



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL, LOCAL Y REMOTO DE UN MOTOR TRIFÁSICO, UTILIZANDO LOS PROTOCOLOS INDUSTRIALES MODBUS, PROFINET Y WIRELESS HART, CON PLC.

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en
Electromecánica

Autores:

ANTHONY ELÍAS HINOJOZA YAZUMA

DILLAN ADOLFO JÁCOME VÁSQUEZ

TUTOR:

MSc. León Marco Aníbal

Latacunga – Ecuador

Latacunga, julio 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Anthony Elias Hinojoza Yazuma y Dillan Adolfo Jácome Vásquez declaramos ser autores del proyecto de titulación **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL, LOCAL Y REMOTO DE UN MOTOR TRIFÁSICO, UTILIZANDO LOS PROTOCOLOS INDUSTRIALES MODBUS, PROFINET Y WIRELESS HART, CON PLC”**, siendo el Ing. Marco Aníbal León Segovia, Ms.C tutor del presente trabajo de titulación; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Anthony Elias Hinojoza Yazuma
CC. 0202411658



Dillan Adolfo Jácome Vásquez
CC. 1755156179

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL, LOCAL Y REMOTO DE UN MOTOR TRIFÁSICO, UTILIZANDO LOS PROTOCOLOS INDUSTRIALES MODBUS, PROFINET Y WIRELESS HART, CON PLC”**, propuesto por los estudiantes Anthony Elias Hinojoza Yazuma y Dillan Adolfo Jácome Vásquez de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.




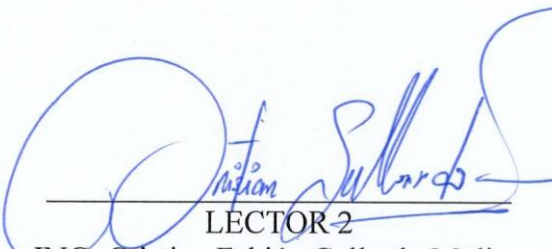

MSc. Marco Aníbal León Segovia
C.C. 050230540-2
TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Propuesta Tecnológica con el Título “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL, LOCAL Y REMOTO DE UN MOTOR TRIFÁSICO, UTILIZANDO LOS PROTOCOLOS INDUSTRIALES MODBUS, PROFINET Y WIRELESS HART, CON PLC**”, propuesto por los estudiantes Anthony Elias Hinojoza Yazuma y Dillan Adolfo Jácome Vásquez de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, nos permitimos indicar que los estudiante han concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de Aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad de Propuesta Tecnológica en virtud de lo cual los postulantes puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que ponemos en conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,

 LECTOR 1 (PRESIDENTE) ING. Carlos Francisco Pacheco Mena CC: 050307290-2	 LECTOR-2 ING. Cristian Fabián Gallardo Molina CC: 050284769-2
 LECTOR 3 ING. Efrén Damian Alban Andrade CC: 1757121940	

AGRADECIMIENTO

Dios siempre cumple lo que promete

1 Tesalonicenses :5;24

En primer lugar, tengo un profundo agradecimiento con Dios, porque Él ha sido el autor de cada paso en este camino. Cuando solo era un sueño, Él ya lo veía como una realidad. Gracias, Dios, porque hiciste posible lo que parecía lejano, porque nunca me dejaste solo y porque tu fidelidad me sostuvo.

A mis padres amados, gracias por ser mi fuerza. Gracias por cada sacrificio silencioso, por cada palabra de aliento y por creer en mí incluso cuando ni yo mismo lo hacía. Muchas gracias por sostenerme en mis días difíciles.

A mi querida Universidad Técnica de Cotopaxi, gracias por abrirme las puertas y formarme con excelencia. A los docentes que, de una u otra forma, aportaron en mi formación académica y personal, mi más sincero respeto y gratitud.

A mi amada carrera de Ingeniería Electromecánica, gracias por cada desafío, cada aprendizaje y cada noche de desvelo que hoy dan fruto

A mi estimado amigo, Ingeniero Eduardo Hinojosa, gracias por su guía, su disposición y su apoyo constante que fueron claves en este proceso.

A mi compañero de tesis, Dillan Jácome, gracias por compartir este reto. Por tu esfuerzo, tu dedicación y tu compromiso. No fue fácil, pero demostramos que sí se podía.

A todos los que creyeron, apoyaron, enseñaron o simplemente acompañaron, gracias de corazón. Este logro es mío, pero también es de ustedes.

Anthony Hinojoza

DEDICATORIA.

Esta tesis está dedicada a:

A mis queridos padres, gracias infinitas. Papá Marcial, este siempre fue tu sueño, y verlo cumplido es también tu victoria. Caminamos juntos con la esperanza puesta en un futuro mejor, y hoy lo estamos alcanzando. Y a mi amada Florcita, la mujer que, con amor, y su fe en mí, me mostró que todo lo que soñaba podía hacerse realidad. Este logro nunca será solo mío, sino también suyo, porque me acompañó con su apoyo incondicional.

A mis hermanitas: Sandra, Daniela, Damaris, y a mi Polet. Este logro también es suyo. Siempre soñamos con días mejores, con vernos crecer, con romper barreras. Gracias por creer en mí, por motivarme, por ser parte de mis razones para no rendirme. Su hermano lo logró.

A mi amada Alexandra, Esto también es para ti, Tú también fuiste parte del inicio de este sueño. Gracias por estar, por animarme, por recordarme que no soy menos que nadie, que tengo las mismas capacidades que cualquier persona, que puedo lograr grandes cosas si creo en mí. Gracias por quedarte, por tu apoyo, por creer incluso cuando yo dudaba. ¡Lo logramos!

Y finalmente, a mí. Gracias por decidir creer cuando todo parecía incierto, por levantarte una y otra vez, por no rendirte aun cuando las reglas del juego parecían estar en contra. Gracias por confiar en ti, por soñar sin miedo, por pelear cada día por ser mejor. Gracias, Anthony, porque, aunque fue duro, no te diste por vencido.

Anthony Hinojoza

AGRADECIMIENTO

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, gracias por iluminar mi camino, darme salud, paciencia y la oportunidad de culminar esta etapa tan importante de mi vida.

Agradezco de manera especial a mi amada Universidad Técnica de Cotopaxi y a mi querida carrera de Ingeniería Electromecánica, por brindarme la formación académica y profesional necesaria para alcanzar este objetivo.

A mi director de tesis, por su guía, dedicación y apoyo constante durante el desarrollo de este trabajo. Su experiencia y acompañamiento fueron fundamentales para la culminación de este proyecto.

A mi madre, Miriam Vásquez, por su amor infinito, su esfuerzo incansable y por ser mi ejemplo de lucha y constancia. A mi padre, Edgar Jácome, quien ya no está físicamente conmigo, pero cuyo amor, valores y enseñanzas permanecen presentes en mi vida y en este logro.

A mis hermanos, por su compañía y motivación constante. A mi abuelita, por sus oraciones, cariño y sabiduría. A mi cuñado, mi tía y mis sobrinos, gracias por sus palabras de aliento y su apoyo en cada momento.

Este logro no es solo mío, sino de todos ustedes que me acompañaron en este camino. Gracias por creer en mí.

Dillan Jácome

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía y refugio en los momentos de dificultad y por darme la fuerza para seguir adelante cada día.

A la memoria de mi padre, Edgar Jácome, cuya ausencia física nunca ha significado olvido, sino más bien presencia constante en cada paso que doy. Este logro es también tuyo.

A mi madre, Miriam Vásquez, por ser mi inspiración, por su amor incondicional, su esfuerzo y su fe en mí, incluso en los momentos más difíciles.

A mis hermanos, mi abuelita, mi cuñado, mi tía y mis sobrinos, por ser parte muy importante en mi vida, por su compañía, apoyo y cariño inquebrantable e incondicional.

Gracias por caminar a mi lado. Este triunfo es compartido con todos ustedes.

Dillan Jácome

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL, LOCAL Y REMOTO DE UN MOTOR TRIFÁSICO, UTILIZANDO LOS PROTOCOLOS INDUSTRIALES MODBUS, PROFINET Y WIRELESS HART, CON PLC”

Autores:

Dillan Adolfo Jácome Vásquez
Anthony Elias Hinojoza Yazuma.

RESUMEN

El presente proyecto consistió en el diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo y control local y remoto para un motor trifásico, aplicando los protocolos industriales Modbus RTU, Profinet y Wireless-HART. El objetivo principal fue comprobar que estos protocolos permiten enviar y recibir datos correctamente desde el PLC Siemens S7-1200 hacia diferentes dispositivos como el variador de frecuencia, la HMI y una interfaz remota. Se buscó simular una aplicación real donde se pueda supervisar el funcionamiento del motor y controlar variables clave como arranque, paro, cambio de giro y ajuste de velocidad. Para validar el sistema, se realizaron pruebas experimentales bajo condiciones reales, aplicando cargas mecánicas progresivas de 5, 10, 15 y 20 kilogramos al eje del motor. Se registraron y analizaron variables como velocidad (RPM), corriente (A), torque (N·m) y voltaje (V) en tiempo real, usando bloques de programación específicos dentro del entorno TIA Portal. Los datos fueron visualizados tanto en la pantalla HMI como en una interfaz construida en LabVIEW para comprobar el monitoreo remoto a través de Wireless-HART. Los resultados demostraron que el sistema tiene un buen rendimiento operativo a partir de los 50 Hz, donde el motor alcanza su velocidad nominal y mantiene valores estables de torque y corriente incluso bajo carga. Además, se comprobó que los tres protocolos funcionaron correctamente y se comunicaron sin fallos. Se concluye que el sistema cumple con los objetivos propuestos, ya que permite controlar y supervisar el comportamiento del motor.

Palabras clave: Motor trifásico, Monitoreo, Control, Modbus RTU, Profinet, Wireless-HART, PLC Siemens.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: "DESIGN OF A LOCAL AND REMOTE MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR A THREE-PHASE MOTOR, USING THE MODBUS, PROFINET, AND WIRELESS HART INDUSTRIAL PROTOCOLS, WITH A PLC"

Authors:

Dillan Adolfo Jácome Vásquez

Anthony Elías Hinojoza Yazuma.

Abstract:

This project consisted in the design and development of a local and remote monitoring and control system for a three-phase motor, applying the industrial communication protocols Modbus RTU, Profinet, and Wireless-HART. The main objective was to verify that these protocols allow correct data exchange from the Siemens S7-1200 PLC to different devices such as the frequency inverter, the HMI, and a remote interface. The system aimed to simulate a real application where it would be possible to supervise the motor's operation and control key variables such as start, stop, direction change, and speed adjustment. To validate the system, experimental tests were carried out under real conditions, applying progressive mechanical loads of 5, 10, 15, and 20 kilograms to the motor shaft. Variables such as speed (RPM), current (A), torque (N·m), and voltage (V) were recorded and analyzed in real time using specific programming blocks within the TIA Portal environment. The data were displayed both on the HMI screen and on an interface built in LabVIEW to verify remote monitoring through Wireless-HART. The results showed that the system performs well from 50 Hz onwards, where the motor reaches its nominal speed and maintains stable torque and current values even under load. Additionally, it was confirmed that the three protocols operated correctly and communicated without errors. It is concluded that the system meets the proposed objectives, as it allows controlling and monitoring the motor's behavior.

Keywords: Three-phase motor, Monitoring, Control, Modbus RTU, Profinet, Wireless-HART, Siemens PLC

INDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. Problemática	2
2.2. Planteamiento del problema.....	3
2.3. Objeto y Campo de Acción.....	3
2.3.1. Objeto de investigación:	3
2.3.2. Campo de acción	3
2.4. Beneficiarios	3
2.4.1. Beneficiarios directos:	3
2.4.2. Beneficiarios indirectos:	3
2.5. Justificación	4
2.6. Objetivos	4
2.6.1. Objetivo de estudio	4
2.6.2. Objetivos específicos	4
2.6.3. Sistemas de tareas	5
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1. Antecedentes	6
3.2. Pirámide de Automatización.....	7
3.2.1. Niveles de la Pirámide de Automatización:	7
3.3. Redes Industriales de Comunicación	8
3.4. Protocolos de comunicación industrial	9
3.4.1. Protocolo Modbus	9
3.4.2. Variantes Principales	11
3.5. Protocolo PROFINET	13
3.5.1. Roles cliente-servidor	13
3.5.2. Inicialización de la comunicación	14

3.6. Protocolo Wireless-HART	14
3.6.1. Usa de canales múltiples con salto de frecuencia (FHSS).....	15
3.6.2. Latencia operativa de la red Wireless-HART.....	15
3.6.3. Arquitectura Gateway, Network Manager y Security Manager	16
3.7. Motores de corriente alterna (CA)	16
3.7.1. Motores trifásicos	17
3.7.2. Voltaje y Corriente Nominal	17
3.7.3. Frecuencia eléctrica (Hz).....	18
3.7.4. Potencia Eléctrica	19
3.7.5. Potencia nominal y sus unidades	19
3.7.6. Eficiencia y factor de potencia	20
3.8. Torque en motores eléctricos trifásicos	21
3.9. Relación con los Cuatro Cuadrantes de Operación	22
3.10. Encoder incremental Omron E6B2-CWZ6C	23
3.10.1. Características principales del encoder Omron E6B2-CWZ6C	24
3.10.2. ¿Cómo funciona un encoder?	24
3.11. Variador de frecuencia Wecon VM2S1R5.....	25
3.11.1. ¿Qué es un variador de frecuencia y para qué se utiliza?.....	25
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
4.1. Métodos De Investigación	26
4.1.1. Método científico.....	26
4.1.2. Método empírico	26
4.1.3. Método experimental	26
4.1.4. Tipo de prácticas realizadas.....	27
4.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN	27
4.2.1. Técnicas	27
4.2.2. Instrumentos	28

4.3.	TÉCNICAS PARA EL PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	28
4.3.1.	Técnicas:.....	28
4.4.	CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.....	29
4.4.1.	PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200 1211C AC/DC/RLYe.....	29
4.4.2.	Fuente de alimentación AC-DC.	30
4.4.3.	CM 1241, RS422/485	30
4.4.4.	Breaker de 2 fases.....	31
4.4.5.	HF-9606W PLC Gateway 4xEthernet.....	32
4.4.6.	Cable de conexión Modbus	32
4.4.7.	SIMATIC KTP400 Basic Mono PN.....	33
4.4.8.	Motor Trifásico SIEMENS.....	34
4.4.9.	Conector Modbus	35
4.4.10.	Encoder Omron E6B2-CWZ6C.....	36
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	37
5.1.	Ubicación de la maqueta en los laboratorios de la Universidad.	38
5.2.	Resultados experimentales bajo diferentes condiciones de carga.....	39
5.3.	Análisis según las variables medidas durante las pruebas	41
5.3.1.	Torque del motor trifásico	41
5.3.2.	Corriente del motor trifásico.....	41
5.3.3.	Velocidad del motor trifásico	41
5.3.4.	Voltaje del motor trifásico	41
5.4.	Análisis de la velocidad del motor en función de la carga aplicada.	42
5.4.1.	Comportamiento la velocidad según la frecuencia de operación.	43
5.5.	Análisis de la corriente del motor en función de la carga aplicada	44
5.5.1.	Comportamiento de la corriente según la frecuencia de operación.....	45
5.6.	Análisis del torque del motor en función de la carga aplicada.	46
5.6.1.	Comportamiento del torque según la frecuencia de operación.....	47

5.7. Síntesis del comportamiento del motor bajo diferentes condiciones de carga y frecuencia.....	47
5.8. Descripción técnica de la integración de protocolos de comunicación industrial	48
5.8.1. Profinet	48
5.8.2. Modbus	49
5.8.3. Wireless-HART	49
5.9. Comparación técnica entre los protocolos Profinet, Modbus RTU y Wireless-HART50	
6. PRESUPUESTOS Y ANÁLISIS DE IMPACTO.....	51
6.1. PRESUPUESTO	51
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
7.1. CONCLUSIONES	53
7.2. RECOMENDACIONES.....	54
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
9. ANEXOS	58

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 3. 1 PIRÁMIDE DE LA AUTOMATIZACIÓN.[2].....	8
FIGURA 3. 2. REDES INDUSTRIALES DE COMUNICACIÓN.[3].....	9
FIGURA 3. 3. COMUNICACIÓN MAESTRO - ESCLAVO	11
FIGURA 3. 4. ROLES CLIENTE SERVIDOR.[10].....	14
FIGURA 3. 5 CUADRANTES DEL MOTOR AC. [31].....	22
FIGURA 3. 6. ENCODER INCREMENTAL OMRON E6B2-CWZ6C.....	23
FIGURA 3. 7. VARIADOR DE FRECUENCIA WECON VM2S1R5	25
FIGURA 4. 1. PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200.....	29
FIGURA 4. 2. CM 1241, RS422/485.....	31
FIGURA 4. 3.BREAKER DE 2 FASES.[36].	31
FIGURA 4. 4.HF-9606W PLC GATEWAY 4xETHERNET.....	32
FIGURA 4. 5.CABLE DE CONEXIÓN MODBUS.[37].	33
FIGURA 4. 6.SIMATIC KTP400 BASIC MONO PN. [38].	33
FIGURA 4. 7.MOTOR TRIFÁSICO SIEMENS 1LA7 070-2YA60	35
FIGURA 4. 8.CONECTOR MODBUS. [39].	35
FIGURA 4. 9.ENCODER OMRON E6B2-CWZ6C.....	36
FIGURA 5. 1.UBICACIÓN DE LA MAQUETA EN LOS LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD. 38	
FIGURA 5. 6.VISUALIZACIÓN DEL PROTOCOLO PROFINET ACTIVO EN EL ENTORNO TIA PORTAL	48
FIGURA 5. 8. INTERFAZ HMI DESARROLLADA EN LABVIEW MEDIANTE PROTOCOLO WIRELESSHART.....	49
FIGURA 9. 1.PANTALLA PRINCIPAL DEL HMI CON MENÚ DE NAVEGACIÓN.	59
FIGURA 9. 2. PANTALLA DE MONITOREO DE VARIABLES DEL MOTOR EN TIEMPO REAL. ...	59
FIGURA 9. 3. PANTALLA DE LECTURA DEL ENCODER	60
FIGURA 9. 4. PANTALLA GRÁFICA DE VELOCIDAD DEL MOTOR EN FUNCIÓN DEL TIEMPO. 60	
FIGURA 9. 5. RED 8-LECTURA Y CONVERSIÓN DE LA CORRIENTE DESDE EL VARIADOR DE FRECUENCIA.....	61
FIGURA 9. 6. RED 9 - LECTURA DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR EN RPM.	61
FIGURA 9. 7. RED 10 – LECTURA DEL VOLTAJE DEL MOTOR DESDE EL VFD.....	62
FIGURA 9. 8. RED 11 – LECTURA DE LA FRECUENCIA DE OPERACIÓN DEL MOTOR.	62
FIGURA 9. 9. RED 15 – CÁLCULO DEL TORQUE REAL DEL MOTOR.	63
FIGURA 9. 10. HOJA 1 DEL BLOQUE MAIN OB1: ADQUISICIÓN DE PULSOS.	70
FIGURA 9. 11. HOJA 2 DEL BLOQUE MAIN OB1: CONVERSIÓN Y RPM.	71

FIGURA 9. 12. HOJA 3 DEL BLOQUE MAIN OB1: ESCALADO.....	72
FIGURA 9. 13. HOJA 4 DEL BLOQUE MAIN OB1: CONTADOR CÍCLICO.....	73
FIGURA 9. 14. HOJA 1 DE LA TABLA DE TAGS DEL PLC SIEMENS S7-1200	74
FIGURA 9. 15. HOJA 2 DE LA TABLA DE TAGS DEL PLC SIEMENS S7-1200	75
FIGURA 9. 16. PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA WECON (PARTE 1)	76
FIGURA 9. 17. PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA WECON (PARTE 2)	77
FIGURA 9. 18. PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA WECON (PARTE 3)	78
FIGURA 9. 19. DIRECCIONES MODBUS PARA CONTROL Y MONITOREO DEL VFD	79
FIGURA 9. 20. ESTADOS DE FALLA Y ERRORES MODBUS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA	80
FIGURA 9. 21. PLANO ELÉCTRICO 1.....	82
FIGURA 9. 22. DIAGRAMA DE COMUNICACIÓN.....	83
FIGURA 9. 23. PLANO ESTRUCTURAL DEL MC001.....	84

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. 1. MODALIDAD DE TITULACIÓN	1
TABLA 1. 2 CAMPOS DE LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA UNESCO.....	2
TABLA 2. 1 SISTEMA DE TAREAS.....	5
TABLA 3. 1.FUNCIONES MODBUS MÁS COMUNES	9
TABLA 3. 2.FUNCIONES MODBUS MÁS UTILIZADAS EN MODBUS RTU SOBRE RS-485	12
TABLA 3. 3.COMPARACIÓN ENTRE MODBUS RTU Y MODBUS TCP/IP.....	12
TABLA 3. 4.PROCESO DE INICIALIZACIÓN DE LA COMUNICACIÓN EN PROFINET	14
TABLA 3. 6.RELACIÓN CON LOS CUATRO CUADRANTES DE OPERACIÓN	22
TABLA 3. 7.CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL ENCODER OMRON E6B2-CWZ6C.....	24
TABLA 5. 1.DATOS DEL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR CON CARGA Y SIN CARGA	39
TABLA 5. 2.ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR EN FUNCIÓN DE LA CARGA APLICADA.	41
TABLA 5. 3.ANÁLISIS DE LA CORRIENTE DEL MOTOR EN FUNCIÓN DE LA CARGA APLICADA	43
TABLA 5. 4. ANÁLISIS DEL TORQUE DEL MOTOR EN FUNCIÓN DE LA CARGA APLICADA ...	45
TABLA 5. 5..COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS PROTOCOLOS PROFINET, MODBUS RTU Y WIRELES-HART	49
TABLA 6. 1. PRESUPUESTO DETALLADO PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	52
TABLA 9. 1. TABLA DE EQUIPOS UTILIZADOS	65
TABLA 9. 2. FICHA TÉCNICA DEL MOTOR TRIFÁSICO SIEMENS 1LA7 070-2YA60.	66
TABLA 9. 3. FICHA TÉCNICA DEL GATEWAY HF-9606W PLC GATEWAY 4xETHERNET. 67	
TABLA 9. 4. FICHA TÉCNICA DEL MÓDULO DE COMUNICACIÓN SIEMENS CM 1241 (RS- 485).....	67
TABLA 9. 5. FICHA TÉCNICA DEL PLC SIEMENS S7-1200 1211C AC/DC/RLY.....	67
TABLA 9. 6. FICHA TÉCNICA DEL VARIADOR DE FRECUENCIA WECON VM2S1R5.	68
TABLA 9. 7. FICHA TÉCNICA DEL ENCODER OMRON E6B2-CWZ6C.....	68

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICA 5. 1. ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR EN FUNCIÓN DE LA CARGA APLICADA.....	42
GRÁFICA 5. 2. ANÁLISIS DE LA CORRIENTE DEL MOTOR EN FUNCIÓN DE LA CARGA APLICADA.....	44
GRÁFICA 5. 3. ANÁLISIS DEL TORQUE DEL MOTOR EN FUNCIÓN DE LA CARGA APLICADA	46

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Diseño de un sistema de monitoreo y control, local y remoto de un motor trifásico, utilizando los protocolos industriales Modbus, Profinet y Wireless Hart, con PLC.

Modalidad de titulación

Tabla 1. 1. Modalidad de titulación

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

Equipo de trabajo

- Dillan Adolfo Jácome Vásquez
- Anthony Elias Hinojoza Yazuma
- MSc. Marco Aníbal León

Área de conocimiento

Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO

Tabla 1. 2 Campos de la ciencia y Tecnología UNESCO

Área de Conocimiento	Subárea de Conocimiento	Subárea específica del conocimiento
330000 Ciencias Tecnológicas	3306 ingeniería y Tecnología Eléctricas	330601 utilización de la corriente continua
		330602 aplicaciones Eléctricas
		330603 motores eléctricos.

Línea de investigación: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublínea de investigación de la carrera: Automatización y control avanzado de procesos industriales e inteligencia artificial aplicada a la robótica y la industria.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Problemática

En la carrera de Ingeniería Electromecánica, se evidencia una formación limitada en el manejo de protocolos industriales como Modbus, Profinet y WirelessHART, los cuales son fundamentales en la automatización y el control. Sin embargo, muchas veces estos temas se abordan de forma principalmente teórica, lo que dificulta alcanzar plenamente los resultados de aprendizaje vinculados con la configuración, integración y operación de sistemas de comunicación industrial.

En consecuencia, no siempre se logra que los estudiantes desarrollen la competencia de implementar y supervisar la comunicación entre varios dispositivos en un sistema real. Por ello, este proyecto busca diseñar un sistema práctico que permita monitorear y controlar un motor trifásico tanto local como remotamente, utilizando estos tres protocolos. Esto facilitará que los estudiantes interactúen con equipos reales y apliquen lo aprendido en clases de forma más clara, visual y funcional, contribuyendo así al cumplimiento de los resultados de aprendizaje establecidos.

Este tipo de trabajos permite reforzar habilidades esenciales para el campo laboral, como configurar redes de comunicación, analizar el comportamiento de un motor ante diferentes órdenes y comprender la interconexión de todos los dispositivos que conforman un sistema industrial.

2.2. Planteamiento del problema

¿Cómo integrar los protocolos utilizados en la comunicación industrial, Profinet y WirelessHART en un sistema para la supervisión y control tanto local como remoto de un motor trifásico mediante PLC, para fortalecer su aplicación práctica en entornos de formación técnica?

2.3. Objeto y Campo de Acción

2.3.1. Objeto de investigación:

Diseñar un sistema automatizado para el monitoreo y control, local y remoto, de un motor trifásico utilizando protocolos Modbus, Profinet y WirelessHART.

2.3.2. Campo de acción

Ciencias Tecnológicas, Ingeniería y Tecnología Eléctrica, Tecnología Electrónica, Generadores de energía. Fuentes no convencionales de energía. Tecnología de la Automatización, Motores Trifásicos.

2.4. Beneficiarios

2.4.1. Beneficiarios directos:

Estudiantes de ingeniería electromecánica, quienes podrán aplicar lo aprendido en clases a través de un sistema real y funcional, fortaleciendo sus conocimientos en control y comunicación industrial.

2.4.2. Beneficiarios indirectos:

La Universidad Técnica de Cotopaxi, contará con un recurso práctico que podrá ser utilizado en futuras prácticas, clases y proyectos de titulación.

2.5. Justificación

Este proyecto busca establecer e implementar una configuración de monitoreo y control para un motor trifásico, que opera tanto en el sitio como de forma remota utilizando protocolos de comunicación industrial como Modbus, Profinet y WirelessHart

A nivel local, el sistema permitirá interactuar directamente desde una pantalla HMI, mostrando y ajustando factores como encendido del motor, velocidad, rotación o desaceleración. En el nivel remoto, la comunicación inalámbrica se ve impulsada por el protocolo WirelessHart, que permite la verificación de parámetros desde una fuente externa, perfecta para imitar la dispersión o la configuración industrial de difícil acceso.

El aspecto clave de este proyecto es que no es simplemente un escenario simulado, sino una configuración real con equipo tangible, donde todos los componentes esenciales están vinculados y organizados: PLC, variador de frecuencia, codificador, HMI, esto ofrece un viaje de aprendizaje más completo, ya que cubre los elementos conceptuales y prácticos.

2.6. Objetivos

2.6.1. Objetivo de estudio

Diseñar un sistema funcional de monitoreo y control para un motor trifásico, que permita la gestión de variables como velocidad, voltaje, torque, corriente, de forma local como inalámbrica, mediante los protocolos industriales Modbus, Profinet y Wireless-HART.

2.6.2. Objetivos específicos

1. Investigar los protocolos de comunicación industrial Profinet, Modbus y WirelessHART mediante la revisión de documentos que permita entender su funcionamiento.
2. Analizar cómo se comporta un motor trifásico evaluando variables de velocidad, voltaje, torque y corriente en vacío y con carga, para determinar su comportamiento bajo distintas condiciones.
3. Diseñar un sistema que permita monitorear y controlar un motor trifásico usando el protocolo WirelessHART con la finalidad de lograr su operación remota.

4. Integrar los protocolos Profinet, Modbus y WirelessHART en un mismo sistema, de forma que todo el control del motor opere bajo conexiones fijas e inalámbricas.

2.6.3. Sistemas de tareas

Tabla 2. 1 Sistema de tareas

Objetivos Específicos	Actividades (Tareas)	Resultados Esperados	Técnicas Medios e Instrumentos
Investigar los protocolos de comunicación industrial Profinet, Modbus y WirelessHART mediante la revisión de documentos que permita entender su funcionamiento.	<ul style="list-style-type: none"> - Leer información de cada protocolo. - Comparar sus ventajas y desventajas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Documento con resumen y comparación de los tres protocolos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión de manuales técnicos, tesis y artículos confiables en PDF.
Analizar cómo se comporta un motor trifásico evaluando variables de velocidad, voltaje, torque y corriente en vacío y con carga, para determinar su comportamiento bajo distintas condiciones.	<ul style="list-style-type: none"> -Ejecutar pruebas con el motor en vacío y con cargas progresivas (5kg, 10 kg, 15kg y 20kg). -Registrar sus variables del sistema HMI. -Procesar los datos en Excel y generar gráficos de comportamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> -Datos cuantitativos organizados por condición de carga. -Análisis técnico de comportamiento del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> -PLC Siemens S7-1200 -HMI -Encoder -Variador de frecuencia -Cargas físicas -Microsoft Excel
Diseñar un sistema que permita monitorear y controlar un motor trifásico usando el protocolo WirelessHART con la	<ul style="list-style-type: none"> -Configurar la comunicación entre el PLC y el Gateway WirelessHART. 	<ul style="list-style-type: none"> -Sistema de control funcional local y remoto. -Comunicación estable mediante WirelessHART 	<ul style="list-style-type: none"> -Gateway WirelessHART -PLC Siemens S7-1200 -HMI -TIA Portal

<p>finalidad de lograr su operación remota.</p>	<p>-Verificar la operación remota del motor desde el SCADA LabVIEW.</p>		<p>-Manuales técnicos y datasheet</p>
<p>Integrar los protocolos Profinet, Modbus y WirelessHART en un mismo sistema, de forma que todo el control del motor opere bajo conexiones cableadas e inalámbricas.</p>	<p>-Establecer comunicación entre PLC, HMI</p> <p>-Verificar la interoperabilidad del sistema.</p>	<p>-Sistema funcionando con los tres protocolos.</p> <p>-Comunicación efectiva entre dispositivos</p>	<p>-PLC Siemens S7-1200</p> <p>-Gateway WirelessHART</p> <p>-HMI</p> <p>-TIA Portal</p> <p>-Encoder</p> <p>-Software TIA Portal y LabVIEW</p> <p>-Variador de frecuencia</p>

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

La automatización industrial se trata del uso de tecnología para que los procesos de producción funcionen solos o con muy poca intervención humana. Su función principal es hacer que todo sea más eficiente y seguro mientras se mejora la calidad del producto. Gracias a esto, las actividades que implican procesos reiterativos o que exigen precisión se lograr hacer de forma continua sin depender tanto del operador humano.[1].

En este tipo de sistemas se usan sensores, PLCs, actuadores y otros dispositivos que trabajan al mismo tiempo para controlar cosas como la presión, la temperatura o la velocidad. Todos estos elementos se conectan entre sí y hacen que el proceso se mantenga estable y dentro de lo que se necesita. [1].

Otra ventaja importante es que la automatización hace posible aplicar sistemas que se adaptan cuando cambia algo en el entorno o en el proceso mismo. Esto da más flexibilidad y permite que la planta responda mejor a los problemas que puedan surgir. Al mismo tiempo se usan mejor los recursos y se reducen algunos gastos operativos. [1].

3.2. Pirámide de Automatización

La pirámide de automatización es una forma de organizar cómo se maneja el control dentro de una planta industrial. Está dividida en niveles y cada uno cumple un rol distinto desde lo más básico hasta lo más avanzado. Todos esos niveles están conectados entre sí lo que permite que la información fluya bien y que el control del proceso sea más claro y ordenado, en la Figura 3. 1 se evidencia cada nivel.

3.2.1. Niveles de la Pirámide de Automatización:

- **Nivel 0 – Campo:** Corresponde a los dispositivos que interactúan directamente con el entorno físico del proceso industrial. En este nivel se encuentran los sensores encargados de captar señales del sistema y los actuadores que ejecutan acciones específicas según las órdenes recibidas.
- **Nivel 1 – Control:** Está conformado por equipos como los controladores lógicos programables PLC, que reciben la información de los sensores, la procesan de acuerdo con una lógica predefinida y emiten señales para accionar los elementos necesarios dentro del sistema.
- **Nivel 2 – Supervisión:** En este nivel se ubican los sistemas SCADA y las interfaces HMI, que permiten al operador visualizar el estado del proceso en tiempo real, supervisar variables clave y tomar decisiones rápidas ante cualquier cambio o falla detectada.
- **Nivel 3 – Ejecución:** Aquí operan los sistemas MES encargados de coordinar y registrar todo lo que ocurre en la planta de producción.
- **Nivel 4 – Gestión:** Este nivel integra los sistemas ERP que vinculan la producción con otras áreas clave de la empresa, como finanzas, logística y recursos humanos. Su función es proporcionar una visión global del negocio y facilitar la toma de decisiones estratégicas. [2].

