una red. Hay diversas categorías de protocolos de comunicación:

- **Protocolos punto a punto:** Este tipo de protocolo, que es el más antiguo, se utiliza para establecer una conexión directa entre dos nodos de una red [3].
- **Protocolo de transmisión de paquetes:** Este protocolo se encarga de proporcionar información sobre el destino de los datos, lo que permite una conexión segura [3].
- **Protocolos TCP/IP:** Estos protocolos utilizan capas para organizar la comunicación. Las capas incluyen la capa de aplicación, capa de transporte, capa de red, capa de interfaz y hardware [3].

En cuanto a los protocolos de comunicación, la norma IEC 61850, que se centra en la interoperabilidad para protección avanzada y aplicaciones de control, desempeña un papel importante. Esta norma internacional se ocupa de las comunicaciones en subestaciones, permitiendo la incorporación de

funciones de protección, control, medición y supervisión mediante la combinación de la comunicación Ethernet con consideraciones de rentabilidad y seguridad [3].

1.5.3. Protocolo de comunicación Profinet

Como norma de comunicación en la automatización industrial, es esencialmente una adaptación de Profinet. Permite una comunicación simple, rápida, manejable y abierta a través del uso de cableado y switches. Una de las características destacadas de este estándar es su enfoque en la automatización industrial, facilitando la comunicación en tiempo real entre sistemas electrónicos gracias a su alta velocidad de transmisión y recepción de datos, lo cual contribuye directamente al funcionamiento óptimo de los procesos [4].

Profinet es compatible con la implementación en sistemas automatizados modernos, lo cual permite controlarlos en tiempo real mediante la programación y comunicación correspondientes. En la Figura 1 se muestra una integración de dispositivos, mientras que en la Figura 2 se muestran los principales canales de comunicación.

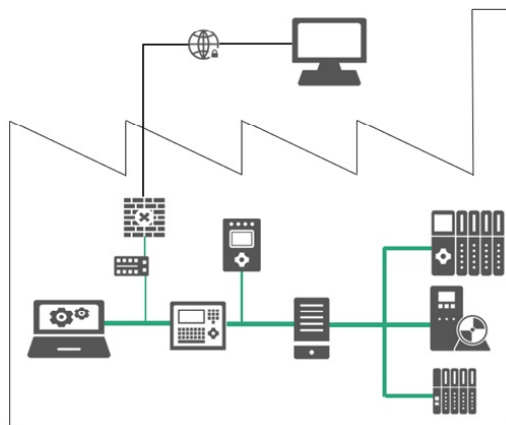


Figura 1: Comunicación PROFINET [5].

Existen 3 tipos de canales de comunicación [4]:

- **El estándar TCP/IP:** Se emplea para realizar tareas que no tienen una secuencia definida, como la configuración de parámetros, la transmisión de vídeo y audio, y la transferencia de datos hacia sistemas de tecnología de la información de nivel superior [4].
- **Tiempo real TCP/IP:** No se utilizan para proporcionar un rendimiento determinista, ya que operan con tiempos de retardo en el rango de 1 a 10 ms. Esto implica que no son la solución ideal basada en software para aplicaciones de entrada/salidas típicas, que incluyen el control de movimiento y requisitos de alto rendimiento[4].
- **Tiempo real isócrono:** La gestión prioritaria de señales y la conmutación programada permiten una sincronización precisa, esencial en aplicaciones como el control de movimiento. Es posible alcanzar velocidades de ciclo inferiores al milisegundo, con una variabilidad temporal (jitter) mínima, ubicada en el rango de fracciones de microsegundo [4].

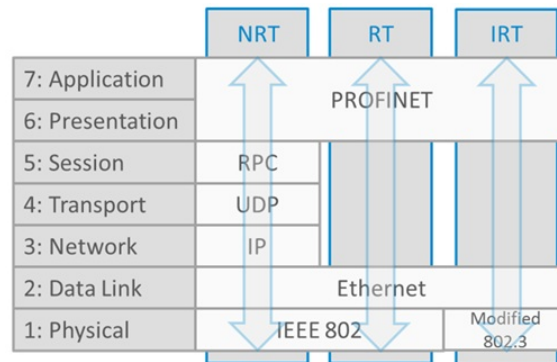


Figura 2: Canales de comunicación [5].

Topologías de Profinet

Brinda flexibilidad en el diseño de la red al ofrecer compatibilidad con diferentes topologías, como línea, árbol, anillo y estrella. Además, es compatible con conexiones inalámbricas mediante tecnologías como Bluetooth o Wi-Fi. Esto permite adaptar la red a diferentes requisitos de aplicaciones industria-

les y facilita la conectividad en entornos donde las conexiones por cable no son prácticas o convenientes [4].

Línea

La mayoría de los dispositivos PROFINET cuentan con al menos dos puertos que forman parte de un conmutador incorporado en el dispositivo. Estos conmutadores incorporados permiten a los usuarios conectar dispositivos en una topología en línea sin necesidad de utilizar conmutadores externos, como se muestra en la Figura 3 [6].

Ventajas:

- Los dispositivos suelen tener conmutadores incorporados, lo que hace que los conmutadores externos sean opcionales.
- Se reduce el costo al requerir menos cables y prescindir de conmutadores externos.

Desventajas:

- Si un nodo de la línea falla, todos los nodos dependientes perderán la comunicación.
- Es importante tener en cuenta las limitaciones de la profundidad de la línea, es decir, la distancia máxima permitida entre los dispositivos en la topología en línea.



Figura 3: Topología tipo línea. Fuente: Orrala J. Malavé L. (2025).

Árbol y estrella

Los conmutadores incorporados o autónomos en PROFINET permiten la implementación de topologías de estrella y árbol, como se presenta en la Figura 4 y Figura 5 [6].

Ventajas:

- En caso de que falle un solo nodo, no afectará el funcionamiento de toda la red.

Desventajas:

- Si falla el conmutador central en una topología de estrella o árbol, se verá afectada la comunicación con todos los nodos en esa área.
- Estas topologías requieren más cables y conmutadores externos, lo que implica costos adicionales.

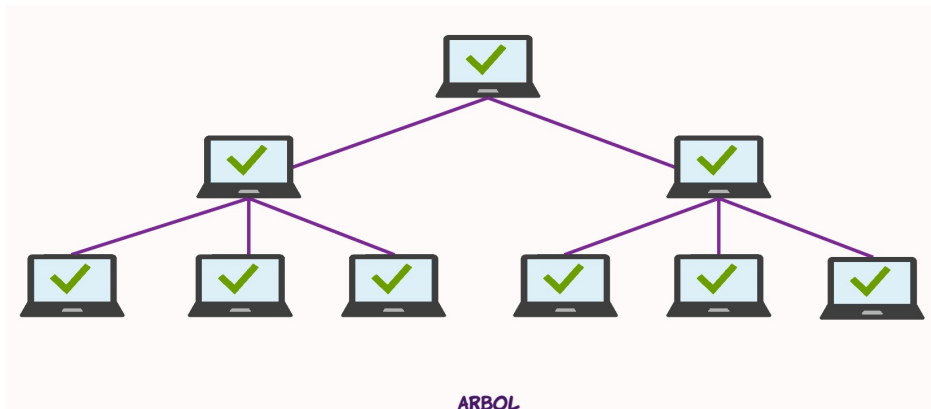


Figura 4: Topología árbol. Fuente: Orrala J. Malavé L. (2025).

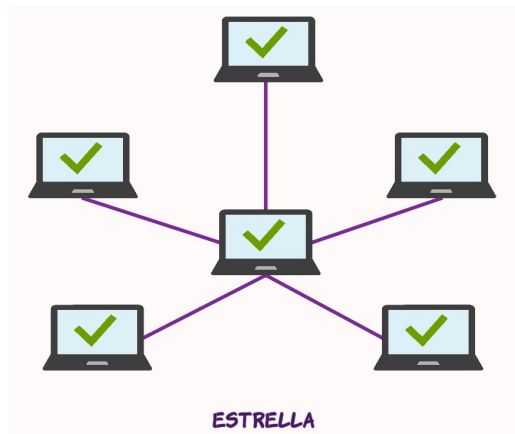


Figura 5: Topología estrella. Fuente: Orrala J. Malavé L. (2025).

Anillo

Es cierto que Ethernet en general no admite una topología de bucle o anillo, pero PROFINET permite implementar una topología de anillo mediante el uso de dos clases de redundancia de medios: Protocolo de Redundancia de Medios (MRP) y Redundancia de Medios para Duplicación Planificada (MRPD) como se presenta en la Figura 6 [6].

Ventajas:

- Las topologías de anillo ofrecen redundancia de medios, lo que significa que hay dos rutas de comunicación. Si produce una falla en un cable

o nodo en el anillo, el sistema sigue funcionando a través de la ruta alternativa.

Desventajas:

- Se requieren dispositivos compatibles con las funciones de redundancia MRP y MRPD.
- La implementación de una topología de anillo implica un mayor cableado y configuración adicional de los nodos redundantes.

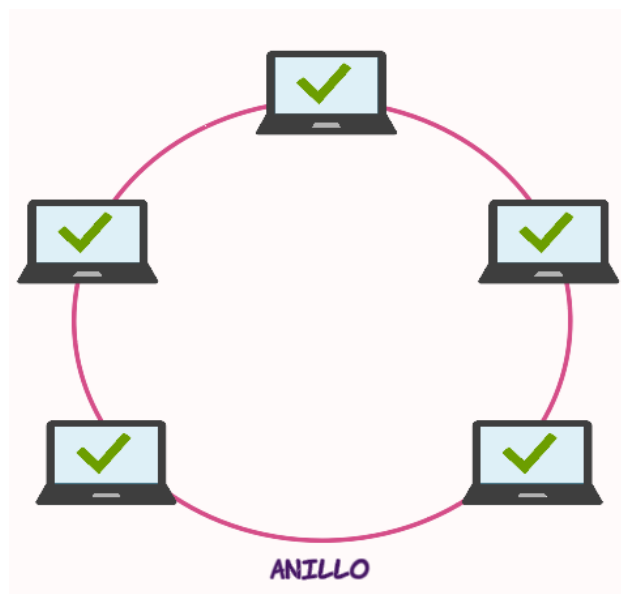


Figura 6: Topología anillo. Fuente: Orrala J. Malavé L. (2025).

1.5.4. Protocolo de comunicación Hart

El protocolo de comunicación HART es ampliamente reconocido a nivel mundial como un estándar de la industria para la comunicación de instrumentos de campo inteligentes con señales de 4-20mA y microprocesadores.

El uso de esta tecnología ha crecido rápidamente y en la actualidad prácticamente todos los principales fabricantes de instrumentación del mundo ofrecen productos con comunicación HART [7].

El protocolo HART permite la superposición de la señal de comunicación digital sobre las señales analógicas de 4-20mA sin interferencias, utilizando el mismo cableado. HART ofrece algunos de los beneficios asociados con la tecnología de bus de campo (fieldbus), al mismo tiempo que mantiene la compatibilidad con la instrumentación analógica existente y aprovecha el conocimiento ya adquirido sobre los sistemas de 4-20mA que se utilizan actualmente [7].

1.5.4.1. Características del protocolo Hart

Existen tres tipos de características, las cuales serán mencionadas a continuación:

- **Fácil manejo:** Ha demostrado ser altamente eficaz en situaciones reales y es extremadamente fácil de utilizar. Proporciona una comunicación digital bidireccional muy efectiva. Además, este protocolo se utiliza simultáneamente con la señal analógica de 4-20 mA, que es ampliamente utilizada por los instrumentos tradicionales [8].
- **Innovadora solución de comunicación:** Se destaca como una solución de comunicación única en comparación con otras tecnologías digitales. Es compatible con una gran cantidad de instrumentos instalados y en uso en la actualidad, lo que garantiza la continuidad del cableado existente y la estrategia de control actual en el futuro. [8]. Diseñado para aprovechar la señal analógica estándar de 4-20 mA, el protocolo HART utiliza esta señal como portadora para llevar a cabo comunicaciones digitales en aplicaciones de medición de procesos y control de

dispositivos. Sus funcionalidades incluyen la interrogación de variables de proceso de forma remota, el acceso periódico a datos de proceso, el ajuste de parámetros y el diagnóstico [8].

- **Comunicación maestro-esclavo:** Durante el funcionamiento normal del sistema, la comunicación en un lazo de comunicación HART es iniciada por un equipo de comunicación denominado maestro. En cada lazo de comunicación HART, pueden conectarse dos maestros. El maestro primario suele ser un dispositivo de control como un sistema de control distribuido (DCS), un PLC o un ordenador personal (PC). El maestro secundario puede ser un terminal portátil de comunicación u otro PC.[8]. Los dispositivos esclavos, por su parte, incluyen transmisores, actuadores de válvulas y controladores que responden a los comandos enviados por el maestro primario o secundario. Estos dispositivos esclavos se comunican con los maestros a través del lazo de comunicación HART y ejecutan las instrucciones que reciben [8].

1.5.4.2. Señal de frecuencia

El protocolo de comunicación HART se basa en el sistema de comunicación telefónica estándar BELL 202 y utiliza el principio del Cambio Codificado de Frecuencia (FSK). Este protocolo emplea dos frecuencias principales, 1200 Hz y 2200 Hz, para representar los bits 1 y 0, como se observa en la Figura 7 respectivamente. Estas frecuencias se superponen en la señal de corriente continua analógica de 4-20 mA DC. De esta manera, los cables de comunicación que transmiten señales analógicas también pueden transportar comunicación digital simultáneamente[8].

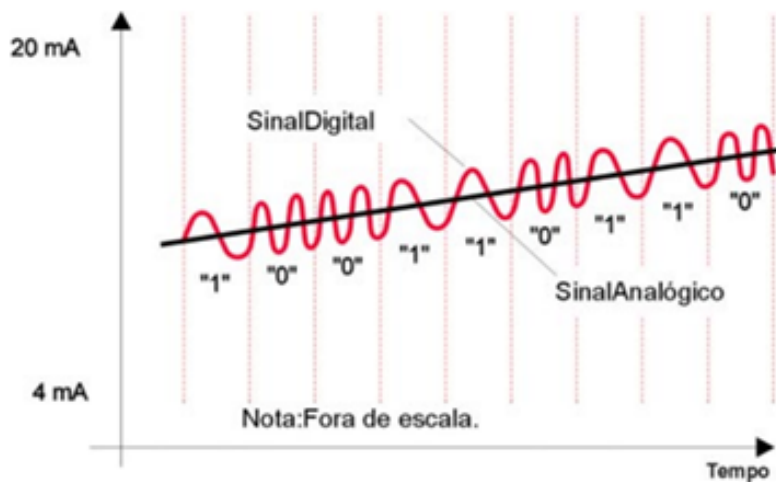


Figura 7: Señales analógica[8].

1.5.4.3. Topologías de Hart

A continuación, se presenta dos topologías principales:

- Comunicación tipo punto a punto:** Dada la Figura 8 se podría tener una referencia de la señal tradicional de 4-20 mA que se utiliza para transmitir una variable de proceso, mientras que otras variables adicionales y parámetros de configuración se transmiten digitalmente mediante el protocolo HART. Se indica que la señal analógica de 4-20 mA no se ve afectada por la señal HART y puede utilizarse para el monitoreo o control de manera habitual. Por otro lado, se señala que la señal de comunicación digital HART proporciona acceso a variables secundarias y otra información que puede ser utilizada para propósitos de operación, mantenimiento y diagnóstico [8].



Figura 8: Conexión punto a punto. Fuente: Orrala J. Malavé L. (2025).

- **Comunicación tipo multidrop (multipuntos):** requiere solo un par de alambres y permite la conexión de hasta 15 aparatos de terreno en un lazo como se observa en la Figura 9 . Además, es posible utilizar barreras de seguridad y fuentes de poder auxiliares. En este modo, todos los valores de proceso son transmitidos digitalmente. En particular, en el modo Multipunto, las direcciones de "Polling" de los aparatos de terreno son mayores que 0, lo que significa que cada aparato tiene una dirección única para la comunicación. Asimismo, la corriente a través de cada equipo se fija en un valor mínimo, típicamente 4 mA [8].

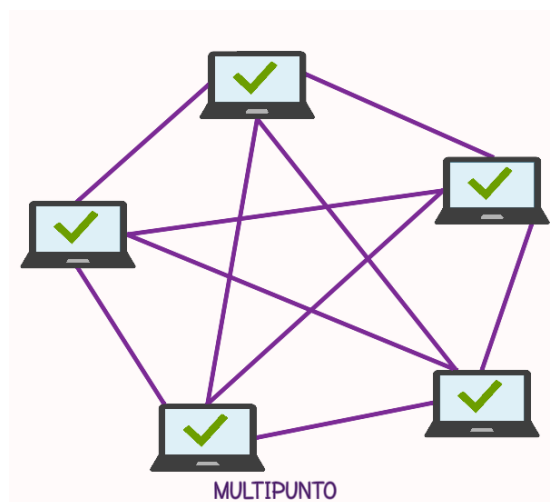


Figura 9: Conexión multipuntos. Fuente: Orrala J. Malavé L. (2025).

Ventajas del protocolo Hart.

Existen ventajas que favorecen al momento de usar el protocolo Hart, las cuales serán mencionadas a continuación:

- Mejora las operaciones en planta.
- Mayor flexibilidad operativa.
- Protección de la inversión en instrumentación.
- Alternativa económica de comunicación digital.
- Ahorro considerable en materiales electrónicos.

1.5.5. Protocolo de comunicación RS-485

Conocido como EIA/TIA-485, es una interfaz estándar de comunicación de la capa física. Se trata de un método de transmisión de señales utilizado en el primer nivel del modelo OSI, el cual es el modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos. El protocolo RS-485 fue desarrollado para mejorar las capacidades físicas de la interfaz RS-232.

La conexión en serie EIA-485 se establece utilizando un cable de dos o tres hilos: un hilo de datos, un hilo con datos invertidos y, en ocasiones, un hilo de tierra (0 V). En este método, los transmisores y receptores intercambian datos a través de un cable de par trenzado compuesto por hilos rígidos de calibre 22 o 24 AWG.

La función principal de RS-485 es transportar una señal a través de dos cables. Uno de los cables transmite la señal original, mientras que el otro lleva una copia invertida de la misma. Este método de transmisión ofrece una alta resistencia a las interferencias en modo común. El cable de par trenzado utilizado como línea de transmisión puede ser blindado o no blindado.

1.5.6. Normas eléctricas

El panel eléctrico es un componente fundamental en una instalación eléctrica. Consiste en una caja que alberga dispositivos para la conexión, medición y protección de un sistema eléctrico. Al diseñar y fabricar paneles eléctricos, es importante considerar criterios normativos y de diseño para garantizar un buen funcionamiento y la seguridad tanto de los equipos del sistema como del operador [3].

Dentro de la normativa CPE INEN 5 Parte 8:1986, Sección VIII, se abordan diversos temas relacionados con la regulación de los paneles de potencia, equipos de potencia, dispositivos de control, iluminación, cableado y equipos eléctricos [3].

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) establece pautas relacionadas con la seguridad eléctrica en edificios, industrias y establecimientos comerciales. En el contenido de esta norma se incluyen directrices y requisitos generales para las instalaciones eléctricas, el cableado, la protección, los equipos, los sistemas de comunicación, entre otros aspectos [3].

1.5.7. Pirámide de automatización - CIM

En la Figura 10, se muestra una representación visual de los diferentes niveles de integración tecnológica en una empresa o industria. Esta estructura estratégica facilita la intercomunicación entre los niveles en el proceso de producción, conectándolos mediante estándares de comunicaciones industriales. La pirámide permite identificar los elementos presentes en cada nivel, que van desde la recolección de datos y medición de variables en la base hasta llegar a niveles de control, supervisión y gestión, donde se toman decisiones para mejorar continuamente la producción. Cada nivel de la pirámide utiliza tecnologías específicas para sus funciones, y esta organización brinda a la empresa ventajas competitivas en su gestión [9].

Los diferentes niveles de la pirámide de automatización están conformados por:

- **Nivel de campo:** El nivel básico o nivel cero en la pirámide de automatización representa la etapa donde ocurre el proceso de fabricación.

Es el nivel de menor jerarquía y se caracteriza por utilizar maquinaria para llevar a cabo las operaciones fundamentales de producción en la empresa. En esta fase también se encuentran ubicados los operadores de planta, quienes desempeñan un papel crucial en este nivel, pueden monitorear de cerca el proceso y obtener datos detallados sobre su comportamiento y rendimiento [9].

- **Nivel de control:** Se encuentran controladores como autómatas programables, tarjetas de control y ordenadores industriales, cuya función es supervisar y controlar la maquinaria y dispositivos situados en el nivel básico de la pirámide. En esta fase de control, se emplean PLCs y otros controladores encargados de regular, controlar secuencias y establecer enclavamientos de seguridad y operación del proceso. La programación del PLC es de vital importancia para garantizar un adecuado control y regulación del proceso, además de evaluar las variables involucradas en su funcionamiento. La eficiencia de ingeniería y el diseño del programa también influyen en otros aspectos, como el control avanzado, optimización de activos y escalabilidad del sistema [9].
- **Nivel de supervisión:** Recopila toda la información generada en el nivel de control. Esto incluye estados de proceso, enclavamientos y variables asociadas a los lazos de control. En el nivel de supervisión, se desempeñan tareas cruciales, como la supervisión completa del proceso, la optimización de la operación y la implementación del mantenimiento preventivo. La información del proceso se almacena en una base de datos centralizada, permitiendo que los operadores generen consignas para los lazos del proceso y verifiquen su funcionamiento en tiempo real [9].
- **Nivel de gestión:** Se utilizan computadoras para administrar toda la información relacionada con la planeación y gestión de la empresa. Aquí se llevan a cabo diversas tareas, abarcando áreas como la gestión

comercial y de marketing, la planeación estratégica, la gestión financiera y administrativa, la gestión de recursos humanos, la ingeniería de producto y proceso, la gestión de tecnología, sistemas de información, investigación y desarrollo. En el nivel de gestión, se comparte información con el nivel 3 acerca de la situación comercial y se recibe información sobre el cumplimiento de programas, costos y otros aspectos relevantes [9].

- **Nivel de gestión:** Este nivel se ocupa de la gestión global de la empresa. Se emplean sistemas de gestión empresarial (MES) para coordinar y administrar todos los aspectos del negocio [9].

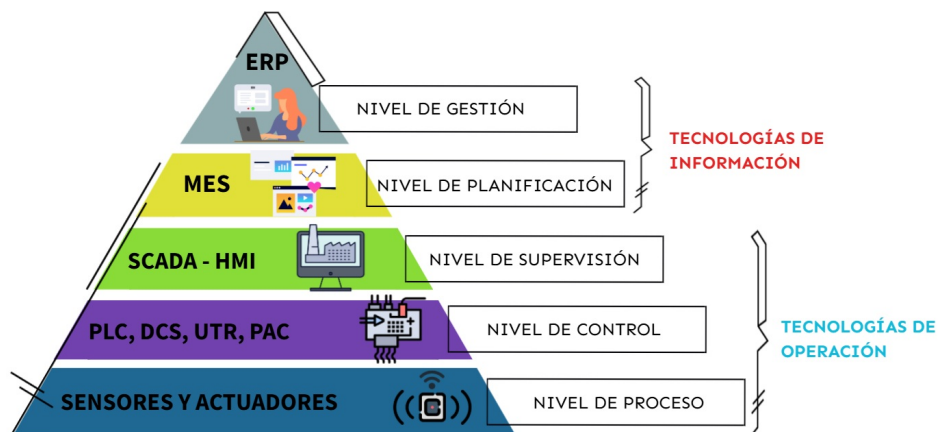


Figura 10: Pirámide CIM [10].

