



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO BASADO EN  
COMUNICACIÓN INDUSTRIAL UTILIZANDO MODBUS RTU Y TCP/IP PARA  
EL MONITOREO Y CONTROL DE UN MOTOR TRIFÁSICO”**

**AUTOR:**

**VALVERDE TOBAR JACKSON VICTOR**

**TUTOR:**

**ING. GÓMEZ MORALES ÓSCAR WLADIMIR, MGT.**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2024**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que contribuyeron significativamente a la realización de mi trabajo de titulación. En primer lugar, mi más sincero agradecimiento va dirigido a mi tutor, el Ingeniero Oscar Gómez, cuya orientación experta, paciencia y apoyo constante fueron fundamentales en cada etapa de este proyecto. Su información y recomendaciones no solo me guiaron en mi investigación, sino que también mejoraron mi comprensión del tema y me inspiraron a superar los obstáculos.

Además, deseo agradecer a todos mis compañeros de carrera de Electrónica y Automatización. Sus discusiones enriquecedoras, retroalimentación constructiva y debates académicos fueron esenciales para moldear mis ideas y mejorar la calidad de este trabajo. Cada conversación fue una oportunidad para aprender y crecer académicamente, y estoy verdaderamente agradecido por su colaboración y apoyo.

No puedo pasar por alto el apoyo incondicional de mi familia y amigos. Su aliento constante, comprensión y paciencia fueron fundamentales para mantenerme motivado durante los momentos más desafiantes. Su presencia ha sido mi mayor fortaleza y su sacrificio ha sido invaluable para alcanzar este logro académico.

Finalmente, quiero agradecer a la Universidad Estatal Península de Santa Elena por proporcionar los recursos, instalaciones y ambiente de aprendizaje propicio para llevar a cabo este trabajo de titulación.

Jackson Victor Valverde Tobar

## **DEDICATORIA**

Dedico este presente trabajo de titulación a mi querida madre, Mercedes, quien con todo el cariño y dedicación me moldeó en las cualidades y valores que han forjado la persona que soy hoy. A mi padre, Víctor, quien siempre estuvo a mi lado apoyándome incondicionalmente y guiándome para alcanzar cada uno de mis logros. A mis hermanos, Steeven y Gabriela, quienes han sido mis pilares fundamentales en todo momento, brindándome su apoyo y aliento constante.

También dedico este trabajo a mis queridos amigos Alan, Steeven, Anthony, Douglas, Falso, Isaac, Lisbette y a todos los que han estado presentes en mi vida académica y personal. Sus palabras de ánimo, su compañía y sus consejos han sido una fuente invaluable de inspiración y motivación a lo largo de esta trayectoria.

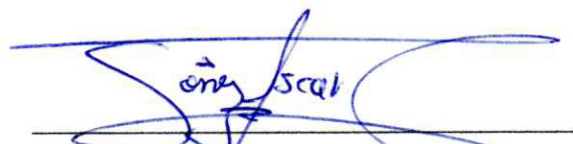
Agradezco profundamente a mi familia y amigos por su paciencia, comprensión y amor incondicional durante los momentos de desafío y aprendizaje. Este logro no habría sido posible sin el apoyo de cada uno de ustedes, quienes han sido parte esencial de mi camino hacia la culminación de esta etapa académica.

Jackson Victor Valverde Tobar

## APROBACIÓN DEL TUTOR

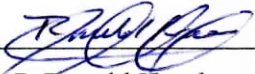
En mi calidad de Tutor/Tutora del trabajo de integración curricular denominado: **“Implementación de un módulo didáctico basado en comunicación industrial utilizando protocolos Modbus RTU y TCP/IP para el monitoreo y control de un motor trifásico ”**, elaborado por el estudiante Valverde Tobar Jackson Victor, de la carrera de Electrónica y Automatización de la facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, lo apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

La libertad, 19 de junio del 2024.



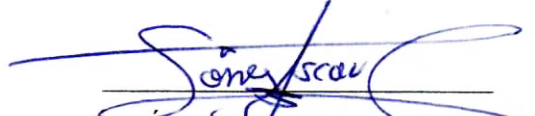
Ing. Óscar Wladimir Gómez Morales, Mgt.  
**DOCENTE TUTOR**

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



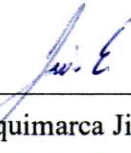
Ph.D. Ronald Humberto Rovira Jurado.

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE  
ELECTRÓNICA Y  
AUTOMATIZACIÓN.**



Ing. Óscar Gómez Morales, Mgt.

**DOCENTE TUTOR.**



Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, Mgt.

**DOCENTE ESPECIALISTA  
DOCENTE GUÍA UIC.**



Ing. Corina Gonzabay De La A, Mgt.

**SECRETARIA DE LA  
CARRERA DE ELECTRÓNICA  
Y AUTOMATIZACIÓN.**

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación “Implementación de un módulo didáctico basado en comunicación industrial utilizando Modbus RTU y TCP/IP para el monitoreo y control de un motor trifásico” se centra en la implementación de un módulo didáctico que permita a los estudiantes de la carrera de Electrónica y Automatización de la Universidad Estatal Península de Santa Elena aprender y practicar con los protocolos de comunicación Modbus RTU y TCP/IP, además de abordar la problemática de incompatibilidad de dispositivos de diferentes marcas que dificultan la integración de equipos. Este trabajo demuestra cómo el uso de redes industriales basadas en el protocolo Modbus ofrece una solución eficiente y estandarizada para la interoperabilidad de equipos de distintas marcas.

El proyecto incluye una revisión de los conceptos teóricos de automatización y redes industriales antes de seleccionar y configurar los dispositivos necesarios para el sistema. Los componentes principales incluyen un controlador lógico programable, un convertidor Modbus RTU-TCP/IP, un HMI, un variador de frecuencia, un medidor de parámetros eléctricos y software especializado para la programación y el monitoreo. Se detallan los pasos necesarios para configurar la red de comunicación, programar el sistema y garantizar su correcto funcionamiento.

Los resultados demuestran que el módulo didáctico es efectivo para el propósito educativo, permitiendo a los estudiantes monitorear y controlar un motor trifásico mediante una interfaz HMI, ajustando parámetros como velocidad y dirección de giro. Las pruebas de comunicación en la red Modbus TCP/IP mostraron una transferencia confiable de datos entre dispositivos. En la red Modbus RTU con Modbus Poll, se validó la precisión en la transmisión y recepción de datos a través del convertidor IFD9506. La red industrial demostró alta estabilidad, con pruebas exitosas de control del variador SINEE EM730, proporcionando respuestas rápidas al accionar el motor. El sistema de monitoreo de variables eléctricas fue eficaz en la observación y registro en tiempo real, facilitando el análisis. Este trabajo resalta la importancia en la formación de ingenieros al aplicar teorías en la automatización y redes industriales, concluyendo con recomendaciones para futuras mejoras y expansiones del sistema.

**Palabras Claves:** módulo didáctico, comunicación industrial, modbus, monitoreo, control.

## ABSTRACT

The present degree work "Implementation of a didactic module based on industrial communication using Modbus RTU and TCP/IP for the monitoring and control of a three-phase motor" focuses on the implementation of a didactic module that allows students of the Electronics and Automation career of the Peninsula State University of Santa Elena to learn and practice with the Modbus RTU and TCP/IP communication protocols. In addition to addressing the problem of incompatibility of devices of different brands that hinder the integration of equipment. This work demonstrates how the use of industrial networks based on the Modbus protocol offers an efficient and standardized solution for the interoperability of equipment of different brands.

The project includes a review of the theoretical concepts of automation and industrial networks before selecting and configuring the devices required for the system. The main components include a programmable logic controller, a Modbus RTU-TCP/IP converter, an HMI, a frequency inverter, an electrical parameter meter and specialized software for programming and monitoring. The steps necessary to configure the communication network, program the system and ensure its correct operation are detailed.

The results demonstrate that the didactic module is effective for the educational purpose, allowing students to monitor and control a three-phase motor through an HMI interface, adjusting parameters such as speed and direction of rotation. Communication tests on the Modbus TCP/IP network showed reliable data transfer between devices. In the Modbus RTU network with Modbus Poll, the accuracy in data transmission and reception via the IFD9506 converter was validated. The industrial network demonstrated high stability, with successful control tests of the SINEE EM730 drive, providing quick responses when driving the motor. The electrical variable monitoring system was effective in real-time observation and recording, facilitating analysis. This paper highlights the importance in the training of engineers when applying theories in automation and industrial networks, concluding with recommendations for future improvements and expansions of the system.

**Keywords:** didactic module, industrial communication, modbus, monitoring, control.

## DECLARACIÓN

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

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jacky', enclosed within a simple rectangular frame.

---

Valverde Tobar Jackson Victor

**Autor**

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	I
DEDICATORIA .....	II
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVI
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	2
1. FUNDAMENTACIÓN.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Descripción del proyecto.....	4
1.2.1 Investigación y diseño.....	4
1.2.2 Selección de dispositivos .....	4
1.2.3 Implementación del sistema.....	4
1.2.4 Desarrollo de la red .....	5
1.2.5 Configuración de Red.....	5
1.2.6 Programación de controlador y dispositivos .....	5
1.2.7 Pruebas de integración para monitoreo y control.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo General .....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Justificación.....	7
1.5 Alcance del proyecto.....	8
1.6 Metodología de la investigación.....	9
1.6.1 Investigación aplicada .....	9
1.6.2 Investigación exploratoria .....	9
1.6.3 Investigación experimental.....	9
CAPÍTULO II .....	10
2. PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	10
2.1 Marco Contextual.....	10
2.2 Marco conceptual.....	12
2.2.1 Automatización Industrial .....	12

2.2.2 Redes de comunicación industrial.....	12
2.2.3 Módulos de comunicación industrial .....	13
2.2.4 Pirámide de automatización .....	13
2.2.5 Modelo OSI.....	15
2.2.6 Trama de datos Modbus .....	15
2.2.7 Protocolos de redes de comunicación industrial .....	16
2.2.8 Conexión física.....	19
2.2.9 Topología de redes industriales.....	19
2.2.10 Modos de transmisión .....	20
2.2.11 Organización de datos .....	20
2.2.12 Sistemas de medición de redes.....	21
2.2.13 Interconexión de redes .....	21
2.2.14 Controlador lógico programable .....	22
2.2.15 HMI.....	23
2.2.16 Normativas empleadas en el uso de redes industriales y elaboración del módulo industrial para el uso de equipos o dispositivos. ....	24
2.3 Marco Teórico.....	25
CAPÍTULO III.....	27
3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	27
3.1 Componentes de la propuesta.....	27
3.1.1 Componentes físicos .....	27
3.1.2 Componentes lógicos .....	42
3.2 Diseño de la propuesta .....	45
3.2.1 Diagrama de conexión eléctrica en la red Modbus TCP/IP elaborado en CADESIMU .....	45
3.2.2 Topología de la red de datos Modbus TCP/IP .....	46
3.2.3 Diagrama de conexión eléctrica en la red Modbus RTU elaborado en CADESIMU .....	46
3.2.4 Topología de la red de datos Modbus RTU .....	47
3.2.5 Diseño 3D de la estructura del módulo didáctico.....	48
3.2.6 Montaje del módulo didáctico.....	48
3.2.7 Diagrama esquemático general de la red de comunicación Modbus RTU y TCP/IP .....	50
3.2.8 Configuración de accionamientos eléctricos.....	51
3.2.9 Conexión de los dispositivos seriales.....	52
3.2.10 Conexión de los transformadores de corriente .....	55
3.2.11 Conexión del convertidor Modbus RTU-TCP/IP Delta IFD9506.....	56
3.2.12 Conexión del PLC S7-1200 SIEMENS.....	57

3.2.13 Conexión pantalla HMI Delta DOP-103WQ .....	58
3.2.14 Conexión de los equipos Ethernet conectados al Switch Ethernet.....	58
3.2.15 Asignación de parámetros para el variador SINEE EM730 usado en el control de un motor trifásico .....	59
3.2.16 Programación del variador SINEE EM730 a través del convertidor IFD9506 ....	59
3.2.17 Configuración del convertidor RTU-TCP/IP .....	64
3.2.18 Comunicación entre dispositivos seriales con el convertidor RTU-TCP/IP .....	69
3.2.19 Programación y configuración del PLC S7-1200 1214C .....	72
3.2.20 Programación del HMI Delta DOP-103WQ para el monitoreo local. ....	78
3.3 Pruebas y resultados .....	80
3.3.1 Pruebas y resultados en la red de comunicación de los equipos conectados en Modbus TCP/IP.....	80
3.3.2 Pruebas y resultados en la red de comunicación de los equipos serie conectados al convertidor IFD9506 usando el software Modbus Poll.....	81
3.3.3 Análisis y resultados de tráfico de datos y latencias en el bus ethernet del sistema de monitoreo y control del motor trifásico.....	82
3.3.3 Prueba y resultados de confiabilidad de la red industrial .....	86
3.3.4 Pruebas y resultados de control del variador SINEE EM730 para el accionamiento del motor trifásico mediante el interfaz HMI. ....	86
3.3.5 Pruebas y resultados del sistema de monitoreo de variables eléctricas de un motor trifásico mediante la interfaz HMI. ....	87
CAPÍTULO IV .....	90
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	90
4.1 Conclusiones .....	90
4.2 Recomendaciones.....	93
BIBLIOGRAFIA.....	94
ANEXOS.....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diseño preliminar de la arquitectura de la red Modbus TCP/IP- Modbus RTU.....	6
<b>Figura 2.</b> Redes de comunicación industrial. ....	13
<b>Figura 3.</b> Pirámide de automatización.....	14
<b>Figura 4.</b> Arquitectura de Modbus según el modelo OSI.....	15
<b>Figura 5.</b> Protocolo de comunicación Ethernet/IP. ....	16
<b>Figura 6.</b> Protocolo de comunicación Profinet.....	17
<b>Figura 7.</b> Protocolo de comunicación Profibus. ....	18
<b>Figura 8.</b> Protocolo de comunicación Modbus.....	19
<b>Figura 9.</b> Tipos de topologías de las redes industriales.....	20
<b>Figura 10.</b> Puerta de enlace Modbus RTU/TCP/IP(Gateway). ....	22
<b>Figura 11.</b> Diseño 3D Controlador lógico programable. Fuente: autoría propia.....	23
<b>Figura 12.</b> Interfaz humano -máquina de uso industrial.....	23
<b>Figura 13.</b> Fuente de alimentación DELTA SLIM DRL-24V75W1AZ. ....	28
<b>Figura 14.</b> Transformador de corriente CAMSCO CFS-33 30/5A. ....	29
<b>Figura 15.</b> Interruptor automático bipolar CHINT NXB-63H y Schneider Electric Easy9. ....	30
<b>Figura 16.</b> Conductores AWG de variados calibres.....	31
<b>Figura 17.</b> PLC S7-1200 1214C AC/DC/Relay. ....	33
<b>Figura 18.</b> Variador de frecuencia vectorial SINEE EM730-0R7-2B.....	34
<b>Figura 19.</b> Pantalla HMI DELTA DOP-103WQ.....	36
<b>Figura 20.</b> Switch TL-SF1008D.....	38
<b>Figura 21.</b> Conversor Delta IFD9506.....	39
<b>Figura 22.</b> Tabla de características técnicas del conversor DELTA IFD9506. ....	40
<b>Figura 23.</b> Motor eléctrico trifásico Siemens. ....	42
<b>Figura 24.</b> Diagrama de conexión eléctrica de equipos Modbus TCP/IP.....	46
<b>Figura 25.</b> Topología de red estrella Modbus TCP/IP. ....	46
<b>Figura 26.</b> Diagrama de conexión eléctrica de equipos Modbus RTU. ....	47
<b>Figura 27.</b> Topología de datos Daisy chain en Modbus RTU. ....	47
<b>Figura 28.</b> Vista semi-frontal del modelado 3D del módulo didáctico. ....	48
<b>Figura 29.</b> Construcción completada del módulo didáctico. ....	49
<b>Figura 30.</b> Montaje definitivo del módulo didáctico con sus respectivos equipos.....	50
<b>Figura 31.</b> Diagrama general de la red Modbus RTU -TCP/IP.....	51
<b>Figura 32.</b> Esquema delta-delta del motor trifásico. ....	51
<b>Figura 33.</b> Conexión física del motor trifásico en delta- delta. ....	52
<b>Figura 34.</b> Conexión en cadena a través de los equipos seriales. ....	52
<b>Figura 35.</b> Conexión del variador de frecuencia SINEE. ....	53
<b>Figura 36.</b> Conexión de alimentación en la parte posterior del medidor PM5110.....	54
<b>Figura 37.</b> Configuración básica del medidor de parámetros PM5110. ....	55
<b>Figura 38.</b> Configuración del puerto serie del medidor de parámetros PM5110. ....	55
<b>Figura 39.</b> Conexión física y etiquetado de los Transformadores de corriente. ....	56
<b>Figura 40.</b> Conexión al receptor y dirección de la carga.....	56
<b>Figura 41.</b> Conexión del convertidor Delta IFD9506. ....	57
<b>Figura 42.</b> Conexión del PLC S7-1200. ....	57
<b>Figura 43.</b> Conexión del HMI Delta DOP-103WQ.....	58
<b>Figura 44.</b> Conexión de los puertos Ethernet del switch TP-Link ....	59
<b>Figura 45.</b> Configuración de los registros a forzar dentro del variador de frecuencia. ....	60
<b>Figura 46.</b> Detalles de la configuración de registros a forzar.....	61

<b>Figura 47.</b> Detalles de la configuración de registros a forzar.....	61
<b>Figura 48.</b> Detalles de la configuración de registros a forzar.....	62
<b>Figura 49.</b> Comprobación de comunicación del equipo serie. ....	62
<b>Figura 50.</b> Asignación de dominio del registro a forzar en el variador de frecuencia .....	63
<b>Figura 51.</b> Asignación de unidad de referencia de frecuencia para el forzamiento del registro. 63	
<b>Figura 52.</b> Registro de frecuencia forzado en el variador de frecuencia. ....	64
<b>Figura 53.</b> Configuración física de parámetros de comunicación del dispositivo.....	65
<b>Figura 54.</b> Propiedades de Ethernet. ....	65
<b>Figura 55.</b> Propiedades del protocolo TCP/IPv4.....	66
<b>Figura 56.</b> Configuración del tipo de comunicación que se va establecer con el dispositivo. ....	66
<b>Figura 57.</b> Búsqueda de equipo conectado a la red Ethernet en DCISoft. ....	67
<b>Figura 58.</b> Dispositivo reconocido en el software DCISoft. ....	67
<b>Figura 59.</b> Menú general del IFD9507.....	67
<b>Figura 60.</b> Configuración de la red y parámetros de comunicación del dispositivo IFD9506. ..	68
<b>Figura 61.</b> Interfaz web del convertidor Delta IFD9506.....	68
<b>Figura 62.</b> Selección de pantalla HMI a utilizar.....	69
<b>Figura 63.</b> Selección del controlador conectado a la pantalla HMI. ....	70
<b>Figura 64.</b> Establecimiento de IP de la pantalla HMI Delta.....	70
<b>Figura 65.</b> Establecimiento de IP del controlador e ID a controla. ....	71
<b>Figura 66.</b> Pantalla principal para el control del variador. ....	71
<b>Figura 67.</b> Asignación de dirección de escritura para el control de la frecuencia.....	72
<b>Figura 68.</b> Selección del enlace del HMI al dispositivo a controlar.....	72
<b>Figura 69.</b> Asignación de la dirección IP del PLC S7- 1200. ....	73
<b>Figura 70.</b> Instrucción de comunicación MB_CLIENT.....	73
<b>Figura 71.</b> Creación del bloque de datos para almacenar datos. ....	74
<b>Figura 72.</b> Bloque de datos asignado a cada registro de lectura.....	75
<b>Figura 73.</b> Ingreso de parámetros de conexión Modbus TCP/IP con servidor IFD9506. ....	75
<b>Figura 74.</b> Cantidad de datos a leer por parte del medidor de parámetros. ....	76
<b>Figura 75.</b> Bloque de comunicación cliente MB_CLIENT.....	76
<b>Figura 76.</b> Instrucciones “MOVE” para lectura de datos en variables MD. ....	77
<b>Figura 77.</b> Lecturas en tiempo real de la comunicación Modbus.....	77
<b>Figura 78.</b> Asignación del enlace de conexión al PLC S7-1200.....	78
<b>Figura 79.</b> Asignación de variables MD del PLC para lectura de parámetros eléctricos.....	78
<b>Figura 80.</b> Parámetros eléctricos de voltaje visto desde el software DOPSoft. ....	79
<b>Figura 81.</b> Parámetros eléctricos de corriente visto desde el software DOPSoft. ....	79
<b>Figura 82.</b> Parámetros eléctricos de potencia visto desde el software DOPSoft.....	79
<b>Figura 83.</b> Ping 192.168.100.8 -t perteneciente al PLC S7-1200.....	80
<b>Figura 84.</b> Ping 192.168.100.13 -t perteneciente al HMI DOP-103WQ.....	80
<b>Figura 85.</b> Ping 192.168.100.5 -t perteneciente al convertidor IFD9506.....	81
<b>Figura 86.</b> Transmisión y recepción de datos del variador de frecuencia SINEE EM730.....	81
<b>Figura 87.</b> Transmisión y recepción de datos del medidor PM5110.....	82
<b>Figura 88.</b> Estructura del software Wireshark.....	83
<b>Figura 89.</b> Datos capturados de la trama enviada desde el HMI a los equipos esclavos, escritura. .....	84
<b>Figura 90.</b> Datos capturados de la trama enviada desde el HMI a los equipos esclavos, lectura. 85	
<b>Figura 91.</b> Tiempos de retardo de varias peticiones realizadas desde el HMI. ....	85
<b>Figura 92.</b> Portada del proyecto de integración curricular .....	87

<b>Figura 93.</b> Monitoreo y control del motor trifásico de forma física a través del HMI-DOP103WQ y el variador SINEE EM730.....	87
<b>Figura 94.</b> Monitoreo de parámetros eléctricos de voltajes de forma física a través del HMI DOP-103WQ y el medido PM5110. ....	88
<b>Figura 95.</b> Monitoreo de parámetros eléctricos de corrientes de forma física a través del HMI DOP-103WQ y el medido PM5110. ....	88
<b>Figura 96.</b> Monitoreo de parámetros eléctricos de potencias de forma física a través del HMI DOP-103WQ y el medido PM5110. ....	89
<b>Figura 97.</b> Diagrama esquemático de la red Modbus-Práctica 1.....	100
<b>Figura 98.</b> Conexión Ethernet al módulo didáctico.....	100
<b>Figura 99.</b> Interfaz de inicio TIA Portal - Práctica 1.....	101
<b>Figura 100.</b> Interfaz para agregar controlador - Práctica 1.....	102
<b>Figura 101.</b> Direcciones Ethernet del controlador - Práctica 1. ....	102
<b>Figura 102.</b> Direcciones Ethernet del controlador - Práctica 1. ....	103
<b>Figura 103.</b> Parámetros de comunicación en bloque de datos - Práctica 1. ....	103
<b>Figura 104.</b> Parámetros de comunicación en bloque de datos. ....	104
<b>Figura 105.</b> Atributos del bloque de datos- Práctica 1. ....	104
<b>Figura 106.</b> Instrucción MB_CLIENT para lectura – Práctica 1. ....	105
<b>Figura 107.</b> Instrucción MB_CLIENT para escritura - Práctica 1. ....	105
<b>Figura 108.</b> Manual de la instrucción MB_CLIENT en TIA Portal -Práctica 1. ....	106
<b>Figura 109.</b> Modbus Slave configurado para la práctica 1.....	106
<b>Figura 110.</b> Configuración de los registros a leer y escribir - Práctica 1 .....	107
<b>Figura 111.</b> Parámetros de conexión del Modbus Slave - Práctica 1.....	107
<b>Figura 112.</b> Datos de lectura y escritura entre el PLC y Modbus Slave - Práctica 1. ....	108
<b>Figura 113.</b> Diagrama esquemático de la red Modbus-Práctica 2.....	110
<b>Figura 114.</b> Parámetros de comunicación Modbus - Práctica 2. ....	110
<b>Figura 115.</b> Variables de registro del PLC para lectura de parámetros eléctricos - Práctica 2. ....	111
<b>Figura 116.</b> Instrucción MB_CLIENT para lectura de corrientes - Práctica 2.....	112
<b>Figura 117.</b> Instrucción MB_CLIENT para lectura de voltajes - Práctica 2. ....	112
<b>Figura 118.</b> Manual de la instrucción MB_CLIENT en TIA Portal - Práctica 2. ....	113
<b>Figura 119.</b> Variables de voltaje para lectura del HMI - Práctica 2.....	113
<b>Figura 120.</b> Variables de corriente para lectura del HMI -Práctica 2.....	113
<b>Figura 121.</b> Interfaz para agregar HMI-Práctica 2. ....	114
<b>Figura 122.</b> Establecimiento de comunicación del HMI-Práctica 2.....	114
<b>Figura 123.</b> Asignación de la IP establecida en el HMI DOP-103WQ-Práctica 2.....	115
<b>Figura 124.</b> Asignación de la IP del PLC S7-1200-Práctica 2. ....	115
<b>Figura 125.</b> Portada de la práctica 2.....	116
<b>Figura 126.</b> Diseño HMI de lectura general del medidor de parámetros - Práctica 2. ....	116
<b>Figura 127.</b> Asignación de elemento “Goto Screen” en la pantalla HMI - Práctica 2. ....	117
<b>Figura 128.</b> Asignación de elemento “Numeric Display” en la pantalla HMI -Práctica 2.....	117
<b>Figura 129.</b> Asignación de enlace con el PLC - Práctica 2. ....	117
<b>Figura 130.</b> Asignación de variables del PLC para lectura -Práctica 2.....	118
<b>Figura 131.</b> Configuración Ethernet en el entorno del HMI-Práctica 2. ....	118
<b>Figura 132.</b> Lectura de corrientes en el bloque de datos - Práctica 2.....	119
<b>Figura 133.</b> Portada de la práctica 2 - Práctica 2.....	119
<b>Figura 134.</b> Resumen general de parámetros eléctricos -Práctica 2.....	119
<b>Figura 135.</b> Parámetros de voltaje de línea -Práctica 2. ....	120
<b>Figura 136.</b> Parámetros de amperios por fase -Práctica 2. ....	120

<b>Figura 137.</b> Resumen de parámetros de potencia -Práctica 2.....	120
<b>Figura 138.</b> Diagrama esquemático de la red Modbus – Práctica 3.....	122
<b>Figura 139.</b> Circuito de Fuerza -Práctica 3. ....	122
<b>Figura 140.</b> Parámetros de comunicación Modbus del variador SINEE -Práctica 3.....	123
<b>Figura 141.</b> Configuración Modbus RTU preestablecida en el convertidor IFD9506 -Práctica 3. .....	124
<b>Figura 142.</b> Parámetros de funciones básicas del variador SINEE -Práctica 3.....	124
<b>Figura 143.</b> Interfaz para agregar HMI-Práctica 3. ....	125
<b>Figura 144.</b> Asignación de la IP establecida en el HMI DOP-103WQ-Práctica 3.....	125
<b>Figura 145.</b> Asignación de la IP del Convertidor IFD9506-Práctica 3. ....	126
<b>Figura 146.</b> Establecimiento de comunicación del HMI-Práctica 3.....	126
<b>Figura 147.</b> Configuración Ethernet en el entorno del HMI-Práctica 3. ....	127
<b>Figura 148.</b> Portada de la práctica 3.....	127
<b>Figura 149.</b> Diseño HMI para el control del motor trifásico -Práctica 3.....	128
<b>Figura 150.</b> Asignación de registro y valor de activación en el botón marcha -Práctica 3. ....	128
<b>Figura 151.</b> Elemento “Numeric Display” para lectura de frecuencia -Práctica 3.....	129
<b>Figura 152.</b> Elemento “Slider” para regular frecuencia -Práctica 3.....	129

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tabla de características técnicas relativas a la fuente de alimentación DELTA DRL-24V75W1AZ.....	28
<b>Tabla 2.</b> Tabla de características técnicas del transformador de corriente CFS-33 de 30/5A. ....	29
<b>Tabla 3.</b> Tabla de características técnicas del interruptor automático CHINT NXB-63H y Schneider Electric Easy9.....	30
<b>Tabla 4.</b> Tabla de características de los conductores AWG de diversos calibres.....	31
<b>Tabla 5.</b> Tabla de características técnicas del PLC S7-1200 1214C AC/DC/Relay.....	33
<b>Tabla 6.</b> Tabla de características técnicas del Variador de frecuencia vectorial SINEE EM730-0R7-2B. ....	34
<b>Tabla 7.</b> Tabla de características técnicas de la pantalla HMI DELTA DOP-103WQ.....	36
<b>Tabla 8.</b> Tabla de características técnicas del Switch TL-SF1008D. ....	38
<b>Tabla 9.</b> Tabla de características técnicas del convertor DELTA IFD9506. ....	39
<b>Tabla 10.</b> Tabla de características técnicas del medidor de parámetros eléctricos PM5110. ....	41
<b>Tabla 11.</b> Tabla de características técnicas del motor eléctrico trifásico. ....	42
<b>Tabla 12.</b> Registros de forzamiento en variador SINEE. ....	60
<b>Tabla 13.</b> Resultados de prueba de confiabilidad.....	86
<b>Tabla 14.</b> Registros del variador SINEE EM730 -Práctica 3. ....	128

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Prácticas elaboradas para el módulo didáctico.....	99
<b>Anexo 2.</b> Manuales y configuración establecidas en la comunicación Modbus.....	130
<b>Anexo 3.</b> Parámetros del motor – Modo de operación A.....	130
<b>Anexo 4.</b> Parámetros básicos de funcionamiento remoto.....	131
<b>Anexo 5.</b> Gasto general de la implementación del módulo didáctico y montaje de equipos....	132
<b>Anexo 6.</b> Conexión de equipos - parte posterior del módulo didáctico.....	133
<b>Anexo 7.</b> Certificado de análisis por parte del sistema anti plagio .....	133

## INTRODUCCIÓN

La automatización industrial ha cambiado la forma en que se manejan y controlan los procesos industriales, lo que ha mejorado la eficiencia, la seguridad y la confiabilidad de las operaciones. Las redes de comunicación industriales son esenciales porque permiten la interconexión de varios dispositivos y sistemas para un control eficiente y centralizado. Los protocolos de comunicación industrial más populares incluyen Modbus RTU y TCP/IP, que son conocidos por su facilidad de uso, resistencia y amplia adopción.

No obstante, la enseñanza de estos protocolos y su aplicación práctica en el ámbito educativo presenta retos considerables. Los estudiantes de Electrónica y Automatización suelen enfrentarse a una brecha entre los conocimientos teóricos obtenidos en el aula y la aplicación práctica de estos conceptos en situaciones reales. Esta diferencia puede afectar su preparación para afrontar los desafíos del mercado laboral, donde es fundamental tener la capacidad de diseñar, implementar y mantener redes de comunicación industrial.

El trabajo de titulación actual aborda este problema al diseñar e implementar un módulo didáctico que monitorea y controla un motor trifásico utilizando los protocolos Modbus RTU y TCP/IP. Este módulo, que permite a los estudiantes interactuar directamente con los componentes y sistemas de una red de comunicación industrial, está diseñado para ser utilizado como una herramienta educativa en el laboratorio. Los estudiantes pueden adquirir una comprensión más profunda de los principios de la comunicación industrial y desarrollar habilidades prácticas que son esenciales para su desarrollo profesional a través de esta interacción práctica.

El módulo didáctico incluye la programación y configuración necesarias para establecer una red de comunicación efectiva, así como la selección de dispositivos como el convertidor IFD9506, el variador de frecuencia EM730, el medidor de parámetros PM5110 Schneider Electric y el HMI Delta DOP-103WQ. Además, se abordan temas importantes como la asignación precisa de variables, la verificación de datos y la integración de varios componentes del sistema. El resultado es una herramienta educativa que no solo fomenta el aprendizaje activo y práctico, sino que también prepara a los estudiantes para enfrentar con éxito los desafíos técnicos de la industria moderna.

# CAPÍTULO I

## 1. FUNDAMENTACIÓN.

### 1.1 Antecedentes.

La revolución industrial y el desarrollo tecnológico han estado estrechamente relacionados, los procesos automatizados se han convertido en una base fundamental para el desarrollo global [1]. La aparición de los primeros controladores lógicos programables hizo que sea necesaria la comunicación industrial. Estos dispositivos requerían un método para intercambiar información y coordinar sus acciones entre sí para controlar máquinas y procesos industriales.

En el transcurso del siglo pasado, Bedford Associates creó Modbus para su primer sistema de comunicación de PLC Modicon 084, lo que representó un avance tecnológico significativo en la industria [2]. Esta innovación aceleró notablemente el avance tecnológico en el ámbito industrial a nivel mundial, marcando un hito crucial en la historia de la automatización y la comunicación entre dispositivos. El protocolo Modbus se ha establecido como un estándar en la industria para la conexión de dispositivos electrónicos industriales debido a su naturaleza de código abierto, su fácil implementación y sus mínimos requisitos de desarrollo [3].

El protocolo Modbus RTU fue una de las primeras implementaciones exitosas del protocolo Modbus original. Esta comunicación en serie aplicada en una red Modbus RTU para establecer una conexión maestro-esclavo o servidor-cliente entre dispositivos [4]. Por su confiabilidad y simplicidad, es un protocolo muy utilizado. Para controlar las interacciones con los sistemas físicos, los sensores y los actuadores se conectan a RTU. En sistemas de control industrial, una unidad terminal maestra (MTU) conectada a las unidades RTU facilita la comunicación mediante enlaces dedicados [5]. En hornos industriales, el control de temperatura se utiliza con frecuencia con el protocolo Modbus RTU, que permite a un PLC comunicarse con un sensor de temperatura. El sensor de temperatura funciona como un dispositivo esclavo en esta configuración, enviando mediciones de temperatura al PLC configurado como maestro. El PLC recibe estas mediciones y las utiliza para tomar decisiones sobre si activar o desactivar un elemento de calentamiento o mantener la temperatura dentro de un rango determinado [6]. Además, se emplea en la línea de producción, donde un variador de frecuencia compatible con el

protocolo Modbus RTU se configura como dispositivo esclavo mientras que el PLC o sistema de control actúa como maestro. Como resultado, el PLC puede enviar instrucciones al variador de frecuencia para ajustar la velocidad del motor según sea necesario, lo que garantiza un ritmo de producción constante [7].

El protocolo Modbus TCP/IP es una evolución y extensión del protocolo Modbus RTU. Se desarrolló para cumplir con la creciente demanda de comunicación en redes de área amplia, como las redes Ethernet, así como en entornos industriales y de automatización. Este protocolo permite que los dispositivos se conecten entre sí a través de una red Ethernet [8]. Esta versión del protocolo Modbus es ampliamente utilizada en la supervisión y control de sistemas automatizados porque permite la comunicación entre PLCs, computadoras, controladores de motores y otros dispositivos físicos de entrada/salida a través de redes. Desarrollado por Schneider Automation, permite el uso de mensajes Modbus en entornos de intranet o internet a través del protocolo TCP/IP [9]. El protocolo Modbus TCP/IP es fundamental para el control de sistemas de almacenamiento automatizados como transportadores, elevadores y brazos robóticos en entornos industriales como almacenes automatizados o centros de distribución. Los PLC y otros dispositivos conectados a la red Modbus pueden coordinar las operaciones de manejo de materiales, mejorar la eficiencia del almacén y realizar un seguimiento de ubicación de productos en tiempo real [10]. El protocolo Modbus TCP/IP se utiliza en las centrales eléctricas y plantas de energía renovable para la supervisión y control de generadores, turbinas, paneles solares y sistemas de almacenamiento de energía. Esto permite la monitorización en tiempo real de la producción de energía, la respuesta a la demanda y la gestión eficiente de la red eléctrica [11].

En Ecuador, la tecnología de comunicación industrial Modbus es esencial para el ámbito de la manufactura y la producción de alta calidad. La mayoría de las máquinas y sistemas que requieren una alta producción utilizan este protocolo [12]. No obstante, la elección de Modbus no se limita únicamente a la producción de grandes cantidades de productos; la complejidad del proceso es un factor importante para su adopción. En un mercado ecuatoriano que se inclina cada vez más hacia la automatización y la eficiencia en la fabricación, Modbus es una herramienta indispensable para optimizar la gestión de la producción y asegurar un flujo de datos confiable debido a su versatilidad, que permite una comunicación eficiente entre dispositivos en entornos industriales complejos.

La implementación y el uso del protocolo Modbus en la industria petrolera son cruciales para comprender su importancia, ventajas y desventajas en la supervisión de activos petroleros. Esto tiene como objetivo mejorar la comprensión y la eficiencia operativa en esta industria [13].

## **1.2 Descripción del proyecto.**

El proyecto se centrará en el desarrollo de un módulo educativo enfocado en la comunicación industrial para un sistema de control y monitoreo de un motor trifásico. Para ello, se utilizarán dispositivos de automatización industrial junto con los protocolos de comunicación Modbus RTU y TCP/IP. El proceso se dividirá en pasos, cada uno de los cuales se detallará a continuación.

### **1.2.1 Investigación y diseño**

En la primera fase del proyecto, se llevará a cabo una investigación exhaustiva para asegurarse de que la red de comunicación industrial sea compatible con los componentes y equipos necesarios. Además, se considerarán los objetivos específicos del sistema y los requisitos técnicos, eléctricos y funcionales al diseñar el módulo educativo y el esquema de red aplicada. Se llevará a cabo un análisis detallado de las necesidades del motor trifásico. Esto permitirá establecer las especificaciones necesarias para la implementación de la red con el protocolo Modbus RTU-TCP/IP.

### **1.2.2 Selección de dispositivos**

Se seleccionarán los dispositivos necesarios para implementar el sistema una vez que la investigación esté terminada. Esto incluirá la elección de un PLC, un convertidor RTU-TCP/IP, un variador de frecuencia, un dispositivo HMI y un medidor de parámetros eléctricos. Se prestará atención especial a la compatibilidad de estos dispositivos y se garantizará que cumplan con los requisitos establecidos.

### **1.2.3 Implementación del sistema**

En este paso, se lleva a cabo la instalación física del módulo educativo, asegurándose de que todos los componentes del sistema estén en sus posiciones designadas y reciban la alimentación adecuada. Los circuitos de protección necesarios para garantizar el funcionamiento seguro del sistema también se implementarán.

#### **1.2.4 Desarrollo de la red**

Para garantizar un funcionamiento eficiente del sistema, se utilizarán las topologías de red adecuadas para realizar todas las conexiones y configuraciones necesarias. Además, se verificará que los dispositivos de campo estén correctamente conectados a la red de comunicación industrial que se construirá.

#### **1.2.5 Configuración de Red.**

Para utilizar los protocolos Modbus RTU y TCP/IP en las redes de comunicación industriales, es fundamental configurar las redes de comunicación de acuerdo con la arquitectura ilustrada en la Figura 1. Esto permite configurar los parámetros de comunicación, asignar direcciones IP e identificaciones y permitir la transferencia de datos entre dispositivos.

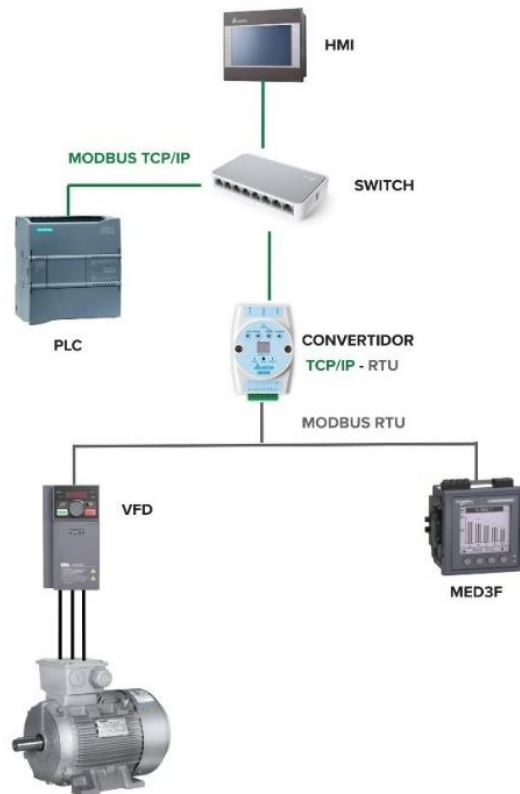
- **Comunicación de dispositivos seriales:** Configuración de los dispositivos físicos utilizando una relación maestro-esclavo con la red Modbus RTU.
- **Comunicación mediante el convertidor RTU a TCP/IP:** El convertidor de comunicación Delta IFD9506 se utiliza para configurar y programar el protocolo Modbus RTU-TCP/IP y activar simultáneamente los dispositivos de comunicación.
- **Comunicación utilizando equipos Modbus TCP/IP:** Utilizar la estructura Cliente-Servidor y el protocolo Modbus TCP/IP para conectar dispositivos a través de Ethernet.

#### **1.2.6 Programación de controlador y dispositivos**

En esta etapa de la programación, se asegura que el controlador y los dispositivos funcionen correctamente y realicen las funciones requeridas para la transferencia de datos.

#### **1.2.7 Pruebas de integración para monitoreo y control**

Se realizan pruebas de integración después del ensamblaje y las conexiones para garantizar que todos los componentes del sistema funcionen correctamente juntos. Estas pruebas aseguran una comunicación efectiva entre los dispositivos cuando se utiliza una interfaz HMI para monitorear las variables y controlar el motor trifásico.



*Figura 1. Diseño preliminar de la arquitectura de la red Modbus TCP/IP- Modbus RTU.  
Fuente: Autoría propia*

### 1.3 Objetivos.

#### 1.3.1 Objetivo General

Implementar un módulo didáctico orientado a una red de comunicación industrial, haciendo uso de los protocolos Modbus RTU y TCP/IP para el monitoreo y control de variables de un motor trifásico.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Investigar los diferentes dispositivos que cumplan los requisitos técnicos y funcionales del sistema para la comunicación del protocolo Modbus RTU y TCP/IP.
- Diseñar e instalar la estructura del módulo y los dispositivos, siguiendo las normativas y estándares para garantizar la compatibilidad y el correcto funcionamiento de la red de comunicación industrial.

- Implementar y configurar la red de comunicación industrial utilizando los protocolos Modbus RTU y TCP/IP, aplicando las topologías de red adecuadas para interconectar los controladores y dispositivos I/O multimarca del sistema.
- Evaluar el funcionamiento de la red de comunicación Modbus RTU y TCP/IP del módulo didáctico considerando sus respectivos parámetros de configuración para determinar su eficacia y rendimiento en los efectos de monitoreo y control.

#### **1.4 Justificación.**

La variedad de dispositivos utilizados por las empresas ha generado una serie de problemas que tienen un impacto directo en la capacidad de supervisar y controlar eficientemente los procesos de producción.

A través de la implementación de un módulo educativo en una red de comunicación industrial utilizando los protocolos Modbus RTU y TCP/IP, se enfatiza el uso de controladores y dispositivos I/O de diferentes marcas. Esto facilita la comunicación y la conexión entre dispositivos de varios fabricantes, lo que facilita su integración.

Este diseño es una iniciativa importante para los estudiantes que responde a las crecientes demandas de control y eficiencia de las empresas. Considere el ambiente operativo compuesto por una amplia gama de dispositivos y sistemas industriales de diferentes marcas, cada uno utilizando su propio protocolo de comunicación [14].

La implementación de Modbus RTU y TCP/IP es una solución efectiva para estos problemas. Las empresas obtienen una herramienta versátil y de código abierto gracias a este protocolo de comunicación conocido y utilizado ampliamente en una variedad de industrias. Resuelve los problemas de incompatibilidad de dispositivos, promueve la interoperabilidad, facilita la recolección de datos de manera efectiva, reduce los costos de mantenimiento y mejora la seguridad de la información [15].