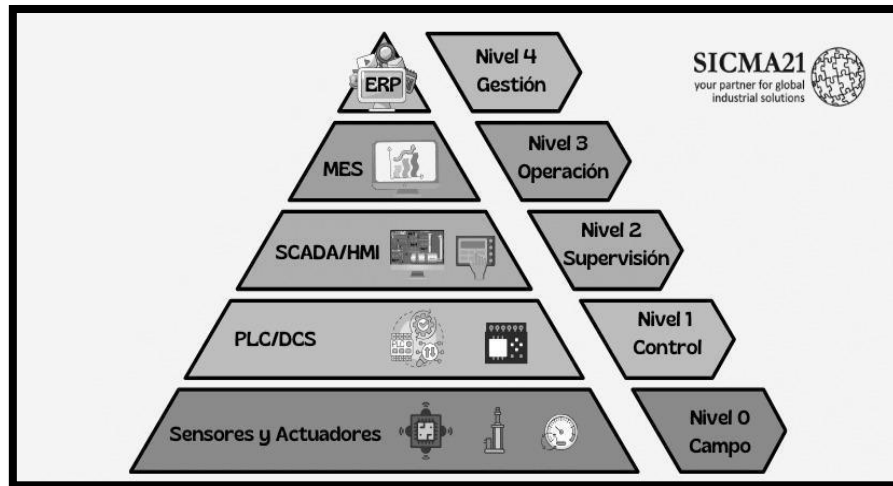


Figura 3. 1 Pirámide de la Automatización.[2].

3.3.Redes Industriales de Comunicación

Hoy en día en la industria es muy importante que los sensores y dispositivos se conecten entre sí con rapidez y sin complicaciones porque eso permite que todo el sistema funcione sin interrupciones. Cuando estos equipos se comunican bien los datos se pueden intercambiar al instante incluso en momentos complejos lo cual ayuda a que los procesos no se detengan y se mantenga una buena productividad.

En la parte más baja de la estructura de automatización están los sensores y actuadores que son los que se encargan de recibir o enviar señales directamente en la línea de producción. Cómo trabajan en tiempo real necesitan que la comunicación sea rápida y estable porque cualquier retraso puede afectar el funcionamiento general del sistema.

Tener una red de comunicación industrial ayuda a que las empresas mejoren sus tiempos de respuesta y que sus productos salgan con mejor calidad. También hace posible usar nuevas tecnologías relacionadas con el internet aplicado a la industria que conecta equipos y permite ver información en el momento sin tener que esperar procesos largos. [3]. En la Figura 3. 2 se muestra las diferentes redes industriales de comunicación.

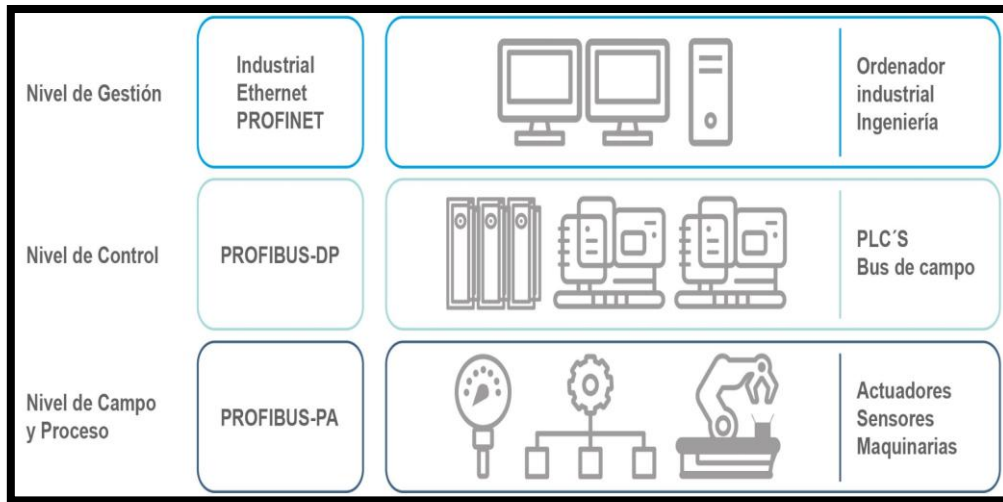


Figura 3. 2. Redes Industriales de comunicación.[3].

3.4. Protocolos de comunicación industrial

En la automatización industrial, los protocolos de comunicación son básicos porque permiten que los equipos y sistemas se entiendan entre sí. Funcionan con reglas que ayudan a que la información viaje rápido y sin errores entre sensores, actuadores, controladores y sistemas de supervisión. Cuando todo está bien implementado, los procesos funcionan de manera coordinada y eficiente.

Algunos de los protocolos más comunes en la industria son Modbus, Profinet y WirelessHART. Cada uno tiene sus ventajas: Modbus es fácil de usar, Profinet es rápido y sirve para comunicaciones en tiempo real, mientras que WirelessHART es útil cuando no se pueden instalar cables o resulta muy caro hacerlo. [4].

Es importante destacar que estos protocolos industriales son diferentes de los que se usan en redes comerciales o de oficina. Están diseñados para ambientes que exigen alta fiabilidad y resistencia ante condiciones difíciles. Gracias a esto, los sistemas industriales pueden trabajar sin interrupciones, reducir tiempos muertos y mejorar la productividad en general. [5].

3.4.1. Protocolo Modbus

El protocolo Modbus funciona con un grupo de funciones o códigos que permiten leer y escribir datos en las entradas salidas y registros de los dispositivos esclavos. Estas funciones se envían en mensajes que el maestro manda al esclavo y cada uno interpreta lo

que debe hacer según la acción requerida. En general estas funciones se dividen en dos grupos las que leen y las que escriben tanto para señales digitales como analógicas. [6].

3.4.1.1. Funciones Modbus más comunes

Algunas de estas funciones son las más comunes para mantener la comunicación versátil y eficiente están en la Tabla 3. 1:

Tabla 3. 1. Funciones Modbus más comunes

Código de Función	Nombre	Descripción
01	Leer salidas digitales	Saber si un actuador está encendido o apagado
02	Leer entradas digitales	Ver el estado de botones o sensores
03	Leer Registros	Obtener valores como velocidad o corriente
04	Leer entradas analógicas	Medir variables como voltaje
05	Escribir una salida	Encender o apagar un actuador
06	Escribir un registro	Enviar una consigna al VDF (ej. velocidad)

3.4.1.2. Modelo maestro-esclavo

Modbus usa un sistema donde hay un equipo principal que controla todo, suele ser un PLC o un sistema SCADA. Solo ese equipo puede empezar a hablar con los demás que son los esclavos, como sensores o actuadores, como se muestra en la Figura 3. 3. Estos solo responden cuando el maestro les pide algo, así no se generan problemas ni se mezclan las señales.

Cada esclavo tiene su propio número o dirección para que el maestro lo identifique. Cuando el maestro necesita algo, le manda una orden a un esclavo específico, por ejemplo, para que le envíe datos o para que active algo. El esclavo responde con la información o dice que ya hizo lo que pidió. De esta manera el maestro va revisando uno por uno todos los dispositivos para controlar y supervisar la red.

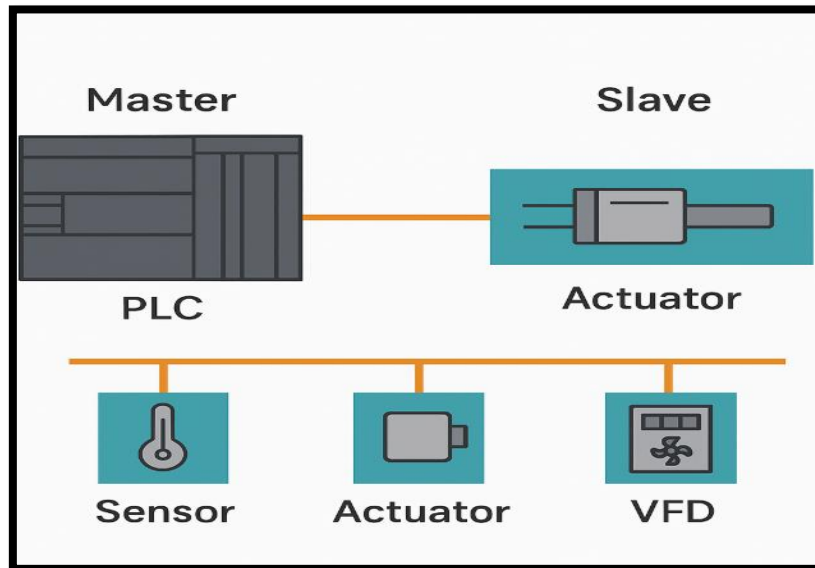


Figura 3. 3. Comunicación Maestro - Esclavo

3.4.2. Variantes Principales

3.4.2.1. Modbus RTU

Modbus RTU es una versión del protocolo Modbus que se usa para conectar equipos por cable serial RS-485. En esta red hay un maestro que controla todo y hasta 247 dispositivos esclavos que responden a sus órdenes. Es bueno para redes pequeñas y resistentes porque usa un formato compacto y un código de verificación para evitar errores en los datos.

3.4.2.2. Modbus TCP/IP

En cambio, Modbus TCP funciona sobre redes Ethernet comunes. Lo que hace es meter las tramas Modbus dentro de paquetes TCP/IP, en lugar del chequeo usual usa el que trae TCP y añade un encabezado extra con información importante para la comunicación. Así se logra una conexión más rápida y que se puede ampliar fácilmente en redes modernas.

3.4.2.3. En comunicaciones industriales (como Modbus RTU con RS-485):

Solo un dispositivo puede transmitir datos a la vez, mientras los demás esperan. Por eso solo hay un maestro, que controla cuándo habla cada esclavo. Observar la Tabla 3. 2.

Tabla 3. 2. Funciones Modbus más utilizadas en Modbus RTU sobre RS-485

Modo	Comunicación	Ejemplo
Simplex	Solo en una dirección	Televisión, radio
Half-duplex	Ambas direcciones, pero no simultáneo	Walkie-talkie, Modbus RTU
Full-duplex	Ambas direcciones a la vez	Teléfono, Ethernet moderno

En la Tabla 3. 3 se muestra la que estructura de capa física es diferente ya que RS-485 usa comunicación half-duplex y señal diferencial, tolerante a ruido; Ethernet ofrece full-duplex y uso compartido de infraestructura TI. El encabezado MBAP en Modbus TCP/IP incluye el Identificador de Transacción, que permite correlacionar solicitudes y respuestas cuando hay múltiples transacciones activas. [7].

Tabla 3. 3. Comparación entre Modbus RTU y Modbus TCP/IP

Característica	Modbus RTU (RS-485)	Modbus TCP/IP (Ethernet)
Medio físico	RS-485 (2-hilos, half-duplex)	Ethernet (10/100 Mbps, full-duplex)
Capacidad de red	Hasta 247 esclavos en bus serial	Multiplicidad de clientes y servidores en red TCP/IP
Integridad de datos	CRC-16	Verificación TCP/IP (falta CRC de Modbus)
Velocidad y alcance	Hasta 115 kbps, rango ~1200 m	Velocidades Ethernet, sin restricciones de distancia
Modelo de comunicación	Maestro-esclavo	Cliente-servidor con MBAP sobre TCP/IP

Encabezado de trama	[esclavo][func][datos][crc]	[MBAP (7 bytes)] + [PDU Modbus]
---------------------	-----------------------------	---------------------------------

3.5. Protocolo PROFINET

Profinet es un protocolo que se usa bastante en la industria porque permite conectar diferentes equipos usando Ethernet. Lo que lo hace útil es que puede enviar datos muy rápido y casi sin demora. Eso viene bien cuando hay que controlar máquinas o manejar procesos que no pueden esperar. A diferencia de otros más antiguos, este protocolo es flexible y permite usar equipos de distintas marcas en la misma red. Esto ayuda a que todo se integre sin problema con otras redes que ya existen.

Otra ventaja que tiene Profinet es que trabaja sobre Ethernet común. No se necesita poner una red aparte para la automatización, con la misma que ya hay en muchas empresas se puede conectar todo. También permite usar diferentes formas de conexión según lo que se necesite, puede ser en estrella, en línea o en árbol.

Una cosa que también destaca de Profinet es que puede enviar la información en el momento justo y eso importa mucho cuando los equipos tienen que trabajar bien sincronizados. Usa funciones como RT e IRT para lograrlo. Así, por ejemplo, los robots o las máquinas de una línea de producción pueden trabajar juntos sin errores ni retrasos. [8].

3.5.1. Roles cliente-servidor

IO (cliente): normalmente el PLC. Inicia conexiones, envía datos cíclicos y realiza solicitudes de servicio hacia los dispositivos.

IO (servidor): sensores, actuadores, HMI, variadores, etc. Responden a solicitudes del cliente, envían datos de proceso, parámetros, alarmas y diagnóstico, como se evidencia en la Figura 3. 4.[9]. Observar la Figura 3. 4.

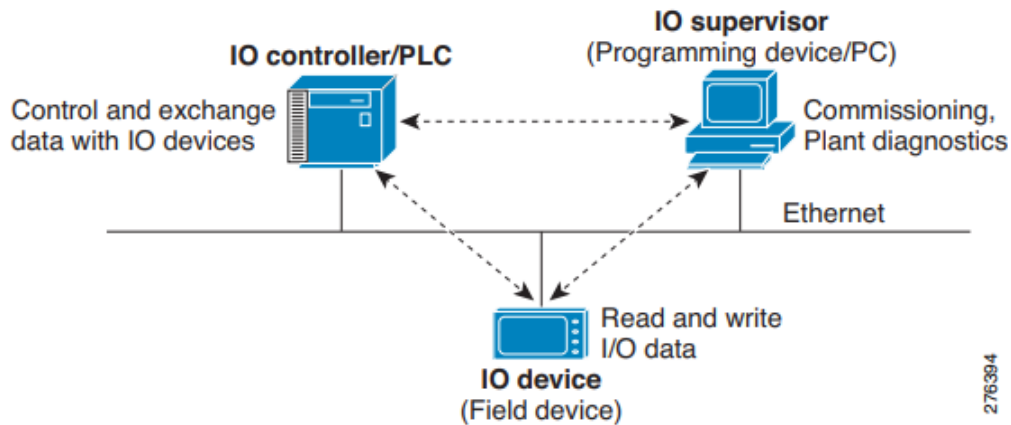


Figura 3. 4. Roles Cliente Servidor.[10].

3.5.2. Inicialización de la comunicación

El cliente detecta los dispositivos en red mediante protocolos DCP o LLDP. Asigna nombres e IPs, generalmente sin intervención manual [11], [12]. Observar Tabla 3. 4.

Tabla 3. 4. Proceso de inicialización de la comunicación en PROFINET

Protocolo	¿Para qué sirven?	¿Dónde se usa?	¿Es estándar?
DCP	Asignar nombre e IP a dispositivos	Solo en redes PROFI-NET	No (Propietario)
LLDP	Detectar vecinos y topología de red	Redes ETHERNET y PROFINET	Si (IEEE 802.1AB)

3.6. Protocolo Wireless-HART

Wireless-HART es un protocolo que se usa en la industria para comunicar dispositivos sin cables. Se basa en el HART de siempre, pero fue mejorado para lugares donde poner cable no es fácil o sale muy caro. Lo que busca es que los datos se pasen bien, que la red sea segura y que los equipos gasten poca energía.

Funciona con la banda de 2,4 GHz, la misma que usan muchos sistemas inalámbricos, su red se forma como una malla, lo que permite que los equipos se pasen los datos entre ellos

y así cubren mejor zonas complicadas o alejadas. Tiene un sistema que sincroniza el tiempo entre los dispositivos, los datos se mandan en momentos fijos, lo que hace que la comunicación sea ordenada y sin errores. También está protegido, usa autenticación, cifrado y validación para evitar que alguien entre sin permiso o cambie los datos. Como casi no gasta batería, los sensores pueden durar años funcionando sin que los cambien.

Se usa para monitorear condiciones, ver datos a distancia o revisar procesos desde fuera, es muy útil en lugares con riesgo, en máquinas que giran o donde no se puede llegar fácil. Al ser un protocolo abierto, los equipos de distintas marcas se pueden conectar entre sí, lo que ayuda cuando se quiere formar o ampliar un sistema ya instalado. [13].

3.6.1. Usa de canales múltiples con salto de frecuencia (FHSS)

Este sistema trabaja en la banda ISM de 2,4 GHz, que es la misma que usan otros dispositivos como el Wi-Fi, el Bluetooth o incluso algunos hornos microondas. Para evitar conflictos, el protocolo utiliza 15 canales distintos y cambia de canal en cada ciclo de transmisión.

Ese cambio constante de canal reduce mucho las probabilidades de que haya choques o interferencias con otros equipos que están usando la misma frecuencia, como no se queda pegado en un solo canal, la red se vuelve más resistente frente al ruido electromagnético que es tan común en entornos con maquinaria pesada o líneas de producción. Gracias a eso, se mantiene la integridad de los datos incluso cuando el entorno tiene mucho “ruido” eléctrico, esto se vuelve clave en procesos industriales donde no se puede permitir que falle la comunicación inalámbrica, porque podría afectar la operación de todo el sistema.

3.6.2. Latencia operativa de la red Wireless-HART

Cuando se analiza el desempeño de una red Wireless-HART uno de los puntos que más se toma en cuenta es la latencia en la comunicación, normalmente este retardo ronda los 2 segundos para completar todo el ciclo de envío y recepción de datos. En muchos casos, esa demora es aceptable, sobre todo si se usa en tareas de monitoreo de variables como temperatura, nivel de tanques, presión o condiciones ambientales, donde no se necesita una reacción inmediata.

Ahora bien, por ese mismo retraso, el uso de Wireless-HART no resulta adecuado en sistemas que requieren control en tiempo real, en aplicaciones con lazos cerrados o donde

se esperan respuestas al instante, esta tecnología no es la mejor opción. Por eso al momento de diseñar el sistema, es importante tener claro para qué se va a usar. Wireless-HART funciona muy bien en funciones no críticas, donde lo que se busca es más flexibilidad, menor consumo de energía y una instalación sencilla, incluso si la red no responde de forma instantánea. [14].

3.6.3. Arquitectura jerárquica: Gateway, Network Manager y Security Manager

El protocolo Wireless-HART no se limita solo a sensores inalámbricos, sino que también usa estructura está basada en una arquitectura jerárquica distribuida que hace posible que todo el sistema opere de forma segura y eficiente, dentro de esta arquitectura hay tres componentes principales que hacen posible esa organización.

Primero está el Access Point también llamado Gateway, que sirve como puente entre la red inalámbrica y los sistemas cableados de control. Ahí entran cosas como PLC, SCADA o servidores industriales. Después, está el Network Manager, que se encarga de armar la red, organizar cómo se comunican los dispositivos, definir las rutas por dónde van los datos, asignar las ranuras de tiempo (TDMA), y además mantener la sincronización entre todos los nodos. Por último, el Security Manager tiene la tarea de manejar las claves criptográficas que se usan para validar tanto como cifrar y autenticar la información asegurándose de que cada equipo que se conecte esté autorizado y cumpla con los niveles de seguridad necesarios. [15].

3.7. Motores de corriente alterna (CA)

Un motor que usa corriente alterna tiene como función principal convertir la energía eléctrica en movimiento. Esto se logra gracias a un campo magnético que gira dentro del estator, provocando el giro del rotor. Según cómo se comportan estos dos elementos, los motores se dividen en dos tipos: los síncronos y los asíncronos, que muchas veces se conocen como motores de inducción.

En el primer caso, es decir, en los motores síncronos, el rotor gira justo a la misma velocidad que el campo magnético. Esa velocidad se llama sincrónica, y se obtiene con una fórmula específica (3.1):

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (3.1) \quad [16].$$

Donde

n_s = la frecuencia de giro sincrónico expresada (RPM),

f = la frecuencia del sistema de alimentación eléctrica (Hz)

p = cantidad de pares polares presentes en el motor.

Aunque su uso no se limita solo a eso. Este tipo de motor suele utilizarse cuando se necesita que la velocidad no cambie, aunque varíen otras condiciones.

Ahora, cuando se habla de los motores de inducción, la situación cambia. Aquí el rotor no gira tan rápido como el campo magnético, va un poco más lento, aunque parezca un detalle menor, esa diferencia es importante porque gracias a ella se producen corrientes dentro del rotor. [17].

3.7.1. Motores trifásicos

Para empezar, los motores trifásicos están diseñados para operar con una red eléctrica de tres fases, lo cual permite que el par motor sea mucho más uniforme; en consecuencia, su funcionamiento resulta más estable y eficiente. Por esta razón, en el ámbito industrial son ampliamente utilizados, sobre todo cuando se requiere mover equipos de gran tamaño o cargas pesadas durante largos periodos.

En los motores trifásicos hay algo que resalta, y es que no necesitan, por decirlo así, un sistema extra para que arranquen. Es el propio sistema de alimentación el que ya genera ese campo magnético que se mueve, entonces eso ya basta para que el motor empiece a girar sin nada más. Aparte de eso, hay quienes usan variadores de frecuencia para manejar la velocidad, que bueno, sirve bastante cuando se trabaja con diferentes cargas, porque no todos los procesos son iguales, y ajustar eso ayuda al rendimiento general, por lo menos en la mayoría de los casos industriales donde se aplican. [18].

3.7.2. Voltaje y Corriente Nominal

El voltaje y la corriente nominal son dos valores importantes que hay que tener en cuenta para que un motor funcione bien, básicamente indican en qué condiciones el motor debería trabajar para rendir como se espera, sin riesgos ni pérdidas. Conocer estos parámetros es clave cuando se elige un motor o se diseña todo el sistema que lo alimenta y protege, porque influyen bastante en el calor que se genera, el gasto de energía y cuánto tiempo va a durar el equipo funcionando correctamente.

3.7.2.1. Voltaje Nominal

Cuando se habla de voltaje nominal se hace referencia a la tensión con la que el motor fue fabricado para operar, este valor se mide en voltios. Es como la base que se usa para decidir qué alimentación eléctrica se le debe aplicar. Si se trabaja con un voltaje menor al recomendado, el motor puede no tener fuerza suficiente para arrancar, o se va a comportar mal cuando tenga que mover una carga. Por otro lado, si se le aplica un voltaje mayor de forma constante, hay riesgo de que el aislamiento interno se deteriore más rápido, los devanados se calienten demasiado y empiecen a fallar antes de lo esperado.

Los motores eléctricos están hechos con un cierto margen de tolerancia, lo que les permite trabajar sin problema, aunque el voltaje no sea exactamente el nominal. Normalmente, ese rango gira alrededor de un $\pm 10\%$, aun así, lo ideal es que el voltaje que se le suministra al motor esté lo más cerca posible del valor que indica su placa, sobre todo cuando se usa en entornos industriales donde el trabajo es continuo y se necesita que el equipo sea confiable.

3.7.2.2. Corriente Nominal

La corriente nominal es el valor de corriente que utiliza el motor cuando está trabajando a plena carga, siempre usando su tensión nominal. Su unidad de medida es el amperio, este valor depende directamente de cuánta potencia requiere el motor y de qué tan eficiente es. Un dato importante a la hora de elegir bien los elementos de protección, como disyuntores térmicos, contactores, fusibles o los cables mismos. Si el motor empieza a consumir más corriente de la que le corresponde, puede que haya una sobrecarga mecánica o eléctrica y si no se corrige a tiempo, eso puede terminar causando sobrecalentamiento y dañar el equipo.

Cuando arranca, un motor necesita mucha más corriente que durante su funcionamiento normal, en muchos casos, puede pedir entre cinco y ocho veces más que su corriente nominal, por eso al diseñar el sistema que lo va a alimentar, también hay que tener en cuenta esas corrientes de arranque, especialmente si se van a encender varios motores al mismo tiempo en un entorno industrial. [19].

3.7.3. Frecuencia eléctrica (Hz)

La frecuencia eléctrica indica cuántos ciclos por segundo tiene la corriente alterna que se le entrega a un motor, se mide en hertzios. En la mayoría de países, ese valor suele ser de 50 o 60 Hz, dependiendo del sistema eléctrico, esa frecuencia define la velocidad con la que gira el campo magnético en el estator del motor. Por ejemplo, si el sistema opera a 60 Hz, eso significa que el campo magnético completa 60 ciclos cada segundo, lo cual tiene un efecto directo sobre la velocidad a la que gira el motor.

Hay una conexión directa con frecuencia y lo que se conoce como velocidad sincrónica del motor, y para calcularla se utiliza una fórmula que aparece como (3.2):

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (3.2) \quad [16].$$

3.7.4. Potencia Eléctrica

La potencia eléctrica que tiene un motor sirve para saber cuánta energía puede transformar en trabajo mecánico, es decir, cuánta fuerza puede generar para mover una carga, este dato también ayuda a entender qué tanto se le puede exigir al motor sin que se recaliente o se dañe por exceso de esfuerzo. [20].

3.7.5. Potencia nominal y sus unidades

La potencia nominal es la máxima potencia que un motor puede suministrar de forma continua bajo condiciones específicas sin exceder los límites térmicos establecidos por el fabricante. Se expresa comúnmente en kilovatios (kW) en el Sistema Internacional de Medidas y en caballos de fuerza (HP) en el sistema inglés.

$$1 \text{ HP} = 0,746 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 1,341 \text{ HP} \quad [21].$$

$$0,75 \text{ HP} \div 1,341 = 0,559 \text{ kW} \quad [21].$$

La potencia nominal indica la cantidad de energía que un motor puede suministrar de forma constante sin peligro de sobrecalentamiento, siempre que trabaje dentro de los límites establecidos por el fabricante. [22].

3.7.5.1. Cálculo de la potencia eléctrica

El cálculo de la potencia eléctrica depende del tipo de corriente:

Corriente continua

$$P = V \cdot I \text{ [23].}$$

Donde:

P = Potencia expresada en watts (W)

V = Voltaje expresado en voltios (V)

I = Intensidad de corriente medida en amperios (A)

Corriente alterna (CA) monofásica

$$P = V \cdot I \cdot \cos(\phi) \text{ [23], [24].}$$

Donde:

$\cos(\phi)$ = Factor de potencia, que representa la eficiencia con la que la corriente se convierte en trabajo útil.

Corriente alterna (CA) trifásica

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos(\phi) \text{ [25].}$$

Esta fórmula es esencial para sistemas industriales donde se utilizan motores trifásicos, ya que permite calcular la potencia activa consumida.

3.7.6. Eficiencia y factor de potencia

La eficiencia representa la capacidad del motor para transformar energía eléctrica en energía mecánica útil. [26].

Por otro lado, el factor de potencia (FP) indica la eficiencia con la que se aprovecha la energía eléctrica en un sistema. Se define como la proporción entre la potencia activa (que efectúa trabajo útil) y la potencia aparente, que comprende también la energía reactiva que no realiza trabajo, pero sí circula en la red (3.4):

$$FP = \frac{\text{Potencia Activa (kW)}}{\text{Potencia Aparente (kVA)}} \text{ (3.4) [27].}$$

Mientras más cerca de 1 esté el FP, más eficientemente se usa la energía.

Además, la relación entre las tres potencias se expresa con la siguiente fórmula:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \text{ [28]}$$

Donde:

S= representa la potencia aparente (kVA)

P= es la potencia activa (kW)

Q= corresponde a la potencia reactiva (kVAR)"

3.8.Torque en motores eléctricos trifásicos

El torque representado por la letra T, es lo que define la fuerza de giro que puede generar un motor para vencer cualquier tipo de carga mecánica, en los sistemas trifásicos conocer este valor no solo sirve para saber si el motor podrá mover adecuadamente una carga, sino también para entender si mantendrá una velocidad constante o si es capaz de acelerar sin forzar sus componentes. Por eso, evaluar el torque ayuda a prevenir errores de dimensionamiento y también a validar que el equipo opera dentro de parámetros seguros, lo cual, sin duda, permite optimizar el uso de energía. [29].

La fórmula típica que se usa para calcular el torque en motores trifásicos cuando trabajan bajo condiciones nominales es (3.5):

$$\tau = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \cos\phi \times \eta \times 60}{2\pi \times RPM} \text{ (3.5) [30].}$$

donde:

- V es la tensión medida en voltios,
- I representa la corriente en amperios
- η eficiencia del motor
- RPM las revoluciones por minuto del eje.

Esta ecuación es clave porque permite estimar el torque usando los datos eléctricos que se pueden medir o tomar directamente de la placa del motor.

3.9. Relación con los Cuatro Cuadrantes de Operación

El comportamiento de un motor AC puede representarse en un sistema de ejes cartesianos donde:

- El eje horizontal (X) indica la velocidad del motor
- El eje vertical (Y) muestra el torque aplicado

Esto da lugar a cuatro cuadrantes de operación, que indican si el motor está girando hacia adelante o hacia atrás, y si está motorizando o frenando. Como se muestra en la Figura 3.5 y Tabla 3.6.

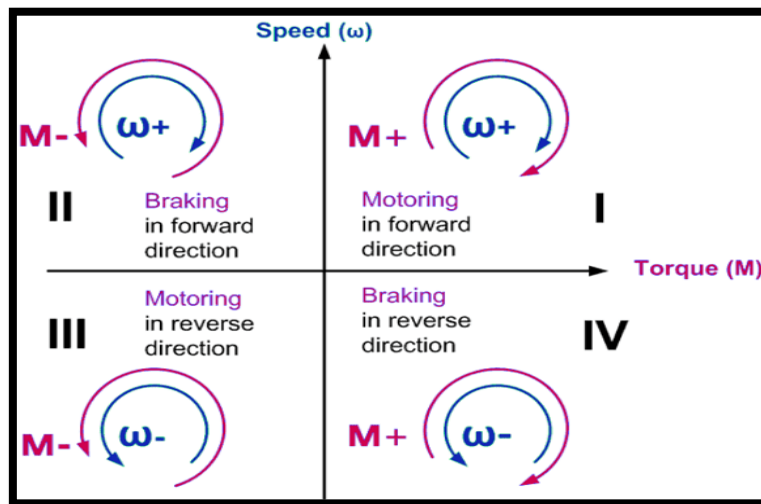


Figura 3.5 Cuadrantes del motor AC. [31].

Tabla 3.6. Relación con los Cuatro Cuadrantes de Operación

Cuadrante	Velocidad	Torque	Descripción
I	Positiva	Positiva	Giro normal con esfuerzo positivo
II	Positiva	Negativa	Frenado regenerativo hacia adelante
III	Negativa	Negativa	Giro inverso con esfuerzo negativo

IV	Negativa	Positiva	Frenado regenerativo hacia atrás
----	----------	----------	-------------------------------------

En sistemas de control avanzado (Variador de frecuencia + PLC) permite operar en los cuatro cuadrantes, lo cual es fundamental si el sistema debe:

- Invertir el giro del motor
- Frenar bruscamente
- Mantener torque constante en cambios de velocidad

El análisis en cuadrantes permite conocer el estado dinámico del motor y establecer si está entregando o absorbiendo energía. [31].

3.10. Encoder incremental Omron E6B2-CWZ6C

El encoder incremental rotativo de la marca Omron, modelo E6B2-CWZ6C, como se evidencia en la Figura 3. 6. Es ampliamente valorado en el sector industrial por su exactitud y fiabilidad en tareas de control de movimiento. El encoder se caracteriza por generar señales de tipo cuadratura mediante las salidas A y B, que permiten identificar no solo la velocidad, sino también el sentido de giro del motor. Además, cuenta con un canal Z (index) que emite un pulso de referencia por vuelta, útil para procesos de sincronización. Observar la Figura 3. 6.



Figura 3. 6. Encoder incremental Omron E6B2-CWZ6C

El modelo E6B2-CWZ6C ofrece múltiples resoluciones, desde 100 hasta 2000 pulsos por revolución (PPR), lo que permite una configuración adaptable según la precisión deseada. Su rango de alimentación de 5 a 24 VDC y su salida tipo NPN colector abierto lo hacen compatible con entradas digitales estándar de controladores lógicos programables (PLC). Su robustez mecánica y resistencia a interferencias lo hacen ideal para entornos industriales y educativos. Observar la Tabla 3. 7. [32].

3.10.1. Características principales del encoder Omron E6B2-CWZ6C

Tabla 3. 7. Características principales del encoder Omron E6B2-CWZ6C

Parámetro	Valor
Modelo	E6B2-CWZ6C (Omron)
Tipo	Encoder Incremental Rotativo
Resolución	100 a 2,000 pulsos por revolución (PPR)
Alimentación	5-24V DC
Corriente Máxima	80-160 mA
Salidas	A, B y Z (cuadratura + referencia)
Tipo de Salida	NPN colector abierto
Frecuencia de Respuesta	Hasta 100 kHz
Conexión	Cableado Fijo (pre-cableado)

3.10.2. ¿Cómo funciona un encoder?

Un encoder lo que hace es convertir un movimiento físico que puede ser giratorio o lineal en señales eléctricas que el sistema puede leer esto sirve para saber por ejemplo en qué posición está algo a qué velocidad se mueve o hacia dónde va. Entre sus partes está el eje que es el que se mueve y genera la señal luego está el disco que puede ser óptico o magnético y tiene marcas que ayudan a detectar el movimiento también hay un sensor que capta esos cambios y los convierte en señales eléctricas y un circuito que toma esa información y la transforma en datos que el sistema de control puede entender y usar.

Este mecanismo permite que los encoders proporcionen información en tiempo real sobre el movimiento, esto es esencial para aplicaciones que requieren control exacto de posición y velocidad. [33].

3.11. Variador de frecuencia Wecon VM2S1R5

3.11.1. ¿Qué es un variador de frecuencia y para qué se utiliza?

Un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que permite controlar la velocidad y el torque de un motor alimentado con corriente alterna (AC) ajustando la frecuencia y el voltaje de la señal de alimentación. En sistemas de automatización, los VFD se utilizan para optimizar el rendimiento del motor, así como optimizar la eficiencia energética y permitir un control dinámico en procesos industriales. [34].

La ficha técnica detallada del variador de frecuencia Wecon VM2S1R5 está incluida en el Anexo Ñ (Tabla 9. 6).

Además, los parámetros configurados en el variador y las direcciones Modbus utilizadas para su monitoreo y control se encuentran detallados en los Anexos R y S (ver Figura 9. 16 a Figura 9. 20).

Este equipo permite:

- Regular la velocidad del motor ajustando la frecuencia.
- Invertir el sentido de giro.
- Regular el par de salida.
- Configurar rampas de arranque/parada suaves. [35].