1.5.8. Interfaz Humano Máquina

Un interfaz Humano- Máquina (HMI), prevalece el punto medio de la interacción que hay entre un usuario y un hardware específico, capaz de mostrar información básica de un sistema de control de procesos. Este interfaz tiene la finalidad de dar a conocer datos esenciales del sistema de control en tiempo real, incluyendo variables de procesos, variables de control o un valor consigna.

Lo más recomendable es utilizar el interfaz con elementos gráficos, que permite proporcionar una representación completa. Además, es importante hacer el uso respectivo de la terminología estandarizada y clara para el usuario final, las capacidades avanzadas y la flexibilidad del software ofrece posibilidades de aumentar la eficiencia de máquinas y los procesos industriales.

Un HMI ofrece una explicación clara en tiempo real de lo que está sucediendo en el proceso, facilitando al usuario información para una toma de decisiones adecuada [11].

1.5.9. Controlador Lógico Programable

Se refiere a un dispositivo capaz de llevar a cabo operaciones lógicas, tanto combinacionales como secuenciales, mediante la programación adecuada que se introduce a través de los botones disponibles en su panel frontal o mediante el uso de un ordenador personal (PC). Existen dos tipos principales: el controlador lógico con funciones lógicas predefinidas en el propio dispositivo y el controlador lógico con diagramas de contacto [12].

Los controladores se emplean como componentes fundamentales de control para llevar a cabo automatizaciones de complejidad media en diversos ámbitos, como domótica, maquinaria industrial y invernaderos industriales. Una de las ventajas que ofrecen es su costo económico, ya que su complejidad es relativamente sencilla. Estos controladores también cuentan con salidas a relés que poseen una alta capacidad de corte, lo que les confiere una mayor versatilidad en su funcionamiento. Otra ventaja destacada es su bajo requerimiento de mantenimiento, lo que contribuye a su eficiencia y confiabilidad [12].

El controlador lógico se compone de varios elementos:

- **Fuente de alimentación:** Proporciona la energía necesaria para el funcionamiento del controlador lógico.

- **Unidad de operación y visualización:** Es el dispositivo mediante el cual se interactúa con el controlador, generalmente a través de un panel frontal que cuenta con teclas y una pantalla para mostrar información relevante.
- **Entradas y salidas:** Son los puntos de conexión a través de los cuales el controlador recibe información del entorno (entradas) y envía señales de control hacia otros dispositivos o equipos (salidas). Estas entradas y salidas pueden ser digitales o analógicas, dependiendo de los requerimientos del sistema.
- **CPU:** Es la unidad central de procesamiento del controlador, responsable de ejecutar los programas y realizar las operaciones lógicas y secuenciales.
- **Interfaz para la conexión a PC y módulos de programa:** Permite la conexión del controlador a un ordenador personal (PC) para programarlo y realizar configuraciones adicionales. También se utilizan módulos de programa que contienen el software necesario para el controlador lógico.

1.5.10. Comunicación entre sistemas

La comunicación entre sistemas industriales es un aspecto fundamental en el ámbito de la automatización industrial. Permite que diferentes dispositivos, equipos y sistemas intercambien información y trabajen de manera coordinada para lograr un funcionamiento eficiente de los procesos industriales.

- **Red LAN:** Las redes de área local (LAN) son redes privadas que utilizan su propio medio físico de comunicación. Estas redes se limitan a un área específica, como un centro educativo o una empresa, aunque

también pueden extenderse a través de varios edificios mediante diferentes métodos y medios de interconexión. En una LAN, la longitud máxima de los cables que conectan las diferentes computadoras puede variar, desde 100 metros utilizando cables de par trenzado, hasta varios kilómetros en segmentos conectados por fibra óptica. En la actualidad, la velocidad de transmisión típica en las LAN varía desde los 100 Megabit hasta los 10 Gigabit [13].

- **Cable par trenzado:** El cable par trenzado por lo general es utilizado en redes de comunicación con la finalidad de transmitir señales eléctricas, conformado por dos conductores eléctricos aislados y entrelazados con el objetivo de eliminar las interferencias de fuentes externas. Este tipo de cable está constituido por un grupo de hilos que se entrelazan en pares en forma helicoidal, donde contrarresta las interferencias electromagnéticas al formar una antena con dos alambres paralelos. Las entrelazarlos aquellas ondas se cancelan entre si y así mejora la transmisión de datos [13].
- **Fibra óptica:** Consiste en un filamento delgado conformada por hilos de vidrio o plástico usado como medio de transmisión de datos, que trabaja con impulsos de luz donde pueden enviar y recibir información válida. Una de las ventajas es que cumple una capacidad de transmisión de datos extremadamente alta, lo que permite velocidades de internet y transmisión de datos mucho más rápidas que otros medios de comunicación [14].
- **Conexiones inalámbrica:** Una conexión inalámbrica no requiere de cable para transmitir datos, establece una conexión entre dispositivos y lo hace a través de ondas de radio o señales de luz. La ventaja de este tipo de medio de conexión es que permite la movilidad y flexibilidad de comunicación, algunos de este tipo de conexión inalámbrica son: Wi-Fi, Bluetooth, NFC, Infrarrojo [13].

Este tipo de conexiones ha ido revolucionando la forma de comunicación y obtención de información, permitiendo estar conectado en movimiento y sin restricciones físicas de los cables.

1.6. Marco contextual

Un protocolo de comunicación industrial se refiere a un conjunto de reglas y estándares que permiten a dos entidades en un sistema interactuar y establecer una comunicación eficiente. Su propósito es facilitar el intercambio de información a través de múltiples variables.

El presente trabajo de titulación se llevará a cabo en el laboratorio de Automatización ubicada específicamente en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, los protocolos de comunicación industrial están compuestos por encabezados, cuerpos de datos, secuencias de control, formatos de datos y reglas de comunicación que definen cómo se estructura, transmite y controla la información en los sistemas industriales. Cada protocolo puede tener su propia especificación y configuración, la cual permitirían adaptarse a las necesidades de la aplicación industrial en el laboratorio de automatización, adjudicando tres tipos de protocolos de comunicación, por ejemplo, el protocolo Hart, Profinet y RS – 485.

Los estudiantes de la carrera de electrónica y automatización son los principales destinatarios de este proyecto, obteniendo beneficios directos, la implementación de estos protocolos conlleva la puesta en marcha de dichos sistemas de comunicación industrial, la cual permitirá consolidar su intelecto adquirido de manera práctica y así lograr realizar diversas practicas utilizando los protocolos de comunicación industrial que se establecerán en el laboratorio para comprobar netamente su funcionamiento.

Para llevar a cabo el proyecto se basa en estándares del protocolo Profinet que indican que es un protocolo Ethernet en tiempo real utilizado para la comunicación en entornos industriales, la cual permite la transmisión de datos

en tiempo real y es compatible con la comunicación a nivel de campo y a nivel de control, HART describe el formato y la estructura de los mensajes HART, así como las funciones y comandos utilizados para la comunicación entre los dispositivos maestros - esclavos y el protocolo RS-485, también conocido como EIA-485, es un estándar de comunicación serial ampliamente utilizado en aplicaciones industriales para la transmisión de datos en redes de largo alcance.

2. Métodos y diseño experimental

2.1. Métodos

Para llevar a cabo “La implementación de protocolos de comunicación industrial para el laboratorio de automatización de la Universidad Estatal Peninsular de Santa Elena – UPSE”, se aplicó una metodología que combina investigación bibliográfica, diseño técnico, montaje físico, configuración de dispositivos y pruebas experimentales:

- **Investigación bibliográfica:** Se realizó un análisis de los protocolos de comunicación industrial mediante una revisión de fuentes bibliográficas incluyendo manuales técnicos de fabricantes como Siemens, Emerson y artículos científicos especializados. Esta búsqueda permitió identificar las principales características, ventajas limitaciones, aplicaciones de cada protocolo, resumido en un cuadro comparativo.
- **Diseño Técnico:** Para llegar a la implementación de los protocolos en el modulo didáctico se elaboraron diagramas de conexión utilizando software de diseño como Cade Simu, para ello se consultaron manuales técnicos de los dispositivos a emplear, verificando conexiones de pines, cables requeridos y la respectivas especificaciones de la alimentación de cada equipo.

MONTAJE FÍSICO

- **Configuración de dispositivos:** Para la configuración de los dispositivos se empleó el software TIA Portal para la programación de los PLC S7-1200, definiendo direcciones IP, parámetros profinet y escalado de variables del proceso. La configuración del HMI delta se configuró en el software DOPSOFT, donde se establecieron comunicaciones y visualización de variables, asegurando la compatibilidad entre dispositivos.
- **Pruebas experimentales:** En la evaluación de cada protocolo, se diseñaron pruebas experimentales enfocadas en la estabilidad y confiabilidad de la red. Se utilizaron herramientas de monitoreo como Wireshark con la finalidad de capturar y analizar el tráfico de datos en especial el protocolo profinet.

Para concluir, como parte del proyecto se elaboró una guía práctica de configuración de los protocolos PROFINET, HART y RS-485. Para ello, durante todo el proceso se documentaron cuidadosamente los pasos seguidos, se capturaron imágenes de pantalla de las configuraciones y se organizó la información de manera didáctica, de forma que pueda ser utilizada como material de apoyo en futuras prácticas del laboratorio.

2.2. Descripción del proyecto

En la Figura 11 se muestra la implementación de protocolos de comunicación industrial, lo que es un proceso clave en el campo de la automatización industrial y la interconexión de dispositivos y sistemas en entornos industriales. Estos protocolos permiten la transmisión confiable y segura de datos entre diferentes dispositivos, como: PLCs, sensores, actuadores y sistemas de supervisión y control.

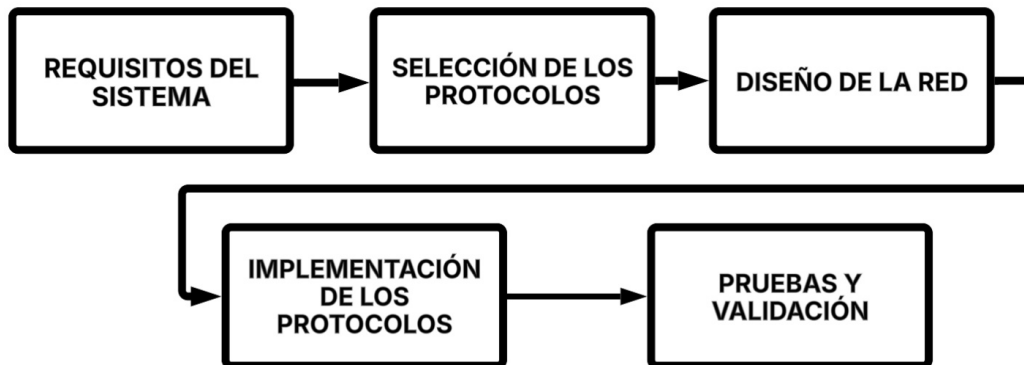


Figura 11: Pasos involucrados en el diseño e implementación de protocolos de comunicación industrial. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

- **Requisitos del sistema:** Comprender los requisitos del sistema y las necesidades de comunicación. Esto implica identificar los dispositivos y sistemas que necesitan comunicarse, la cantidad de datos a transmitir, los plazos requeridos y los niveles de seguridad y confiabilidad necesarios.
- **Selección del protocolo:** Una vez que se comprenden los requisitos, se debe seleccionar el protocolo de comunicación adecuado. Existen varios protocolos industriales populares, como Modbus, Hart, Profibus, RS-232, Ethernet/IP, OPC (OLE for Process Control), CAN (Controller Area Network), entre otros. La elección del protocolo dependerá de factores como el tipo de aplicación, el alcance de la red, la velocidad de transmisión requerida y la compatibilidad con los dispositivos existentes.
- **Diseño de la red:** Una vez seleccionado el protocolo, se debe diseñar la arquitectura y los detalles del protocolo de comunicación. Esto implica definir el formato de los mensajes, las reglas de codificación y decodificación, los mecanismos de detección y corrección de errores, los métodos de autenticación y encriptación, y las técnicas de manejo de colisiones y congestión de red. El diseño del protocolo debe garantizar una comunicación eficiente, confiable y segura.

- **Implementación del protocolo:** Después de diseñar el protocolo, se procede a su implementación. Esto implica desarrollar el software o firmware necesario para habilitar la comunicación según las especificaciones del protocolo. La implementación puede involucrar el uso de bibliotecas de software, API (interfaces de programación de aplicaciones) o herramientas de desarrollo específicas proporcionadas por los fabricantes del protocolo.
- **Pruebas y validación:** Una vez implementado, el protocolo debe someterse a pruebas exhaustivas para garantizar su funcionalidad y rendimiento. Esto puede incluir pruebas de interoperabilidad con diferentes dispositivos y sistemas, pruebas de carga para evaluar la capacidad del protocolo para manejar grandes volúmenes de datos, pruebas de seguridad y pruebas de resiliencia ante fallos. Las pruebas y validación son fundamentales para asegurar la calidad y confiabilidad del protocolo de comunicación.

2.3. Componentes de la Propuesta

En la siguiente sección se describen en detalle los componentes físicos y lógicos empleados en la implementación del presente proyecto, incluyendo sus características técnicas más relevantes. Asimismo, se ofrece una breve explicación del principio de funcionamiento de cada uno, con el fin de comprender su papel dentro del sistema.

2.3.1. Componentes físicos

En esta sección se enumeran los componentes físicos de mayor relevancia, previamente seleccionados y adquiridos para su integración en el desarrollo de la propuesta. Cada uno de estos elementos ha sido elegido por su impacto funcional dentro del sistema, contribuyendo de manera significativa a la implementación técnica y operativa del proyecto.

Controlador lógico programable S7-1200 1214C

El autómata programable utilizado corresponde a un Controlador Lógico Programable (PLC) de la serie S7-1200 de Siemens, específicamente diseñado para aplicaciones de automatización industrial de pequeña a mediana escala. El modelo en cuestión, con número de referencia 6ES7214-1BG40-0XB0, forma parte de la familia de CPUs 1214C, destacándose por su alto rendimiento, escalabilidad y facilidad de integración. Esta unidad de procesamiento central cuenta con entradas y salidas integradas, así como capacidades avanzadas de comunicación y procesamiento lógico [15].

El modelo CPU 1214C AC/DC/Relay permite el control de señales tanto digitales como analógicas. La especificación “AC/DC/Relay” indica que la alimentación del equipo se realiza con corriente alterna (AC), las entradas aceptan señales de corriente continua (DC), y las salidas están implementadas mediante relés mecánicos, lo que aporta una mayor versatilidad y compatibilidad con distintos tipos de actuadores y cargas. Esta configuración lo convierte en una solución flexible para una amplia gama de procesos industriales, donde se requiera confiabilidad, control preciso y capacidad de expansión [15]. En la Figura 12 , se muestra el aspecto físico del componente y en la Tabla 1, se indican las características técnicas más importantes.



Figura 12: PLC S7-1200 1214C AC/DC/RELAY [15].

Tabla 1: Tabla de características técnicas del PLC S7-1200 [15].

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Nombre del producto	CPU 1214C AC/DC/RELAY
Código del producto	6ES7214-1BG40-0XB0
Tipo del CPU	Compacta
Alimentación	AC/DC
Entradas digitales	14 x 24V DC
Salidas digitales	10 x relé (2A)
Entradas analógicas	2 x 0-10V DC
Memoria de programa/datos	100 KB
Memoria de carga	2 MB
Comunicación	1 puerto PROFINET
Expansión	Hasta 3 módulos de comunicación, 8 módulos de señal y 1 placa de señal/placa de comunicación
Funciones adicionales	Temporizador, contadores, PWM, comunicación serie, etc.
Tiempo de ejecución	0,08 μ s para operaciones de bits, 1,7 μ s para operaciones de palabras, 2,3 s para aritmética de coma flotante
Temperatura de funcionamiento	-20 a +60 °C
Grado de protección	IP20
Montaje	Riel DIN

Pantalla HMI DELTA DOP-103BQ

El panel de interfaz hombre-máquina (HMI) DELTA DOP-103BQ cuenta con una pantalla de 4,3 pulgadas que ofrece una visualización a color de alta calidad, ideal para representar datos e información de manera clara y detallada. Contiene puertos de comunicación RS232 y RS485, lo que le permite integrarse eficientemente en redes industriales para la supervisión y control de procesos.

Gracias a estas capacidades, el dispositivo puede funcionar como una interfaz de usuario en entornos de automatización, facilitando la operación y monitoreo de maquinaria o sistemas[15]. La Figura 13 se muestra la apariencia física del equipo, mientras que en la Tabla 2, se detallan sus principales especificaciones técnicas.



Figura 13: Pantalla HMI DELTA DOP-103BQ [16].

Tabla 2: Tabla de características técnicas HMI DELTA DOP-103BQ [17].

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca	Delta
Nombre/Número de modelo	DOP-103BQ
Tamaño de la pantalla	Pantalla LCD TFT de 4,3"
Tipo de comunicación	RS-422 / RS-485*2
Tipo de puerto	1 esclavo USB versión 2.0, 1 host USB versión 2.0
Tipo de montaje	Montaje en panel
Sistema operativo	Ventanas 7
Fase	monosilábica
Resolución de pantalla	480 x 272 píxeles
RAM	256 MB
Dimensiones (An) x (Al) x (Pr) mm	137 x 103 x 37,1 mm
Rango de visualización	95,04 x 53,856 mm
Brillo	400 cd/m2 (típico)
Peso	280 gramos

Módulo RS-485

RS485 es un estándar de comunicaciones muy utilizado en aplicaciones de adquisición y control de datos. Una de sus principales ventajas es que permite incluir varios dispositivos RS-485 en el mismo bus, lo que hace posible que varios nodos se conecten entre sí. En la Figura 14 , se muestra el aspecto físico del componente y en la Tabla 3, se indican las características técnicas más importantes[18].



Figura 14: Módulo RS 485[19].

Tabla 3: Tabla de características técnicas del protocolo RS-485

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Tipo de protocolo	Semi-dúplex
Tipo de señal	Balanceado
Números de dispositivos	Hasta 32 transmisores y 43 receptores
Transmisión máxima de datos	10Mbps a 15 metros
Longitud máxima de cable	Aproximadamente 1120 metros a 100 Kbps

Módulo HART

El módulo HART opera a una velocidad de 1200 bits por segundo, trans-

mitiendo señales digitales superpuestas sin interferir con la señal analógica estándar de 4–20 mA. Esta capacidad permite implementar una arquitectura de comunicación tipo maestro-esclavo, donde un maestro puede realizar dos o más actualizaciones por segundo desde un único instrumento de campo, garantizando así una comunicación eficiente y continua con los dispositivos de proceso[7]. En la Figura 15 , se muestra el aspecto físico del componente y en la Tabla 4, se indican las características técnicas más importantes.



Figura 15: Módulo HART [20]

Tabla 4: Tabla de características técnicas del módulo HART [20].

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Voltaje de funcionamiento	24V CC
Señal de entrada	Potenciómetro
Señal de salida	0-22mA o 0-10V, corriente de accionamiento \pm 20mA
Presión de la pantalla	Corriente: 0.1mA/0,001mA; voltaje: 0,01 V/0,1 V
Tamaño	100 x 68 x 38 mm.
Linealidad	mejor que porcentaje 0.2
Modo de visualización	tubo digital de 4 dígitos
Método de ajuste	Codificador giratorio + botón
Depuración	<p>A. Para calibrar la pantalla, gire el potenciómetro multivuelta al máximo en sentido horario, coloque el interruptor de visualización a la derecha y use un multímetro para medir la corriente de salida. Luego, ajuste el potenciómetro de visualización hasta que el valor mostrado coincida con el real.</p> <p>B. Para calibrar la visualización del voltaje, gire el potenciómetro multivuelta al máximo en sentido horario, coloque el interruptor de visualización a la izquierda y mida el voltaje de salida con un multímetro. Luego, ajuste el potenciómetro de voltaje hasta que el valor mostrado coincida con el real.</p>

Fuente de alimentación QYR-60-24

Es un equipo encargado de suministrar energía eléctrica a un sistema o dispositivo, ya sea eléctrico o electrónico. Puede estar integrado en el propio dispositivo (interna) o ser independiente (externa). Su clasificación depende de factores como el tipo de entrada (corriente alterna o continua), el voltaje de salida, la corriente máxima que puede entregar y sus capacidades de regulación [21]. En la Figura 16 se muestra su apariencia física, y en la Tabla 5 se resumen sus principales especificaciones técnicas.



Figura 16: Fuente de alimentación QYR-60-24 [21].

Tabla 5: Tabla de características técnicas de la fuente de alimentación

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Marca	QYR-60-24
Montaje	Sobre riel DIN (DIN rail mountable)
Entrada (Input)	100–240 V AC, 50/60Hz, 1.8A
Salida (Output)	24V DC \pm ajustable (21.6V – 29V) Corriente máxima: 2.5A
Potencia nominal	60W
Ajuste de voltaje	Potenciómetro de ajuste (Vo Adj.)
Indicadores LED	-Voltaje de salida (Output Voltage) -Voltaje de entrada (Input Voltage)
Terminales de salida	+V / +V / -V / -V (dobles para carga balanceada)
Protección	Contra sobrecarga, sobretensión, cortocircuito (típicamente presente en este tipo de fuentes, aunque no se detalla en la etiqueta)

Switch

Es un dispositivo de red que permite interconectar hasta cinco dispositivos (como computadoras, impresoras, cámaras IP, etc.) dentro de una red local (LAN). En la Figura 17 se muestra su apariencia física, y en la Tabla 6 se muestran las características técnicas.

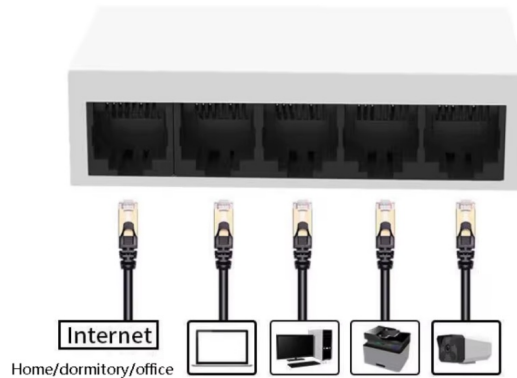


Figura 17: Switch 10/100 Mbps [22].

Tabla 6: Tabla de características técnicas del Switch[22].

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Interfaz	*5 puertos 10/100/Mbps RJ45 *Negociación AUTO/AUTO MDI/MDIX
Fuente de alimentación externa	5VDC/1A
Método de transferencia	Almacenar y reenviar
Funciones avanzadas	*Tecnología verde, ahorro de energía hasta un 70 % *Control de flujo 802.3X, contrapresión *Enlace automático a cada puerto
Contenido del paquete	*Conmutador de escritorio de 5 puertos 10/100Mbps *Adaptador de corriente *Guía del usuario

2.3.2. Componentes Lógicos

En esta sección se enumeran y detallan los programas o softwares considerados para el diseño e implementación adecuada de la propuesta.