Las redes de comunicación industrial Modbus RTU y TCP/IP reducen los costos operativos y mejoran la supervisión y el control de los procesos. Esto aumenta la eficiencia y la productividad en las operaciones industriales. En el laboratorio de automatización de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, se ha implementado un módulo educativo para la red de comunicación industrial, donde los estudiantes pueden practicar y desarrollar diversos procesos adaptados a la red Modbus RTU y

TCP/IP. Esto les ayuda a adquirir los conocimientos y las habilidades necesarios para abordar estos desafíos en el ámbito empresarial.

### **1.5 Alcance del proyecto.**

El objetivo de este estudio es desarrollar e implementar un módulo educativo para una red de comunicación industrial que utilice los protocolos Modbus RTU y TCP/IP. Los siguientes elementos se incluirán en el módulo educativo:

Una infraestructura física es esencial para establecer una base sólida para la comunicación y el control eficiente de diversos dispositivos en un entorno industrial.

Para configurar y supervisar adecuadamente la infraestructura de la red industrial y asegurar su rendimiento óptimo, es fundamental recopilar datos e información esenciales. Además, esta recopilación facilita la verificación completa de la compatibilidad y la capacidad de integración de los componentes.

Un programa de pruebas y mediciones destinado a evaluar y confirmar el funcionamiento de cada componente y conexión en la red industrial para garantizar su rendimiento adecuado

El protocolo Modbus RTU se utilizará para dispositivos de control y campo como variadores de frecuencia y medidores de parámetros eléctricos para lograr una comunicación eficiente en el entorno de la red industrial. Los PLC y HMI, entre otros dispositivos de control y supervisión, utilizarán el protocolo Modbus TCP/IP. Se instalará un puente para facilitar la interoperabilidad entre estos dos protocolos de comunicación.

La incorporación de una interfaz HMI permite supervisar y controlar el motor trifásico. Este dispositivo es esencial para supervisar las variables eléctricas del motor, como voltaje, potencia y corriente. Además, facilita el control del arranque y la regulación de la velocidad de frecuencia, que puede ajustarse desde 0 hasta 60 Hz.

Los estudiantes tienen la oportunidad de obtener experiencia y conocimientos prácticos sobre la red industrial en este módulo educativo, que les permite familiarizarse con cómo funciona y cómo funciona.

## **1.6 Metodología de la investigación.**

### **1.6.1 Investigación aplicada**

La investigación aplicada se desarrollará en tres etapas: revisión de la literatura, consultas con expertos y pruebas experimentales. La implementación de una red industrial utilizando los protocolos de comunicación Modbus RTU y TCP/IP requerirá la información recopilada de estos recursos. Se utilizará un motor trifásico para evaluar la operatividad de esta red.

### **1.6.2 Investigación exploratoria**

Para establecer una red de comunicación industrial, es fundamental realizar una investigación exhaustiva sobre los diversos componentes y materiales disponibles en el mercado. Esta investigación debe examinar las características fundamentales de cada componente, como su compatibilidad con dispositivos existentes, el tipo de comunicación utilizado, su desempeño, seguridad y costo. La información recopilada será fundamental para elegir los materiales y componentes apropiados para construir una red industrial eficiente.

### **1.6.3 Investigación experimental**

Una técnica precisa para evaluar la eficacia de una red industrial es la investigación experimental. Este método implica dividir el proceso en partes distintas, cada una de las cuales se enfoca en evaluar y examinar las características de un componente de red específico. Este método segmentado proporciona información detallada y precisa sobre el rendimiento de cada componente, lo que permite comprender completamente la efectividad de la red industrial en su conjunto.

## CAPÍTULO II

### 2. PROPUESTA TECNOLÓGICA

#### 2.1 Marco Contextual.

En el seno de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, la Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones ha implementado una infraestructura educativa que incluye diversos laboratorios especializados para atender las necesidades formativas de las carreras vinculadas a esta facultad. Estos laboratorios, concebidos con el propósito de enriquecer la experiencia académica, desempeñan un papel fundamental al proporcionar un entorno propicio para la realización de prácticas y experimentos.

Dentro de estos espacios de aprendizaje, los estudiantes de la carrera de Electrónica y Automatización tienen la oportunidad de aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en las aulas de manera práctica, lo que contribuye significativamente a su comprensión y habilidades prácticas en el ámbito industrial. Los laboratorios se encuentran equipados con tecnología de vanguardia y recursos especializados que permiten a los estudiantes explorar y enfrentar desafíos del mundo real que se presentan en sus futuras profesiones.

Además, la disponibilidad de estos laboratorios no solo fortalece la formación académica, sino que también fomenta la colaboración entre docentes y estudiantes, promoviendo un ambiente de aprendizaje interactivo. En conjunto, estos recursos proporcionan un sólido respaldo para el desarrollo integral de los estudiantes, preparándolos de manera efectiva para los desafíos y las demandas de la industria de sistemas automatizados y redes industriales.

La presente investigación se centra en la utilización del laboratorio especializado en la carrera de Electrónica y Automatización, con un enfoque específico en las materias de redes industriales, automatización industrial y control de procesos industriales. Estas asignaturas desempeñan un papel crucial en la formación de los estudiantes, proporcionándoles las habilidades y conocimientos necesarios para su inserción efectiva en el campo laboral.

En la materia de redes industriales, la tesis se fundamenta en la premisa de que la implementación del módulo didáctico en esta materia posibilita a los estudiantes el aprendizaje y la aplicación práctica de diseño, implementación y mantenimiento de redes

de comunicación industrial. El acceso a equipos y software especializados se presenta como un elemento clave para que los estudiantes experimenten con diversos tipos de redes industriales y protocolos de comunicación, permitiéndoles consolidar sus conocimientos teóricos en un entorno aplicado.

En la materia de automatización industrial, la investigación se sustenta en la idea de que el módulo didáctico ofrece a los estudiantes una oportunidad invaluable para explorar y aplicar los principios fundamentales de diseño, implementación y mantenimiento de sistemas de automatización industrial. La disponibilidad de equipos y software especializados facilita la experimentación con diferentes configuraciones, permitiendo a los estudiantes trasladar la teoría a la práctica y desarrollar habilidades prácticas esenciales para su futura carrera profesional.

Además, en la materia de control de procesos industriales, la tesis se enfoca en demostrar cómo la implementación del módulo didáctico contribuye al desarrollo de competencias prácticas en el diseño, implementación y mantenimiento de sistemas de control de procesos industriales. La interacción con equipos y software especializados ofrece a los estudiantes la oportunidad de experimentar con diversos enfoques, consolidando así su comprensión teórica y preparándolos para desafíos reales en el campo laboral.

A partir de la investigación y la observación realizada, se logró obtener una breve introducción acerca de los componentes presentes en el laboratorio de automatización. Este espacio se compone de seis módulos, cada uno estructurado en diversas secciones que incluyen la parte de alimentación, un HMI, un PLC, interruptores de encendido y apagado, luces piloto, culminando con la activación de un instrumento de campo, en este caso, un motor trifásico.

Adicionalmente, el laboratorio está equipado con otros módulos diseñados para llevar a cabo la activación de una carga mediante disyuntores, pulsadores y contactores.

La propuesta de instalar un módulo didáctico en el laboratorio de la Carrera de Electrónica y Automatización tiene como objetivo complementar o equipar aún más este espacio. El módulo se ubicará junto con los demás módulos existentes, lo que permitirá a los estudiantes acceder a una amplia gama de equipos y software especializados.

El espacio y entorno donde se instalará el módulo reúne las condiciones necesarias para su implementación. El laboratorio cuenta con la infraestructura adecuada, como

electricidad, ventilación y espacio necesario. Además, el personal del laboratorio está capacitado para brindar apoyo a los estudiantes en el uso del módulo.

## **2.2 Marco conceptual.**

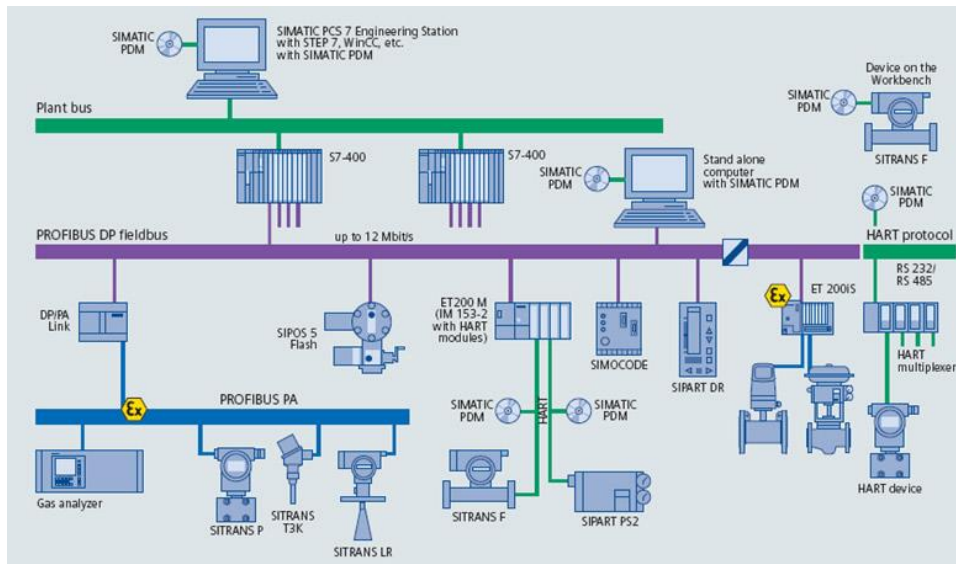
### **2.2.1 Automatización Industrial**

El uso de sistemas o componentes computarizados, electrónicos o electromecánicos para supervisar y controlar los procesos que se realizan en una empresa se conoce como automatización industrial [16]. Estos sistemas pueden controlar máquinas y procesos y recopilar y analizar datos. En la actualidad, la automatización ayuda a las empresas a mejorar su productividad, calidad, seguridad y flexibilidad.

La aparición de los controladores lógicos programables permitió aumentar la productividad y flexibilizar las herramientas y la programación. Sustituyendo a los sistemas de control basados en lógica cableada. Al igual que el surgimiento de las redes de comunicación industrial, permitieron que los dispositivos se conecten entre sí y compartan información. Con ellos también se desarrollaron una variedad de protocolos industriales, tales como EtherNet/IP, PROFINET, Modbus TCP/IP, Modbus RTU, EtherCat, CANopen, que son esenciales para la transferencia de información entre dispositivos en una red de manera eficaz y segura [17].

### **2.2.2 Redes de comunicación industrial**

Las redes de comunicación industrial son sistemas interconectados que facilitan la transferencia y el control de datos en entornos industriales. En la figura 2 se muestra los dispositivos y sistemas de automatización industrial como sensores, actuadores, controladores y sistemas de supervisión pueden comunicarse entre sí gracias a estas redes. Su diseño y protocolos están pensados para el entorno industrial, lo que garantiza la confiabilidad, la velocidad y la seguridad necesarias para el control de procesos y maquinaria. Las redes de este tipo pueden ser cableadas o inalámbricas y suelen utilizar estándares como Ethernet, Modbus, RS-485, PROFIBUS, CC-Link, DeviceNet. La automatización y la supervisión de los procesos productivos mejoran la eficiencia y la toma de decisiones gracias a la implementación exitosa de redes de comunicación industrial [18].



*Figura 2. Redes de comunicación industrial.  
Fuente: [19]*

### 2.2.3 Módulos de comunicación industrial

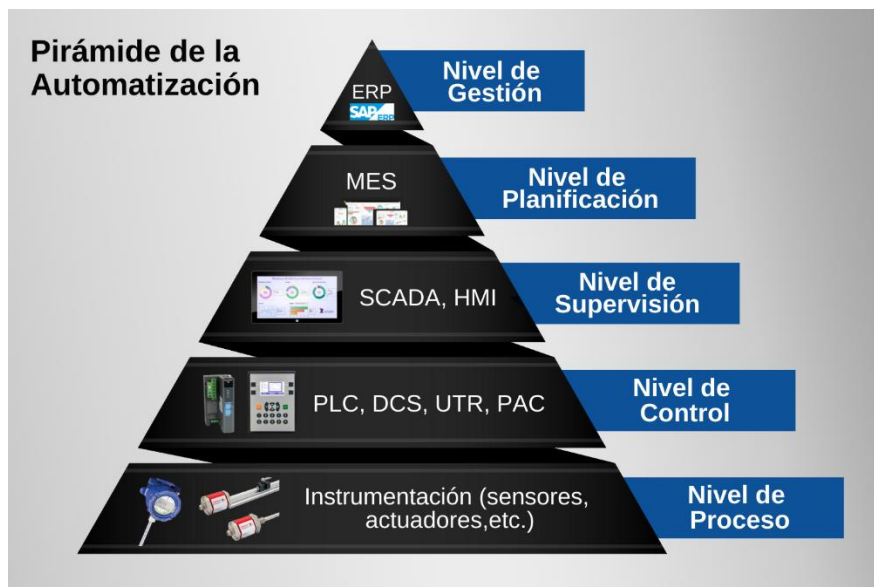
Los módulos de comunicación para los Controladores Lógicos Programables son elementos fundamentales que posibilitan la conexión y la transferencia de información entre diversos dispositivos y sistemas dentro de una red industrial. Estos módulos facilitan la integración de los PLC con otros equipos de automatización, como sensores, actuadores y sistemas de control, utilizando diversos protocolos de comunicación como Ethernet/IP, Modbus, Profibus, Profinet, DeviceNet y CANopen. Al proporcionar una interfaz estándar para la transmisión de información, los módulos de comunicación mejoran la eficiencia y la flexibilidad del sistema de control, permitiendo una monitorización y control centralizados, así como la capacidad de reaccionar rápidamente a cualquier cambio en las condiciones del entorno de producción.

### 2.2.4 Pirámide de automatización

La pirámide de automatización es un modelo que muestra los diversos niveles. En la figura 3 se muestra como cada uno tiene funciones específicas y sistemas que se interconectan para optimizar el control y la eficiencia de los procesos industriales. Estos niveles incluyen:

- **Nivel de proceso:** Este nivel incluye dispositivos como sensores, actuadores y otros que interactúan directamente con las máquinas y materiales físicos utilizados en la producción.

- **Nivel de Control:** Este nivel alberga sistemas de control como controladores lógicos programables (PLC). Reciben datos del nivel de campo, toman decisiones basadas en lógica preprogramada y dan comandos para controlar las máquinas.
- **Nivel de Supervisión:** Todo el proceso de producción está monitoreado y controlado por los sistemas SCADA y HMI. Recopilan datos del nivel de control, brindan a los operadores una observación y proporcionan herramientas para administrar programas de producción, alarmas e informes.
- **Nivel de Planificación:** La planificación y ejecución de las órdenes de producción están centradas en el nivel MES. Para recibir cronogramas de producción, administrar recursos, realizar un seguimiento del trabajo en progreso y optimizar los flujos de trabajo de producción, se integra con sistemas ERP y otras herramientas de planificación.
- **Nivel de Gestión:** En la cima de la pirámide se encuentra el nivel de planificación de recursos empresariales, que abarca todas las actividades de la empresa, como finanzas, contabilidad, recursos humanos y fabricación. Para proporcionar información para la toma de decisiones estratégicas, recibe datos de fuentes adicionales además del nivel MES [20].



*Figura 3. Pirámide de automatización.  
Fuente: [21]*

### 2.2.5 Modelo OSI

El modelo Open Systems Interconnection es un marco conceptual que se utiliza para explicar las funciones de un sistema de red. En la figura 4 se muestra como está dividido en siete capas, cada una de las cuales está a cargo de un aspecto de la comunicación específico. El protocolo de Modbus se sitúa en los niveles 1, 2 y 7 [22].

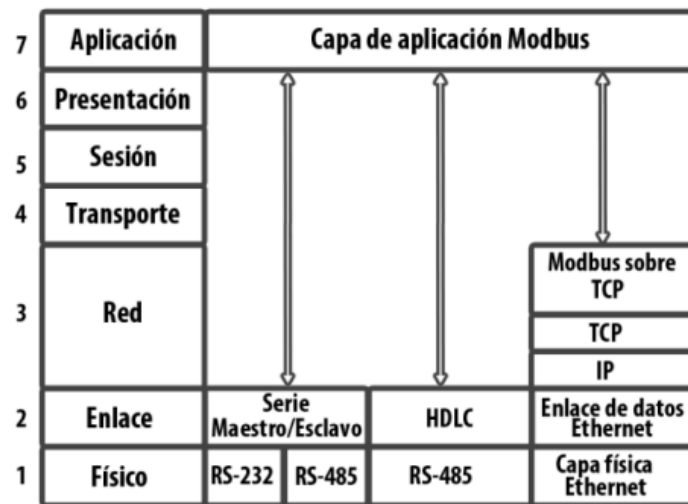


Figura 4. Arquitectura de Modbus según el modelo OSI.

Fuente: [23]

- **Capa física:** El medio físico utilizado para transportar los datos se conoce como capa física. La capa física de Modbus puede usar muchos medios, como Ethernet, RS-232, RS-485, RS-422.
- **Capa de enlace de datos:** La capa de enlace de datos ofrece un mecanismo para controlar el flujo de datos y detectar errores. La capa de enlace de datos de Modbus se implementa mediante el uso del protocolo de detección de errores de bit.
- **Capa de aplicación:** Los mensajes que se utilizan para intercambiar datos entre los dispositivos están definidos por la capa de aplicación. Estos mensajes se utilizan para realizar tareas como leer o escribir información, o controlar dispositivos.

### 2.2.6 Trama de datos Modbus

Modbus es un protocolo de comunicación ampliamente utilizado en sistemas industriales para permitir que dispositivos como PLCs, sensores y actuadores se comuniquen entre sí con datos. La trama de datos Modbus consta de una dirección de dispositivo que identifica

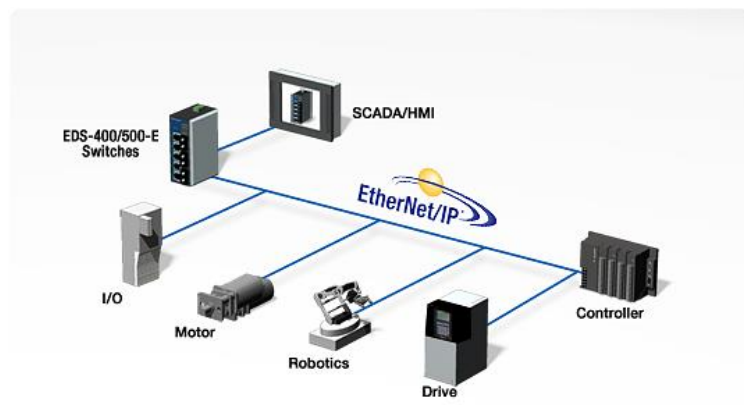
el destinatario, un código de función que especifica la acción a realizar (lectura, escritura, etc.), datos que contienen la información transmitida y un CRC para verificar la integridad de la comunicación. Modbus, que está disponible en formatos RTU y ASCII, garantiza una transferencia de datos eficiente y confiable, lo que facilita el monitoreo y control seguro de procesos industriales.

### 2.2.7 Protocolos de redes de comunicación industrial

Los protocolos de redes de comunicación industrial son estándares y reglas establecidas que permiten la comunicación eficiente y segura entre diferentes dispositivos y sistemas dentro de entornos industriales. Estos protocolos incluyen Modbus, PROFIBUS, Ethernet/IP, entre otros. Cada protocolo puede tener características específicas adaptadas a diferentes aplicaciones industriales asegurando la eficiencia, la seguridad y la confiabilidad para facilitar el control y la automatización en la industria.

#### 2.2.7.1 Ethernet/IP

Es un protocolo de comunicación industrial que conecta dispositivos industriales como PLC, HMI, variadores de frecuencia, sensores y actuadores basado en el estándar Ethernet y TCP/IP. Además, es un protocolo sólido y confiable que puede funcionar en entornos industriales exigentes donde se necesita la comunicación en tiempo real entre dispositivos. En la figura 5 se muestra la interoperabilidad entre una amplia gama de dispositivos industriales.

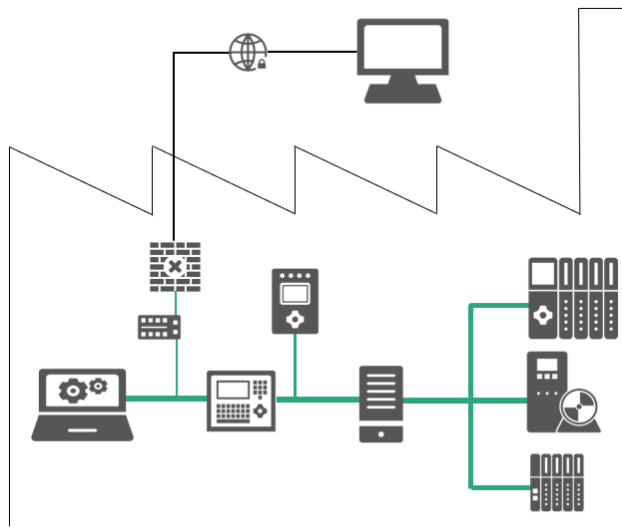


*Figura 5. Protocolo de comunicación Ethernet/IP.  
Fuente: [24]*

#### 2.2.7.2 Profinet

Es un protocolo de comunicación industrial creado por Siemens que permite la automatización y la gestión de los dispositivos que se encuentran en la red industrial.

Profinet, basado en estándares Ethernet, permite la integración de dispositivos de automatización como PLC, sensores y actuadores como se muestra en la figura 6, lo que facilita una comunicación rápida y eficiente. La arquitectura escalable permite aplicaciones que van desde el control de dispositivos sencillo hasta sistemas de alta complejidad, como la sincronización en tiempo real y la transmisión de datos a altas velocidades. La flexibilidad de Profinet se caracteriza por su alta interoperabilidad con otros sistemas y protocolos, así como por la posibilidad de configuración y diagnóstico remotos. Además, incorpora características avanzadas de redundancia y seguridad para garantizar la confiabilidad y la continuidad del sistema.

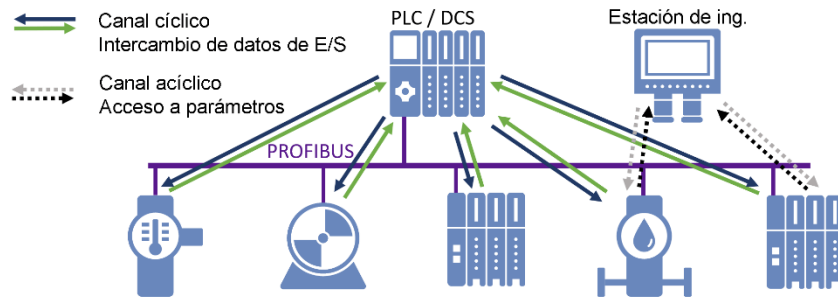


**Figura 6.** Protocolo de comunicación Profinet.

Fuente: [25]

### 2.2.7.3 Profibus

Es un protocolo de comunicación industrial que permite la transmisión de datos entre dispositivos en entornos automatizados en tiempo real. Facilita la conexión efectiva de sensores y actuadores a sistemas de control distribuido, lo que mejora la coordinación y la eficiencia en los procesos industriales. Es conocido por su velocidad, robustez y capacidad para integrar una amplia gama de dispositivos como se observa en la figura 7.



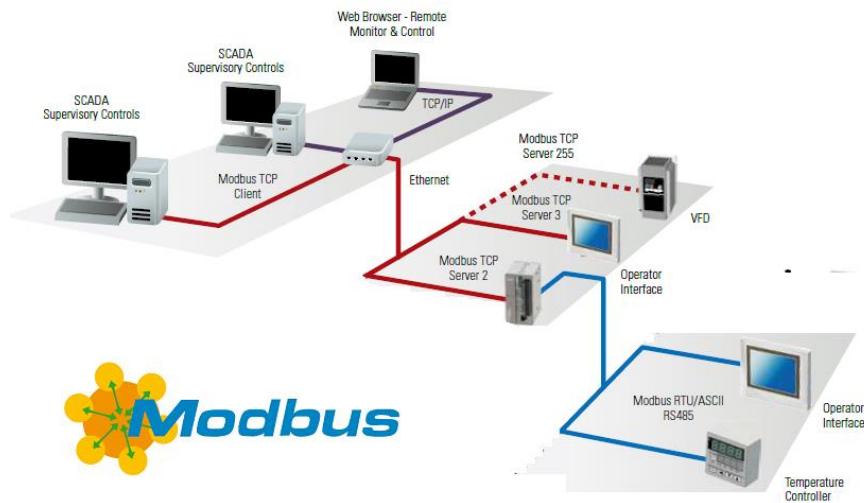
*Figura 7. Protocolo de comunicación Profibus.  
Fuente: [25]*

#### 2.2.7.4 Modbus

Es un protocolo de comunicación ampliamente utilizado para conectar dispositivos electrónicos en una red de automatización industrial, facilitando el control de procesos y el intercambio de información. Existen dos variantes principales de Modbus: Modbus RTU y Modbus TCP/IP.

- **Modbus RTU:** Esta variante se utiliza principalmente en redes de comunicación seriales. Modbus RTU es conocido por su eficiencia y confiabilidad en la transmisión de datos. Utiliza un formato compacto y binario para los mensajes, lo que permite una comunicación rápida y eficiente entre dispositivos.
- **Modbus TCP/IP:** Esta variante se utiliza en redes basadas en Ethernet. Modbus TCP/IP encapsula los mensajes Modbus en paquetes TCP/IP, lo que permite la comunicación a través de redes más modernas y con mayor capacidad de transmisión de datos. Es ideal para aplicaciones donde se requiere una integración con infraestructuras de red existentes y una mayor velocidad de comunicación.

Ambas variantes se emplean en diferentes industrias debido a su eficiencia, confiabilidad y costo. En la figura 8 se muestra cómo opera el protocolo de comunicación Modbus, ilustrando tanto la versión RTU como la TCP/IP.



*Figura 8. Protocolo de comunicación Modbus.  
Fuente: [26]*

### 2.2.8 Conexión física

Para lograr una conexión física que ayude a garantizar una comunicación fiable y sin error entre los dispositivos depende del tipo de protocolo Modbus que se utilice, para esto se tomó en cuenta los protocolos a utilizar como son Modbus RTU Y Modbus TCP/IP.

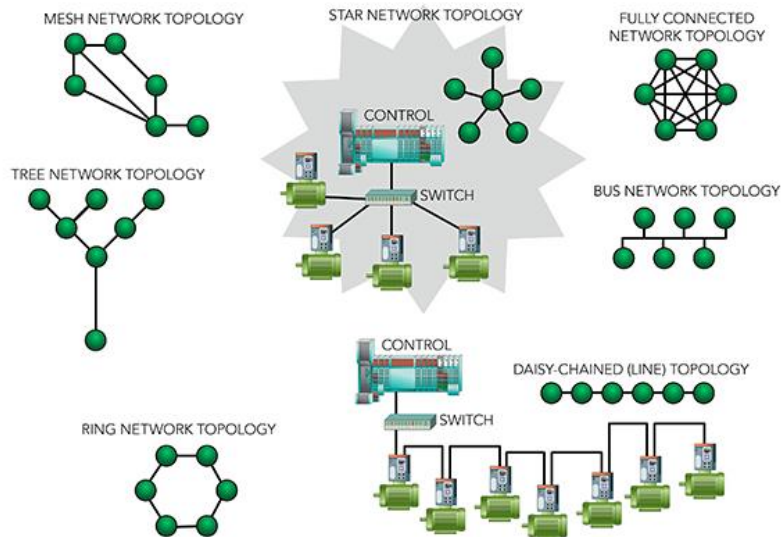
- **Cable RS-485:** Es el cable más común para Modbus RTU. Es un cable de par trenzado con dos conductores. Los conductores están aislados y trenzados entre sí para reducir la interferencia electromagnética. El cable RS-485 puede transportar datos a una distancia de hasta 1200 metros.
- **Cable Ethernet:** El cable Ethernet es el cable más común para Modbus TCP/IP. Es un cable de par trenzado con ocho conductores. Los conductores están aislados y trenzados entre sí para reducir la interferencia electromagnética. El cable Ethernet puede transportar datos a una distancia de hasta 100 metros [27].

### 2.2.9 Topología de redes industriales

La disposición física de los dispositivos en una red industrial se conoce como topología de la red. Las topologías de estrella, bus y anillo son las más comunes. El tamaño de la red, la cantidad de datos a transmitir y la disponibilidad de recursos son factores que determinan la topología correcta [28].

En el uso de las topologías para Modbus RTU se ha optado por el tipo de conexión de bus porque es la más sencilla y accesible al momento de implementar. Todos los dispositivos acoplados están conectados a un único cable. Para Modbus TCP/IP se hace uso de la

topología estrella ya que cada dispositivo está conectado a un nodo central facilitando la instalación y el mantenimiento siendo una buena opción para redes de tamaño medio. En la figura 9 se puede apreciar los tipos de topologías que se usan en la industria.



**Figura 9.** Tipos de topologías de las redes industriales.  
Fuente: [28]

### 2.2.10 Modos de transmisión

Según el tipo de enlace que se vaya a implementar, se detalla a continuación:

- **Símplex:** Los datos pueden transmitirse solo en una dirección en el modo simplex. Este modo funciona bien para aplicaciones en las que solo se necesita enviar datos en una dirección, como enviar señales de control desde un controlador a un dispositivo de campo.
- **Half-duplex:** Los datos se pueden transmitir en una dirección a la vez en el modo Half duplex, pero no en ambas direcciones. Este modo es ideal para aplicaciones que necesitan enviar datos en ambas direcciones, pero no lo hacen al mismo tiempo.
- **Full-duplex:** Los datos se pueden transmitir simultáneamente en ambas direcciones en el modo full duplex. Este modo es el más efectivo porque los dispositivos pueden transmitir y recibir datos al mismo tiempo [29].

### 2.2.11 Organización de datos

Los nodos de una red también se pueden clasificar según cómo manejan la información en relación con otros nodos; estos tipos de clasificaciones incluyen:

- **Maestro – Esclavo:** Uno o más nodos esclavos, también conocidos como estaciones esclavas, están bajo el control de un nodo maestro, también conocido como estación maestra. La acción de iniciar la comunicación y enviar solicitudes a los esclavos recae en el nodo maestro. Los esclavos responden a las solicitudes del maestro y no pueden iniciar la comunicación de forma independiente.
- **Cliente – Servidor:** Un nodo cliente, también conocido como estación cliente, solicita servicios a un nodo servidor, también conocido como estación servidor. El nodo servidor proporciona los servicios solicitados por el nodo cliente [30].

### 2.2.12 Sistemas de medición de redes

Los sistemas de medición de redes se refieren a las herramientas y dispositivos utilizados para evaluar y analizar diversos parámetros y características de una red de comunicaciones. Estos sistemas pueden incluir equipos que monitorean el tráfico de red, el rendimiento, la disponibilidad, la latencia y otros aspectos relevantes para gestionar eficientemente una infraestructura de red. A continuación, se detallan dos utilizados comúnmente.

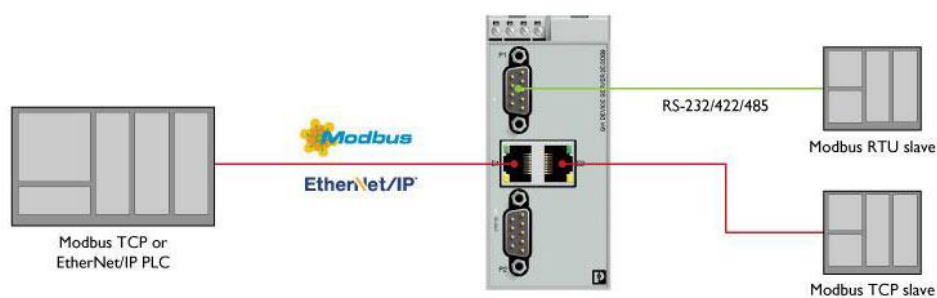
- **Latencia:** Es el tiempo que tarda un paquete de datos en viajar desde un punto de origen hasta su destino de red. La latencia se mide típicamente en milisegundos utilizando herramientas como el comando “ping”, que envía un paquete de datos a un dispositivo mediante la IP y registra el tiempo que tarde en recibir una respuesta.
- **Tráfico de red:** Es el flujo de datos que ocurre entre dispositivos conectados en un red. Este tipo de tráfico es crucial para monitorear y gestionar la transmisión de información entre equipos, permitiendo mostrar tanto el envío como la recepción de datos. Con un software especializado, como monitores de red o analizadores de protocolos. Estos programas permiten facilitar la supervisión en tiempo real de esta comunicación dado el caso para los equipos serie. Permittedo a los usuarios identificar patrones de comunicación, errores de transmisión, y ajustar configuraciones para mejorar la eficiencia y la fiabilidad de la red serie.

### 2.2.13 Interconexión de redes

La implementación de dispositivos auxiliares de interconexión es necesaria para expandir y conectar redes del mismo tipo o diferentes. Estos componentes son cruciales para facilitar la integración y comunicación fluida entre una variedad de sistemas. El uso de

estos dispositivos auxiliares se presenta como una solución para garantizar un desempeño eficiente en ambientes interconectados y optimizar la conectividad, tal como se muestra en la figura 10.

- **Repetidor:** Es un dispositivo que recibe y amplifica una señal de red para que pueda viajar más allá. Es un dispositivo pasivo, es decir, no altera la señal. El repetidor aumenta el alcance de una red.
- **Puente:** Es un dispositivo que conecta dos redes del mismo tipo. Es un dispositivo de capa 2 del modelo OSI, por lo que solo analiza las direcciones MAC de los paquetes. El puente se utiliza para dividir una red grande en redes más pequeñas o para conectar redes que utilizan diferentes tecnologías de capa física.
- **Router:** El router es un dispositivo que conecta dos redes de diferentes tipos. Es un dispositivo de capa 3 del modelo OSI, lo que significa que analiza las direcciones IP de los paquetes. El router se utiliza para enrutar paquetes entre redes diferentes, o para proporcionar seguridad y control de acceso a una red.
- **Gateway:** Es un componente esencial en las redes de comunicación, sirviendo como enlace entre dos redes con características, estructuras, tipos y protocolos diferentes. Sus funciones incluyen el reconocimiento y almacenamiento de mensajes de la red de origen, desensamblaje de mensajes a nivel de transporte, adaptación de formatos de datos para ser compatibles con la red de destino, y el envío eficiente de mensajes a la red y estación destino [31].

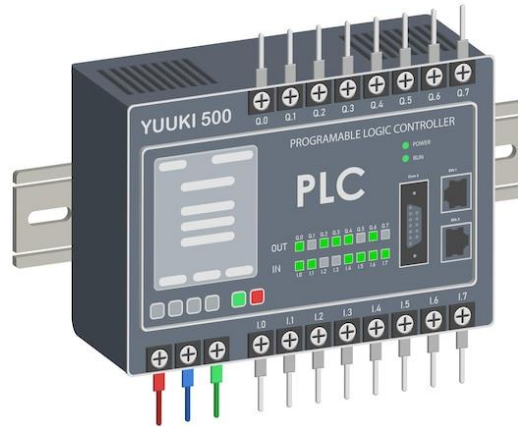


*Figura 10. Puerta de enlace Modbus RTU/TCP/IP(Gateway).  
Fuente: [31]*

#### 2.2.14 Controlador lógico programable

Los procesos industriales se controlan mediante dispositivos electrónicos llamados controladores lógicos programables. Es una computadora digital que se puede programar para realizar una variedad de tareas, como controlar el funcionamiento de las máquinas, supervisar los sensores y activar los dispositivos de salida.

Son un componente crucial de la automatización industrial. Son ideales para una amplia gama de aplicaciones industriales porque son robustos, flexibles y reutilizables [32]. En la figura 11 se detalla el diseño del controlador lógico programable.



*Figura 11. Diseño 3D Controlador lógico programable.  
Fuente: autoría propia*

### 2.2.15 HMI

Una interfaz hombre-máquina, también conocida como HMI. Es un tipo de GUI que permite que las personas interactúen con máquinas, sistemas o dispositivos. Los entornos industriales usan HMI para controlar y monitorear procesos y maquinaria.

El HMI tiene como objetivo principal facilitar la supervisión y control eficientes de sistemas complejos. Proporcionando al usuario información importante del sistema y otros parámetros a mostrar [33]. En la figura 12 se muestra el diseño del mismo siendo controlado por un operador.



*Figura 12. Interfaz humano -máquina de uso industrial.  
Fuente: [34]*

## **2.2.16 Normativas empleadas en el uso de redes industriales y elaboración del módulo industrial para el uso de equipos o dispositivos.**

Para garantizar la seguridad, confiabilidad y eficiencia del sistema, las redes industriales y el módulo didáctico para el uso de equipos o dispositivos industriales deben diseñarse e implementarse de acuerdo con una variedad de estándares y normativas. Las siguientes son algunas normas y consideraciones importantes:

### **2.2.16.1 Normativas para redes industriales**

- **IEC 61499:** Normativa para el diseño y la implementación de sistemas de automatización industrial y de control.
- **IEC 61158:** Esta norma establece los requisitos generales para las redes de comunicación industrial.
- **IEC 61158-2:** Esta norma define los requisitos generales para las interfaces de comunicación de automatización.
- **IEC 61158-3:** Esta norma define los requisitos específicos para las interfaces de comunicación de automatización basada en serie.
- **IEE 802.3:** Esta norma define los estándares para Ethernet, especificando características eléctricas y físicas del cableado, incluyendo cables de cobre y fibra óptica.
- **IEC 61850:** Esta norma establece los requisitos para las redes de comunicación industrial en tiempo real.
- **ISA-95:** Esta norma establece un modelo de referencia para la integración de sistemas de automatización y control.
- **IEC 60870-5-104:** Esta norma define un protocolo de comunicación industrial en tiempo real, que se utiliza para el monitoreo y control de procesos industriales.

### **2.2.16.2 Normativas para el diseño del módulo industrial**

- **IEC 60204-1:** Seguridad de máquinas - Parte 1: Principios generales para el diseño de seguridad de máquinas
- **EN 61496-1:** Equipos eléctricos de baja tensión - Protección contra el contacto eléctrico - Parte 1: Principios generales, métodos de ensayo y requisitos

- **IEC 61000-6-3:** Seguridad eléctrica de los equipos de baja tensión - Parte 6-3: Límites para la emisión de campos electromagnéticos.

### **2.3 Marco Teórico.**

En la siguiente sección, se presentan diversos elementos, como artículos, tesis y trabajos de investigación, que han sido evaluados por los respectivos autores. Estos documentos han sido revisados y contienen información pertinente, ya que abordan temas relacionados con la implementación de módulos didácticos con características similares.

El trabajo de investigación “Diseño e implementación de un módulo didáctico de automatización por redes de comunicación industrial PROFINET, PROFIBUS, MODBUS mediante PLC y periféricos maestro y esclavo”, está enfocado en diseñar y poner en práctica un módulo de automatización a través de redes de comunicación industrial. El objetivo es proporcionar una capacitación didáctica a los alumnos de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica en la Universidad Católica de Santa María. El enfoque se centra en las redes industriales PROFINET, PROFIBUS DP y Modbus TCP, así como en la implementación de un HMI SCADA y tecnologías para monitoreo en línea y teleservicio a través de VPN [35].

El trabajo de titulación “Desarrollo e implementación de redes industriales utilizando el protocolo MODBUS para la transferencia de datos de control de un VFD entre dos PLCs”, aborda el desarrollo, programación e implementación de redes industriales utilizando el protocolo MODBUS, con un enfoque específico en las versiones TCP y RTU, utilizando tanto Ethernet como comunicación RS-485. El propósito es facilitar la intercomunicación entre dispositivos de control y la operación de actuadores. Este trabajo busca no solo ser una exposición de hechos, sino también compartir diferentes configuraciones del protocolo para la transferencia eficiente y gratuita de datos de control, destacando su amplio uso en el sector industrial [36].

El mismo año, en la Universidad Politécnica Salesiana, Luis Tandazo y Jennifer Sumba realizaron su trabajo de titulación, “Automatización e integración de una máquina trituradora de plástico a una red de comunicación industrial”, se dedica a la adquisición de información de una máquina trituradora con el fin de llevar a cabo un monitoreo avanzado mediante los protocolos de comunicación PROFINET y Modbus. Además, aborda aspectos como la configuración de las redes mencionadas, la programación de PLC, la creación de una interfaz HMI, y la evaluación de eficiencia y seguridad [37].

En el año 2020, en la Universidad Tecnológica Israel, Flavio Morales y Renato Toasa mediante su tema de investigación, “Sistema de control y monitoreo bajo los protocolos Ethernet y Modbus RTU en el control de sistemas de cintas transportadoras para línea embotelladora de bebidas”, la cual consistía en remodelar la estructura del panel de control y potencia de los equipos actuales, así como los previstos para la expansión futura de la línea de producción. Se llevará a cabo una actualización de los equipos mediante el uso de redes industriales para mejorar la eficiencia en la comunicación entre ellos. Esto se logrará mediante la implementación de Ethernet para la interfaz entre el HMI y el PLC, y Modbus RS-485 para supervisar los actuadores y variadores de frecuencia [38].

## CAPÍTULO III

### 3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

#### 3.1 Componentes de la propuesta

En el apartado a continuación se procede a detallar los componentes seccionados por físicos y lógicos que se plantean implementar en la propuesta para poder darle forma, desarrollarla y pulirla, partiendo desde las etapas iniciales hasta las últimas instancias de desarrollo. En el caso de cada componente físico se añaden las características o especificaciones técnicas más relevantes, de modo que así se pueda contar con un mayor detalle y perspectiva de estos.

##### 3.1.1 Componentes físicos

En esta subdivisión se recopilan de forma generalizada todos los elementos físicos de mayor impacto que se han adquirido de antemano para implementarlos en el desarrollo de la propuesta y contribuir a complementar la misma.

###### 3.1.1.1 Conjunto de elementos de alimentación y protección eléctrica

Un conjunto de elementos de alimentación y protección eléctrica comprende dispositivos como transformadores, interruptores, disyuntores, fusibles y cables de alimentación. Estos componentes garantizan la distribución adecuada de energía y protegen contra sobrecargas, cortocircuitos y fallos eléctricos, asegurando la seguridad y el rendimiento eficiente del sistema eléctrico.

###### **Fuente de alimentación DELTA SLIM DRL-24V75W1AZ**

Es un dispositivo que transmite energía eléctrica a un sistema o dispositivo eléctrico o electrónico. Pueden ser internas (dentro del dispositivo) o externas. Su tipo de entrada (AC o DC), voltaje de salida, corriente máxima y características de regulación son aspectos que las clasifican como elementos fundamentales en sistemas de alto rendimiento. En la Figura 13 se presenta el aspecto físico del componente mientras que en la Tabla 1 se hallan recopiladas las características técnicas más importantes del mismo.



**Figura 13.** Fuente de alimentación DELTA SLIM DRL-24V75W1AZ.

Fuente:[39]

**Tabla 1.** Tabla de características técnicas relativas a la fuente de alimentación DELTA DRL-24V75W1AZ.

<b>Características técnicas</b>	
Rango de voltaje de entrada	85 - 264 VAC (1 fase) / 320 - 600 VAC (3 fases)
Frecuencia de entrada	47 - 63 Hz
Corriente de entrada	3.2 A máx. (230 VAC)
Potencia de entrada	150 W máx. (230 VAC)
Voltaje de salida	24 VDC nominal
Rango de ajuste de voltaje	22.8 - 25.2 VDC
Corriente de salida	3.1 A máx.
Potencia de salida	75 W máx.
Regulación de carga	±0.5%
Regulación de línea	±0.5%
Factor de rizado y ruido	50 mVp-p máx. (20 Hz - 20 MHz)
Eficiencia	Hasta 90%
Temperatura de funcionamiento	-20°C a +70°C
Temperatura de almacenamiento	-40°C a +85°C
Humedad relativa	0% a 95% (sin condensación)
Protección	Sobrecorriente, sobrevoltaje, protección térmica
Certificaciones	UL508, EN 60950, cULus 60950, EN 50178, EN 60204, GS, CCS Aus
Dimensiones	102 x 51 x 23 mm
Peso	240 g

Fuente:[39]

### Transformador de corriente CAMSCO CFS-33

Los transformadores de corriente o TCs son dispositivos que transforman la corriente de un circuito en otra corriente de igual frecuencia, pero de distinta magnitud. Se utilizan principalmente para realizar una medición de corriente eléctrica y proteger equipos. Se clasifican según su relación de transformación, capacidad de corriente y clase de precisión. En la Figura 14 se presenta el aspecto físico del componente mientras que en la Tabla 2 se hallan recopiladas las características técnicas más importantes del mismo.