Figura 3. 7. Variador de frecuencia Wecon VM2S1R5

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. Métodos De Investigación

Para el desarrollo del presente proyecto de titulación, se han aplicado métodos investigativos que permiten estructurar y validar el diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control de un motor trifásico, mediante comunicación local y remota utilizando los protocolos industriales MODBUS, PROFINET y Wireless-HART. Los métodos utilizados son:

4.1.1. Método científico

Este método permite desarrollar una solución técnica basada en pruebas reales y comprobables. A través de la experimentación en un entorno controlado (tablero de prácticas), se verifica la funcionalidad de los protocolos de comunicación integrados con un PLC. Mediante este método se comprueba que el sistema es capaz de ejecutar órdenes de control (encendido, frenado, cambio de giro) y mostrar variables como velocidad y voltaje desde una interfaz HMI, tanto local como remotamente.

4.1.2. Método empírico

El método empírico se aplica mediante la observación directa y la experiencia obtenida durante las pruebas del sistema. Cada protocolo de comunicación es implementado y verificado en la práctica, validando el funcionamiento efectivo entre los dispositivos conectados (PLC-HMI, PLC-Variador, PLC-sensor). El comportamiento del sistema se analiza en función de su respuesta ante las órdenes enviadas desde la HMI y los datos que devuelve el motor.

4.1.3. Método experimental

Este método se aplica en el desarrollo de pruebas controladas dentro del tablero de prácticas, donde se pone a prueba la comunicación entre dispositivos. Se simulan escenarios reales de funcionamiento para demostrar que el motor responde a las órdenes enviadas desde la pantalla HMI mediante PROFINET y que se recibe retroalimentación a través de MODBUS o Wireless-HART. Así se verifica el control completo del motor de forma local y remota.

4.1.4. Tipo de prácticas realizadas

Como parte del enfoque metodológico, se ejecutaron prácticas de tipo experimental y demostrativo, enfocadas en la validación de un sistema de monitoreo y control para un motor trifásico mediante protocolos industriales. Estas prácticas se llevaron a cabo en el laboratorio de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica de Cotopaxi, bajo condiciones controladas, simulando un entorno industrial real. Las actividades prácticas incluyeron:

- El montaje e integración de dispositivos como PLC, variador de frecuencia, encoder, pantalla HMI y gateway Wireless-HART.
- La configuración de redes de comunicación cableadas (Profinet y Modbus RTU) e inalámbricas (Wireless-HART).
- La ejecución de pruebas con el motor sin carga y con cargas progresivas de 5 kg, 10 kg, 15 kg y 20 kg.
- La recolección de variables en tiempo real (corriente, voltaje, velocidad, torque) mediante HMI y su posterior análisis gráfico.
- La validación funcional del sistema local y remoto mediante interfaces visuales y bloques de programación desarrollados en TIA Portal y LabVIEW.

Estas prácticas permitieron aplicar los conocimientos adquiridos en automatización, instrumentación y redes industriales, fortaleciendo las competencias profesionales en diseño, integración y análisis de sistemas de control modernos.

4.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN

4.2.1. Técnicas

Observación directa: Se realiza una supervisión continua y detallada durante las pruebas del sistema de monitoreo y control del motor trifásico, para analizar el comportamiento de la comunicación entre los dispositivos mediante los protocolos MODBUS, PROFINET y Wireless-HART.

Medición práctica: Se llevan a cabo mediciones de parámetros eléctricos relevantes (voltaje, corriente, velocidad, posición, entre otros) en tiempo real para verificar la precisión y el correcto funcionamiento del sistema implementado.

Pruebas experimentales: Se realizan ajustes y configuraciones en los dispositivos para evaluar distintas condiciones de operación y validar la eficiencia y estabilidad de la comunicación y el control del motor.

4.2.2. Instrumentos

PLC (Controlador Lógico Programable): Unidad central de control y comunicación, programado mediante el software TIA Portal para gestionar los protocolos MODBUS, PROFINET y Wireless-HART, y para coordinar el control y monitoreo del motor.

Pantalla HMI (Interfaz Hombre-Máquina): Instrumento principal para la visualización y control en tiempo real de los parámetros del motor y el sistema.

Variador de frecuencia: Dispositivo que permite controlar la velocidad y el giro del motor trifásico según las órdenes enviadas desde el PLC y la HMI.

Encoder: Sensor utilizado para medir la posición y velocidad del motor, proporcionando información precisa para el control y monitoreo del sistema.

Herramientas de comunicación y diagnóstico: Software de configuración y monitoreo, como TIA Portal, que permite programar, supervisar y validar la comunicación entre dispositivos usando los protocolos industriales.

4.3. TÉCNICAS PARA EL PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

4.3.1. Técnicas:

Observación directa: Se emplea la observación para verificar el comportamiento del sistema durante las pruebas prácticas. Esta técnica permite evaluar visualmente si el motor responde correctamente a las órdenes enviadas desde la HMI y si la comunicación entre los dispositivos mediante los protocolos MODBUS, PROFINET y Wireless-HART se realiza de forma adecuada.

Análisis de datos: En este proyecto no se realiza un análisis de datos numéricos ni estadísticos, ya que el objetivo principal es demostrar el funcionamiento correcto del sistema de control y monitoreo del motor trifásico. La validación del sistema se lleva a cabo a través de la observación funcional y el cumplimiento de las acciones programadas, no mediante la recolección ni comparación de datos.

4.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.

En la Tabla de equipos utilizados se puede observar el listado completo de componentes empleados para la implementación del sistema, incluyendo sus cantidades. Esta información se presenta en el Anexo J (Tabla 9. 1), como referencia técnica general antes de detallar cada equipo individualmente.

4.4.1. PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200 1211C AC/DC/RLYe

En la Figura 4. 1 se muestra el PLC Siemens S7-1200 modelo 1211C AC/DC/RLY es un controlador lógico programable compacto diseñado para tareas de automatización industrial de pequeña y mediana escala. Este equipo cuenta con una alimentación de 120–230 V AC, entradas digitales de tipo DC, y salidas por relevador (RLY), lo que le permite interactuar tanto con señales discretas como con cargas de potencia moderada.

Dispone de 6 entradas digitales, 4 salidas digitales a relé y 2 entradas analógicas, además de contar con una interfaz PROFINET integrada para comunicación con otros dispositivos como HMIs, variadores o módulos remotos. Las características técnicas completas de este PLC se encuentran disponibles en el Anexo N (Tabla 9. 5).



Figura 4. 1. PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200

4.4.2. Fuente de alimentación AC-DC.

En la Figura 4. 2 se observa la fuente de alimentación con salida de 24V DC – 5A, capaz de suministrar hasta 120W. Admite entrada de 100–240V AC, 50/60 Hz.

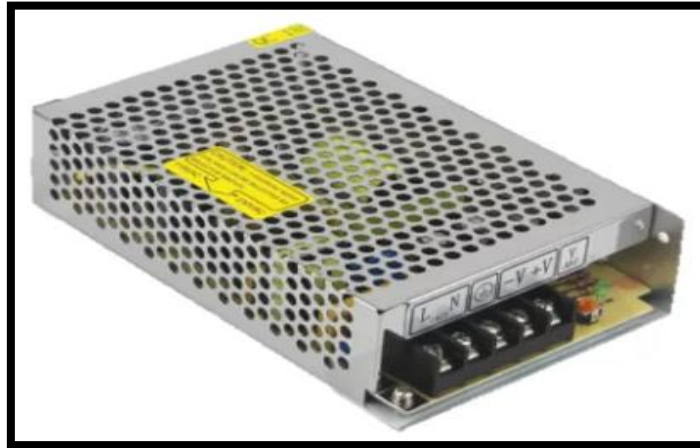


Figura 4. 2. Fuente de alimentación AC-DC.

4.4.3. CM 1241, RS422/485

El la Figura 4. 3 se muestra el módulo de expansión SIMATIC S7-1200, junto con el módulo de comunicación CM 1241 con interfaz RS422/485 y conector Sub-D de 9 pines (hembra), ofrece una solución flexible para múltiples opciones de comunicación. Este módulo, compatible con Freeport y controladores básicos, permite integrar el S7-1200 con diversos sistemas.

Gracias a la amplia gama de módulos disponibles —que incluyen desde interfaces RS232 hasta opciones para buses como AS-i o PROFIBUS (ya sea como maestro o esclavo)— el S7-1200 puede adaptarse a una gran variedad de aplicaciones industriales, brindando versatilidad y conectividad en distintos entornos. La información técnica detallada del módulo de comunicación CM 1241 puede consultarse en el Anexo M (Tabla 9. 4).



Figura 4. 3. CM 1241, RS422/485

4.4.4. Breaker de 2 fases

En la Figura 4. 4 se observa un breaker de 2 fases es un interruptor de protección que se utiliza en sistemas eléctricos bifásicos o monofásicos con línea doble (como en sistemas de 220V AC). Está diseñado para interrumpir simultáneamente dos conductores activos, protegiendo el circuito ante sobrecargas o cortocircuitos. Este tipo de breaker se activa si la corriente supera el valor nominal permitido, desconectando ambas fases al mismo tiempo para mayor seguridad.



Figura 4. 4. Breaker de 2 fases.[36].

4.4.5. HF-9606W PLC Gateway 4xEthernet

En la Figura 4. 5 el HF9606W es un switch Ethernet industrial con funciones de PLC Gateway, que permite la comunicación entre dispositivos industriales mediante protocolos como MODBUS TCP/IP, PROFINET y otros. Cuenta con 4 puertos Ethernet para conexión cableada y conectividad Wi-Fi, lo que facilita la integración de dispositivos en redes locales tanto alámbricas como inalámbricas. Está diseñado para aplicaciones industriales, ofreciendo estabilidad, aislamiento eléctrico y soporte para comunicación entre PLCs, HMIs y otros equipos de control. La ficha técnica del equipo Gateway HF-9606W, incluyendo sus características de red y alimentación, se presenta en el Anexo L (Tabla 9. 3).



Figura 4. 5.HF-9606W PLC Gateway 4xEthernet

4.4.6. Cable de conexión Modbus

En la Figura 4. 6 se observa el cable de conexión Modbus RS-485 es un cable diseñado para comunicaciones en bus serial diferencial, usado comúnmente en redes industriales. Está compuesto por un par trenzado de conductores para minimizar interferencias electromagnéticas y garantizar la integridad de los datos en largas distancias. Este cable transmite señales diferenciales para conectar dispositivos esclavos y maestros en sistemas Modbus RTU, permitiendo comunicación estable y confiable.

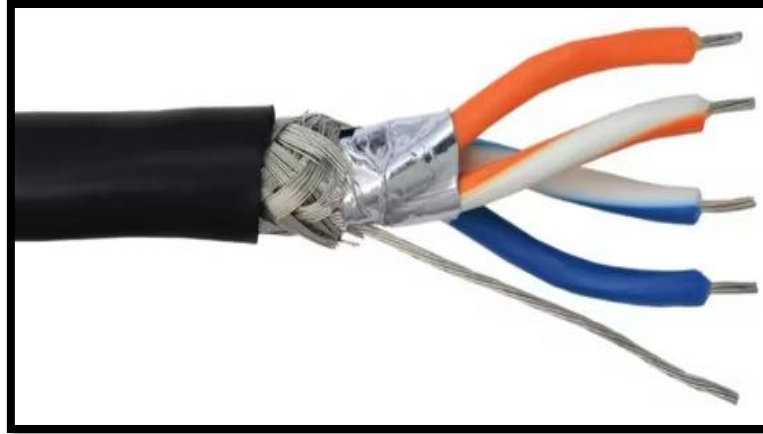


Figura 4. 6.Cable de conexión Modbus.[37].

4.4.7. SIMATIC KTP400 Basic Mono PN

En la Figura 4. 7 se muestra la pantalla HMI Siemens KTP 400 Basic Mono PN (modelo 6AV6 647-0AA11-3AX0) es una interfaz hombre-máquina compacta diseñada para la visualización y operación de procesos industriales. Cuenta con pantalla monocromática, comunicación vía PROFINET (PN) y se utiliza comúnmente para monitoreo y control básico en sistemas con PLC Siemens. Su diseño robusto y confiable lo hace ideal para aplicaciones industriales que requieren una interfaz sencilla y eficiente.

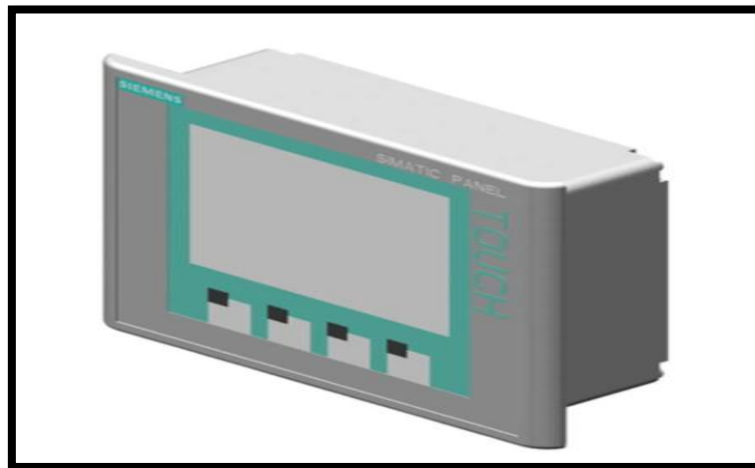


Figura 4. 7.SIMATIC KTP400 Basic Mono PN. [38].

4.4.8. Motor Trifásico SIEMENS

La figura Figura 4. 8 muestra un motor de inducción trifásico Siemens, modelo 1LA7 070-2YA80, está diseñado para aplicaciones industriales que requieren confiabilidad, eficiencia y bajo mantenimiento. Este equipo tiene una potencia nominal de 0,75 HP (0,55 kW) y una velocidad síncrona de 3430 rpm, lo que lo hace ideal para aplicaciones de alta velocidad como ventiladores, bombas o sistemas de arrastre directo.

Características técnicas destacadas:

- Tensión nominal: 220 V (Δ) / 440 V (Y)
- Frecuencia: 60 Hz
- Corriente nominal: 2,4 A (220 V) / 1,2 A (440 V)
- Grado de protección: IP55 (protección contra polvo y chorros de agua)
- Forma constructiva: IMB3 (horizontal con patas)
- Factor de servicio (FS): 1,15
- Factor de potencia ($\cos \phi$): 0,79
- Clase de aislamiento: F
- Peso aproximado: 6,0 kg
- Par nominal / Par de arranque: 1,56 / 4,2 Nm

El motor está preparado para operar en ambientes industriales con temperaturas entre -15 °C y 40 °C, y su clase térmica y mecánica lo hace adecuado para funcionar de manera continua bajo condiciones exigentes (S1). Además, su eficiencia y bajo nivel de ruido lo convierten en una opción ideal para procesos automatizados controlados mediante variadores de frecuencia. Las especificaciones completas de este motor se encuentran detalladas en el Anexo K (Tabla 9. 2).

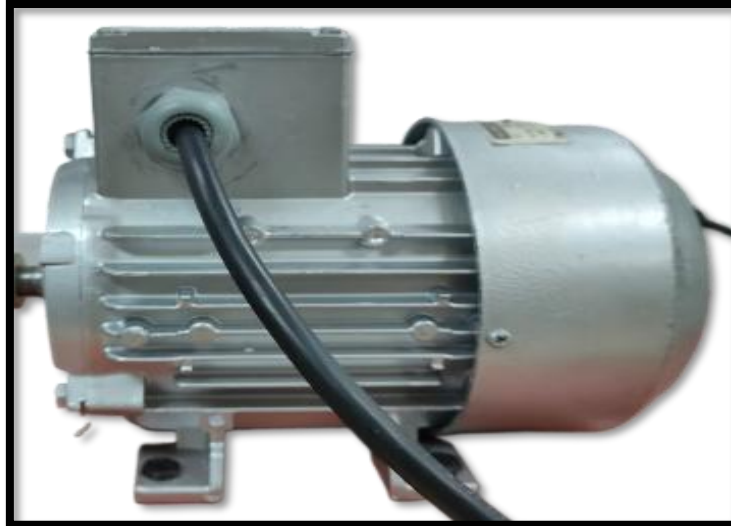


Figura 4. 8.Motor trifásico SIEMENS 1LA7 070-2YA60

4.4.9. Conector Modbus

En la Figura 4. 9 se observa el conector SIMATIC DP es un conector diseñado para conexiones MODBUS que puede alcanzar velocidades de hasta 12 Mbits/s. Cuenta con un cable de salida en ángulo oblicuo y tiene un tamaño compacto de 15,8 x 54 x 39,5 mm (ancho x alto x profundidad). Además, incluye una resistencia de cierre con función de seccionamiento para mejorar la estabilidad de la comunicación. No dispone de un conector hembra para programación (PG).



Figura 4. 9.Conector Modbus. [39].

4.4.10. Encoder Omron E6B2-CWZ6C

En la Figura 4. 10 se muestra el encoder Omron E6B2-CWZ6C cumple una función clave como sensor de retroalimentación. Está conectado al eje del motor trifásico Siemens, y permite medir en tiempo real la velocidad de rotación y el sentido de giro, variables fundamentales para las pruebas de control tanto en operación local como remota.

Las señales A y B del encoder, que entregan trenes de pulsos en cuadratura, se conectan a entradas digitales del PLC Siemens S7-1200, el cual interpreta esta información para activar funciones de control como aceleración, frenado o inversión de marcha, dependiendo de los valores monitoreados. Además, el canal Z, presente en este modelo, puede utilizarse como señal de referencia para sincronizar ciclos o establecer posiciones iniciales del proceso.

El encoder se alimenta con 5 VDC desde un regulador de voltaje, y está físicamente montado mediante un acoplamiento mecánico al eje del motor. Esta disposición asegura que las mediciones sean precisas y proporcionales al movimiento real del motor. Su señal también puede ser utilizada para validar los parámetros enviados por el variador de frecuencia (VFD), generando un sistema de control más confiable, especialmente en entornos educativos donde se busca observar el comportamiento dinámico del motor bajo diferentes condiciones de carga. Las especificaciones técnicas completas del encoder Omron E6B2-CWZ6C se presentan en el Anexo O (Tabla 9. 7).



Figura 4. 10. Encoder Omron E6B2-CWZ6C

Para complementar la comprensión del sistema implementado, se presentan los siguientes diagramas técnicos:

- *Anexo T*: Diagrama eléctrico general del sistema automatizado (Figura 9. 21).
Anexo U: Diagrama de comunicación entre los protocolos Profinet, Modbus RTU y Wireless-HART (Figura 9. 22).
- *Anexo V*: Estructura física del módulo de comunicación experimental (Figura 9. 23).

Estos planos reflejan la arquitectura completa de conexión, alimentación, programación y disposición estructural del módulo.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Con la finalidad de comprobar el correcto desempeño del sistema de monitoreo y control se llevaron a cabo pruebas prácticas en dos escenarios fundamentales uno sin carga aplicada y otro con incrementos graduales de carga de 5, 10, 15 y 20 Kg. Para los ensayos sin carga se utilizó el motor que viene integrado al módulo experimental de comunicación 001, mientras que para los ensayos con carga fue necesario reemplazarlo por un motor de características similares que permitiera colocar directamente las masas sobre el eje rotativo y así evaluar el comportamiento ante esfuerzos reales.

Durante el desarrollo de las pruebas fue posible registrar el comportamiento que presentó el sistema en condiciones reales de operación tomando en cuenta variables como la velocidad de giro expresada en revoluciones por minuto el consumo de corriente en amperios el voltaje de trabajo aplicado al motor y la estimación del torque en newton metro. Para obtener dichos datos se integraron tres protocolos industriales de comunicación entre dispositivos como Profinet, Modbus RTU y Wirele-ssHART todos configurados del PLC Siemens S7 1200 donde también se habilitó la visualización de las señales mediante una pantalla HMI modelo KTP400 información que se encuentra documentada en el *Anexo Técnico 1 y Guía Técnica*.

Los valores fueron capturados en tiempo real desde el variador de frecuencia marca Wecon y desde el encoder incremental Omron procesándose luego en el sistema de control a través de funciones lógicas desarrolladas específicamente para este fin las cuales están descritas en el *Anexo Técnico número 1*. El cálculo de cada variable se ejecutó empleando redes de programación distribuidas de la siguiente manera:

- Figura 9. 5. Red 8: Lectura y conversión de la corriente desde el VFD.
- Figura 9. 6. Red 9: Lectura de velocidad en RPM.
- Figura 9. 7. Red 10: Obtención del voltaje de salida del motor.
Figura 9. 8. Red 11: Lectura de frecuencia de operación.
- Figura 9. 9. Red 15: Cálculo del torque real en función de la potencia y velocidad angular.

Gracias al trabajo conjunto de estas redes fue posible construir un registro de datos sólido que permitió interpretar con claridad los resultados obtenidos durante las pruebas y comprobar que el sistema cumple con los objetivos definidos al inicio del proyecto.

5.1.Ubicación de la maqueta en los laboratorios de la Universidad.

Las pruebas experimentales, así como la programación de los tres protocolos de comunicación industrial, es decir, Profinet, Modbus y Wireless-HART, se llevaron a cabo en los laboratorios de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, ubicados en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Estos espacios están equipados para facilitar el desarrollo de prácticas técnicas, por lo tanto, permiten también la realización de simulaciones y montajes enfocados al aprendizaje aplicado. Observar la Figura 5. 1.



Figura 5. 1.Ubicación de la maqueta en los laboratorios de la Universidad.

5.2. Resultados experimentales bajo diferentes condiciones de carga.

Los datos obtenidos que se muestran en la Tabla 5. 1 corresponden a las pruebas realizadas sobre el MC001 el cual está conformado por un motor trifásico Siemens un variador de frecuencia modelo Wecon VM2S1R5, controlador lógico programable Siemens S7 1200 y una interfaz HMI tipo KTP400. A partir de estas pruebas se logró analizar cómo responde el sistema ante incrementos progresivos de carga y variaciones en la frecuencia de operación. Observar *Guía Técnica*.

Tabla 5. 1. Datos del comportamiento del motor con carga y sin carga

FRECUENCIA (Hz)	VELOCIDAD (RPM)	CORRIENTE (A)	TORQUE (N.m)	VOLTAJE (V)	CARGA (Kg)
10	572	1,52	1,078936169	38	0
10	240	0,95	1,64945916	39	5
10	180	0,94	2,231926744	40	10
10	0	1,31	0	40	15
10	0	1,29	0	39	20
20	1144	1,55	1,056800792	73	0
20	550	1,07	1,164055565	56	5
20	540	1,06	1,573033477	75	10
20	480	1,18	1,97000183	75	15
20	0	2,29	0	75	20
30	1716	1,53	1,028874726	108	0
30	900	1,12	1,475920919	111	5
30	840	1,12	1,567097501	110	10
30	780	1,22	1,838325915	110	15
30	660	1,8	3,147146221	108	20
40	2288	1,53	1,014584799	142	0
40	1020	1,16	1,786239745	147	5
40	1140	1,16	1,598214509	147	10
40	1140	1,27	1,73786614	146	15
40	1020	1,72	2,558475225	142	20
50	2860	1,65	1,091077937	177	0
50	1500	1,25	1,611617317	181	5
50	1440	1,26	1,682849021	180	10
50	1440	1,41	1,91457466	183	15
50	1320	1,73	2,478620485	177	20
60	3430	1,64	1,123924155	220	0
60	1860	1,26	1,563421026	216	5
60	1740	1,27	1,676708357	215	10
60	1740	1,41	1,878859022	217	15
60	1620	1,73	2,396155396	210	20

5.3. Análisis según las variables medidas durante las pruebas

5.3.1. Torque del motor trifásico

A medida que se incrementó la carga aplicada sobre el eje del motor se pudo notar un aumento progresivo en el torque lo que respalda el funcionamiento adecuado del módulo de comunicación 001, por ejemplo, cuando el sistema operó a una frecuencia de 30 Hz el torque sin carga fue cercano a 1,03 N·m mientras que cuando se aplicó una carga de 20 Kg el valor alcanzó los 3,14 N·m. Este comportamiento reflejó que el sistema tiene una respuesta efectiva frente a incrementos de esfuerzo mecánico especialmente cuando opera a frecuencias mayores a 30 Hz.

Nota: Los valores de torque fueron calculados mediante la Red 15 del PLC, según el procedimiento descrito en el Anexo Técnico 1.

5.3.2. Corriente del motor trifásico

El consumo de corriente aumentó de forma progresiva conforme se incrementó la carga sobre el eje del motor a frecuencias altas como 40, 50 y 60 Hz este incremento se mantuvo estable y proporcional; sin embargo a frecuencias bajas como 10 y 20 Hz se registraron variaciones más marcadas en el comportamiento de la corriente este tipo de respuesta es común en sistemas donde el torque generado en los primeros instantes no resulta suficiente para sostener la carga cuando la velocidad de giro es reducida.

La lectura de corriente fue adquirida mediante el bloque MB_MASTER programado en la Red 8 del MDM 001 (ver Anexo Técnico 1).

5.3.3. Velocidad del motor trifásico

La velocidad respondió de forma inversamente proporcional a la carga aplicada, especialmente en frecuencias bajas. Con una frecuencia de 10 Hz y sin carga el motor alcanzó 572 RPM, mientras que con 15 kg ya no logró iniciar el giro. A frecuencias superiores a 30 Hz la disminución de velocidad con carga fue más estable, lo que evidencia una mayor capacidad del sistema para sostener el esfuerzo.

La velocidad fue medida desde el VFD y validada por el encoder que se especifica en la Red 9 (Anexo Técnico 1).

5.3.4. Voltaje del motor trifásico

El voltaje que recibió el motor fue aumentando conforme lo hacía la frecuencia ya que el variador fue configurado bajo la lógica voltaje sobre frecuencia a 10 Hz, el valor fue de aproximadamente 39V mientras que a 60 Hz llegó hasta los 220V este resultado corresponde con la programación establecida en el sistema lo que permite que el arranque del

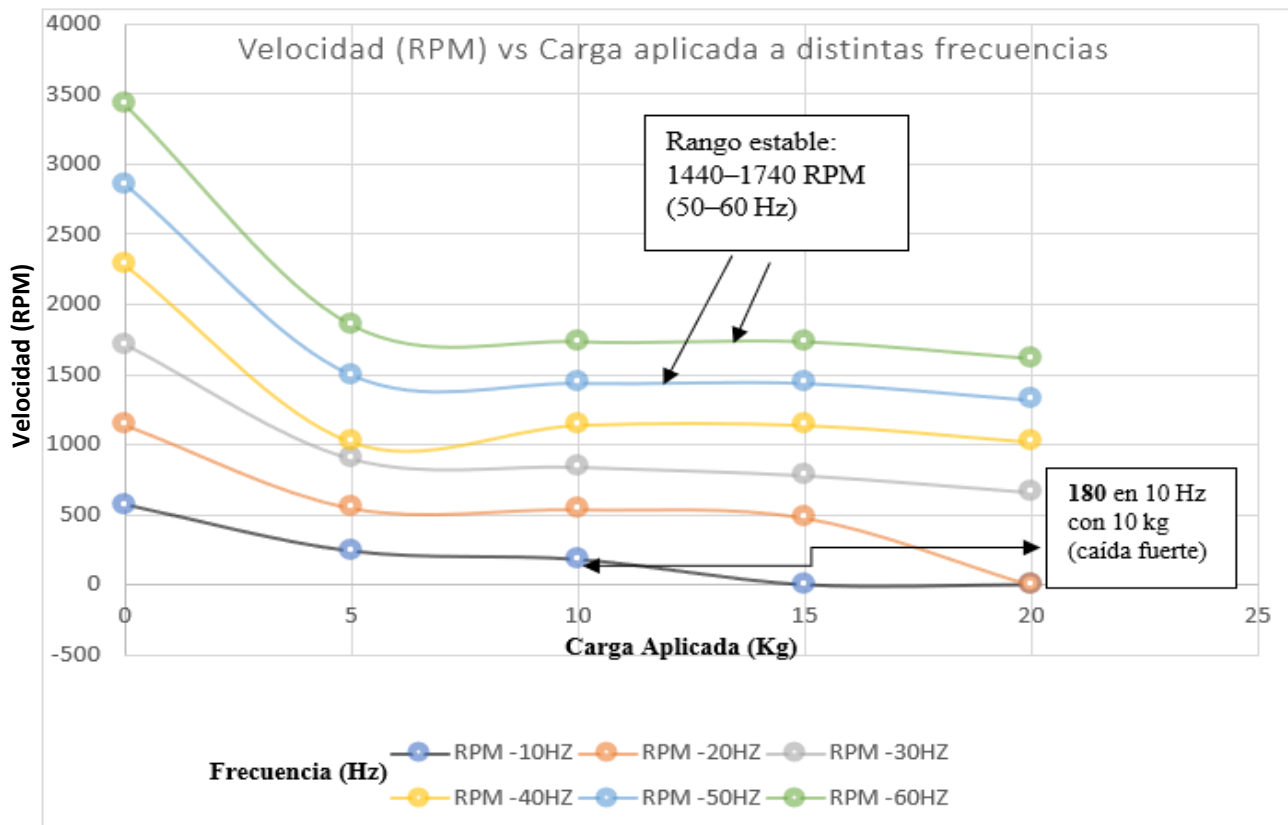
motor se mantenga estable progresivo y eficiente incluso en condiciones de carga variables.

Los valores de voltaje fueron obtenidos desde el variador de frecuencia en la Red 10 del PLC (ver Anexo Técnico 1).

5.4. Análisis de la velocidad del motor en función de la carga aplicada.

Tabla 5. 2. Análisis de la velocidad del motor en función de la carga aplicada.

Carga	RPM -10HZ	RPM -20HZ	RPM -30HZ	RPM -40HZ	RPM -50HZ	RPM -60HZ
0	572	1,144	1,716	2,288	2860	3430
5	240	550	900	1,020	1500	1860
10	180	540	840	1,140	1440	1740
15	0	480	780	1,140	1440	1740
20	0	0	660	1,020	1320	1620



Gráfica 5. 1. Análisis de la velocidad del motor en función de la carga aplicada.

En la Gráfica 5. 1 se observó que, cuando se incrementó la carga aplicada al motor, en consecuencia, su velocidad disminuyó progresivamente. Esta caída es más pronunciada al trabajar con frecuencias bajas, como 10 Hz, donde, por ejemplo, a una carga de 10 kg,

el motor apenas alcanzó 180 RPM (ve Tabla 5. 2, *fila 3, columna RPM–10Hz*), esta condición evidenció la dificultad del sistema para sostener un régimen de giro constante frente al esfuerzo mecánico.

Sin embargo, a frecuencias superiores, a partir de 30 Hz, se observó que el sistema mantiene mejor su estabilidad de giro. Particularmente a 50 Hz y 60 Hz, con cargas entre 10 kg y 20 kg, se conservaron velocidades cercanas a 1440–1740 RPM, como se destaca en la Gráfica 5. 1 , en las curvas roja y tomate (ver Tabla 5. 2, *filas 3 a 5, columnas RPM–50Hz y RPM–60Hz*). Este comportamiento confirmó que el motor trifásico controlado desde el MC001, responde favorablemente ante condiciones exigentes cuando opera a frecuencias elevadas.

5.4.1. Comportamiento la velocidad según la frecuencia de operación.

En las curvas mostradas en la Gráfica 5. 1 se identificó que la correspondiente a 10 Hz representada con *línea negra* evidencia una caída marcada en la velocidad conforme se incrementó la carga con 10 Kg la velocidad se redujo hasta 180 RPM y a partir de los 15 Kg no se supera ese valor lo que refleja una clara dificultad del sistema para mantener el giro cuando se enfrenta a condiciones exigentes.

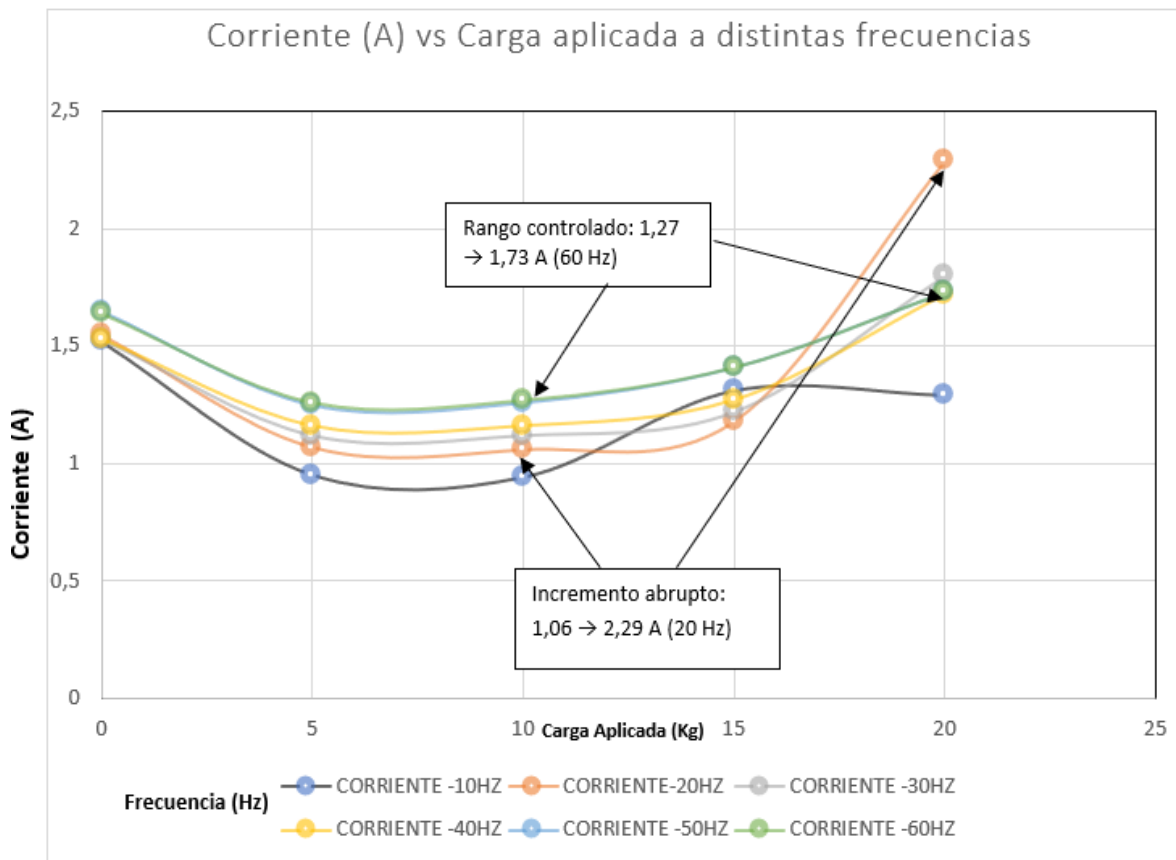
La curva de 20 Hz señalada con *línea color tomate* presentó un descenso similar, aunque menos agresivo estabilizándose por debajo de las 600 RPM en cargas superiores a los 10 Kg lo que confirmó una capacidad limitada de respuesta cuando se operó en frecuencias bajas.