CADESimu

Es un software gratuito que permite simular circuitos eléctricos, neumáticos y sistemas PLC. Está diseñado como una herramienta educativa para estudiantes y profesionales, ofreciendo una amplia biblioteca de símbolos organizados por categorías para facilitar la creación y estructuración de esquemas [15].

DOPSoft

Desarrollado por Delta Electronics, es un software para la configuración y programación de pantallas táctiles HMI. Permite diseñar interfaces personalizadas que facilitan la interacción entre operarios y maquinaria, ofreciendo funciones gráficas, alarmas y animaciones para una gestión visual eficiente de procesos industriales [15].

TIA Portal V16

Desarrollado por Siemens, es un entorno integrado para la programación, configuración y monitoreo de sistemas de automatización industrial. Ofrece mejoras en eficiencia, diagnósticos avanzados y simulación, facilitando la gestión integral de proyectos de automatización [15].

Wireshark

Wireshark es una herramienta de análisis de red que captura y examina tráfico en tiempo real. Soporta múltiples plataformas y protocolos, permite filtrar datos y facilita la detección de fallos. Es útil en conectividad, desarrollo, ciberseguridad y en entornos industriales para monitorear protocolos como Modbus TCP/IP. [15]

2.4. Implementación de la propuesta

2.4.1. Diagrama de conexión eléctrica elaborado en CADESIMU

En la Figura 18 se representa el esquema eléctrico del sistema. Este comienza con la línea de alimentación y neutro, seguido de una protección junto con el disyuntor o breaker, que activará y desactivará los equipos. En el momento de alimentar el sistema se activarán los dos PLC, y la fuente de poder de 24V, pues estos instrumentos funcionan a mayor voltaje, la fuente de poder alimentará al HMI DELTA y el módulo HART.

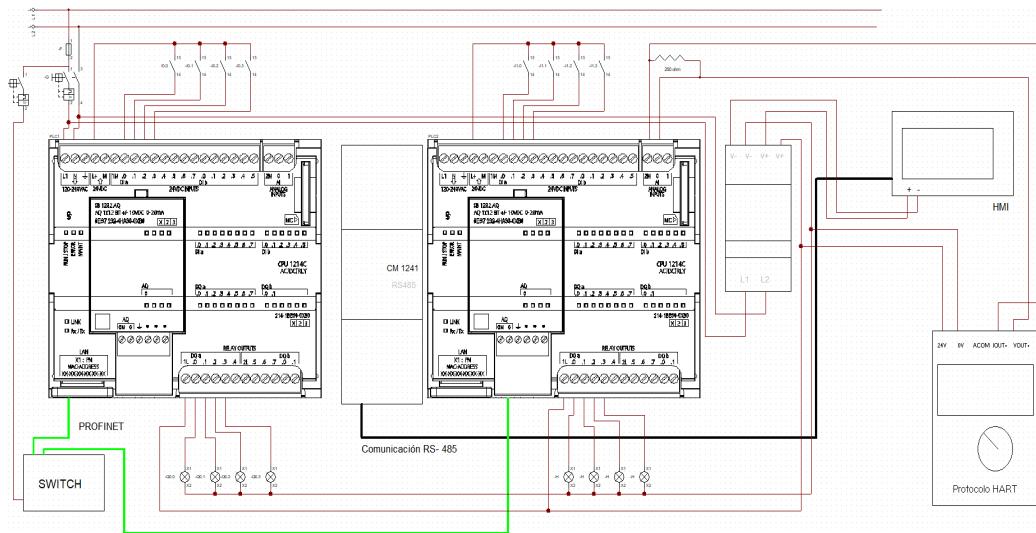


Figura 18: Diagrama eléctrico. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

2.4.2. Diseño 3D de la estructura

En la Figura 19 se muestra el modelo tridimensional desarrollado en SketchUp, el cual representa la estructura física del módulo didáctico. Esta estructura sirve como base para el montaje y disposición de los dispositivos involucrados en la comunicación industrial propuesta. El modelo incluye PLC S7-1200, módulo Hart, HMI Delta y las respectivas entradas y salidas que van al PLC. Este diseño no solo sirvió como guía para realizar el montaje físico, sino que también permitió simular la posición de los componentes, asegurando una funcionalidad didáctica para el aprendizaje de los estudiantes

de la carrera de electrónica y automatización.

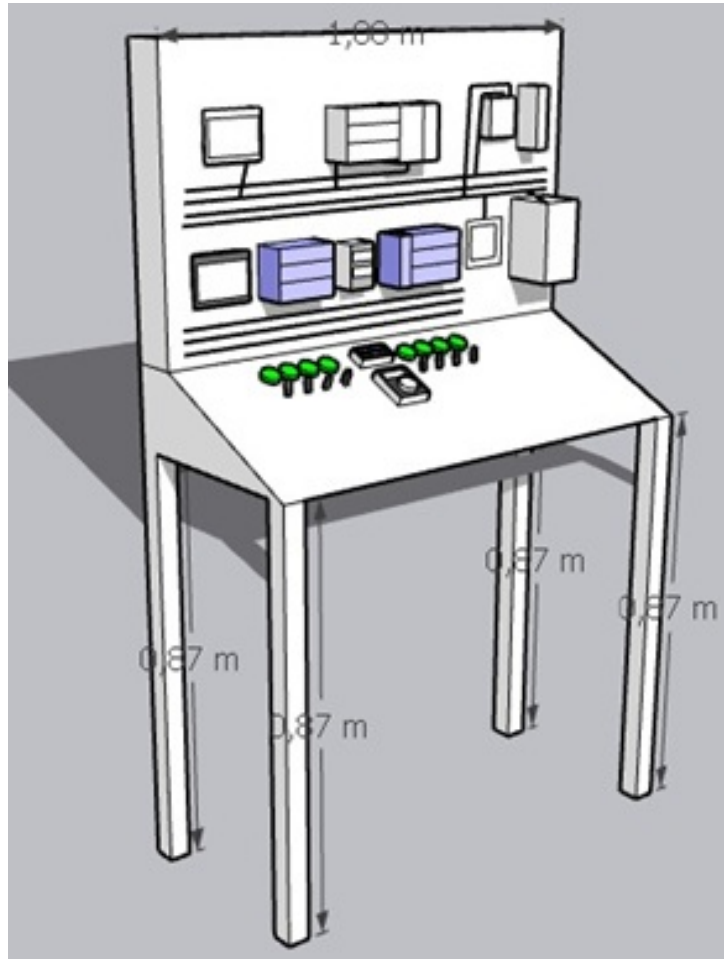


Figura 19: Diseño 3D de la estructura. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

2.4.2.1. Ensamblaje del Módulo Didáctico

En este apartado se describen las etapas clave del proceso, que abarcan desde la construcción inicial del módulo didáctico hasta su montaje final.

Implementación de equipos en el módulo didáctico

Para llevar a cabo la construcción del módulo didáctico, se adquirieron los materiales y herramientas necesarias, fabricada en aluminio y recubierta con un panel de aluminio compuesto que proporciona durabilidad, ligereza, estético-

ca y seguridad. Además, este recubrimiento incluye una capa de protección diseñada para entornos educativos, que contribuye a reducir el riesgo de incendios. En la Figura 20 se muestra el aspecto físico.



Figura 20: Implementación de estructura. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

3. Resultados

3.1. Análisis de los protocolos de comunicación industrial

Como resultado de la comparación de los protocolos de comunicación industrial se elaboró una tabla como se muestra en la Figura 21 se resume las principales características y en ella se destacan la velocidad de transmisión, la cantidad de dispositivos soportados, la distancia máxima de operación

y el tipo de medio físico o señal utilizado. En el protocolo profinet se observó que ofrece velocidades significativas superiores, alcanzando 100 Mbps en Fast Ethernet , lo que permite manejar grandes volúmenes de datos en tiempo real. Hart presenta velocidades aproximadas de 1.2 kbps, al transmitir datos digitales FSK. RS485 puede operar hasta 10 Mbps, aunque en aplicaciones industriales suele configurarse a velocidades mas bajas garantizando estabilidad. Estos resultados permitieron comprender ventajas, limitaciones y aplicaciones mas adecuadas de cada protocolo en entornos industriales.

Protocolo	Velocidad de Transmisión	Cantidad de Dispositivos	Distancia Máxima	Tipo de Señal / Medio
PROFINET	Hasta 100 Mbps (Fast Ethernet) y hasta 1 Gbps en versiones avanzadas	Teóricamente hasta 65.535 dispositivos (limitado por IP) Prácticamente: 100–500 por red bien diseñada	Hasta 100 m por segmento (sin repetidores)	Ethernet (cableado par trenzado, fibra óptica)
HART	Aprox. 1.2 kbps sobre señal de 4–20 mA (modulación FSK)	Máximo 15–16 dispositivos por lazo HART (con multiplexores o buses)	Hasta 1.500 m (dependiendo de la resistencia y capacitancia del cable)	Cableado de instrumentación (4–20 mA)
RS-485	Hasta 10 Mbps (comúnmente 9600 bps a 115200 bps)	Hasta 32 receptores estándar (hasta 128–256 con repetidores o chips especiales)	Hasta 1.200 m (a 100 kbps o menos)	Cable par trenzado balanceado (diferencial)

Figura 21: Comparación de los protocolos. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

3.2. Topologías aplicadas en el sistema

3.2.1. Topología en estrella

En la Figura 22, se muestra que esta topología se basa en la configuración de red que conecta los dispositivos a un punto central, en este caso, el switch estará gestionando la conexión entre el PLC S7 1200 6ES7214-1BG40-0XB0 y el PLC 6ES7214-1BG31-0XB0 con el objetivo de realizar el protocolo Profinet.

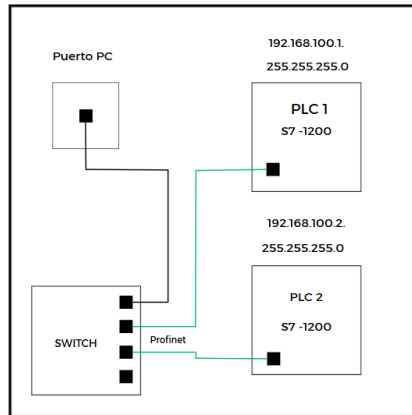


Figura 22: Topología estrella. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

3.2.2. Topología punto a punto

En la Figura 23, se muestra que esta topología consiste en la conexión directa entre dos dispositivos y es aplicada en la comunicación entre el módulo CM 1241 RS-485 ubicado junto al PLC 2 y el HMI delta DOP-103BQ. Así mismo, esta topología se da en la conexión entre el Hart y el PLC 2.

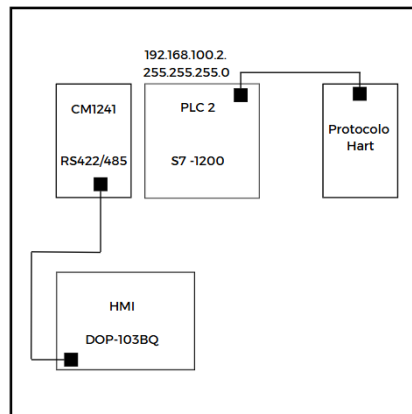


Figura 23: Topología punto a punto. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

3.3. Integración de los equipos en el módulo didáctico

En la Figura 24 se muestra el montaje de los equipos en el módulo de redes industriales, tomando en consideración el modelo 3D propuesto, el cual sirvió como guía para la distribución física de los componentes. Se prestó especial atención a la ubicación estratégica de cada dispositivo, asegurando tanto la accesibilidad para la operación y mantenimiento, como el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad eléctrica. Se incorporan elementos de protección adecuados para los equipos, con el fin de garantizar la integridad de los dispositivos y minimizar interferencias en la comunicación industrial.



Figura 24: Incorporación de módulos de protocolos de comunicación. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

3.4. Conexión de los PLC's S71200

Al realizar la conexión de los PLC's S7 1200 CPU 1214C AC/DC/RLY(6ES7214-1BG40-0XB0 y 6ES7214-1BG31-0XB0) es importante verificar el

voltaje de alimentación requerido por los dispositivos. En este caso, ambos controladores lógicos programables fueron alimentados por una fuente de 110 V AC, cuya conexión será dirigida a los terminales L y N de cada CPU, con la finalidad de garantizar una operación estable. Las entradas digitales de los controladores se configuraron para recibir las señales de los interruptores de palanca, mientras que las salidas digitales están dirigidas a las luces pilotos, obteniendo un control y monitoreo visual del sistema. El puerto PROFINET integrado al PLC 1 se conectó al switch Ethernet, mediante un cable ethernet Cat5e, asegurando una transmisión de datos confiables y sin que haya interferencias o pérdidas.

De la misma manera, el puerto PROFINET del PLC 2 se conectó al mismo switch usando otro cable ethernet Cat5e. En la Figura 25 se muestran las conexiones físicas de los módulos de comunicación.

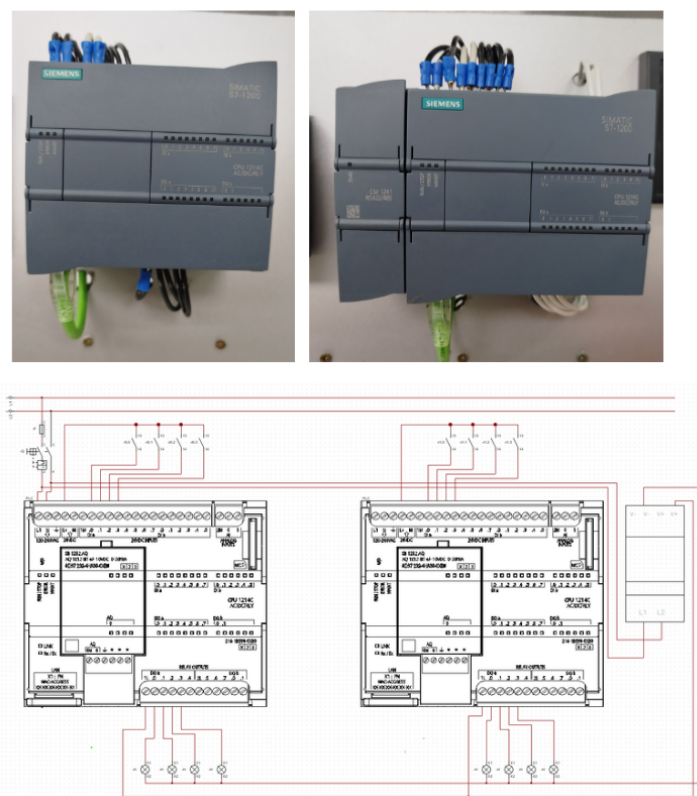


Figura 25: Conexión del PLC 1 y PLC 2. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

3.5. Conexión del módulo de expansión RS- 485

El módulo de expansión CM 1241 RS-485 (6ES7 241-1 CH32-0XB0) fue colocado en la ranura de expansión adyacente junto al PLC2 S7-1200 6ES7214-1BG40-0XB0 con la finalidad de establecer la comunicación RS 485 con el HMI Delta DOP-103BQ.

La alimentación del módulo CM 1241 se toma directamente del PLC 2, aprovechando la fuente de 24 V DC integrada en la CPU. Esta fuente interna suministra la energía necesaria para el funcionamiento de los módulos de comunicación industrial conectados al sistema. En la Figura 26 se muestra el aspecto físico de la conexión del componente.

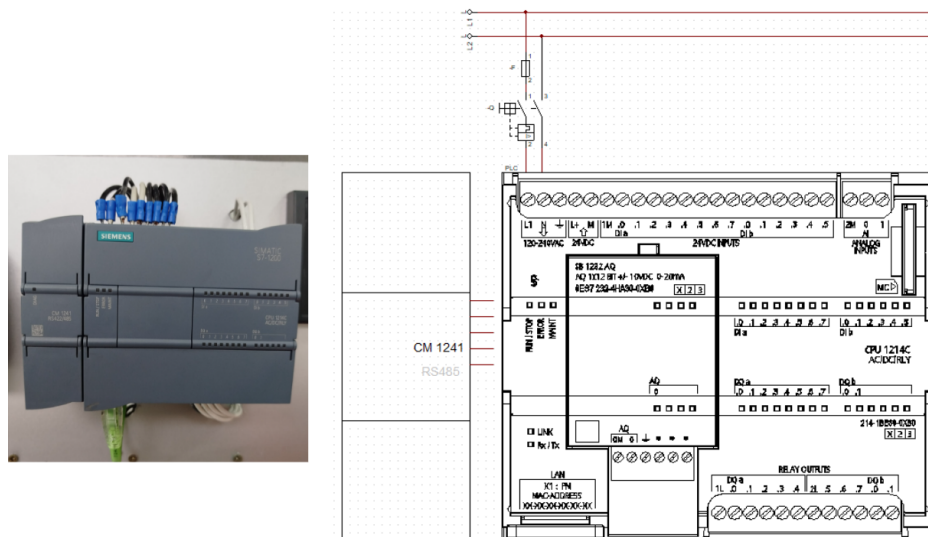


Figura 26: Conexión del módulo RS 422/485. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

3.6. Conexión del módulo HART

la Figura 27, se observa la conexión del módulo HART al sistema de automatización donde se inicia con la alimentación del lazo de corriente mediante una fuente de poder de 24 V DC, este se conecta a las terminales positivo y negativo, asegurando una alimentación estable para el dispositivo HART que es encargado de generar una señal analógica de 4-20 mA.

Para realizar la conexión con el PLC s7-1200 6ES7214-1BG40-0XB0 se conectó directamente a las entradas analógicas integradas del PLC S7-1200 CPU 1214C AC/DC/RLY, por medio de la entrada AI0, configurada para leer señales de voltaje.

Para adaptar el sistema de transmisión de señal mediante un lazo de corriente de 4 a 20 mA, la señal eléctrica se convierte en un voltaje proporcional al hacer pasar dicha corriente a través de una resistencia de carga de $R = 250 \Omega$. Aplicando la ley de Ohm

$$V = I \cdot R$$

se realiza los siguientes cálculos (1) y (2) donde la corriente de 4mA genera un voltaje de un 1V y la corriente 20mA genera un voltaje de 5V.

$$V = 4 \text{ mA} \times 250 \Omega \tag{1}$$

$$V = 1 \text{ [V]}$$

$$V = 20 \text{ mA} \times 250 \Omega \tag{2}$$

$$V = 5 \text{ [V]}$$

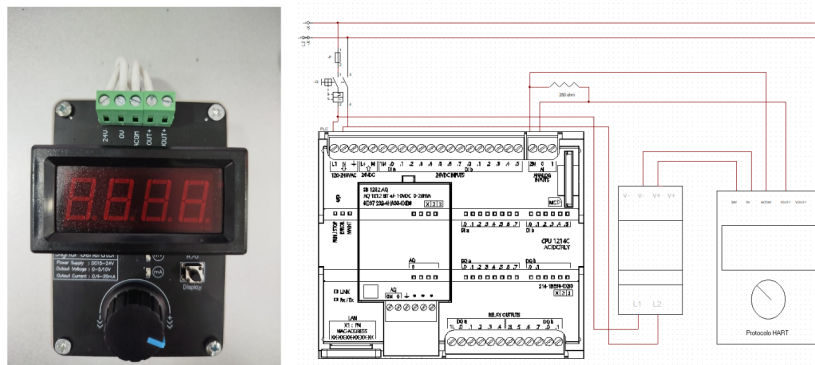


Figura 27: Diagrama de conexión del módulo Hart al PLC 2. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

3.7. Conexión del HMI Delta DOP-103BQ

El HMI Delta DOP-103BQ, encargado de proporcionar una interfaz visual para la supervisión y el control del sistema, fue alimentado mediante una fuente de 24V DC, la conexión se realizó a través de los terminales de alimentación del HMI, identificados como D^+ (positivo) y D^- (negativo), como se muestra en la Figura 28.

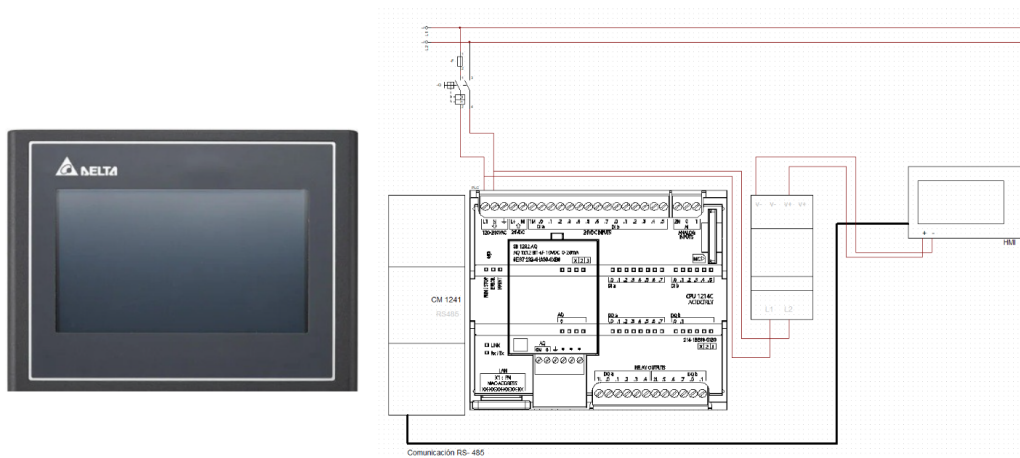


Figura 28: Conexión del HMI Delta Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

Para garantizar una comunicación estable utilizando el protocolo RS-485, se empleó el cable con puertos macho DB9, considerando la correcta disposición de pines de acuerdo con la norma del dispositivo, como se ilustra en la Figura 29 y Figura 30 .

COM PORT - DELTA	PIN	MODEL	
		COM 1	RS-485
	1	D+	
	2		
	3		
	4		
	5	GND	
	6	D-	
	7		
	8		
	9		

Figura 29: Configuración de pines del HMI . Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

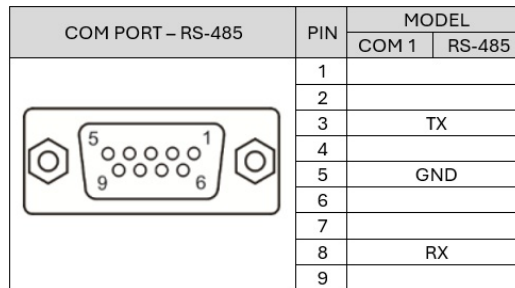


Figura 30: Configuración de pines del módulo RS-485. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

3.8. Configuración y prueba de la comunicación del protocolo industrial PROFINET

La comunicación entre los dos PLC Siemens S7-1200, modelos CPU 1214C AC/DC/RLY (6ES7214-1BG40-0XB0 y 6ES7214-1BG31-0XB0), se establece a través del protocolo PROFINET. En esta configuración, el PLC1 opera como IO-Controller, encargado de enviar datos procesados, mientras que el PLC2 funciona como IO-Device, recibiendo dicha información. Esta arquitectura permite una comunicación eficiente y determinista entre ambos dispositivos, como se muestra en la Figura 31.