*Figura 14. Transformador de corriente CAMSCO CFS-33 30/5A.*

Fuente:[40]

*Tabla 2. Tabla de características técnicas del transformador de corriente CFS-33 de 30/5A.*

Características técnicas	
Marca	CAMSCO
Modelo	CFS-33
Tipo	Transformador de corriente
Clase de precisión	0.1
Relación de transformación	30/5 A
Frecuencia nominal	50/60 Hz
Tensión primaria nominal	500V
Tensión secundaria nominal	5V
Corriente primaria nominal	30 A
Corriente secundaria nominal	5 A
Carga máxima	2.5 VA
Clase de aislamiento	E
Grado de protección	IP20

Dimensiones	33 x 33 x 75 mm
Peso	0.5 kg
Material del núcleo	Chapas de acero al silicio
Material del bobinado	Cobre
Accesorios	Terminales de conexión

Fuente:[40]

### Interruptores automáticos CHINT NXB-63H y Schneider Electric

Los breakers, disyuntores o interruptores automáticos son dispositivos electromecánicos que protegen un circuito eléctrico de cortocircuitos y sobrecargas, interrumpiendo el flujo de energía al instante de presentarse cualquiera de estas eventualidades. Estos se clasifican según su capacidad de interrupción, corriente nominal y tipo de aplicación. En la Figura 15 se presenta el aspecto físico del componente mientras que en la Tabla 3 se hallan recopiladas las características técnicas más importantes del mismo.



**Figura 15.** Interruptor automático bipolar CHINT NXB-63H y Schneider Electric Easy9.

Fuente:[41]

**Tabla 3.** Tabla de características técnicas del interruptor automático CHINT NXB-63H y Schneider Electric Easy9.

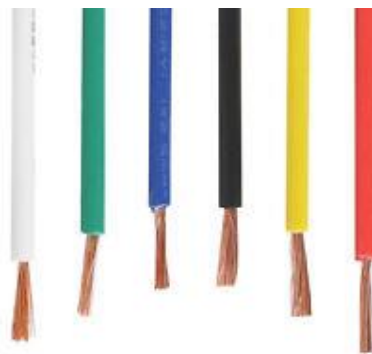
Características técnicas		
	CHINT	Schneider Electric
Tensión nominal	220 V~/230 V~/240 V ~ (1P), 380 V~/400 V~/415 V ~ (2 ~ 4P)	230V AC / 400V AC
Frecuencia	50 Hz	50 Hz
Tipo de disparo electromagnético	C	C
Número de polos	2P	2P
Vida eléctrica	4000 ciclos	10.000 ciclos

Tensión nominal soportada al impulso (Uimp)	4 kV	4 kV
Consumo eléctrico en cada uno de los polos del interruptor	0,04 W/polo	0,08 W/polo
Curva de disparo	C	C
Temperatura ambiente de funcionamiento	-25 °C a +60 °C	-25 °C a +40 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40 °C a +70 °C	-40 °C a +70 °C

Fuente: [42]

### Conductores AWG

Los cables eléctricos que se utilizan comúnmente para una variedad de aplicaciones que requieren de alimentación eléctrica son los conductores AWG (American Wire Gauge) calibre 12, 14, 16 y 18. Estos cables pueden transportar corriente eléctrica y se pueden usar para alimentar una variedad de dispositivos y equipos eléctricos. Por lo tanto, se pueden considerar elementos de alimentación eléctrica. En la Figura 16 se presenta el aspecto físico del componente mientras que en la Tabla 4 se hallan recopiladas las características técnicas más importantes del mismo.



**Figura 16.** Conductores AWG de variados calibres

Fuente:[42]

**Tabla 4.** Tabla de características de los conductores AWG de diversos calibres.

Características técnicas	AWG 12	AWG 14	AWG 16	AWG 18
Diámetro del conductor (mm)	2.05	1.63	1.29	1.02
Sección transversal del conductor (mm <sup>2</sup> )	3.31	2.08	1.29	0.81
Amperaje máximo (permitido)	20	15	13	10
Intensidad máxima soportable (cortocircuito)	100	75	65	50

Resistencia eléctrica ( $\Omega/\text{km}$ )	1.61	2.52	4.02	6.5
Peso por metro (kg/m)	1.59	1	0.63	0.4
Diámetro exterior del aislamiento (PVC)	5.18	4.11	3.28	2.77
Radio de curvatura mínimo (mm)	12.9	10.3	8.2	6.9
Voltaje máximo de operación (V)	600	600	600	600
Temperatura máxima de operación ( $^{\circ}\text{C}$ )	75	75	75	75

Fuente:[42]

### 3.1.1.2 Conjunto de equipos de control y automatización

Un conjunto de equipos de control y automatización incluye PLC para la lógica de control y variador de frecuencia para la regulación de velocidad en sistemas industriales, optimizando la eficiencia y precisión operativa.

#### Controlador lógico programable S7-1200 1214C

El autómata programable en cuestión es un controlador lógico programable (PLC), el cual forma parte de la serie S7-1200, la cual a su vez es una gama de PLCs para aplicaciones de automatización industrial de pequeño a mediano alcance. El número de referencia de este modelo de PLC es "6ES7214-1BG40-0XB0". La "CPU 1214C" indica que es una unidad de procesamiento central que incorpora capacidades de entrada y salida integradas.

El PLC S7-1200 1214C es capaz de controlar entradas y salidas tanto analógicas como digitales. La especificación "AC/DC/Relay" hace referencia a que este equipo puede operar con señales de corriente alterna (AC), corriente continua (DC) y que también cuenta con salidas tipo relé, lo que proporciona flexibilidad para una amplia variedad de aplicaciones industriales.

En la Figura 17 se presenta el aspecto físico del componente mientras que en la Tabla 5 se hallan recopiladas las características técnicas más importantes del mismo.



**Figura 17.** PLC S7-1200 1214C AC/DC/Relay.

Fuente: [43]

**Tabla 5.** Tabla de características técnicas del PLC S7-1200 1214C AC/DC/Relay.

<b>Características técnicas</b>	
Nombre del producto	CPU 1214C AC/DC/Relay
Código de producto	6ES7214-1BG40-0XB0
Tipo de CPU	Compacta
Alimentación	AC/DC
Entradas digitales	14 x 24 V DC
Salidas digitales	10 x relé (2 A)
Entradas analógicas	2 x 0-10 V 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	Temporizadores, contadores, PWM, comunicación serie, etc.
Tiempo de ejecución	0,08 $\mu$ s para operaciones de bits, 1,7 $\mu$ s para operaciones de palabras, 2,3 $\mu$ s para aritmética de coma flotante
Temperatura de funcionamiento	-20 a +60 °C
Grado de protección	IP20

Montaje	Riel DIN
---------	----------

Fuente: [43]

### Variador de frecuencia vectorial SINEE EM730-0R7-2B

El Variador de Frecuencia Vectorial SINEE EM730-0R7-2B es un equipo electrónico que se utiliza en sistemas de control de motores eléctricos para ajustar la velocidad y el torque del motor cambiando la frecuencia y la amplitud del voltaje que se le suministra.

El uso de técnicas de control vectorial para controlar independientemente la velocidad y el torque del motor se conoce como "frecuencia vectorial". Esto permite un control de velocidad más preciso y eficiente del motor en comparación con las técnicas convencionales.

En la Figura 18 se presenta el aspecto físico del componente mientras que en la Tabla 6 se hallan recopiladas las características técnicas más importantes del mismo.



**Figura 18.** Variador de frecuencia vectorial SINEE EM730-0R7-2B.

Fuente: [44]

**Tabla 6.** Tabla de características técnicas del Variador de frecuencia vectorial SINEE EM730-0R7-2B.

Características técnicas	
Potencia	1 HP
Tensión de entrada	220 V AC
Corriente de entrada	4,8 A
Frecuencia de entrada	48-63 Hz
Tensión de salida	220 V AC
Corriente de salida	4,8 A
Frecuencia de salida	0,5-100 Hz

Tipo de control	Vectorial
Método de enfriamiento	Ventilador
Grado de protección	IP20
Dimensiones	220 x 140 x 85 mm
Peso	3,5 kg
Funciones adicionales	* Rampa de aceleración/deceleración * Frenado por inyección de CC * Control de par * Posicionamiento * Comunicación RS485

Fuente: Manual de usuario físico del fabricante SINEE.

### 3.1.1.3 Conjunto de elementos para monitoreo y observación de información

Un conjunto de elementos para monitoreo y observación de información incluye principalmente interfaces HMI, que permiten la interacción y muestra de datos en sistemas industriales, facilitando el control y la supervisión de procesos en tiempo real.

#### **Pantalla HMI DELTA DOP-103WQ**

El dispositivo de interfaz humano-máquina (HMI) DELTA DOP-103WQ tiene un panel de 4,3 pulgadas con un amplio espectro de colores que permite una representación visual rica y detallada de la información que se busque presentar.

Este dispositivo HMI tiene conectividad Ethernet y puertos RS232, RS422 y RS485, lo que le permite comunicarse con otros dispositivos y sistemas en una red industrial. Esto le permite ser operada o manipulada como una interfaz de usuario (UI) en entornos industriales y de automatización, donde puede controlar y monitorear equipos y procesos.

En la Figura 19 se presenta el aspecto físico del componente mientras que en la Tabla 7 se hallan recopiladas las características técnicas más importantes del mismo.



**Figura 19.** Pantalla HMI DELTA DOP-103WQ.

Fuente: [45]

**Tabla 7.** Tabla de características técnicas de la pantalla HMI DELTA DOP-103WQ.

<b>Características técnicas</b>	
Pantalla	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamaño: 4.3"</li> <li>- Resolución: 480 x 272</li> <li>- Colores: 65.536 (16 bit)</li> <li>- Tipo: TFT</li> <li>- Pantalla táctil: Resistiva</li> </ul>
Procesador	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cortex-A8</li> <li>- Frecuencia: 800 MHz</li> </ul>
Memoria	<ul style="list-style-type: none"> <li>- RAM: 512 MB</li> <li>- ROM: 256 MB</li> </ul>
Conectividad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ethernet 10/100 Mbps</li> <li>- RS-232</li> </ul>
Entradas/Salidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 puerto COM</li> <li>- 1 puerto COM de extensión</li> <li>- 1 puerto USB Host</li> </ul>
Software	Delta DOPSoft V2.0
Funciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarmas</li> <li>- Gráficos de tendencias</li> <li>- Registro de datos</li> <li>- Control de PID</li> <li>- Comunicación con PLC's</li> </ul>
Montaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Panel</li> <li>- VESA 75 mm</li> </ul>
Alimentación	24 VDC
Consumo de energía	Máximo: 15 W

Temperatura de operación	0 °C a 50 °C
Humedad de operación	20% a 85% HR (sin condensación)
Protección	IP65 (frontal)
Dimensiones	128 x 80 x 23 mm
Peso	0.4 kg
Certificaciones	CE, FCC, UL

Fuente:[45]

### **3.1.1.4 Conjunto de elementos para implementar protocolos de comunicación en la red industrial**

Un conjunto de elementos para implementar protocolos de comunicación en la red industrial incluye un switch TP-LINK para la gestión de redes Ethernet y un conversor Delta IFD9506 para la interoperabilidad entre diferentes interfaces de comunicación, asegurando una conectividad eficiente y confiable en entornos industriales.

#### **Switch TP-LINK TL-SF1008D**

Es switch de red no gestionable de sobremesa con 8 puertos Ethernet 10/100 Mbps, ideal para expandir su red con una solución económica y eficiente. Este dispositivo, con un diseño compacto y elegante, facilita la instalación y el uso sin requerir configuraciones complejas, gracias a su tecnología plug-and-play. Además, cuenta con la función de auto MDI/MDIX, eliminando la necesidad de cables cruzados. Cada puerto del switch es capaz de detectar automáticamente la velocidad de conexión y el tipo de dispositivo conectado, optimizando la transferencia de datos. Su estructura interna de conmutación sin bloqueo permite una transferencia de datos máxima al proporcionar el máximo rendimiento posible.

En la Figura 20 se presenta el aspecto físico del componente mientras que en la Tabla 8 se hallan recopiladas las características técnicas más importantes del mismo.



**Figura 20.** Switch TL-SF1008D.

Fuente: [46]

**Tabla 8.** Tabla de características técnicas del Switch TL-SF1008D.

<b>Características técnicas</b>	
Puertos	8 RJ45 a 10/100 Mbps
Velocidad	10/100 Mbps a semidúplex, 20/200 Mbps a dúplex completo
Rendimiento	1,6 Gbps sin bloqueo
Funciones	Control de flujo, autoaprendizaje MAC, indicadores LED, ahorro de energía
Interfaz	8 RJ45 a 10/100 Mbps
Dimensiones	134.5 x 79 x 22.5 mm
Peso	200 g
alimentación	Externa, 5 V CC, 0.6 A
Consumo de energía	Máximo: 2.05 W, Sin actividad: 0.75 W
Condiciones ambientales	Temperatura de funcionamiento: 0°C a 40°C (32°F a 104°F), Temperatura de almacenamiento: -40°C a 70°C (-40°F a 158°F), Humedad de funcionamiento: 10% a 90% sin condensación, Humedad de almacenamiento: 5% a 90% sin condensación
Certificaciones	FCC, CE, RoHS

Fuente: [46]

### **Convertor Delta IFD9506 de Modbus RS-485 a Modbus TCP/IP**

El dispositivo Delta IFD9506 puede convertir señales de comunicación Modbus RS485 a Modbus TCP/IP. Básicamente, este componente permite que los dispositivos que emplean el protocolo Modbus se comuniquen a través de una red cableada (RS485) y los dispositivos que se comunican a través de una red TCP/IP, como Ethernet.

En aplicaciones industriales en donde se necesita integrar dispositivos que utilizan diferentes tipos de comunicación, la conversión de Modbus RS485 a Modbus TCP/IP es especialmente útil. Por ejemplo, puede conectar dispositivos antiguos

que se comunican a través de RS485 a una red TCP/IP actual, lo que permite monitorear y controlar remotamente tales dispositivos a través de una red Ethernet convencional.

En la Figura 21 se presenta el aspecto físico del componente mientras que en la Tabla 9 se hallan recopiladas las características técnicas más importantes del mismo.



**Figura 21.** Conversor Delta IFD9506.

Fuente: [47]

**Tabla 9.** Tabla de características técnicas del conversor DELTA IFD9506.

<b>Características técnicas</b>	
Función principal	Convertir datos Modbus RS485 a Modbus TCP/IP y viceversa.
Interfaces de red	1 puerto Ethernet 10/100 Mbps
Interfaces de campo	1 puerto RS485
Modos de operación	Cliente Modbus, Servidor Modbus
Alimentación	24 VDC
Consumo de energía	3 W
Temperatura de funcionamiento	-25 a 70 °C
Humedad de funcionamiento	10 a 90% RH (sin condensación)
Protección	IP30
Dimensiones	95 x 65 x 25 mm
Peso	200 g
Certificaciones	CE, FCC

Fuente: [47]

### 3.1.1.5 Conjunto de sensores

Un conjunto de sensores incluye el sensor Schneider Electric PM5100, diseñados para la monitorización precisa de parámetros eléctricos como voltaje, corriente, y energía en aplicaciones industriales, asegurando un control efectivo y eficiente de la energía eléctrica.

#### **Medidor de parámetros eléctricos Schneider Electric PM5100**

El medidor de parámetros eléctricos PM5110 es un dispositivo que censa y monitorea una variedad de parámetros eléctricos en sistemas de distribución de energía eléctrica. Estos medidores están diseñados para medir parámetros como voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia y frecuencia con precisión y confiabilidad.

La familia de medidores PowerLogic incluye el PM5100, que se utiliza en aplicaciones industriales, comerciales y residenciales para monitorear el consumo de energía, mejorar la eficiencia energética y realizar diagnósticos sobre el estado de la red eléctrica.

Estos medidores suelen tener capacidades de comunicación para enviar datos a sistemas de gestión de energía o sistemas de monitoreo remoto. Esto permite a los usuarios supervisar y controlar el consumo de energía en tiempo real y tomar decisiones de gestión de energía informadas.

En la Figura 22 se presenta el aspecto físico del componente mientras que en la Tabla 10 se hallan recopiladas las características técnicas más importantes del mismo.



*Figura 22. Tabla de características técnicas del convertidor DELTA IFD9506.*

Fuente:[48]

**Tabla 10.** Tabla de características técnicas del medidor de parámetros eléctricos PM5110.

<b>Características técnicas</b>	
Precisión	Clase 0.5S según IEC 62053-22
Muestreo	64 muestras por ciclo
Parámetros medidos	Energía, potencia activa y reactiva, tensión, corriente, frecuencia, factor de potencia, armónicos hasta el orden 15
Red eléctrica	50Hz o 60Hz
Tensión de alimentación	1 a 415 VCA y de 125 a 250 VCC
Corriente nominal de línea	1A o 5A
Configuraciones de fase	Monofásica y neutra, trifásica o trifásica y neutra
Rango de medición de tensión entre fases	35 a 690 VCA a 47 a 63 Hz
Rango de medición entre fase y neutro	20 a 400VCA a 47 a 63 Hz
Comunicación	RS485
Alarmas	33 alarmas configurables
Pantalla	LCD retroiluminada de 96 mm por 96 mm
Dimensiones	96 mm x 72 mm x 96 mm
Peso	380 g
Material	Sin mercurio superior al 0.1%
Cumplimiento de directivas	RoHS de la UE

Fuente:[48]

### **3.1.1.6 Conjunto de actuadores**

Un conjunto de actuadores que incluye un motor trifásico esencial para sistemas industriales.

#### **Motor eléctrico trifásico**

Un motor eléctrico trifásico es un componente que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. En este tipo de motores, hay tres bobinas conectadas a las tres líneas de alimentación, lo cual da pie a que se creen campos magnéticos rotativos en el arrollamiento de bobinas. Estos campos magnéticos interactúan con

el rotor, que suele ser de estructura jaula de ardilla o de bobina enrollada, lo que permite que el rotor gire.

En la Figura 23 se presenta el aspecto físico del componente mientras que en la Tabla 11 se hallan recopiladas las características técnicas más importantes del mismo.



**Figura 23.** Motor eléctrico trifásico Siemens.

Fuente: [49]

**Tabla 11.** Tabla de características técnicas del motor eléctrico trifásico.

<b>Características técnicas</b>	
Fases	3
Voltaje de alimentación	220 V
Corriente	3.3 A
Potencia	1 HP
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	1720 RPM
Factor de potencia	0.77

Fuente: Placa de datos técnicos adherida a motor.

### 3.1.2 Componentes lógicos

En el presente apartado se proceden a listar y desglosar los programas o softwares que se han tomado en consideración para poder diseñar e implementar oportunamente la propuesta.

#### 3.1.2.1 CADESImu

El software gratuito CADESImu permite simular circuitos eléctricos, neumáticos y sistemas de control programables lógicos (PLC). Es una herramienta educativa útil para estudiantes y profesionales interesados en este campo. Para estructurar

esquemas eléctricos, neumáticos y PLC, el programa ofrece una amplia biblioteca de símbolos. Los símbolos están organizados en categorías, lo que facilita su búsqueda [50].

### **3.1.2.2 Autodesk Fusion 360**

Autodesk Fusion 360 es un software basado en la nube para diseño asistido por computadora (CAD), manufactura asistida por computadora (CAM) y diseño de circuitos impresos (PCB). Se trata de una plataforma completa que conecta todo el proceso de desarrollo de productos, desde el concepto inicial hasta la fabricación o manufactura final.

Entre otras cosas, Autodesk Fusion 360 otorga la posibilidad de crear modelos 3D precisos y detallados de los conceptos a realizar utilizando una variedad de herramientas y técnicas de modelado que va desde lo básico hasta lo más avanzado [51].

### **3.1.2.3 DCISoft**

DCISoft es un software de configuración de Ethernet diseñado para simplificar la gestión de redes industriales. Proporciona una interfaz intuitiva para configurar dispositivos Ethernet, permitiendo a los usuarios ajustar parámetros, monitorizar el rendimiento y diagnosticar problemas de red con facilidad. Compatible con una amplia gama de equipos y estándares de comunicación, DCISoft facilita la implementación de configuraciones complejas y garantiza una integración fluida entre diferentes componentes de la red [52].

### **3.1.2.4 DOPSoft**

DOPSoft es una herramienta de software creada por Delta Electronics para la configuración y programación de pantallas táctiles HMI. Este software permite a los usuarios diseñar y personalizar interfaces de usuario para sistemas de automatización industrial, facilitando la interacción entre operarios y maquinaria. DOPSoft ofrece una variedad de funciones gráficas y de control, incluyendo la capacidad de crear gráficos, alarmas y animaciones, proporcionando una plataforma robusta para la gestión visual de procesos industriales [52].

### **3.1.2.5 Modbus Poll**

Modbus Poll es un software de prueba y diagnóstico diseñado para simular un maestro Modbus en una red Modbus. Este programa permite a los ingenieros y técnicos leer y escribir datos en dispositivos esclavos Modbus, facilitando la verificación y resolución de problemas de comunicación. Compatible con Modbus RTU, ASCII y TCP/IP, Modbus Poll ofrece una interfaz intuitiva para configurar, enviar y recibir mensajes Modbus. Permite mostrar y analizar datos en tiempo real, realizar pruebas de rendimiento y diagnosticar errores. Su capacidad para personalizar parámetros y simular diferentes escenarios lo convierte en una herramienta esencial para la optimización de sistemas de control industrial [53].

### **3.1.2.6 Modbus Slave**

Modbus Slave es un software diseñado para simular dispositivos esclavos en una red Modbus, permitiendo a los ingenieros probar y diagnosticar sistemas de comunicación sin necesidad de dispositivos físicos. Compatible con Modbus RTU, ASCII y TCP/IP, ofrece una interfaz intuitiva para configurar y monitorear dispositivos simulados. Este software es vital para realizar pruebas de comunicación, análisis de errores y diagnóstico en tiempo real. Además, permite personalizar los datos y comportamientos de los dispositivos esclavos, asegurando que las pruebas sean representativas de escenarios reales, mejorando la confiabilidad y eficacia de los sistemas de control industrial [53].

### **3.1.2.7 TIA Portal V16**

TIA Portal V16 (Totally Integrated Automation Portal) es un entorno de ingeniería desarrollado por Siemens para la automatización industrial. Este software integra todas las herramientas necesarias para la programación, configuración y monitoreo de sistemas de automatización, incluyendo PLC, HMI, redes industriales y sistemas de seguridad. TIA Portal V16 ofrece mejoras en la eficiencia de desarrollo, diagnósticos avanzados y capacidades de simulación, proporcionando una plataforma unificada para la gestión completa de proyectos de automatización [54].

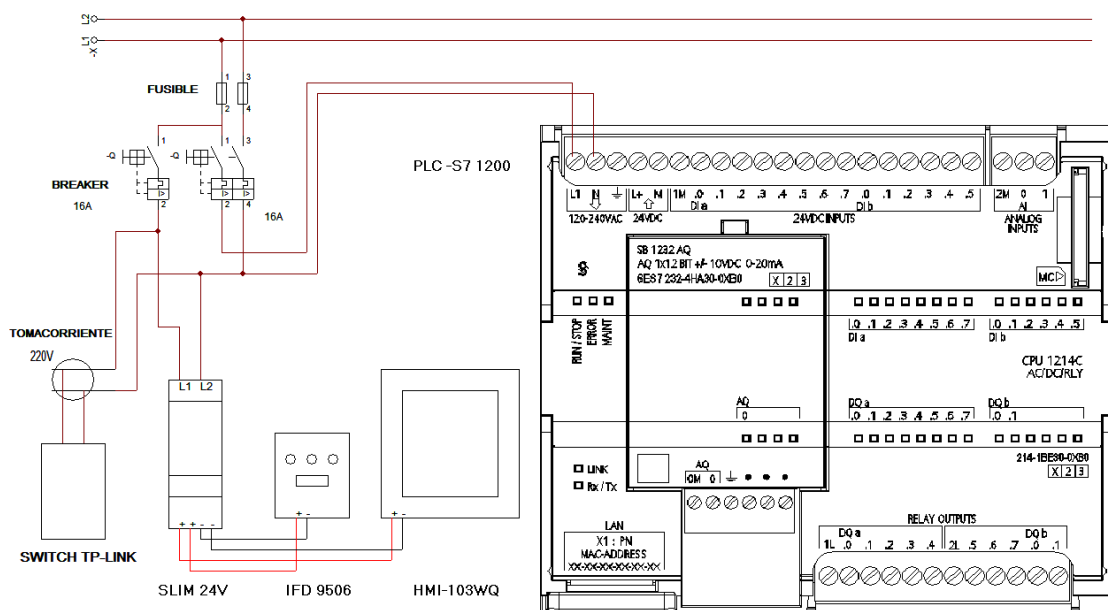
### **3.1.2.8 Wireshark**

Wireshark es una herramienta de análisis de protocolos de red que permite capturar y examinar el tráfico de red en tiempo real. Es compatible con múltiples plataformas y soporta cientos de protocolos de red. Sus características incluyen la capacidad de filtrar y desglosar datos capturados, facilitando la identificación de problemas y el análisis detallado del tráfico. Wireshark es especialmente útil en la resolución de problemas de red, el desarrollo de software y la investigación de seguridad. También se utiliza en entornos industriales para monitorear protocolos específicos como Modbus TCP/IP, ayudando a asegurar y analizar redes y sistemas de comunicación [55].

### 3.2 Diseño de la propuesta

#### 3.2.1 Diagrama de conexión eléctrica en la red Modbus TCP/IP elaborado en CADESIMU

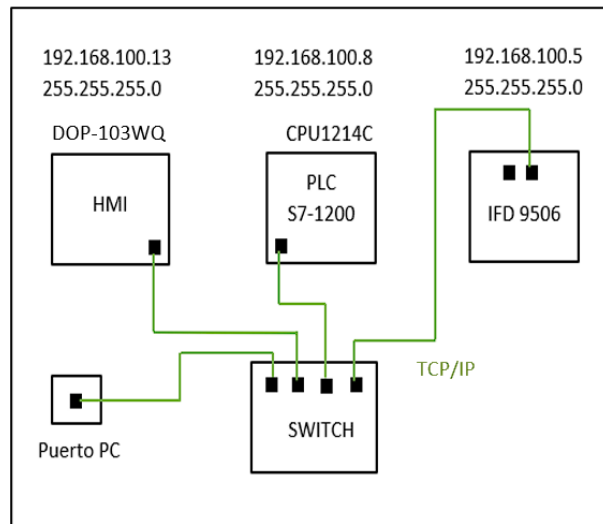
En la figura 24 adjunta representa el diagrama de conexión eléctrica de 220V que contiene los componentes de la red Modbus TCP/IP. Se cuenta principalmente con una línea de alimentación y la línea de neutro, un breaker o disyuntor para habilitar o deshabilitar la alimentación y los componentes que alimenta la red como es el caso de un PLC S7-1200 y a la fuente de alimentación SLIM de 24v que energiza al convertidor IFD9506 y al HMI-103WQ. Se incorporo adicionalmente un tomacorriente el cual va energizar independientemente al SWITCH TP-LINK donde va estar conectado toda la red Modbus TCP/IP.



*Figura 24. Diagrama de conexión eléctrica de equipos Modbus TCP/IP.  
Fuente: Autoría propia.*

### 3.2.2 Topología de la red de datos Modbus TCP/IP

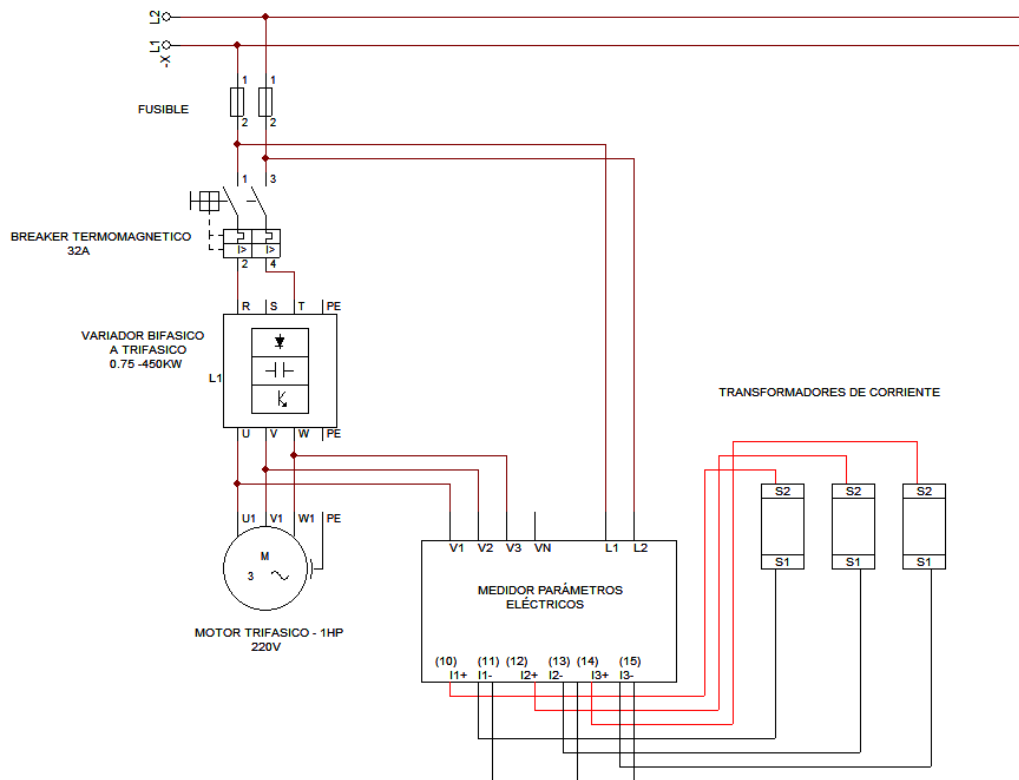
En la red de datos Modbus TCP/IP se aplica la topología de red en estrella como se muestra en la figura 25, tomando como nodo central el switch de red donde se conectan directamente todos los dispositivos de la red. En este esquema, cada dispositivo (cliente o servidor) se conecta al nodo central mediante cables Ethernet. Este nodo central facilita la comunicación y el control de tráfico de datos, optimizando el rendimiento y reduciendo la latencia. La topología estrella mejora la confiabilidad.



*Figura 25. Topología de red estrella Modbus TCP/IP.  
Fuente: Autoría propia.*

### 3.2.3 Diagrama de conexión eléctrica en la red Modbus RTU elaborado en CADESIMU

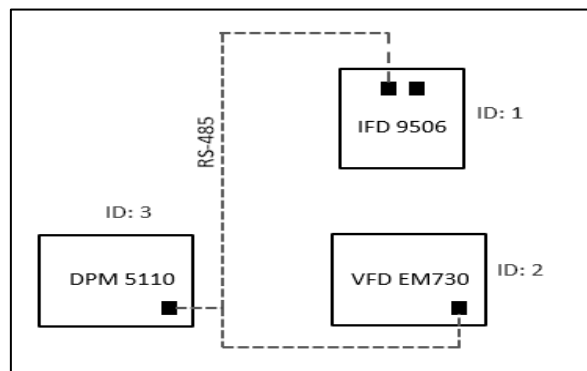
En la figura 26 adjunta a continuación se presenta el diagrama de conexión eléctrica que contiene los componentes de la red Modbus RTU para el funcionamiento del sistema. Se cuenta con las líneas de alimentación, un breaker o disyuntor para habilitar o deshabilitar la alimentación y los componentes respectivos que se van a alimentar como el medidor de parámetros eléctricos y un variador de frecuencia con entrada bifásica y salida trifásica la cual va a alimentar a un motor trifásico de 1hp y las líneas de tensión del motor conectadas al medidor para registrar los voltajes de funcionamiento, así como las respectivas conexiones para los transformadores de corriente que ayudan a medir la corriente que pasa por cada conductor que va al motor trifásico.



**Figura 26.** Diagrama de conexión eléctrica de equipos Modbus RTU.  
Fuente: Autoría propia.

### 3.2.4 Topología de la red de datos Modbus RTU

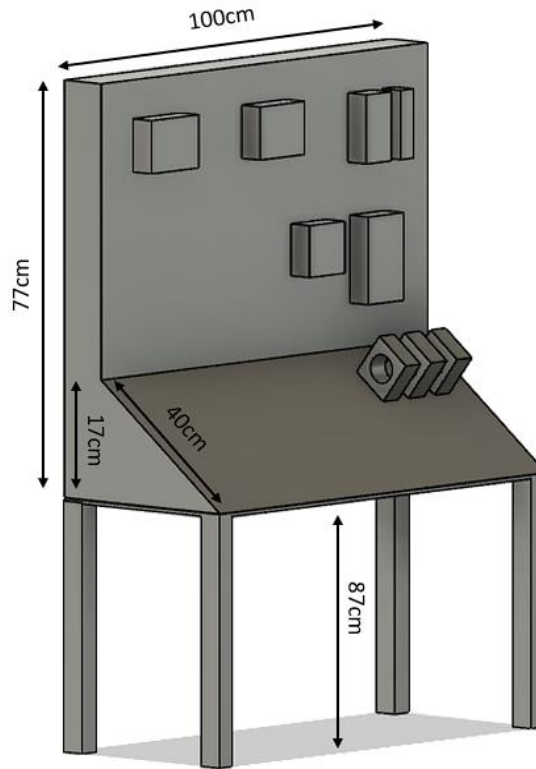
En una red Modbus RTU (RS-485), se utiliza la topología de red Daisy chain, donde múltiples dispositivos están conectados en serie a un único cable troncal mediante dos hilos. Cada dispositivo tiene una dirección única en el bus compartido, lo que permite la comunicación utilizando el protocolo Modbus RTU. En esta configuración, un dispositivo maestro controla la comunicación y sincroniza los intercambios de datos con los dispositivos esclavos (Ver figura 27).



**Figura 27.** Topología de datos Daisy chain en Modbus RTU.  
Fuente: Autoría propia.

### 3.2.5 Diseño 3D de la estructura del módulo didáctico

En la figura 28 se da la representación del modelo en 3D elaborado en el software Autodesk Fusión 360 de la estructura general del módulo didáctico y la cual es la responsable de todo el montaje de los equipos para la red de comunicación industrial.



*Figura 28. Vista semi-frontal del modelado 3D del módulo didáctico.  
Fuente: Autoría propia.*

### 3.2.6 Montaje del módulo didáctico

En este apartado se presentan dos etapas desde la construcción del módulo didáctico hasta el montaje final.

#### 3.2.6.1 Construcción del módulo didáctico

Para poder llevar a cabo la construcción del módulo didáctico se realizó la compra de materiales y herramientas necesarias por el cual se optó por una estructura realizada de aluminio como se muestra en la figura 29 y su recubrimiento por un panel de aluminio compuesto el cual ofrece durabilidad, ligereza, estética y seguridad. Adicionalmente está compuesto por una capa de seguridad para entornos educativos reduciendo el riesgo de incendios.



*Figura 29. Construcción completada del módulo didáctico.  
Fuente: Autoría propia.*

### **3.2.6.2 Montaje definitivo de equipos de automatización y control en el módulo didáctico**

Para el montaje de equipos en el módulo didáctico se tomó en cuenta la ubicación y sus equipos de protección de cada uno de ellos, al igual que dando a conocer la representación del módulo didáctico, en la parte superior operan los equipos Modbus TCP/IP y en la parte inferior los equipos Modbus RTU.

En esta etapa, se instalan los dispositivos de la red, como el PLC S7-1200, HMI DOP103WQ, DPM5110, Power supply 24vdc, VFD SINEE y un convertidor de red Modbus IFD9506, al igual que el actuador que es nuestro motor trifásico. Toda la configuración y conexión de estos equipos se especifica en el apartado correspondiente a continuación donde se detalla los pasos necesarios para configurar las direcciones Modbus, parámetros de comunicación, y las conexiones físicas entre los dispositivos para garantizar una comunicación eficiente y sin errores. Una vez montados, se realizan pruebas de funcionamiento para verificar la correcta operación de la red y asegurar que todos los dispositivos se comunican adecuadamente, siguiendo los protocolos establecidos. Este proceso asegura que el módulo didáctico esté listo para su uso en prácticas educativas, proporcionando

una herramienta eficaz para el aprendizaje de la comunicación industrial mediante Modbus (Ver figura 30).

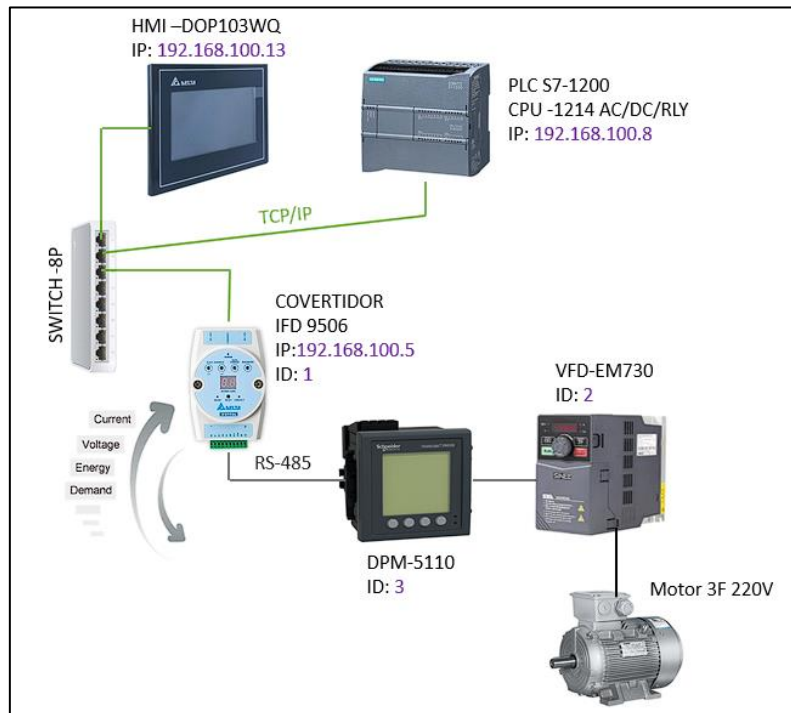


*Figura 30. Montaje definitivo del módulo didáctico con sus respectivos equipos.  
Fuente: Autoría propia.*

### **3.2.7 Diagrama esquemático general de la red de comunicación Modbus RTU y TCP/IP**

En la figura 31 adjunta muestra cómo están interconectados los componentes principales utilizando los protocolos Modbus RTU y TCP/IP. En el entorno de Modbus RTU, se emplean interfaces serie como RS-485 para la comunicación. Los dispositivos industriales, como el variador de frecuencia SINEE EM730 y el medidor de parámetros PM5110, se conectan a través del puerto serie del convertidor IFD9506. Cada dispositivo tiene una ID única para la comunicación en la red serial. En el entorno de Modbus TCP/IP, se utilizan redes Ethernet estándar con protocolos TCP/IP. Dispositivos como el PLC S7-1200 y el HMI DOP-103WQ se conectan a través de un switch Ethernet y pasan por el convertidor IF9506 en su puerto Ethernet. Esto permite la comunicación entre ambos

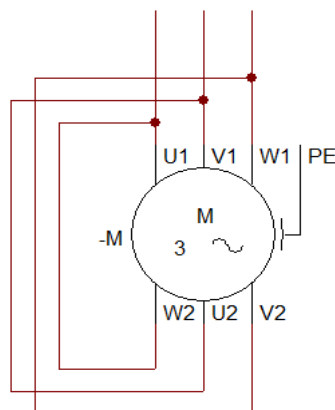
protocolos de comunicación. Se asignan direcciones IP para identificar los dispositivos en la red Ethernet.



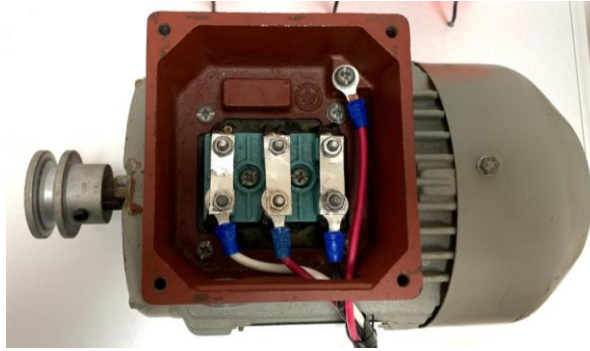
**Figura 31.** Diagrama general de la red Modbus RTU -TCP/IP.  
Fuente: Autoría propia.

### 3.2.8 Configuración de accionamientos eléctricos

En el presente proyecto se utilizará un motor trifásico que va estar acoplado al módulo didáctico y controlado por el variador de frecuencia SINEE. El esquema y el tipo de conexión de accionamiento del motor trifásico se describe en las figura 32 y 33.



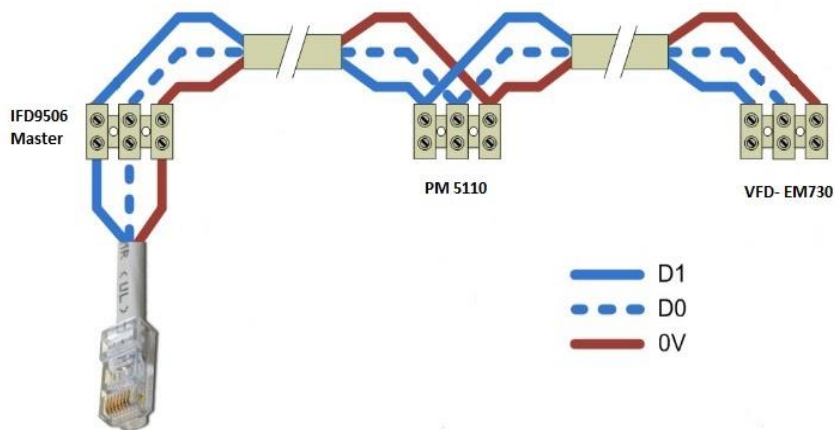
**Figura 32.** Esquema delta-delta del motor trifásico.  
Fuente: Autoría propia.



**Figura 33.** Conexión física del motor trifásico en delta- delta.  
Fuente: Autoría propia.

### 3.2.9 Conexión de los dispositivos seriales

La conexión de los dispositivos en serie implementados en el módulo didáctico se realiza a través del bus Modbus RS-485, como se muestra en la figura 34. Se ha establecido la topología de conexión en cadena con un cable de par trenzado a lo largo de todos los equipos con puerto serial, siguiendo la topología de organización de datos Maestro/Esclavo. Esta configuración en cadena permite que un único dispositivo maestro controle y se comunique con múltiples dispositivos esclavos. Cada dispositivo esclavo tiene una dirección única, lo que permite una comunicación eficiente y ordenada dentro del sistema. Este tipo de conexión es ideal para aplicaciones donde se requiere una comunicación robusta y de largo alcance entre varios dispositivos en un entorno industrial o educativo.



**Figura 34.** Conexión en cadena a través de los equipos seriales.  
Fuente: Autoría propia.

### 3.2.9.1 Conexión del variador SINEE VFD-EM730

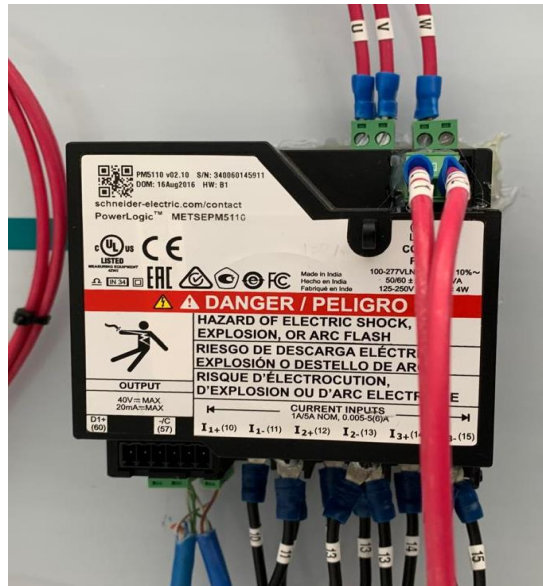
En la figura 35 adjunta se muestra el conexionado del variador de frecuencia SINEE VFD-EM730. Este dispositivo se alimenta con una tensión de 220V AC bifásica. La señal de comunicación, que utiliza el protocolo RS-485, se conecta a los terminales etiquetados como A+ y A-, ubicados en la parte inferior del equipo. Adicionalmente, en la parte inferior del variador también se encuentran los terminales de salida trifásica, destinados a la conexión del motor trifásico. Estos terminales están etiquetados para facilitar una conexión segura y correcta.