En contraste la curva de 30 Hz que esta con color plomo mostró un comportamiento más consistente alcanzando 840 RPM con 10 Kg y conservando valores cercanos incluso al llegar a los 20 Kg las curvas de 40, 50 y 60 Hz representadas por los colores *amarillo, celeste y verde* respectivamente reflejaron un desempeño superior con velocidades que se mantienen entre 1440 y 1740 revoluciones por minuto aún bajo cargas de 15 a 20 Kg lo que demuestra que al operar a frecuencias más altas el sistema logró conservar la estabilidad de giro y mejorar su respuesta frente a incrementos de carga.

5.5. Análisis de la corriente del motor en función de la carga aplicada

Tabla 5. 3. Análisis de la corriente del motor en función de la carga aplicada

Car ga	CORRIENTE - 10HZ	CORRIENTE- 20HZ	CORRIENTE - 30HZ	CORRIENTE - 40HZ	CORRIENTE - 50HZ	CORRIENTE - 60HZ
0	1,52	1,55	1,53	1,53	1,65	1,64
5	0,95	1,07	1,12	1,16	1,25	1,26
10	0,94	1,06	1,12	1,16	1,26	1,27
15	1,31	1,18	1,22	1,27	1,41	1,41
20	1,29	2,29	1,8	1,72	1,73	1,73



Gráfica 5. 2. Análisis de la corriente del motor en función de la carga aplicada

La Tabla 5. 3 muestra los valores de corriente obtenidos en el MC001 para distintas cargas aplicadas al motor trifásico en un rango de frecuencia que va desde 10 hasta 60 Hz estos datos fueron capturados directamente desde el variador de frecuencia mediante el protocolo Modbus utilizando el bloque programado en la *Red 8 del PLC* como consta en el (*Anexo Técnico 1*) y visualizados en tiempo real a través del HMI referenciado en el (*Anexo Técnico 1*).

En la Gráfica 5. 2 se pudo notar que a frecuencias bajas como 10 y 20 Hz la corriente desciende levemente entre 0 y 10 Kg, pero a partir de ese punto empieza a subir de forma más abrupta por ejemplo cuando se opera a 20 Hz el sistema registró una corriente de 1.06 amperios con 10 Kg y de 2,29 amperios con 20 Kg según consta en la Tabla 5. 3 *de la columna corriente 20 Hz, filas 3 y 5* este comportamiento indicó que el motor inicialmente ofrece poca resistencia al esfuerzo pero que al sobrepasar cierto límite de carga necesita más energía eléctrica para sostener el movimiento del eje.

En cambio, cuando el sistema trabaja a frecuencias superiores como 30, 40, 50 o 60 Hz el aumento en la corriente es más gradual y uniforme por ejemplo a 60 Hz la corriente pasó de 1,26 a 1,73 amperios entre 10 y 20 Kg lo que representó un incremento controlado en proporción al esfuerzo mecánico aplicado como se observa en la Tabla 5. 3 *columna corriente 60 Hz* este patrón reflejó un mejor comportamiento del sistema de control bajo frecuencias altas donde el motor reacciona con mayor eficiencia ante variaciones de carga reduciendo los picos bruscos en el consumo.

5.5.1. Comportamiento de la corriente según la frecuencia de operación.

Al analizar las curvas representadas en la Gráfica 5. 2 se observó que la correspondiente a 10 Hz (*línea de color negro*) inicia con una corriente cercana a 1,52 amperios sin carga, pero desciende levemente hasta alrededor de 1,02 amperios al aplicar 10 kilogramos esta disminución se estabilizó y la corriente se mantuvieron por debajo de 1.3 amperios incluso con cargas mayores lo que podría señalar una capacidad limitada del sistema para adaptarse a demandas crecientes

En el caso de la curva de 20 Hz (*color tomate*) se notó un comportamiento más acentuado comienza con una corriente de 1,55 amperios baja a 1,06 amperios con 10 Kg y luego presenta un aumento abrupto que alcanza 2,29 amperios con 20 Kg según lo mostrado en la Tabla 5. 3 este cambio repentino sugiere una respuesta no lineal ante el incremento de carga posiblemente relacionada con los esfuerzos internos del motor al trabajar en una frecuencia intermedia

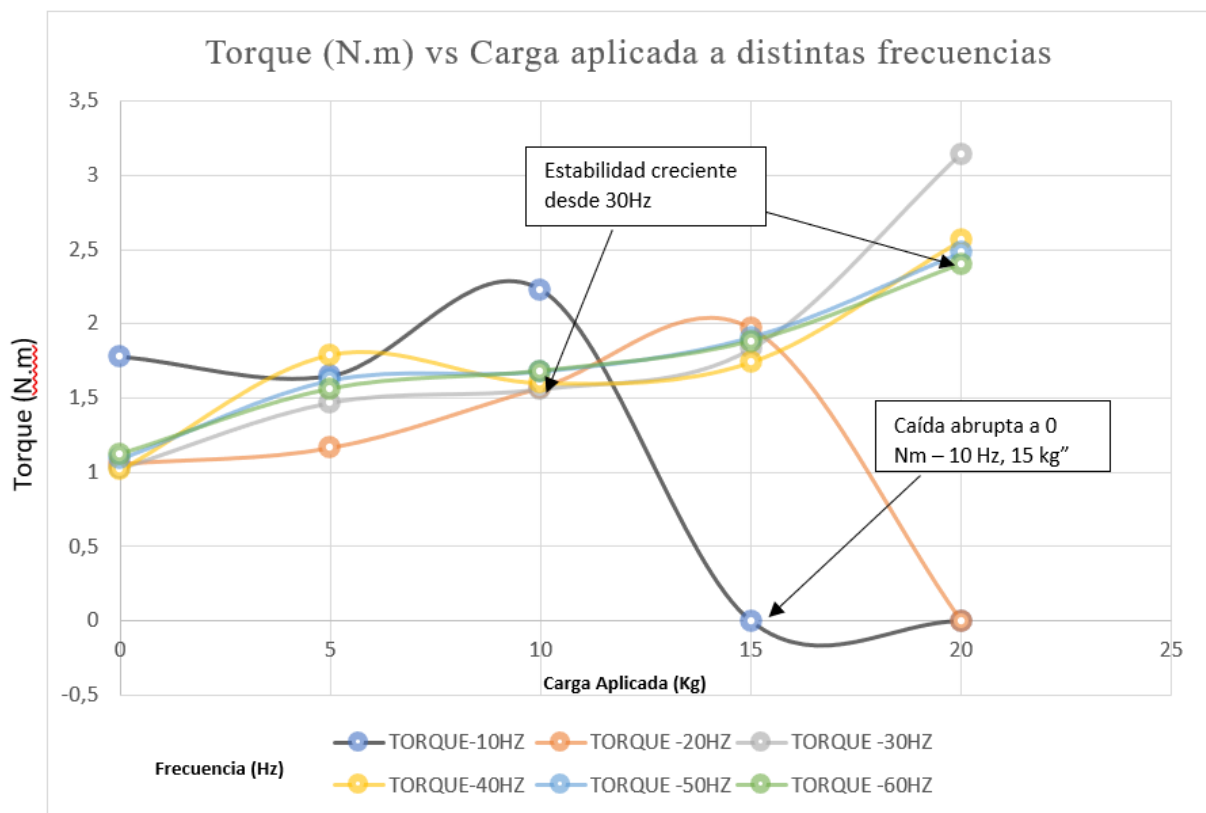
A partir de 30 Hz (*línea color plomo*) se identificó un patrón más estable donde la corriente aumenta de manera gradual pasando de 1,15 a 1,91 amperios entre los 10 y 20 kilogramos lo que refleja una adaptación más equilibrada frente al esfuerzo mecánico

Por último las curvas correspondientes a 40, 50 y 60 Hz representadas con los colores amarillo, celeste y verde mostraron un comportamiento más uniforme y predecible en particular la curva de 60 Hz se mantiene entre 1,27 y 1,73 amperios en el rango de 10 a 20 kilogramos lo que evidenció un sistema más eficiente con menor variabilidad en el consumo eléctrico ante cargas crecientes esta estabilidad reforzó, que el módulo de comunicación 001 opera con mayor efectividad cuando la frecuencia de funcionamiento es más elevada.

5.6. Análisis del torque del motor en función de la carga aplicada.

Tabla 5. 4. Análisis del torque del motor en función de la carga aplicada

Carga	TORQUE-10HZ	TORQUE -20HZ	TORQUE -30HZ	TORQUE-40HZ	TORQUE -50HZ	TORQUE -60HZ
0	1,78	1,056	1,028	1,015	1,091	1,12
5	1,65	1,164	1,47	1,79	1,62	1,56
10	2,23	1,57	1,56	1,6	1,68	1,68
15	0	1,97	1,83	1,74	1,91	1,88
20	0	0	3,14	2,56	2,48	2,4



Gráfica 5. 3. Análisis del torque del motor en función de la carga aplicada

En la Gráfica 5. 3 se observa que el torque no siempre incrementa de forma lineal con la carga aplicada, especialmente cuando el motor opera a frecuencias bajas. En el caso de 10 Hz, se presentó un aumento inicial (por ejemplo, 2,23 N·m a 10 kg), lo que le siguió una caída abrupta a 0 N·m con 15 kg (*ver* Tabla 5. 4, *columna Torque–10Hz, filas 3 y 4*). Lo mismo ocurrió parcialmente a 20 Hz, donde el torque se reduce a 0 N·m con 20 kg (*fila 5*), lo cual indica que el sistema no logró mantener el esfuerzo en esos rangos.

Sin embargo, desde 30 Hz en adelante, se evidenció un patrón creciente y más estable. Por ejemplo, a 30 Hz, el torque pasó de 1,56 N·m a 3,14 N·m entre 10 y 20 kg (*ver* Tabla 5. 4, *columna Torque–30Hz*). Este comportamiento se mantuvo en 50 y 60 Hz, donde el torque alcanzó valores superiores a 2,4 N·m, lo que confirmó que el motor trifásico, bajo el control del MC001, responde con mayor eficiencia ante cargas progresivas cuando opera a frecuencias superiores.

5.6.1. Comportamiento del torque según la frecuencia de operación.

Al analizar cada una de las curvas mostradas en la Gráfica 5. 3 se observó que la correspondiente a 10 Hz representada con *línea negra* presentó una caída pronunciada del torque cuando la carga alcanza los 15 y 20 Kg llegando hasta un valor de cero lo que revela una pérdida total de capacidad para sostener el esfuerzo en el caso de la curva de 20 Hz marcada con *color tomate* la reducción es menos brusca pero también finaliza en cero N·m, al llegar a la carga máxima lo que indica limitaciones operativas similares. A partir de los 30 Hz identificados con la línea de *color plomo* se notó una tendencia ascendente más constante del torque alcanzando un valor máximo de 3,14 newton metro con 20 Kg de carga las curvas de 40, 50 y 60 Hz diferenciadas por los *colores amarillo, celeste y verde* mostraron un comportamiento más estable manteniéndose por encima de los 2,4 newton metro incluso en condiciones de carga elevada este patrón indicó que el sistema logra una mejor respuesta y eficiencia cuando trabaja con frecuencias superiores.

5.7. Síntesis del comportamiento del motor bajo diferentes condiciones de carga y frecuencia.

En términos generales los resultados obtenidos permitieron concluir que el comportamiento del motor trifásico está fuertemente influenciado por la frecuencia de operación y

el nivel de carga aplicado cuando el sistema trabaja en frecuencias bajas se presentan respuestas inestables una disminución progresiva de la velocidad aumentos repentinos en el consumo de corriente y dificultades para mantener el torque bajo condiciones de carga elevada.

Sin embargo al incrementar la frecuencia especialmente a partir de los 30 Hz el sistema comenzó a mostrar una mayor estabilidad en su funcionamiento a frecuencias de 50 y 60 Hz se evidenció una mejor capacidad para sostener la velocidad controlar el uso de energía eléctrica y mantener un torque constante que responde de manera adecuada a los requerimientos mecánicos este comportamiento demostraron que el rendimiento global del sistema de monitoreo y control mejoró de forma considerable cuando opera en condiciones exigentes pero con frecuencias elevadas cumpliendo así con los objetivos relacionados a estabilidad eficiencia y respuesta frente a incrementos progresivos de carga.

5.8.Descripción técnica de la integración de protocolos de comunicación industrial

En esta parte se explicó cómo fueron integrados los protocolos Profinet, Modbus y Wireless-HART del módulo de comunicación identificado como MC001 mostrando cuál fue el papel que cumplió cada uno en el sistema y presentando también algunas evidencias gráficas que reflejan cómo se aplicaron de forma práctica.

5.8.1. Profinet

En la Figura 5. 6 se puede ver cómo se configuró Profinet usando el entorno de programación TIA Portal el PLC Siemens S7 1200 fue definido como el equipo principal en la red y desde ahí se estableció la comunicación con el variador de frecuencia y con los demás componentes del sistema esta red permite enviar en tiempo real datos como la velocidad, voltaje y la frecuencia hacia la pantalla HMI lo que confirma que Profinet fue integrado de forma correcta en el sistema automatizado cumpliendo así con el objetivo de aplicar un protocolo moderno de comunicación industrial. Puede consultarse también el Manual de Operación incluido en el **Anexo V**.

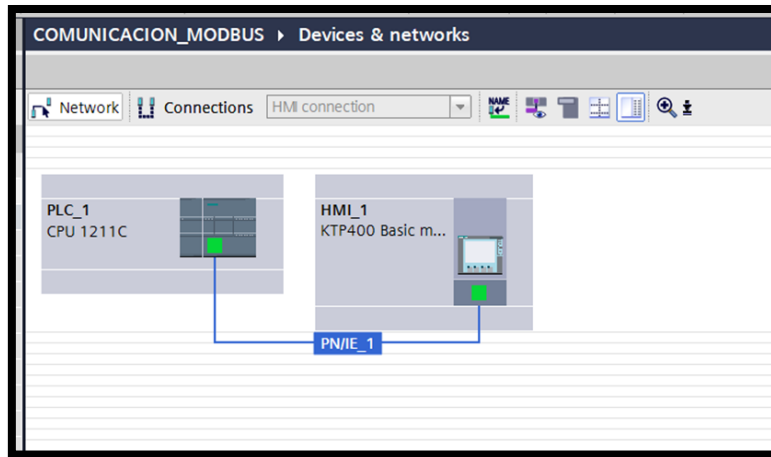


Figura 5. 6. Visualización del protocolo Profinet activo en el entorno TIA Portal

5.8.2. Modbus

En la Figura 9. 5 a la Figura 9. 9 se ve cómo se hizo la red en TIA Portal para poder leer datos del variador usando Modbus RTU se usó un bloque llamado MB MASTER que permite que el PLC y el variador se comuniquen y compartan datos como la corriente del motor la frecuencia de salida y el torque esos valores se reciben en tiempo real lo que demuestra que el protocolo Modbus fue bien integrado al sistema y que se pudo lograr una red funcional que puede adaptarse a diferentes equipos que trabajan en campo. *Observar la Guía Técnica.*

5.8.3. Wireless-HART

En la Figura 5. 8 se muestra la interfaz que fue diseñada en LabVIEW para visualizar las variables del motor usando el protocolo inalámbrico Wireless-HART esta pantalla permite ver en tiempo real datos como la corriente la velocidad de giro y el voltaje sin que haya necesidad de usar cableado directo entre el controlador y el sistema que se está supervisando con esta implementación se demuestra que es posible controlar un motor trifásico de forma remota usando una red inalámbrica que sea estable lo que confirma que el sistema propuesto funciona y que Wireless-HART sí cumple su función como medio de monitoreo y control en campo.



Figura 5. 8. Interfaz HMI desarrollada en LabVIEW mediante protocolo Wireless-HART

5.9.Comparación técnica entre los protocolos Profinet, Modbus RTU y Wireless-HART

Tabla 5. 5..Comparación técnica entre los protocolos Profinet, Modbus RTU y Wireles-HART

Característica	Profinet	Modbus RTU	Wireless-HART
Tipo de comunicación	Industrial Ethernet	Serie (RS-485)	Inalámbrica basada en IEEE 802,15,4
Medio físico	Cable Ethernet	Par trenzado	Aire (frecuencia de 2.4 GHz)
Velocidad de transmisión	Hasta 100 Mbps	Máx. 115,2 kbps	Aprox. 250 kbps
Alcance típico	100 m por segmento de red	1200 m aprox.	30–200 m por nodo, dependiendo del entorno
Topología de red	Estrella, árbol o línea	Línea (bus)	Malla auto reconfigurable
Confiabilidad en planta	Muy alta	Alta (en distancias cortas)	Alta si se configura bien la red
Facilidad de implementación	Media	Alta (fácil de programar)	Media (requiere gateway)

A partir de lo desarrollado en este proyecto, se constató que cada uno de los tres protocolos integrados cumplieron un rol funcional en el sistema de monitoreo y control. Profinet demostró ser el más rápido, con velocidades de transmisión de hasta 100 Mbps, ideal para el envío de datos en tiempo real entre el PLC y la HMI. Modbus RTU, aunque limitado a 115,2 kbps, presentó una comunicación estable para adquirir datos desde el variador de frecuencia mediante cableado RS-485. Por su parte, Wireless-HART, con una velocidad aproximada de 250 kbps y alcance inalámbrico de hasta 200 metros por nodo, permitió ampliar el sistema de forma remota sin comprometer la precisión. Si bien cada protocolo tiene ventajas particulares, se recomienda el uso combinado de Profinet para redes internas de alta velocidad y Wireless-HART para entornos donde la movilidad, el alcance o la ausencia de cableado sean condiciones necesarias. Esta integración asegura una solución robusta, flexible y eficiente en sistemas industriales modernos.

6. PRESUPUESTOS Y ANÁLISIS DE IMPACTO.

Para el desarrollo del presente proyecto se llevó a cabo la implementación completa del sistema de monitoreo y control, partiendo desde cero con la instalación del motor trifásico, el variador de frecuencia, el PLC Siemens S7-1200, la pantalla HMI, la fuente de alimentación, el encoder, el router industrial y los módulos de comunicación necesarios. Además, se adquirieron y montaron todos los accesorios eléctricos y electrónicos requeridos, como cables de comunicación, conectores, materiales de sujeción y componentes auxiliares, con el fin de garantizar un funcionamiento estable y seguro del sistema. A continuación, se presenta la Tabla 6. 1 con el presupuesto general y los materiales utilizados durante la ejecución del proyecto.

6.1.PRESUPUESTO

En la siguiente Tabla 6. 1 se detallan los costos estimados de los materiales y componentes utilizados durante la implementación del sistema.

Tabla 6. 1. Presupuesto detallado para la ejecución del proyecto

RECURSOS	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
PLC siemens simatic s7-1200 1211c AC/DC/RLY	1	\$200,00	\$200,00
Pantalla HMI KTP400	1	\$250,00	\$250,00
Módulo de comunicación CM 1241 (RS-485)	1	\$80,00	\$80,00
Router industrial HF-9606W PLC Gateway 4xEthernet	1	\$70,00	\$70,00
Estructura del módulo	1	\$150,00	\$150,00
Motor trifásico SIEMENS 1LA7 070-2YA60	1	\$120,00	\$120,00
Cables N°16 (rojo, negro, blanco)	30	\$1,00	\$30,00
Protección térmica 2 polos	2	\$10,00	\$20,00
Encoder Omron E6B2-CWZ6C	1	\$60,00	\$60,00
Riel DIN	1	\$10,00	\$10,00
Cinta aislante	1	\$5,00	\$5,00
Etiquetas (letras)	1	\$10,00	\$10,00
Fuente de alimentación AC-DC		\$30,00	\$30,00
Cable de conexión Modbus	1	\$20,00	\$20,00
Conector Modbus RS-485	1	\$30,00	\$30,00
Variador de frecuencia Wecon VM2S1R5	1	\$80,00	\$80,00
Alimentación	1	\$70,00	\$70,00
Movilización	1	\$100,00	\$100,00
Imprevistos	1	\$100,00	\$100,00
TOTAL			\$1,435

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- A lo largo del desarrollo del proyecto se realizaron prácticas de tipo experimental en entorno de laboratorio, que incluyeron montaje físico, programación de redes industriales, ejecución de pruebas con carga y análisis funcional del sistema. Estas prácticas permitieron aplicar conocimientos de automatización industrial en un contexto técnico realista, lo que valida el enfoque metodológico implementado.
- Se logró integrar exitosamente los protocolos Profinet, Modbus RTU y WirelessHART en un solo sistema híbrido. Profinet permitió la supervisión en tiempo real mediante Ethernet, Modbus facilitó la adquisición de datos desde el variador a través de RS-485, y WirelessHART habilitó el monitoreo remoto sin cableado, demostrando interoperabilidad entre tecnologías industriales cableadas e inalámbricas.
- Los datos experimentales obtenidos mostraron que, a frecuencias inferiores a 30 Hz, el motor presentó dificultad para mantener el torque y velocidad bajo cargas superiores a 10 kg. En cambio, a partir de 50 y 60 Hz, se logró mantener velocidades superiores a 1400 RPM y torques estables mayores a 2,4 N·m, incluso con 20 kg de carga, lo que confirma un desempeño eficiente del sistema bajo condiciones exigentes.
- La lectura de corriente, voltaje, velocidad y torque fue posible en tiempo real a través de la HMI KTP400, gracias a la programación distribuida en el PLC Siemens S7-1200. Los valores capturados y analizados permitieron validar que el sistema responde con estabilidad y precisión frente a variaciones de carga y frecuencia, cumpliendo con los objetivos técnicos propuestos.
- En términos de formación profesional, el proyecto permitió a los estudiantes aplicar conocimientos prácticos en instrumentación, programación, control de motores, integración de redes industriales y análisis de datos eléctricos, fortaleciendo así competencias clave para su desempeño en el campo de la automatización y control industrial.

7.2. RECOMENDACIONES

- Antes de instalar los equipos, conviene revisar bien las hojas técnicas de cada uno. Esto asegura que todos funcionen bien juntos y se evitan errores por incompatibilidad.
- Como el control que se usó es tipo voltaje/frecuencia, hay que tener presente que si la frecuencia sube, también sube el voltaje. Esa relación influye bastante en cómo responde el motor cuando cambia la carga.
- Para que las pruebas sean más claras en el futuro, sería mejor conectar una carga fija. Eso permite ver mejor cómo se comporta el sistema cuando se estabiliza, ya sea al encender o apagar el motor.
- Es preferible definir desde el inicio cuál es la frecuencia mínima con la que el motor arranca sin problemas. Si se usa una muy baja, puede que no gire o pierda fuerza, y eso a la larga puede afectar el sistema.
- La pantalla de monitoreo se puede mejorar ajustando los valores que se muestran y agregando alertas visuales simples. Eso facilita mucho la supervisión y evita que el operador pierda tiempo reaccionando.
- Finalmente, se recomienda considerar el uso de este módulo como una herramienta didáctica para prácticas en asignaturas técnicas, debido a que permite desarrollar al menos diez actividades formativas relacionadas con el arranque, control de velocidad, cambio de giro, monitoreo de variables eléctricas y el uso de protocolos industriales. Esto lo convierte en un recurso funcional para laboratorios de automatización, redes industriales e instrumentación.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «Automatización Industrial | PDF | Automatización | Mecatrónica». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/155438535/Automatizacion-Industrial>

- [2] «Pirámide de la Automatización Industrial: Clave para la Industria 4.0». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sicma21.com/piramide-de-la-automatizacion-industrial-que-es-y-por-que-es-clave-en-la-industria-4-0/>
- [3] «Comunicaciones Industriales». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://maval.es/automatizacion-industrial/comunicaciones-industriales-y-ciberseguridad/>
- [4] «Protocolo de comunicaciones - Wikipedia, la enciclopedia libre». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_comunicaciones
- [5] «FieldComm Group: conectando el mundo de la automatización industrial». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fieldcommgroup.org/>
- [6] «Modbus - Wikipedia, la enciclopedia libre». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Modbus>
- [7] «Modbus: Qué es y cómo funciona | Comunicaciones Industriales». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cursosaula21.com/modbus-que-es-y-como-funciona/>
- [8] «Profinet - Wikipedia». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://en.wikipedia.org/wiki/Profinet>
- [9] «PROFINET: ¿Qué es y cómo funciona? - Cursos Centro de Entrenamiento Internacional de PROFIBUS & PROFINET». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://profibus.com.ar/profinet-que-es-y-como-funciona/>
- [10] «Cisco IE 2000 Software Configuration Guide, Release 15.0(2)EA - Configuring PROFINET [Cisco Industrial Ethernet 2000 Series Switches] - Cisco». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/swit-ches/lan/cisco_ie2000/software/release/15_0_2_ea/configuration/guide/scg-ie2000/swprofinet.html
- [11] «DCP - Protocolo de descubrimiento y configuración - Universidad PROFINET». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://profinetuniversity.com/naming-addressing/profinet-dcp/>
- [12] «LLDP en PROFINET - Universidad PROFINET». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://profinetuniversity.com/nombre-direccion/lldp-profinet/>
- [13] «WirelessHART | Grupo FieldComm». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fieldcommgroup.org/technologies/wirelesshart>
- [14] «Análisis de los estándares de automatización industrial inalámbrica: ISA-100.11a y WirelessHART». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://blog.isa.org/analysis-wireless-industrial-automation-standards-isa-100-11a-wirelesshart>
- [15] X. Vilajosana Guillen y J. Lopez Vicario, «TFG-Redes Wireless Industriales Joaquin Sala Fayos Profesor responsable de la asignatura», 2014.

- [16] «Motor síncrono - Wikipedia, la enciclopedia libre». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_s%C3%ADncrono
- [17] «Motor de corriente alterna - Wikipedia, la enciclopedia libre». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_alterna
- [18] «Motor trifásico: Qué es, tipos y aplicaciones | S&P». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/motor-trifasico/>
- [19] «PDHonline Course E156 (2 PDH)». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: www.PDHcenter.com
- [20] «Potencia eléctrica - Wikipedia, la enciclopedia libre». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Potencia_el%C3%A9ctrica
- [21] «Convertidor de kilowatt a horsepower (electricidad), (kW a HP) – ITOMAK LATINOAMÉRICA». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://itomakla.com/descubra-mas/convertidor-de-kilowatt-a-horsepower-electricidad-kw-a-hp/>
- [22] «Clasificación de potencia - Wikipedia». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Power_rating
- [23] «Profe Julio C - Resistencias». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/profejulio/tutorias/electricidad-electronica/resistencias>
- [24] «P8 - Notas Práctica 8: Medición de Potencia en Circuitos Eléctricos - Studocu». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-de-nuevo-leon/circuitos-electricos-ii-y-laboratorio/p8-practica-8-de-circuitos/120724708>
- [25] M. Angel y R. Pozueta, «CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA “ELECTROTECNIA PARA INGENIEROS NO ESPECIALISTAS” UNIVERSIDAD DE CANTABRIA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA».
- [26] «Factor de potencia y eficiencia: Construyendo los sistemas eléctricos adecuados». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.astrodynetdi.com/blog/power-factor-and-efficiency-building-the-right-electrical-systems>
- [27] «Factor de potencia: ¿Qué es y cómo se calcula? – Blog Sunwise». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://blog.sunwise.io/factor-de-potencia-que-es-y-como-se-calcula/>
- [28] «LA RELACIÓN ENTRE POTENCIA APARENTE, POTENCIA ACTIVA Y POTENCIA REACTIVA». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.everexceed.com/blog/the-relationship-between-apparent-power-active-power-and-reactive-power_b567
- [29] «Get your motor running Get Your Motor Running: Understanding Starting Torque».
- [30] «DETERMINING ELECTRIC MOTOR LOAD AND EFFICIENCY Load Ranges: Acceptable Short-Period Acceptable Operating Optimum».

- [31] «Funcionamiento del motor CC de cuatro cuadrantes Smart Motor Devices». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://smd.ee/es/info/articles/four-quadrant-motor-operation>
- [32] «Incremental 40-mm-dia. Rotary Encoder E6B2-C General-purpose Encoder with External Diameter of 40 mm».
- [33] «¿Qué es un Encoder? Lo Que Hay Que Saber Sobre Los Codificadores». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.encoder.com/article-que-es-un-encoder>
- [34] «Qué es y para qué sirve un variador de frecuencia | S&P». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/variador-de-frecuencia/>
- [35] «Wecon VD2 SA Series Servo Drives Manual (Full V1.1) WECON VM AC Drive User Manual (V2.0)», 2023.
- [36] «SH202-C40 | ABB». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://new.abb.com/products/es/2CDS212001R0404/sh202-c40>
- [37] «Manual de instrucciones de cables de canal de medidor dual SUNGROW RS-485 CT». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://manuals.plus/es/sungrow/rs-485-ct-dual-meter-channel-cables-manual>
- [38] «6AV6647-0AA11-3AX0 Siemens Simatic HMI - Gazellec». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://gazellec.com/product/6av6647-0aa11-3ax0-siemens-simatic-hmi/?srsltid=AfmBOooHSaO2o1jpQkWQuKIIH_a0WWF2Vq78Qea1sMY6cWtAdoW2Nc9D
- [39] «6ES7972-0BA42-0XA0 | Siemens PROFIBUS Industrial communication | PLC-City». Accedido: 22 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-industrial-communication-profibus/6es7972-0ba42-0xa0.html?srsltid=AfmBOormesbMqAimAI865aPm4ja8Nx5j5Lme-KdQZbvm6_JmzooAwXMwe

9. ANEXOS

Anexos

Técnico I

Anexo A. Pantalla principal del HMI con menú de navegación.

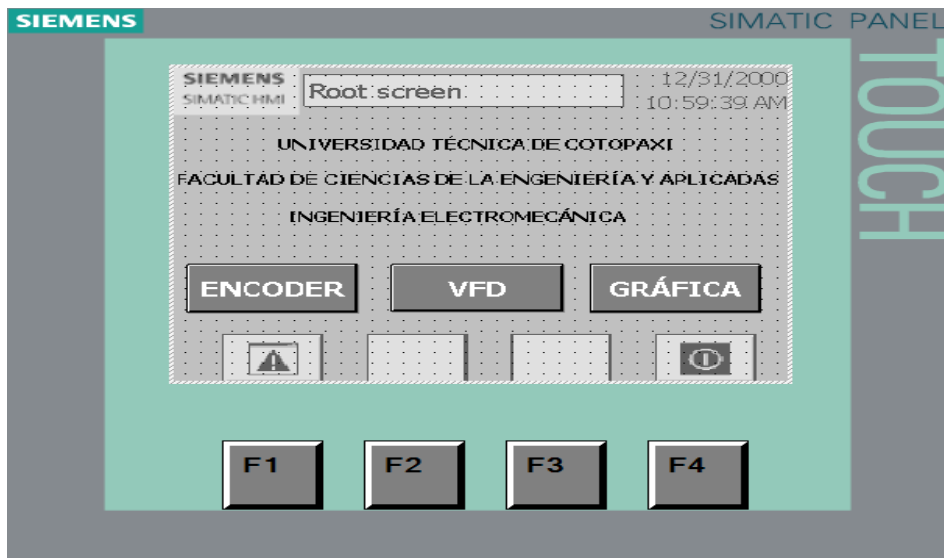


Figura 9. 1. Pantalla principal del HMI con menú de navegación.

Anexo B. Pantalla de monitoreo de variables del motor en tiempo real.

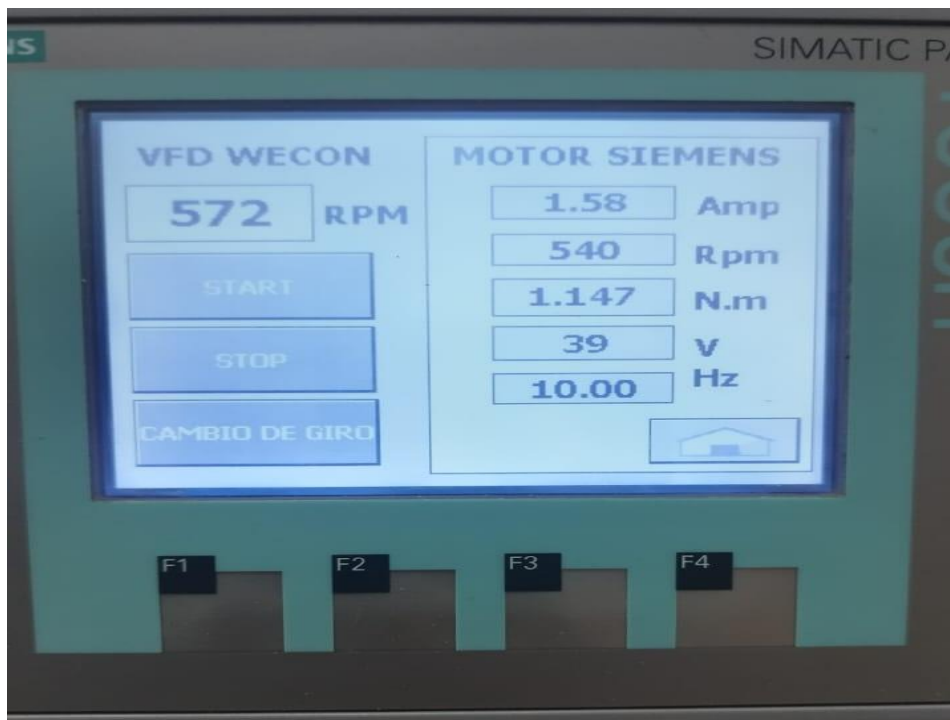


Figura 9. 2. Pantalla de monitoreo de variables del motor en tiempo real.