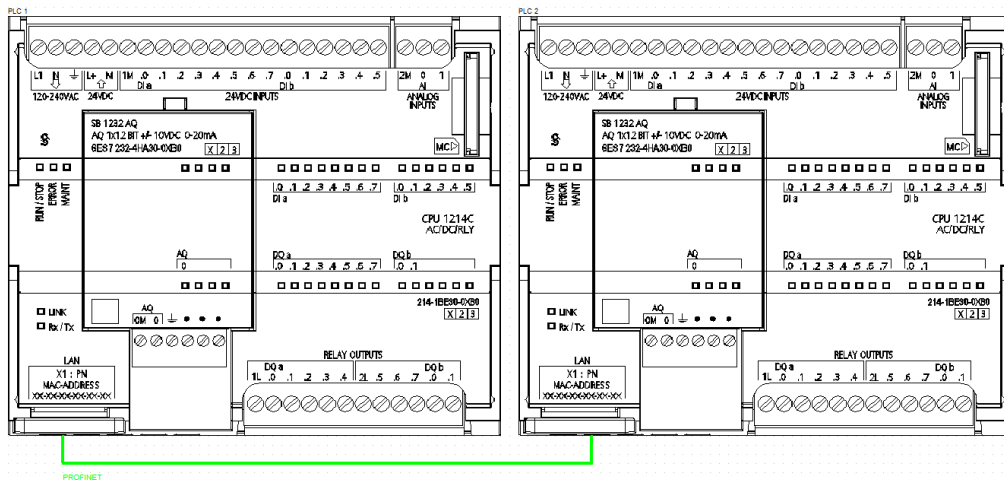


Figura 31: Adaptación del protocolo PROFINET. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

Para un intercambio de datos eficiente y estructurado en el software TIA PORTAL V16, se usaron los siguientes bloques PUT y GET. El bloque PUT permite enviar datos, mientras que el bloque GET recupera estos datos para su respectivo procesamiento o transmisión. La configuración que se muestra en la Figura 32 del bloque PUT se realizó tomando en consideración la Tabla 7.

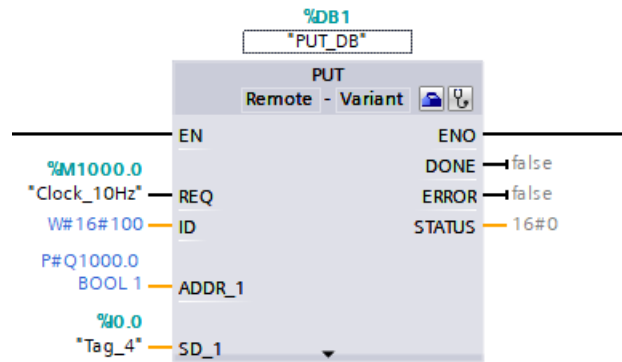


Figura 32: Configuración PUT en TIA PORTAL. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

Tabla 7: Tabla de Configuración de la instrucción PUT [15].

Configuración de la Instrucción PUT	
EN	Activación de la instrucción
REQ	Señal de activación Clock 10Hz
ID	Identificador de conexión Profinet
ADDR 1	Dirección del destino PLC 2
SD 1	Dato a enviar asignado a la variable Tag 4 que sería una de las entradas físicas.
DONE	Indicador de finalización que se activa tras una transferencia de datos exitosa
ERROR	Indicador de error, que se activa tras una transferencia de datos fallida.
Status	Código de estado que proporciona diagnóstico.

Se utilizó el bloque de instrucción GET con el propósito de recibir datos

provenientes del PLC1. La configuración detallada del bloque se presenta en la siguiente Figura 33 tomando en consideración la Tabla 8.

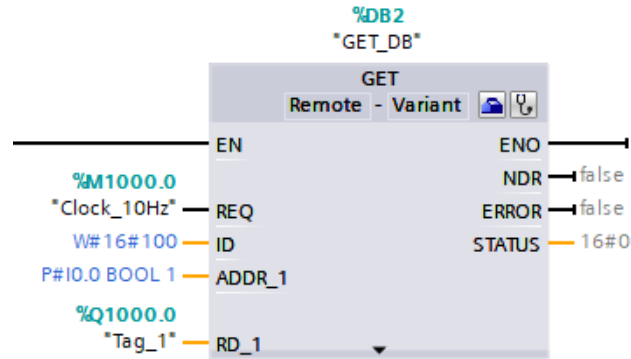


Figura 33: Configuración GET en TIA PORTAL. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

Tabla 8: Tabla de Configuración de la instrucción GET [15].

Configuración de la Instrucción GET	
EN	Activación de la instrucción
REQ	Señal de activación Clock 10Hz
ID	Identificador de conexión Profinet
ADDR 1	Dirección del destino PLC 1
RD 1	Dato recibido y asignado a la variable tag 1, que sería la salida física.
NDR	Indicador de recepción, que se activa en el momento de recibir datos.
ERROR	Indicador de error, que se activa tras una transferencia de datos fallida.
Status	Código de estado que proporciona diagnóstico.

En la siguiente Figura 34 se define la configuración del PLC 1 como un controlador y el PLC 2 como dispositivo; ambas interfaces de comunicación se asignaron al puerto Profinet que está integrado en cada PLC S7-1200.

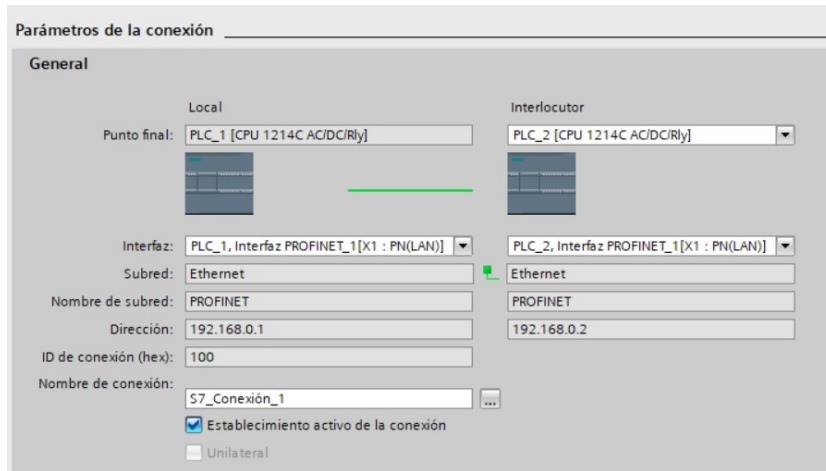


Figura 34: Configuración de parámetros. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

En la Figura 35 el PLC 1 asignado para enviar datos como LOCAL con la configuración de Punto final PLC 1(CPU 1214c AC/DC/RLY) se le definió nombre de subred PROFINET con dirección 192.168.0.1, el ID de conexión se estableció en 100, cuyo valor identifica la conexión específica entre los PLC y que se utiliza como parámetro en PUT asociando transferencia de datos.

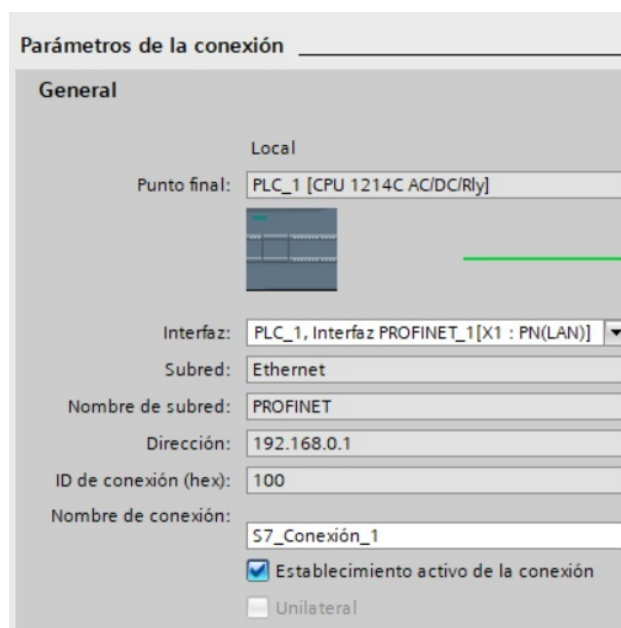


Figura 35: Parámetros de conexión PUT y GET LOCAL. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

EL PLC 2 asignado para recibir datos denominado como INTERLOCUTOR con la configuración de Punto final PLC 2(CPU 1214c AC/DC/RLY) se le definió nombre de subred PROFINET con dirección IP 192.168.0.2 garantizando compatibilidad; el PLC 2 recupera datos de la instrucción GET mostrada en la Figura 36

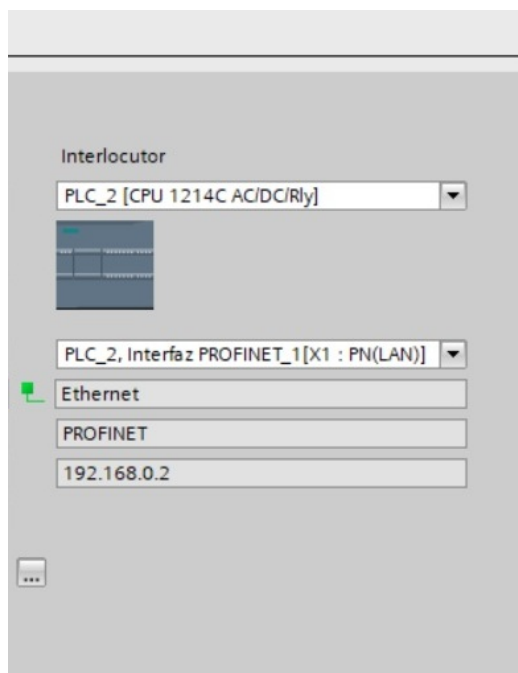


Figura 36: Parámetros de conexión PUT y GET INTERLOCUTOR Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

La Figura 37 muestra una configuración real implementada para verificar el funcionamiento del protocolo de comunicación PROFINET entre dispositivos de automatización. En esta prueba se emplean dos PLC Siemens S7-1200, los cuales se encuentran interconectados mediante cables Ethernet industriales, cumpliendo con los estándares del protocolo PROFINET para intercambio de datos en tiempo real.

En la parte inferior del panel se encuentran luces pilotos, interruptores tipo palanca, los cuales permiten enviar señales digitales de entrada a los PLC. Del lado derecho, varias luces pilotos se encuentran activas, lo que indica la recepción correcta de señales, confirmando así la correcta transferencia de datos a través de PROFINET.

Este montaje permite validar no solo la conectividad física y lógica entre los equipos, sino también la eficiencia y confiabilidad del protocolo PROFINET para aplicaciones de automatización y control de procesos industriales.



Figura 37: Prueba de comunicación industrial del PLC maestro - esclavo. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

Asimismo, en la Figura 38, se observa en la parte izquierda del panel un conjunto de luces piloto encendidas, lo cual evidencia la correcta recepción de señales digitales por parte del sistema. Esta condición confirma que la transferencia de datos mediante el protocolo PROFINET se está llevando a cabo de manera eficiente y confiable, garantizando la integridad de la comunicación entre los dispositivos de control y supervisión.



Figura 38: Prueba de comunicación industrial del PLC esclavo - maestro. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

En la Figura 39 se observa de manera clara y precisa la correcta comunicación entre los dos PLC configurados en una relación maestro-esclavo. La imagen evidencia el intercambio exitoso de datos entre ambos controladores, reflejado en la activación de indicadores luminosos en respuesta a las acciones

realizadas mediante palancas conectadas al PLC maestro. Esta interacción bidireccional demuestra que el protocolo PROFINET ha sido implementado correctamente, logrando una sincronización eficiente y confiable en la transmisión de señales digitales entre los dispositivos.



Figura 39: Prueba de comunicación industrial del protocolo Profinet. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

3.9. Configuración y prueba de la comunicación del protocolo industrial RS-485

La comunicación entre el PLC siemens AC/DC/RLY 6ES7214-1BG40-0XB0s71200 y el HMI Dop 103BQ, se realiza mediante el módulo de expansión CM 1241 RS 422/485 que está configurado en el modo RS-485, Utilizado como medio físico de transmisión, debido a su capacidad de operación en distancias de hasta 1200 metros. La configuración del módulo CM 1241 se realiza en el entorno de programación TIA Portal. En la Figura 40 se muestra el bloque del módulo de expansión con la serie 6ES7 241-1CH32-0XB0, seleccionado y adherido al PLC 2 Siemens s7-1200.

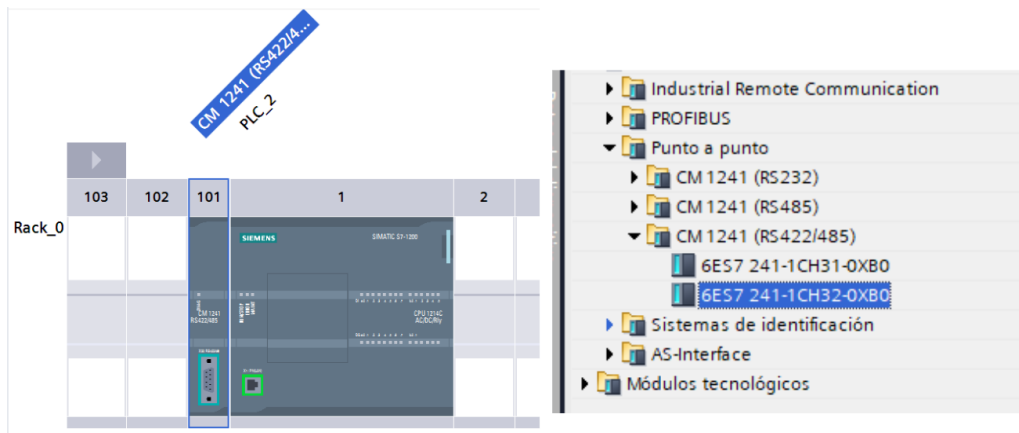


Figura 40: Selección y adaptación del modulo CM 1241 RS422/485. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

Para que la comunicación sea eficiente entre ambos dispositivos, se debe tomar en cuenta que los parámetros de comunicación entre el HMI DOP-103BQ y el módulo CM 1241 sean iguales en: modo de operación, velocidad de transferencia, paridad, Bit de datos y Bit de parada, tal y como se observa en la Figura 41, si no se cumple con esta condición es muy probable que la comunicación no se dé, lo que impedirá visualizar los datos en la interfaz.

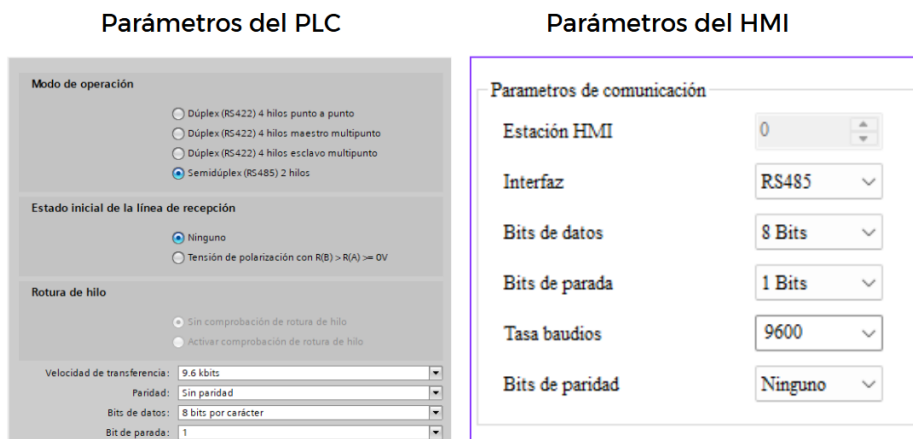


Figura 41: Configuración de parámetros del PLC y HMI. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

Para la comunicación entre estos dos dispositivos se debe declarar un esclavo y un maestro, en esta configuración el PLC2 S7-1200 actuará como

esclavo, encargado de recibir datos del HMI quien está configurado como maestro. La implementación se basó en el protocolo Modbus RTU, de la misma manera se utilizó bloques específicos en TIA Portal. MB_COMM_LOAD que cumple con la función de cargar parámetros de comunicación en el PLC. Y el bloque de MB_SLAVE con la finalidad de gestionar datos provenientes del HMI Dop-103BQ, este bloque facilitó la interacción de los registros Modbus, como se muestra en la Figura 42.

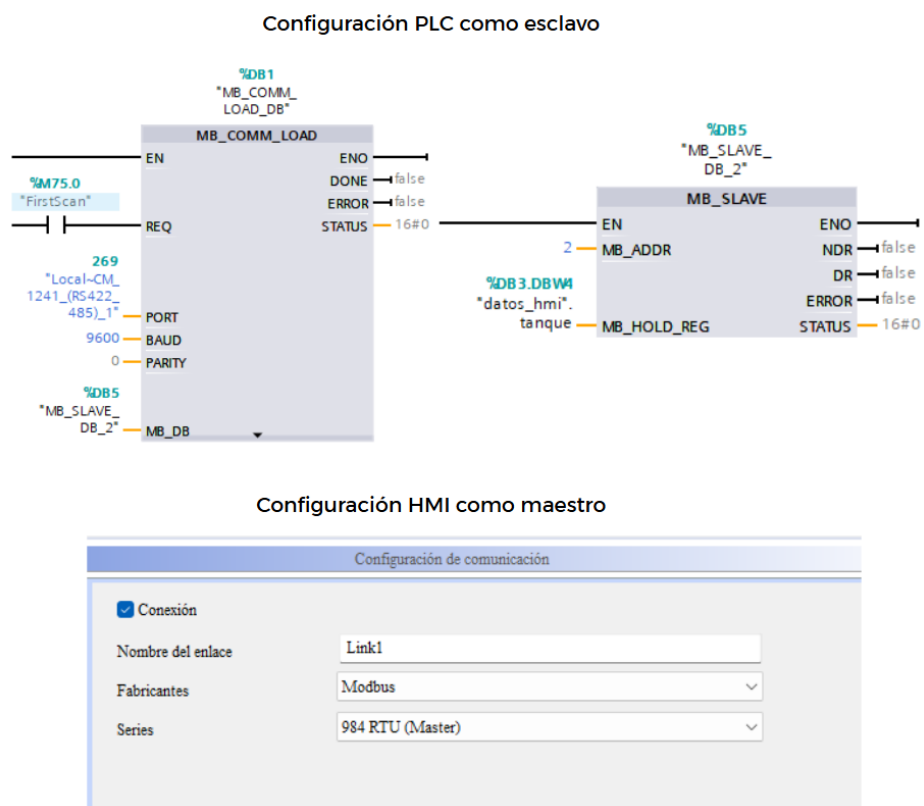


Figura 42: Configuración del PLC como esclavo y HMI como maestro . Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

En la interfaz, es necesario definir las variables que el PLC debe leer a través de registros, incluyendo tanto datos analógicos como digitales, tal como se muestra en la Figura43.

Dirección de dato analógico

Dirección de lectura:

`{Link1}2@W40001` ...

Dirección de dato digital

Dirección de escritura:

`{Link1}2@B5` ...

Figura 43: Datos analógicos y datos digitales en modo de registros . Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

Para el monitoreo en tiempo real del sistema, se han definido registros específicos para la visualización de variables. Las variables digitales se asignarán a partir del registro B (Bool) desde la dirección 1 en adelante, mientras que las variables analógicas se asignarán a registros tipo W (WORD), comenzando desde la dirección 40001. Esta asignación puede observarse en la Figura 44 y la Figura 45.

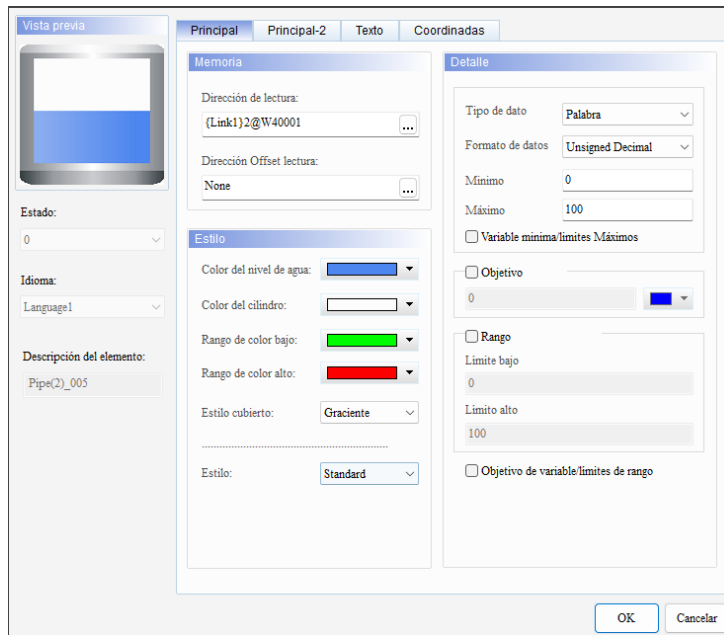


Figura 44: Configuración de la comunicación de Dopsoft. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

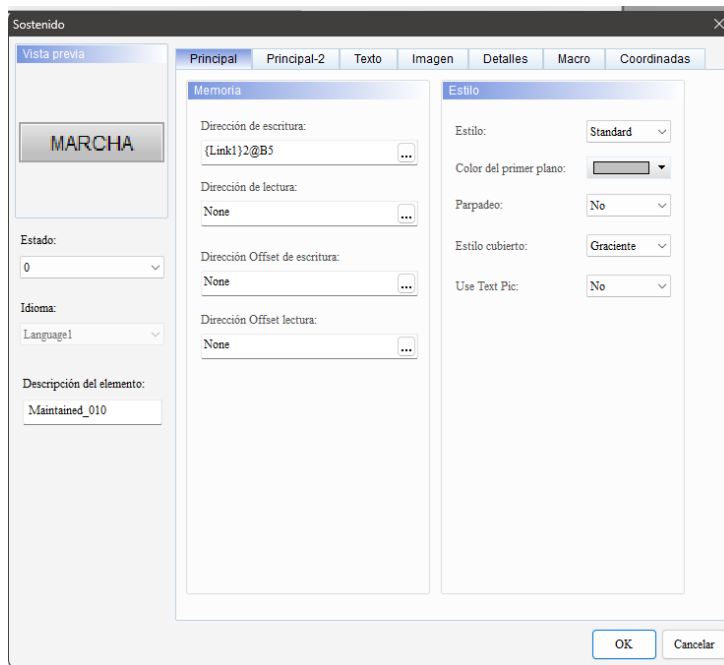


Figura 45: Configuración de la comunicación de Dopsoft. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

En la Figura 46 se verifica la correcta comunicación del protocolo RS-485, evidenciando una transmisión y recepción de datos exitosa entre los dispositivos.



Figura 46: Prueba de comunicación industrial del protocolo RS-485 . Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

3.10. Configuración y prueba de la comunicación del protocolo industrial HART

La comunicación entre el PLC2 Siemens S7-1200 CPU 1214C AC/DC/RLY (referencia ES7214-1BG40-0XB0) y el módulo HART se realiza mediante el protocolo HART, un estándar ampliamente adoptado en la industria para la transmisión simultánea de datos analógicos y digitales sobre un lazo de corriente de 4 a 20 mA. En este sistema, el PLC2 fué configurado para recibir y procesar la señal analógica proveniente de un transmisor HART, permitiendo así la integración eficiente de la instrumentación de campo en el entorno de automatización.

Una vez que el PLC recibe la señal convertida a voltaje, procede a escalar los valores analógicos utilizando bloques funcionales que permiten transformar la señal eléctrica en valores útiles para el control y monitoreo del sistema. En la Figura 47 se muestra este proceso de escalamiento, el cual se realiza

mediante dos bloques clave: **NORM_X** y **SCALE_X**. El bloque **NORM_X** convierte un valor entero, proveniente de una entrada analógica, en un valor real normalizado dentro del rango de 0.0 a 1.0, tomando como referencia los límites mínimo y máximo definidos para la señal, que en este caso son 2696 y 13652, respectivamente. Posteriormente, el bloque **SCALE_X** transforma ese valor normalizado al rango real requerido, en este caso de 0.0 a 100.0, permitiendo así representar la señal en unidades físicas interpretables por el sistema.