*Figura 35. Conexión del variador de frecuencia SINEE.  
Fuente: Autoría propia.*

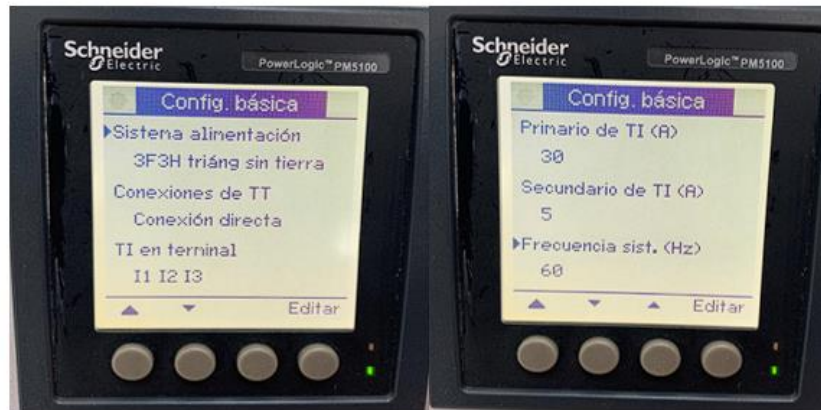
### 3.2.9.2 Conexión y configuración del medidor de parámetros PM5110 Schneider Electric

En la figura 36 adjunta se muestra la conexión del medidor de parámetros PM5110 de Schneider Electric desde su parte posterior para una mejor representación. La alimentación del equipo es de 110V o 220V AC, conectada en la parte superior, al igual que las entradas de tensión que en este caso se están conectando a las salidas del variador para medir la tensión de las líneas que alimentarán al motor trifásico. En la parte inferior se encuentran las conexiones RS-485 D1 +, D0 -, y 0V, que se conectan en cadena a través de los dispositivos con puerto serial. Igualmente, se encuentran las conexiones de los transformadores de corriente para medir la corriente que pasa por cada línea del motor trifásico.



*Figura 36. Conexión de alimentación en la parte posterior del medidor PM5110.  
Fuente: Autoría propia.*

Para la configuración del medidor de parámetros PM5110, se procede a ingresar al sistema en la opción de mantenimiento y después en configuración, donde nos da las opciones a configurar. Como primera acción, se ingresa a la configuración básica del medidor de parámetros, colocando los datos como se muestra en las figuras 37. Los datos a ingresar son: el sistema de alimentación con el que se está trabajando, configuración de los transformadores de corriente, tipo de conexión, el número de terminales que se están utilizando, corrientes del primario y secundario, por último, la frecuencia en la que se va a trabajar. Adicionalmente, se configura la comunicación Modbus, como se muestra en la figura 38, donde se ingresa a la opción del puerto serie. Aquí se va a establecer la dirección con la que va a trabajar el esclavo, la velocidad en baudios y la paridad, dando por concluida la fase de configuración del medidor de parámetros para su correcto funcionamiento y comunicación.



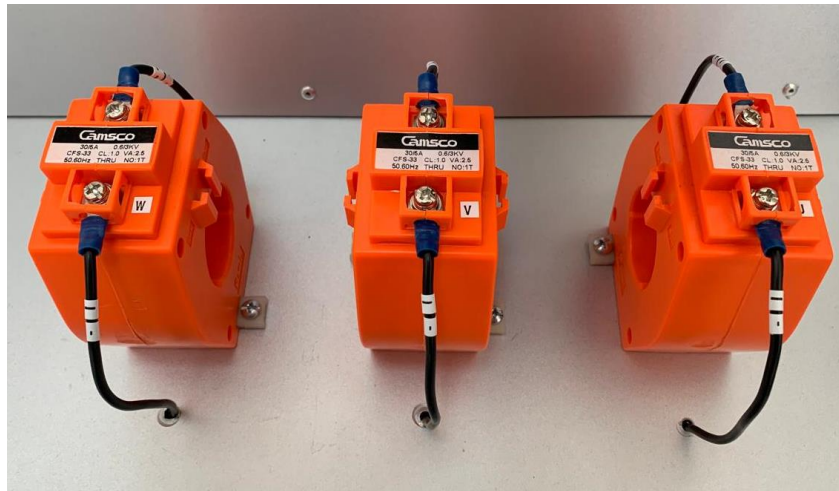
**Figura 37.** Configuración básica del medidor de parámetros PM5110.  
Fuente: Autoría propia.



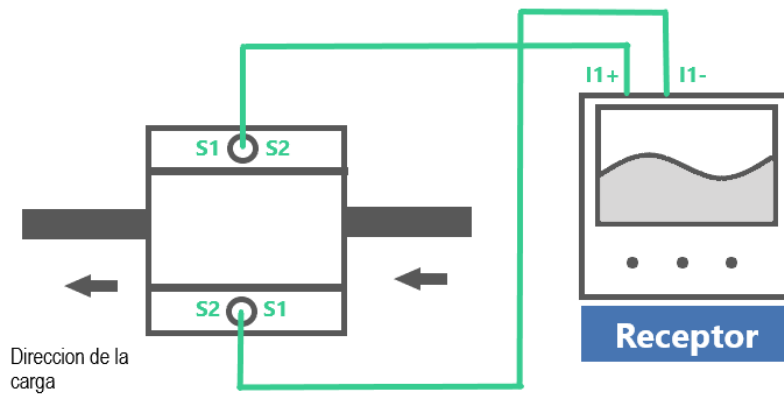
**Figura 38.** Configuración del puerto serie del medidor de parámetros PM5110.  
Fuente: Autoría propia.

### 3.2.10 Conexión de los transformadores de corriente

Para la conexión de los transformadores de corriente se toma en cuenta el manual de usuario del equipo al que se va a conectar, como este caso sería nuestro medidor de parámetros PM5110 Schneider Electric. En la imagen 39 adjunta se puede mostrar la conexión física realizada acoplado al módulo didáctico para obtener una medición exacta de las corrientes a través de los conductores eléctricos que van conectados al motor trifásico y en la figura 40 se muestra de forma gráfica la conexión y el sentido de la carga.



**Figura 39.** Conexión física y etiquetado de los Transformadores de corriente.  
Fuente: Autoría propia.



**Figura 40.** Conexión al receptor y dirección de la carga.  
Fuente: Autoría propia.

### 3.2.11 Conexión del convertidor Modbus RTU-TCP/IP Delta IFD9506

En la figura adjunta 41 se presenta el conexionado del convertidor Modbus RT -TCP/IP Delta IFD9506. Se alimenta con 24V DC, conectándose en la parte inferior derecha. Las señales RS-485 D-, D+ y 0V se unen en la parte superior izquierda a través de un cable serie con terminal RJ11, garantizando una transmisión precisa de datos entre dispositivos. Por otro lado, la conexión Ethernet se establece mediante un cable RJ45 en la parte central superior, permitiendo la comunicación en redes TCP/IP. La precisión y estabilidad en estas conexiones son importantes para un rendimiento óptimo del sistema, asegurando una buena comunicación.



**Figura 41.** Conexión del convertidor Delta IFD9506.  
*Fuente: Autoría propia.*

### 3.2.12 Conexión del PLC S7-1200 SIEMENS

En la figura 42 adjunta se muestra el conexionado del PLC S7-1200. La alimentación del dispositivo es monofásica a 110V AC, conectada en la parte inferior izquierda. La comunicación Ethernet se realiza mediante un cable RJ45 ubicado también en la parte inferior izquierda. El dispositivo cuenta con múltiples entradas digitales para señales de sensores y salidas digitales para controlar actuadores. Además, posee dos salidas analógicas para gestionar dispositivos que requieren señales variables.



**Figura 42.** Conexión del PLC S7-1200.  
*Fuente: Autoría propia.*

### 3.2.13 Conexión pantalla HMI Delta DOP-103WQ

En la figura 43 adjunta se detalla el conexionado de la pantalla HMI Delta DOP-103WQ, observando el equipo desde la parte posterior. La alimentación, suministrada a 24V DC, se conecta en la parte superior derecha del dispositivo. La comunicación Ethernet se localiza en la parte inferior izquierda, utilizando un cable de red RJ45. Este tipo de conexión permite la comunicación del HMI con otros dispositivos y sistemas de control a través de una red Ethernet



*Figura 43. Conexión del HMI Delta DOP-103WQ.  
Fuente: Autoría propia.*

### 3.2.14 Conexión de los equipos Ethernet conectados al Switch Ethernet

En la figura 44 adjunta se presenta el esquema de conexión de todos los equipos que están acoplados al módulo didáctico, los cuales están interconectados a través de un switch Ethernet centralizado. Este switch actúa como un punto de conexión central para facilitar la comunicación entre los diferentes dispositivos del sistema.

En la parte inferior derecha de la figura, se observa la fuente de alimentación, la cual suministra energía monofásica a 110V AC para el funcionamiento adecuado de todos los componentes.



*Figura 44. Conexión de los puertos Ethernet del switch TP-Link  
Fuente: Autoría propia.*

### **3.2.15 Asignación de parámetros para el variador SINEE EM730 usado en el control de un motor trifásico**

Para iniciar la operación del variador de frecuencia SINEE EM730, se lleva a cabo la configuración de parámetros siguiendo las indicaciones del manual de usuario mostradas en anexo. Estas acciones se basan en las características del motor trifásico que se muestra en la placa y las funcionalidades del variador de frecuencia respectivo. La configuración de parámetros incluye ajustes relacionados con la velocidad, la corriente, la aceleración, entre otros aspectos cruciales como la comunicación para el funcionamiento óptimo del sistema. Es esencial seguir las instrucciones del manual para asegurar una configuración adecuada.

- Los parámetros del motor (Parámetros F01.XX), según la descripción de la placa que se muestra en la figura 31.
- Los parámetros de operación del variador (Parámetros F00.XX), aquí se definirá si se realiza el accionamiento a través del teclado del variador entre otras funciones correspondientes.
- Los parámetros correspondientes a la comunicación RS-485 se los realizan en el parámetro F10.XX.

### **3.2.16 Programación del variador SINEE EM730 a través del convertidor IFD9506**

Para la operación del variador SINEE desde una computadora, se debe realizar un forzado de los parámetros internos del variador con el software Modbus Poll, el cual permite leer

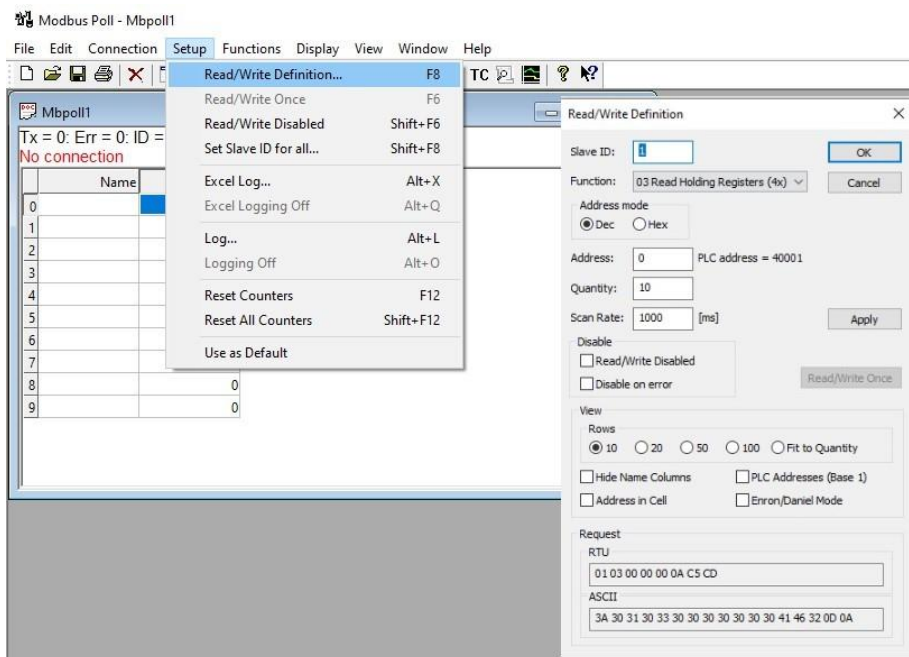
y escribir registros. A continuación, se detallan los pasos a seguir para llevar a cabo este proceso:

- Conectar el variador de frecuencia al variador a través por el puerto serie o del convertidor IFD9506.
- Ejecutar el software Modbus Poll en la computadora y realizar la configuración siguiendo las instrucciones y la figura 45 al 48, que se detallan a continuación.
- Los registros Modbus del variador de frecuencia SINEE para el accionamiento del motor trifásico se encuentran detallados en el manual de usuario como lista de direcciones.
- Se da uso del registro 7000H, para el arranque, parada e inversión de giro del motor trifásico, el registro 700FH para la escritura y 7203H lectura del valor de frecuencia del motor trifásico como se indica en la tabla 12.

*Tabla 12. Registros de forzamiento en variador SINEE.*

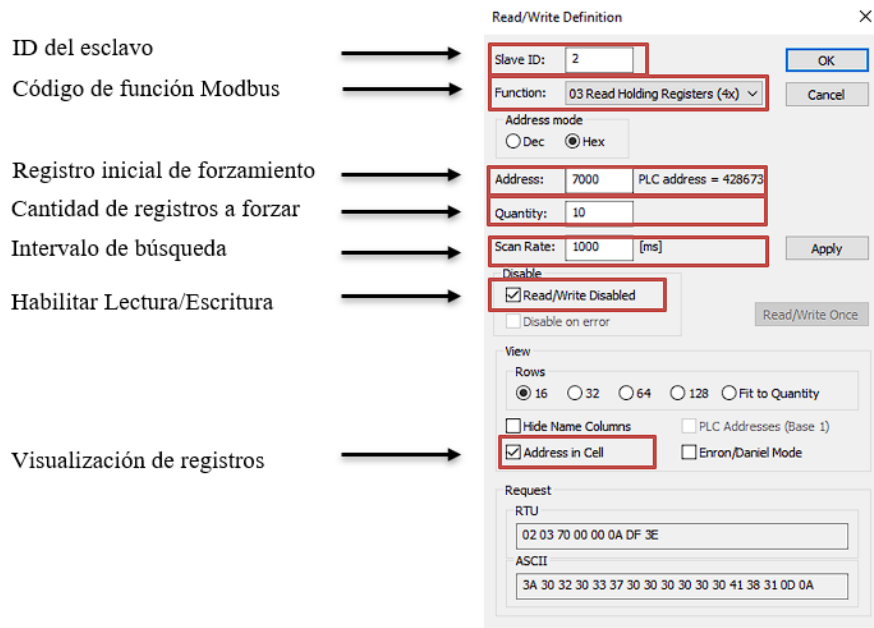
Accionamiento del motor	Registros a forzar		Valor de activación
	Hexadecimal	Decimal	
Parada	7000H	28672	0005H
Arranque			0001H
Inversión de giro			0002H
Valor de frecuencia	700FH – 7203H	28687 - 29187	Hz x 100%

*Fuente: Registros del manual del variador SINEE.*

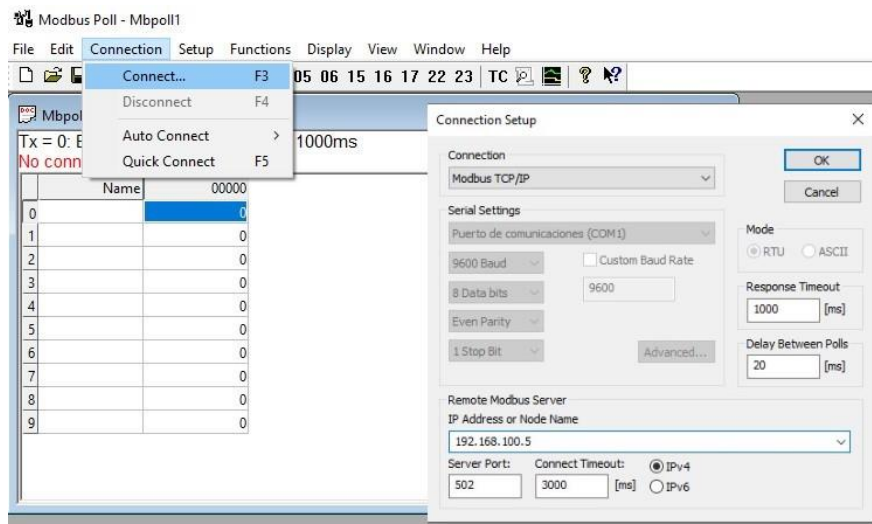


*Figura 45. Configuración de los registros a forzar dentro del variador de frecuencia.*

*Fuente: Autoría propia.*

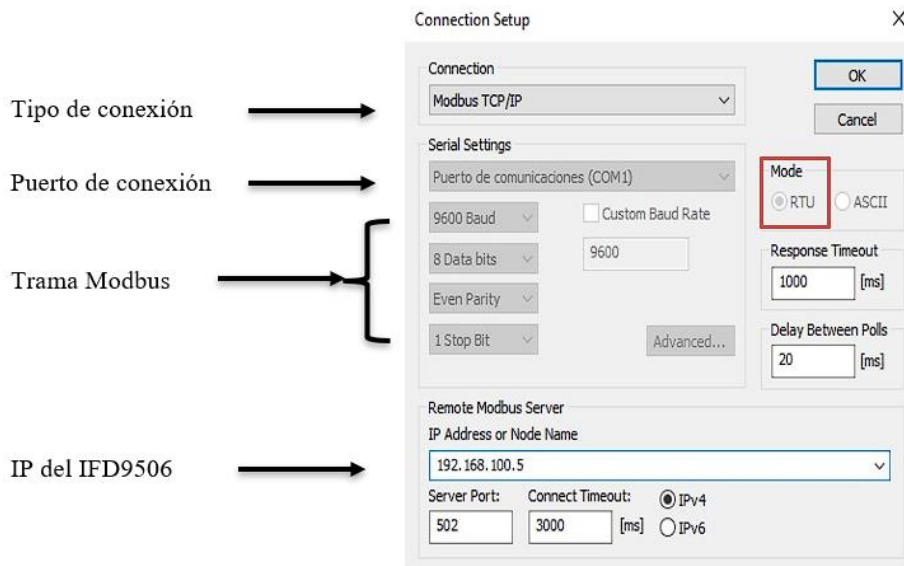


**Figura 46.** Detalles de la configuración de registros a forzar.  
Fuente: Autoría propia.



**Figura 47.** Detalles de la configuración de registros a forzar.  
Fuente: Autoría propia.

Tomando en cuenta el tipo de conexión que se va a realizar ya sea mediante un Serial port o Modbus TCP/IP, en nuestro caso se realiza el tipo de conexión Modbus TCP/IP a través del convertidor IFD9506 el cual está conectado nuestros equipos esclavos.



**Figura 48.** Detalles de la configuración de registros a forzar.  
Fuente: Autoría propia.

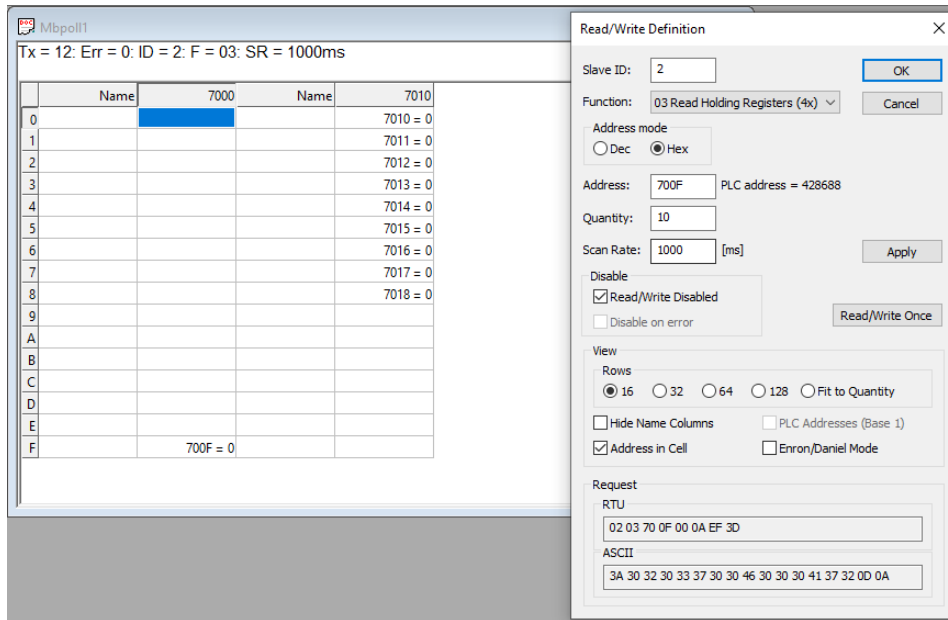
Realizada la conexión se confirma la comunicación como se muestra en la figura 49, se hace clic en el apartado de display que nos ofrece el menú y se procede a abrir la ventana de comunicación donde se muestra cada línea de envío de datos TX y RX como respuesta del dispositivo por el cual se está comunicando.

No.	Time	Length	Tx...	Packet
0	14:25:15.572	12	Tx	00 CB 00 00 00 06 02 03 70 0F 00 0A
1	14:25:16.066	29	Rx	00 CB 00 00 00 17 02 03 14 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 ...
2	14:25:16.577	12	Tx	00 CC 00 00 00 06 02 03 70 0F 00 0A
3	14:25:16.641	29	Rx	00 CC 00 00 00 17 02 03 14 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 ...
4	14:25:17.588	12	Tx	00 CD 00 00 00 06 02 03 70 0F 00 0A
5	14:25:18.127	29	Rx	00 CD 00 00 00 17 02 03 14 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 ...
6	14:25:18.597	12	Tx	00 CE 00 00 00 06 02 03 70 0F 00 0A
7	14:25:18.672	29	Rx	00 CE 00 00 00 17 02 03 14 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 ...
8	14:25:19.604	12	Tx	00 CF 00 00 00 06 02 03 70 0F 00 0A
9	14:25:19.978	29	Rx	00 CF 00 00 00 17 02 03 14 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 ...
10	14:25:20.615	12	Tx	00 D0 00 00 00 06 02 03 70 0F 00 0A
11	14:25:20.688	29	Rx	00 D0 00 00 00 17 02 03 14 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 ...
12	14:25:21.615	12	Tx	00 D1 00 00 00 06 02 03 70 0F 00 0A
13	14:25:22.110	29	Rx	00 D1 00 00 00 17 02 03 14 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 ...
14	14:25:22.629	12	Tx	00 D2 00 00 00 06 02 03 70 0F 00 0A
15	14:25:22.700	29	Rx	00 D2 00 00 00 17 02 03 14 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 ...

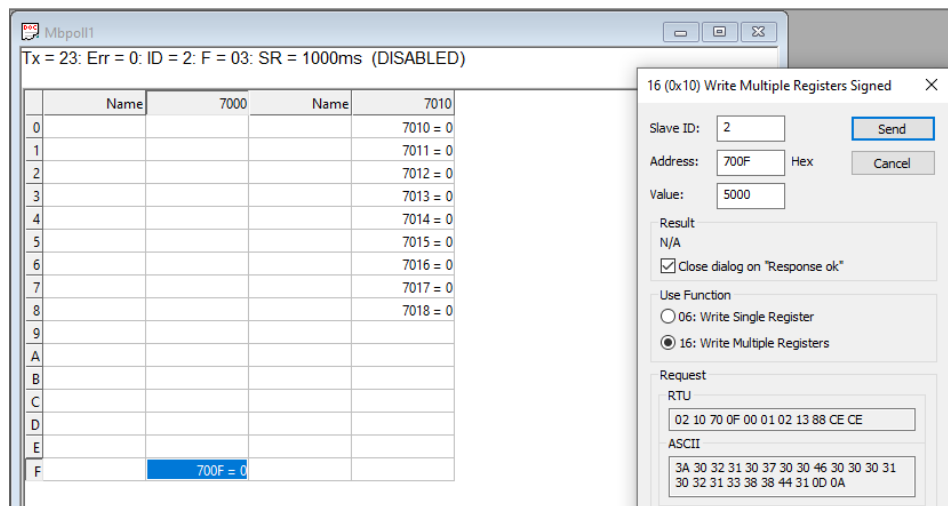
**Figura 49.** Comprobación de comunicación del equipo serie.  
Fuente: Autoría propia.

Una vez establecida la comunicación entre los equipos conectados, se procede con el forzamiento de registros, tanto para lectura como para escritura. Este proceso es esencial para que los datos sean correctamente transferidos y que los equipos funcionen de manera sincronizada. En las figuras 50 y 51, se detalla el proceso de forzamiento de registro de frecuencia, el cual está descrito en la tabla 12. Es importante los registros a modificar para un correcto funcionamiento, F00.004 = 7 el cual se deshabilita el potenciómetro de

nuestro variador y se habilita la comunicación dado en frecuencia directa para la comprobación del forzamiento de registros de escritura, se puede observar en la figura 52. Esta figura ilustra que los registros han sido correctamente actualizados y que los valores escritos coinciden con lo esperado a través del variador de frecuencia.



**Figura 50.** Asignación de dominio del registro a forzar en el variador de frecuencia  
Fuente: Autoría propia.



**Figura 51.** Asignación de unidad de referencia de frecuencia para el forzamiento del registro.  
Fuente: Autoría propia.



*Figura 52. Registro de frecuencia forzado en el variador de frecuencia.  
Fuente: Autoría propia.*

Para entender el valor de 5000 es igual a 30Hz en el forzamiento del variador de frecuencia, es importante tener en cuenta el manual del variador de frecuencia. Considerando que esto no se mide en hercios directamente, sino que es una unidad de referencia que el sistema utiliza para calcular la frecuencia final, dado que 10.000 es la unidad de referencia de frecuencia máxima de 60Hz que se representa en el sistema del variador.

### **3.2.17 Configuración del convertidor RTU-TCP/IP**

El convertidor RTU-TCP/IP Delta IFD9506 se alimenta con 24V DC y se configura para comunicación Modbus RTU girando las perillas según la figura 53. La configuración se lleva a cabo utilizando el software DCISoft, el cual permite conectar el equipo al ordenador a través del puerto Ethernet.

Address Switch

Switch setting	Content
01..F7	Valid node address setting



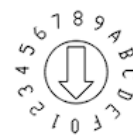
Data Format

Switch setting	Format	Switch setting	Format
0	7-N-1	8	7-N-2
1	8-N-1	9	8-N-2
2	7-O-1	A	7-O-2
3	8-O-1	B	8-O-2
6	7-E-1	E	7-E-2
7	8-E-1	F	8-E-2



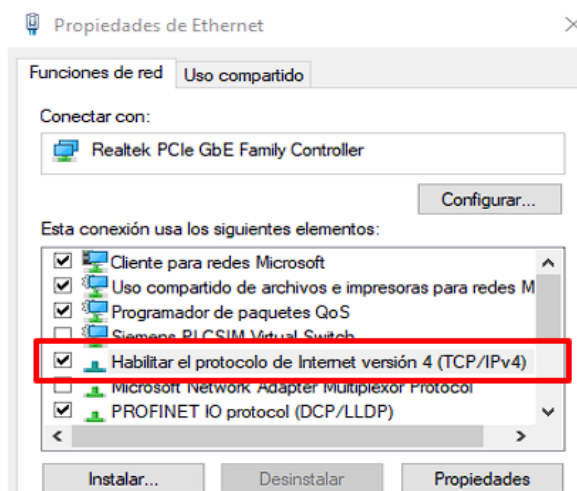
Baud Rate for Modbus Communication

Switch setting	Baud rate	Switch setting	Baud rate
1	110	7	4,000
2	150	8	9,600
3	300	9	19,200
4	600	A	38,400



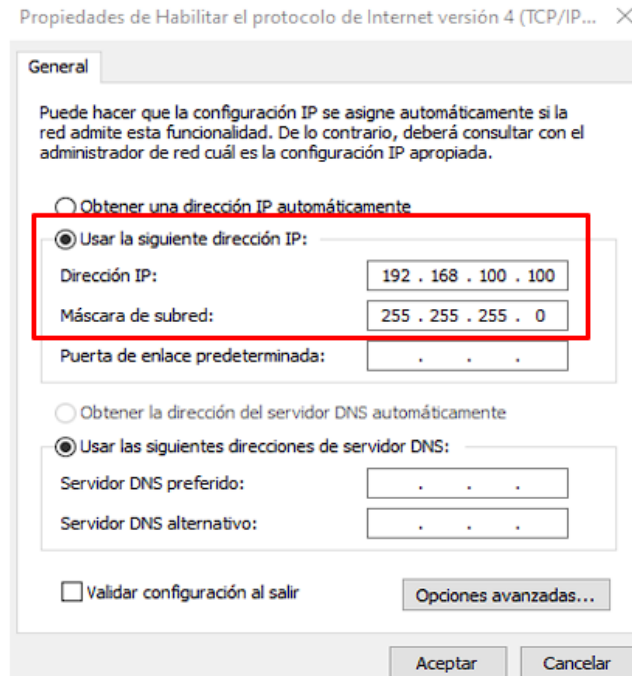
**Figura 53.** Configuración física de parámetros de comunicación del dispositivo.  
Fuente: Autoría propia.

Para esta configuración, el equipo funcionara como Maestro Modbus RTU, pero el ordenador y otros conectados lo reconocerán como cliente Modbus TCP/IP. Por lo tanto, se debe establecer una dirección IP en el software y antes de todo se tiene que configurar en nuestro ordenador el puerto Ethernet a la dirección IP que va trabajar toda nuestra red. En la figura 54 se describe cómo realizar la configuración. Primero, se accede a "Cambiar opciones del adaptador" y luego a "Propiedades" de la tarjeta de red. Esto desplegará una ventana con las propiedades de la tarjeta de red, donde se debe configurar el "Protocolo de Internet versión 4" (TCP/IPv4), como se muestra en la imagen.



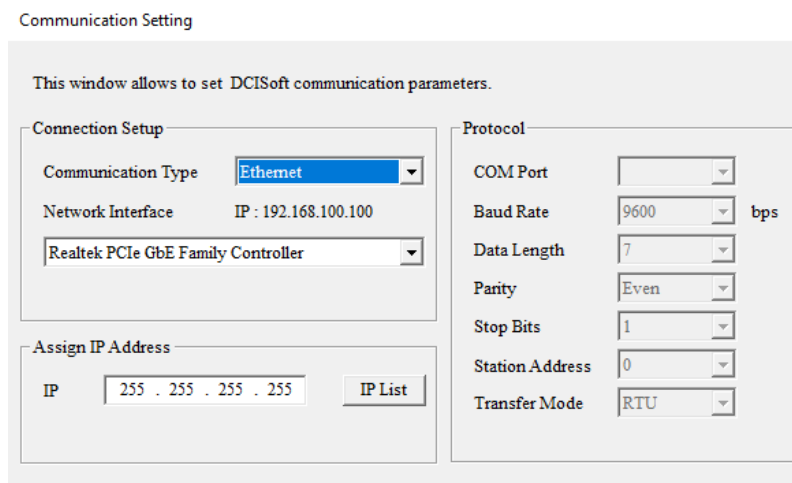
**Figura 54.** Propiedades de Ethernet.  
Fuente: Autoría propia.

A continuación, se configura el rango de IP que se va a utilizar, en este caso 192.168.100.100. También se configura la máscara de subred, que en este caso es 255.255.255.0. Esto finaliza la configuración básica para el funcionamiento de nuestra red mostrado en la figura 55.

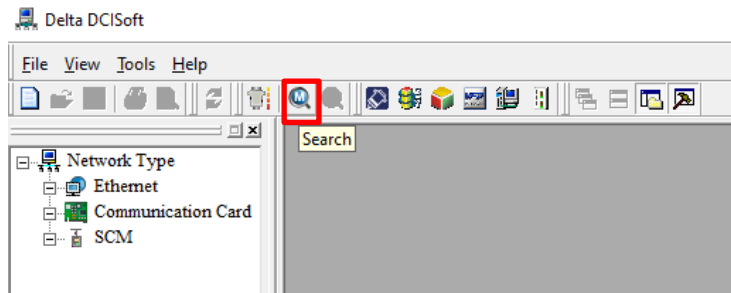


**Figura 55.** Propiedades del protocolo TCP/IPv4.  
Fuente: Autoría propia.

En la figura 56 adjunta se muestra una ventana donde se configura el tipo de comunicación en la que se va a establecer con el dispositivo convertidor IFD9506, que en nuestro caso es por la red Ethernet. Para buscar el dispositivo, se debe hacer clic en el botón "Search", como se indica en el recuadro rojo en la figura 57.

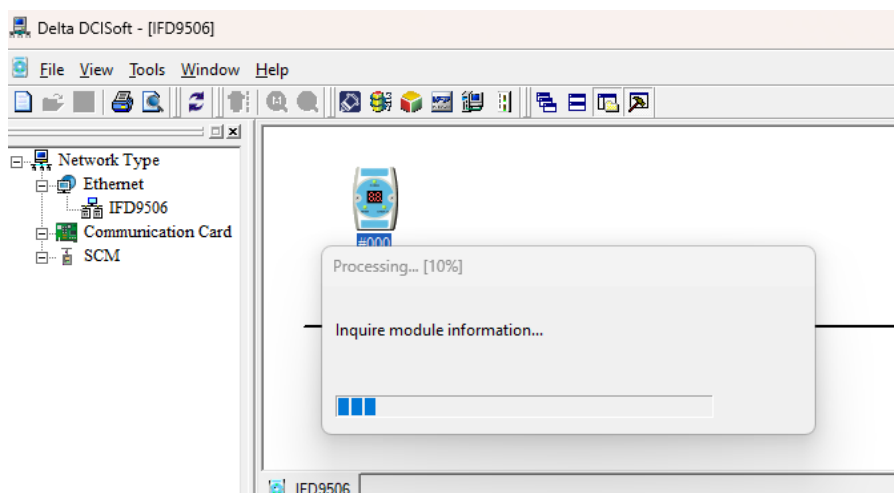


**Figura 56.** Configuración del tipo de comunicación que se va establecer con el dispositivo.  
Fuente: Autoría propia.

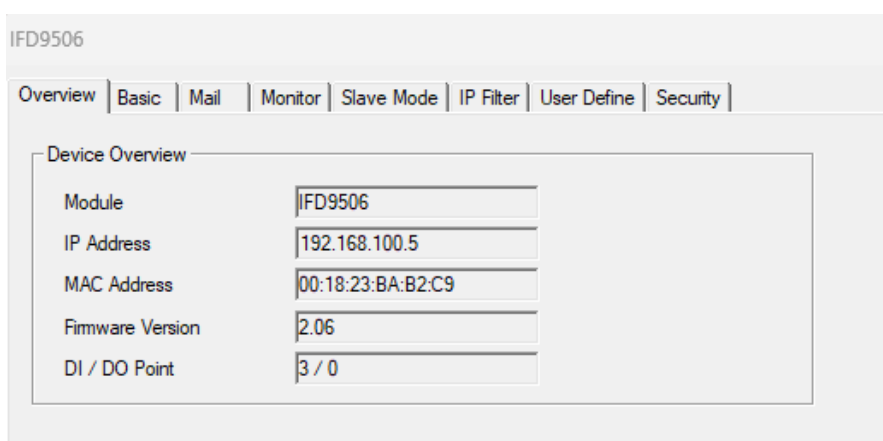


**Figura 57.** Búsqueda de equipo conectado a la red Ethernet en DCISoft.  
Fuente: Autoría propia.

En la figura 58 se muestra el dispositivo encontrado que es el convertidor IFD9506. El menú completo para realizar cambios en el dispositivo, así como la información se desplegará una vez que le se haga clic al equipo como se muestra en la figura 59.



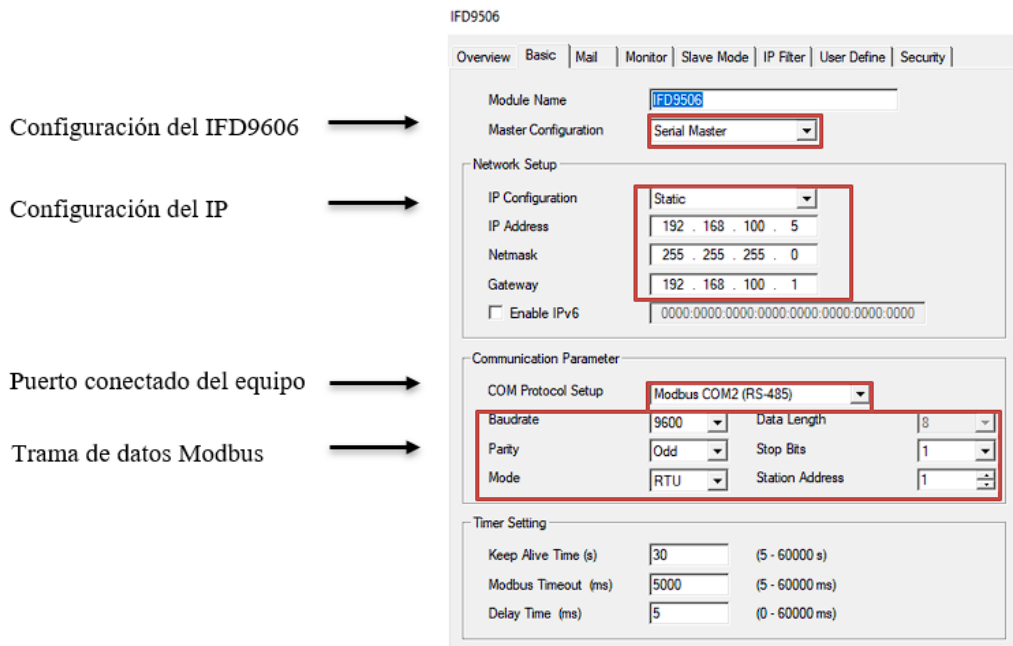
**Figura 58.** Dispositivo reconocido en el software DCISoft.  
Fuente: Autoría propia.



**Figura 59.** Menú general del IFD9507.  
Fuente: Autoría propia.

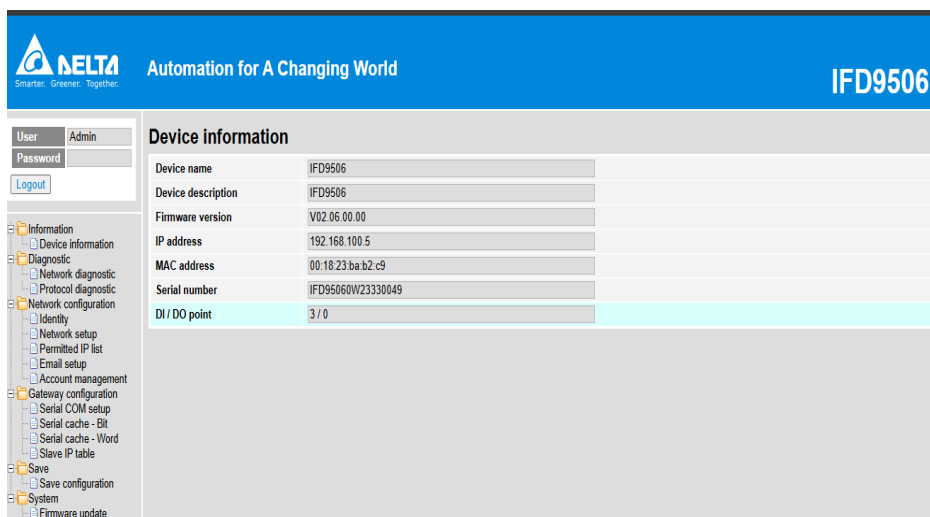
A continuación, se realiza las configuraciones finales del dispositivo como se muestra en la figura 60. Para ello, se accede a la pestaña "Basic", la cual nos muestra el menú del

programa para realizar la configuración básica de los parámetros del dispositivo. Los parámetros más importantes se señalan en los recuadros de la figura.



**Figura 60.** Configuración de la red y parámetros de comunicación del dispositivo IFD9506.  
Fuente: Autoría propia.

También el dispositivo nos ofrece un interfaz web visto en la figura 61 donde se puede ingresar mediante el IP asignado al dispositivo en el navegador. En esta página se accede al login sin ingresar una contraseña de momento y mostrar todos los ajustes y configuraciones del dispositivo.

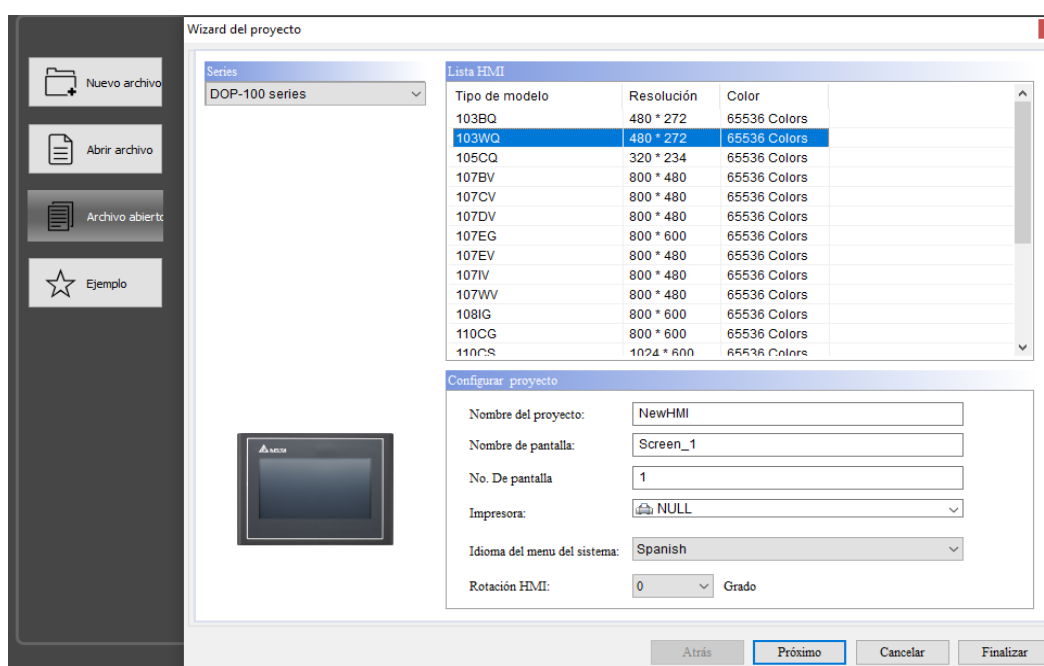


**Figura 61.** Interfaz web del convertidor Delta IFD9506.  
Fuente: Autoría propia.

### 3.2.18 Comunicación entre dispositivos seriales con el convertidor RTU-TCP/IP

Una vez establecido nuestro convertidor IFD9506 como maestro en la red Modbus RTU, en la cual pasa a ser un servidor Modbus TCP/IP para validar el correcto funcionamiento del equipo. El cliente Modbus TCP/IP en este caso puede ser un PLC, HMI o nuestro ordenador, para una mejor resolución del desarrollo se utiliza el HMI Delta.