Anexo C. Pantalla de lectura del encoder.

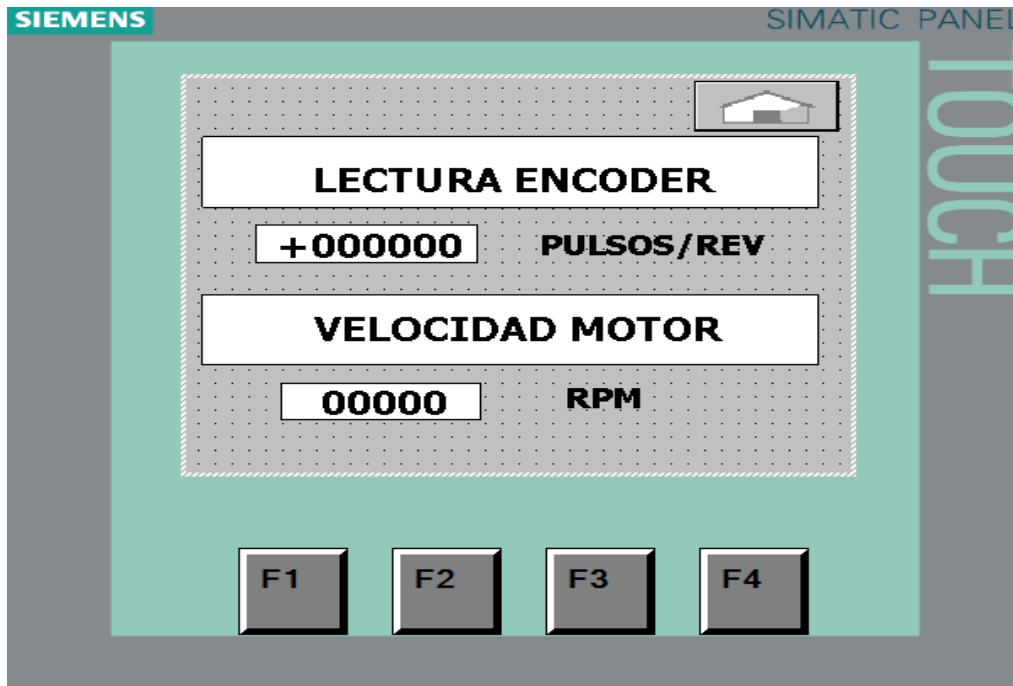


Figura 9. 3. Pantalla de lectura del encoder

Anexo D. Pantalla gráfica de velocidad del motor en función del tiempo.



Figura 9. 4. Pantalla gráfica de velocidad del motor en función del tiempo.

Anexo E. Lectura y conversión de la corriente desde el variador de frecuencia.

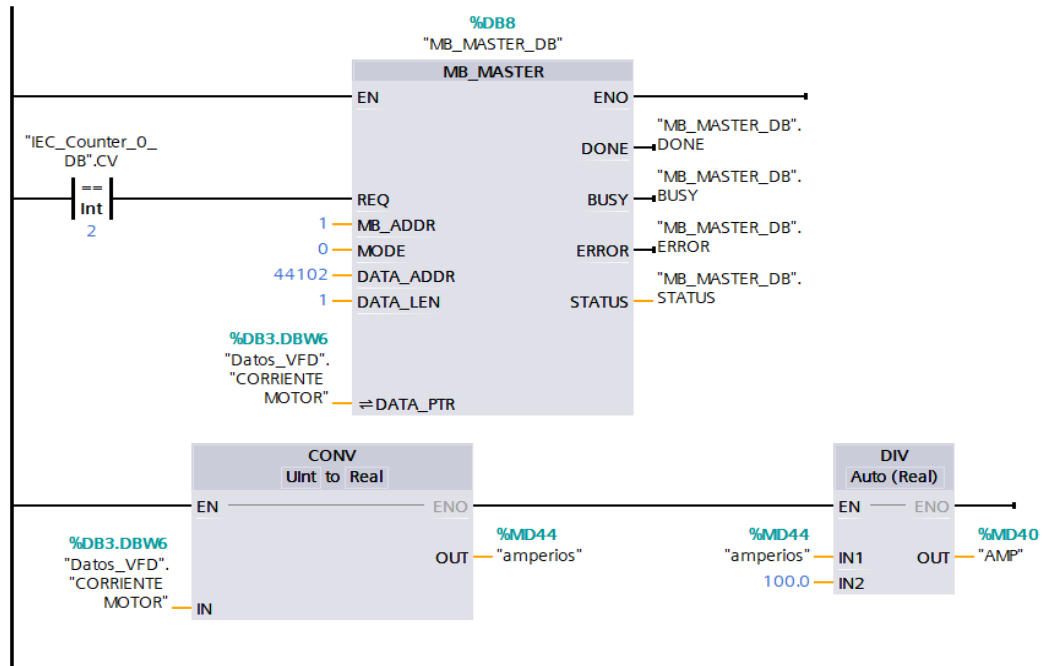


Figura 9. 5. Red 8-Lectura y conversión de la corriente desde el variador de frecuencia

Anexo F. Lectura de la velocidad del motor en RPM.

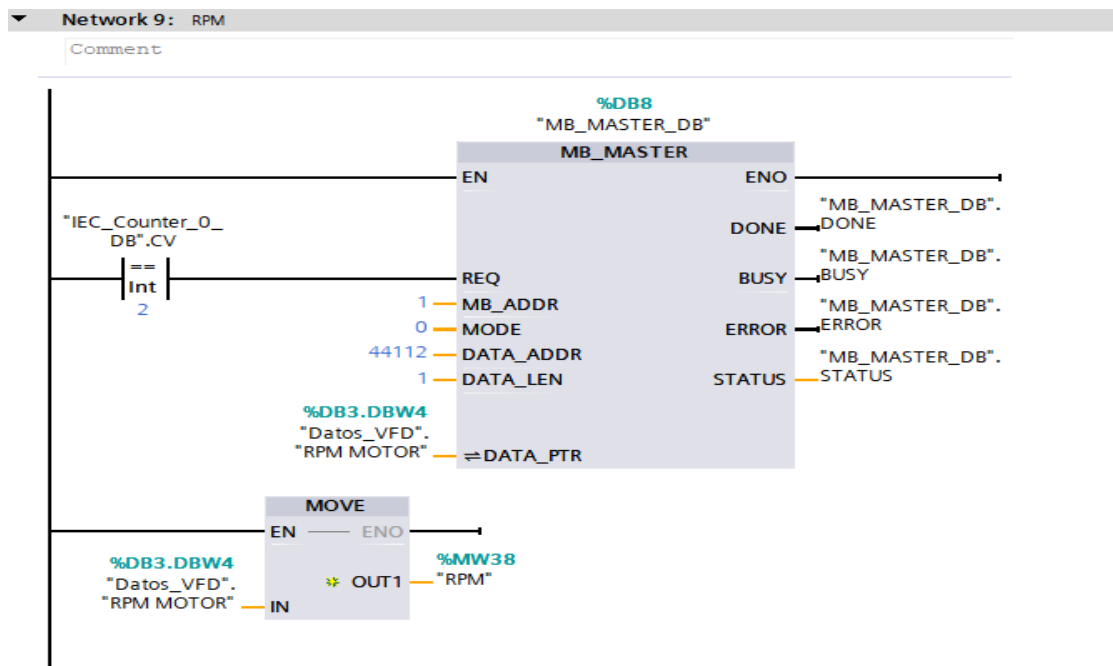


Figura 9. 6. Red 9 - Lectura de la velocidad del motor en RPM.

Anexo G.

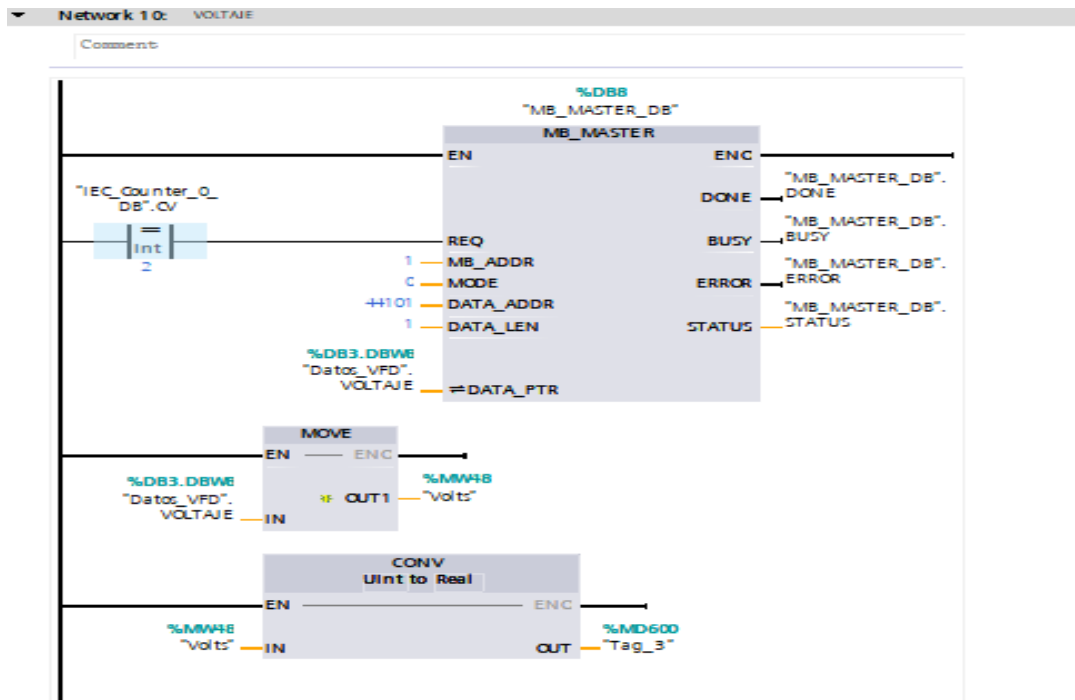


Figura 9. 7. Red 10 – Lectura del voltaje del motor desde el VFD.

Anexo H. Lectura de la frecuencia de operación del motor.

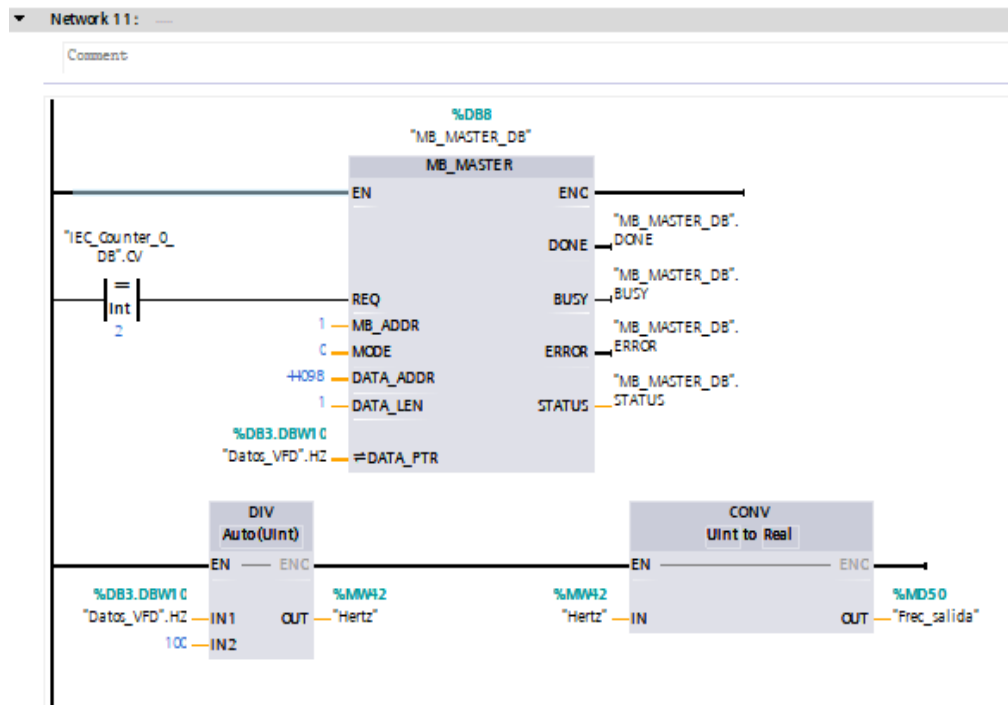


Figura 9. 8. Red 11 – Lectura de la frecuencia de operación del motor.

Anexo I. Cálculo del torque real del motor en función de la potencia y la velocidad angular.

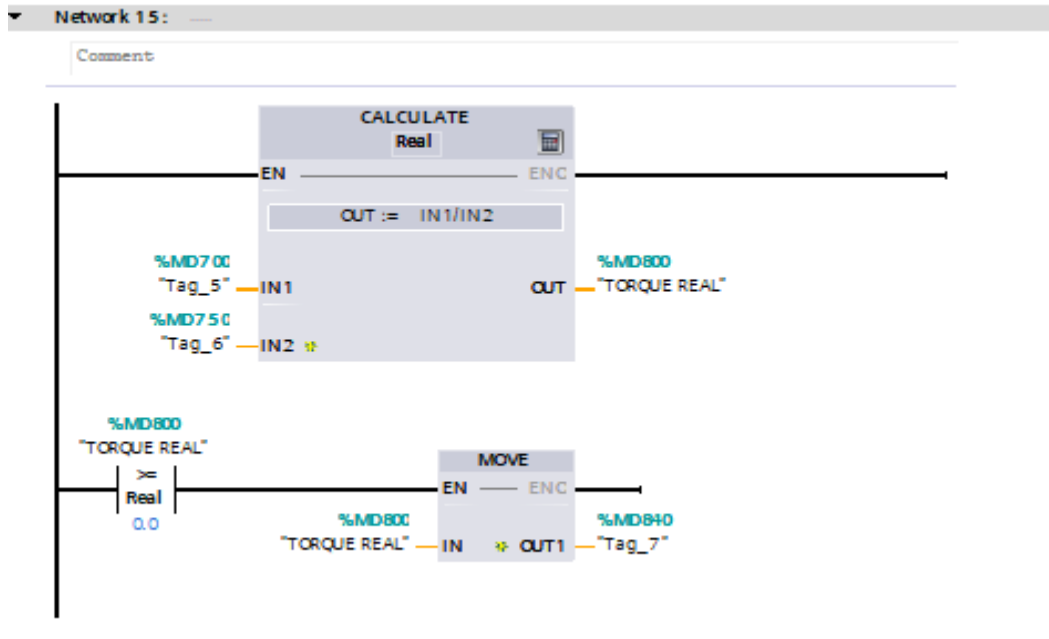


Figura 9. 9. Red 15 – Cálculo del torque real del motor.

Anexos II





Equipos Utilizados y

Fichas Técnicas

Anexo J. Tabla de equipos utilizados.

Tabla 9. 1. Tabla de equipos utilizados

RECURSOS	CANTIDAD
PLC siemens Simatic s7-1200 1211c AC/DC/RLY	
Pantalla HMI KTP400	
Módulo de comunicación CM 1241 (RS-485)	
Router industrial HF-9606W PLC Gateway 4xEthernet	
Estructura del módulo	
Motor trifásico SIEMENS 1LA7 070-2YA60	
Cables N°16 (rojo, negro, blanco)	
Protección térmica 2 polos	
Encoder Omron E6B2-CWZ6C	
Riel DIN	
Cinta aislante	

Etiquetas (letras)	<p>AAABBC CDDEEF FGGHIJ KLLMM NNOOPP QRRSST TTUUUV WWXYZ</p>
Fuente de alimentación AC-DC	
Cable de conexión Modbus	
Conector Modbus RS-485	
Variador de frecuencia Wecon VM2S1R5	

Anexo K: Ficha Técnica del Motor Trifásico SIEMENS 1LA7 070-2YA60.

Tabla 9. 2. Ficha Técnica del Motor Trifásico SIEMENS 1LA7 070-2YA60.

Parámetro	Especificación Técnica
Modelo	SIEMENS 1LA7 070-2YA60
Potencia nominal	0,75 HP (0.55 kW)
Velocidad nominal	3430 RPM
Tensión nominal	220 V (Δ) / 440 V (Y)
Frecuencia	60 Hz
Corriente nominal	2,4 A (220 V) / 1.2 A (440 V)
Grado de protección	IP55
Forma constructiva	IMB3
Factor de servicio (FS)	1,15
Factor de potencia ($\cos \phi$)	0,79
Clase de aislamiento	F
Par nominal / arranque	1.56 / 4,2 Nm
Rango de temperatura de operación	-15 °C a 40 °C
Condición de trabajo	S1 - Operación continua

Anexo L: Ficha Técnica del Gateway HF-9606W PLC Gateway 4xEthernet

Tabla 9. 3. Ficha Técnica del Gateway HF-9606W PLC Gateway 4xEthernet.

Parámetro	Especificación Técnica
Modelo	HF-9606W
Puertos Ethernet	4x RJ45 10/100 Mbps
Conectividad inalámbrica	Wi-Fi 2,4 GHz
Protocolos compatibles	MODBUS TCP/IP, PROFINET, TCP/IP
Modo de operación	Gateway / Router industrial
Alimentación	5–36 V DC
Consumo típico	≤ 3W
Funciones	Conversión de protocolos, puente WiFi-Ethernet, acceso remoto
Aplicaciones	Automatización industrial, monitoreo SCADA, control remoto de PLC

Anexo M: Ficha Técnica del Módulo de Comunicación Siemens CM 1241 (RS-485)

Tabla 9. 4. Ficha Técnica del Módulo de Comunicación Siemens CM 1241 (RS-485).

Parámetro	Especificación Técnica
Modelo	CM 1241 RS422/RS485
Interfaz	Sub-D de 9 pines (hembra)
Protocolos soportados	Modbus RTU, Freeport
Velocidad de transmisión	300 bps a 1 Mbps
Montaje	En riel DIN junto al PLC S7-1200
Configuración	TIA Portal - Freeport/Modbus
Conectividad	Hasta 32 dispositivos esclavos
Aplicación	Comunicación serial industrial (Maestro o Esclavo Modbus)

Anexo N: Ficha Técnica del PLC Siemens S7-1200 1211C AC/DC/RLY

Tabla 9. 5. Ficha Técnica del PLC Siemens S7-1200 1211C AC/DC/RLY.

Parámetro	Especificación Técnica
Modelo	S7-1200 1211C AC/DC/RLY
Alimentación	120–230 V AC
Entradas digitales	6
Salidas digitales	4 (a relé)
Entradas analógicas	2
Interfaz de comunicación	PROFINET integrada
Aplicación	Control y monitoreo de procesos industriales

Anexo Ñ: Ficha Técnica del Variador de Frecuencia Wecon VM2S1R5

Tabla 9. 6. Ficha Técnica del Variador de Frecuencia Wecon VM2S1R5.

Parámetro	Especificación Técnica
Modelo	Wecon VM2S1R5
Tipo de entrada	Monofásica 220 V AC $\pm 15\%$
Tipo de salida	Trifásica 0–220 V AC
Corriente de entrada	14 A
Corriente de salida	Hasta 7 A
Frecuencia de salida	0–1000 Hz
Potencia nominal	1,5 kW
Control	V/f y vectorial
Interfaz de configuración	Teclado frontal / RS485 Modbus
Aplicación	Control de velocidad, giro y torque de motor

Anexo O: Ficha Técnica del Encoder Omron E6B2-CWZ6C

Tabla 9. 7. Ficha Técnica del Encoder Omron E6B2-CWZ6C.

Parámetro	Especificación Técnica
Modelo	E6B2-CWZ6C
Tipo	Encoder incremental rotativo
Resolución	100 a 2000 pulsos por revolución (PPR)
Alimentación	5–24 V DC
Corriente máxima	80–160 mA

Anexos III

Logaritmos De

Programación

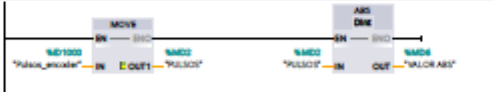
Anexo P. Programa principal del PLC (Main [OB1]) en TIA Portal.

Main [OB1]


Main Properties							
General							
Name	Main	Number	1	Type	OB	Language	LAD
Numbering	Automatic						
Information							
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					

Name	Data type	Default value	Comment
▼ Input			
Initial_Call	Bool		Initial call of this OB
Remanence	Bool		-True, if remanent data are available
▼ Temp			
DONE	Bool		
RPM_READ	Dint		
Constant			


Network 1: Lectura Encoder




Network 2:



Network 3:



Network 4:



Network 5: COMUNICACION MODBUS VFD

Figura 9. 10. Hoja 1 del bloque Main OB1: Adquisición de pulsos.

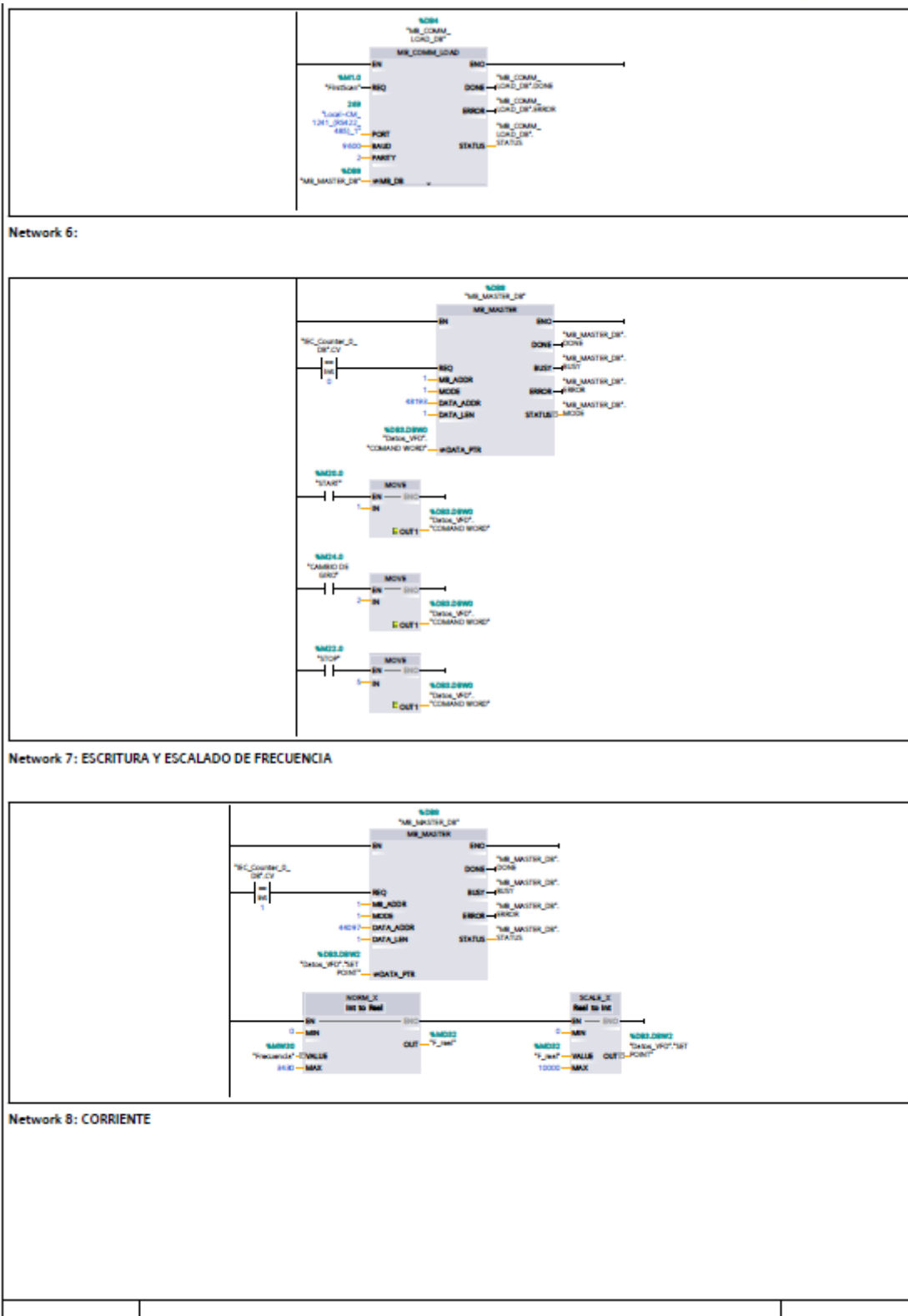
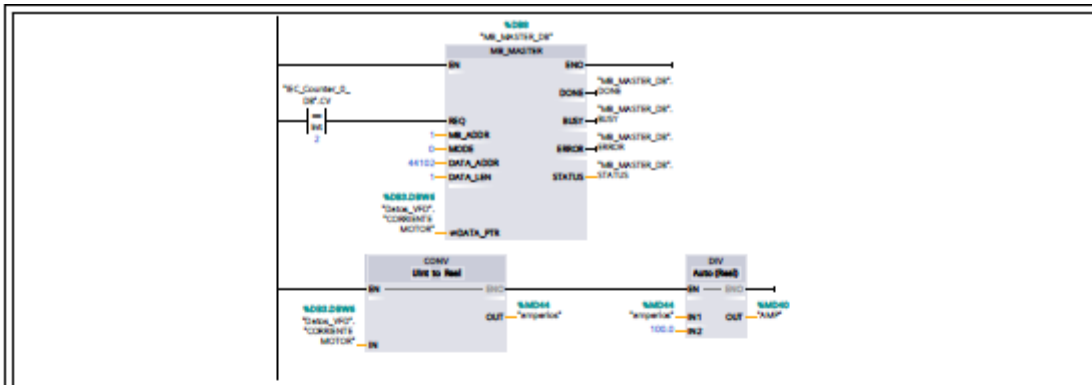
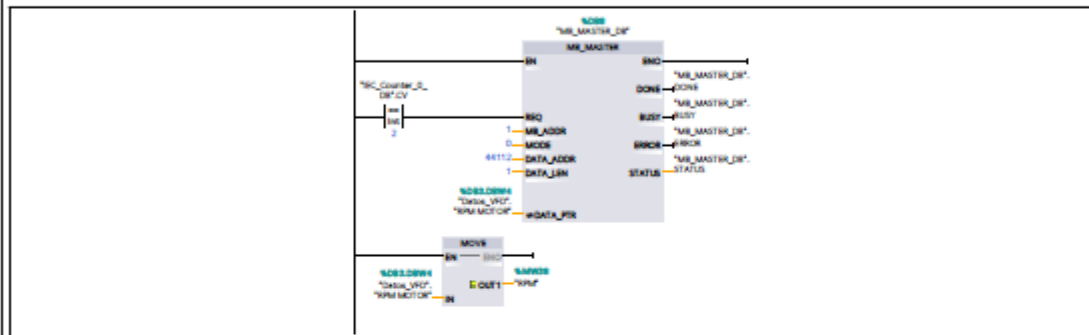


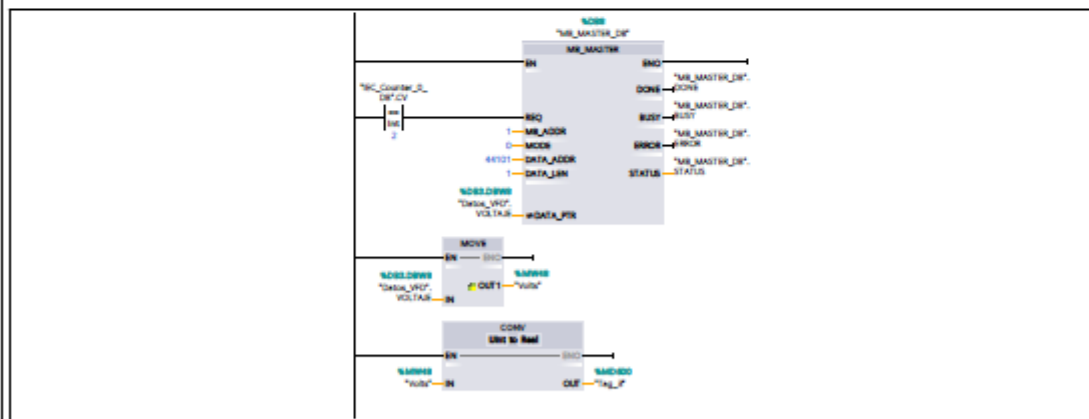
Figura 9. 11. Hoja 2 del bloque Main OB1: Conversión y RPM.



Network 9: RPM



Network 10: VOLTAJE



Network 11:

Figura 9. 12. Hoja 3 del bloque Main OB1: Escalado.

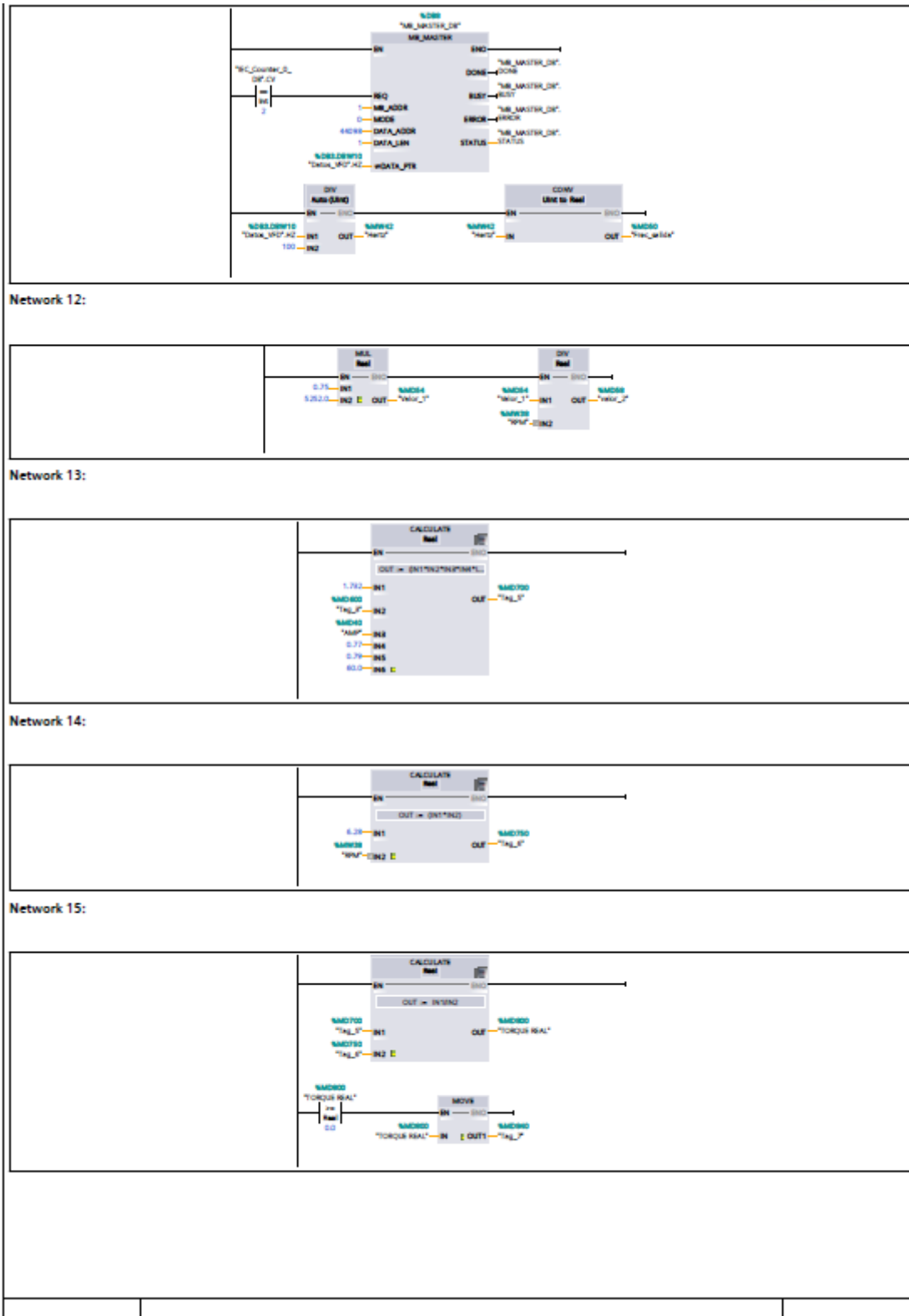


Figura 9. 13. Hoja 4 del bloque Main OB1: Contador cíclico.

Anexo Q. Tabla de variables del PLC (Tags del proyecto en TIA Portal).