Figura 47: Adaptación de bloques para el protocolo Hat. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

Considerando un generador de señales que emite una corriente en el rango de 4 a 20 mA, y con el objetivo de escalar esta señal a un rango de 0 a 100 unidades de capacidad, la relación entre ambos valores puede representarse mediante la siguiente Tabla 9:

Nivel del tanque	Valor mA	Escalado analógico
0	4	2696
25	8	6559
50	12	9830
75	16	13107
100	20	13652

Tabla 9: Relación entre el nivel del tanque, señal de corriente y valor analógico escalado.

En la Figura 48 se representa gráficamente el estado del nivel del tanque para tres condiciones: bajo (4 mA), medio (12 mA) y alto (20 mA), tomando como base los valores mostrados en la Tabla 9. Esta representación facilita la comprensión visual del comportamiento del sistema ante distintas condiciones de operación simuladas, permitiendo validar el correcto funcionamiento del

hardware y la lógica de programación utilizada en el monitoreo del nivel de líquido.

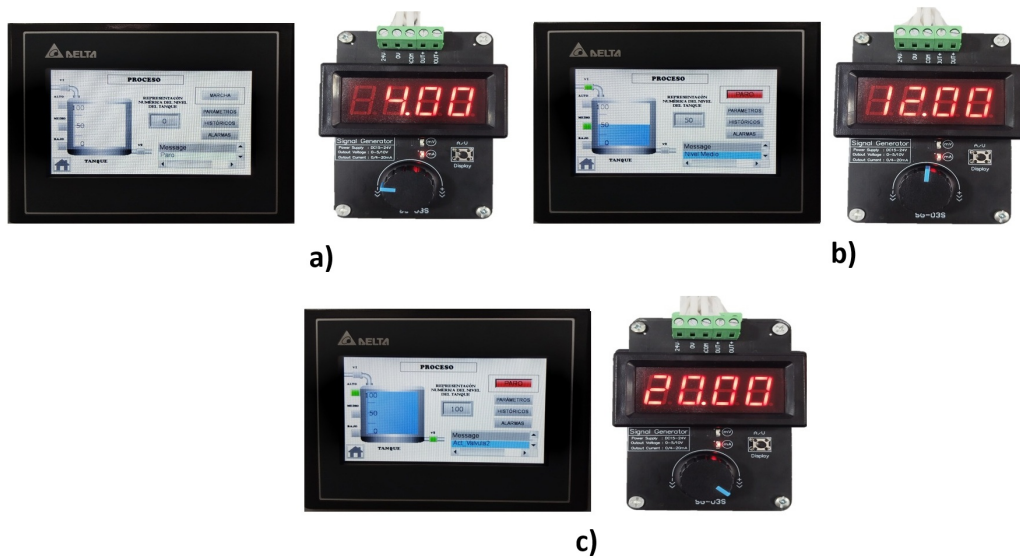


Figura 48: Prueba de comunicación del protocolo Hart: a) Nivel bajo, b) Nivel medio, c) Nivel alto. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

3.11. Análisis de latencia del protocolo de comunicación industrial

En la Figura 49 y Figura 50 se verifica que los equipos están correctamente enlazados al módulo didáctico mediante direcciones IP asignadas. Para comprobar el funcionamiento de la red, se establece una conexión física al puerto Ethernet del módulo utilizando un cable Ethernet. Posteriormente, desde el Administrador (Símbolo del sistema), se ejecuta el comando PING hacia las direcciones IP correspondientes de los PLC Siemens S7-1200, confirmando así la comunicación efectiva dentro de la red.

```
Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.26100.4349]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\MALAVE>ping 192.168.0.1

Haciendo ping a 192.168.0.1 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=1ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=1ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=3ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=2ms TTL=30

Estadísticas de ping para 192.168.0.1:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 1ms, Máximo = 3ms, Media = 1ms
```

Figura 49: PING con la IP del PLC1. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

```
C:\Users\MALAVE>ping 192.168.0.2

Haciendo ping a 192.168.0.2 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.2: bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.2: bytes=32 tiempo=7ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.2: bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.0.2: bytes=32 tiempo=5ms TTL=255

Estadísticas de ping para 192.168.0.2:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 5ms, Máximo = 7ms, Media = 5ms
```

Figura 50: PING con la IP del PLC2. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

3.12. Análisis del tráfico de datos

En la Figura 51 se muestran varios paquetes con diferentes protocolos de comunicación y en uno de ellos es COTP(Connetion Oriented Transport Protocol) sobre TCP puerto 102, donde el puerto 102/TCP es el puerto estándar usado por PROFINET para la comunicación entre PLC S7 1200 en la figura se ve resaltado de negrita TCP 60 102 58708 [ACK] Esto indica que el PLC 1 con la dirección 192.168.0.1 está enviando paquetes l puerto 102 de 192.168.0.2 o viceversa.

Para visualizar la sesión activa del de PROFINET podemos visualizarlo mediante COTP 61 DT TPDU [COTP fragment, 0 bytes].

1	0.000000	192.168.0.1	192.168.0.241	TCP	60 102 → 58708 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=4096 Len=0
2	0.376585	192.168.0.2	192.168.0.241	COTP	180 DT TPDU (0) EOT
3	0.376921	192.168.0.241	192.168.0.2	COTP	61 DT TPDU (0) [COTP fragment, 0 bytes]
4	0.557695	192.168.0.2	192.168.0.241	TCP	60 102 → 58707 [ACK] Seq=127 Ack=8 Win=8192 Len=0
5	0.852369	192.168.0.1	192.168.0.241	COTP	87 DT TPDU (0) EOT
6	0.852719	192.168.0.241	192.168.0.1	COTP	61 DT TPDU (0) [COTP fragment, 0 bytes]
7	0.900936	192.168.0.1	192.168.0.241	TCP	60 102 → 58708 [ACK] Seq=34 Ack=8 Win=4096 Len=0
8	0.948296	TPLink_7c:a1:c4	Broadcast	ARP	60 Who has 192.168.137.224? Tell 192.168.137.237
9	0.948320	RealtekSemic_36:01:...	TPLink_7c:a1:c4	ARP	42 192.168.137.224 is at 00:e0:4c:36:01:88
10	1.143631	192.168.0.2	192.168.0.241	COTP	81 DT TPDU (0) EOT
11	1.143848	192.168.0.241	192.168.0.2	COTP	61 DT TPDU (0) [COTP fragment, 0 bytes]
12	1.257678	192.168.0.2	192.168.0.241	TCP	60 102 → 58707 [ACK] Seq=154 Ack=15 Win=8192 Len=0
13	1.277163	192.168.0.2	192.168.0.241	COTP	180 DT TPDU (0) EOT
14	1.277495	192.168.0.241	192.168.0.2	COTP	61 DT TPDU (0) [COTP fragment, 0 bytes]
15	1.288217	192.168.0.1	192.168.0.241	TCP	60 102 → 58707 [ACK] Seq=186 Ack=15 Win=8192 Len=0
16	1.472705	SiemensIndus_0e:c6:...	LLDP Multicast	LLDP	243 LA/plcxb2d1ad LA/port-001 20 SysD=Siemens, SIMATIC S7, CPU-1
17	1.677205	fe80::3714:387:9d25...	ff02::1:ff00:1	ICMPv6	86 Neighbor Solicitation for fe80::1 from 7c:4d:8f:4f:31:b4
18	1.752493	192.168.0.1	192.168.0.241	COTP	87 DT TPDU (0) EOT
19	1.752779	192.168.0.241	192.168.0.1	COTP	61 DT TPDU (0) [COTP fragment, 0 bytes]
20	1.799970	192.168.0.1	192.168.0.241	TCP	60 102 → 58708 [ACK] Seq=67 Ack=15 Win=4096 Len=0
21	1.810559	RealtekSemic_36:01:...	LLDP Multicast	LLDP	173 LA/desktop-hneognd LA/port-001 20 SysN=DESKTOP-HNEOGND SysD=
22	2.176003	192.168.0.2	192.168.0.241	COTP	180 DT TPDU (0) EOT
23	2.176354	192.168.0.241	192.168.0.2	COTP	61 DT TPDU (0) [COTP fragment, 0 bytes]
24	2.214051	fe80::3714:387:9d25...	ff02::1:ff00:1	ICMPv6	86 Neighbor Solicitation for fe80::1 from 7c:4d:8f:4f:31:b4
25	2.357921	192.168.0.2	192.168.0.241	TCP	60 102 → 58707 [ACK] Seq=406 Ack=29 Win=8192 Len=0
26	2.651340	192.168.0.1	192.168.0.241	COTP	87 DT TPDU (0) EOT

Figura 51: Análisis del tráfico de datos. Fuente: Orrala J. Malavé L (2025).

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

- Se logró implementar con éxito los diferentes protocolos de comunicación industrial en el módulo didáctico.
- Para garantizar una comunicación estable y confiable mediante protocolos de comunicación industrial basados en conexión seriales RS-485, fue fundamental realizar una verificación exhausta de los parámetros de configuración en ambos extremos del enlace. Entre los más relevantes, la configuración de la paridad, el número de bits de parada, la tasa de transmisión en baudios. Estos parámetros deben coincidir con el master y slave caso contrario se generarán errores y pérdidas en la calidad de datos transmitidos. Esta verificación permitió enlazar una comunicación robusta, asegurando la correcta transmisión de datos entre los dispositivos master y slave.
- Durante el desarrollo del proyecto uno de los instrumentos que se tenía previsto utilizar en la comunicación era el conversor industrial modelo (SM 100A), el cual permite la conexión mediante protocolos de comunicación industrial, sin embargo, se optó por emplear el módulo de expansión CM 1241(RS422/485), diseñado específicamente para el PLC S7-1200 que permite establecer la comunicación en el entorno de la programación en TIA Portal.
- Se comprobó la comunicación mediante pruebas con el monitoreo de las respectivas variables en tiempo real, confirmando así la fiabilidad del sistema implementado .
- En la implementación de los equipos para la red industrial, se optó por utilizar una topología en estrella para el protocolo PROFINET, considerando su compatibilidad con equipos de capa 2 como switches industriales con tecnología Ethernet. Esta selección de topología en estrella simplificó la estructura física de la red, ya que facilitó la gestión, el diagnóstico, la corrección y detección de fallos, ya que esto permite

garantizar una flexibilidad, confiabilidad y eficiencia en una red PROFINET para ambientes industriales exigentes.

- Para la comunicación RS-485 se empleó una topología punto a punto, dado que la conexión únicamente era entre un master y slave, esta configuración de topología es la más adecuada en estos tipos de enlaces, ya que simplifica considerablemente la instalación física.
- Al desarrollarse la comunicación se comprendió la importancia de inicializar correctamente el módulo de comunicación CM 1241 por medio del bloque MB_COMM_LOAD, puesto que al inicializar dos veces el módulo con este bloque provocará que se envíe datos vacíos y la respuesta del mismo no será lo esperado.
- Mediante el uso de la herramienta Wireshark y el comando ping (entorno Windows), se realizó un análisis detallado del comportamiento de la red de comunicaciones industriales implementada en el módulo. Esta evaluación permitió observar en tiempo real el intercambio de tramas, identificando tanto las solicitudes como las respuestas dentro del protocolo PROFINET montado sobre TCP/IP. A través de este análisis se logró validar y confirmar el correcto funcionamiento del protocolo PROFINET, evidenciando que la red cumple con los requisitos necesarios para una comunicación confiable en ambientes de automatización industrial robustos y flexibles.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda ampliar la investigación incluyendo nuevas versiones o actualizaciones recientes de los protocolos.
- Mantener el laboratorio actualizado mediante la incorporación de nuevos dispositivos y versiones más recientes de los protocolos de comunicación industrial.
- Considerar el uso de software de diseño y simulación de redes industriales para validar la topología antes de la implementación física.

- Verificar que todas las conexiones cumplan con normas de seguridad eléctrica, apantallamiento de cables, distancias mínimas y condiciones de operación recomendadas por el fabricante.
- Incorporar diagramas de flujo que guíen el proceso de diagnóstico paso a paso, incluyendo posibles fallas y soluciones.
- Diseñar pruebas controladas con diferentes condiciones (carga, distancia, interferencias) para obtener resultados más completos sobre el rendimiento de cada protocolo.
- Utilizar instrumentos de medición precisos o software de captura de tráfico para obtener datos confiables.
- Asegurar que la guía esté redactada de forma clara, con pasos numerados, capturas de pantalla y ejemplos reales de configuración.

Biografías

Referencias

- [1] H. A. T. Valderrama and G. L. P. Chamorro, Protocolos de comunicación industrial. Universidad ECCI, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1874>
- [2] J. D. Morales Suqui, *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24649>.
- [3] J. A. Lindao Chavarría, 'Diseño y análisis de un sistema automatizado basado en redes industriales para el control del proceso de etiquetado y almacenamiento de cajas de leche mediante un controlador robusto y un Gateway para la comunicación de datos', UPSE, Matriz. Facultad de Sistemas Y Telecomunicaciones, La Libertad, 2022 Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8262>

- [4] J. E. M. Saltos and L. M. A. Pinela, 'Implementación de un laboratorio remoto orientado al desarrollo de prácticas de automatización industrial para la carrera Electrónica y Automatización de la UPSE'. Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, 17-May-2023. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9607>
- [5] PI North America, 'PROFINET Technology Overview', 2024. [Online]. Available: <https://us.profinet.com/technology/profinet/>. Disponible en: <https://us.profinet.com/technology/profinet/>
- [6] M. Bowne, 'PI North America'. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://us.profinet.com/como-elegir-una-topologia-de-red/>
- [7] R. Helson, 'HART Communication Foundation', 2023. [Online]. Disponible en: <https://www.smar.com.br/es/hart>.
- [8] M. Kurt, 'Revista ElectroIndustria - El Protocolo HART', Emb. cl, Jan. 2004. Disponible en: <https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=95&ni=el-protocolo-hart>
- [9] M. D. C. L. Lozano and A. R. Z. Muñoz, 'TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS DE INGENIERÍA ASOCIADAS A LOS NIVELES SUPERIORES DE LA PIRÁMIDE DE LA AUTOMATIZACIÓN'. 2008. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12585/3573>
- [10] Gómez Diaz, Diego, 'Pirámide de automatización CIM', 2023. Disponible en: <https://view.genially.com/65056a0a1e369200110ebd9f/horizontal-infographic-diagrams-piramide-de-automatizacion-cim>
- [11] E. R. Lizama, J. L. I. Mitma, and A. R. C. Pinzás, 'Desarrollo de una interfaz hombre máquina orientada al control de procesos', Industrial Data, vol. 11, no. 1, pp. 70–72, 2008. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81611211010>
- [12] V. Y. A. Ramos and L. G. G. Garcias, 'Diseño e implementación de un tablero eléctrico de pruebas para la evaluación de parámetros eléctricos en

- arranque de motores monofásicos y trifásicos para procesos industriales’, Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), Matriz. Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones, La Libertad, 2022. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8466>
- [13] J. J. J. Cruz and R. R. S. Reyes, ‘Implementación de un módulo de pruebas para dispositivos electrónicos inteligentes IEDS y la integración al SCADA local de equipos de fuerza y control en el centro de operaciones de distribución de CNEL EP unidad de negocio Santa Elena’, Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), Matriz. Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones, La Libertad, 2020. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5350>
- [14] R. Equipo editorial Etecé, ‘Fibra óptica’. 05-Aug-2021. Disponible en: <https://concepto.de/fibra-optica/>
- [15] J. V. Valverde Tobar, ‘Implementación de un módulo didáctico basado en comunicación industrial utilizando Modbus RTU y TCP/IP para el monitoreo y control de un motor trifásico’, Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), La Libertad, Ecuador, 2024. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/11946>
- [16] Mouser Electronics, ‘Delta Electronics DOP-103BQ’, 2025. [Online]. Disponible en: <https://www.mouser.ec/ProductDetail/Delta-Electronics/DOP-103BQ?qs=HoCaDK9Nz5ezbkEAizlkuQ%3D%3D>
- [17] Delta Electronics / Industrial Automation, ‘Delta DOP-103BQ, DOP-100 Series HMI Touchscreen’, 2025. [Online]. Disponible en: <https://www.indiamart.com/proddetail/delta-dop-103bq-hmi-touch-panel-25392015212.html>
- [18] O. Wein, ‘Guía de la comunicación RS485’, 19-Oct-2021. [Online]. Disponible en: <https://www.eltima.com/es/article/rs485-communication-guide/>
- [19] Siemens AG, «Módulo de comunicación SIMATIC S7-1200 CM 1241 (RS-422/485)», 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.>

automation24.es/siemens-cm-1241-rs422-485-6es7241-1ch32-0xb0

- [20] ‘Generador de señal ajustable de 4-20 mA, simulador analógico AITRIP DC 0-10 V 0 4-20 mA para ajustar el valor de las pruebas LED del panel PLC’, 2025. [Online]. Disponible en: <https://tiendamia.com/ec/p/amz/b097qqtrv7/generador-de-se-al-ajustable-de-4-20-ma-simulador-analogico-aitrip>
- [21] ‘Switching Power Supply Din Rail Type 60 Watt Digital Display Switching Power Supply 12V 24V DC 2.5A SMPS Ultra Slim Step Shape LED Strip Suitable for LED’, 2025. [Online]. Disponible en: <https://www.amazon.co.jp/-/en/Switching-Digital-Display-Suitable-Equipment/dp/B0CYZJJS8G>
- [22] ‘5/10/100MbpsRJ45PortsEthernetSwitch’,2025.[Online]. Disponible: https://www.alibaba.com/product-detail/5-10-100-Mbps-RJ45-Ports_1600432075427.html
- [23] S. V. P. Reyes, ‘Sistema de control automatizado para proceso de cocción y whirlpool de la cerveza artesanal’, Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), Matriz. Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones, La Libertad, 2020. Disponible en:<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5361>



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INGENIERIA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN



GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO

TÍTULO: Configuración del protocolo Profinet.	Nº DE PRÁCTICA:	1
OBJETIVOS	PROCEDIMIENTO	
<ul style="list-style-type: none">• Comprender el funcionamiento y características del protocolo PROFINET• Visualizar el estado del sistema en tiempo real• Configurar correctamente los Plc's.	<ul style="list-style-type: none">• Seguir de manera estructurada cada etapa del procedimiento indicado en la guía.• Instalar correctamente el software con sus respectivos drives a utilizar.• Verificar que los módulos estén correctamente conectados para obtener una práctica exitosa.	

MATERIALES

- Software TIA PORTAL V16
- 2 PLC'S S7 1200 1214C AC/DC/Relay
- Cable ethernet

FUNDAMENTO TEÓRICO

PROFINET es un protocolo de comunicación basado en Ethernet industrial que permite la transmisión de datos en tiempo real entre controladores (PLC) y dispositivos de campo (sensores, actuadores, HMI). Su arquitectura facilita el control distribuido y la integración con sistemas de mayor jerarquía como SCADA.

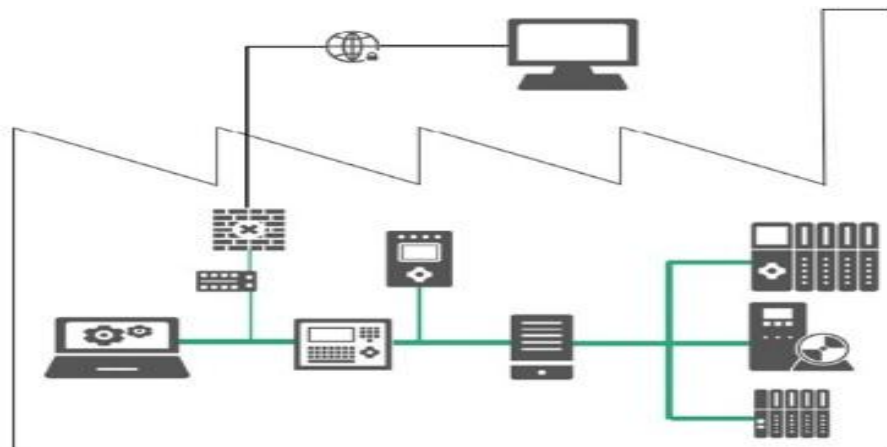


Fig. 1 Comunicación PROFINET

- **Paso 1.-**

Una vez activados los interruptores automáticos (breakers) de protección correspondientes a la práctica, conecte un cable Ethernet desde el módulo didáctico a la red del laboratorio de automatización. Posteriormente, establezca la conexión entre la laptop o PC y la red, ya sea mediante Wi-Fi o a través de un puerto LAN disponible en los puntos de conexión del laboratorio.



Fig. 2 Conexión por cable Ethernet

- **Paso 2.-**

Ejecuta el software **TIA Portal V16** desde el acceso directo ubicado en el escritorio. Una vez abierto, se selecciona la opción **“Iniciar”** y posteriormente se hace clic en **“Crear proyecto”**. En esta ventana, se deben completar los campos requeridos: **Nombre del proyecto**, elegir **ruta de almacenamiento**, **Autor** y un **Comentario opcional** que describa brevemente el propósito del proyecto, finalmente se hace clic en **“Crear”** y se coloca en **VISTA DEL PROYECTO**.