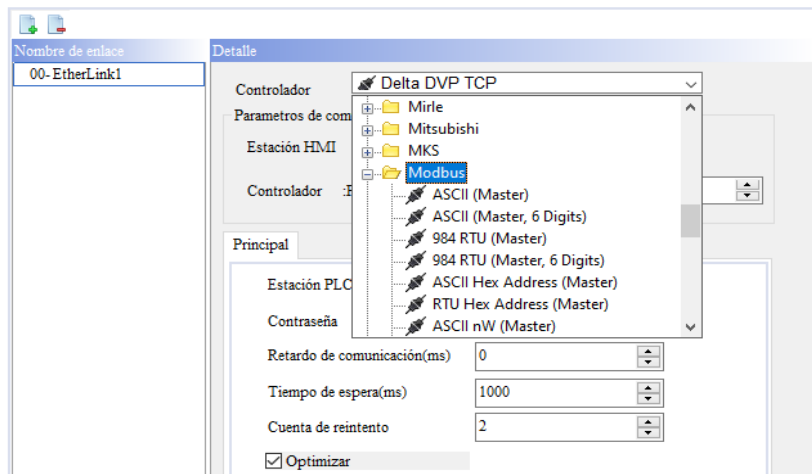
La programación de la pantalla HMI Delta DOP-103WQ, se realiza en el software DOPSoft de uso exclusivo para las pantallas HMI Delta. Para realizar la programación se crea un nuevo archivo en el cual se va a trabajar, desplegándose una ventana donde están todos los modelos de HMI de la marca Delta como se muestra en la figura 62. Se procede a seleccionar nuestra pantalla de HMI que se utilizara en el proyecto, DOP-103WQ.



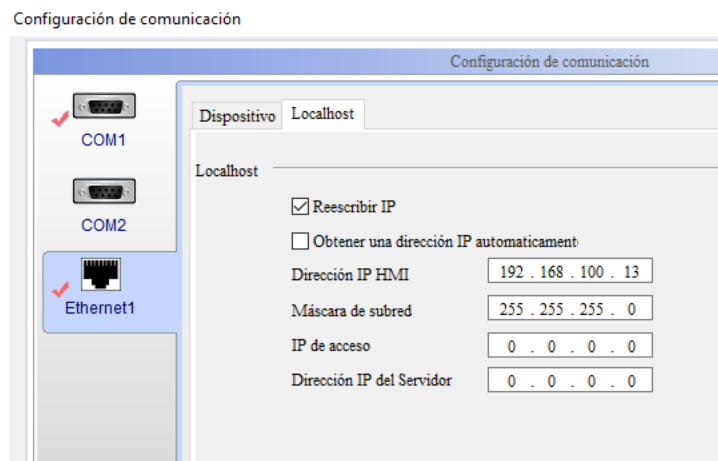
**Figura 62.** Selección de pantalla HMI a utilizar.  
Fuente: Autoría propia.

Una vez establecida nuestra pantalla HMI, se despliega una ventana donde se procede a configurar la comunicación de enlace de los dispositivos agregados al software DOPSoft mediante su línea Ethernet. En la figura 63 y 64 se muestran los pasos a seguir para definir el protocolo de comunicación industrial con el que se va a trabajar. Inicia el proceso haciendo clic en el controlador. A continuación, se despliega un menú donde se selecciona la carpeta Modbus y luego se elige la opción "TCP/IP". Esto confirma el tipo de protocolo de comunicación industrial que va a utilizar en la pantalla HMI, que será Modbus TCP/IP. Es fundamental asegurarse de que todos los parámetros de configuración de la red estén correctamente establecidos para garantizar la comunicación. Esto incluye la dirección IP

del HMI, la máscara de subred y la IP de nuestro controlador siendo nuestro convertidor IFD9506 con el que se va a comunicar para el control del dispositivo esclavo a través de las direcciones de los registros del variador de frecuencia.



**Figura 63.** Selección del controlador conectado a la pantalla HMI.  
Fuente: Autoría propia.

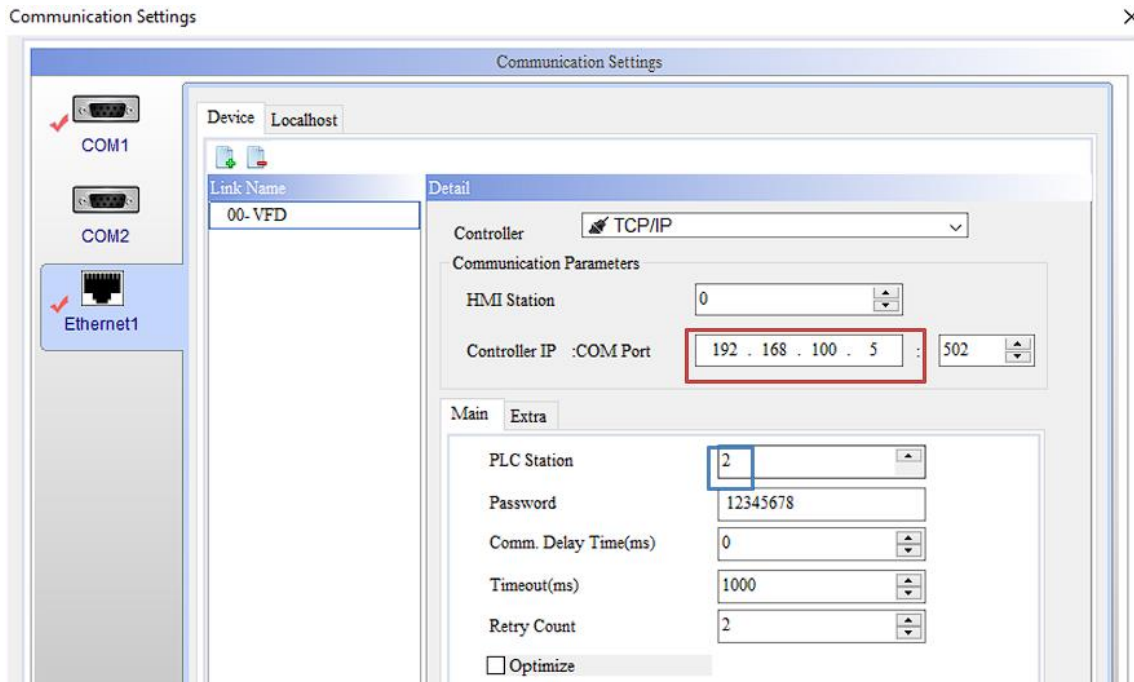


**Figura 64.** Establecimiento de IP de la pantalla HMI Delta.  
Fuente: Autoría propia.

En la figura 65 adjunta se muestra el establecimiento de comunicación con la pantalla HMI, asignando la IP de nuestro convertidor Modbus RTU – TCP/IP y el ID del equipo con el bus RS-485 que se establece como un esclavo serie. El protocolo serie RS-485 permite la conexión de varios dispositivos en paralelo, teniendo en cuenta que, si hay más dispositivos conectados, se debe definir el acceso a cada uno de ellos. En la figura, se muestra en un recuadro rojo la IP de nuestro convertidor IFD9506 y en un recuadro azul el ID del dispositivo serie conectado siendo nuestro variador de frecuencia SINEE.

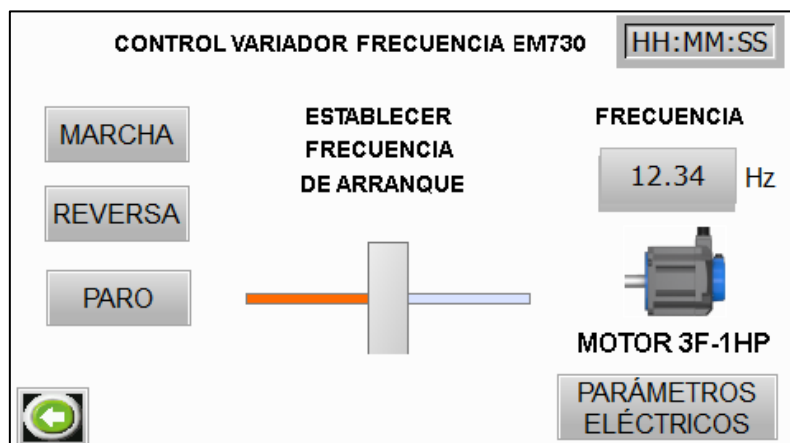
Es crucial asegurarse de que la configuración de la red sea precisa para evitar conflictos en nuestra comunicación. Esto incluye la correcta asignación de direcciones IP. Además,

cada dispositivo en el bus RS-485 debe tener un ID único para evitar colisiones y asegurar que las señales de comunicación sean claras y sin interferencias.



**Figura 65.** Establecimiento de IP del controlador e ID a controla.  
Fuente: Autoría propia.

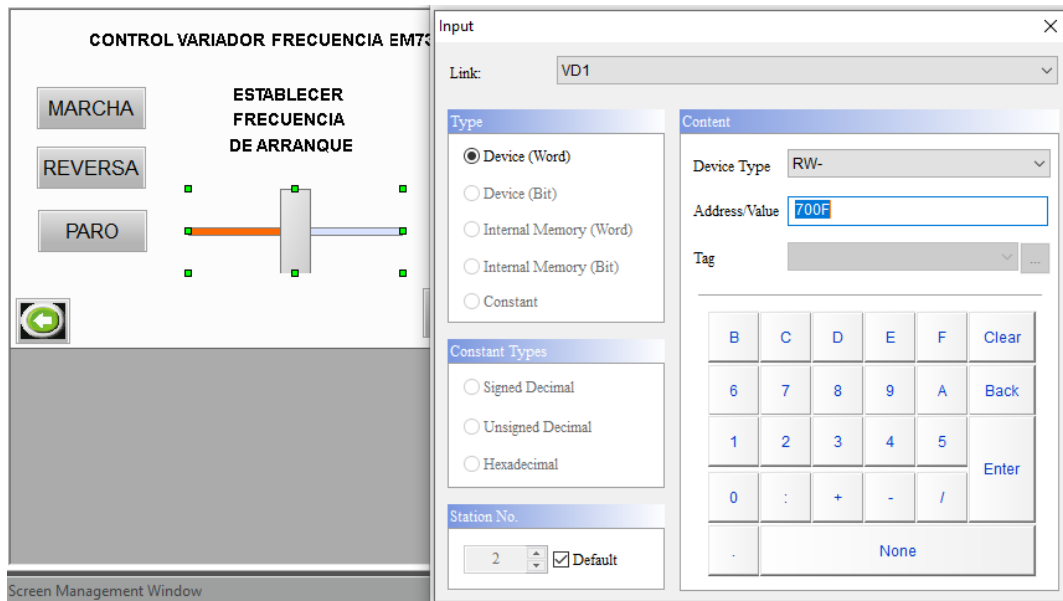
Una vez configurados correctamente los dispositivos, se procede a la creación del entorno de nuestras pantallas HMI. La disposición de los botones y otros elementos necesarios para el control se muestran en la figura 66.



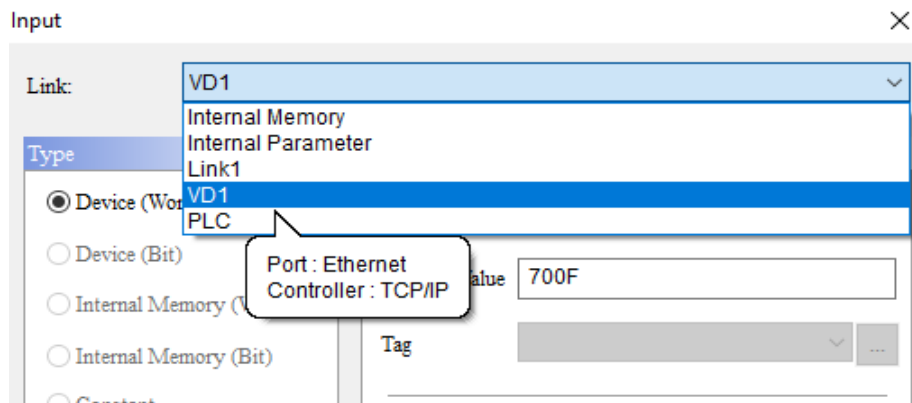
**Figura 66.** Pantalla principal para el control del variador.  
Fuente: Autoría propia.

En la figura 67 se muestra cómo acceder a las configuraciones de los elementos creados en el programa HMI. Al hacer doble clic en un elemento, se despliega una ventana de

configuración específica para ese elemento. En este caso, se trata de un deslizador. Para asignar el enlace con el equipo esclavo con el que se está trabajando, se sigue los pasos mostrados en la figura 68. A continuación, se accede a la dirección de escritura, lo que abre una ventana adicional. En esta ventana, se asigna el registro de la acción que se desea realizar, como la frecuencia del variador, especificada en el manual y expresada en hexadecimal.



**Figura 67.** Asignación de dirección de escritura para el control de la frecuencia.  
Fuente: Autoría propia.

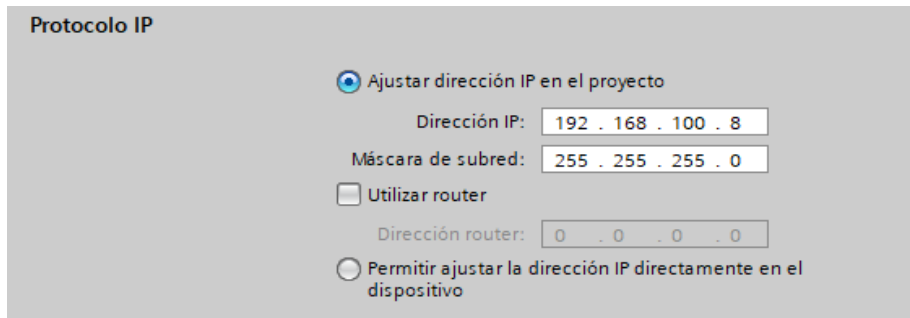


**Figura 68.** Selección del enlace del HMI al dispositivo a controlar.  
Fuente: Autoría propia.

### 3.2.19 Programación y configuración del PLC S7-1200 1214C

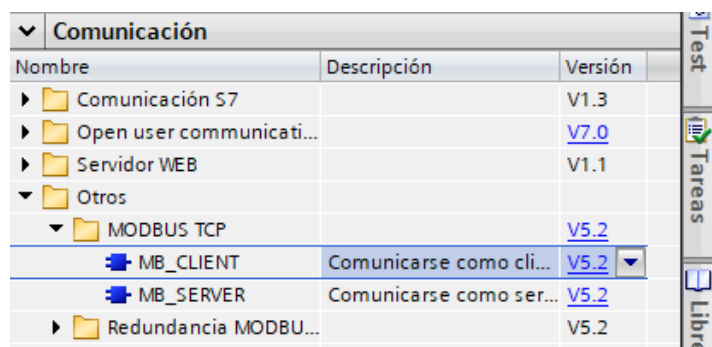
El PLC S7-1200 se establece como cliente Modbus TCP/IP en la red, el software empleado para su programación es TIA Portal. Para el correcto funcionamiento se requiere hacer previas configuraciones desde el software, estas configuraciones

comprenden, la correcta asignación de la IP del equipo como se muestra en la figura 69, ya que, los equipos a comunicar como el HMI y el convertidor Modbus RTU – TCP/IP se tienen que encontrar en la misma red para establecer una correcta comunicación. Se inicia en el software con la reacción de un nuevo proyecto y se elige el controlador respectivo que es nuestro PLC S7 -1200 1214C AC/DC/RLY con el cual se va a trabajar.



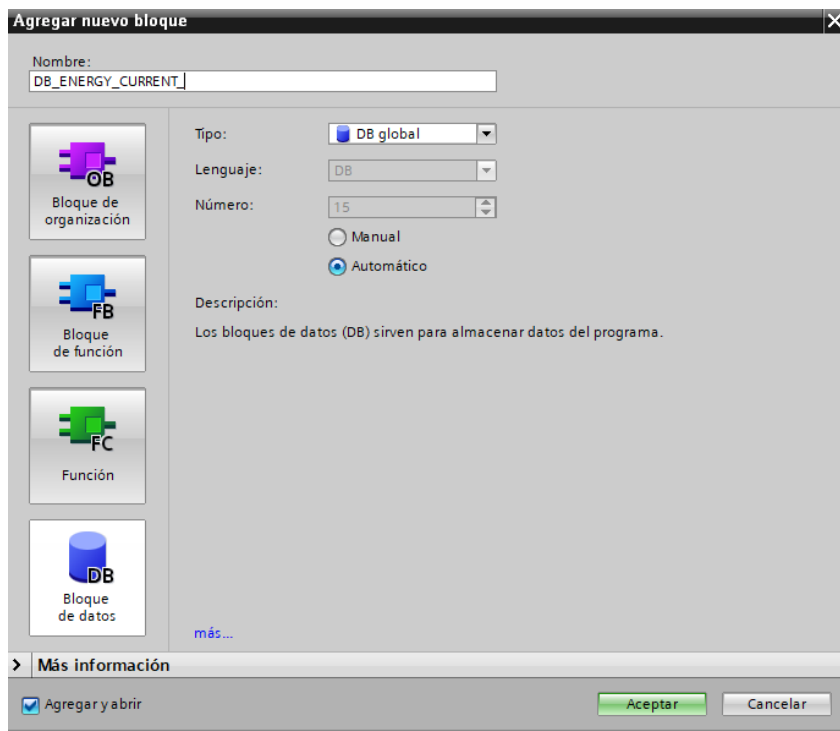
**Figura 69.** Asignación de la dirección IP del PLC S7- 1200.  
Fuente: Autoría propia.

Para la configuración de la red Modbus TCP/IP se hace uso de la instrucción MB\_CLIENT como se muestra en la figura 70, que permite la comunicación como cliente Modbus a través de la conexión Profinet.



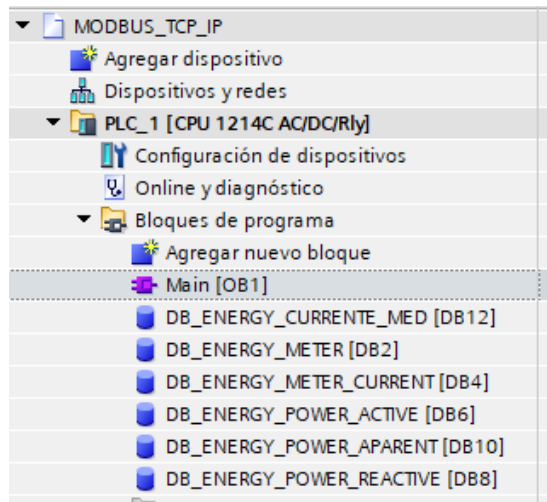
**Figura 70.** Instrucción de comunicación MB\_CLIENT.  
Fuente: Autoría propia.

Para establecer la comunicación entre el PLC S7 – 1200 y el convertidor RTU -TCP/IP es necesario crear los bloques de datos para establecer una conexión entre el cliente y el servidor enviando peticiones y recibiendo respuestas mediante los registros que se establecen en el manual de usuario del medidor de parámetros PM5110 siendo un equipo serie con bus RS-485, En la figura 71 se puede observar el bloque de datos al igual que la conexión, almacena datos siendo crucial para las lecturas del medidor de parámetros.



**Figura 71.** Creación del bloque de datos para almacenar datos.  
Fuente: Autoría propia.

Una vez agregada la cantidad de bloques de datos a utilizar como se muestra en la figura 72 dado que las lecturas de parámetros para este proyecto se lo realizan de forma individual asignando los registros de corriente, voltaje y potencia. En la figura 73 adjunta se muestra un recuadro rojo donde se va a establecer el nombre “Connect”, esta entrada es una variante que va definir nuestra conexión entre el PLC cliente y el dispositivo con el que se está comunicando que sería nuestro convertidor IFD9506 y en el tipo de datos se crea una variable “TCON\_IP\_V4” desplegándose de forma automática los parámetros que se detallan en esta variable. En recomendable como se muestra en la figura usar los valores predeterminados para “ConnectionType” ya que para comunicaciones Modbus TCP debe ser el 11, “ActiveEstanlished” se deja en true para establecer la conexión con el servidor, “RemotePort” por defecto es el 502 y “LocalPort” es 0. Una vez establecido los valores que deberían que estar predeterminados para este proyecto se continua con los siguientes parámetros como “Interfaceid” siendo 64 por nuestro “Local-Interfaz\_PROFINET\_1” ocupado en constantes del sistema de nuestro PLC, “ID” debe ser único elegido arbitrariamente, asegurándose de que cada llamada de MB\_CLIENT utilice un ID único y por último en la configuración de los parámetros en “ADDR” se establece la dirección IP del servidor siendo nuestro convertidor RTU-TCP/IP.



**Figura 72.** Bloque de datos asignado a cada registro de lectura.  
Fuente: Autoría propia.

	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Valor de observación
1	Static			
2	Connect	TCON_IP_v4		
3	InterfaceId	HW_ANY	64	64
4	ID	CONN_OUC	10	16#000A
5	ConnectionType	Byte	11	16#0B
6	ActiveEstablished	Bool	true	TRUE
7	RemoteAddress	IP_V4		
8	ADDR	Array[1..4] of Byte		
9	ADDR[1]	Byte	192	16#C0
10	ADDR[2]	Byte	168	16#A8
11	ADDR[3]	Byte	100	16#64
12	ADDR[4]	Byte	5	16#05
13	RemotePort	Uint	502	502
14	LocalPort	Uint	0	0

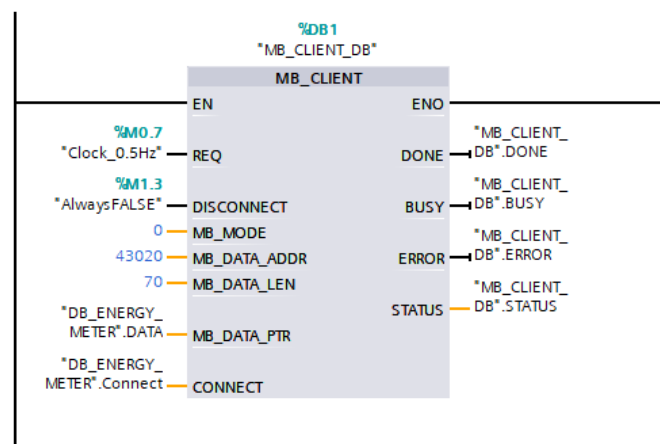
**Figura 73.** Ingreso de parámetros de conexión Modbus TCP/IP con servidor IFD9506.  
Fuente: Autoría propia.

Una vez establecida la configuración de los parámetros con el servidor, en la figura 74 adjunta se muestra la configuración para asignar la cantidad de registros que va a leer en nuestro medidor de parámetros, según el registro que le se haya colocado en MB\_CLIENT a nuestra dirección de datos. Se establece en el tipo de datos siendo un Array de 0 a la cantidad que se desea leer. Como es el caso de la imagen, se establecen 10 datos del tipo Real, ya que es un número en coma flotante que puede representar valores decimales con precisión, lo cual es crucial para mediciones que no son enteras.

15	DATA_CURRENT_MED	Array[0..10] of Real	
16	DATA_CURRENT_M...	Real	0.0
17	DATA_CURRENT_M...	Real	0.0
18	DATA_CURRENT_M...	Real	0.0
19	DATA_CURRENT_M...	Real	0.0
20	DATA_CURRENT_M...	Real	0.0
21	DATA_CURRENT_M...	Real	0.0
22	DATA_CURRENT_M...	Real	0.0
23	DATA_CURRENT_M...	Real	0.0
24	DATA_CURRENT_M...	Real	0.0
25	DATA_CURRENT_M...	Real	0.0
26	DATA_CURRENT_M...	Real	0.0

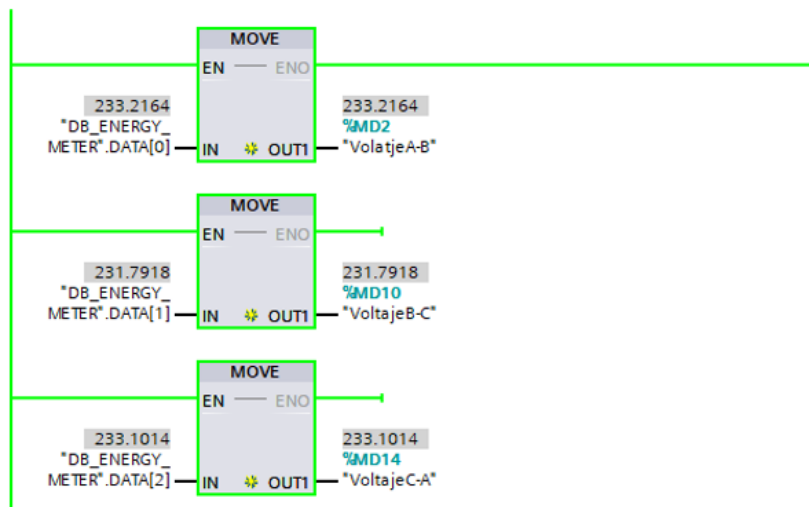
**Figura 74.** Cantidad de datos a leer por parte del medidor de parámetros.  
Fuente: Autoría propia.

Una vez ubicado nuestro bloque MB\_CLIENT en el segmento de nuestra programación se procede con la asignación a las entradas del bloque como se muestra en la figura 75. En nuestro lado izquierdo del bloque en “REQ” se agrega un Clock\_0.5Hz el cual cumple la función de enviar solicitudes de comunicación de Modbus al servidor por medio de pulsos, “Disconnect” controla la conexión con el servidor Modbus, esta entrada debe ser falsa para poder comunicarse con el servidor, “MB\_MODE” esta entrada indica que tipo de solicitud se debe enviar, se estableció el valor de 0 para leer datos del servidor, “MB\_DATA\_ADDR” es la ubicación del inicio de los datos que se están leyendo. Un valor de inicio común para los registros Modbus es 40.001, pero en este caso varía en función a la configuración de datos y el servidor. En “MB\_DATA\_LEN” representa el número de bits o palabras de datos que se manejan con esta solicitud, en las entradas restantes “MB\_DATA\_PTR” y “CONNECT” el primero actúa como un puntero hacia donde se almacenan los datos que se están comunicando y la otra entrada define la conexión entre el PLC cliente y el convertidor IFD9506 servidor. El lado izquierdo del bloque se establece por efecto las entradas que nos ofrece el bloque MB\_CLIENT.



**Figura 75.** Bloque de comunicación cliente MB\_CLIENT.  
Fuente: Autoría propia.

Para la lectura de los datos a través del HMI DOP-103WQ como se muestra en la figura 76 se coloca en nuestro segmento de programación la instrucción “MOVE” para transferir el contenido de la entrada IN que son nuestros datos registrados mediante el bloque de datos configurado para las lecturas de nuestro medidor de parámetros a la salida OUT1 que vendría a ser unas variables MD para hacer el llamado dentro del software DOPSoft para posterior mostrarlo en nuestro HMI físico. En la figura 77 se muestra los datos obtenidos del medidor de parámetros PM5110 tomando lecturas de nuestro motor trifásico.



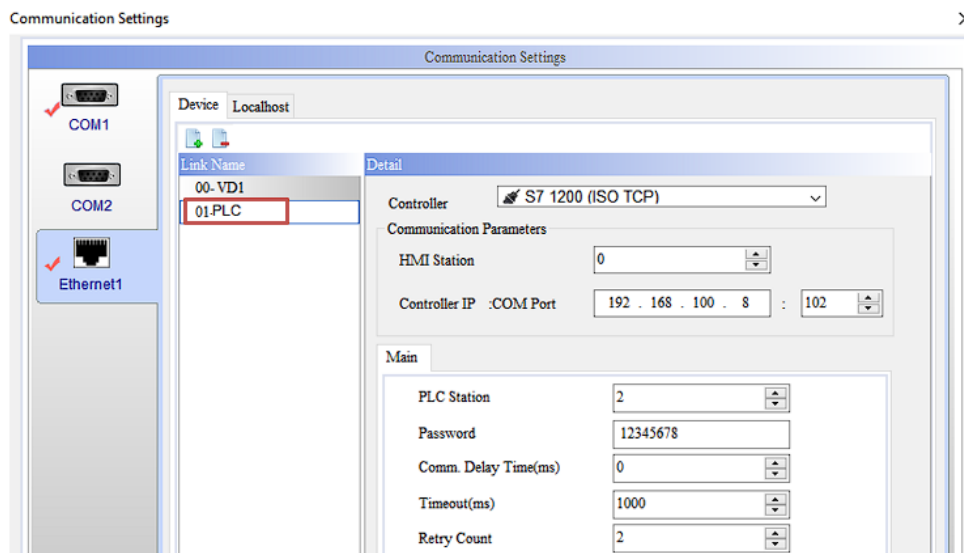
**Figura 76.** Instrucciones “MOVE” para lectura de datos en variables MD.  
Fuente: Autoría propia.

DB_ENERGY_METER					
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Valor de observación	Remanen...
1	Static				
2	Connect	TCON_IP_v4			
3	DATA	Array[0..70] ...			
4	DATA[0]	Real	0.0	233.031	
5	DATA[1]	Real	0.0	233.4497	
6	DATA[2]	Real	0.0	233.2874	
7	DATA[3]	Real	0.0	233.256	
8	DATA[4]	Real	0.0	16#FFCO_0000	
9	DATA[5]	Real	0.0	16#FFCO_0000	
10	DATA[6]	Real	0.0	16#FFCO_0000	
11	DATA[7]	Real	0.0	16#8000_8000	
12	DATA[8]	Real	0.0	16#FFCO_0000	
13	DATA[9]	Real	0.0	0.09649585	
14	DATA[10]	Real	0.0	0.08303968	
15	DATA[11]	Real	0.0	0.01344963	
16	DATA[12]	Real	0.0	0.09649585	
17	DATA[13]	Real	0.0	16#FFCO_0000	

**Figura 77.** Lecturas en tiempo real de la comunicación Modbus.  
Fuente: Autoría propia.

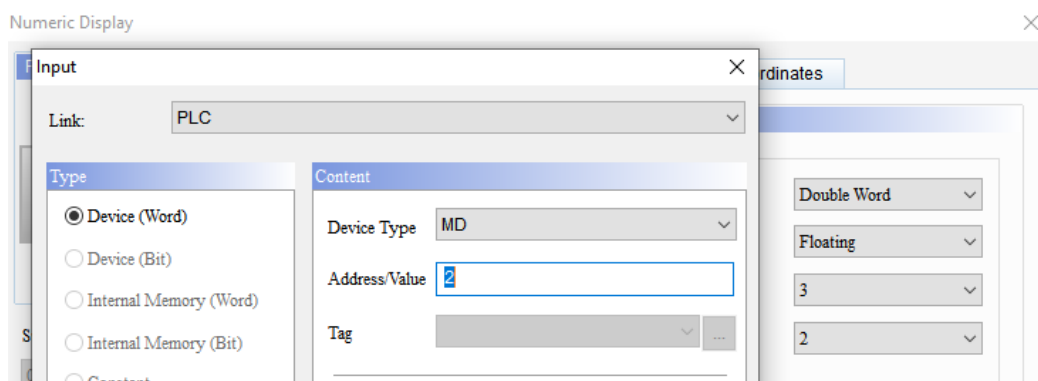
### 3.2.20 Programación del HMI Delta DOP-103WQ para el monitoreo local.

Para el sistema de monitoreo se procede a crear las pantallas en el mismo archivo donde se realizó las pantallas para el control del variador de frecuencia para el accionamiento del motor trifásico. Se asigna un nuevo enlace como se muestra en el recuadro rojo de la figura 78, se configura la comunicación para el PLC siendo la comunicación “S7 1200 (ISO TCP)” y se asigna la IP de nuestro PLC.



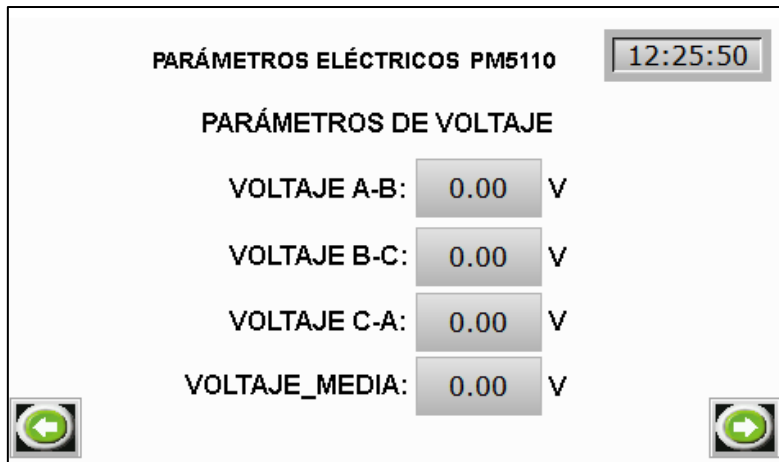
**Figura 78.** Asignación del enlace de conexión al PLC S7-1200.  
Fuente: Autoría propia.

Se procede a diseñar las respectivas pantallas en el cual vamos a monitorear voltaje, corriente y potencia. Se asigna los elementos correspondientes a la lectura de datos como es el “Numeric Display” y se procede agregar los variables MD correspondientes en formato “Double Word” y el formato el “Floating” como se muestra en la figura 79.

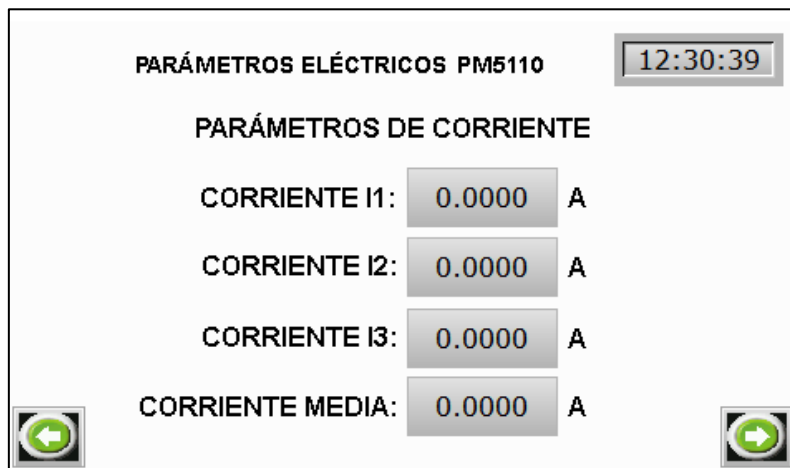


**Figura 79.** Asignación de variables MD del PLC para lectura de parámetros eléctricos.  
Fuente: Autoría propia.

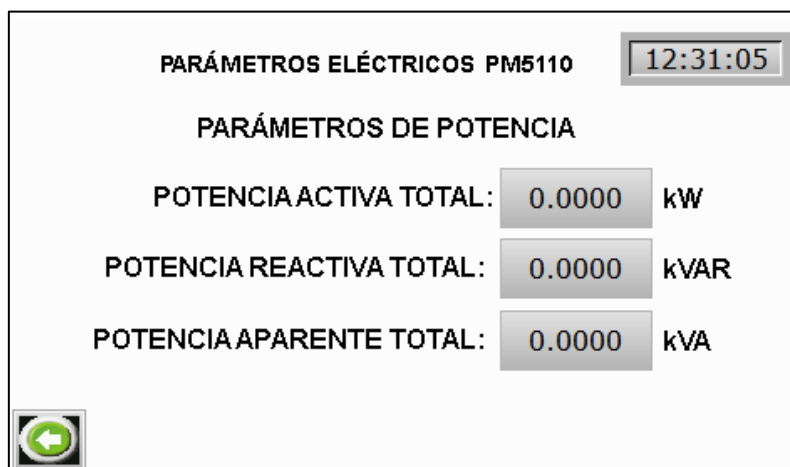
Una vez completada las pantallas para el monitoreo de las variables eléctricas en el software DOPSoft, se procede a mostrar el diseño final (Ver figuras 80 al 82).



**Figura 80.** Parámetros eléctricos de voltaje visto desde el software DOPSoft.  
Fuente: Autoría propia.



**Figura 81.** Parámetros eléctricos de corriente visto desde el software DOPSoft.  
Fuente: Autoría propia.



**Figura 82.** Parámetros eléctricos de potencia visto desde el software DOPSoft.  
Fuente: Autoría propia.

### 3.3 Pruebas y resultados

#### 3.3.1 Pruebas y resultados en la red de comunicación de los equipos conectados en Modbus TCP/IP

En la figura 31 se muestra el diagrama esquemático general donde se detalla las diferentes IP asignadas a cada uno de los equipos que se encuentran conectados a través de la red del módulo didáctico. Para comprobar el correcto funcionamiento de la comunicación, se procede a conectar al puerto ethernet del módulo mediante el cable RJ45 y verificar desde nuestro ordenador por medio del comando CMD, se realiza un PING y con la dirección IP de los dispositivos, se procede a comprobar los datos enviados y recibidos (Ver figura 83 al 85).

```
Administrador: Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.19045.4529]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Windows\system32>ping 192.168.100.8

Haciendo ping a 192.168.100.8 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.100.8: bytes=32 tiempo=1ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.100.8: bytes=32 tiempo=1ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.100.8: bytes=32 tiempo=1ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.100.8: bytes=32 tiempo=2ms TTL=255

Estadísticas de ping para 192.168.100.8:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms
```

**Figura 83.** Ping 192.168.100.8 -t perteneciente al PLC S7-1200.  
Fuente: Autoría propia.

```
Administrador: Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.19045.4529]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Windows\system32>ping 192.168.100.13

Haciendo ping a 192.168.100.13 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.100.13: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.100.13: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.100.13: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.100.13: bytes=32 tiempo<1m TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.100.13:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms
```

**Figura 84.** Ping 192.168.100.13 -t perteneciente al HMI DOP-103WQ.  
Fuente: Autoría propia.

```

CA: Administrador: Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.19045.4529]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Windows\system32>ping 192.168.100.5

Haciendo ping a 192.168.100.5 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.100.5: bytes=32 tiempo<1m TTL=255
Respuesta desde 192.168.100.5: bytes=32 tiempo<1m TTL=255
Respuesta desde 192.168.100.5: bytes=32 tiempo<1m TTL=255
Respuesta desde 192.168.100.5: bytes=32 tiempo<1m TTL=255

Estadísticas de ping para 192.168.100.5:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms

```

**Figura 85.** Ping 192.168.100.5 -t perteneciente al convertidor IFD9506.  
Fuente: Autoría propia.

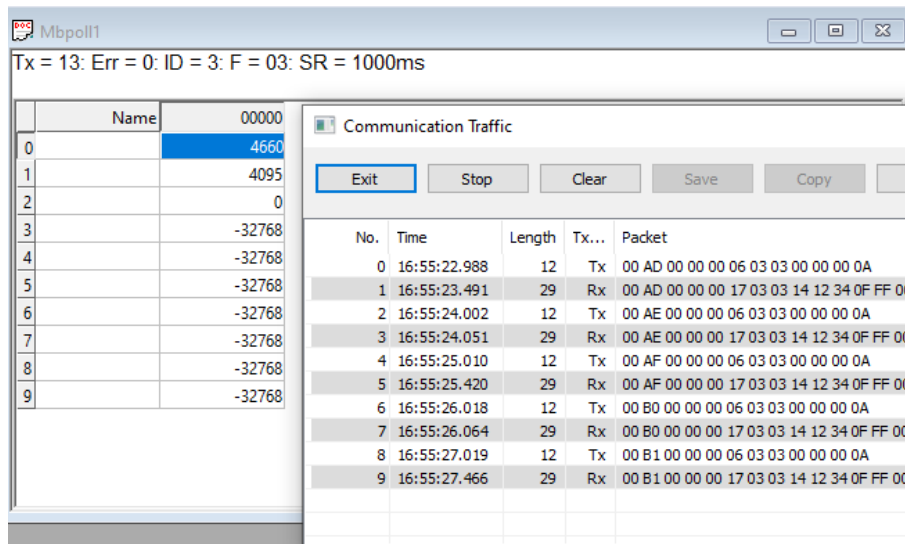
Los resultados del ping muestran que la conexión de los equipos es estable. No hubo pérdida de paquetes, la latencia es casi de 0 milisegundos y los equipos están en la misma red local, lo que garantiza una comunicación rápida y confiable.

### 3.3.2 Pruebas y resultados en la red de comunicación de los equipos serie conectados al convertidor IFD9506 usando el software Modbus Poll

Como se observa en la figura 31 del diagrama de general de la red Modbus donde se procede a mostrar las ID de cada uno de los equipos conectados en serie a través del convertidor IFD9506. Para comprobar el correcto funcionamiento de la comunicación de los equipos conectados, se establece la comunicación y se muestra el tráfico de comunicación para la transmisión y recepción de datos de los dispositivos conectados (Ver figura 86 y 87).

No.	Time	Length	Tx...	Packet
55	16:47:38.914	29	Rx	01 0A 00 00 00 17 02 03 14 00 00 00 00 00 02
56	16:47:39.515	12	Tx	01 0B 00 00 00 06 02 03 00 00 00 0A
57	16:47:39.784	29	Rx	01 0B 00 00 00 17 02 03 14 00 00 00 00 00 02
58	16:47:40.526	12	Tx	01 0C 00 00 00 06 02 03 00 00 00 0A
59	16:47:40.863	29	Rx	01 0C 00 00 00 17 02 03 14 00 00 00 00 00 02
60	16:47:41.527	12	Tx	01 0D 00 00 00 06 02 03 00 00 00 0A
61	16:47:41.788	29	Rx	01 0D 00 00 00 17 02 03 14 00 00 00 00 00 02
62	16:47:42.539	12	Tx	01 0E 00 00 00 06 02 03 00 00 00 0A
63	16:47:43.012	29	Rx	01 0E 00 00 00 17 02 03 14 00 00 00 00 00 02
64	16:47:43.550	12	Tx	01 0F 00 00 00 06 02 03 00 00 00 0A
65	16:47:43.784	29	Rx	01 0F 00 00 00 17 02 03 14 00 00 00 00 00 02
66	16:47:44.563	12	Tx	01 10 00 00 00 06 02 03 00 00 00 0A

**Figura 86.** Transmisión y recepción de datos del variador de frecuencia SINEE EM730.  
Fuente: Autoría propia.

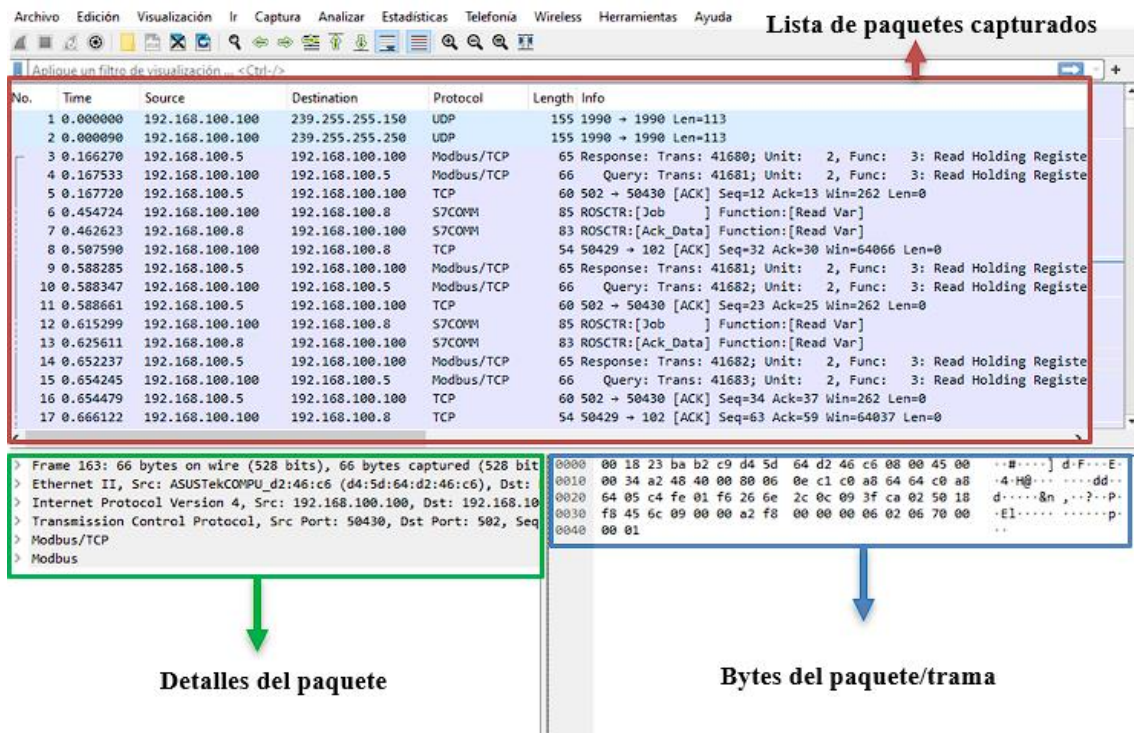


**Figura 87.** Transmisión y recepción de datos del medidor PM5110.  
*Fuente: Autoría propia.*

La prueba de comunicación en el puerto serie utilizando el convertidor IFD9506 y el software Modbus Poll mostro un rendimiento excelente. La transmisión y recepción de datos fueron rápidas y sin errores, confirmando la confiabilidad del sistema para aplicación de control y monitoreo industrial.