Default tag table [81]

PLC tags

PLC tags									
Name	Data type	Address	Retain	Accessi-ble from HMI/OPC UA/Web API	Writable from HMI/OPC UA/Web API	Visible in HMI engi-neering	Supervision		Comment
System_Byte	Byte	%MB1	False	True	True	True			
FirstScan	Bool	%M1.0	False	True	True	True			
DiagStatusUpdate	Bool	%M1.1	False	True	True	True			
AlwaysTRUE	Bool	%M1.2	False	True	True	True			
AlwaysFALSE	Bool	%M1.3	False	True	True	True			
Clock_Byte	Byte	%M80	False	True	True	True			
Clock_10Hz	Bool	%M0.0	False	True	True	True			
Clock_5Hz	Bool	%M0.1	False	True	True	True			
Clock_2.5Hz	Bool	%M0.2	False	True	True	True			
Clock_2Hz	Bool	%M0.3	False	True	True	True			
Clock_1.25Hz	Bool	%M0.4	False	True	True	True			
Clock_1Hz	Bool	%M0.5	False	True	True	True			
Clock_0.625Hz	Bool	%M0.6	False	True	True	True			
Clock_0.5Hz	Bool	%M0.7	False	True	True	True			
Pulsos_encoder	Dint	%ID1000	False	True	True	True			
PULSOS	Dint	%MD2	False	True	True	True			
Tag_1	Bool	%M4.0	False	True	True	True			
Tag_2	Dint	%ID1004	False	True	True	True			
VALOR ABS	Dint	%MD6	False	True	True	True			
GRADOS	Real	%MD10	False	True	True	True			
VALOR REAL	Real	%MD14	False	True	True	True			
START	Bool	%M20.0	False	True	True	True			
STOP	Bool	%M22.0	False	True	True	True			
CAMBIO DE GIRO	Bool	%M24.0	False	True	True	True			
Frecuencia	Uint	%MW30	False	True	True	True			
error	Bool	%M18.0	False	True	True	True			
F_real	Real	%MD32	False	True	True	True			
FREC	Real	%MD26	False	True	True	True			
F_FINAL	Uint	%MW36	False	True	True	True			
RPM	Uint	%MW38	False	True	True	True			
AMP	Real	%MD40	False	True	True	True			
Hertz	Uint	%MW42	False	True	True	True			
amperios	Real	%MD44	False	True	True	True			
Volts	Uint	%MW48	False	True	True	True			
Rec_salida	Real	%MD50	False	True	True	True			
Valor_1	Real	%MD54	False	True	True	True			
valor_2	Real	%MD58	False	True	True	True			
rad_s	Real	%MD62	False	True	True	True			
Torque	Real	%MD66	False	True	True	True			

Figura 9. 14. Hoja 1 de la tabla de tags del PLC Siemens S7-1200

Name	Data type	Address	Retain	Accessi-ble from HMI/OPC UA/Web API	Writable from HMI/OPC UA/Web API	Visible in HMI engi-neering	Supervision	Comment
rpm_enc	Dint	%MD70	False	True	True	True		
read_rpm	Dint	%MD74	False	True	True	True		
RST	Bool	%M18.1	False	True	True	True		
REV	Dint	%MD78	False	True	True	True		
valor_3	Real	%MD82	False	True	True	True		
Tag_3	Real	%MD600	False	True	True	True		
Tag_4	Real	%MD640	False	True	True	True		
Tag_5	Real	%MD700	False	True	True	True		
Tag_6	Real	%MD750	False	True	True	True		
TORQUE REAL	Real	%MD800	False	True	True	True		
Tag_7	Real	%MD840	False	True	True	True		
Tag_8	Real	%MD500	False	True	True	True		

Figura 9. 15. Hoja 2 de la tabla de tags del PLC Siemens S7-1200

Anexo R. Parámetros internos de funcionamiento.

Parameter	Name	Setting Range	Default	Property	Address
F0.00	Reserved	Reserved	0	●	0000
F0.01	Command source selection	0: Operation panel control (LED off) 1: Terminal control (LED on) 2: Communication LED (LED blinking)	0	●	0001
F0.02	Setting main frequency source X	0: Digital setting (non-retentive at power failure) 1: Digital setting (retentive at power failure) 2: Keypad Knob 3: AI 4: Multi-stage speed 5: Simple PLC 6: Communication	2	●	0002
F0.03	Keypad setting frequency	0.00Hz~F0.05	50.0Hz	○	0003
F0.04	Running direction selection	0: Forward 1: Reverse	0	○	0004
F0.05	Maximum Output Frequency	50.00Hz~400.00Hz	50.0Hz	●	0005
F0.06	Upper Limit of Frequency	F0.07~F0.05	50.0Hz	○	0006
F0.07	Lower Limit of Frequency	0.00Hz~F0.06	0.0Hz	○	0007
F0.08	The option of frequency lower limit	0: Running at frequency lower limit 1: Stop 2: Standby	0	○	0008
F0.09	Carrier Frequency	1kHz~6.0kHz	6.0kHz	●	0009
F0.10	Acceleration Time 1	0.0s~100.0s	10.0s	○	000A
F0.11	Deceleration Time 1	0.0s~100.0s	10.0s	○	000B
F0.12	Stop Mode	0: Decelerate to stop 1: Free stop	0	○	000C
F0.13	Retentive of digital setting	0: No retentive	1	●	000D

Figura 9. 16. Parámetros de configuración del variador de frecuencia WECON (Parte 1)

Parameter	Name	Setting Range	Default	Property	Address
	frequency	1: retentive			
F0.14	Fan operating mode	0: Run when motor is running 1: Keep run when power on	0	<input type="radio"/>	000E
F0.15	All Input Option	0: 0-10V 1: 4-20mA 2: 0-20mA 3: 0-5V 4: 0.5-4.5V	0	<input type="radio"/>	000F
F1.00	Default Setting Restoring	0: No Operation 1: Restore to factory default setting (not including F2 parameters) 2: Clear error records	0	<input checked="" type="radio"/>	0100
F1.01	Parameters Lockup	0: Invalid 1: Valid	0	<input type="radio"/>	0101
F1.02	User Password	0~65000	0	<input type="radio"/>	0102
F2.00	Motor Rated Power	0.1kW~2.2kW	Determined by Drive Model	<input checked="" type="radio"/>	0200
F2.01	Motor Rated Voltage	0-380V	Determined by Drive Model	<input checked="" type="radio"/>	0201
F2.02	Motor Rated Frequency	0- F0.05	Determined by Drive Model 定	<input checked="" type="radio"/>	0202
F2.03	Motor Rated Current	1.00-10.00	Determined by Drive Model	<input checked="" type="radio"/>	0203
F2.05	Type of Motor	0: Single Phase 1: Three Phase	0	<input checked="" type="radio"/>	0205
F2.06	Single-phase motor main and auxiliary winding turns ratio	10 ~ 200	80	<input type="radio"/>	0206
F2.07	Single-phase motor current correction factor	50 ~ 200	130	<input type="radio"/>	0207
F4.00	Torque Boost	0.0%~30.0%	4.0%	<input type="radio"/>	0400
F4.01	Cut-off frequency of torque boost	0.00Hz~F0.05	50.00Hz	<input checked="" type="radio"/>	0401
F4.02	Trigging frequency of DC braking at stop	0.00Hz~F0.05	0.00Hz	<input type="radio"/>	0402
F4.03	Delay time of DC braking at stop	0.0s~50.0s	0.0s	<input type="radio"/>	0403

Figura 9. 17. Parámetros de configuración del variador de frecuencia WECON (Parte 2)

Parameter	Name	Setting Range	Default	Property	Address
F4.04	The current of DC braking at stop	0~100%	0	○	0404
F4.05	The time of DC braking at stop	0.0s~50.0s	0.0s	○	0405
F4.06	Automatic adjustment of carrier Frequency	0:Invalid; 1:Valid	0	●	0406
F4.07	0 frequency output option	0:Valid; 1:Invalid	1	●	0407
F5.00	DI1 terminal function selection	0: No function 1: Forward running (FWD) 2: Reverse running (REV) 3: Three-wire operationcontrol 4: Forward point movement (FJOG) 5: Reverse point movement (RJOG) 6:Error Reset 7:Terminal UP 8:Terminal Down 9:UP/DOWN Setting Clear 10:External error input(Normally Open) 11: PLC Status reset 12:Multi stage speed terminal 1 13: Multi stage speed terminal 2 14:Reserved	1	●	0500
F5.01	DI2 terminal function selection		2	●	0501
F5.02	DI3 terminal function selection		6	●	0502
F5.03	DI4 terminal function selection		0	●	0503
F5.04	DI filter time	0.000s~1.000s	0.010s	○	0504
F5.05	Terminal Command Option	0: Two-line mode 1 1: Two-line mode 2 2: Three-line mode 1 3: Three-line mode 2	0	●	0505
F5.06	UP/DOWN change rate range	0.01Hz~50.00Hz	0.50Hz	○	0506
F5.07	AI minimum input	0.00V~F5.09	0.00V	○	0507
F5.08	Percentage rate of AI minimum input	-100.0%~+100.0%	0.0%	○	0508
F5.09	AI maximum input	F5.07~+10.00V	10.00V	○	0509
F5.10	Percentage rate of AI maximum input	-100.0%~+100.0%	100.0%	○	050A
F5.11	AI filter time	0.00s~10.00s	0.10s	○	050B
F5.12	DI1 Enable Delay Time	0.0s~100.0s	0.0s	○	050C
F5.13	DI2 Enable Delay Time	0.0s~100.0s	0.0s	○	050D
F5.14	DI1 Disable Delay Time	0.0s~100.0s	0.0s	○	050E
F5.15	DI2 Disable Delay Time	0.0s~100.0s	0.0s	○	050F
F5.16	AI Input Digital Functional Option	0: No function 1: Forward running (FWD) 2: Reverse running (REV) 3: Three-wire operationcontrol 4: Forward point movement (FJOG) 5: Reverse point movement (RJOG) 6:Error Reset 7:Terminal UP 8:Terminal Down	0	●	0510

Figura 9. 18. Parámetros de configuración del variador de frecuencia WECON (Parte 3)

Anexo S. Direcciones de los registros MODBUS.

Function	Address	Description	Remarks	Characteristic
Communication Set Value	1000H	-10000~10000 (with ± sign)	F0.05* (±100.00%)	R/W
Control Command	2000H	0001: Forward running	-	W
		0002: Reverse running	-	W
		0003: JOG forward	-	W
		0004: JOG reverse	-	W
		0005: Free stop	-	W
		0006: Deceleration stop	-	W
		0007: Fault reset	-	W
Running Status	3000H	0001: FWD running	-	R
		0002: REV running	-	R
		0003: Stopped	-	R
Monitoring Data	1001H	Running Frequency (Hz)	2 decimal places	R
	1002H	Set Frequency (Hz)	2 decimal places	R
	1003H	Bus Voltage (V)	1 decimal place	R
	1004H	Output Voltage (V)	1 decimal place	R
	1005H	Output Current (A)	2 decimal places	R
	1006H	IGBT Temperature	1 decimal place	R
	1007H	Digital input status	DI1-DI4 Added by binary bit weight	R
	1009H	Keypad Knob Voltage (V)	1 decimal place	R
	101AH	AI Voltage (V)	1 decimal place	R
	100BH	Load Speed Display	1 decimal place	R
	100EH	PLC Stage	Simple PLC running stage	R
Failure status	8000H	0000: No error	-	R
		0002: Acceleration Over Current	-	R
		0003: Acceleration Over Current	-	R
		0004: Over Current at Constant Speed	-	R
		0005: Acceleration Over Voltage	-	R
		0006: Deceleration Over Voltage	-	R
		0007: Over Voltage at Constant	-	R

Figura 9. 19. Direcciones MODBUS para control y monitoreo del VFD

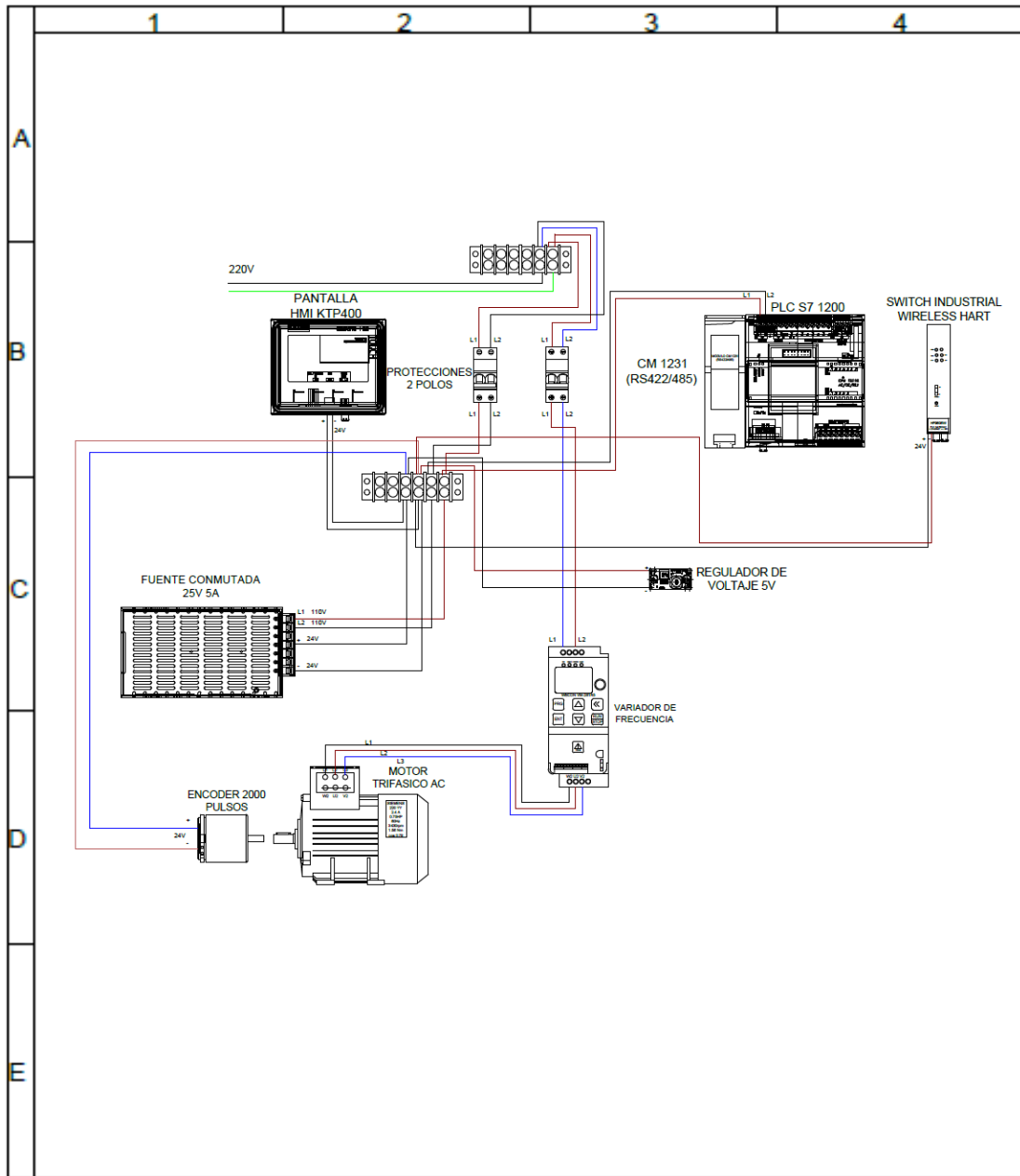
Function	Address	Description	Remarks	Characteristic
		Speed		
		0009: Low Voltage Error	-	R
		000A: VFD Overload	-	R
		000B: Motor Overload	-	R
		000E: IGBT Overheat	-	R
		000F: External Error	-	R
		0012: Current Detection Error	-	R
		0015 : Parameters Writing/Reading Error	-	R
Communication Error Feedback	8001H	0000: No Error	-	R
		0001: Password Error	-	R
		0002: Command Code Error	-	R
		0003: CRCErrror	-	R
		0004: Invalid Address	-	R
		0005: Invalid Parameter	-	R
		0006 : Parameters Adjustment Failed	-	R
		0007: System Locked	-	R
		0008: Parameters Being Saved	-	R

Figura 9. 20. Estados de falla y errores MODBUS del variador de frecuencia

Anexos IV

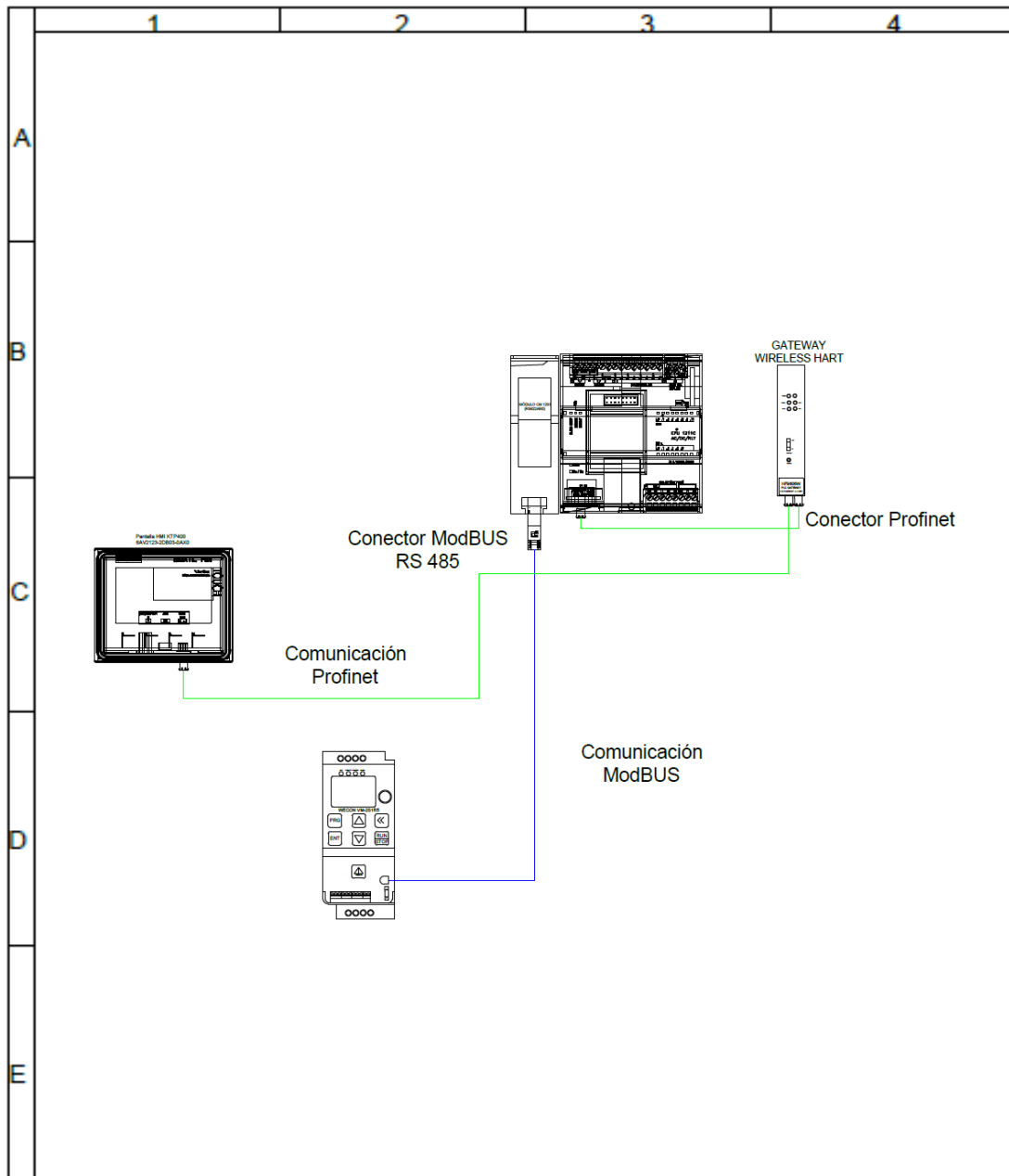
Planos Eléctricos y

Estructurales



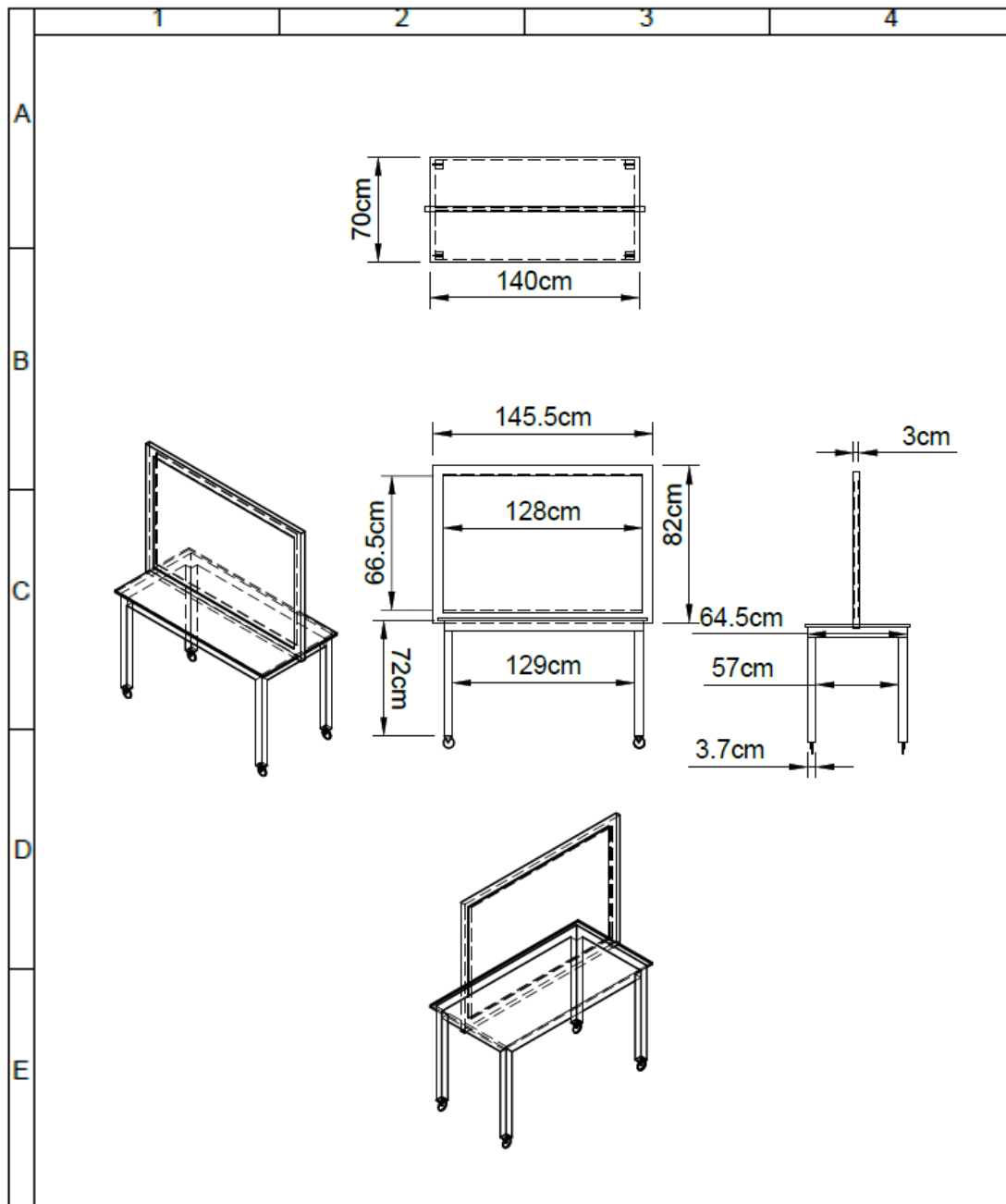
				Tolerancia	Peso	Materiales		
						AUTODESK AUTOCAD 2023		
				Fecha	Nombre	Denominación		Escala
				Dib. 1/7/2025		ESQUEMA ELECTRICO		1:1
				Rev. 28/7/2025	Ing. Marco León			
				Apr. 28/7/2025	Ing. Marco León	Número de Dibujo		Marca de registro
						1 de 2		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Universidad Técnica de Cotopaxi		Sustitución		

Figura 9. 21. Plano Eléctrico 1.



				Tolerancia	Peso	Materiales		
						AUTODESK AUTOCAD 2023		
				Fecha	Nombre	Denominación		Escala
				Dib.	1/7/2025			
				Rev.	28/7/2025	Ing. Marco León	ESQUEMA DE COMUNICACIÓN	1:1
				Aprv.	28/7/2025	Ing. Marco León		
				 Universidad Técnica de Cotopaxi		Número de Dibujo	Marca de registro	
						2 de 2		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución				

Figura 9. 22. Diagrama de comunicación.



		Tolerancias		Peso	Materiales	
					FUSION 360	
		Fecha	Nombre	Denominación		Escala
		Div.	29/07/2025	ESTRUCTURA DEL MODULO		
		Rev.	29/07/2025	Ing. Marco León		
		Apro.	29/07/2025	Ing. Marco León		
				Número de dibujo	1	
						Marca de registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	 Ingeniería Electromecánica		
				Sustitución		

Figura 9. 23. Plano Estructural del MC001

Anexos V

Manual Técnico

Anexo W	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI		
PRÁCTICA DE LABORATORIO			
CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA	
INGENIERÍA ELECTROMECA- NICA	ILM702M2	Automatización	
PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Automatización	DURACIÓN (HORAS)
01	NOMBRE DE LA PRÁCTICA	PROGRAMACIÓN EN TIA PORTAL	40
1.	OBJETIVOS		
	<ul style="list-style-type: none"> Diseñar un sistema funcional de monitoreo y control para un motor trifásico, que permita la gestión de variables como velocidad, voltaje, torque, corriente, de forma local como inalámbrica, mediante los protocolos industriales Modbus, Profinet y Wireless-HART. 		
2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA		

1. Encendido del sistema

El sistema completo funciona con una alimentación principal de 220 V AC. Esta tensión alimenta directamente al PLC Siemens S7-1200, el variador de frecuencia WECON VM-2S1R5, la pantalla HMI KTP400, la fuente conmutada de 24 V DC, el router industrial HF9606W y el módulo de comunicación CM1231 RS-485.

Para encender el sistema, se deben activar las protecciones de entrada. Una vez energizado, el PLC entra en modo RUN, la HMI muestra la interfaz inicial y el router comienza a emitir su red Wi-Fi. La fuente conmutada transforma los 220 V AC en 24 V DC, que

son utilizados para alimentar los módulos de señal, comunicación y sensores como el encoder.

El motor trifásico se alimenta desde la salida del variador de frecuencia, el cual genera 220 V AC trifásico a partir de la alimentación monofásica de entrada. El sistema queda operativo desde el momento en que el variador recibe la consigna de velocidad y comandos de arranque.

1.1.Descripción general del circuito eléctrico

El diseño eléctrico se basa en tres bloques principales: alimentación, control y comunicación.

Alimentación

- La red de 220 V AC alimenta directamente:
 - PLC Siemens S7-1200.
 - Variador de frecuencia WECON VM-2S1R5.
 - Fuente conmutada 24 V/5 A.
 - Router HF9606W.
 - Módulo CM1231.
 - Pantalla HMI KTP400.
- La fuente conmutada convierte los 220 V AC en 24 V DC, los cuales se utilizan para:
 - Encoder incremental de 2000 pulsos.
 - Módulos de comunicación.
 - Alimentación lógica de la HMI y el router.

Control

- El PLC actúa como unidad central de procesamiento, ejecutando la lógica de control y gestionando el monitoreo de variables del motor.
- La HMI se comunica vía PROFINET con el PLC, permitiendo la visualización de RPM, corriente, voltaje, frecuencia y torque, además de enviar comandos como START, STOP y cambio de giro.

- El variador de frecuencia recibe comandos MODBUS desde el PLC mediante el módulo RS-485, y a su vez alimenta el motor trifásico.

Comunicación

- El módulo CM1231 (RS-485) establece la red MODBUS RTU entre el PLC y el VFD.
- La HMI se conecta al PLC mediante PROFINET usando direcciones IP en el mismo segmento.
- El router HF9606W permite el acceso remoto, actuando como puente entre los dispositivos físicos y el SCADA desarrollado en LabVIEW, utilizando tanto conexión LAN como Wi-Fi.

1.2.Distribución y funcionamiento

Desde el punto de vista eléctrico, la red de 220 V se distribuye cuidadosamente a todos los equipos, y los 24 V se derivan exclusivamente para control, comunicación y sensores. El motor trifásico recibe directamente la salida del variador, con protección adecuada. Esta configuración permite mantener aisladas las señales de potencia de las señales de control, asegurando una operación segura y confiable.

1.3. Prácticas técnicas posibles con el módulo

El sistema desarrollado permite realizar diversas prácticas técnicas orientadas a la enseñanza de automatización, redes industriales y control de motores eléctricos. A continuación, se presentan algunas de las actividades que pueden ser ejecutadas utilizando este módulo:

NUMERO PRACTICAS	PRÁCTICA TÉCNICA	DESCRIPCIÓN
1	Arranque y paro del motor desde HMI	Encender o apagar el motor desde la pantalla táctil.
2	Cambio de giro del motor	Invertir el sentido de rotación mediante botones de cambio de giro.
3	Control de velocidad	Ajustar la velocidad del motor por consignas enviadas desde el PLC.
4	Lectura de velocidad desde encoder	Visualizar en pantalla la velocidad real proporcionada por el encoder.
5	Monitoreo de variables eléctricas	Leer valores de voltaje, corriente, torque y frecuencia desde el variador.
6	Lectura en tiempo real desde el VFD	Visualizar los datos directamente desde los registros Modbus del VFD.
7	Uso del protocolo Profinet	Supervisar el sistema desde HMI a través de Profinet.
8	Comunicación Modbus RTU	Leer y escribir registros del VFD desde el PLC mediante Modbus RTU.
9	Control remoto por WirelessHART	Observar los datos en tiempo real desde una interfaz desarrollada en LabVIEW.
10	Pruebas con carga progresiva	Evaluar el comportamiento del motor al aumentar la carga gradualmente.

2. GUÍA TÉCNICA

2.1. Configuración del hardware en TIA Portal

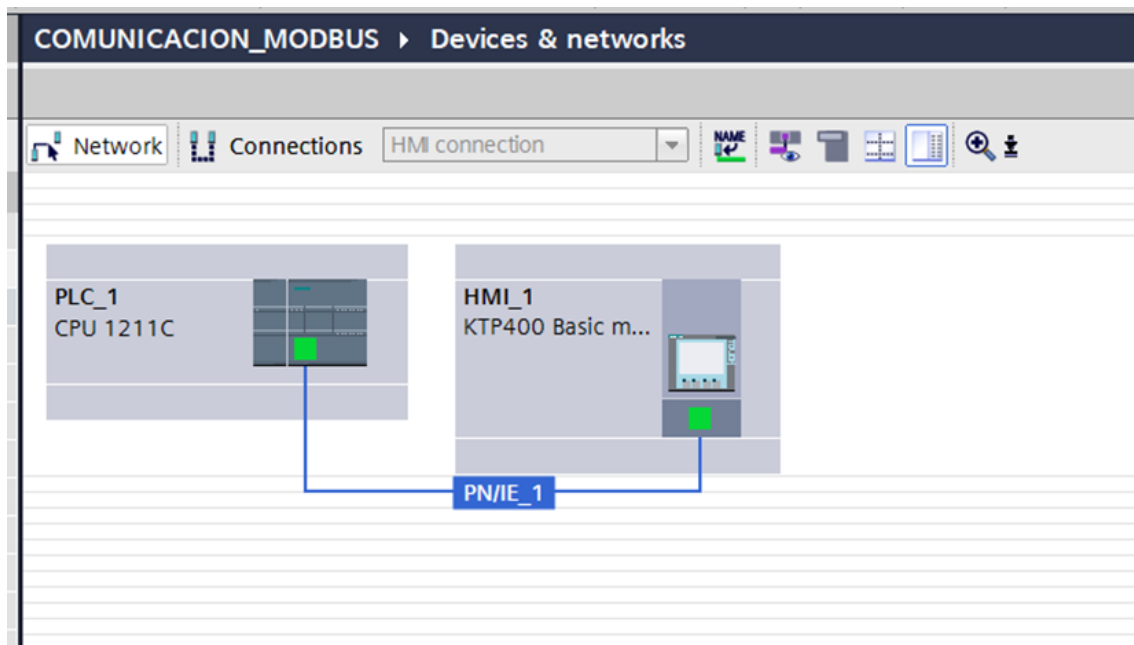
Para empezar con el desarrollo del sistema, se trabajó en el software TIA Portal, donde se armó el proyecto llamado “COMUNICACIÓN MODBUS”. En este proyecto se conectó un PLC Siemens S7-1200, que es el cerebro del sistema, y se le añadió un módulo

de comunicación CM1241. Este módulo es importante porque permite que el PLC pueda hablar con otros dispositivos usando el protocolo Modbus RTU, a través de un puerto RS-485.

Además, se integró una pantalla HMI modelo KTP400 Basic Mono PN, la cual fue conectada al PLC usando el protocolo Profinet. Esta pantalla servirá para que el usuario pueda visualizar en tiempo real lo que está pasando con el sistema y, además, controlar algunas funciones como el encendido, apagado, cambio de giro del motor o monitoreo de variables.

En la vista de red de TIA Portal, se configuraron todos estos equipos y se conectaron entre sí. Esta parte es esencial, ya que define cómo se comunican entre ellos. Gracias a esta estructura, el sistema queda listo para controlar el motor desde la pantalla (de forma local), y también para poder expandirse y comunicarse con otros dispositivos más adelante, de forma remota, usando Modbus RTU.

Con esta configuración básica se sientan las bases para programar la lógica que permitirá monitorear y controlar el motor trifásico en el proyecto.