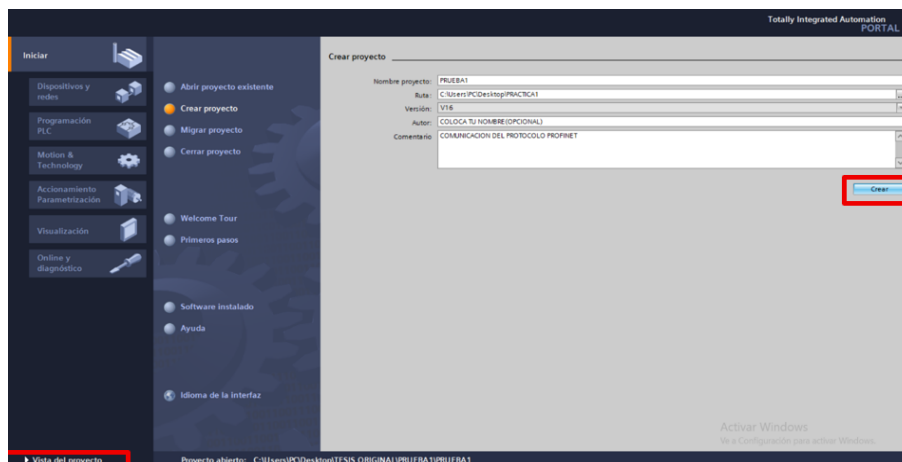


Fig. 3 Configuración en el software

- **Paso 3.-**

En este caso se deben agregar 2 PLC's dando clic en la opción de **“Agregar dispositivo”** > **“Controladores”** > **“Simatic S7 1200”** > **“CPU 1214C AC/DC/Relay”** escogiendo el modelo **“6ES7 2124-1BG31-0XB0”** eligiendo la versión **“V3.0”** y luego agregar el modelo **“6ES7 2124-1BG40-0XB0”** con la versión **“V4.4”**

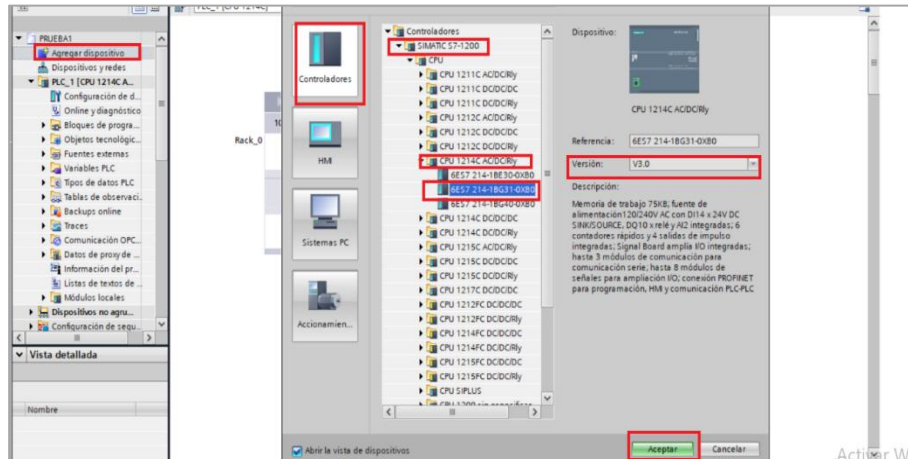


Fig. 4 Configuración del PLC

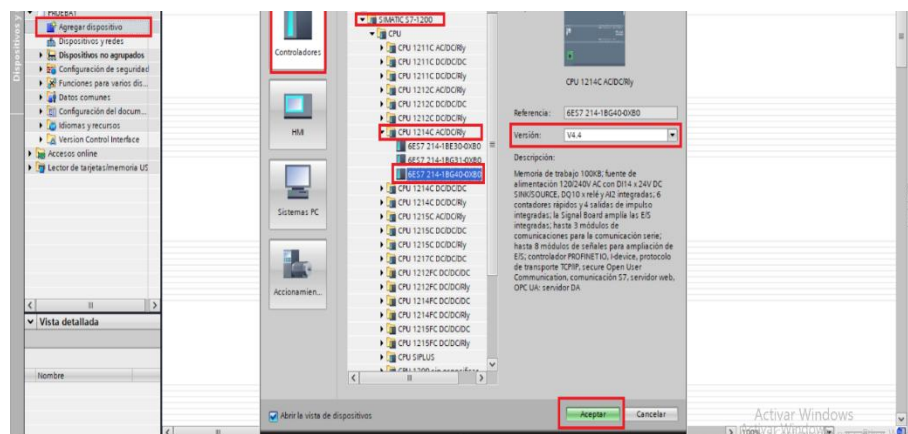


Fig. 5 Configuración del PLC 2

- **Paso 4.-**

Como siguiente paso dar clic en la **Interfaz Profinet** para dirigirnos a la dirección ethernet, asignándole la siguiente **IP 192 . 165 . 0 . 1** para el modelo “**6ES7 2124-1BG31-0XB0**” y la **IP 192 . 165 . 0 . 2** para el modelo “**6ES7 2124-1BG40-0XB0**”

PLC_1 - “6ES7 2124-1BG31-0XB0”

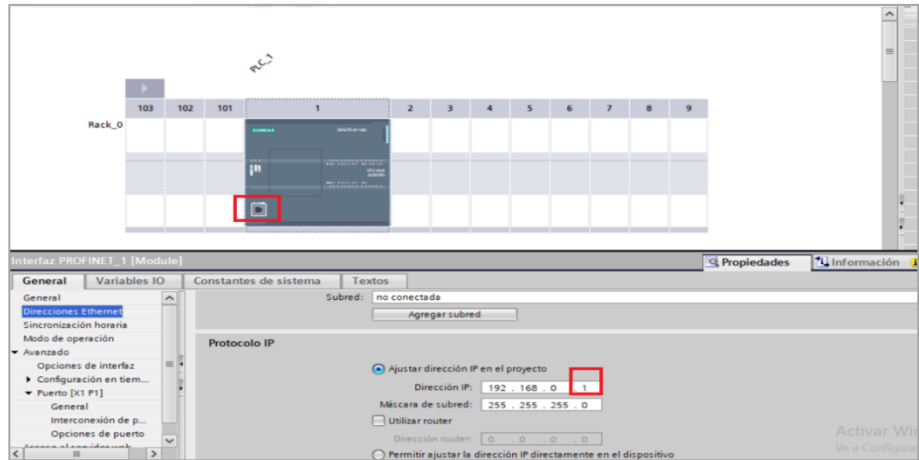


Fig. 6 Asignación de IP al PLC 1

PLC_2 - “6ES7 2124-1BG40-0XB0”

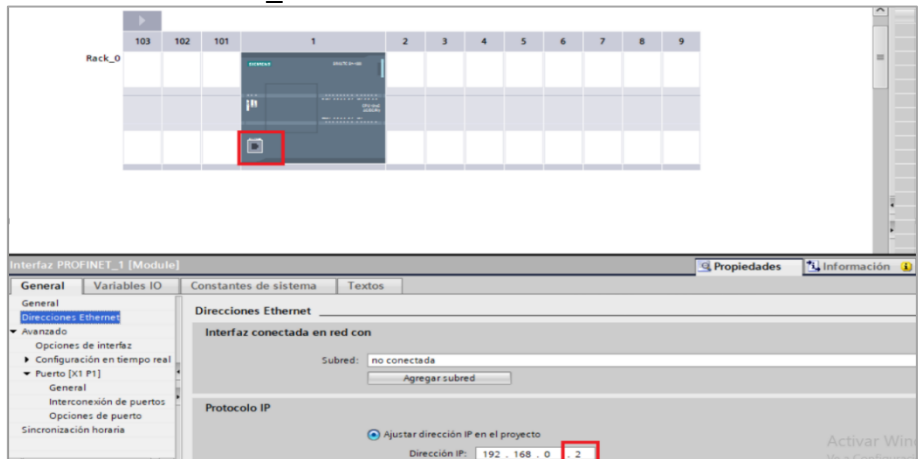


Fig. 7 Configuración de IP del PLC 2

- **Paso 5.-**

En el PLC_1 se utilizarán los siguientes bloques:

- **PUT** transfiere datos al bloque de datos.
- **GET** recibe datos desde el bloque de datos.

Ambos bloques son esenciales para una comunicación eficiente y bidireccional entre los PLCs, permitiendo control y supervisión efectivos de los procesos industriales mediante una estructura lógica y definida en el entorno de programación Ladder.

En la Fig. ... se muestran las variables definidas para llevar a cabo el protocolo de comunicación industrial Profinet.

- **6ES7 2124-1BG31-0XB0 – PLC 1**

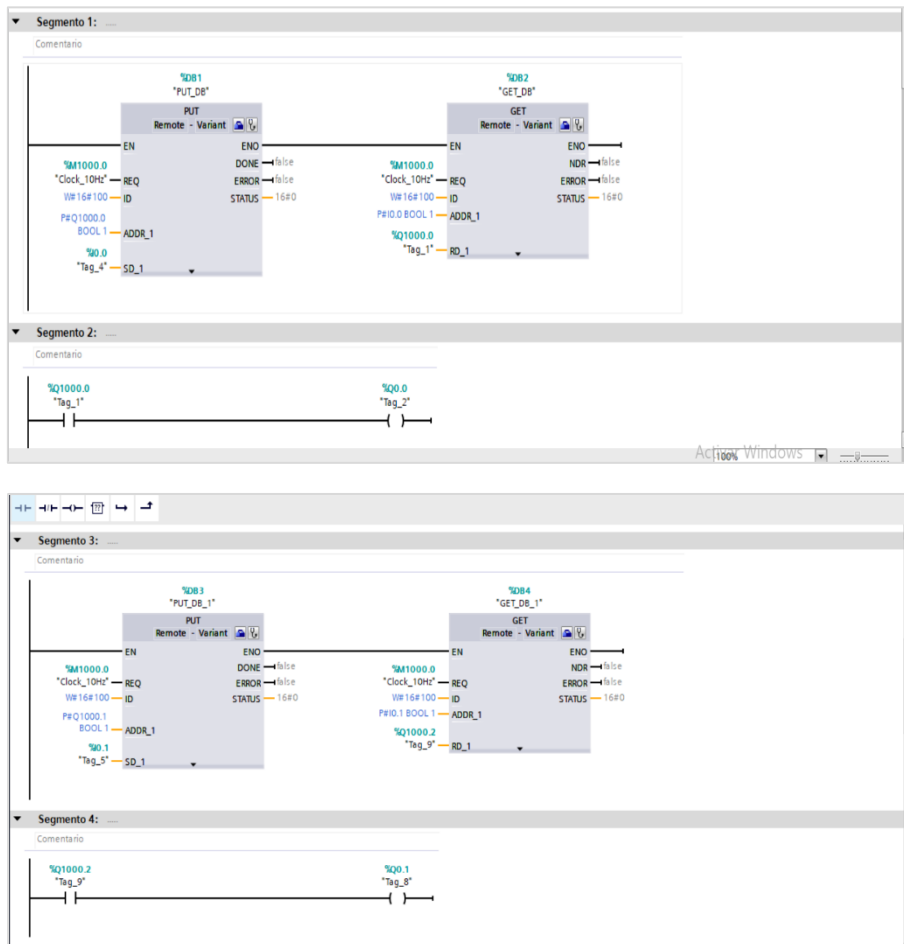


Fig. 8 Asignación de parámetros en los bloques



Fig. 9 Asignación de parámetros en los bloques

- **6ES7 2124-1BG31-0XB0 - PLC 2**

Para tener una comunicación bidireccional del PLC 2 al PLC 1 se debe llevar a cabo la siguiente configuración del PLC 2 utilizando contactores y bobinas como se muestra a continuación en la figura.

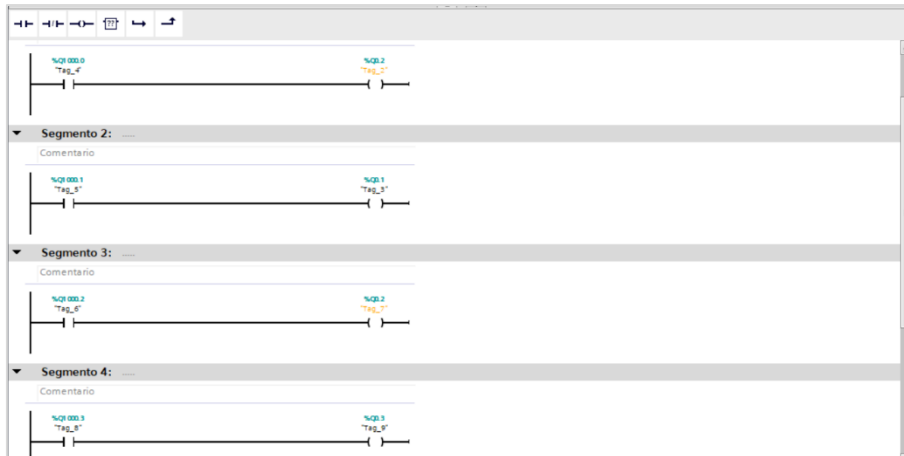


Fig. 10 Asignación de variables en los contactores

- **Paso 6.-**

La siguiente configuración se debe establecer los parámetros de la conexión de cada uno de los bloques utilizados anteriormente, lo cual se definirá al PLC 1 como LOCAL y el PLC 2 como INTERLOCUTOR.

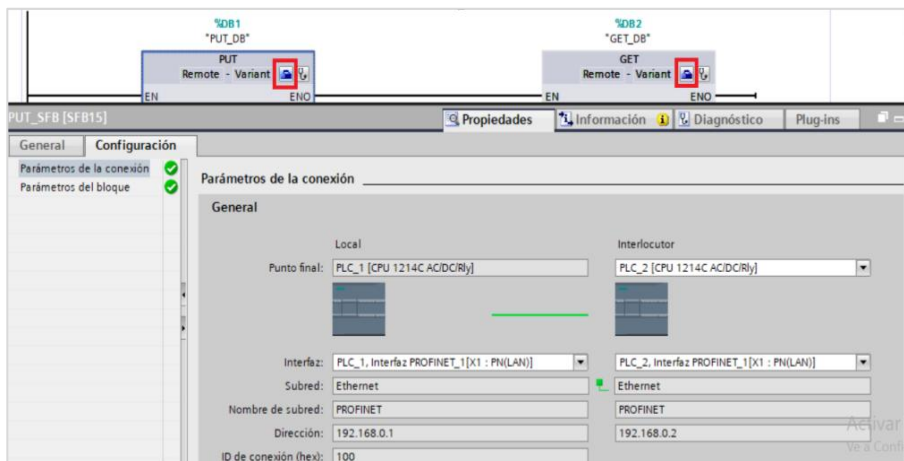


Fig. 11 Configuración de parámetros

- **Paso 7.-**

Para llevar a cabo la comunicación del protocolo Profinet es recomendable seleccionar los dos dispositivos al mismo tiempo como se muestra en la Fig. ... y proceder a cargar el programa.

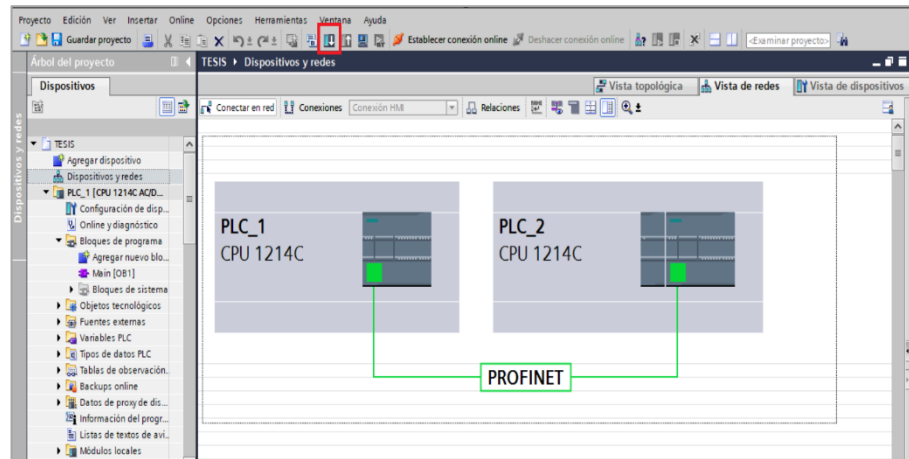


Fig. 12 Ejecución de PLC

- **Paso 8.-**

Una vez finalizada la carga en el dispositivo, se recomienda utilizar la interfaz de red correspondiente para establecer la comunicación con los PLCs (en este caso, mediante cable Ethernet) y, a continuación, ejecutar la opción 'Iniciar búsqueda'

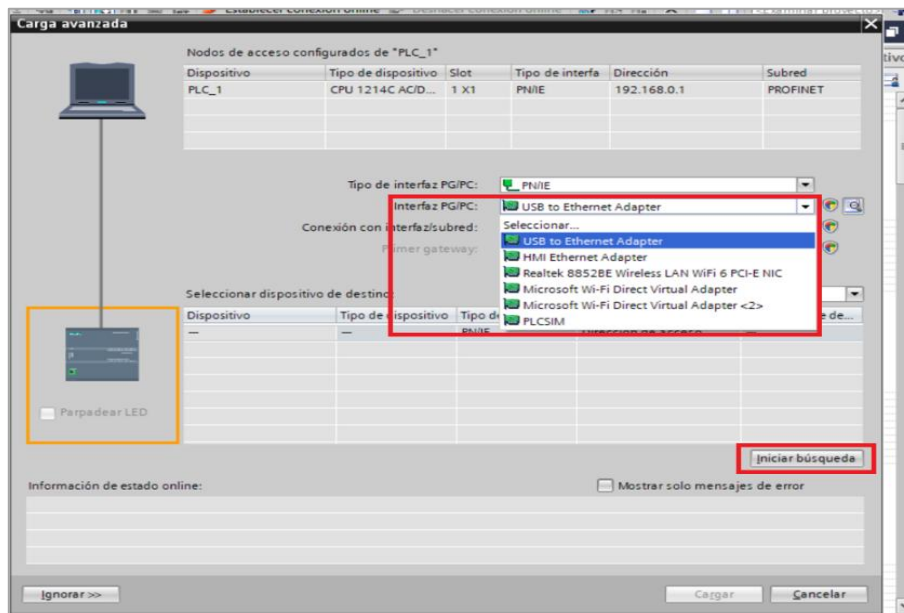


Fig. 13 Carga de programa

- **Paso**

9.-

Cuando haya finalizado la búsqueda, se mostrarán como resultado los PLCs con las direcciones IP previamente asignadas. En este paso, se debe seleccionar el PLC_1, activar la función 'Parpadear LED' para su identificación visual y proceder con la carga correspondiente. A continuación, se debe repetir el mismo procedimiento para el PLC_2.



Fig. 14 Selección de programa

• Paso 10.-

Ya realizadas las respectivas cargas en los PLCs, se desplegará una ventana de vista preliminar, en la cual deberá efectuarse la configuración correspondiente, como se muestra en la Fig.

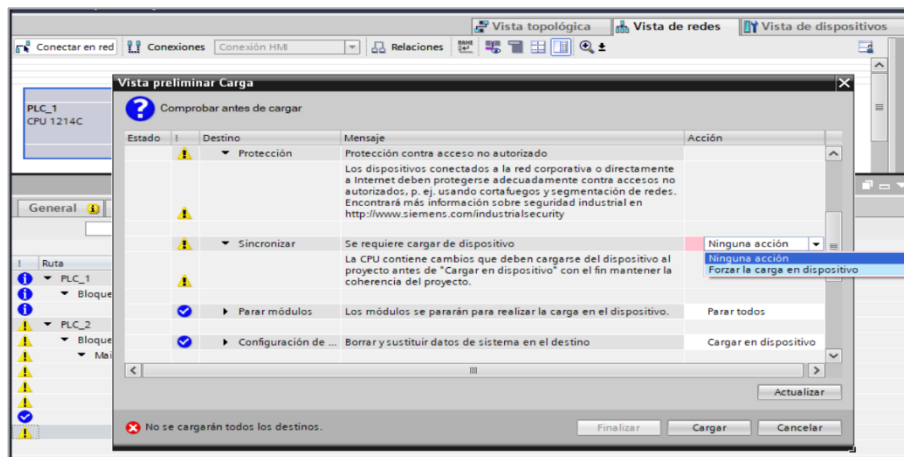


Fig. 15 Ajustes de programa

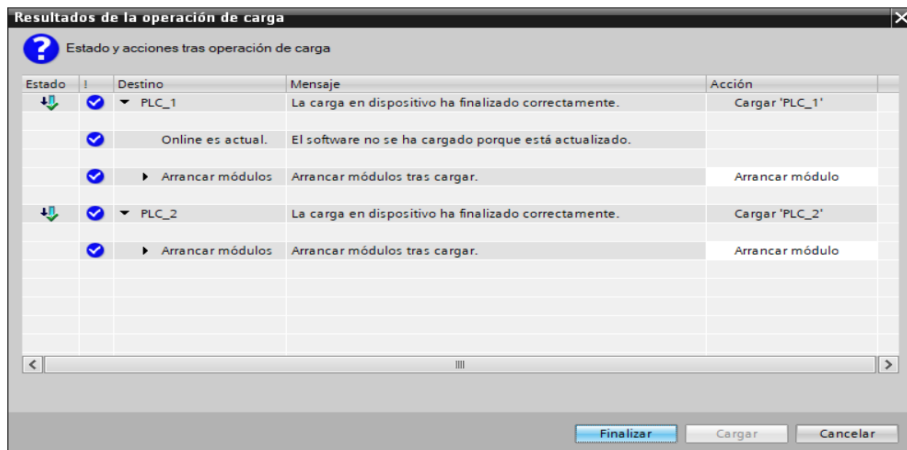


Fig. 16 Programa subido en los PLC's

• **Figura 11**

Finalmente, se recomienda activar la función de observación para monitorear en tiempo real las entradas y salidas de cada uno de los PLCs, lo que permite verificar y asegurar el establecimiento correcto de la comunicación industrial mediante el protocolo PROFINET.

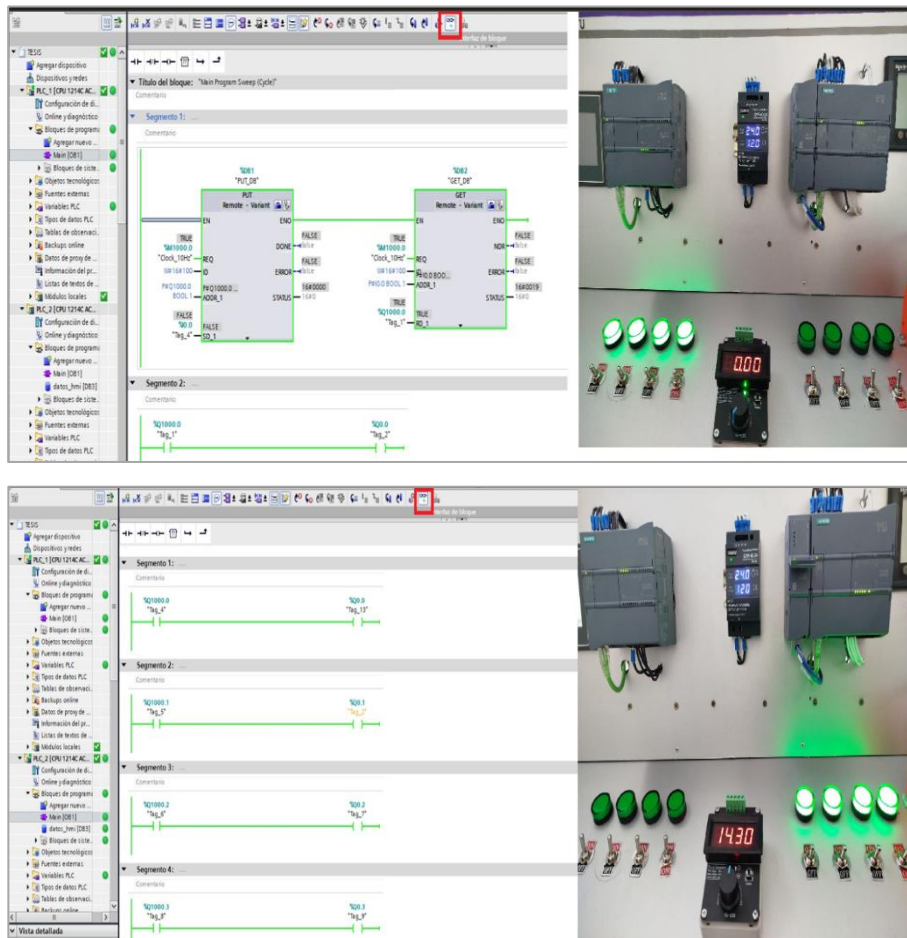




Fig. 17 Prueba de funcionamiento del protocolo Profinet



GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO

TÍTULO: Configuración del protocolo HART.	Nº DE PRÁCTICA:	2
OBJETIVOS	PROCEDIMIENTO	
<ul style="list-style-type: none">Comprender el funcionamiento básico del protocolo HART.Demostrar cómo se configura y comunica un PLC Siemens S7-1200 con un dispositivo de campo mediante el protocolo HART.	<ul style="list-style-type: none">Seguir de manera estructurada cada etapa del procedimiento indicado en la guía.Instalar correctamente el software con sus respectivos drives a utilizar.Verificar que los módulos estén correctamente conectados para obtener una práctica exitosa.	