### 3.3.3 Análisis y resultados de tráfico de datos y latencias en el bus ethernet del sistema de monitoreo y control del motor trifásico

Para el análisis del tráfico de red, se utilizó el software Wireshark siendo un analizador de protocolo capaz de entender la estructura de los protocolos en el análisis de tráfico de red al momento que se envía una petición desde el HMI en Modbus TCP/IP a los equipos en Modbus RTU. Se puede mostrar los campos y capas que componen los paquetes monitorizados, el software conta de 3 ventanas en la figura 88 se observa el interfaz principal.



**Figura 88.** Estructura del software Wireshark.  
Fuente: Autoría propia.

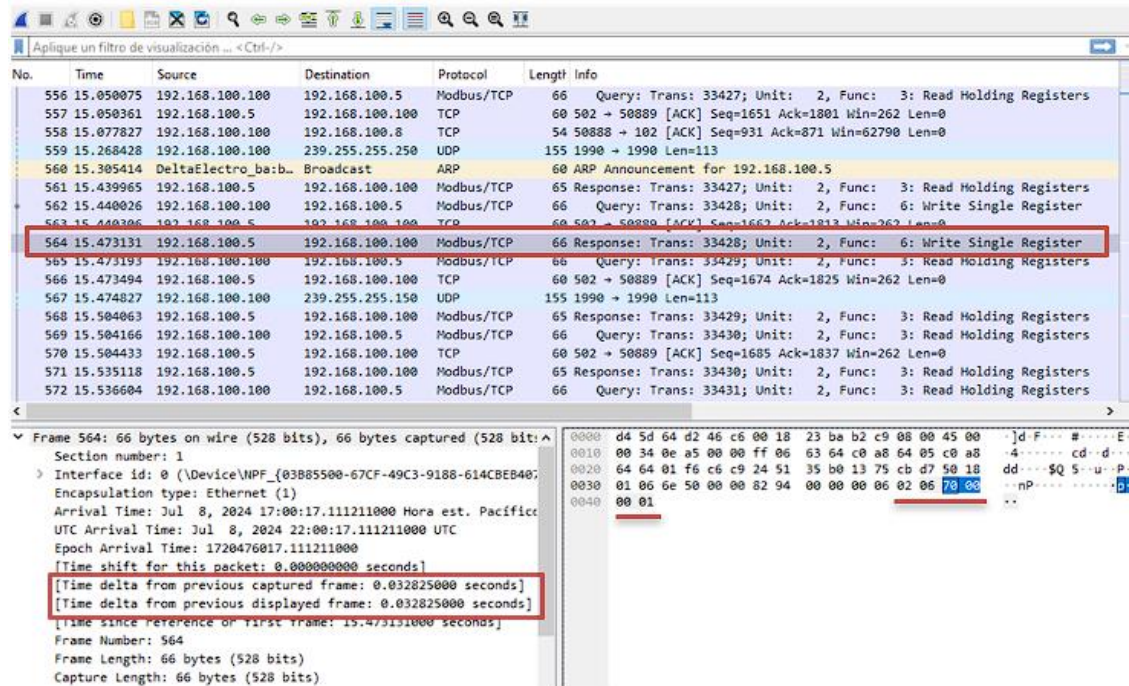
En el panel principal de paquetes capturados de la red en tiempo real muestra una tabla de las siguientes columnas:

- No: La cantidad de paquetes capturados en forma secuencial.
- Time: El tiempo que se capturo el paquete.
- Source: Es la dirección IP de donde se obtuvo el paquete.
- Destination: Es el destino a donde se envía el paquete.
- Protocol: Es el protocolo de comunicación utilizada para transmitir el paquete.
- Length: Es el tamaño del paquete.
- Info: Información del paquete.

### 3.3.3.1 Análisis de una petición enviada desde el HMI al convertidor IFD9506

Para comprender el análisis de la trama que se envía desde el HMI a los equipos conectados a la red Modbus se realizó un análisis detallado de la misma en la figura 89 se puede observar desde donde se envía la trama de datos en este caso desde el pc a través del software Dopsoft vinculado al HMI en el modo online correspondiente a la dirección IP 192.168.100.100 en donde se ejecuta el accionamiento del variador de frecuencia y muestra de lectura de los parámetros eléctricos, mientras que el destino es el convertidor IFD9506 que esta asignado con la dirección IP 192.168.100.5, se

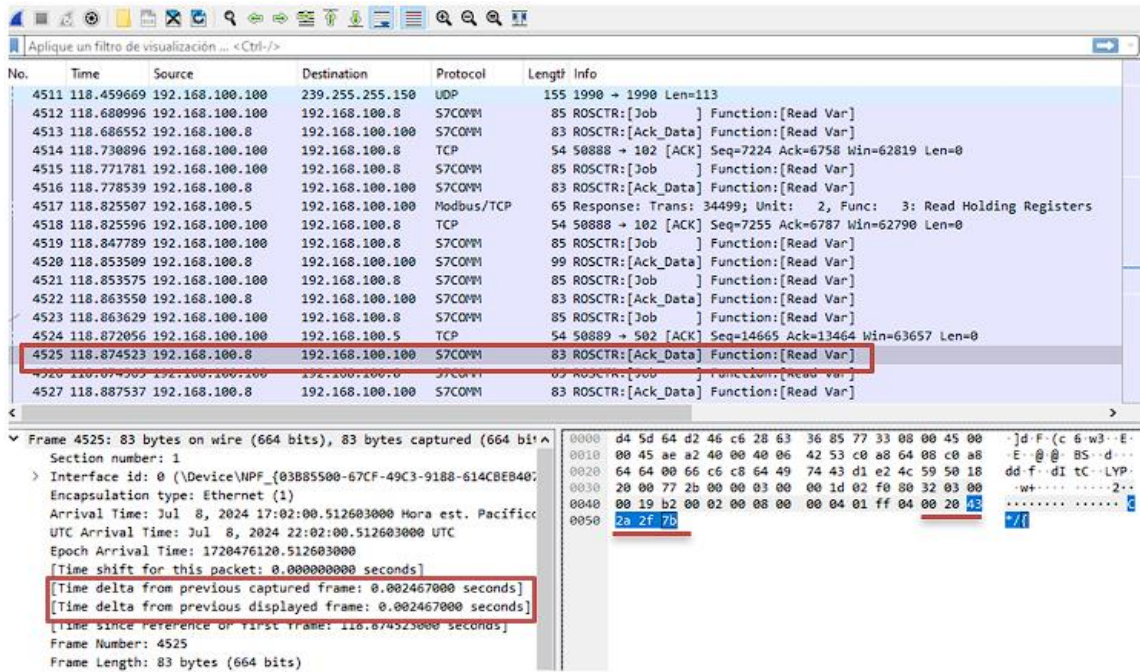
procede a observar el protocolo que se está utilizando que es el Modbus TCP este inicializa una consulta de escritura para el accionamiento de marcha en el registro, luego se envían los paquetes de datos, y finalmente se recibe el paquete de datos con la respuesta que se estableció la acción, en este caso el tamaño del paquete es de 66 bytes.



**Figura 89.** Datos capturados de la trama enviada desde el HMI a los equipos esclavos, escritura.  
Fuente: Autoría propia.

El tiempo que se demoró en realizar la instrucción de encender el variador de frecuencia para el accionamiento del motor fue de 0.032825000 segundos, se aprecia la trama capturada en Wireshark, la instrucción que se ejecuto fue encender el variador de frecuencia (hexadecimal 7000), con la acción de escribir en el registro (hexadecimal 06) del equipo con ID número 2 con un tamaño de paquete de 6 bytes y un bit de activación (Hexadecimal 01).

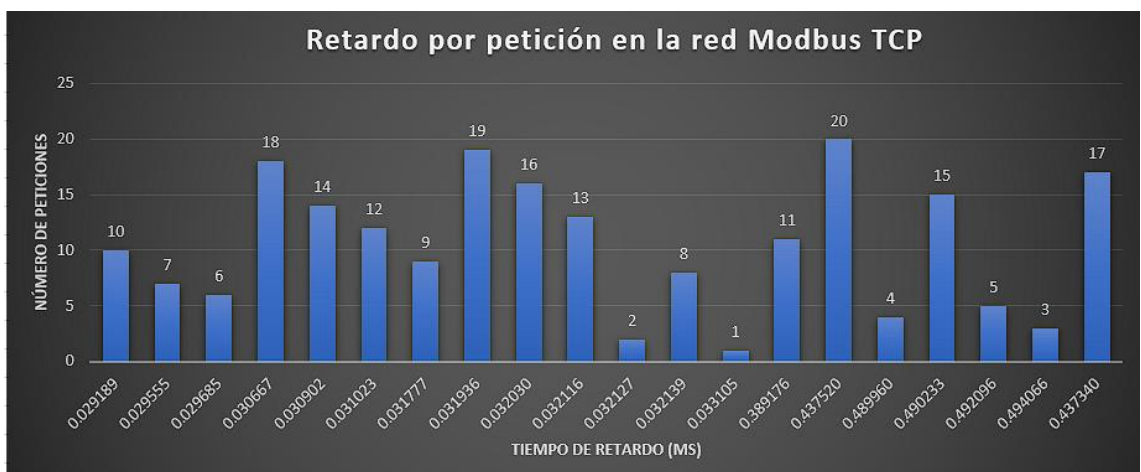
A continuación, se muestra los datos capturados para lectura del medidor de parámetros con el protocolo S7COMM establecido en el HMI y configurado como cliente el PLC S7-1200 asignada la IP 192.168.100.8. Este inicia una consulta de lectura de datos en el registro ya sea de voltaje, corriente o potencia, luego se envían los paquetes de datos, y finalmente se recibe el paquete de datos con la respuesta de la información proporcionada por el medidor de parámetros tal como se muestra en la trama de la figura 90, en este caso el tamaño del paquete es de 83 bytes.



**Figura 90.** Datos capturados de la trama enviada desde el HMI a los equipos esclavos, lectura.  
Fuente: Autoría propia.

El tiempo que se demoró en realizar la instrucción de lectura de datos del medidor de parámetros en el HMI fue de 0.002467000 segundos, se aprecia la trama capturada en Wireshark, la instrucción dentro del PLC es mostrar los valores que se están enviando al bloque de datos y mostrarlos HMI en tiempo real y en la parte de la trama se observa el recibido siendo un valor hexadecimal de voltaje.

Para establecer un promedio del análisis se realizó una toma de datos con 20 muestras con peticiones diferentes en la figura 91 se observa cuanto es el retardo de las tramas por cada instrucción que se realiza desde el HMI hacia los equipos esclavos en la red Modbus.



**Figura 91.** Tiempos de retardo de varias peticiones realizadas desde el HMI.  
Fuente: Autoría propia.

Una vez realizada la toma de datos de la red tomando en cuenta el número de peticiones que se realiza desde HMI se tiene un promedio de 0.2461427 milisegundos que demora en realizar una acción el sistema del módulo didáctico.

### 3.3.3 Prueba y resultados de confiabilidad de la red industrial

Una vez realizadas las pruebas de confiabilidad en la red industrial que utiliza los protocolos Modbus RTU y TCP/IP, es importante considerar una variedad de escenarios que abarquen diferentes aspectos de rendimiento y confiabilidad. Por ello, se realizaron pruebas básicas detalladas en la tabla 13, dando resultados favorables en cuanto a la capacidad de los dispositivos para reconectarse automáticamente tras una pérdida de conexión o fallo, ya sea que se simule un fallo en un equipo o un reinicio, la comunicación se restablece rápidamente y el sistema vuelve a operar. Asimismo, la disponibilidad del sistema se evaluó durante un período de horas, mostrando un tiempo de funcionamiento estable, al igual que los tiempos de respuesta y el impacto de la carga en respuesta a la frecuencia. Cabe recalcar que alcanzar una confiabilidad del 100% en la red industrial requiere considerar muchos más aspectos relacionados con la red.

*Tabla 13. Resultados de prueba de confiabilidad.*

Escenario de Prueba	Métrica Evaluada	Resultado
Fallo o reinicio de dispositivo	Evaluar la capacidad de recuperación y redundancia del sistema	3 s
Tiempo de respuesta de equipos Modbus TCP/IP	Tiempo máximo en ms	0 a 1 ms
Disponibilidad del sistema	% del tiempo durante la prueba	91,67%
Carga de tráfico sostenida en equipos Modbus RTU	Evaluar estabilidad a largo plazo	Estable
Impacto de la carga en la respuesta	Niveles de carga para evaluar el tiempo de respuesta del variador SINEE	Carga ligera: 0.0214 ms
		Carga moderada: 0.0280 ms
		Carga pesada: 0.0219 ms

*Fuente: Autoría propia.*

### 3.3.4 Pruebas y resultados de control del variador SINEE EM730 para el accionamiento del motor trifásico mediante el interfaz HMI.

Se realizaron las respectivas pruebas en el sistema de marcha, paro, inversión de giro y regulación de frecuencia, el tiempo de respuesta fue satisfactoria mediante la comunicación Modbus RTU-TCP/IP establecida para el accionamiento del variador de

frecuencia el cual energiza el motor trifásico para lograr el funcionamiento de arranque. Al igual que la muestra de frecuencia en tiempo real (Ver figura 92 y 93).



*Figura 92. Portada del proyecto de integración curricular  
Fuente: Autoría propia.*



*Figura 93. Monitoreo y control del motor trifásico de forma física a través del HMI-DOP103WQ y el variador SINEE EM730.  
Fuente: Autoría propia.*

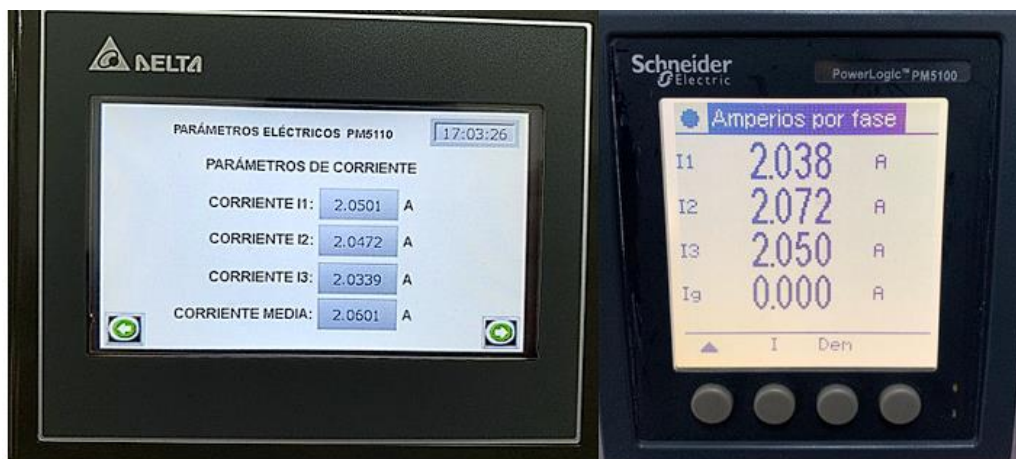
### **3.3.5 Pruebas y resultados del sistema de monitoreo de variables eléctricas de un motor trifásico mediante la interfaz HMI.**

Se realizaron pruebas del sistema de monitoreo mediante la interfaz HMI, centradas en la medición de cambios de frecuencia. Los resultados destacan una observación precisa y detallada de variables eléctricas, incluyendo corriente, voltaje y potencia, documentadas en las figuras 94 al 96. La interfaz HMI facilitó una monitorización efectiva en tiempo

real, permitiendo detectar de manera temprana cualquier desviación de los parámetros establecidos.



**Figura 94.** Monitoreo de parámetros eléctricos de voltajes de forma física a través del HMI DOP-103WQ y el medido PM5110.  
Fuente: Autoría propia.



**Figura 95.** Monitoreo de parámetros eléctricos de corrientes de forma física a través del HMI DOP-103WQ y el medido PM5110.  
Fuente: Autoría propia.



**Figura 96.** Monitoreo de parámetros eléctricos de potencias de forma física a través del HMI DOP-103WQ y el medido PM5110.  
*Fuente: Autoría propia.*

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Se concluye que, tras el estudio realizado para la selección de equipos industriales, se toma en cuenta el mercado abarcando una variedad de dispositivos de diferentes marcas, precios y características. En la investigación realizada, se seleccionan los dispositivos en función de nuestro ambiente de trabajo y del cumplimiento con las características técnicas requeridas. Por ejemplo, en el caso del variador de frecuencia, al no contar con una red trifásica en las instalaciones de los laboratorios de automatización y teniendo nuestro motor trifásico que vamos a controlar y monitorear, se decide utilizar un variador EM730 de entrada bifásica a trifásica. Asimismo, se considera el uso de comunicación serie con puerto RS-485. En los equipos de control y supervisión, como el PLC S7-1200 y el HMI DOP-103WQ, así como el equipo de medición PM5110, se considera su excelente integración con una amplia gama de dispositivos periféricos, velocidad de procesamiento y software de programación previamente utilizado en el ámbito académico. Además, se realiza una investigación para la integración de ambos protocolos de comunicación Modbus RTU y TCP/IP, con una transferencia de datos rápida y segura adaptada a las características técnicas de cada uno de los equipos mencionados. Se tiene en cuenta la prioridad de comunicación Ethernet y RS-485. El dispositivo IFD9506 cumple con las características de interoperabilidad al convertir ambos protocolos de comunicación y permitir la comunicación entre ellos. Las velocidades de operación pueden alcanzar hasta 115200 bits por segundo en protocolos Modbus RTU y en redes Ethernet TCP/IP soporta velocidades estándar de 10 hasta 100 Mbps, e incluso 1000 Mbps, dependiendo de las especificaciones de los dispositivos conectados y de la red a establecer.
- En lo que respecta a la implementación de la estructura del módulo didáctico, se puede concluir que, mediante el uso del aluminio compuesto como material principal, se obtienen significativas ventajas técnicas. Este material permite la construcción del módulo con un acabado ligero y robusto, lo que facilita su manejo y transporte sin comprometer su durabilidad y resistencia, siendo capaz

de soportar los componentes necesarios que se integren al módulo didáctico. El módulo opera a 220V, una elección que garantiza una capacidad adecuada para soportar la demanda energética de los equipos integrados. Se implementan protecciones como breakers y fusibles para salvaguardar el sistema contra sobrecargas y prevenir daños eléctricos. La estructura del módulo está diseñada con un aislamiento específico que protege contra posibles interferencias electromagnéticas, especialmente aquellas generadas por el motor trifásico con carga inductiva, asegurando la integridad de las comunicaciones y operaciones. El uso de ruedas de silicona con aislamiento asegura que el módulo no tenga contacto directo con el piso, minimizando el riesgo de sobretensiones y garantizando una mayor seguridad en las instalaciones eléctricas. Este detalle es crucial para mantener la estabilidad y seguridad eléctrica del módulo. Se elige el aluminio compuesto por su resistencia a la corrosión y al desgaste, lo que prolonga la vida útil del módulo y se adapta a las necesidades específicas del entorno educativo. Además, su capacidad de proporcionar aislamiento térmico y acústico contribuye a un ambiente de trabajo más seguro y eficiente. En lo que respecta a las conexiones eléctricas, se realiza la elección del calibre respectivo, utilizando principalmente calibres 12 y 18. Esta selección se basa en criterios técnicos para asegurar la conducción de corriente y resistencia eléctrica, empleando el calibre 12 para las conexiones principales de alta carga, como aquellas asociadas al motor trifásico y equipos que demandan mayor corriente como el variador y el medidor de parámetros. Por otro lado, el calibre 18 se utiliza en las conexiones de menor carga, garantizando eficiencia energética y minimizando pérdidas por resistencia.

- En la implementación de la red industrial Modbus RTU y TCP/IP, se determinan diferentes topologías de red. En el caso de Modbus TCP/IP, se utiliza una topología estrella, donde todos los equipos están conectados a través de un nodo central. Esto permite un intercambio eficiente de datos siendo un cable de categoría 5, siguiendo el estándar EIA/TIA 568B de par trenzado. Capaz de alcanzar velocidades de 10 hasta 100Mbps. Por otro lado, Modbus RTU emplea una topología Daisy chain, donde los equipos se conectan en serie mediante 2 hilos, según el estándar de comunicación RS-485. Este estándar permite la conexión de hasta 32 dispositivos en la misma red, incluyendo el variador de frecuencia y el medidor de parámetros interconectados al convertidor Delta IFD9506 por su puerto serie, así como los equipos de TCP/IP a través del puerto

Ethernet. En cuanto a la configuración de la trama de comunicación de Modbus RTU, los bytes se envían en formato binario con redundancia cíclica (RC). La trama incluye 1 bit de inicio, 8 bits de datos, paridad impar y 1 bit de parada, y utiliza una velocidad de transmisión de 9600 baudios por segundo. En el caso de Modbus TCP/IP, la trama RTU se convierte en la capa de aplicación del modelo OSI para ser transmitida a través de la capa de transporte utilizando el protocolo IP.

- Al evaluar el funcionamiento y el comportamiento del sistema de la red industrial, se consideran una variedad de escenarios que abarcan diferentes aspectos de rendimiento y confiabilidad. Uno de ellos consiste en evaluar la capacidad de recuperación y redundancia del sistema frente a fallas o reinicios de equipos que conforman la red, asegurando estabilidad inmediata tras dichas acciones que afecten a la red. Además, se realiza una evaluación de la comunicación de los equipos conectados a la red Modbus TCP/IP mediante un ping y el software Wireshark a sus respectivas IPs. Los resultados muestran ninguna pérdida de paquetes y una latencia promedio de 0.2461427 milisegundos, garantizando una comunicación eficiente entre los equipos. Por otro lado, para los equipos RTU se lleva a cabo una prueba de tráfico de comunicación para el envío y recepción de datos, demostrando estabilidad a largo plazo. Estos resultados se reflejan en el control del motor trifásico y el monitoreo de las variables eléctricas a través del HMI.

## 4.2 Recomendaciones

- Implementar medidas adicionales de seguridad es fundamental para proteger la integridad de los datos y asegurar la robustez del sistema frente a posibles interferencias electromagnéticas y otras amenazas. Estas medidas son esenciales para mantener un entorno de aprendizaje seguro y eficiente.
- Considerar la implementación de más equipos y dispositivos adicionales para las prácticas permitiendo una experiencia de aprendizaje más amplia y diversa, incluyendo la integración de otros protocolos de comunicación y tecnologías emergentes en la automatización industrial.
- Integrar tecnologías de Internet Industrial de las Cosas (IIoT) para permitir la monitorización y el control remoto del sistema a través de aplicaciones móviles o web. Los estudiantes tendrán experiencia práctica con tecnologías emergentes cada vez más relevantes en la industria de la automatización y el control gracias a esta integración.
- Simular varios escenarios y analizar los datos del motor trifásico a través de un sistema SCADA. El uso de SCADA permitirá a los estudiantes adquirir habilidades en modelado predictivo y optimización de sistemas, que son fundamentales en la formación de ingenieros orientados a la automatización industrial

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Antoni. Garrell Guiu y L. Guilera Agüella, “La industria 4.0 en la sociedad digital”, p. 227, 2019, Consultado: el 23 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/upse/106378>
- [2] G. P. Chamorro y H. Toro, “PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL”, Consultado: el 23 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/1874/Informe%20de%20seminario.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Los%20sistemas%20de%20comunicaci%C3%B3n%20industrial,de%20reglas%20que%20permite%20el>
- [3] Logicbus, “Modbus RTU/TCP”. Consultado: el 23 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.logicbus.com.mx/Modbus.php>
- [4] G. B. M. Guarese, F. G. Sieben, T. Webber, M. R. Dillenburg, y C. Marcon, “Exploiting Modbus protocol in wired and wireless multilevel communication architecture”, *Brazilian Symposium on Computing System Engineering, SBESC*, pp. 13–18, 2012, doi: 10.1109/SBESC.2012.12.
- [5] S. Ariyathunge, H. Don, N. S. Priyankara, H. M. K. K. M. B. Herath, S. V. A. S. H. Ariyathunge, y H. D. N. S. Priyankara, “Development of a Data Acquisition and Monitoring System Based on MODBUS RTU Communication Protocol”, *Int J Innov Sci Res Technol*, vol. 5, núm. 6, 2020, doi: 10.38124/IJISRT20JUN479.
- [6] Logicbus, “Control de temperatura en hornos industriales”. Consultado: el 23 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.logicbus.com.mx/blog/control-de-temperatura-en-hornos-industriales-con-la-aplicacion-icp-das-dali-gateway/>
- [7] G. H. M. E. R. M. T. G. Flavio Morales, “Sistema de control y monitoreo bajo los protocolos ethernet y modbus rtu en el control de sistemas de cintas transportadoras para línea embotelladora de bebidas”. Consultado: el 23 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/339956581\\_Sistema\\_de\\_control\\_y\\_monitoreo\\_bajo\\_los\\_protocolos\\_ethernet\\_y\\_modbus\\_rtu\\_en\\_el\\_control\\_de\\_sistemas\\_de\\_cintas\\_transportadoras\\_para\\_linea\\_embotelladora\\_de\\_bebidas](https://www.researchgate.net/publication/339956581_Sistema_de_control_y_monitoreo_bajo_los_protocolos_ethernet_y_modbus_rtu_en_el_control_de_sistemas_de_cintas_transportadoras_para_linea_embotelladora_de_bebidas)
- [8] “Comunicación Ethernet - EcoStruxure Panel Server User Guide”. Consultado: el 24 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.productinfo.schneider-electric.com/ecostruxurepanelserverguide/docA0172-ecostruxure-panel-server-user-guide/Spanish/DOCA0172%20EcoStruxure%20Panel%20Server%20Universal%20User%20Guide\\_es\\_0000642628.xml/\\$/TPC\\_PanelServerEthernetCommunication-34532ECO#TPC\\_PanelServerEthernetCommunication-34532ECO2](https://www.productinfo.schneider-electric.com/ecostruxurepanelserverguide/docA0172-ecostruxure-panel-server-user-guide/Spanish/DOCA0172%20EcoStruxure%20Panel%20Server%20Universal%20User%20Guide_es_0000642628.xml/$/TPC_PanelServerEthernetCommunication-34532ECO#TPC_PanelServerEthernetCommunication-34532ECO2)
- [9] A. F. R. Olaya, A. B. López, y F. G. G. Moreno, “Implementación de una Red MODBUS/TCP”, *Ingeniería y Competitividad*, vol. 6, núm. 2, pp. 35–44, jun. 2011, doi: 10.25100/iyc.v6i2.2277.
- [10] “La solución de control abierta facilita la comunicación en todo el sistema - Automatización en la Industria 4.0”. Consultado: el 24 de septiembre de 2023. [En línea].

Disponible en: <https://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/467407-La-solucion-de-control-abierta-facilita-la-comunicacion-en-todo-el-sistema.html>

- [11] “La importancia de los sistemas de control en los proyectos de alta potencia”. Consultado: el 24 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://energetica21.com/articulos-y-entrevistas-online-ver/la-importancia-de-los-sistemas-de-control-en-los-proyectos-de-alta-potencia->
- [12] D. F. Aguirre Espin, “Desarrollo de una herramienta computacional que contenga comunicación Modbus RTU y Modbus TCP para la implementación de sistemas de control supervisorio y adquisición de datos a bajo costo”, nov. 2018, Consultado: el 24 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19850>
- [13] “Monitoreo de activos petroleros - Telemetic - Telemetria y tecnología especializada”. Consultado: el 24 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.telemetic.com.mx/monitoreo-de-activos-petroleros.html>
- [14] “Desarrollo de aplicaciones con Modbus - NI”. Consultado: el 29 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ni.com/es/shop/seamlessly-connect-to-third-party-devices-and-supervisory-system/application-development-with-modbus.html>
- [15] “Modbus RTU vs TCP: A Comprehensive Comparison of Industrial Protocols”. Consultado: el 29 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.wevolver.com/article/modbus-rtu-vs-tcp-a-comprehensive-comparison-of-industrial-protocols>
- [16] “Introducción a la Automatización Industrial”. Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://bookdown.org/alberto\\_brunete/intro\\_automatica/automatizacionindustrial.html](https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/automatizacionindustrial.html)
- [17] H. A. Toro Valderrama y G. L. Pardo Chamorro, “Protocolos de comunicación industrial”. Consultado: el 26 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1874>
- [18] R. Caler Rubio, “Análisis y estudio de comunicaciones industriales para implementar arquitectura de comunicaciones estándar en Planta Estándar de Ciclo Combinado”, 2015, Consultado: el 26 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/29059>
- [19] G. B. López y L. E. Velasteguí, “Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0”, *AlfaPublicaciones*, vol. 3, núm. 3.1, pp. 98–115, ago. 2021, doi: 10.33262/ap.v3i3.1.80.
- [20] “Modelos y conectividad en el ámbito de procesos industriales”. Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/18171>
- [21] CTQ, “Automatización Industrial”. Consultado: el 26 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ctq.com.mx/objetivos-de-la-automatizacion-industrial/>


- [22] Altamirano Suiler, "PROCOLO MODBUS". Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://blog.suileraltamirano.com/protocolo-modbus/>
- [23] M. Cerezuela Martínez, "Protocolos de comunicación en automatización industrial", ene. 2015, Consultado: el 26 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/4338>
- [24] "HMI/SCADA Design and Programming". Consultado: el 26 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [http://adsengineeringinc.com/scada\\_prg.html](http://adsengineeringinc.com/scada_prg.html)
- [25] "Profibus – PI North America". Consultado: el 26 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://us.profinet.com/technology/profibus/>
- [26] "Modbus ASCII vs Modbus RTU vs Modbus TCP/IP - The Automization". Consultado: el 26 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://theautomization.com/modbus-ascii-vs-modbus-rtu-vs-modbus-tcpip/>
- [27] "Universidad Técnica de Ambato: Desarrollo de un scada para una planta simulada de producción de vidrio templado". Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29164>
- [28] Jody Muelaner, "Topologías de anillo patentadas en redes de automatización". Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.digikey.com/es/articles/what-are-proprietary-ring-topologies-in-automation-networks>
- [29] J. Mayné, "Sistemas de Comunicaciones", 2009.
- [30] Schneider Electric, "Principio maestro-esclavo de Modbus". Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://product-help.schneider-electric.com/ED/ES\\_Power/PP-HJL\\_Modbus\\_Guide/EDMS/0611IB1303/0611IB13xx/NSX\\_MB\\_Modbus\\_Protocol/NSX\\_MB\\_Modbus\\_Protocol-2.htm](https://product-help.schneider-electric.com/ED/ES_Power/PP-HJL_Modbus_Guide/EDMS/0611IB1303/0611IB13xx/NSX_MB_Modbus_Protocol/NSX_MB_Modbus_Protocol-2.htm)
- [31] DigiKey, "Modbus TCP/RTU a puerta de enlace Ethernet/IP". Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.digikey.com/es/product-highlight/p/phoenix-contact/modbus-tcp-rtu-to-ethernet-ip-gateway>
- [32] Solorzano Cristian y Ochoca Gabriel, "Universidad Politécnica Salesiana: Diseño e implementación de una red para controladores lógicos programables multimarca". Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24931>
- [33] J. M. Gallegos Ramírez y E. H. Delgado Guerrero, "Diseño e implementación de una red industrial Modbus para el control de actuadores trifásicos en el laboratorio de fabricación flexible.", 2015, Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10386>
- [34] "Integrated Operator Panels (HMI)". Consultado: el 26 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.quin.co.uk/products/hmi-operator-panels/>
- [35] J. J. Alvarez Gonzáles y R. S. Castro Chambi, "Diseño e implementación de un módulo didáctico de automatización por redes de comunicación industrial PROFINET, PROFIBUS, MODBUS mediante PLC y periféricos maestro y esclavo", *Universidad Católica de Santa*

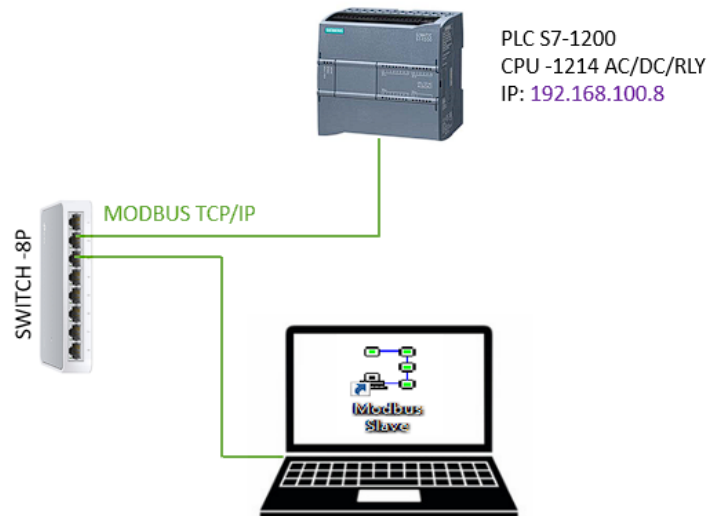
- María*, ago. 2021, Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11103>
- [36] O. Amado Ávila Tecocoatzi y M. Marco Antonio Sobrevilla González, “Desarrollo e implementación de redes industriales utilizando el protocolo MODBUS para la transferencia de datos de control de un VFD entre dos PLCS”. 2021. Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/14962>
- [37] C. De Mecatrónica, J. P. Sumba, S. I. E. Leonardo, y A. Cruz, “Automatización e integración de una máquina trituradora de plástico a una red de comunicación industrial”, 2023, Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26047>
- [38] Morales Flavio, Haro German, Toasa Renato, y Escalona Millard, “Sistema de control y monitoreo bajo los protocolos ethernet y modbus rtu en el control de sistemas de cintas transportadoras para línea embotelladora de bebidas”. Consultado: el 22 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/339956581\\_Sistema\\_de\\_control\\_y\\_monitoreo\\_bajo\\_los\\_protocolos\\_ethernet\\_y\\_modbus\\_rtu\\_en\\_el\\_control\\_de\\_sistemas\\_de\\_cintas\\_transportadoras\\_para\\_linea\\_embotelladora\\_de\\_bebidas](https://www.researchgate.net/publication/339956581_Sistema_de_control_y_monitoreo_bajo_los_protocolos_ethernet_y_modbus_rtu_en_el_control_de_sistemas_de_cintas_transportadoras_para_linea_embotelladora_de_bebidas)
- [39] “Delta DRL-24V75W1AZ DIN Rail Lyte Series - Buy Delta AC Drives, VFDs and Download Delta Manuals Online”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://deltaacdrives.com/delta-drl-24v75w1az-din-rail-lyte-series/>
- [40] “CFS Multi-Mount Current Transformer - Camsco Electric Co., Ltd.” Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.camsco.com.tw/spa/current-coil/cfs-multi-mount-current-transformer.html>
- [41] “Interruptor automatico serie NXB 63 | Chint Electric”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.chint.eu/es/material-electrico/aparamenta-modular/interruptores-automaticos-magnetotermicos/serie-nxb-63>
- [42] “EZ9F34232 - Interruptor termomagnético Easy9 2P 32A 4,5kA curva C | Schneider Electric Argentina”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/ar/es/product/EZ9F34232/interruptor-termomagn%C3%A9tico-easy9-2p-32a-45ka-curva-c/>
- [43] “CPU 1214C - Global eBusiness - Siemens WW”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ww/catalog/products/10045652>
- [44] “SINEE Chinese VFD,Dedicated VFD,Servo System, Solar Pump Inverter Manufacturer”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.sineedrive.com/>
- [45] “Products - Touch Panel HMI - Human Machine Interfaces - Delta”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.deltaww.com/en-US/products/Touch-Panel-HMI-Human-Machine-Interfaces/ALL/>

- [46] “TL-SF1008D | Switch de sobremesa con 8 puertos a 10/100 Mbps | TP-Link España”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.tp-link.com/es/home-networking/soho-switch/tl-sf1008d/>
- [47] “Products - Industrial Fieldbus Solution - Delta”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.deltaww.com/en-US/products/Industrial-Fieldbus-Solution/36>
- [48] “METSEPM5100 - Central de medida PM5100 CI0.5 | Schneider Electric Chile”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/cl/es/product/METSEPM5100/central-de-medida-pm5100-ci0-5/>
- [49] “SIMOTICS Motors - Siemens Global”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.siemens.com/global/en/products/drives/electric-motors.html>
- [50] “Cade Simu – Software ”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cade-simu.com/>
- [51] “Autodesk Fusion 360”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ESP/>
- [52] “Delta”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.deltaww.com/en-US/index>
- [53] “Modbus test and simulation”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.modbustools.com/index.html>
- [54] “STEP 7 V16, S7-PLCSIM V16 y WinCC V16 - ID: 109775861 - Industry Support Siemens”. Consultado: el 17 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109775861/updates-para-step-7-v16-s7-plcsim-v16-y-wincc-v16?dti=0&lc=es-NI>
- [55] “Wireshark ”. Consultado: el 8 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.wireshark.org/about.html>

## ANEXOS

### Anexo 1. Prácticas elaboradas para el módulo didáctico.

 <p><b>UPSE</b> UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</p>	<h3>GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO</h3>	
<p><b>CARRERA:</b> Ingeniería en Electrónica y automatización</p>		
<p><b>NRO. PRÁCTICA:</b></p>	<p>1</p>	<p><b>TÍTULO PRÁCTICA:</b> “Comunicación MODBUS TCP/IP– S7-1200 con el software Modbus Slave”</p>
<p><b>OBJETIVOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer la comunicación cliente – servidor entre PLC y PC</li> <li>• Configurar al PLC como cliente Modbus TCP/IP.</li> <li>• Adaptar el software Modbus Slave para la recepción y envío de datos.</li> </ul>		
<p><b>INSTRUCCIONES:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. Alistar los elementos a utilizar para la práctica, energizando con 220 V.</b></li> <li><b>2. Instalar correctamente los softwares a utilizar con sus respectivos drivers.</b></li> <li><b>3. Comprobar las diferentes conexiones para un correcto funcionamiento de la práctica.</b></li> <li><b>4. Cumplir el procedimiento de la guía paso a paso de forma ordenada.</b></li> </ol>		
<p><b>MATERIALES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un PLC Siemens S7-1200</li> <li>• Software TIA Portal V16</li> <li>• PC con programa Modbus Slave.</li> </ul> <p><b>DESCRIPCIÓN:</b></p> <p>Se debe enviar 10 datos y recibir 10 datos desde el PLC hacia la PC o viceversa donde se deben guardar los registros enviados tanto en el software Modbus Slave como en el PLC, para esto se debe configurar la PC como servidor y al PLC cliente. Se podrá enviar y recibir la información. La señal de habilitación para establecer la comunicación Modbus TCP/IP es a través del Ethernet.</p> <p>La figura 97 muestra el diagrama de red a implementar.</p>		



*Figura 97. Diagrama esquemático de la red Modbus-Práctica 1.*

### **Paso 1.**

Una vez subidos los breakers de protección correspondiente a la práctica y conectar un cable Ethernet del módulo didáctico a la red del laboratorio de automatización para proceder a conectarse por medio de wifi o puerto LAN a través de laptop o PC con los puertos libres del laboratorio como se muestra en la figura 98.

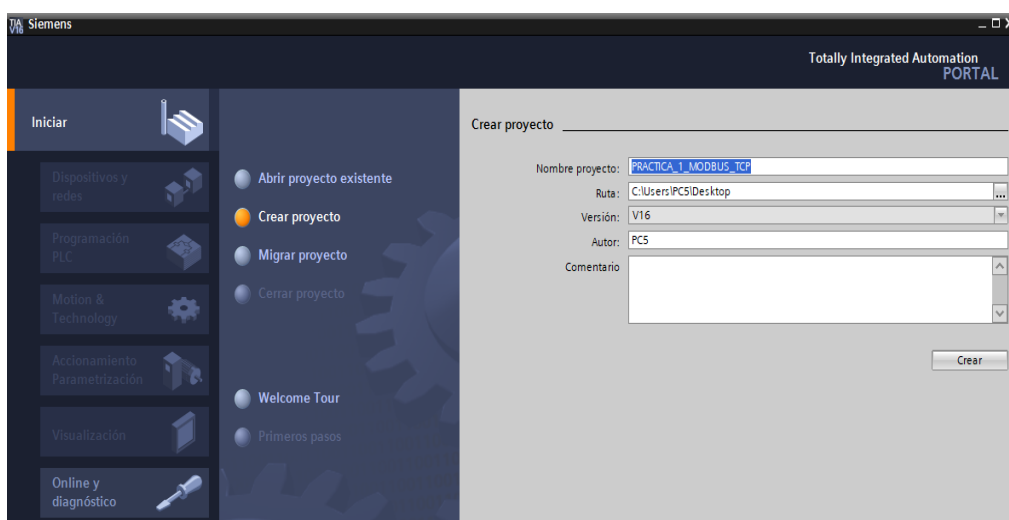


*Figura 98. Conexión Ethernet al módulo didáctico.*

## Paso 2.

Se procede a ejecutar el software de TIA PORTAL V.16 desde el escritorio, luego se da clic en “Iniciar”, luego clic en “Crear proyecto”, aquí se deberá llenar los campos necesarios como “Nombre de proyecto”, “Ruta “donde se va a guardar, “Autor” y “Comentario”.

Para finalizar la creación del archivo del proyecto se debe darle en la opción “Crear”, ubicado en la parte inferior derecha de la pantalla. Es importante mencionar que para las prácticas a realizar se creara en proyectos diferentes para evitar confusiones al momento del desarrollo, facilitando el modo de operación y control de las prácticas establecidas (Ver figura 99).



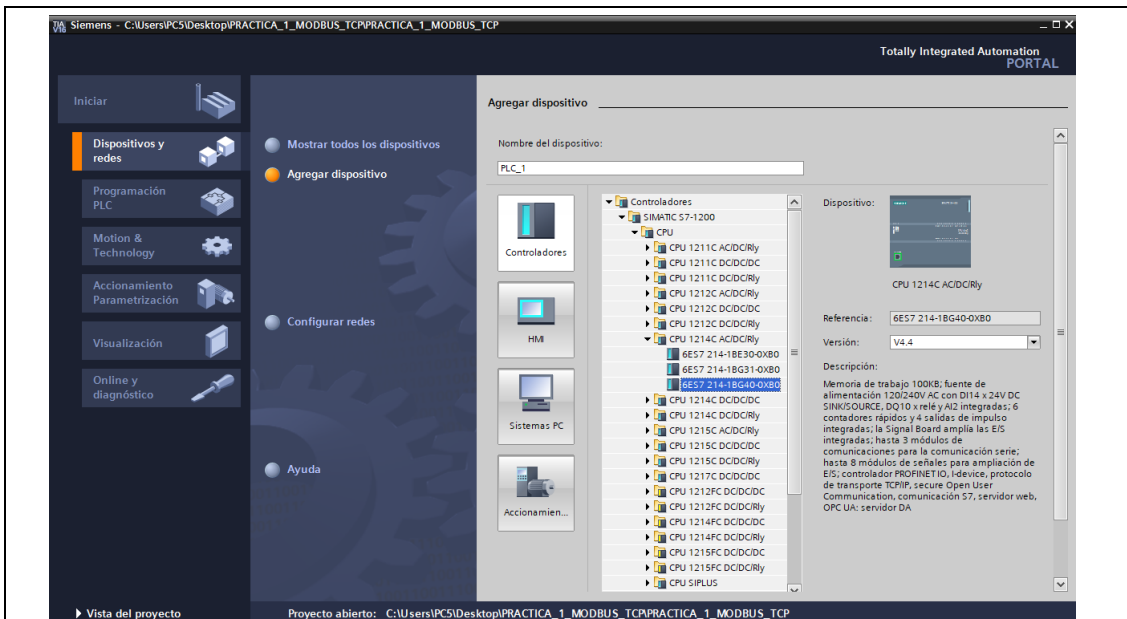
*Figura 99. Interfaz de inicio TIA Portal - Práctica 1.*

## Paso 3.

A continuación, se procede a dar clic en la etiqueta “Dispositivos y redes”, “Agregar dispositivo”. En este paso se agrega el PLC que se va a utilizar en la práctica 1, para esto se hace lo siguiente:

En la ventana nos aparece la opción de “Controladores”, dando clic se agrega nuestro el modelo del PLC que es “SIMATIC S7-1200”, CPU, “CPU 1214C AC/DC/RLY” donde se selecciona el modelo “6ES7 2124-1BG40-0XB0”.