2.1. Asignación de direcciones IP y configuración de red.

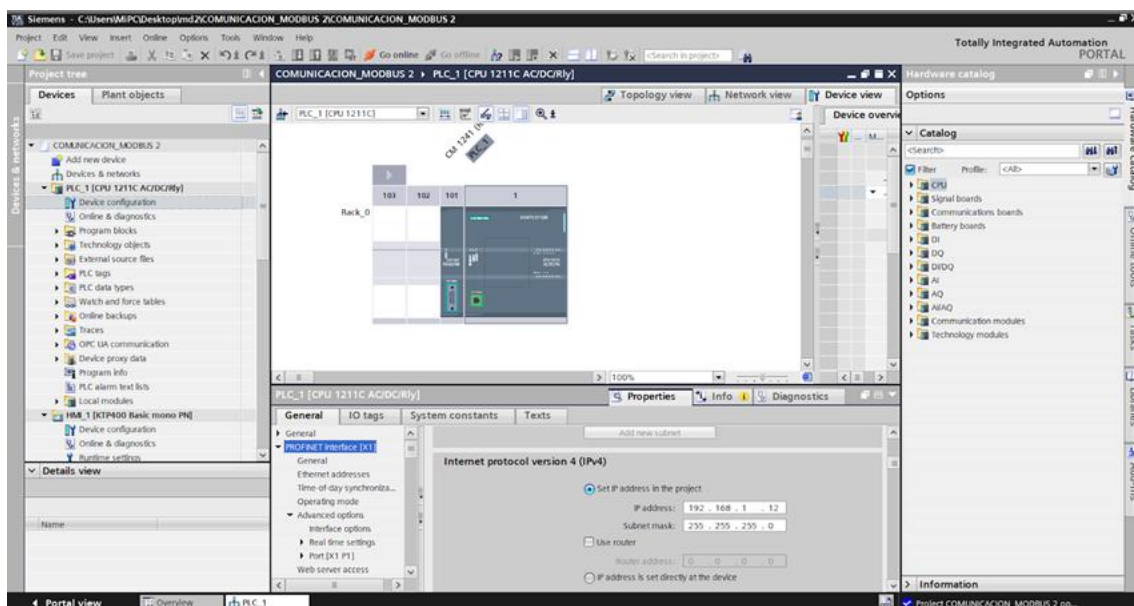
Asignación de direcciones IP en TIA Portal

Una vez agregados el PLC y la HMI al proyecto en TIA Portal, se procedió a la asignación de direcciones IP para permitir la comunicación a través del protocolo PROFINET.

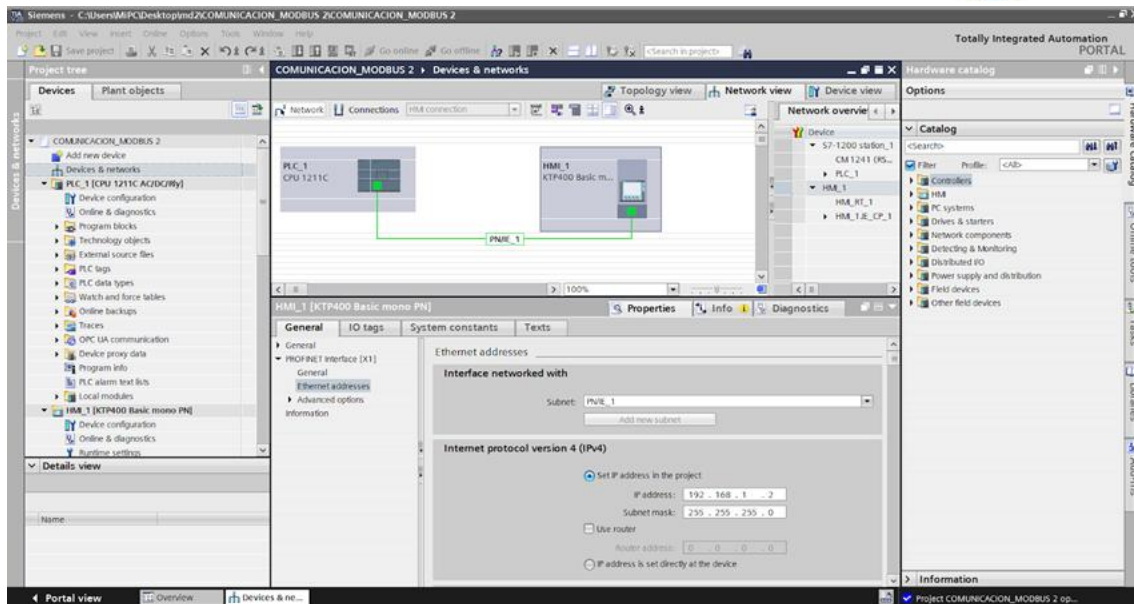
Desde la vista "Dispositivos y redes", se seleccionó cada dispositivo por separado y se accedió a la sección de propiedades del puerto Ethernet.

Se configuraron las siguientes direcciones IP:

- PLC (SIMATIC S7-1200): 192.168.1.12



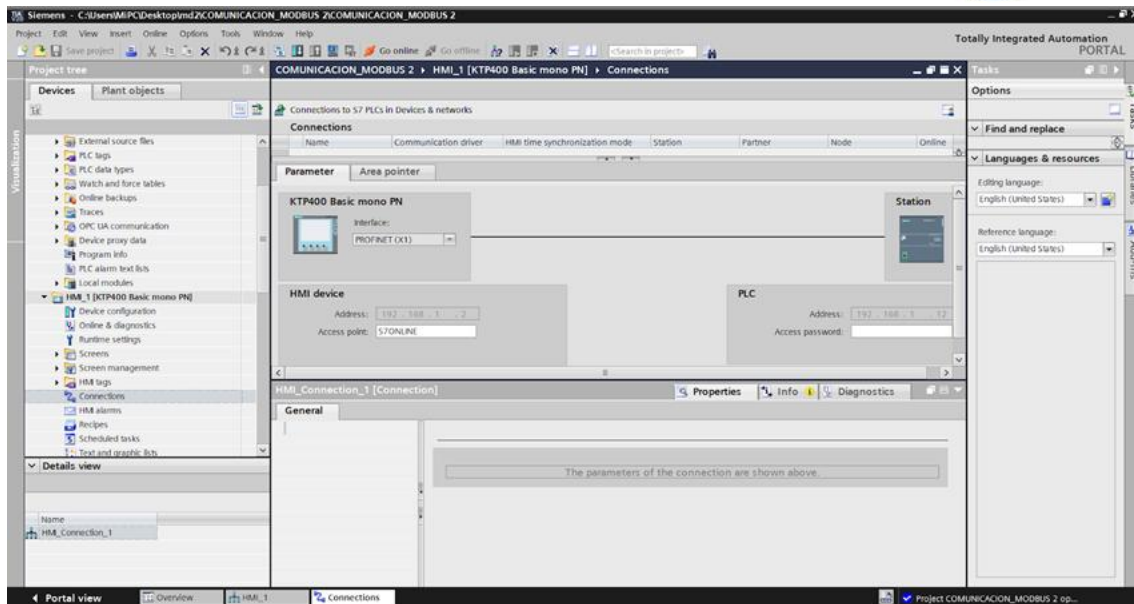
- HMI (KTP 400): 192.168.1.2



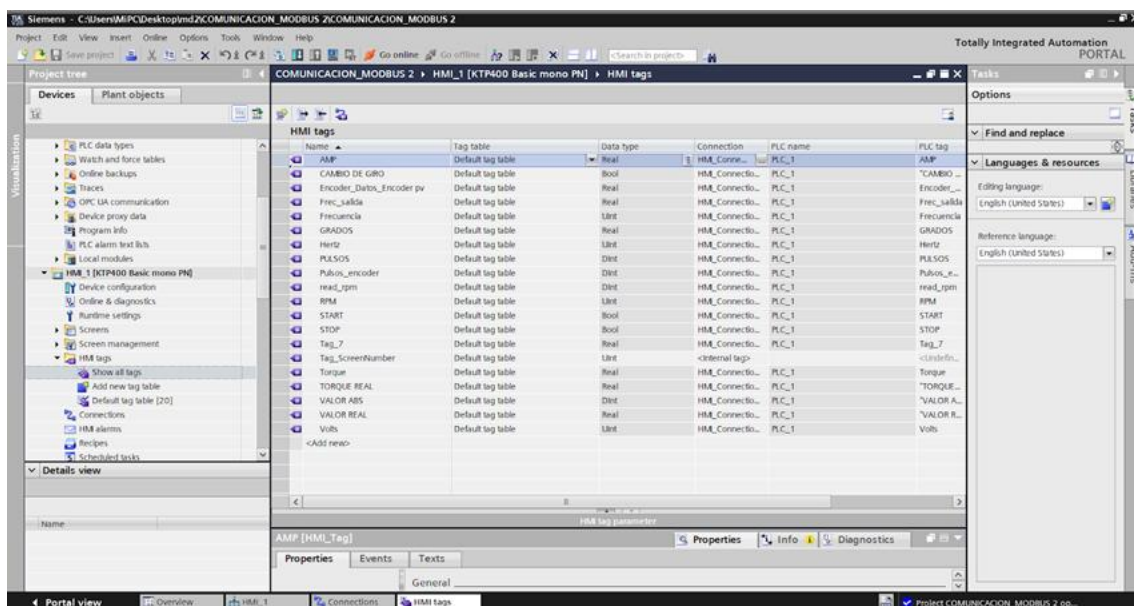
Ambas direcciones se encuentran dentro del mismo segmento de red, lo cual es esencial para establecer una comunicación directa y sin interferencias.

2.3. Configuración de la comunicación entre el PLC y la HMI

Una vez configuradas las direcciones IP, el siguiente paso consistió en establecer la comunicación entre el PLC y la HMI. Para ello, se accedió al dispositivo HMI dentro del proyecto y se ingresó a la sección de “Conexiones”. En este apartado, se creó una nueva conexión seleccionando como tipo de comunicación PROFINET. Luego, en el campo “dispositivo asociado”, se eligió el PLC previamente incorporado al proyecto. Con esta configuración, se estableció el canal de comunicación entre ambos dispositivos.



Después de eso, lo importante fue asegurarse de que los tags del PLC estén visibles desde la HMI. Para eso, solo se deben arrastrar o vincular las variables desde el PLC al proyecto de la HMI y así se pueden usar directamente en botones, indicadores, etc.



2.4. Configuración del Módulo de Comunicación CM1241 para Puerto RS-485

Para el proyecto se utilizó el módulo de comunicación CM1241 (RS422/485) conectado al PLC Siemens S7-1200 que establece una red de comunicación mediante el protocolo Modbus RTU, se transmite físicamente a través del puerto serial RS-485.

Una vez instalado, se accede a su configuración desde las propiedades del hardware. Dentro de la sección Port configuration, se define el protocolo de trabajo como Freeport, esto habilita la comunicación para Modbus, ya que TIA Portal no tiene una opción explícita para este, pero sí permite la personalización del puerto mediante este modo libre.

2.5. Selección de protocolo y modo de operación

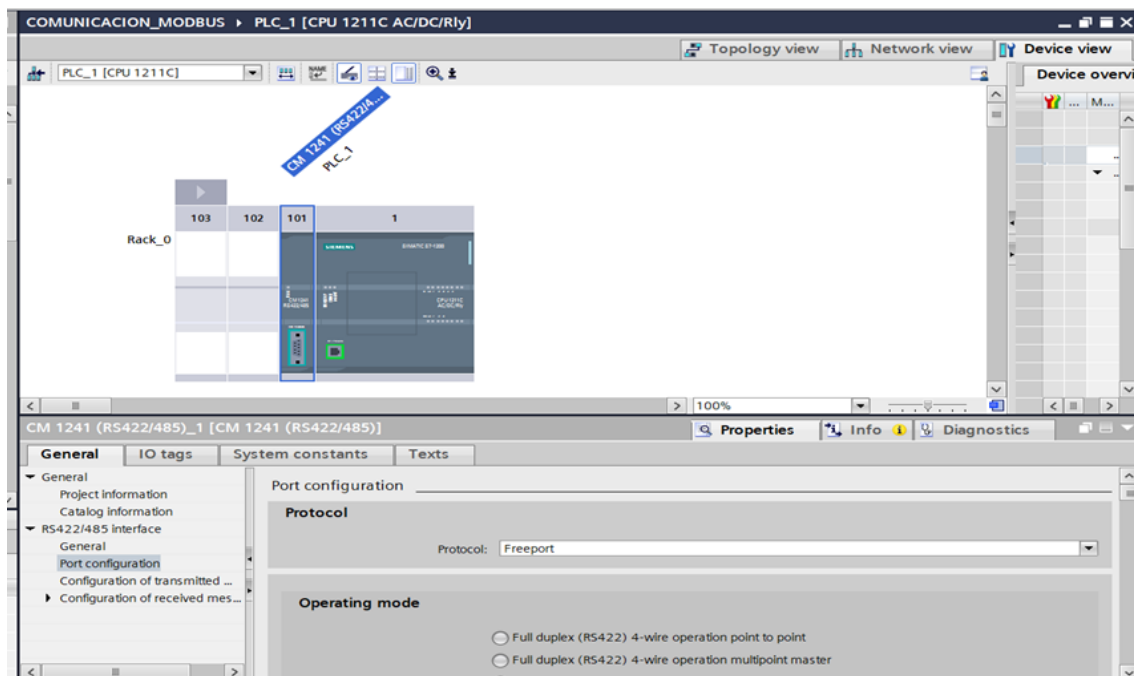
- **Protocolo Freeport**

Este protocolo permite al PLC enviar y recibir datos de forma personalizada, ya que es indispensable para que el bloque de función MB_MASTER funcione correctamente como maestro Modbus.

- **RS-485 multipunto maestro**

En este caso, se selecciona el modo físico RS-485 multipunto maestro, con el objetivo de que el PLC funcione como maestro de la red, comunicándose con uno o más dispositivos esclavos.

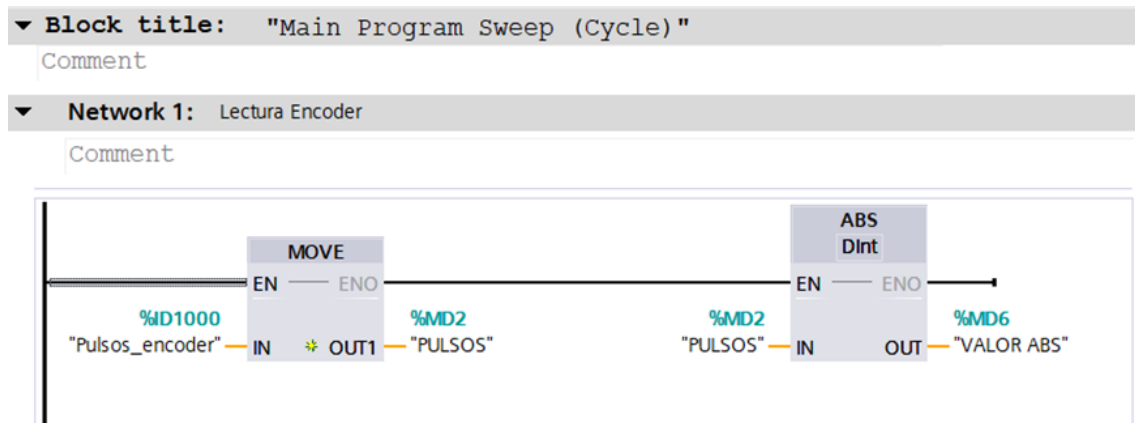
La documentación gráfica de esta configuración se encuentra en el Anexo 4, donde se detallan las capturas del entorno TIA Portal y los parámetros aplicados al módulo CM1241.



3. Red 1 Lectura del Encoder

Para el bloque Main OB1, lo primero que se hace es tomar el valor que envía el encoder a través de la entrada %ID1000, ya que este dato representa la cantidad de pulsos generados por el encoder y se guarda en %MD2 para poder usarlo dentro del programa.

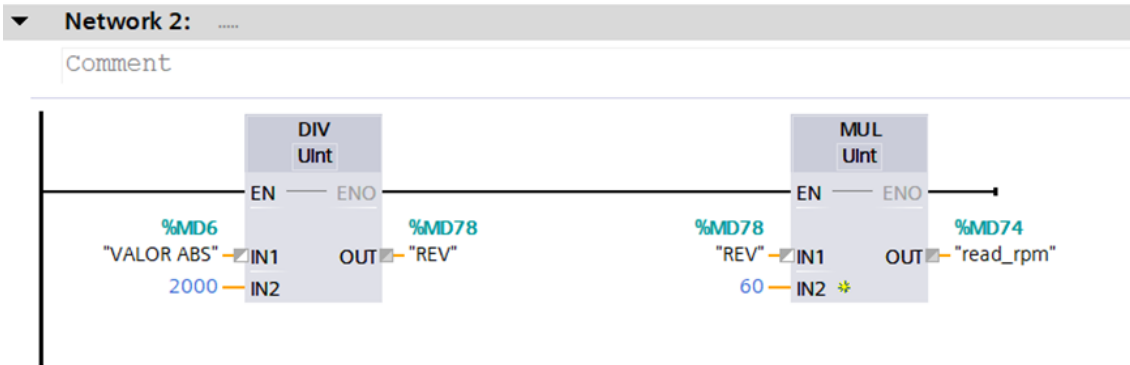
Después, se aplica una función que saca el valor absoluto de esos pulsos y lo deja en %MD6. Con eso se evita trabajar con números negativos cuando el giro cambia de sentido, y se mantiene solo la magnitud. Así se deja listo ese dato para usarlo en los cálculos siguientes.



4. Red 2 Cálculo de revoluciones por minuto RPM

Desde esta red se calcula las revoluciones por minuto a partir del valor absoluto de los pulsos que son generados por el encoder, se aplica una operación de división utilizando la función DIV donde se toma el valor almacenado en %MD6 ("VALOR ABS") y se divide por la constante de 2000 que son los pulsos del encoder. El resultado de la operación indica la cantidad de revoluciones completas detectadas que se guarda en la dirección de memoria %MD78 con la etiqueta "REV".

Segundo, se utiliza la función MUL esto hace multiplicar el valor de revoluciones (%MD78) por 60, con el fin de obtener las revoluciones por minuto (RPM). El resultado final se almacena en %MD74 y se identifica como "read_rpm".

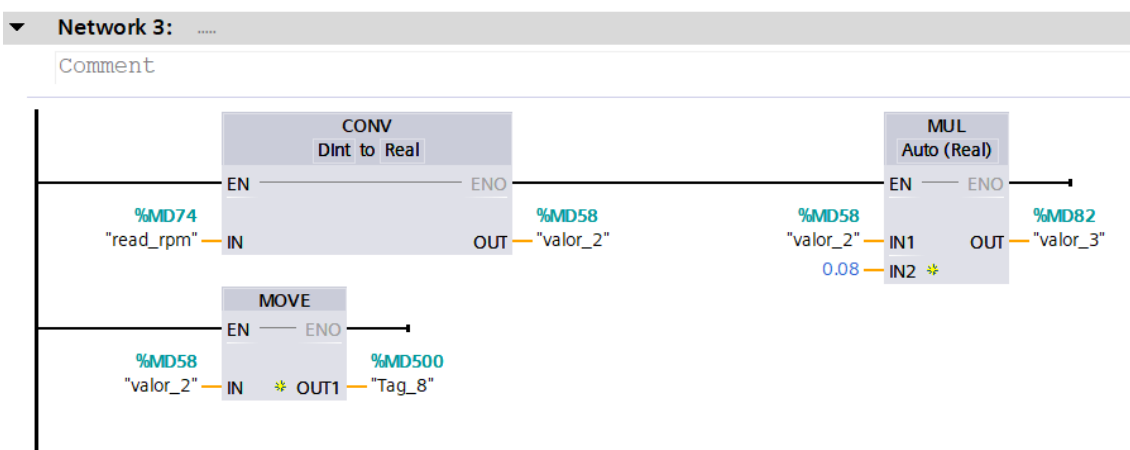


5. Red 3 Ajuste del valor de RPM para cálculos posteriores

Para esta red se toma el valor de las RPM (revoluciones por minuto), que fue calculado previamente, y se transforma en un tipo de dato real. Porque al trabajar con números decimales, se necesita mayor precisión que la que ofrece un número entero. El dato original está en %MD74 y, tras convertirse, pasa a la dirección %MD58, donde queda listo para ser usado en operaciones matemáticas más detalladas.

Después de eso, se realiza una multiplicación entre ese valor real y un factor de 0.08. El producto se guarda en %MD82, ya que este tipo de operación es útil cuando se quiere escalar o adaptar la magnitud a una unidad diferente, por ejemplo, convertir RPM a velocidad lineal o algún otro parámetro útil para el sistema.

Por último, el valor convertido se copia a %MD500, con la intención de enviarlo a otro bloque del Main.

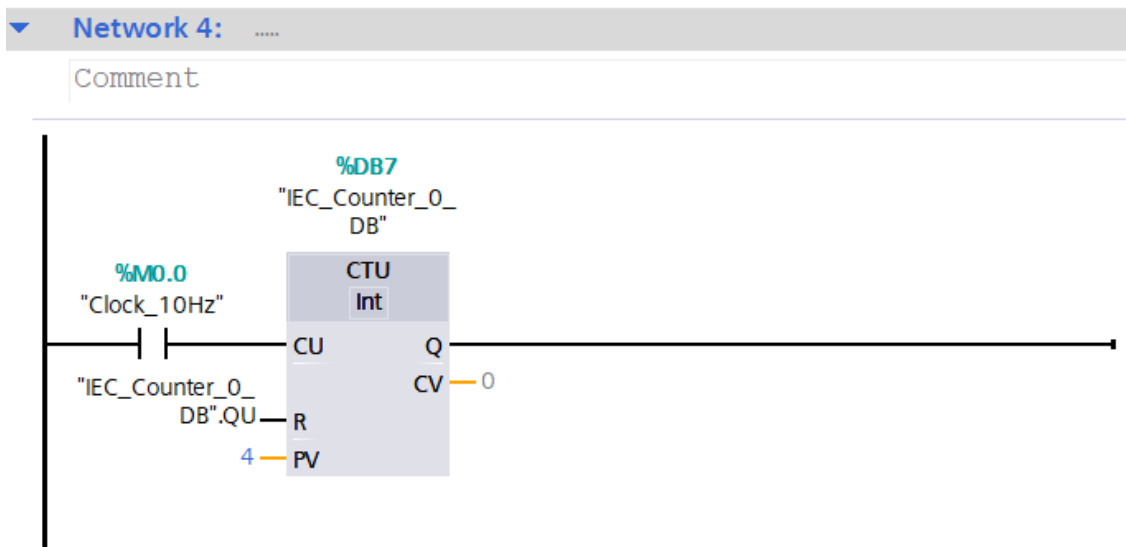


6. Red 4 Control de ciclos mediante contador

En este bloque se establece una forma sencilla de temporizar eventos utilizando un contador ascendente, la señal que activa el conteo proviene de %M0.0, que corresponde a un pulso de reloj con una frecuencia de 10 Hz. Es decir, genera diez impulsos por segundo.

Cada vez que llega un flanco ascendente desde esa entrada, el contador ubicado en %DB7 incrementa su valor. Este contador ha sido configurado con un valor de reajuste de 4, lo cual significa que al llegar a cuatro pulsos (equivalentes a 0,4 segundos), se activa la salida Q.

Una vez que se cumple ese ciclo, el mismo sistema se encarga de reiniciar el contador usando la condición de reinicio ligada a su propia salida (QU). De esta forma, se crea un proceso cíclico que permite que otras partes del programa se ejecuten de manera sincronizada con ese intervalo de tiempo.



7. Red 5 Inicialización de la comunicación MODBUS con el VFD

Aquí se configura la comunicación entre el PLC y el variador de frecuencia (VFD) utilizando el protocolo MODBUS RTU, para establecer esta conexión se emplea el bloque de función MB_COMM_LOAD, el cual se encarga de preparar el canal de comunicación serial antes de cualquier intercambio de datos.

La activación de esta función ocurre solo en el primer ciclo de escaneo del programa gracias a la señal %M1.0 identificada como “FirstScan”. Con esto evita que la configuración se reinicie en cada ciclo para una inicialización estable.

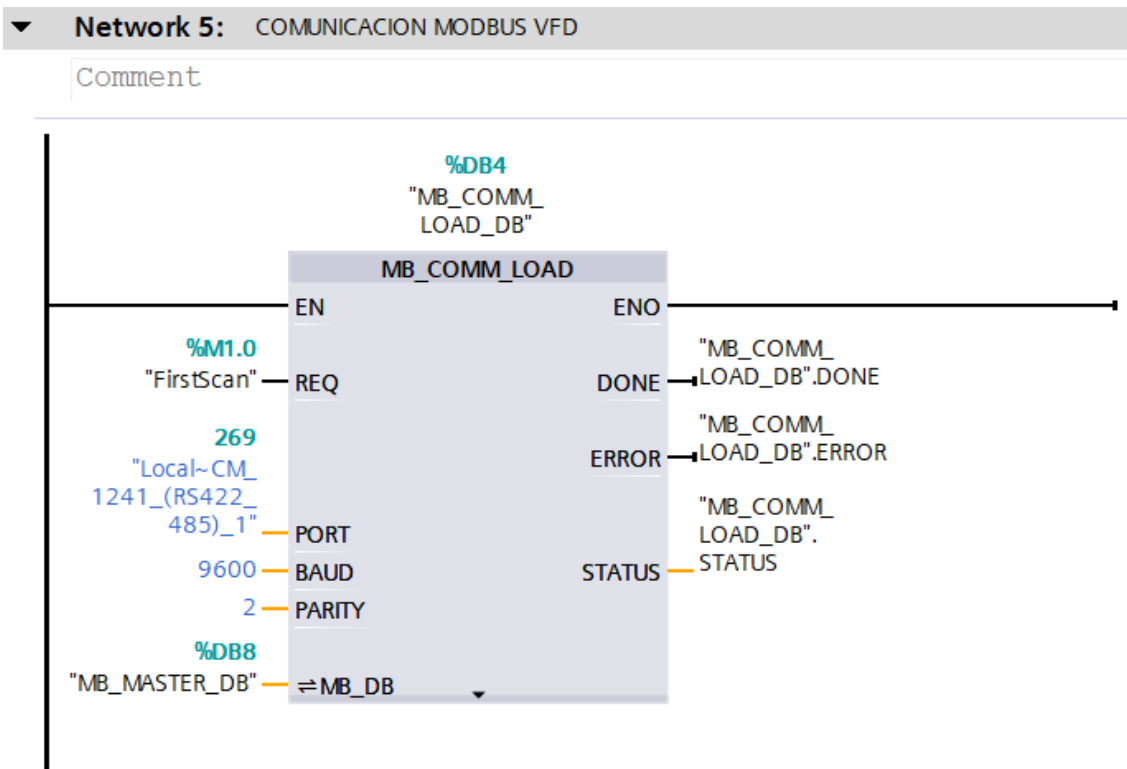
Los parámetros de conexión son:

Puerto: módulo de comunicación asignado ("Local~CM_1241_(RS422_485)_1"),

Baudrate: 9600 bps,

Paridad: 2 (que representa configuración par o impar, según el hardware).

El bloque utiliza como base de datos el %DB4 y queda vinculado al maestro MODBUS mediante %DB8, además los estados de la conexión (hecho, error, y estado general) se almacenan para supervisión a través de las salidas DONE, ERROR y STATUS.



8. Red 6 Envío de comandos MODBUS al variador de frecuencia (VFD)

Aquí se realiza una red que es encargada de establecer la comunicación de escritura hacia el variador de frecuencia utilizando el bloque con el nombre "MB_MASTER" que permite enviar instrucciones a través del protocolo MODBUS RTU, el bloque se activa cuando el valor del contador ubicado en %DB7.CV es igual a cero, lo que indica que el sistema está listo para enviar un nuevo comando.

Parámetros utilizados:

Dirección del esclavo MODBUS: 1

Modo de operación: 1

Dirección del dato: 48193

Longitud del dato: 1

Puntero al dato: %DB3.DBW0 corresponde al campo "COMMAND WORD" del variador.

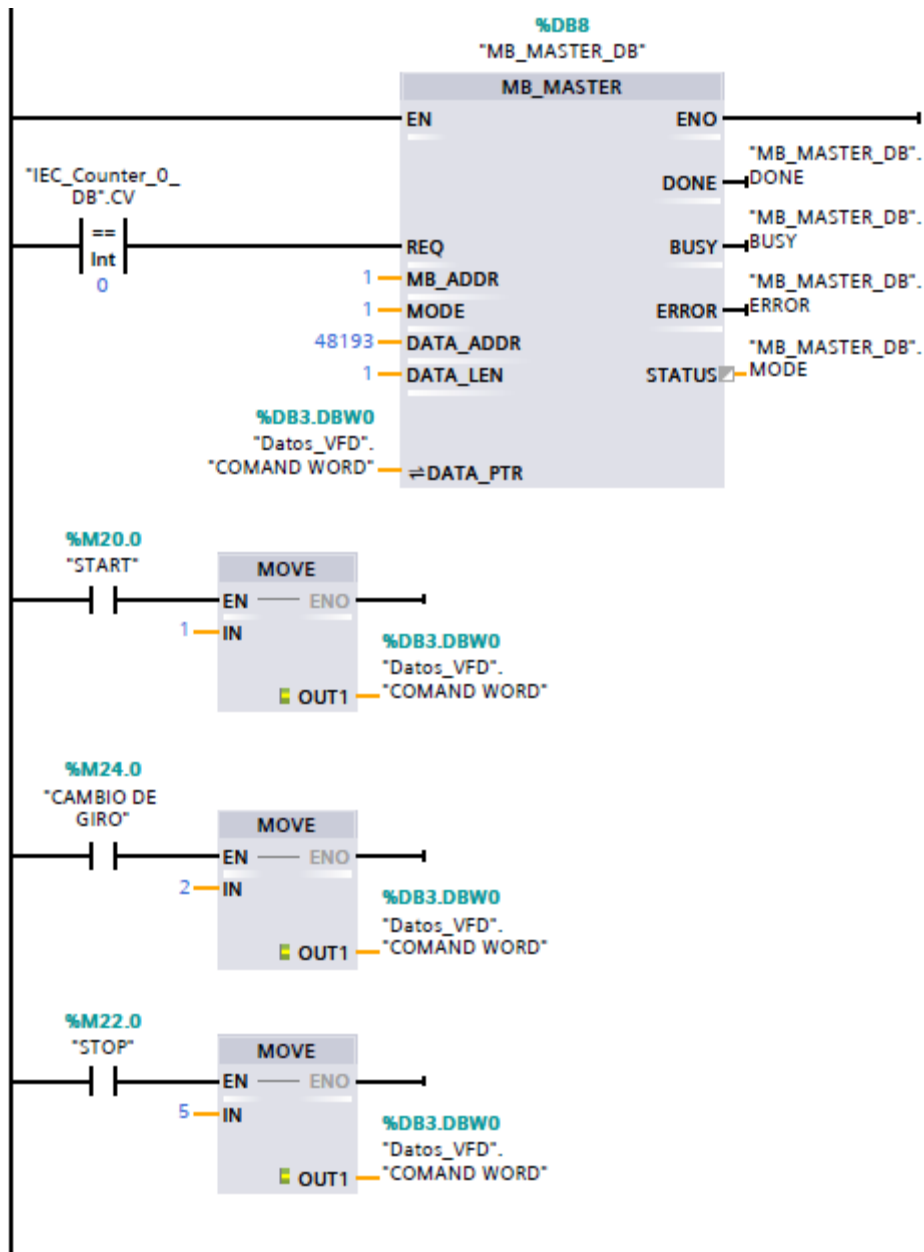
El bloque maestro se apoya en la base de datos %DB8 para su funcionamiento y controla el estado de la comunicación a través de las salidas DONE, BUSY, ERROR y STATUS.

A continuación, se definen tres condiciones que permiten modificar el valor del "COMMAND WORD" para enviar diferentes órdenes al VFD:

Si la entrada %M20.0 está activa, se envía el valor 1, lo cual representa una orden de arranque.

Si se activa %M24.0, se envía el valor 2, que indica un cambio de giro.

Finalmente, al activarse %M22.0, se transfiere el valor 5, correspondiente a la orden de parada del motor.



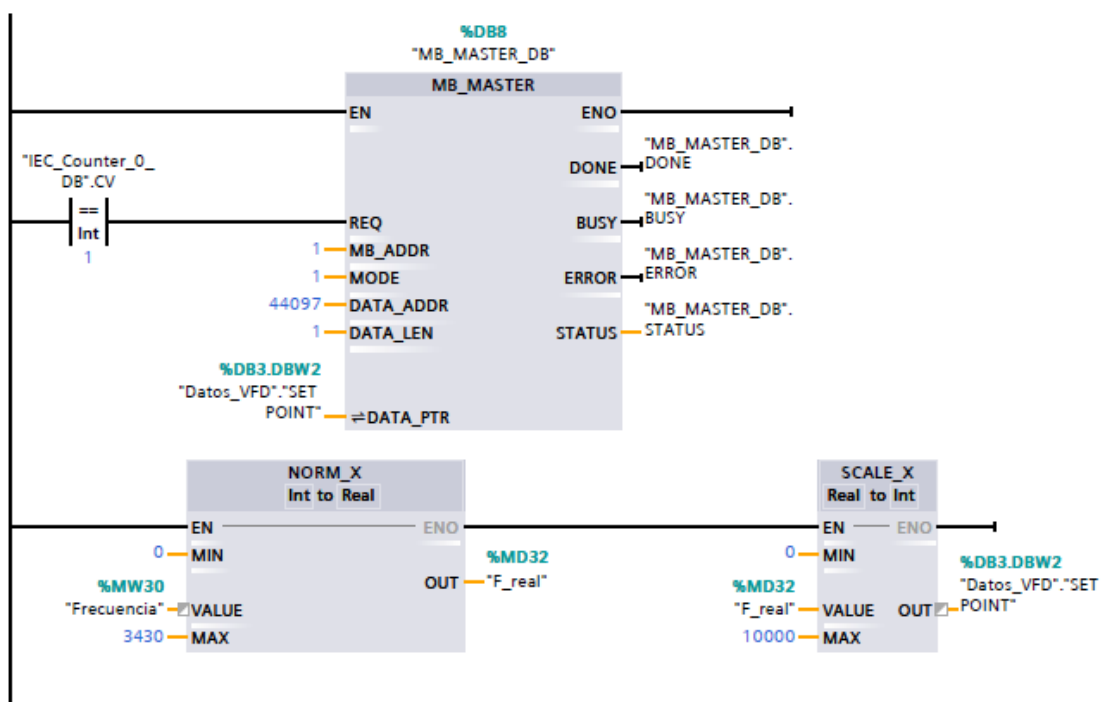
9. Red 7 Escritura y escalado de la frecuencia

En esta sección se define el valor de la frecuencia que se desea enviar al variador de frecuencia (VFD). Para ello, primero se toma el valor definido manualmente en $\%MW30$, etiquetado como “Frecuencia”, cuyo rango máximo se establece en 3430 Hz, que corresponde al límite superior del variador utilizado.