MATERIALES

- Software TIA PORTAL V16
- 1 PLC'S S7 1200 1214C AC/DC/Relay
- CM 1241 (RS232/485)
- Modulo HART
- Resistencia de 250 Ohms
- HMI
- Software DopSoft

FUNDAMENTO TEÓRICO

El protocolo de comunicación HART (Highway Addressable Remote Transducer) es utilizado ampliamente en sistemas de automatización industrial para la comunicación entre dispositivos de campo (como sensores y transmisores) y sistemas de control, como los PLCs. Utilizando un generador de señal 4-20 mA para simular una señal de entrada.

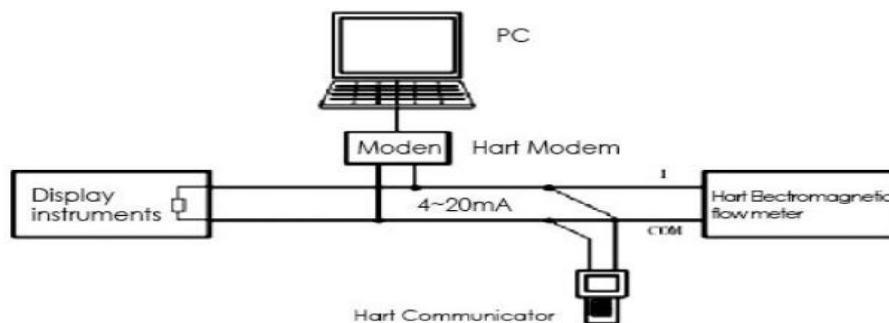


Fig. 18 Protocolo HART

PROCEDIMIENTO

• Paso 1.-

Una vez activados los interruptores automáticos (breakers) de protección correspondientes a la práctica, conecte un cable Ethernet desde el módulo didáctico a la red del laboratorio de automatización. Posteriormente, establezca la conexión entre la laptop o PC y la red, ya sea mediante Wi-Fi o a través de un puerto LAN disponible en los puntos de conexión del laboratorio.



Fig. 19 Conexión del módulo por cable Ethernet.

• Paso 2.-

Ejecuta el software **TIA Portal V16** desde el acceso directo ubicado en el escritorio. Una vez abierto, se selecciona la opción **“Iniciar”** y posteriormente se hace clic en **“Crear proyecto”**. En esta ventana, se deben completar los campos requeridos: **Nombre del proyecto**, elegir **ruta de almacenamiento**, **Autor** y un **Comentario opcional** que describa brevemente el propósito del proyecto, finalmente de clic en **“Crear”** y colocar en **VISTA DEL PROYECTO**.

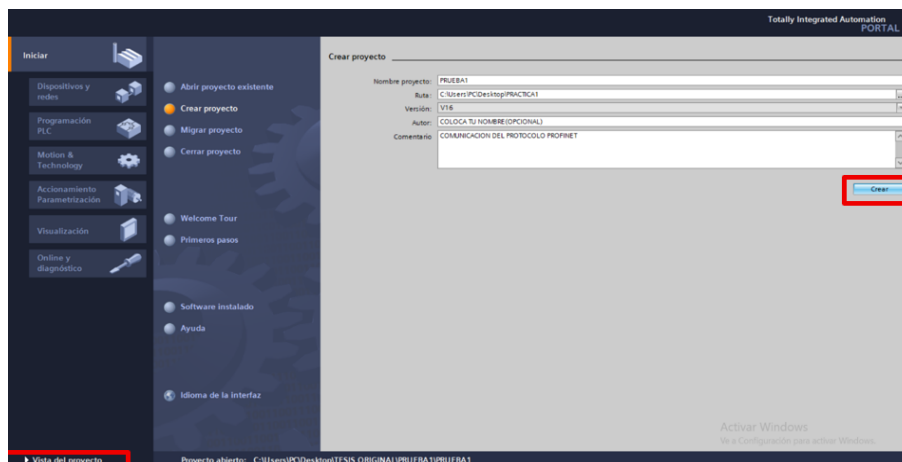


Fig. 20 Configuración del software.

- **Paso 3.-**

En este caso se debe agregar el PLC dando clic en la opción de **“Agregar dispositivo”** > **“Controladores”** > **“Simatic S7 1200”** > **“CPU 1214C AC/DC/Relay”** escogiendo el modelo **“6ES7 2124-1BG40-0XB0”** con la versión **“V4.4”**.

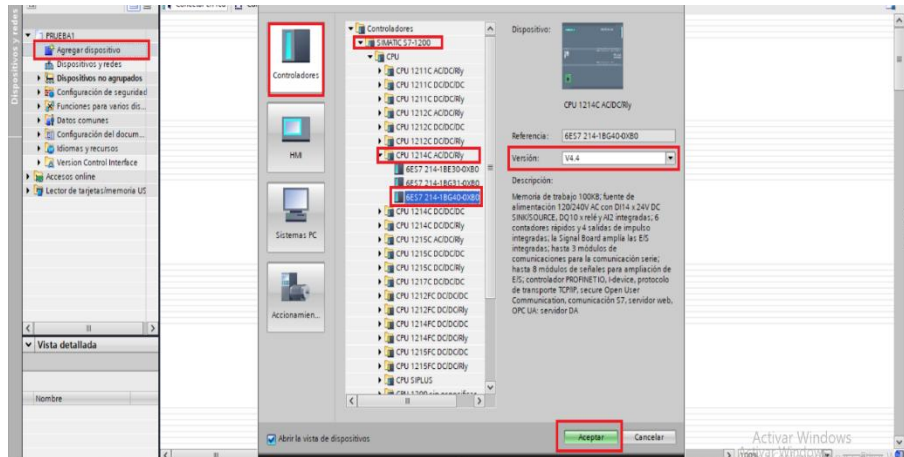


Fig. 21 Configuración del PLC

- **Paso**

4.-

Dar clic en la **Interfaz Profinet** para dirigirnos a la dirección ethernet, asignándole la siguiente **IP 192 . 165 . 0 . 2** para el modelo **“6ES7 2124-1BG40-0XB0”**.

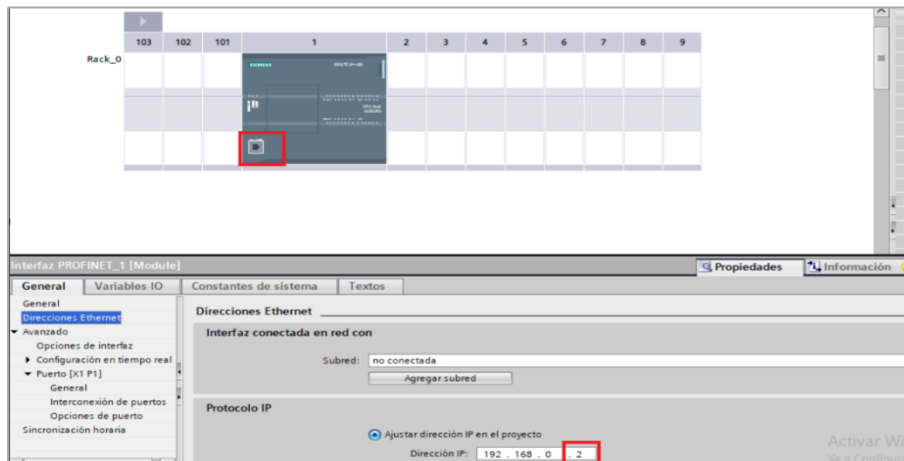


Fig. 22 Asignación de IP.

- **Paso 5.-**

Adicionalmente se añade un módulo de comunicación CM 1241 que se encuentra en el apartado de **Catálogo**, tomando en consideración los pasos que se muestran en la imagen.

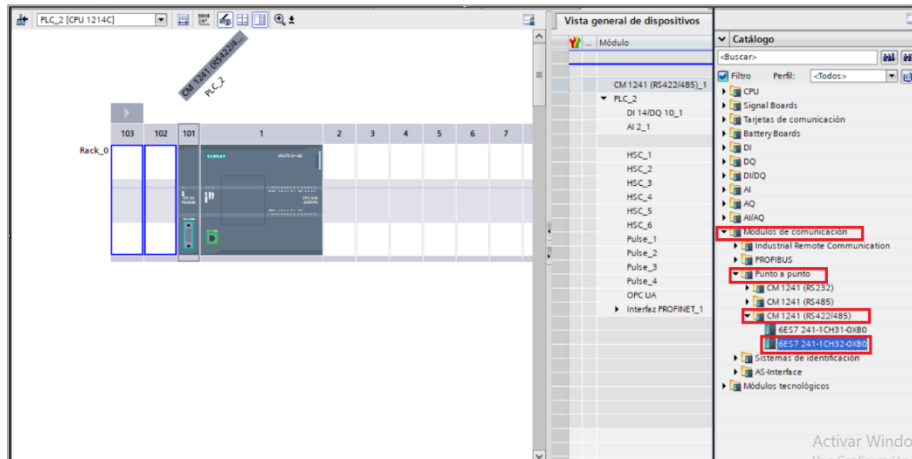


Fig. 23 Configuración del módulo de expansión.

Tomando en cuenta las configuraciones que están por defecto en la interfaz RS422/485.

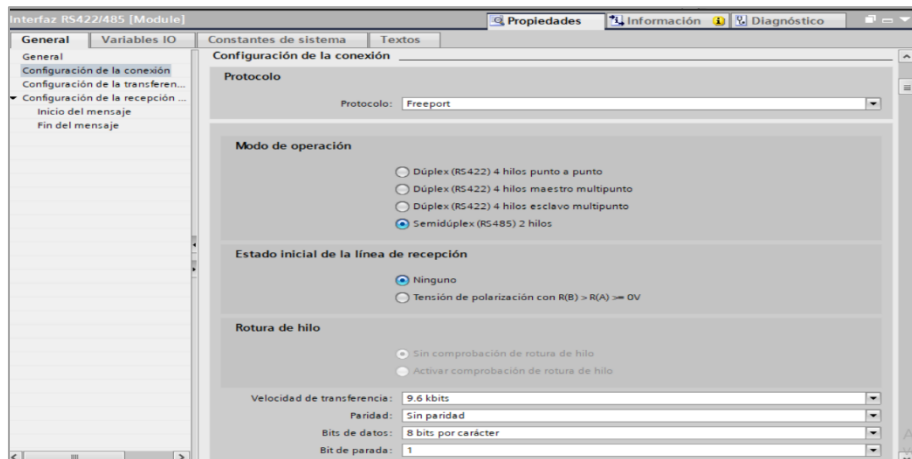


Fig. 24 Configuración de parámetros.

- **Paso 6.-**

A continuación, se utilizarán los siguientes bloques:

- **NORM_X (Int to Real)**

Este bloque normaliza un valor entero (INT o DWORD) a un valor real (REAL) en el rango 0.0 a 1.0.

- **MIN = 2696, MAX = 13652:** valores mínimo y máximo posibles del sensor o entrada.
- **VALUE = %IW64 (Tag_10):** valor de entrada, probablemente una señal analógica de 16 bits.
- **OUT = %MD4 (Tag_11):** resultado normalizado entre 0.0 y 1.0.

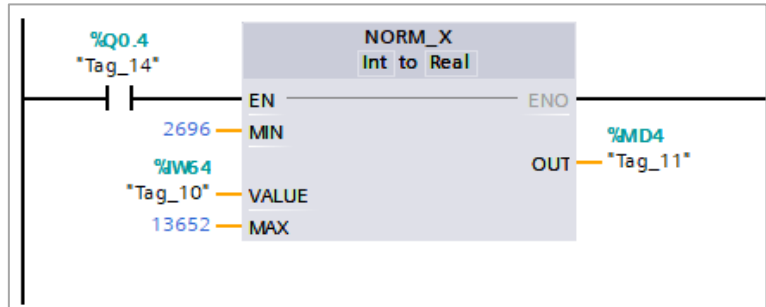


Fig. 25 Configuración de bloques.

- SCALE_X (Real to Real)

Este bloque escala el valor normalizado a un rango deseado, en este caso de 0.0 a 100.0.

- MIN = 0.0, MAX = 100.0: nuevo rango de salida.
- VALUE = %MD4 (Tag_11): valor de entrada normalizado.
- OUT = %MD24 (Tag_12): valor escalado (por ejemplo, un porcentaje).

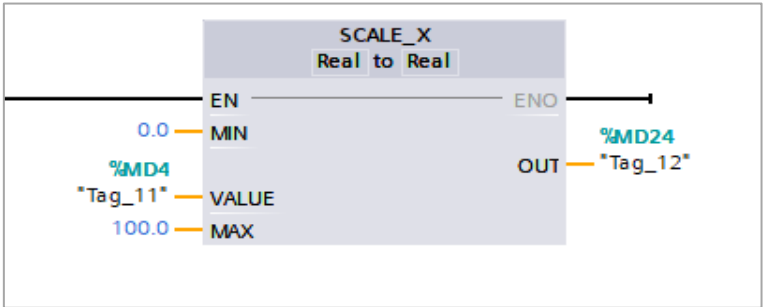


Fig. 26 Configuración de bloques.

- Paso 7.-

Se utilizarán lo siguientes comparadores >= para proceder a realizar las activaciones de salidas digitales.

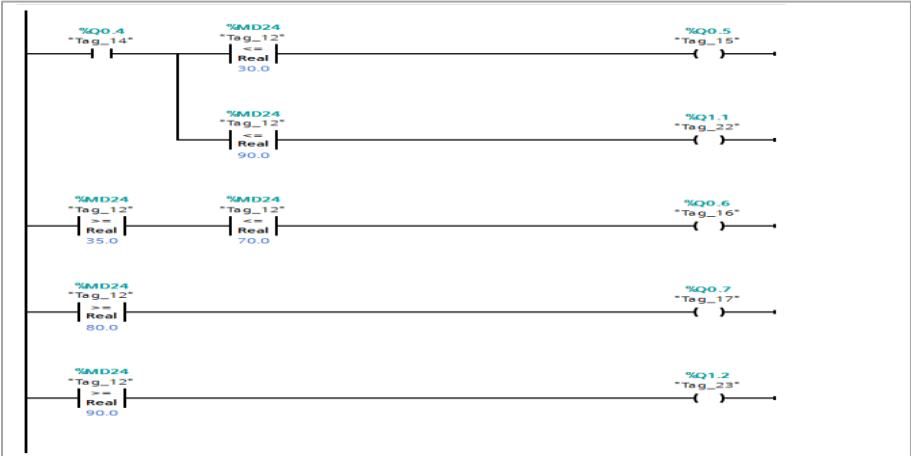


Fig. 27 Configuración de contactores.

- **Paso 8.-**

En este bloque se visualiza el funcionamiento del módulo hart que trabaja con una señal analógica de 4 a 20 mA esta señal es leída por el plc s71200, y posteriormente es escalada con la finalidad de representar el nivel de llenado de un tanque con el rango de 0 a 100%.

La primera condición se activa cuando el tanque está en un nivel bajo, lo que significa que el nivel del tanque está menor que 30 del cual también se activa la válvula 1 para el respectivo llenado del mismo.

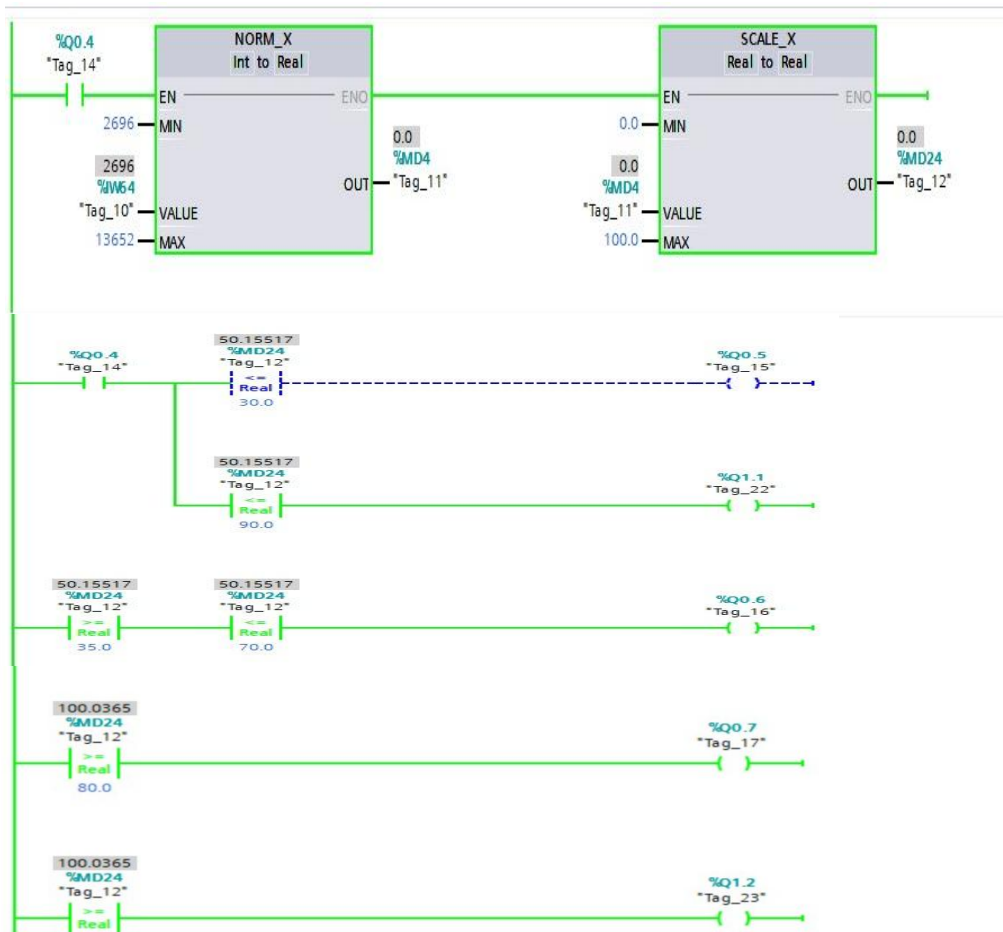


Fig. 28 Funcionamiento del programa.

Mediante la siguiente tabla se podría entender el escalamiento del módulo hart

Nivel del tanque	Valor mA	Escalado analógico
0	4	2696
25	8	6559
50	12	9830
75	16	13107
100	20	13652

Fig. 29 Tabla de valores.

Como se observa en la grafica en mi tiempo real el modulo se encuentra en 4mA por lo que en el escalamiento se visualizará que el tanque estará en un 0% de su llenado, como se muestra en la gráfica.



Fig. 30 Prueba del protocolo HART.

En este caso el modulo de HART dicta que está en 12 mA por lo que en el escalado estará a un 50 % del llenado del taque, como se muestra en la gráfica.



Fig. 31 Prueba del protocolo HART.

En mi última imagen muestra el módulo HART en un 20 mA por lo que en el escalado dictará un 100% del llenado del tanque del sistema, como se muestra en la gráfica.



Fig. 32 Prueba del protocolo HART.



GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO

TÍTULO: Configuración del protocolo RS-485.	Nº DE PRÁCTICA:	3
OBJETIVOS	PROCEDIMIENTO	
<ul style="list-style-type: none">• Comprender el funcionamiento y características del protocolo RS-485• Identificar la conexión física correcta del bus RS-485.• Configurar correctamente los Plc´s.	<ul style="list-style-type: none">• Seguir de manera estructurada cada etapa del procedimiento indicado en la guía.• Instalar correctamente el software con sus respectivos drives a utilizar.• Verificar que los módulos estén correctamente conectados para obtener una práctica exitosa.	

MATERIALES

- Software DopSoft
- 1 PLC'S S7 1200 1214C AC/DC/Relay
- HMI
- CM 2141 (RS232/485)
- Cable DB9

FUNDAMENTO TEÓRICO

El protocolo RS-485 es una norma de comunicación en serie diferencial ampliamente utilizada en aplicaciones industriales debido a su robustez, capacidad de transmitir datos a largas distancias y la posibilidad de conectar múltiples dispositivos en un mismo bus. Esta práctica tiene como objetivo comprender su funcionamiento básico, identificar su configuración física y lógica, y realizar una implementación práctica que permita la transmisión y recepción de datos entre dispositivos.



Fig. 33 Comunicación del protocolo RS-485.

- **Paso 1.-**

Una vez activados los interruptores automáticos (breakers) de protección correspondientes a la práctica, conecte un cable Ethernet desde el módulo didáctico a la red del laboratorio de automatización. Posteriormente, establezca la conexión entre la laptop o PC y la red, ya sea mediante Wi-Fi o a través de un puerto LAN disponible en los puntos de conexión del laboratorio.



Fig. 34 Conexión del cable Ethernet.

- **Paso 2.-**

Ejecuta el software **TIA Portal V16** desde el acceso directo ubicado en el escritorio. Una vez abierto, se selecciona la opción **“Iniciar”** y posteriormente se hace clic en **“Crear proyecto”**. En esta ventana, se deben completar los campos requeridos: **Nombre del proyecto**, elegir **ruta de almacenamiento**, **Autor** y un **Comentario opcional** que describa brevemente el propósito del proyecto, finalmente de clic en **“Crear”** y colocar en **VISTA DEL PROYECTO**.

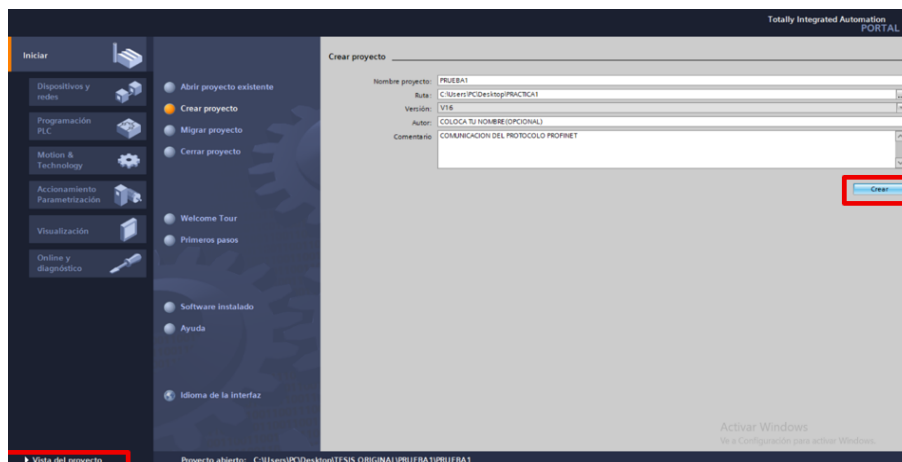


Fig. 35 Configuración del software.

- **Paso 3.-**

En este caso se debe agregar el PLC dando clic en la opción de **“Agregar dispositivo”** > **“Controladores”** > **“Simatic S7 1200”** > **“CPU 1214C AC/DC/Relay”** escogiendo el modelo **“6ES7 2124-1BG40-0XB0”** con la versión **“V4.4”**.