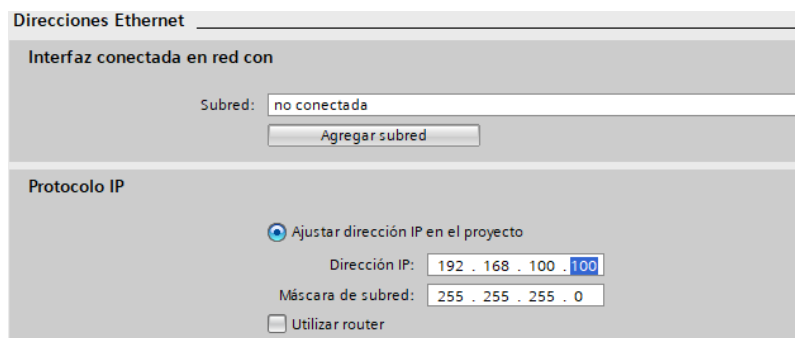
En la pestaña “Versión”, seleccionar “V4.4”, y dar clic en el botón “Agregar” (Ver figura 100).



**Figura 100.** Interfaz para agregar controlador - Práctica 1.

#### Paso 4.

Como primer paso dentro de la programación es crucial establecer la IP de nuestro PLC para evitar cambios repentinos en este. Se establece la IP: 192.168.100.8 en nuestro controlador ingresando en “Configuración de dispositivos”, “Interfaz PROFINET [X1]” y luego “Direcciones de Ethernet” como se muestra en la Figura 101.



**Figura 101.** Direcciones Ethernet del controlador - Práctica 1.

#### Paso 5.

Una vez establecida la IP de nuestro controlador, se procede asignar una IP fija en nuestra PC, como se muestra en la figura 102. Se ingresa a las “Opciones de adaptador”, “Propiedades”, y dentro de “TCP/IPv4” se coloca la “Dirección IP” 192.168.100.100 y una “Máscara de subred” 255.255.255.0. Este mismo dato se adapta en nuestro bloque de datos para establecer la comunicación a continuación.

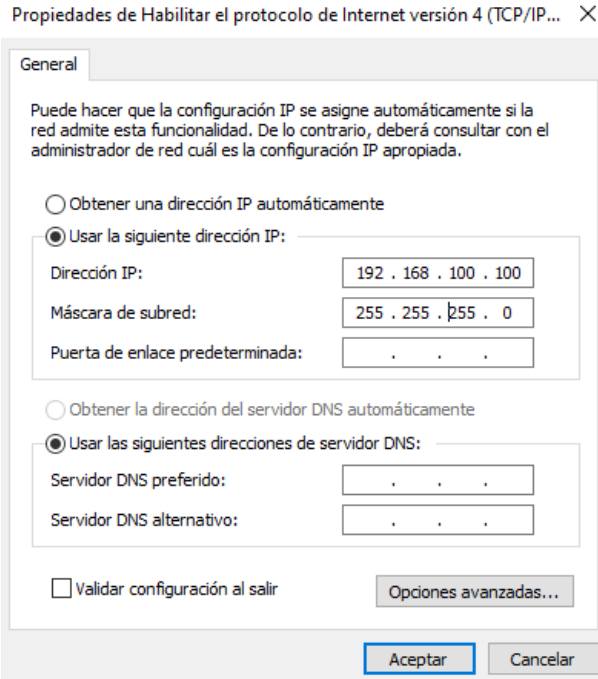


Figura 102. Direcciones Ethernet del controlador - Práctica 1.

### Paso 6.

Como primer paso dentro de nuestro “Bloque de programa” es crear un “Bloque de datos” donde se va a establecer los parámetros de comunicación cliente y del bloque “MB\_CLIENT” (Ver figura 103).

MB									
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en .	
1	Static								
2	Disconnect 1	Bool	0.0	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Disconnect 2	Bool	0.1	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Done 1	Bool	0.2	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Busy 1	Bool	0.3	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Error 1	Bool	0.4	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Done 2	Bool	0.5	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Busy 2	Bool	0.6	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	Error 2	Bool	0.7	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	Status 1	Word	2.0	16#0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	Status 2	Word	4.0	16#0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	TCP-Connect	TCON_IP_v4	6.0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	InterfaceId	HW_ANY	6.0	64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	ID	CONN_OUC	8.0	190	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	ConnectionType	Byte	10.0	11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	ActiveEstablished	Bool	11.0	True	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	RemoteAddress	IP_V4	12.0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	ADDR	Array[1..4] of Byte	12.0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	ADDR[1]	Byte	12.0	192	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	ADDR[2]	Byte	13.0	168	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	ADDR[3]	Byte	14.0	100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	ADDR[4]	Byte	15.0	100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	RemotePort	UInt	16.0	502	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	LocalPort	UInt	18.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 103. Parámetros de comunicación en bloque de datos - Práctica 1.

### Paso 7.

Ahora se procede a crear las variables donde se registrarán los 10 datos a enviar hacia la PC y 10 datos a recibir desde la PC hacia el PLC, se detalla a continuación (Ver figura 104).

DATA_READ_WRITE								
	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ...
1	Static				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Leer	Array[0..9] of Int	0.0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Leer[0]	Int	0.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Leer[1]	Int	2.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Leer[2]	Int	4.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Leer[3]	Int	6.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Leer[4]	Int	8.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Leer[5]	Int	10.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Leer[6]	Int	12.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Leer[7]	Int	14.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Leer[8]	Int	16.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Leer[9]	Int	18.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Escribir	Array[0..9] of Int	20.0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Escribir[0]	Int	20.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	Escribir[1]	Int	22.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	Escribir[2]	Int	24.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Escribir[3]	Int	26.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	Escribir[4]	Int	28.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	Escribir[5]	Int	30.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	Escribir[6]	Int	32.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	Escribir[7]	Int	34.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	Escribir[8]	Int	36.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	Escribir[9]	Int	38.0	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 104. Parámetros de comunicación en bloque de datos.

### Paso 8.

Para este paso es importante tener en cuenta al momento de crear un bloque de datos desactivar el acceso optimizado, para ello se da clic derecho en el “Bloque de datos”, “Propiedades” y se nos despliega una ventana de “Atributos” donde se desmarca como se muestra en la figura 105.

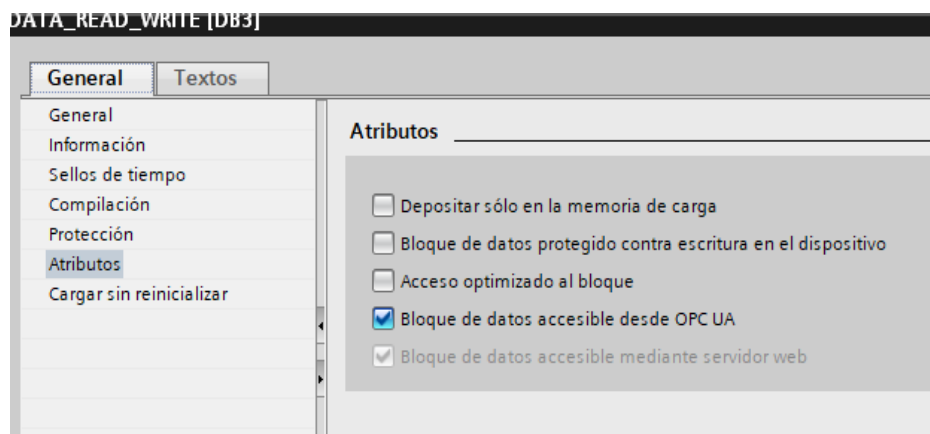


Figura 105. Atributos del bloque de datos- Práctica 1.

### Paso 9.

Se procede a crear los bloques de instrucción para la comunicación como se muestra en las figuras 106 y 107, se necesita de un bloque “MB\_CLIENT” para leer los datos, el mismo que se copia en el segmento 2 configurando el modo como escritura. Es importante tomar en cuenta la descripción del bloque nos ofrece el propio software de TIA Portal como puede observar en la figura 108.

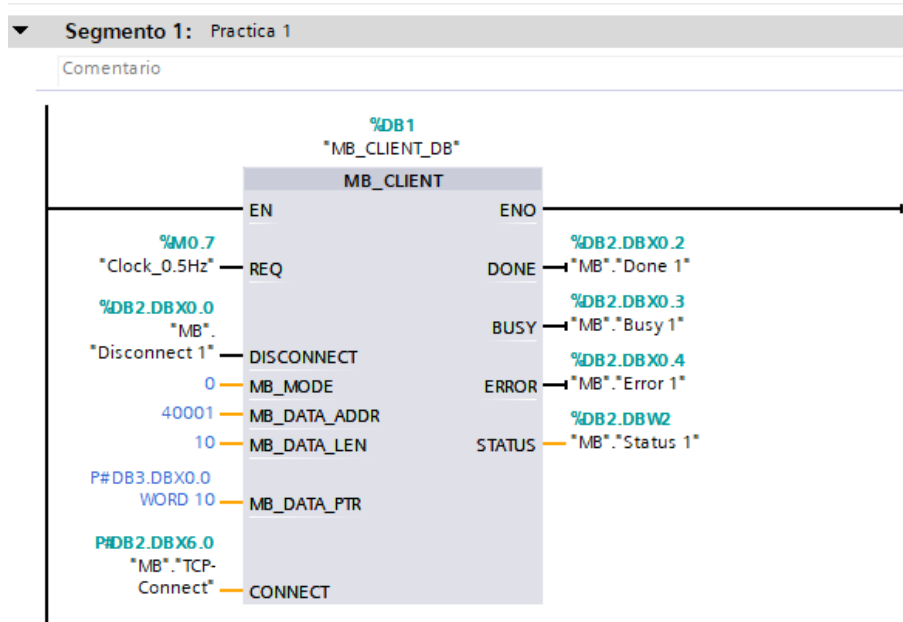


Figura 106. Instrucción MB\_CLIENT para lectura – Práctica 1.

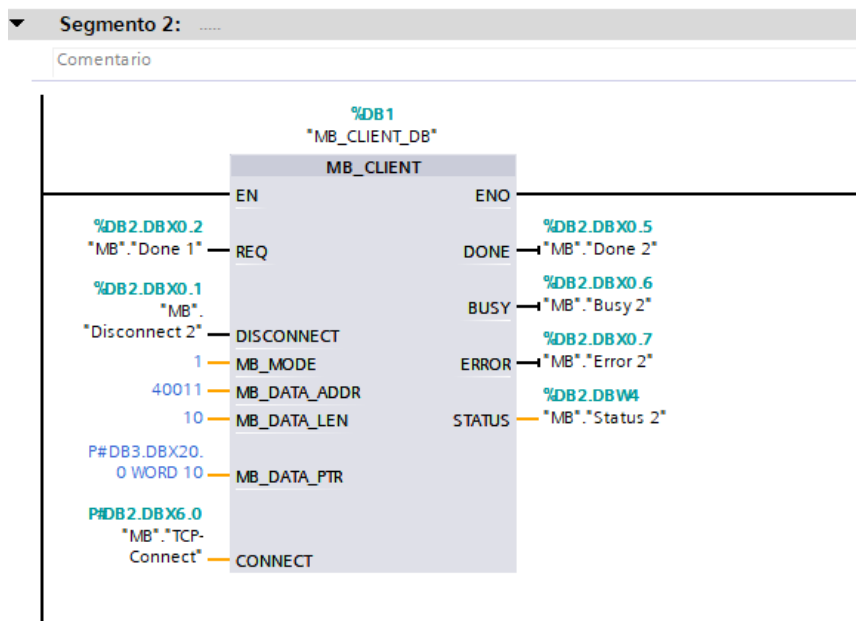


Figura 107. Instrucción MB\_CLIENT para escritura - Práctica 1.

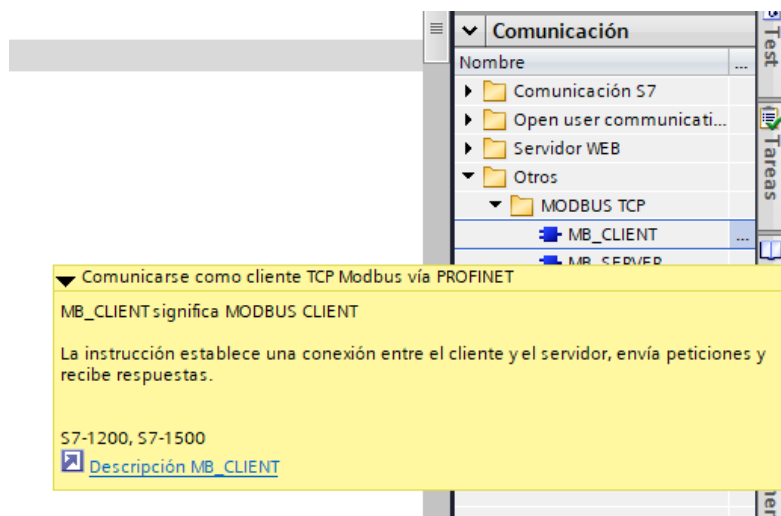


Figura 108. Manual de la instrucción MB\_CLIENT en TIA Portal -Práctica 1.

### Paso 10.

Ahora se procede a abrir el Modbus Slave y se configura de manera que se envíe y reciba los datos enviados desde el PLC y viceversa (Ver Figura 109).

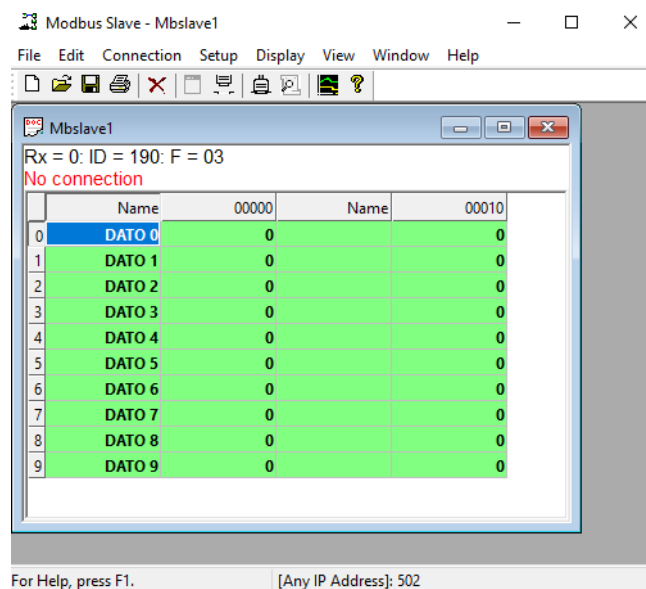


Figura 109. Modbus Slave configurado para la práctica 1.

Se detalla a continuación la configuración de la conexión, considerando que en el bloque MB\_CLIENT para lectura que se establecido el registro 40001 y en el bloque para escritura el registro 40011 en formato Modbus. En Modbus Slave, se asigna el valor decimal 0 haciendo referencia a 40001 y en el campo "Quantity" se establece en 20. Esto determina cuántos registros se leerán desde la dirección 0 que se configura, resultando en un total de 20 registros que se mostrarán al realizar la lectura

y escritura desde el Modbus Slave (Ver figura 110 y 111).

Slave Definition

Slave ID: 190

Function: 03 Holding Register (4x)

Address mode  
 Dec  Hex

Address: 0 PLC address = 40001

Quantity: 20

Read/Write Disabled

View

Rows  
 10  20  50  100  Fit to Quantity

Hide Name Columns  PLC Addresses (Base 1)

Address in Cell

Error Simulation

Skip response  Insert CRC/LRC error (Not when using TCP/IP)

0 [ms] Response Delay  Return exception 06, Busy

*Figura 110. Configuración de los registros a leer y escribir - Práctica 1*

Los parámetros de conexión del simulador deben ser los mismos que el PLC

Connection Setup

Connection  
Modbus TCP/IP

Serial Settings

Puerto de comunicaciones (COM1)

9600 Baud  Custom Baud Rate

8 Data bits

Even Parity

1 Stop Bit

Mode  
 RTU  ASCII

9600

Flow Control  
 DSR  CTS  RTS Toggle

1 [ms] RTS disable delay

TCP/IP Server

IP Address: 192.168.100.100

Port: 502

Any Address  IPv4

Ignore Unit ID  IPv6

*Figura 111. Parámetros de conexión del Modbus Slave - Práctica 1.*

## Paso 11.

En este paso se va a mostrar los resultados de la práctica 1 (Ver figura 112).

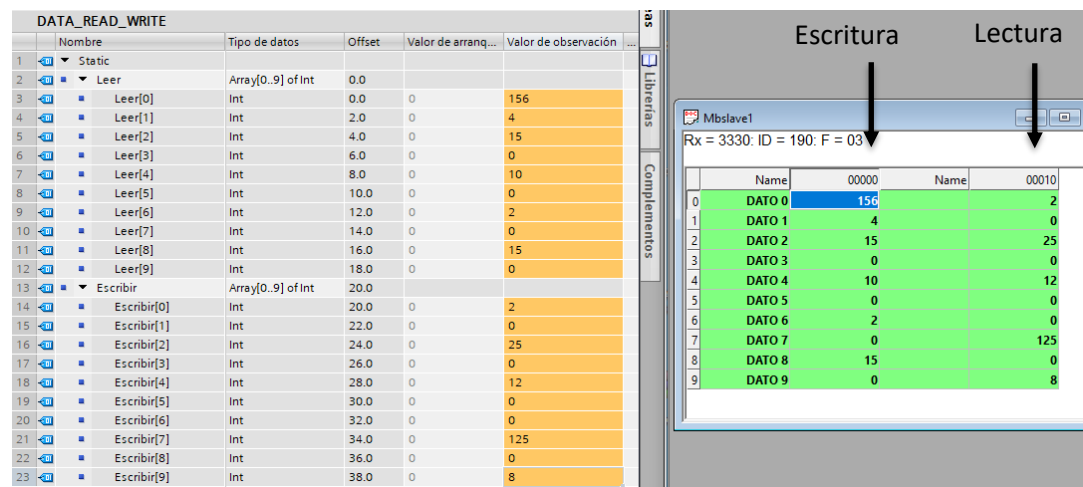



Figura 112. Datos de lectura y escritura entre el PLC y Modbus Slave - Práctica 1.

## Recomendaciones.

- Revisar el puerto de comunicación al momento de conectar la simulador.
- Comprobar la lectura/ escritura de datos.
- Se debe deshabilitar la práctica antes de salir del sistema.

 <p><b>UPSE</b> UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</p>	<b>GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>	
<b>CARRERA:</b> Ingeniería en Electrónica y automatización		
<b>NRO. PRÁCTICA:</b>	2	<b>TÍTULO PRÁCTICA:</b> “Lectura de datos eléctricos del medidor de parámetros PM5110 con un autómatas Siemens S7-1200 mediante el convertidor IFD9506 y un HMI DOP-103WQ”
<b>OBJETIVOS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer la comunicación cliente – servidor entre PLC y IFD9506.</li> <li>• Configurar al PLC como Cliente Modbus TCP/IP.</li> <li>• Diseñar un sistema de monitoreo de energía para el medidor de parámetros PM5110 por medio del HMI DOP-103WQ.</li> </ul>		
<b>INSTRUCCIONES:</b>	<b>1. Alistar los elementos a utilizar para la práctica, energizando con 220 V.</b>	
	<b>2. Instalar correctamente los softwares a utilizar con sus respectivos drivers.</b>	
	<b>3. Comprobar las diferentes conexiones para un correcto funcionamiento de la práctica.</b>	
	<b>4. Cumplir el procedimiento de la guía paso a paso de forma ordenada.</b>	
<b>MATERIALES:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un PLC Siemens S7-1200</li> <li>• Un HMI Delta DOP-103WQ</li> <li>• Un convertidor IFD9506 Delta</li> <li>• Un medidor de parámetros PM5110 Schneider electric</li> <li>• Software TIA Portal V16</li> <li>• Software DOPSoft 4.00.08</li> </ul>		
<b>DESCRIPCIÓN:</b> <p>En esta práctica, el PLC S7-1200 se comunicará vía Modbus TCP/IP a través del convertidor IFD9506. El PLC recibirá los datos almacenados por el convertidor en formato Modbus RTU del esclavo y lo convertirá a Modbus TCP/IP. Estos datos representarán las lecturas eléctricas de la carga medida por el medidor de parámetros, como en el caso de un motor trifásico. Los resultados se mostrarán en la pantalla HMI. El sistema utilizará bloques de instrucción “MB_CLIENT”, que se</p>		

programarán en el PLC cliente para la lectura de datos en este caso de cada registro que se quiere mostrar. Además, se almacenarán dichos datos usando bloques “MOVE” en la variable práctica 2.

La figura 113 muestra el diagrama de red a implementar.

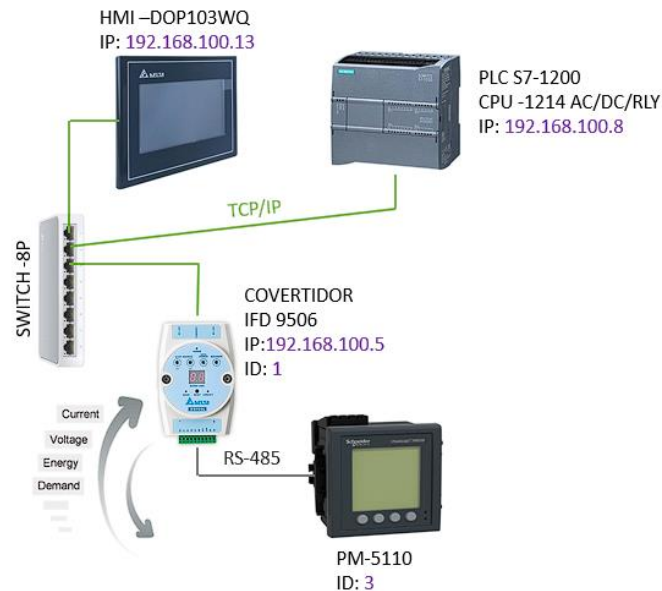


Figura 113. Diagrama esquemático de la red Modbus-Práctica 2.

### Paso 1.

Como primer paso se va a crear bloques de datos para configurar nuestra conexión entre el PLC cliente y el IFD9506 como nuestro servidor, se asigna el nombre de “Connect” y el tipo de dato “TCON\_IP\_V4” desplegándose de forma automática los parámetros que se configura en la variable como se muestra en la figura 114.

DB_ENERGY_CURRENTE_MED			
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...
1	Static		
2	Connect	TCON_IP_v4	
3	Interfaceld	HW_ANY	64
4	ID	CONN_OUC	10
5	ConnectionType	Byte	11
6	ActiveEstablished	Bool	true
7	RemoteAddress	IP_V4	
8	ADDR	Array[1..4] of Byte	
9	ADDR[1]	Byte	192
10	ADDR[2]	Byte	168
11	ADDR[3]	Byte	100
12	ADDR[4]	Byte	5
13	RemotePort	UInt	502
14	LocalPort	UInt	0

Figura 114. Parámetros de comunicación Modbus - Práctica 2.

Los parámetros a establecer en cada uno de los valores de arranque son “Interfaceid” siendo 64 por nuestro “Local-Interfaz\_PROFINET\_1”, ID debe ser único en cada llamada del bloque MB\_CLIENT, “ConnectionType” es 11 para comunicaciones Modbus TCP, “ActiveEstablished” se deja en “true” para establecer la conexión con el servidor, “ADDR” es donde se ingresa la dirección IP del servidor siendo nuestro convertidor IFD9506. “RemotePort” es nuestra puerta enlace definida como 502 y “LocalPort” siendo 0.

### Paso 2.

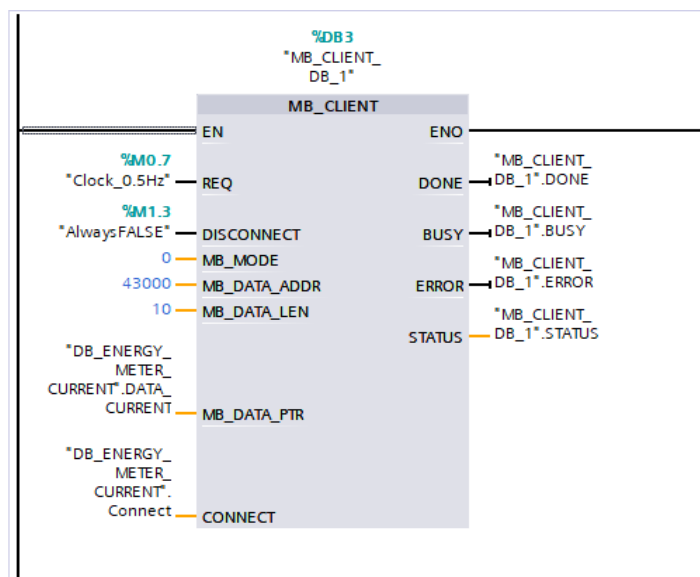
Como siguiente paso se asigna la cantidad de registro que se quiere leer siendo el caso de 10 registros. Se establece el nombre y en el tipo de datos se coloca un Array de 0 a la cantidad de valores que se desea leer en tipo Real, ya que los datos que se va a obtener son valores con decimales (Ver figura 115).

15		DATA_CURRENT_...	Array[0..10] of Real	
16		DATA_CURRE...	Real	0.0
17		DATA_CURRE...	Real	0.0
18		DATA_CURRE...	Real	0.0
19		DATA_CURRE...	Real	0.0
20		DATA_CURRE...	Real	0.0
21		DATA_CURRE...	Real	0.0
22		DATA_CURRE...	Real	0.0
23		DATA_CURRE...	Real	0.0
24		DATA_CURRE...	Real	0.0
25		DATA_CURRE...	Real	0.0
26		DATA_CURRE...	Real	0.0

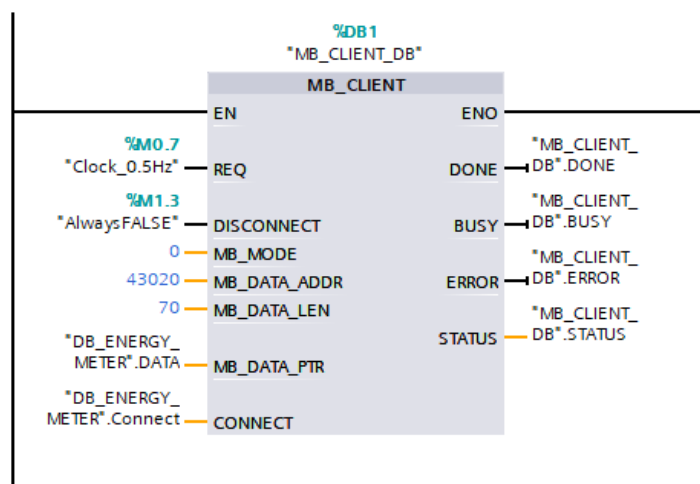
*Figura 115. Variables de registro del PLC para lectura de parámetros eléctricos - Práctica 2.*

### Paso 3.

Se procede agregar los bloques de instrucción “MB\_CLIENT” para la comunicación, para esta práctica se utilizar los bloques necesarios que estarán configurados en modo lectura de los parámetros a leer. Cada bloque maneja los mismos parámetros y lo único que cambia es el “MB\_DATA\_ADDR” que es el registro el cual se quiere mostrar los valores ya sea de corriente, voltaje, potencia, frecuencia. A continuación, se muestra en las figuras 116 y 117.



**Figura 116.** Instrucción MB\_CLIENT para lectura de corrientes - Práctica 2.



**Figura 117.** Instrucción MB\_CLIENT para lectura de voltajes - Práctica 2.

La descripción del bloque “MB\_CLIENT” detallada nos ofrece el mismo software de TIA Portal como se muestra en la figura 118.

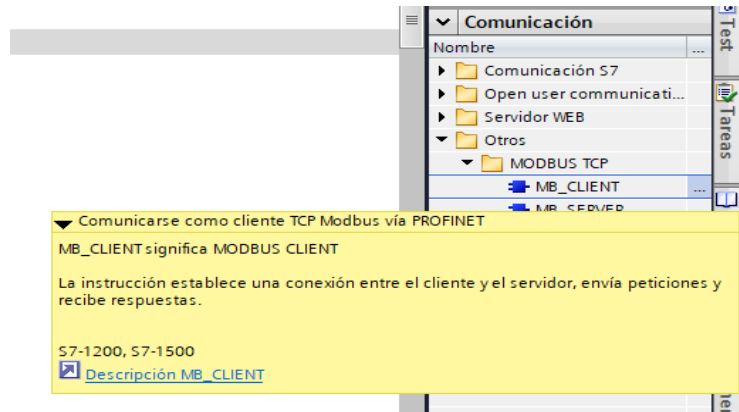


Figura 118. Manual de la instrucción MB\_CLIENT en TIA Portal - Práctica 2.

#### Paso 4.

En este paso se utiliza las instrucciones **MOVE** el cual se encargará de almacenar la variable a observar en nuestro HMI (Ver figuras 119 y 120).

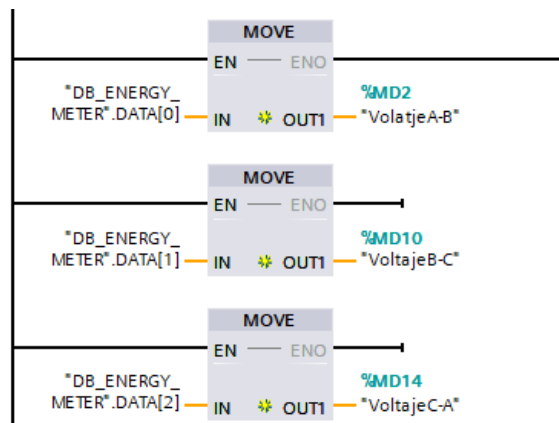


Figura 119. Variables de voltaje para lectura del HMI - Práctica 2.

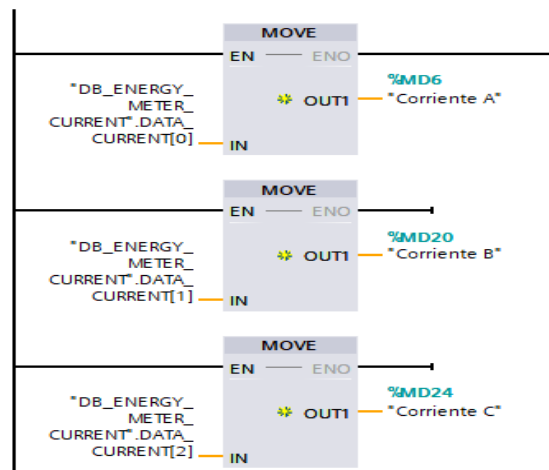


Figura 120. Variables de corriente para lectura del HMI -Práctica 2.

## Paso 5.

Se procede a crear las pantallas HMI para su respectiva muestra física en el módulo didáctico, como primer punto se tiene que ingresar en el software DOPSoft y crear un nuevo proyecto, seleccionado el modelo DOP-103WQ como se muestra en la figura 121. Una vez seleccionado el modelo se escoge opción en el apartado **Ethernet1** para agregar una red y configurar la comunicación en la que se va a trabajar como se muestra en la figura 122 al 124. Es importante seleccionar las IP correspondientes mostradas en el diagrama de red de la práctica 2.

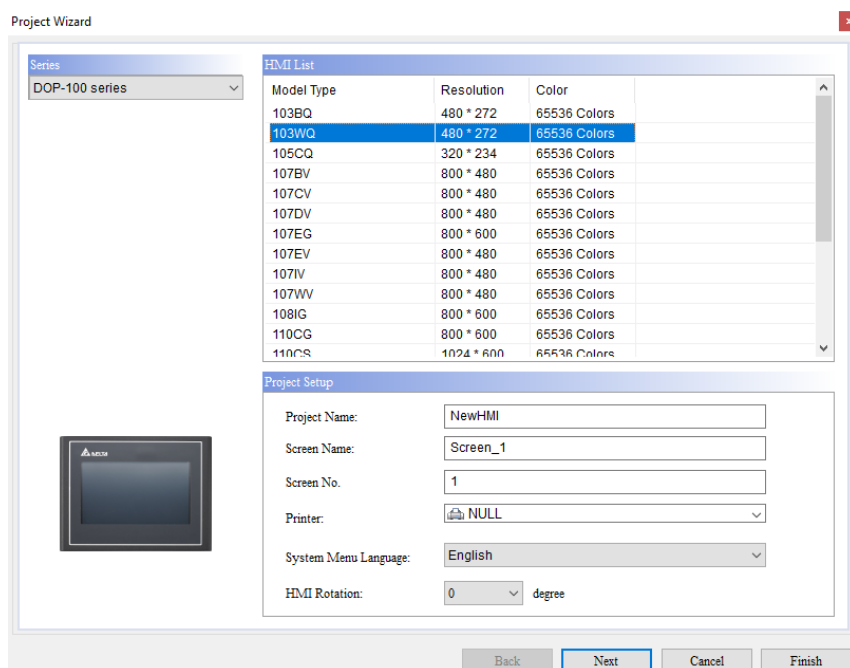


Figura 121. Interfaz para agregar HMI-Práctica 2.

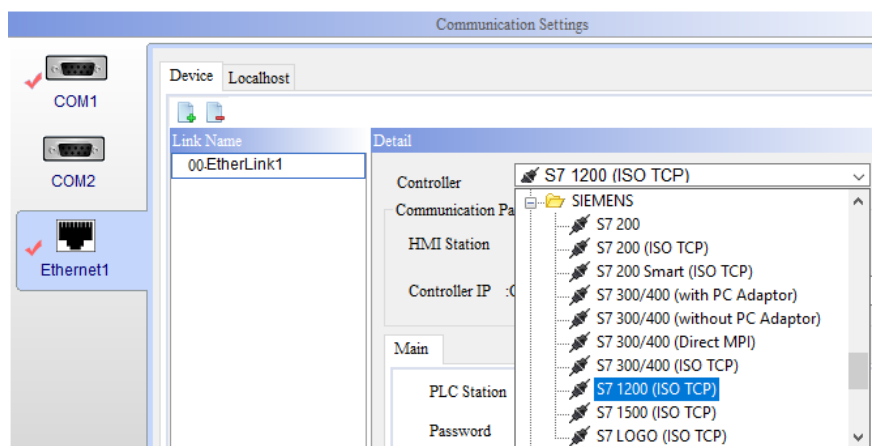
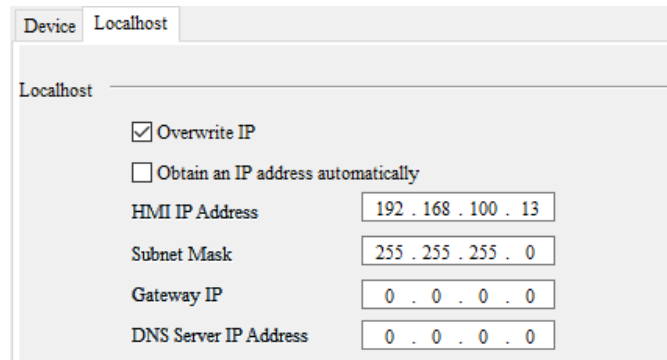
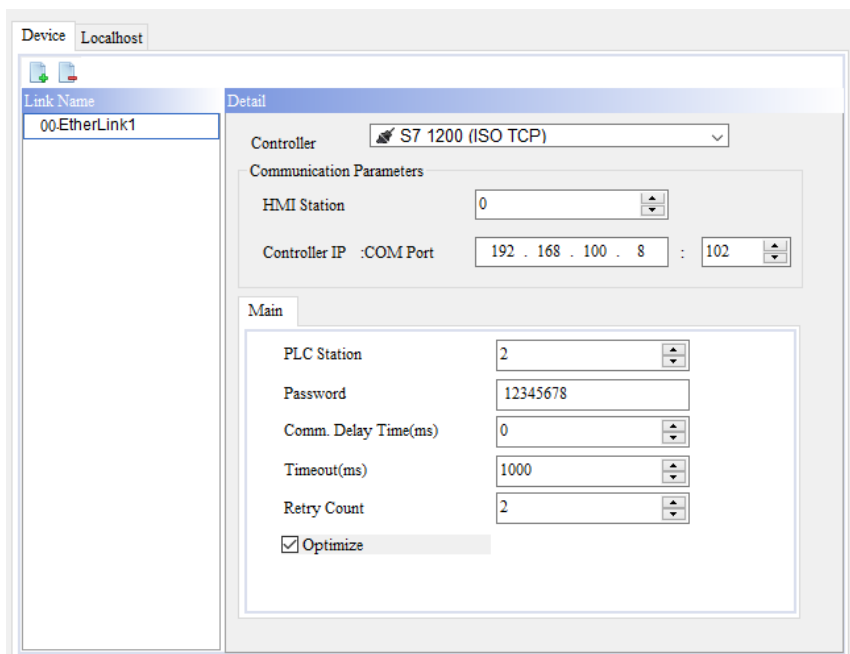


Figura 122. Establecimiento de comunicación del HMI-Práctica 2.



**Figura 123.** Asignación de la IP establecida en el HMI DOP-103WQ-Práctica 2.



**Figura 124.** Asignación de la IP del PLC S7-1200-Práctica 2.

### **Paso 6.**

Se da paso a la creación de las pantallas de la práctica 2. A continuación se detalla el diseño de la imagen como se muestra en la figura 125.



Figura 125. Portada de la práctica 2.

Se crea una segunda pantalla donde se muestra mediante un diseño de los parámetros generales. Al igual que las pantallas restantes según los parámetros que se va a leer (Ver figura 126).

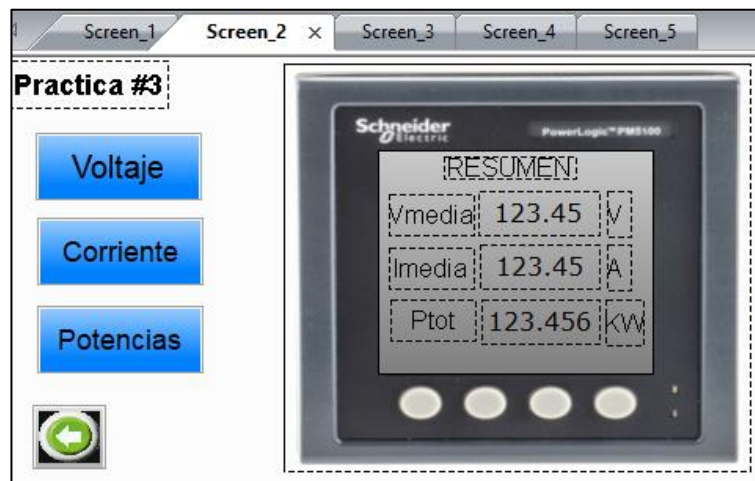
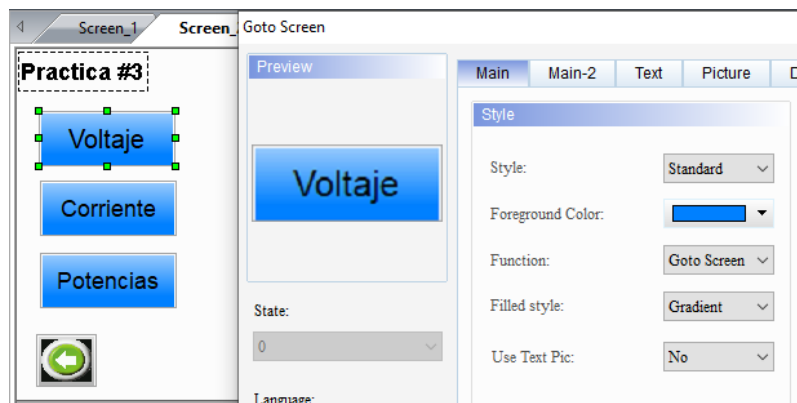


Figura 126. Diseño HMI de lectura general del medidor de parámetros - Práctica 2.

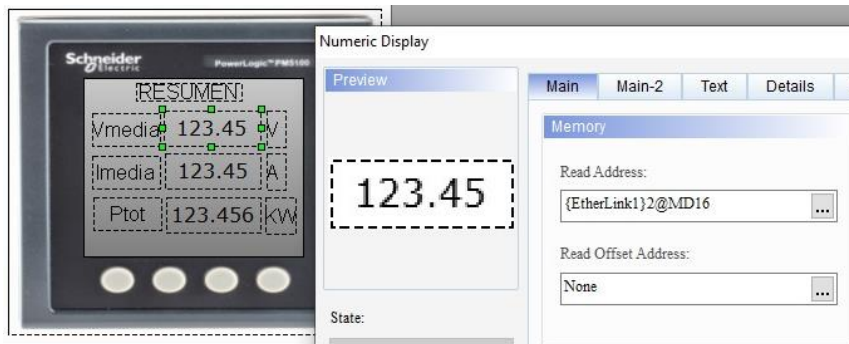
A continuación, se muestra la configuración de los elementos y la configuración de la dirección de lectura.

El elemento **Goto Screen** es botón con la función que te lleva a otra pantalla asignada (Ver figura 127).



**Figura 127.** Asignación de elemento “Goto Screen” en la pantalla HMI - Práctica 2.

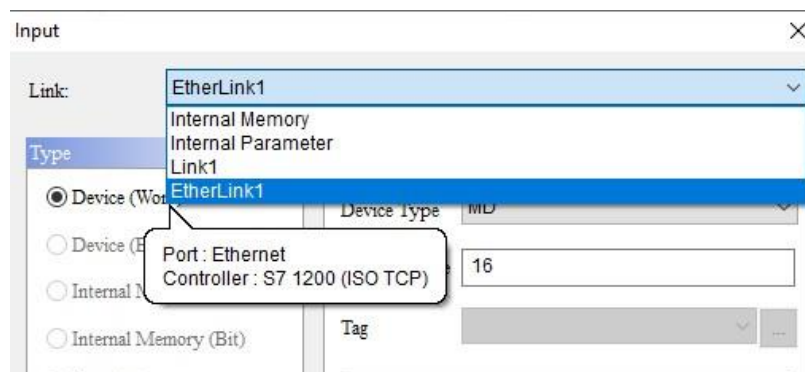
El elemento **Numeric Display** es donde se va a mostrar los valores numéricos, una vez asignada la dirección de lectura nos muestra los datos del medidor de parámetros ya sea voltaje, corriente o potencia (Ver figura 128).



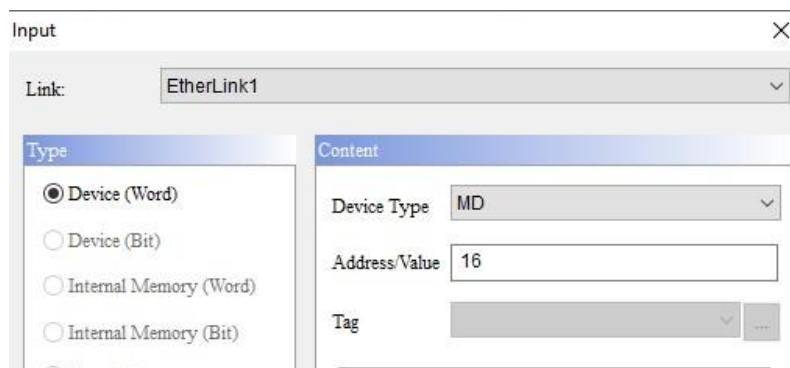
**Figura 128.** Asignación de elemento “Numeric Display” en la pantalla HMI -Práctica 2.

### Paso 7.

En la figura 129 se muestra la configuración de los campos de lectura, seleccionando el enlace “**Link**” de nuestro PLC configurado anteriormente en el paso 5. Se Asigna la variable MD establecida por la instrucción MOVE configurada en nuestro PLC como se muestra en la figura 130.