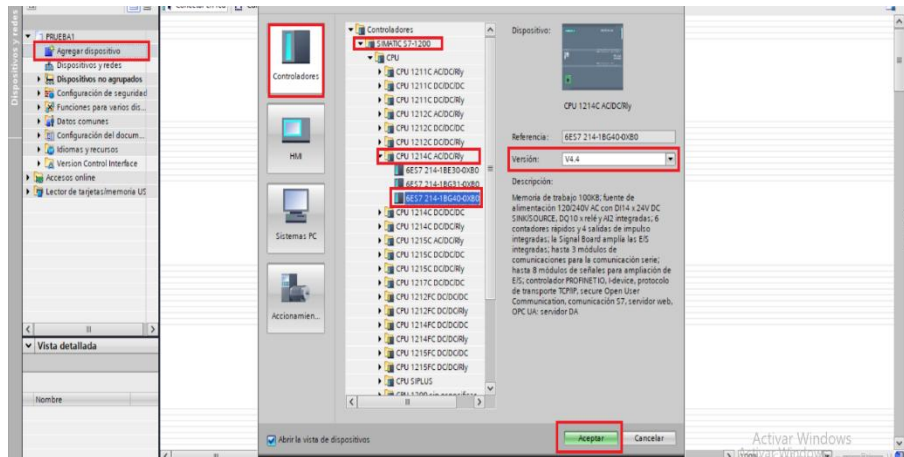


Fig. 36 Configuración del PLC.

- **Paso 4.-**

Dar clic en la **Interfaz Profinet** para dirigirnos a la dirección ethernet, asignándole la siguiente IP **192 . 165 . 0 . 2** para el modelo **“6ES7 2124-1BG40-0XB0”**.

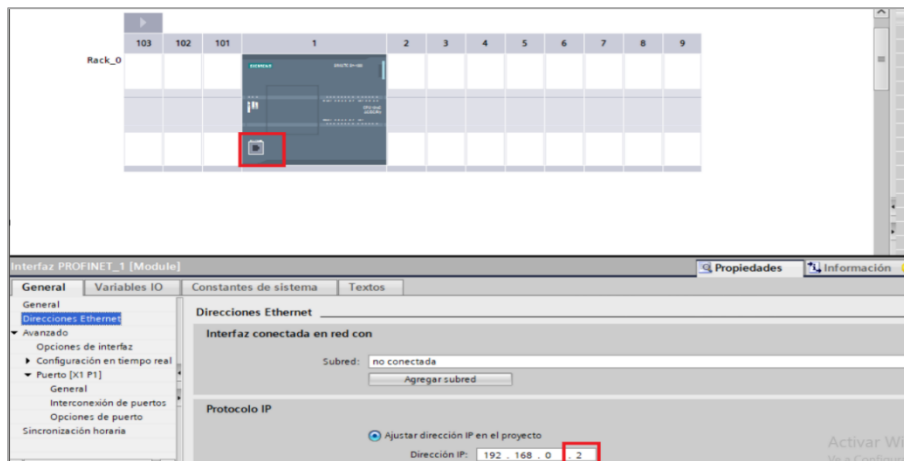


Fig. 37 Asignación de IP.

- **Paso 5.-**

Adicionalmente se añade un módulo de comunicación CM 2141 que se encuentra en el apartado de **Catálogo**, tomando en consideración los pasos que se muestran en la imagen.

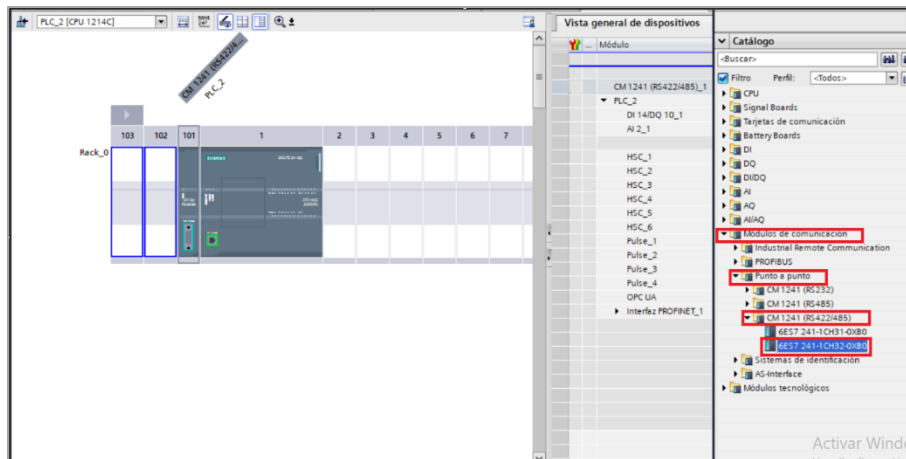


Fig. 38 Configuración del módulo de expansión.

- **Paso 6.-**

En esta sección se debe considerar que los siguientes puntos sean iguales tanto en el HMI como en el módulo de expansión Rs422/485. Modo de operación: RS 485, Velocidad de transferencia: 9600, Paridad: sin paridad, Bit de datos: 8 Bits, Bit de parada: 1 Bits

Parámetros del PLC

Modo de operación

Dúplex (RS422) 4 hilos punto a punto
 Dúplex (RS422) 4 hilos maestro multipunto
 Dúplex (RS422) 4 hilos esclavo multipunto
 Semidúplex (RS485) 2 hilos

Estado inicial de la línea de recepción

Ninguno
 Tensión de polarización con R(B) > R(A) > 0V

Rotura de hilo

Sin comprobación de rotura de hilo
 Activar comprobación de rotura de hilo

Velocidad de transferencia: 9.6 kbits
 Paridad: Sin paridad
 Bits de datos: 8 bits por carácter
 Bit de parada: 1

Parámetros del HMI

Parámetros de comunicación

Estación HMI: 0
 Interfaz: RS485
 Bits de datos: 8 Bits
 Bits de parada: 1 Bits
 Tasa baudios: 9600
 Bits de paridad: Ninguno

Fig. 39 Parámetros del PLC y el HMI.

- **Paso 7.-**

Seleccione los bloques que se indican a continuación dentro del entorno de programación. Una vez insertados en el segmento correspondiente, proceda a configurar cada uno de ellos utilizando las variables especificadas en la tabla o listado proporcionado. Asegúrese de asignar correctamente cada

variable en el parámetro correspondiente del bloque (por ejemplo: entrada, salida, valor mínimo, valor máximo, etc.).

Para inicializar la comunicación del módulo de expansión Rs 422/485 se usó la función MB_COMM_LOAD que se encuentra en el apartado de comunicaciones, procesos de comunicaciones y por último Modbus RTU, este bloque asocia el módulo físico por su número de puerto PORT=69. A continuación se establecen los parámetros importantes del bloque que son: REQ: Inicio de la ejecución del bloque, BAUD: Velocidad 9600, PARIDAD: 0

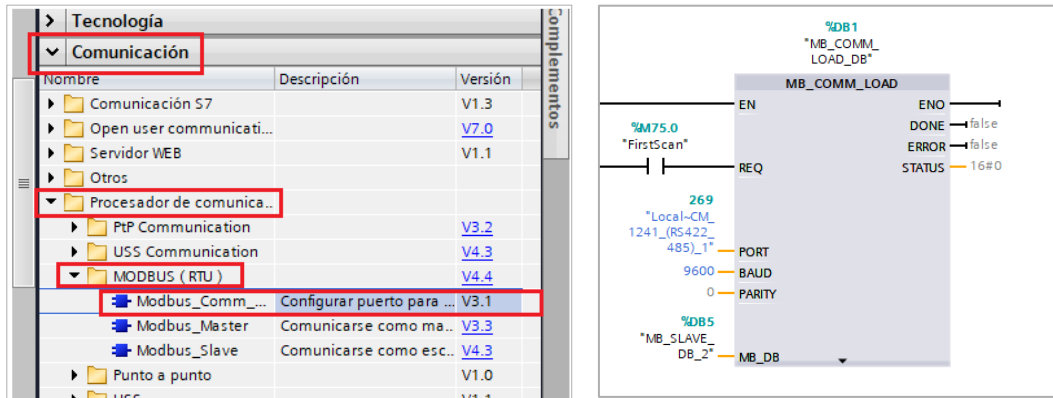


Fig. 40 Asignación de bloque.

• Paso 8.-

El bloque MB_SLAVE permite que el plc siemens s71200 actúe como esclavo, donde el plc responderá a las peticiones del maestro, es decir que responderá a las instrucciones del HMI DOP 103 BQ.

Uno de los parámetros a resaltar de este bloque es MB_ADDR que indica la dirección del esclavo del cual está configurado como 2.

En el parámetro MB_HOLD_REG, se colocará el bloque de datos al que responderá el PLC.

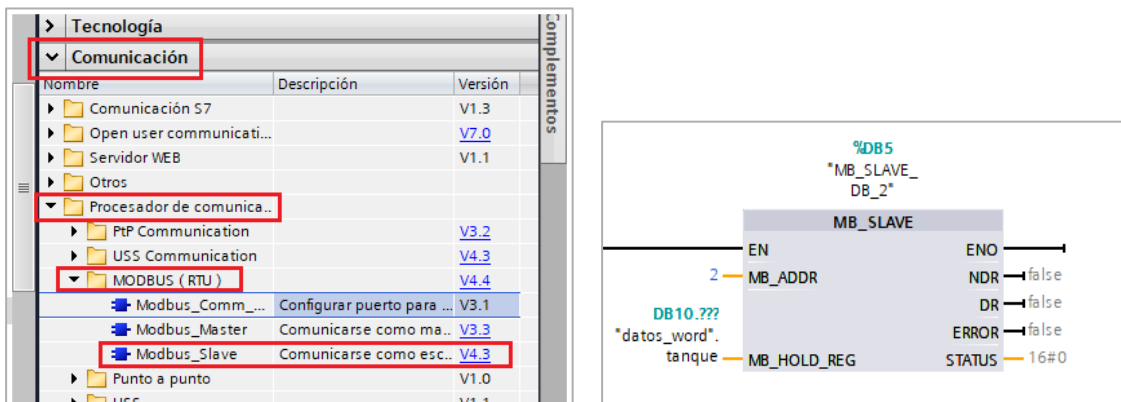
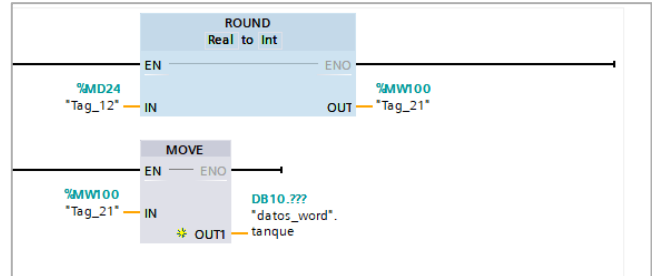
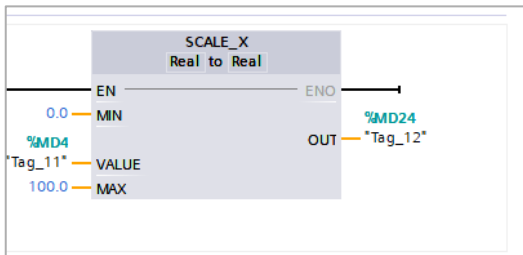


Fig. 41 Configuración de bloque.

- **Paso 8.-**

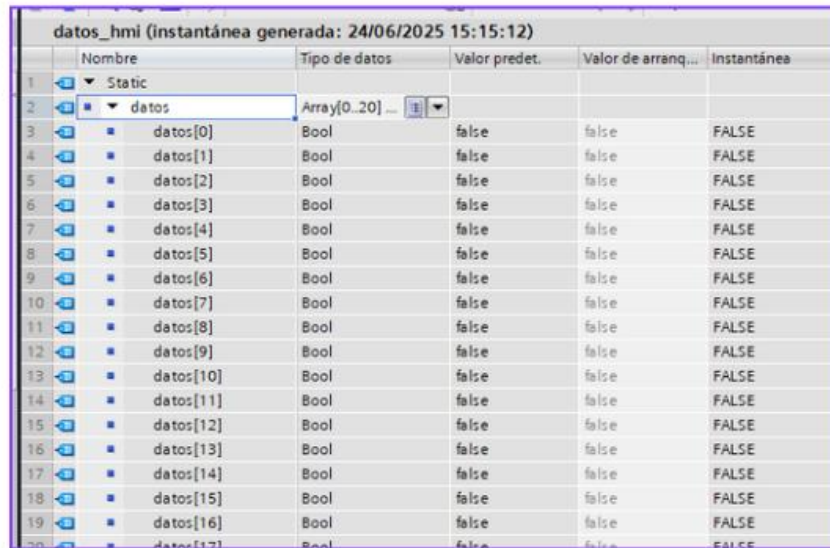
El siguiente paso es convertir el dato de tipo real a un valor entero, por medio del bloque ROUND, este valor se guardará en una memoria tipo Word que es una dirección global usado para mover datos, ese dato necesita ser guardado un DB para que el HMI pueda leerlo por lo tanto, se tendrá que direccionar, mediante el bloque MOVE y guardarlo en un DB10.



- **Paso 9.-**

Se creará dos bloques de datos DB, uno para los datos digitales y otro para los datos analógicos, esos datos serán a los que responda el HMI delta DOP 103 BQ. Para los datos digitales se usa un DB3 como dirección y para los datos analógicos se usa un DB10, tal y como muestra la siguiente gráfica.

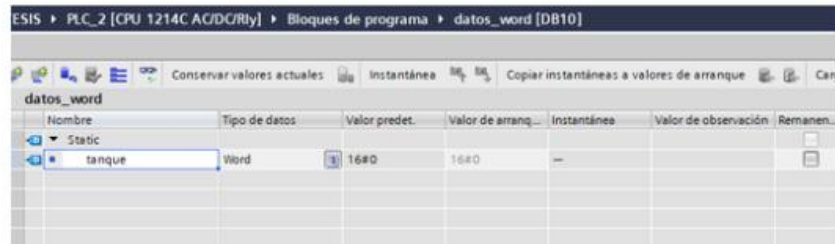
Bloque de datos digitales



The screenshot shows a data block named 'datos_hmi' with a timestamp of 24/06/2025 15:15:12. It contains an array of 17 boolean elements, each named 'datos' followed by an index from 0 to 16. All elements are currently set to 'false'.

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Valor de arranq...	Instantánea
Static				
datos	Array[0..20]			
datos[0]	Bool	false	false	FALSE
datos[1]	Bool	false	false	FALSE
datos[2]	Bool	false	false	FALSE
datos[3]	Bool	false	false	FALSE
datos[4]	Bool	false	false	FALSE
datos[5]	Bool	false	false	FALSE
datos[6]	Bool	false	false	FALSE
datos[7]	Bool	false	false	FALSE
datos[8]	Bool	false	false	FALSE
datos[9]	Bool	false	false	FALSE
datos[10]	Bool	false	false	FALSE
datos[11]	Bool	false	false	FALSE
datos[12]	Bool	false	false	FALSE
datos[13]	Bool	false	false	FALSE
datos[14]	Bool	false	false	FALSE
datos[15]	Bool	false	false	FALSE
datos[16]	Bool	false	false	FALSE

Bloque de datos analógicos



The screenshot shows a data block named 'datos_word' with a value of 16#0. The block is of type 'Word' and is currently set to 16#0.

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Valor de arranq...	Instantánea	Valor de observación	Remanen...
Static						
tanque	Word	16#0	16#0	-		

Fig. 42 Base de datos.

- **Paso 9.-**

En los siguientes pasos se detalla la creación la interfaz gráfica en el hmi delta dop 103 bq.

Como principal pantalla se tiene la presentación de la propuesta como es Implementación de protocolos de comunicación industrial en el laboratorio de automatización de la universidad estatal península de Santa Elena



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA**

ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

IMPLEMENTACIÓN DE PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN
INDUSTRIAL EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE
LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA

LESLIE MALAVÉ ORRALA

JULISSA ORRALA FLORES



Fig. 43 Interfaz

- **Paso 10.-**

Se crea una segunda pantalla como menú principal, con la finalidad de dar acceso a los 4 apartados: proceso, alarmas, parámetros e históricos.

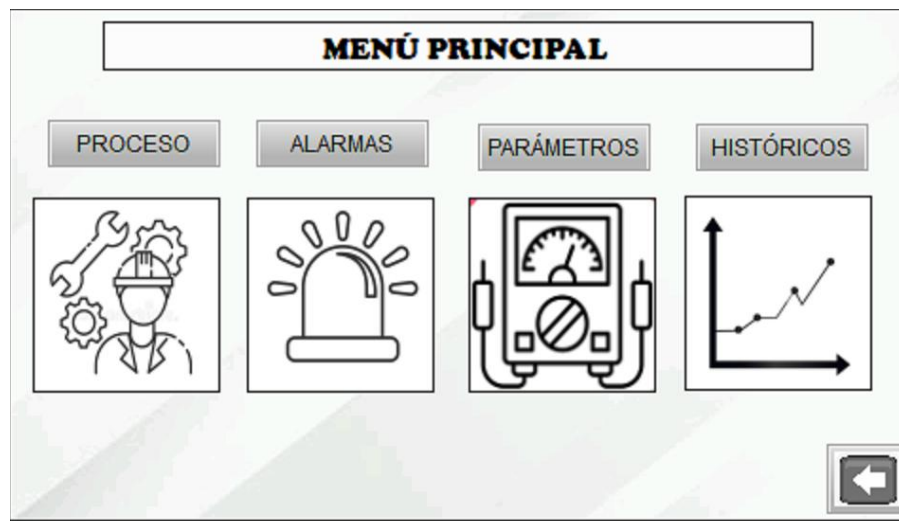


Fig. 44 Menú principal de la interfaz

- **Paso 11.-**

En la practica del protocolo RS 485 se realizó una simulación del llenado de un tanque que por lo general es muy utilizado a nivel industrial. En la interfaz del mismo cuenta con un botón de marcha y paro del sistema, al dar inicio se activa la válvula V1, e indica si el tanque esta en un estado de alto, medio, bajo. Si el tanque está en el estado de lleno se activará la válvula 2, comenzando el descargo del mismo. En esta misma pantalla nos dirige a parámetros, históricos y alarmas si el usuario desea.



Fig. 45 Proceso de nivel del agua.

- **Paso 11.-**

En el apartado de alarmas se visualizan: la activación del sistema, el estado de las valvulas, y el estado del tanque, esto fue configurado en ajustes de alarmas donde se colocó la direccion por medio de registro tipo bool.

No.	Contenido del Mensaje	Categoría	Tipo	Dirección
1*	Marcha	0	Bit	{Link1}2@B1
2*	Paro	0	Bit	{Link1}2@B1
3*	Nivel Bajo	0	Bit	{Link1}2@B6
4*	Nivel Medio	0	Bit	{Link1}2@B7
5*	Nivel Alto	0	Bit	{Link1}2@B8
6*	Act_Valvula1	0	Bit	{Link1}2@B10
7*	Act_Valvula2	0	Bit	{Link1}2@B11

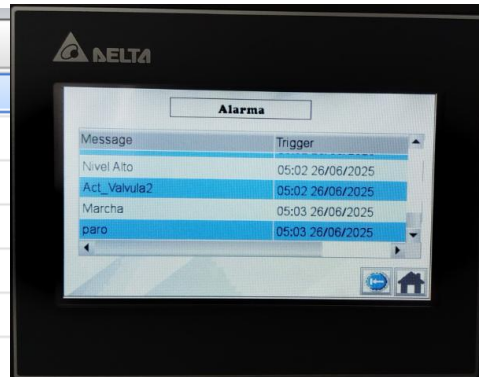


Fig. 46 Alarmas.

- **Paso 12.-**

En este paso el histórico actuara mediante la variable analógica del plc que en este caso sería DB10.DBW0.

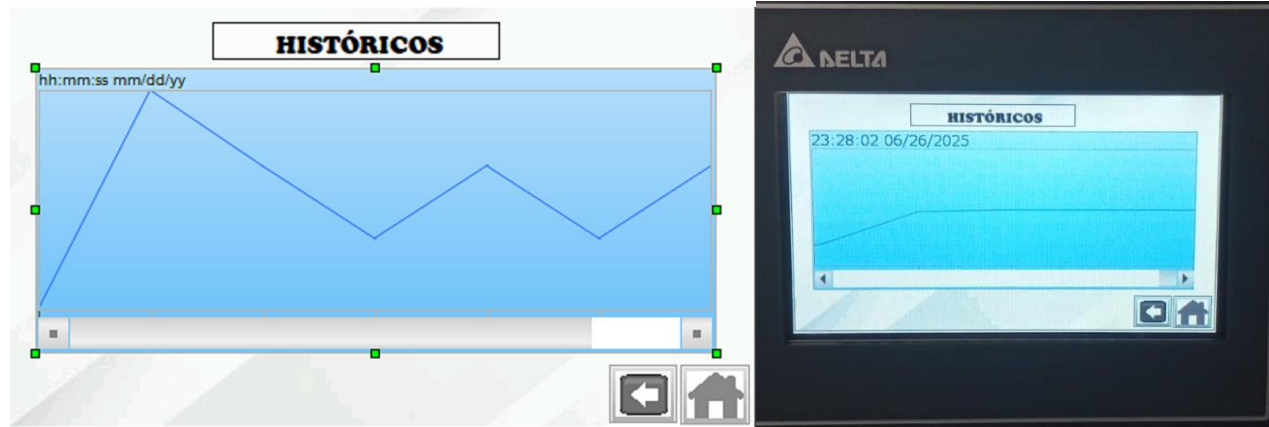


Fig. 47 Históricos

- **Paso 13.-**

En la sección de parámetros del sistema muestra el nivel del tanque por medio de datos numéricos, el estado del tanque y las respectivas válvulas que se encuentran activas.



Fig. 48 Parámetros de la interfaz

NOTA: Tomar en consideración que todos los bloques usados en esta guía de prácticas se trabajaron en un mismo programa de TIA Portal V16.

IMPLEMENTACIÓN DE PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA UPSE



Nombre del documento: IMPLEMENTACIÓN_DE_PROTOCOLOS_DE_COMUNICACIÓN_INDUSTRIAL_EN_EL_LABORATORIO_DE_AUTOMATIZACIÓN_DE_LA_UNIVERSIDAD_ESTATAL_PENÍNSULA_DE_SANTA ELENA__UPSE.pdf ID del documento: 47a568e07a14a7eb12c4d86b30d3ecb8b59fc8ec Tamaño del documento original: 7,29 MB	Depositante: Oscar Wladimir Gómez Morales Fecha de depósito: 27/6/2025 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 27/6/2025	Número de palabras: 18.821 Número de caracteres: 122.467
---	--	---

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Avancedetesis.pdf Avancedetesis.pdf #b4ca3d El documento proviene de mi grupo 10 fuentes similares	49%		Palabras idénticas: 49% (8746 palabras)
2	ANTECEDENTES_2.0.docx JUSTIFICACION/ALCANCE DEL PROYECTO(618... #c2c540 El documento proviene de mi grupo 4 fuentes similares	7%		Palabras idénticas: 7% (1285 palabras)
3	repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/10623/1/UPSE-TEA-2024-0006.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	us.profinet.com Cómo elegir una topología de red PROFINET - PI Norte América https://us.profinet.com/como-elegir-una-topologia-de-red/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
2	repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/11946/1/UPSE-TEA-2024-0026.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
3	www.eltima.com Qué es RS485 - Guía de la Comunicación RS485 [2025] https://www.eltima.com/es/articulo/rs485-communication-guide/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
4	Documento de otro usuario #036c26 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)
5	repositorio.upse.edu.ec Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Ele... https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8262	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	https://dspace.ups.edu
2	http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6425
3	http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5479
4	http://repositorio.espe.edu.ec/handle/
5	https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1874