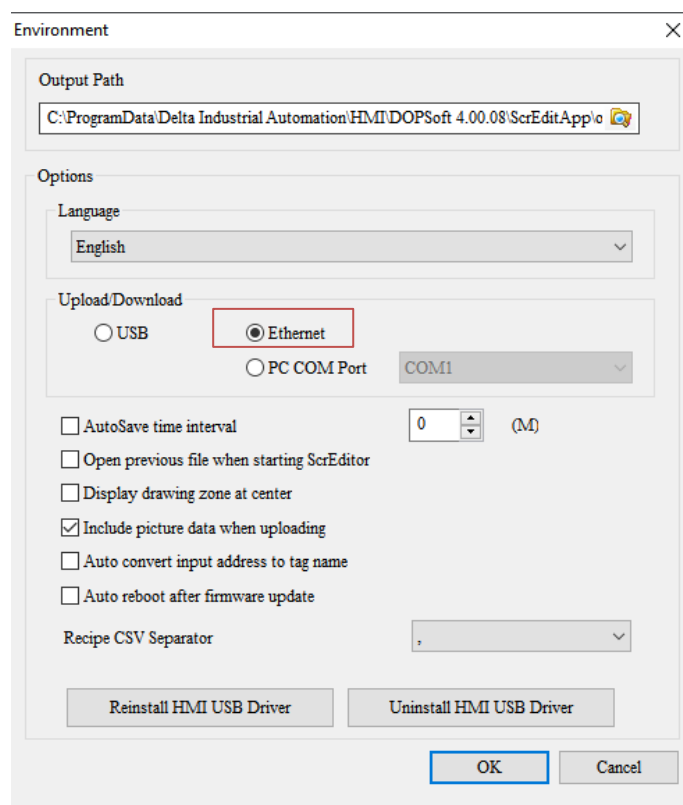


**Figura 129.** Asignación de enlace con el PLC - Práctica 2.



**Figura 130.** Asignación de variables del PLC para lectura -Práctica 2

Es importante configurar el tipo de lectura de las variables MD en formato “Double Word” y el formato el “Floating”. También al momento descargar los datos al HMI físico del módulo didáctico verificar que el carga y descarga se encuentre a través de Ethernet como se muestra en la figura 131 ingresando “Options” y al apartado de “Environmen”.



**Figura 131.** Configuración Ethernet en el entorno del HMI-Práctica 2.

### **Paso 8.**

En este paso se va a mostrar los resultados de la práctica 2 (Ver figura 132 al 137).

DB_ENERGY_METER_CURRENT					
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Valor de observación	Remanen..
1	Static				
2	Connect	TCON_IP_v4			
3	DATA_CURRENT	Array[0..10] of Real			
4	DATA_CURRENT[0]	Real	0.0	2.081937	
5	DATA_CURRENT[1]	Real	0.0	2.08092	
6	DATA_CURRENT[2]	Real	0.0	2.096911	
7	DATA_CURRENT[3]	Real	0.0	16#FFCO_0000	
8	DATA_CURRENT[4]	Real	0.0	0.0	
9	DATA_CURRENT[5]	Real	0.0	0.0	
10	DATA_CURRENT[6]	Real	0.0	0.0	
11	DATA_CURRENT[7]	Real	0.0	0.0	
12	DATA_CURRENT[8]	Real	0.0	0.0	
13	DATA_CURRENT[9]	Real	0.0	0.0	
14	DATA_CURRENT[10]	Real	0.0	0.0	

Figura 132. Lectura de corrientes en el bloque de datos - Práctica 2.



Figura 133. Portada de la práctica 2 - Práctica 2.

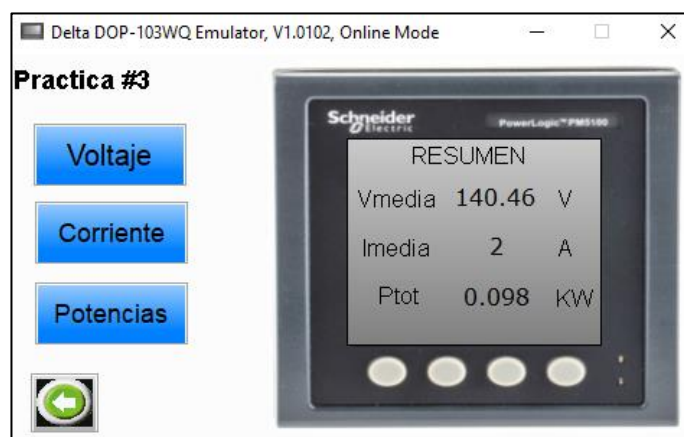
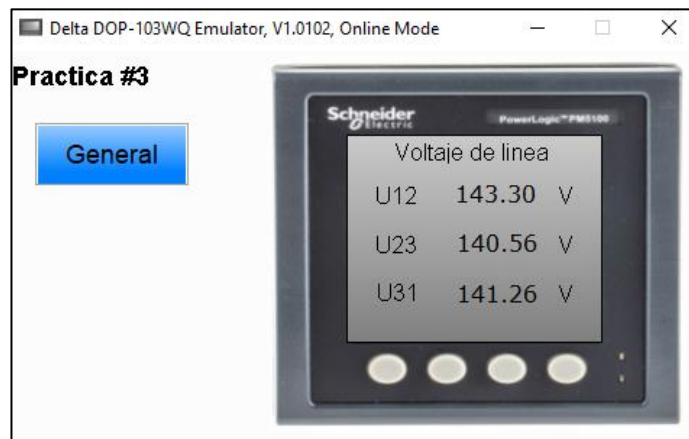
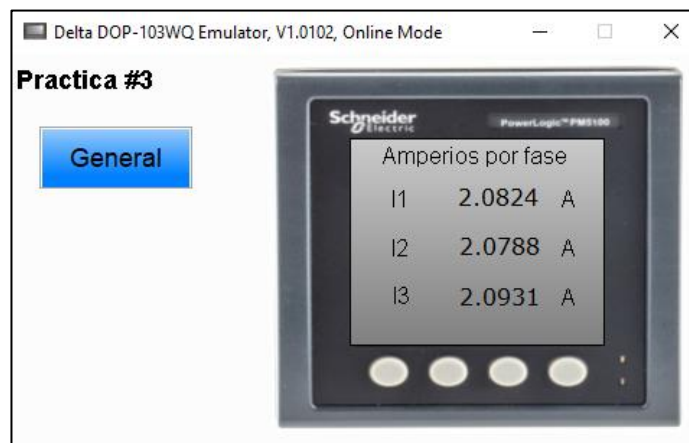


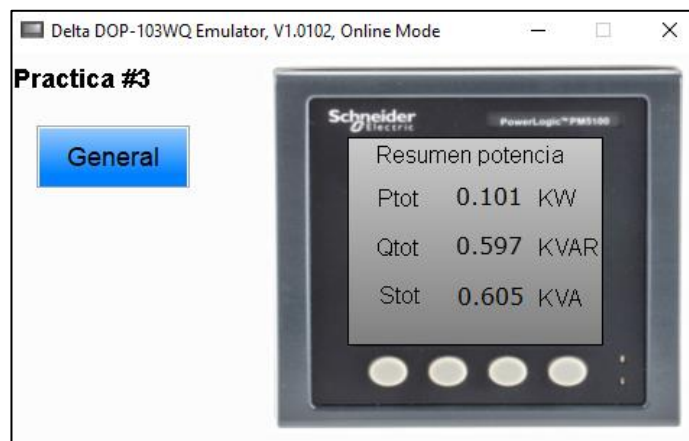
Figura 134. Resumen general de parámetros eléctricos -Práctica 2.



*Figura 135. Parámetros de voltaje de línea -Práctica 2.*




*Figura 136. Parámetros de amperios por fase -Práctica 2.*



*Figura 137. Resumen de parámetros de potencia -Práctica 2*

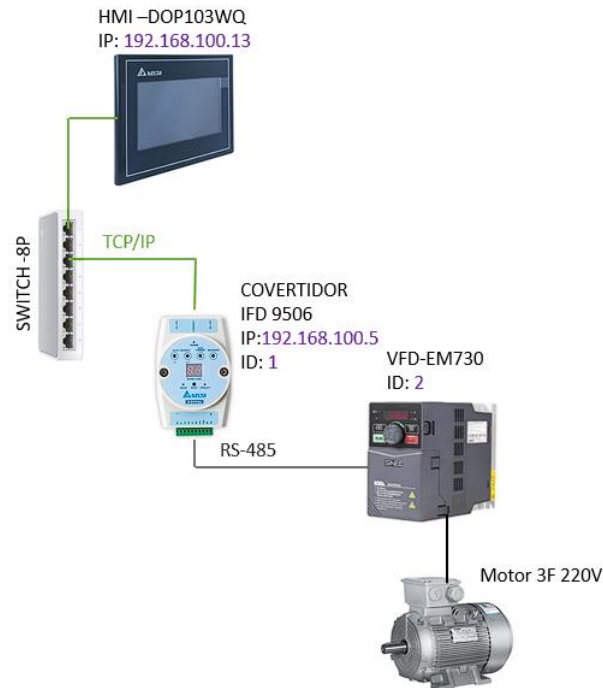
### Recomendaciones.

- Revisar que las variables de lectura del HMI estén correctamente asignadas.
- Verificar que los datos recibidos se muestren en el bloque de dato asignado.
- Revisar el tipo de dato a recibir, así mismo la cantidad y longitud.

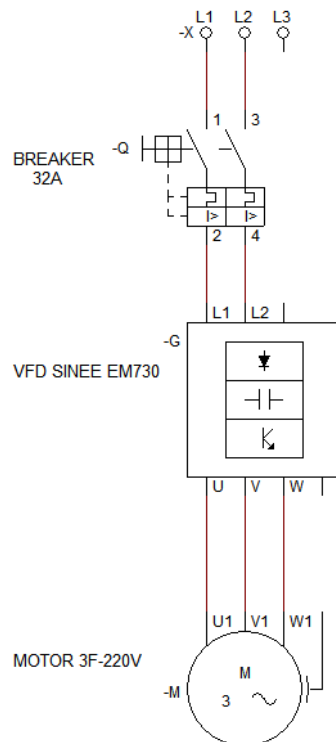
 <p><b>UPSE</b> UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</p>	<b>GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO</b>	
<b>CARRERA:</b> Ingeniería en Electrónica y automatización		
<b>NRO. PRÁCTICA:</b>	3	<b>TÍTULO PRÁCTICA:</b> “Control y velocidad de un motor trifásico a través del convertidor IFD9506 y un HMI Delta DOP-103WQ”
<b>OBJETIVOS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer la comunicación cliente – servidor entre HMI y IFD9506.</li> <li>• Configurar al HMI como cliente Modbus TCP/IP.</li> <li>• Parametrizar un variador de frecuencia SINEE modelo EM730.</li> <li>• Diseñar un sistema de marcha, paro y control de velocidad de un motor trifásico por medio del HMI DOP-103WQ.</li> </ul>		
<b>INSTRUCCIONES:</b>	<b>1. Alistar los elementos a utilizar para la práctica, energizando con 220 V.</b>	
	<b>2. Instalar correctamente los softwares a utilizar con sus respectivos drivers.</b>	
	<b>3. Comprobar las diferentes conexiones para un correcto funcionamiento de la práctica.</b>	
	<b>4. Cumplir el procedimiento de la guía paso a paso de forma ordenada.</b>	
<b>MATERIALES:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un HMI Delta DOP-103WQ</li> <li>• Un convertidor IFD9506 Delta</li> <li>• Un variador de frecuencia SINEE modelo EM730</li> <li>• Software DOPSoft 4.00.08</li> </ul>		
<b>DESCRIPCIÓN:</b> <p>Para arrancar el motor, se debe presionar el botón de “Marcha” desde el HMI, donde el motor girara en sentido horario. Se puede ajustar la velocidad de arranque del motor mediante un slider para incrementar o reducir la frecuencia de giro. Además, habrá un botón para cambiar el sentido de giro a antihorario. En la pantalla se podrá mostrar los valores de frecuencia en tiempo real. Finalmente, con el botón de “Paro”, se detendrá el motor. El proceso de comunicación se lleva a cabo con la configuración del HMI como cliente el cual solicitara los datos de escritura y lectura al servidor que es el convertidor IFD9506 en calidad de Modbus TCP/IP y el convertidor configurado</p>		

como maestro en la red Modbus RTU solicitara la petición a los esclavos y convirtiendo esos datos a Modbus TCP/IP donde se verá reflejado en el HMI.

La figura 138 muestra el diagrama de red a implementar y la figura 139 el circuito de fuerza.



**Figura 138.** Diagrama esquemático de la red Modbus – Práctica 3.



**Figura 139.** Circuito de Fuerza -Práctica 3.

**Paso 1.**

Como primer paso, se va a verificar la configuración del variador para la comunicación Modbus RTU ingresando a los parámetros del variador en el Modo A, que se muestra al acceder físicamente al variador SINEE. En la figura 140 se muestran los parámetros del manual que se va a ingresar para verificar que la comunicación sea correcta según la configuración preestablecida en el convertidor IFD9506, mostrado en la figura 141.

F10 Communication function group					
F10.00	Local Modbus communication address	1-247; 0: broadcast address		1	<input type="radio"/>
F10.01	Baud rate of Modbus communication	0:4800 1:9600 2:19200 3:38400 4:57600 5:115200		1	<input type="radio"/>
F10.02	Modbus data format	0: 1-8-N-1 (1 start bit + 8 data bits + 1 stop bit) 1: 1-8-E-1 (1 start bit + 8 data bits + 1 even parity check bit + 1 stop bit) 2: 1-8-O-1 (1 start bit + 8 data bits + 1 odd parity check bit + 1 stop bit) 3: 1-8-N-2 (1 start bit + 8 data bits + 2 stop bits) 4: 1-8-E-2 (1 start bit + 8 data bits + 1 even parity check bit + 2 stop bits) 5: 1-8-O-2 (1 start bit + 8 data bits + 1 odd parity check bit + 2 stop bits)		0	<input type="radio"/>
F10.03	485 communication timeout	0.0s-60.0s; 0.0: invalid (valid for the master-slave mode)	s	0.0	<input checked="" type="radio"/>
F10.04	Modbus response delay	1 - 20	ms	2	<input checked="" type="radio"/>
F10.05	Options of master-slave communication function	0: Invalid 1: valid		0	<input type="radio"/>
F10.06	Master-slave options	0: slave		0	<input type="radio"/>

*Figura 140. Parámetros de comunicación Modbus del variador SINEE -Práctica 3.*

IFD9506

Overview Basic Mail Monitor Slave Mode IP Filter User Define Security

Module Name: IFD9506

Master Configuration: Serial Master

Network Setup

IP Configuration: Static

IP Address: 192 . 168 . 100 . 5

Netmask: 255 . 255 . 255 . 0

Gateway: 192 . 168 . 100 . 1

Enable IPv6: 0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000

Communication Parameter

COM Protocol Setup: Modbus COM2 (RS-485)

Baudrate: 9600 Data Length: 8

Parity: Odd Stop Bits: 1

Mode: RTU Station Address: 1

Timer Setting

Keep Alive Time (s): 30 (5 - 60000 s)

Modbus Timeout (ms): 5000 (5 - 60000 ms)

Delay Time (ms): 5 (0 - 60000 ms)

**Figura 141.** Configuración Modbus RTU preestablecida en el convertidor IFD9506 -Práctica 3.

**Paso 2.**

Como siguiente paso se va a establecer los parámetros F00.02 = 2 y F00.04= 7 en el variador. Se deshabilita el control manual por teclado físico para poder accionar desde el HMI (Ver figura 142).

F00.02	Options of command source	0: keyboard control (LOC/REM indicator: ON) 1: terminal control (LOC/REM indicator: OFF) 2: communication control (LOC/REM indicator: flicker)	0	<input type="radio"/>
F00.03	Options of terminal control mode	0: terminal RUN (running) and F/R (forward/reverse) 1: terminal RUN (forward) and F/R (reverse) 2: terminal RUN (forward), Xi (stop) and F/R (reverse) 3: terminal RUN (running), Xi (stop) and F/R (forward/reverse)	0	<input type="radio"/>
F00.04	Options of main frequency source A	0: digital frequency setting F00.07 1 : AI1 2 : AI2 3: retention 4: retention 5: high frequency pulse input (X5) 6: main frequency communication setting (percentage) 7: main frequency communication setting (direct frequency) 8: digital potentiometer setting	8	<input type="radio"/>

**Figura 142.** Parámetros de funciones básicas del variador SINEE -Práctica 3.

### Paso 3.

Se procede a diseñar las pantallas en el HMI en el software DOPSoft, las cuales serán la presentación de la práctica 3, donde se establecerá el control del motor trifásico.

Para crear una pantalla, primero es crucial seleccionar el modelo del HMI, como se muestra en la figura 143, y establecer la configuración de la comunicación de nuestro HMI y el convertidor IF9506, mostrado en la figura 144 al 146.

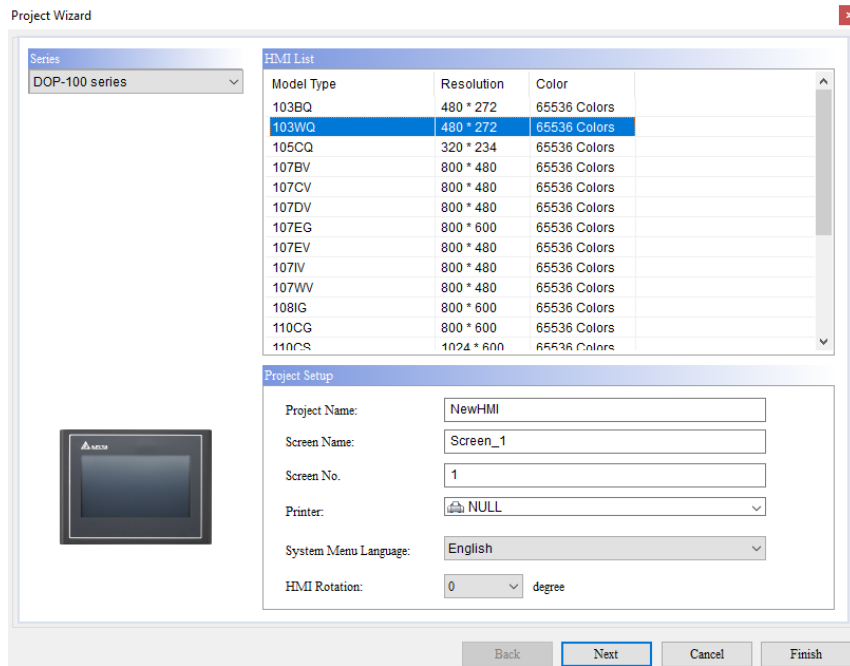


Figura 143. Interfaz para agregar HMI-Práctica 3.

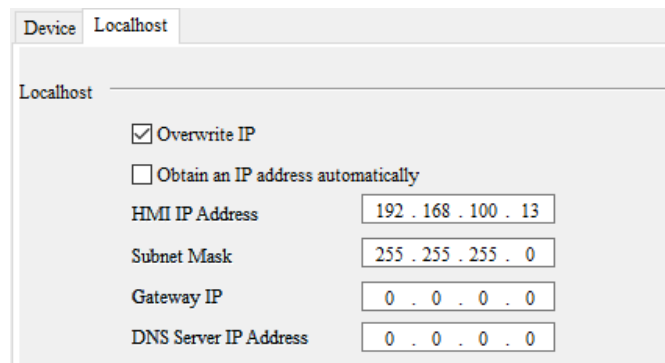
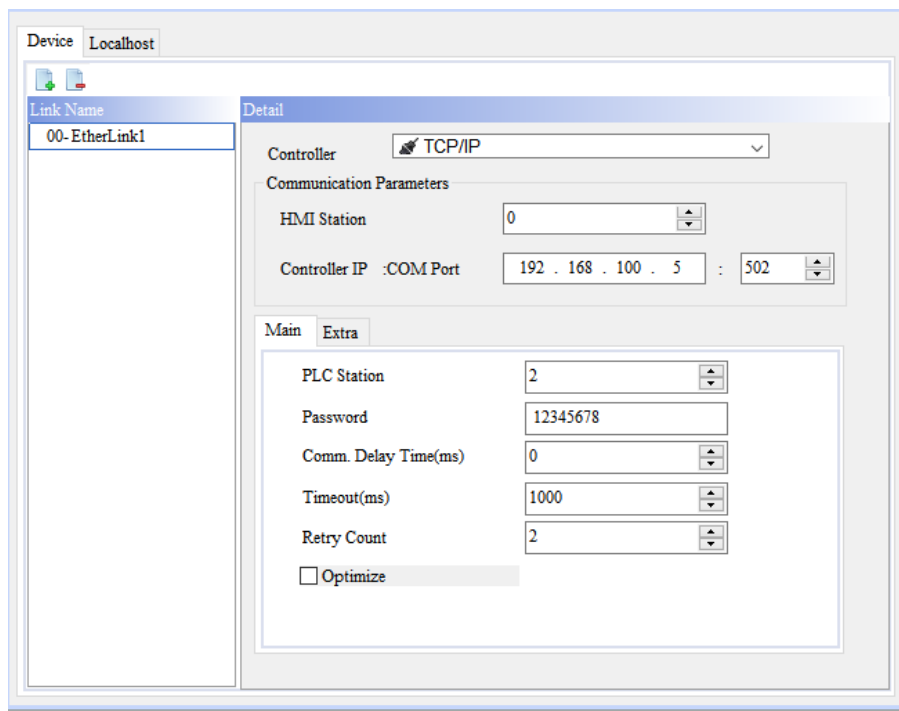
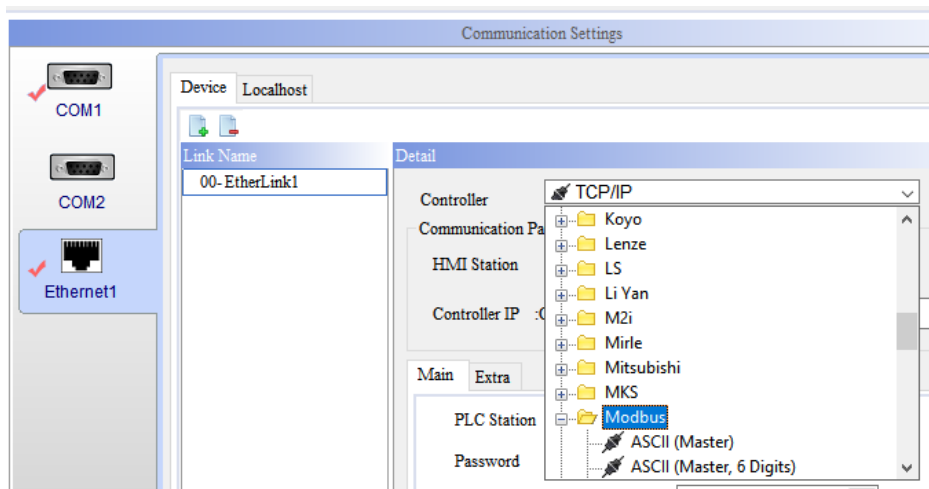


Figura 144. Asignación de la IP establecida en el HMI DOP-103WQ-Práctica 3.



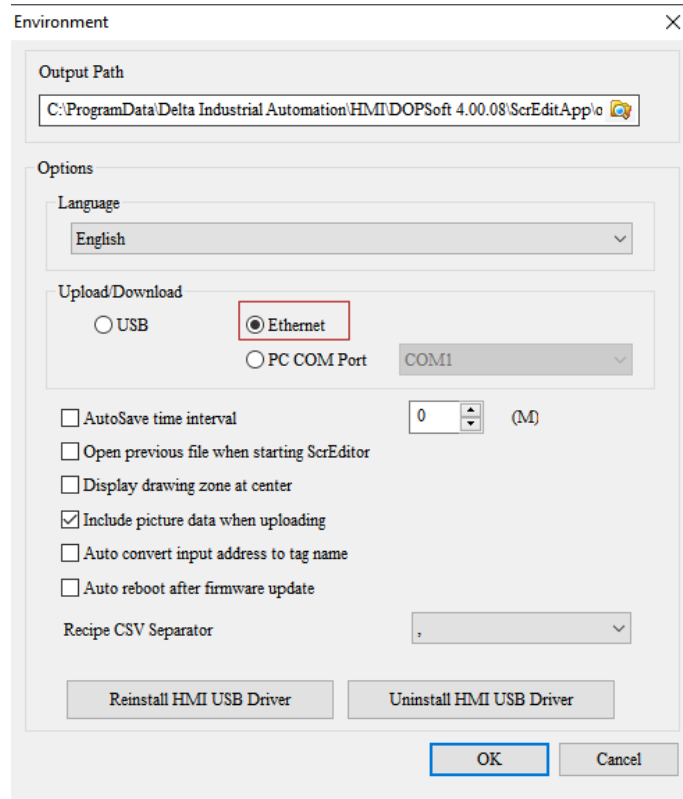
**Figura 145.** Asignación de la IP del Convertidor IFD9506-Práctica 3.

Se establece la comunicación Modbus TCP/IP en nuestro HMI DOP-103WQ.



**Figura 146.** Establecimiento de comunicación del HMI-Práctica 3.

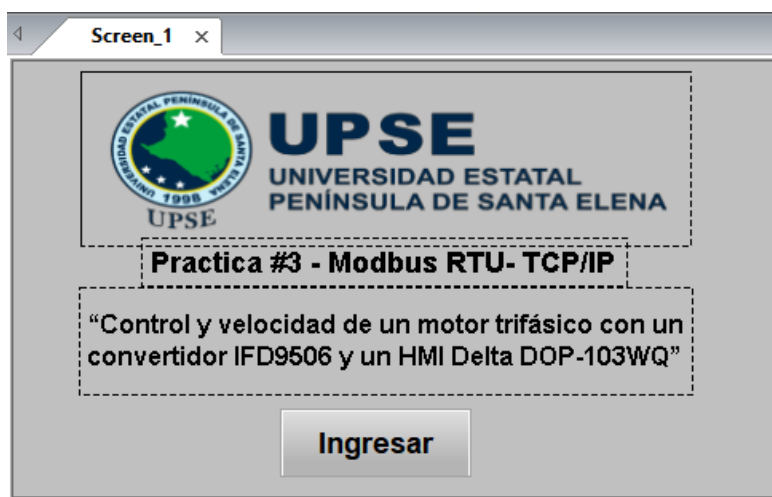
Es importante verificar dentro de “Options”, luego en “Environment” que este habilitado la carga y descarga a través del Ethernet para poder evitar errores al momento de cargar la práctica 3 (Ver figura 147).



*Figura 147. Configuración Ethernet en el entorno del HMI-Práctica 3.*

#### **Paso 4.**

Se da paso a la creación de las pantallas de la práctica 3. A continuación se detalla el diseño de la imagen como se muestra en la figura 148.



*Figura 148. Portada de la práctica 3.*

Se crea una segunda pantalla donde se muestra mediante un diseño para el control del motor trifásico (Ver figura 149).

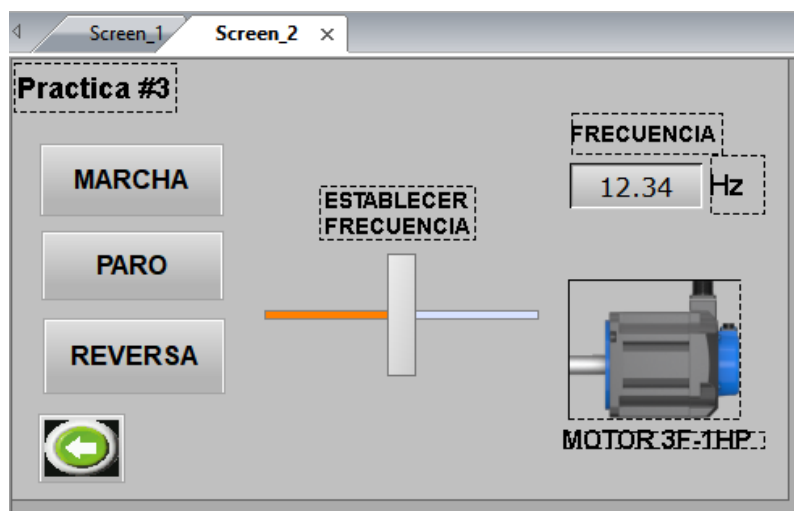


Figura 149. Diseño HMI para el control del motor trifásico -Práctica 3.

A continuación, se muestra la tabla 14 de registros del variador SINEE a utilizar para la práctica 3, la configuración de los elementos y la configuración de la dirección de lectura y escritura.

Tabla 14. Registros del variador SINEE EM730 -Práctica 3.

Accionamiento del motor	Registros a forzar		Valor de activación
	Hexadecimal	Decimal	
Parada	7000H	28672	0005H
Arranque			0001H
Inversión de giro			0002H
Valor de frecuencia	700FH – 7203H	28687 - 29187	Hz x 100%

El elemento “Goto Screen” es el botón con la función que te lleva a otra pantalla asignada, “Set constant” es el botón que se establece para realizar la acción de marcha, paro e inversión de giro de motor, en el cual se asigna los registros de escritura, el tipo de dato “Word”, formato de datos “Unsigned Decimal” y el valor de activación mostrado en la figura 150.

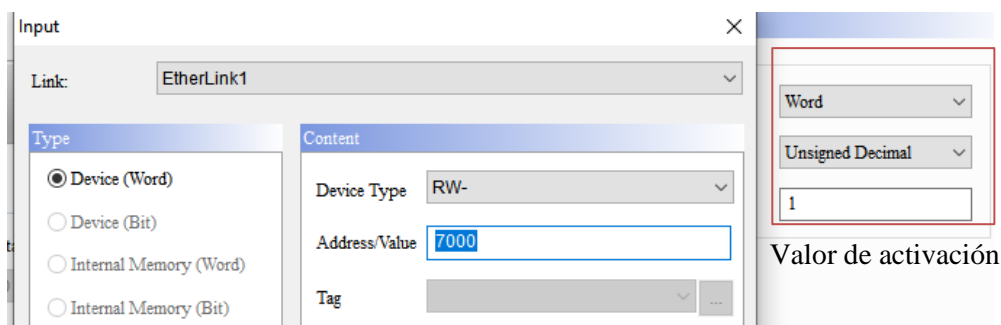
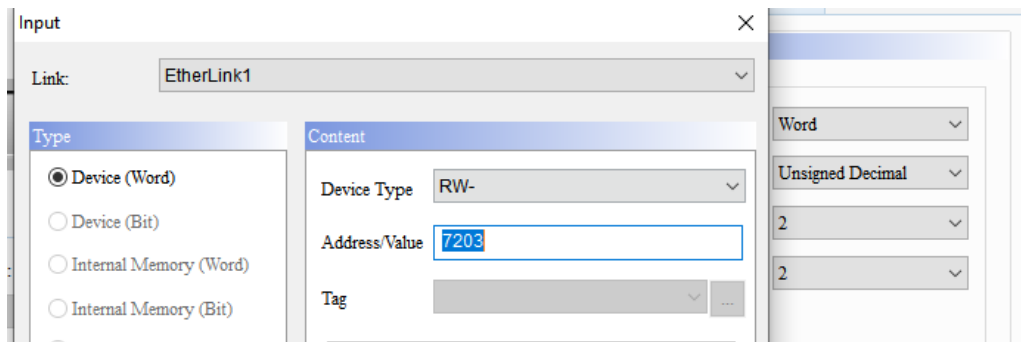


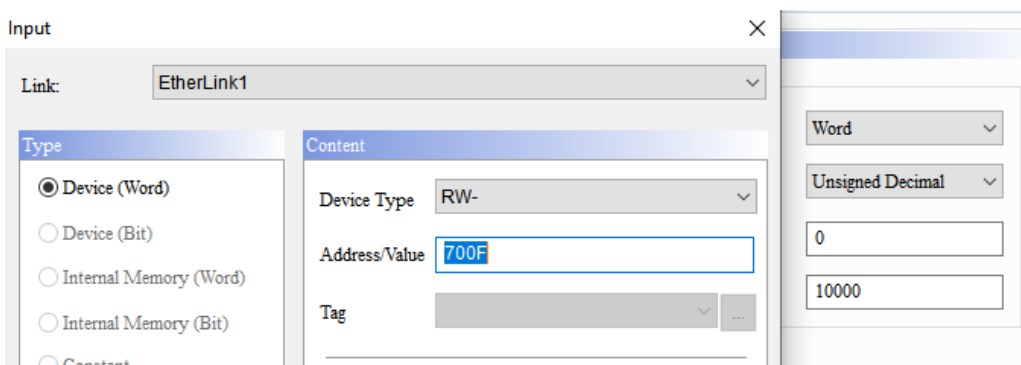
Figura 150. Asignación de registro y valor de activación en el botón marcha -Práctica 3.

Para mostrar la frecuencia se utiliza el elemento “Numeric Display” el cual se asigna el registro de lectura como se muestra en la figura 151.



**Figura 151.** Elemento “Numeric Display” para lectura de frecuencia -Práctica 3.

Para finalizar con la configuración se utiliza un “Slider” que será el encargado de regular la frecuencia, se asigna el registró de escritura como se muestra en la figura 152 y el tipo de dato “Word”, formato de datos “Unsigned Decimal” y el rango de operación se establece de 0 a 10000 que hace referencia de 0 a 60Hz.



**Figura 152.** Elemento “Slider” para regular frecuencia -Práctica 3.

### Recomendaciones.

- Revisar que las variables de lectura y escritura del HMI estén correctamente asignadas.
- Comprobar la correcta lectura de los parámetros del variador de frecuencia.
- Colocar en modo remoto el variador para una efectiva comunicación.

## Anexo 2. Manuales y configuración establecidas en la comunicación Modbus.

F10	Communication function group				
F10.00	Local Modbus communication address	1-247; 0: broadcast address		1	○
F10.01	Baud rate of Modbus communication	0:4800 1:9600 2:19200 3:38400 4:57600 5:115200		1	○
F10.02	Modbus data format	0: 1-8-N-1 (1 start bit + 8 data bits + 1 stop bit) 1: 1-8-E-1 (1 start bit + 8 data bits + 1 even parity check bit + 1 stop bit) 2: 1-8-O-1 (1 start bit + 8 data bits + 1 odd parity check bit + 1 stop bit) 3: 1-8-N-2 (1 start bit + 8 data bits + 2 stop bits) 4: 1-8-E-2 (1 start bit + 8 data bits + 1 even parity check bit + 2 stop bits) 5: 1-8-O-2 (1 start bit + 8 data bits + 1 odd parity check bit + 2 stop bits)		0	○
F10.03	485 communication timeout	0.0s-60.0s; 0.0: invalid (valid for the master-slave mode)	s	0.0	●
F10.04	Modbus response delay	1 - 20	ms	2	●
F10.05	Options of master-slave communication function	0: Invalid 1: valid		1	○
F10.06	Master-slave options	0: slave		0	○

## Anexo 3. Parámetros del motor – Modo de operación A.

### 5.7.1 Parameter identification steps

- Where the motor and load can be separated, the mechanical load and motor should be completely separated in the power-off status.
- After the power-on, set the command source of the inverter to keyboard control (F00.02=0).
- Enter the nameplate parameters of the motor accurately.

Motor	Corresponding Parameter
Motor 1	F01.00 Motor type      F01.01 Rated power of electric motor F01.02 Rated voltage of motor      F01.03 Rated current of motor F01.04 Rated frequency of motor      F01.05 Rated speed F01.06: Motor winding connection

## Anexo 4. Parámetros básicos de funcionamiento remoto.

### 6.2 Table of functional parameters

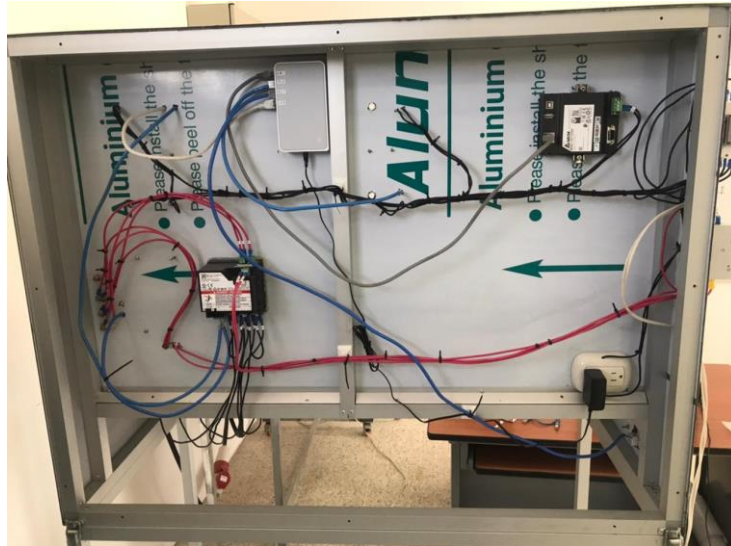
Function code	Function code name	Parameter description	Unit	Default setting	Attribute
<b>F00</b>	<b>Basic function parameter group</b>				
F00.00	Reserved				
F00.01	Drive control mode of motor 1	0: V/F control (VVF) 1: Speed sensorless vector control (SVC)		0	○
<b>F00.02</b>	Options of command source	0: keyboard control (LOC/REM indicator: ON) 1: terminal control (LOC/REM indicator: OFF) 2: communication control (LOC/REM indicator: flicker)		0	○
F00.03	Options of terminal control mode	0: terminal RUN (running) and F/R (forward/reverse) 1: terminal RUN (forward) and F/R (reverse) 2: terminal RUN (forward), Xi (stop) and F/R (reverse) 3: terminal RUN (running), Xi (stop) and F/R (forward/reverse)		0	○
<b>F00.04</b>	Options of main frequency source A	0: digital frequency setting F00.07 1: AI1 2: AI2 3: retention 4: retention 5: high frequency pulse input (X5) 6: main frequency communication setting		8	○

<b>F00.07</b>	Digital frequency setting	0.00 to maximum frequency F00.16	Hz	50.00	●
F00.08	Options of main and auxiliary operation	0: main frequency source A + auxiliary frequency source B 1: main frequency source A - auxiliary frequency source B 2: larger value of main and auxiliary frequency sources 3: smaller value of main and auxiliary frequency sources		0	○
F00.09	Reference options of auxiliary frequency source B in main and auxiliary operation	0: relative to the maximum frequency 1: Relative to main frequency source A		0	○
F00.10	Gain of main frequency source	0.0~300.0	%	100.0	●
F00.11	Gain of auxiliary frequency source	0.0~300.0	%	100.0	●

F00.16	Maximum frequency	1.00~600.00/1.0~3000.0	Hz	50.00	○
F00.17	Options of upper frequency limit control	0: set by F00.18 1: AI1 2: AI2 3: retention 4: retention 5: high frequency pulse input (X5) 6: Communication setting (percentage) 7: Communication setting (direct frequency)		0	○
F00.18	Upper frequency limit	Lower frequency limit F00.19 to maximum frequency F00.16	Hz	50.00	●
F00.19	Lower frequency limit	0.00 to upper frequency limit F00.18	Hz	0.00	●
F00.20	Running direction	0: consistent direction 1: opposite direction		0	●
F00.21	Reverse control	0: Allow forward/reverse running 1: Prohibit reversing		0	○
F00.22	Duration of forward and reverse dead zone	0.00~650.00	s	0.00	●
F00.23	Carrier frequency	1.0-16.0 (rated power of the inverter: 0.75-4.00kW) 1.0-10.0 (rated power of the inverter: 5.50-7.50kW) 1.0 - 8.0 (rated power of inverter 11.00 - 45.00kW) 1.0 - 4.0 (rated power of inverter 55.00 - 90.00kW) 1.0-3.0 (rated power of inverter: 110.00 and above)	kHz	4.0 (0.75 and below) /2.0	●
F00.24	Automatic adjustment of carrier frequency	0: Invalid 1: valid 1 2: Valid 2		1	○

CANTIDAD	MATERIAL	PRECIO
1	PLC S7-1200 CPU 1214C AC/DC/RLY	\$250.00
1	HMI DELTA DOP-103WQ	\$225.15
1	CONVERSOR DELTA MODBUS IFD9506	\$230.85
1	VARIADOR SINEE EM730-0R7-2B	\$126,45
1	DPM5110 SCHNEIDER ELECTRIC	\$200.00
3	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE CSC 30/5A	\$44.40
1	FUENTE DELTA SLIM 24VDC 75W 3,1A	\$21,73
1	SWITCH TP-LINK 8 PUERTOS	\$15.00
1	ESTRUCTURA DEL MÓDULO DIDÁCTICO	\$190.00
1	BREAKER CHNT C16-1 POLO	\$6.00
1	BREAKER CHNT C16-2 POLO	\$14.00
1	BREAKER SCHNEIDER ELECTRIC C32-2 POLOS	\$8.00
3	PORTAFUSIBLE + FUSIBLE	\$11,70
N/A	MATERIALES ADICIONALES	\$100.00
	<b>TOTAL</b>	<b>\$1.443,28</b>

*Anexo 5. Gasto general de la implementación del módulo didáctico y montaje de equipos.*



Anexo 6. Conexión de equipos - parte posterior del módulo didáctico.

**INFORME DE ANÁLISIS**  
magister

## TESIS\_FINAL\_JACKSON

**4%** Textos sospechosos

**3%** Similitudes  
< 1% similitudes entre comillas  
0% entre las fuentes mencionadas  
< 1% Idiomas no reconocidos

**Nombre del documento:** TESIS\_FINAL\_JACKSON.pdf

**ID del documento:** afb479e00452b3e207f0f26fb246d714a15c8db8

**Tamaño del documento original:** 3.51 MB

**Depositante:** Manuel Asdrual Montaño Blacio

**Fecha de depósito:** 19/6/2024

**Tipo de carga:** interface

**fecha de fin de análisis:** 19/6/2024

**Número de palabras:** 18.771

**Número de caracteres:** 128.608

Ubicación de las similitudes en el documento:

**Fuentes de similitudes**

**Fuentes principales detectadas**

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>Documento de otro usuario</b> #7e2714 El documento proviene de otro grupo 7 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (350 palabras)
2	<b>Documento de otro usuario</b> #050825 El documento proviene de otro grupo 7 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (283 palabras)
3	<b>dspace.ups.edu.ec</b> <a href="http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/260471/UPS-CT010876.pdf">http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/260471/UPS-CT010876.pdf</a> 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (53 palabras)
4	<b>TESINA ERICK ORRALA.pdf</b>   TESINA ERICK ORRALA #cb-d97b El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (55 palabras)

**Fuentes con similitudes fortuitas**

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>repositorio.ucsm.edu.pe</b>   Diseño e implementación de un módulo didáctico de a... <a href="https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/79e6cb2-1837-4fee-a2b-5fd77cd000f">https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/79e6cb2-1837-4fee-a2b-5fd77cd000f</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (15 palabras)
2	<b>www.sicma21.com</b>   Redes de Comunicación Industrial: todo lo que necesitas saber <a href="https://www.sicma21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/">https://www.sicma21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)
3	<b>scholar.google.com</b>   H.M.K.K.M.B. Herath - Google Scholar <a href="https://scholar.google.com/citations?user=8QnFwo0AAAAJ">https://scholar.google.com/citations?user=8QnFwo0AAAAJ</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)
4	<b>repositorio.uta.edu.ec</b> <a href="https://repositorio.uta.edu.ec/8443/jspui/bitstream/123456789/29164/1/Tesis_t1522id.pdf">https://repositorio.uta.edu.ec/8443/jspui/bitstream/123456789/29164/1/Tesis_t1522id.pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)
5	<b>Documento de otro usuario</b> #8d95e1 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)

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

- 1 <https://elibro.net/es/ereader/upsel/106378>
- 2 <https://www.logicbus.com.mx/Modbus.php>
- 3 <https://www.logicbus.com.mx/blog/control-de-temperatura-en>
- 4 [https://www.researchgate.net/publication/339956581\\_Sistema\\_de\\_control\\_y\\_monitor](https://www.researchgate.net/publication/339956581_Sistema_de_control_y_monitor)
- 5 <https://www.productinfo.schneider>

Anexo 7. Certificado de análisis por parte del sistema anti plagio