Ese valor es normalizado mediante la función $NORM_X$, que transforma el número entero en un valor decimal entre 0 y 1. El resultado se guarda como dato real en $\%MD32$, bajo el nombre “F_real”.

A continuación, este valor normalizado se escala nuevamente con la función SCALE_X, esta vez llevando el valor de 0 a 10000, que es el formato requerido por el VFD para interpretar la consigna de frecuencia. El resultado de esta operación se transfiere a %DB3.DBW2, etiquetado como “SET POINT”.

Una vez preparado ese dato, se activa el bloque MB_MASTER para enviarlo al variador utilizando el protocolo MODBUS. En este caso, el comando se ejecuta cuando el valor del contador (%DB7.CV) es igual a 1, garantizando así que las instrucciones se ejecuten de forma ordenada y no simultáneamente con otros comandos.



10. Red 8 Lectura y conversión de la corriente del motor

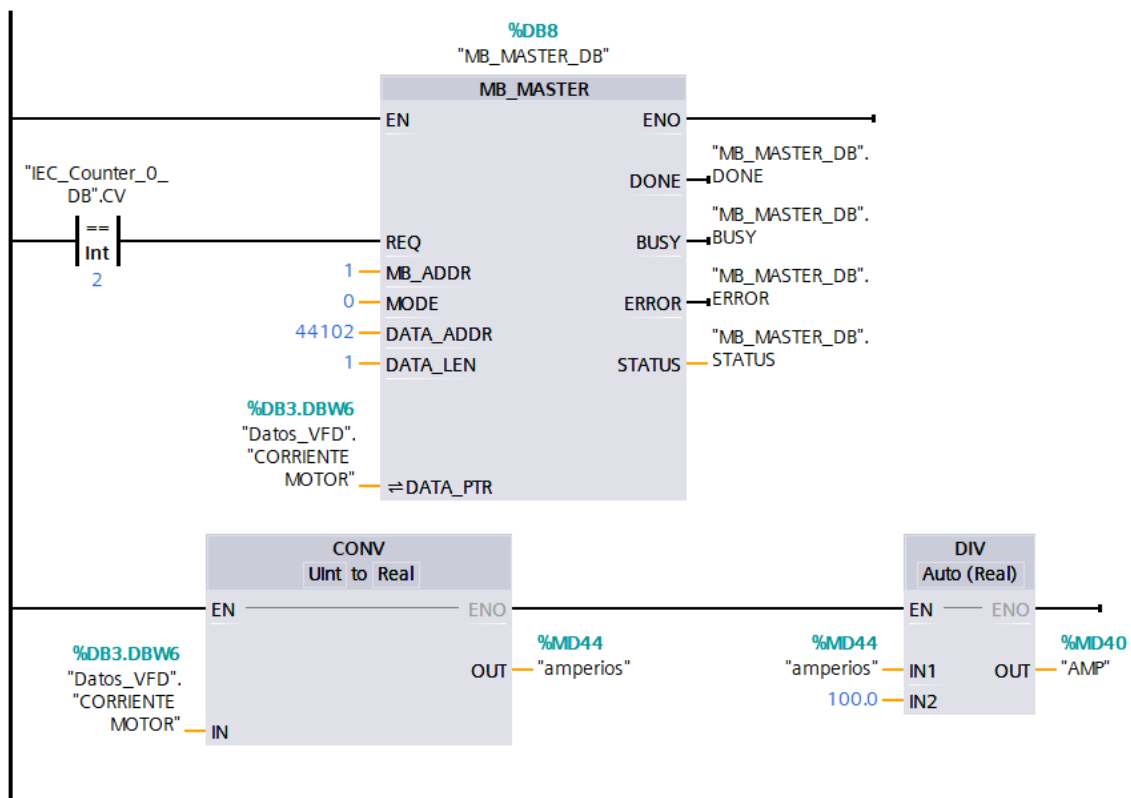
A nivel funcional la red 8 permite obtener el valor de corriente que consume el motor, directamente desde el variador de frecuencia (VFD), utilizando comunicación MODBUS. El bloque MB_MASTER es el encargado de solicitar este dato, que se encuentra en la dirección 44102, correspondiente a la variable "CORRIENTE MOTOR", almacenada en %DB3.DBW6.

La lectura se realiza cuando el valor del contador (%DB7.CV) es igual a 2, lo que garantiza que esta operación se ejecute en el orden adecuado dentro del ciclo completo del programa.

Una vez recibido el dato, se aplica una conversión de entero sin signo a número real mediante la instrucción CONV, guardando el resultado en %MD44 bajo la etiqueta “amperios”. Este valor representa la corriente bruta medida por el variador.

Posteriormente, se normaliza dividiendo dicho valor para 100.0, con el objetivo de obtener la lectura real de corriente en amperios. El resultado final se almacena en %MD40 con el nombre “AMP”, el cual puede ser utilizado en cálculos posteriores o mostrado directamente en una HMI para monitoreo.

Con esta red, el sistema logra interpretar correctamente el valor de corriente entregado por el VFD, permitiendo supervisar el comportamiento del motor de forma precisa y en tiempo real.



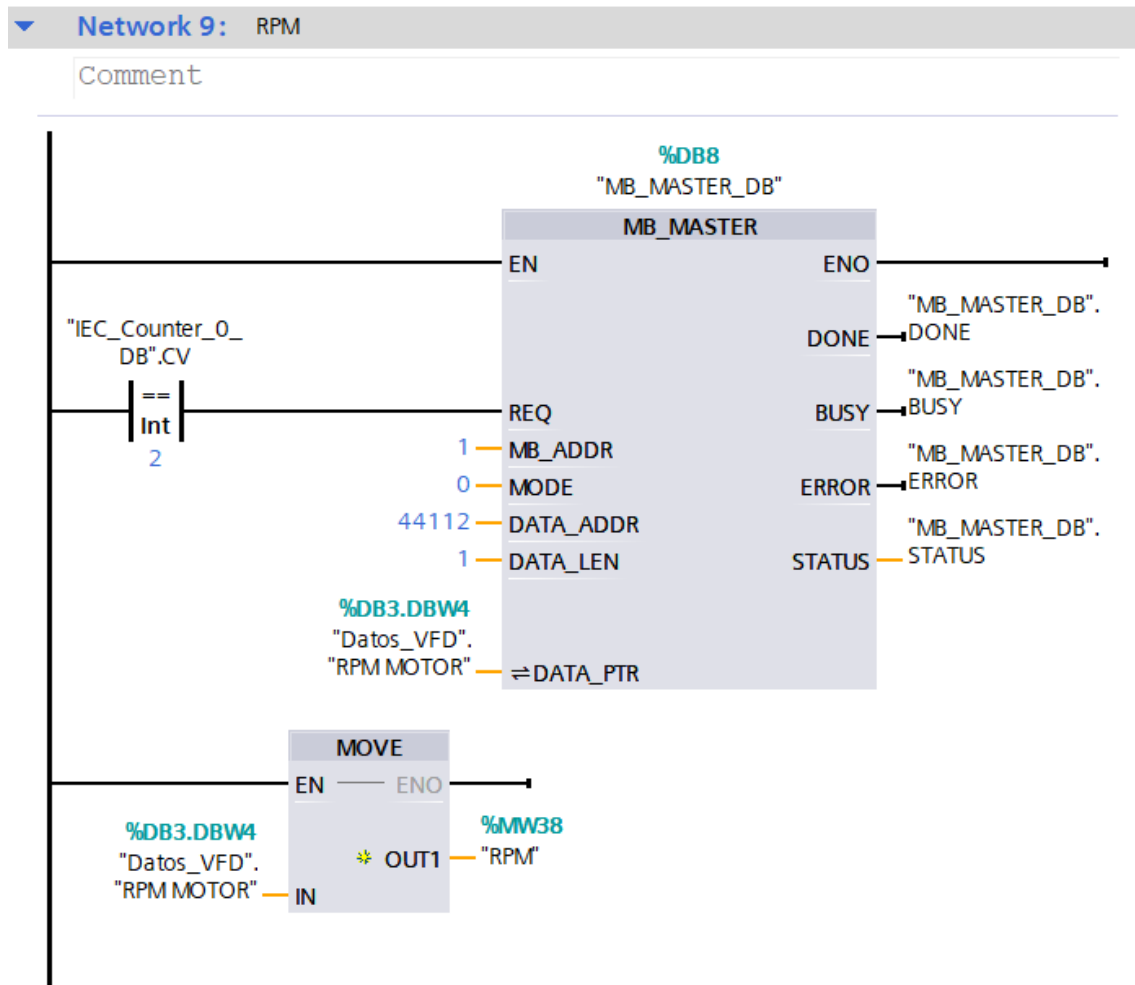
11. Red 9 Lectura de las RPM del motor desde el VDF

Dentro de este ciclo de programación se recupera el valor de las revoluciones por minuto (RPM) del motor a través del variador de frecuencia, usando comunicación MODBUS.

La instrucción MB_MASTER se activa cuando el contador alcanza el valor 2, lo cual asegura que la lectura se haga en el momento correcto del ciclo, este dato se obtiene desde

la dirección 44112, donde el VFD guarda internamente la velocidad del motor y una vez recibido, el valor se almacena en %DB3.DBW4, bajo el nombre “RPM MOTOR”.

Ahora con una instrucción MOVE, se copia ese número a la dirección %MW38, que en el programa quedó como “RPM”, de esta forma el valor puede usarse para visualización, comparación o cualquier función de control relacionada con la velocidad real del motor.



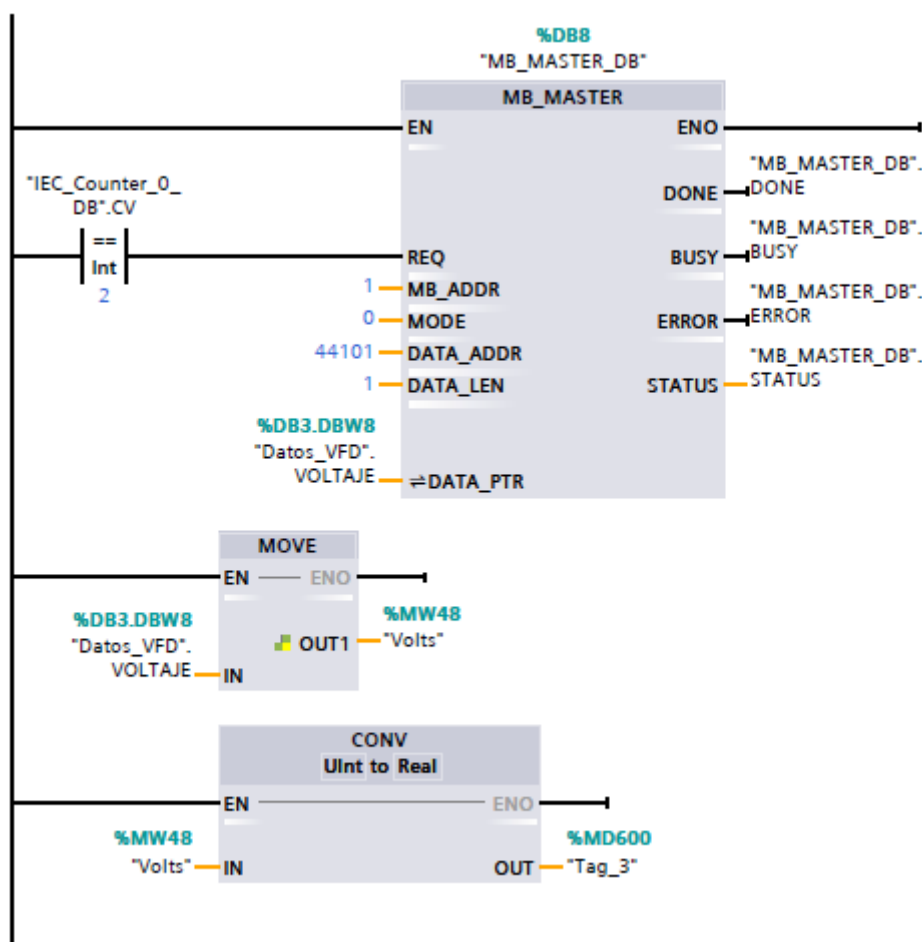
12. Red 10 Lectura y conversión del voltaje del motor

En esta red se obtiene el valor de voltaje entregado por el variador de frecuencia, el bloque `MB_MASTER` realiza la lectura cuando el contador de control `%DB7.CV` llega al valor 2, manteniendo así el orden del ciclo de adquisición. El dato se recoge desde la dirección 44101 que es correspondiente al registro donde el VFD almacena el voltaje del motor.

Este valor se guarda en %DB3.DBW8, bajo la etiqueta “VOLTAJE” y luego con una instrucción MOVE, ese dato se copia a %MW48, que se usa dentro del programa con el nombre “Volts”.

Para facilitar el uso de este valor en cálculos y visualización se convierte de entero sin signo a número real usando la función CONV y el resultado se guarda en %MD600 etiquetado como “Tag_3”.

Con esta lógica el voltaje queda disponible en un formato más acomodado para visualizarlo en la interfaz HMI.

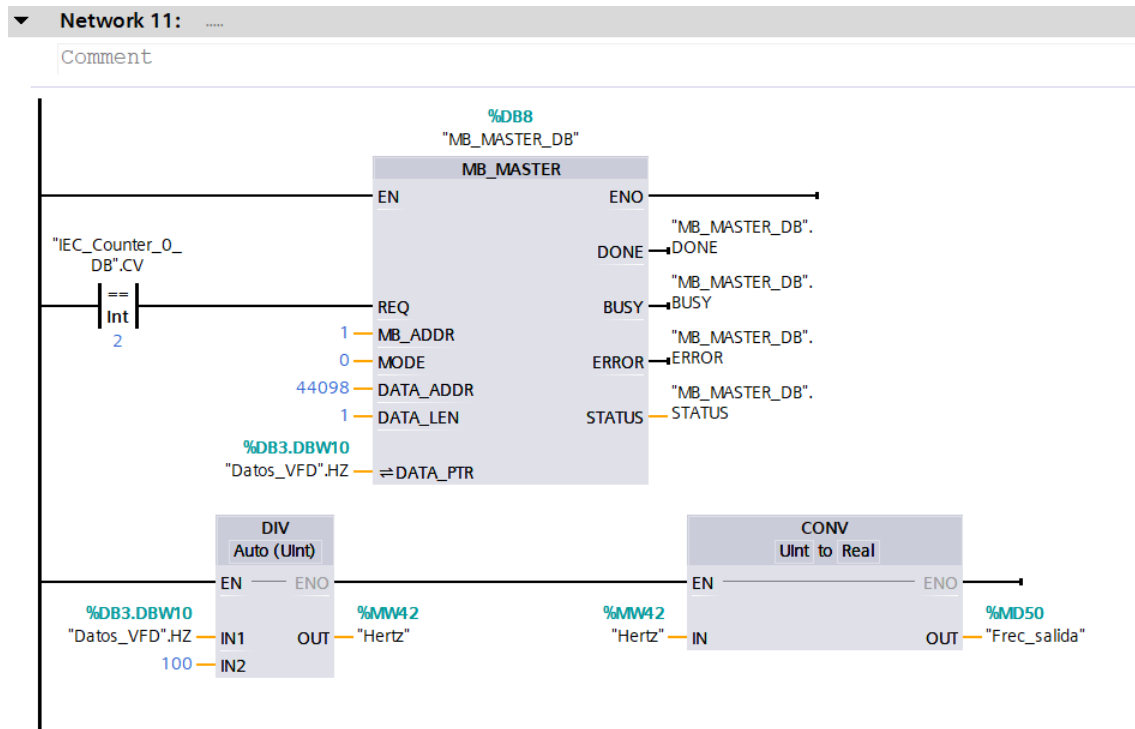


13. Red 11 Lectura y conversión de la frecuencia del VFD

En esta parte del programa se obtiene la frecuencia de salida del variador, la lectura se realiza cuando el contador llega a 2 usando el bloque MB_MASTER que solicita el dato desde la dirección 44098, donde el VFD guarda internamente ese valor. Lo que se recibe se almacena en %DB3.DBW10, bajo el nombre “HZ”.

Después, ese número se divide para 100 porque el valor viene escalado. Al hacerlo, se obtiene la frecuencia en hercios reales y se guarda en %MW42 como “Hertz”.

Por último, se convierte ese dato entero a tipo real añadiendo en %MD50 con la etiqueta “Frec_salida”, esto permite usarlo más adelante para cálculos y mostrarlo en la interfaz del sistema.

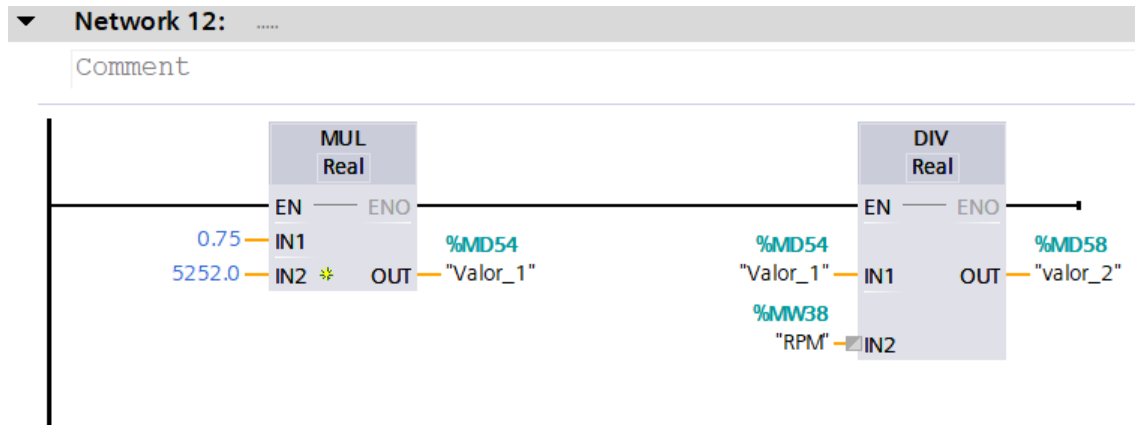


14. Red 12 Cálculo de potencia mecánica proporcional

Para comenzar se realiza un cálculo intermedio para estimar una potencia proporcional basada en condiciones de funcionamiento del motor, se multiplica un valor fijo de 0.75 por una constante de 5252.0 y el resultado se guarda en %MD54 como “Valor_1”. La operación genera una referencia que combina eficiencia estimada y una constante relacionada con torque y velocidad en sistemas rotativos.

Después de eso, este valor se divide entre las revoluciones por minuto del motor, que están almacenadas en %MW38 bajo la etiqueta “RPM”. El resultado final que se brinda se guarda en %MD58 etiquetado como “valor_2”.

Este tipo de cálculo puede servir como base para determinar valores comparativos de torque o potencia en función de la velocidad real del motor, especialmente cuando no se cuenta con sensores directos de par.



15. Red 13 Cálculo de potencia eléctrica trifásica

A continuación, en esta parte del programa se calcula una estimación de la potencia eléctrica consumida por el motor usando una fórmula típica para sistemas trifásicos. Se aplica una operación aritmética mediante el bloque CALCULATE, que multiplica seis factores:

1.732, que es la raíz de 3 y representa el factor de línea a línea en trifásico,

%MD600 (“Tag_3”), que contiene el valor de tensión en voltios,

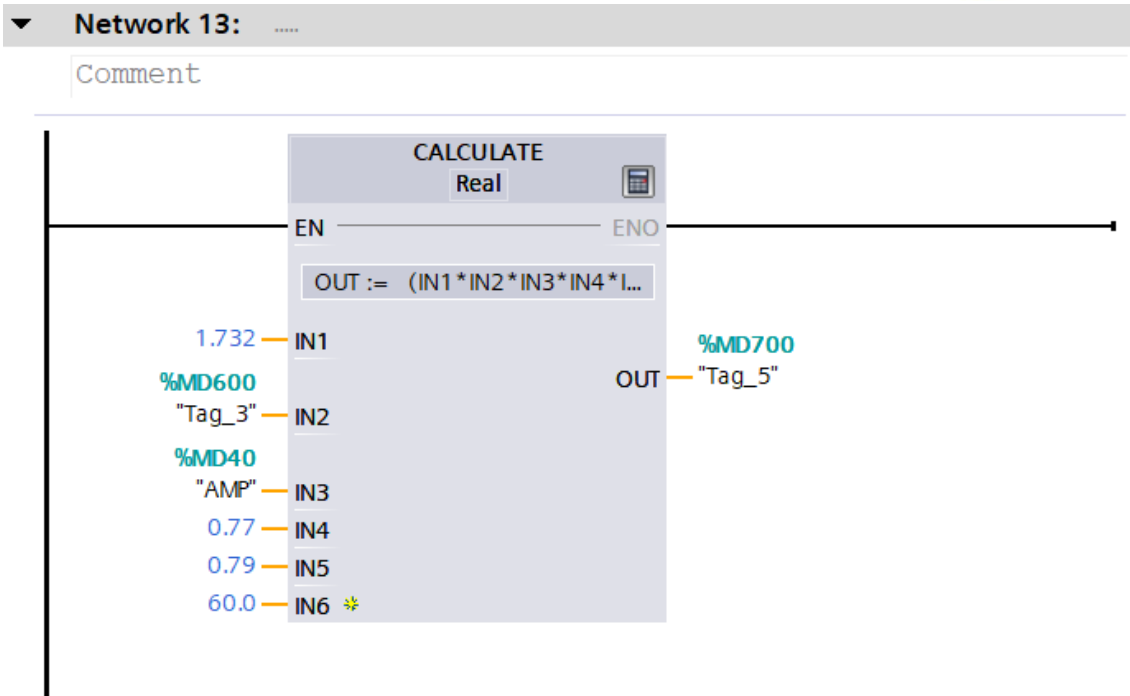
%MD40 (“AMP”), correspondiente a la corriente del motor ya convertida,

0.77, que representa el factor de potencia,

0.79, eficiencia estimada del sistema,

60.0, que podría asociarse al porcentaje de carga o a una referencia de operación constante.

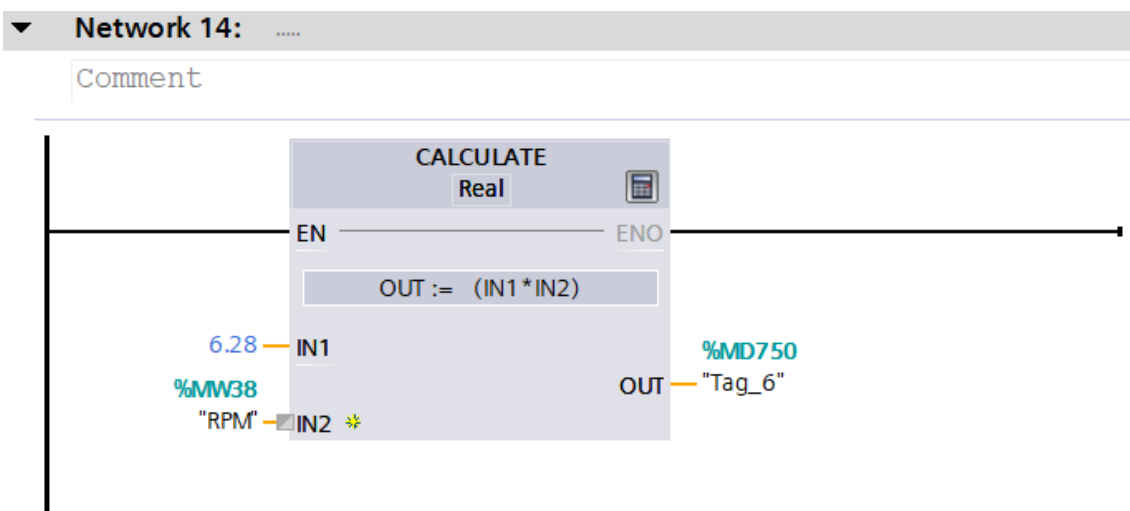
En vista de ello, el resultado de esta multiplicación es almacenado en %MD700 bajo la etiqueta “Tag_5”, este valor representa una potencia activa ajustada, útil para monitoreo y comparaciones internas dentro del sistema.



16. Red 14 Conversión de RPM a velocidad angular }

Por otro lado, en este bloque se calcula la velocidad angular del eje del motor expresada en radianes por segundo, para esto se utiliza el bloque CALCULATE que multiplica el valor de las revoluciones por minuto (RPM) almacenado en %MW38 por la constante 6.28 que es 2π . Este cálculo se basa en la relación: $2\pi \times \text{RPM}$.

Dicho de otro modo, el cálculo entre 2π y los RPM se guarda con el nombre %MD750 usando la etiqueta "Tag_6" y queda disponible para ser usado en la obtención de torque real.



17. Red 15 Cálculo del torque real del motor

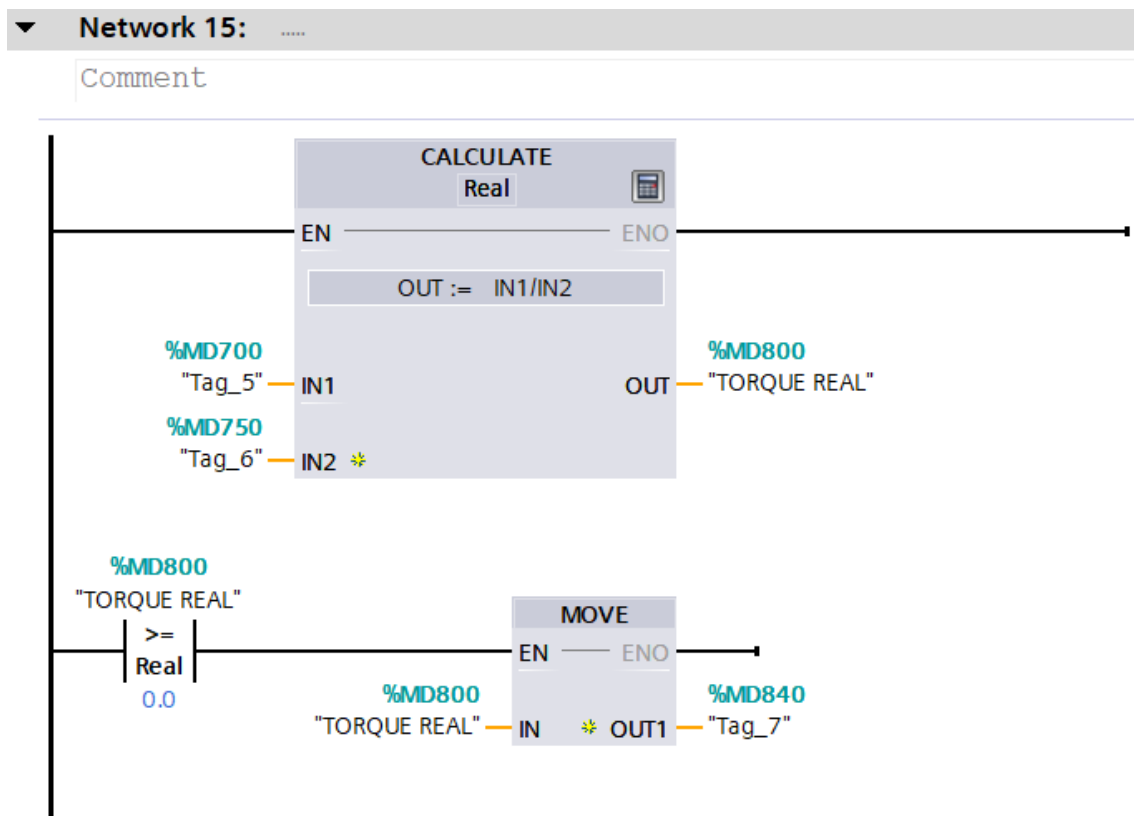
Por último, este bloque de red realiza el cálculo del torque real desarrollado por el motor utilizando como base la potencia estimada y la velocidad angular previamente calculada, se aplica una división mediante el bloque CALCULATE, donde:

El numerador (IN1) es el valor de potencia eléctrica ya procesada, almacenada en %MD700 con la etiqueta “Tag_5”.

El denominador (IN2) corresponde a la velocidad angular en radianes por segundo guardada en %MD750 como “Tag_6”.

El resultado de esta operación se guarda en %MD800 bajo la etiqueta “TORQUE REAL”. representando una estimación del par en condiciones reales de operación, considerando tanto la energía entregada como la velocidad del eje.

Adicionalmente, se incluye una comparación para asegurar que el valor de torque no sea menor que cero. En el peor de los casos de que así ocurra, se reemplaza con cero y se guarda en %MD840 identificada como “Tag_7”.



18. Configuración del HMI – KTP400 Basic Mono PN

En el proyecto se integró un panel HMI modelo KTP400 Basic mono PN, el cual permite la supervisión y control de variables del sistema a través de una interfaz gráfica. Este dispositivo fue configurado dentro del entorno TIA Portal y conectado mediante el protocolo PROFINET.

Desde la vista de dispositivo, se observa que el panel HMI está identificado como HMI_1, y se encuentra correctamente vinculado a la red PN/IE_1, compartida con el PLC. La configuración de red se realizó estableciendo una dirección IP fija, en este caso:

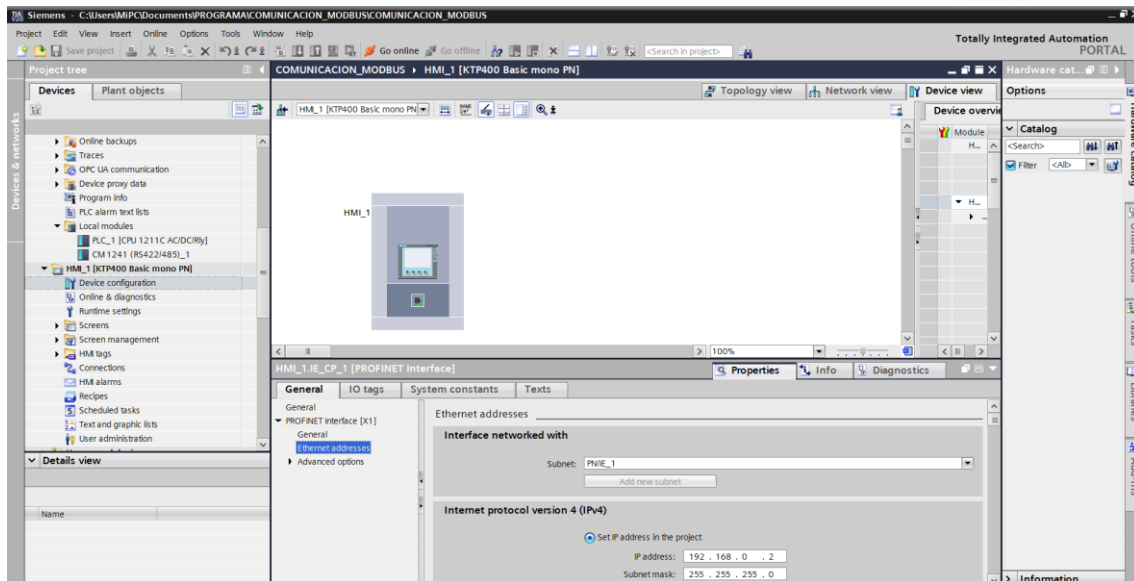
- **IP:** 192.168.1.2
- **Máscara de subred:** 255.255.255.0

Estos valores aseguran que el HMI se comunique de forma directa y sin conflictos dentro del mismo segmento de red que el controlador, facilitando el intercambio de datos a través de tags compartidos en tiempo real.

En la sección izquierda del proyecto se visualiza la estructura lógica del HMI, donde se puede acceder a:

- **Screens:** para el diseño de pantallas de operación,
- **Tags y conexiones:** para vincular variables del PLC,
- **Alarms, recipes y gráficos:** que permiten personalizar la interacción con el usuario final.

Esta configuración es fundamental para visualizar variables como RPM, corriente, frecuencia, y permitir el envío de comandos como arranque, paro o cambio de giro desde una interfaz amigable.



19. Pantalla principal del HMI

La pantalla inicial del HMI fue diseñada como un menú principal desde donde el operador puede acceder a las diferentes funciones del sistema. En la parte superior se incluye el nombre de la institución: Universidad Técnica de Cotopaxi, junto con la facultad y la carrera de Ingeniería Electromecánica, para identificar claramente el entorno académico del proyecto.

Justo debajo, se encuentran tres botones principales que permiten al usuario navegar a las secciones más relevantes del sistema:

ENCODER: lleva a una pantalla donde se visualizan los pulsos y la velocidad en RPM.

VFD: redirige a los controles básicos del variador de frecuencia, como arranque, paro y cambio de giro.

GRÁFICA: muestra una representación visual de variables del sistema, como corriente o frecuencia, en tiempo real.

En la parte inferior, se integraron íconos que permiten el acceso rápido a funciones adicionales, como navegación entre pantallas o retorno al menú principal. Además, los botones físicos F1 a F4 están disponibles para usarlos como teclas de acceso directo, según la programación interna del panel.

Esta pantalla cumple con el objetivo de ofrecer una interfaz simple, funcional y clara para el usuario, facilitando el monitoreo y control del sistema desde un único punto central.



20. Pantalla de control del VFD y monitoreo del motor

Esta pantalla fue diseñada para permitir al usuario controlar la velocidad del motor y visualizar en tiempo real sus variables eléctricas y mecánicas. Aunque se muestran varios parámetros, el único valor que puede ser ingresado desde el HMI es la consigna de velocidad en RPM.

Control de velocidad

En la parte izquierda se encuentra un campo de entrada donde el operador puede escribir directamente el valor deseado en RPM. Ese dato es enviado al variador de frecuencia (VFD WECON) como consigna, para que regule su salida en función de la velocidad solicitada. Debajo de este campo hay tres botones principales:

- **START:** inicia el giro del motor.
- **STOP:** detiene su funcionamiento.
- **CAMBIO DE GIRO:** invierte el sentido de rotación.

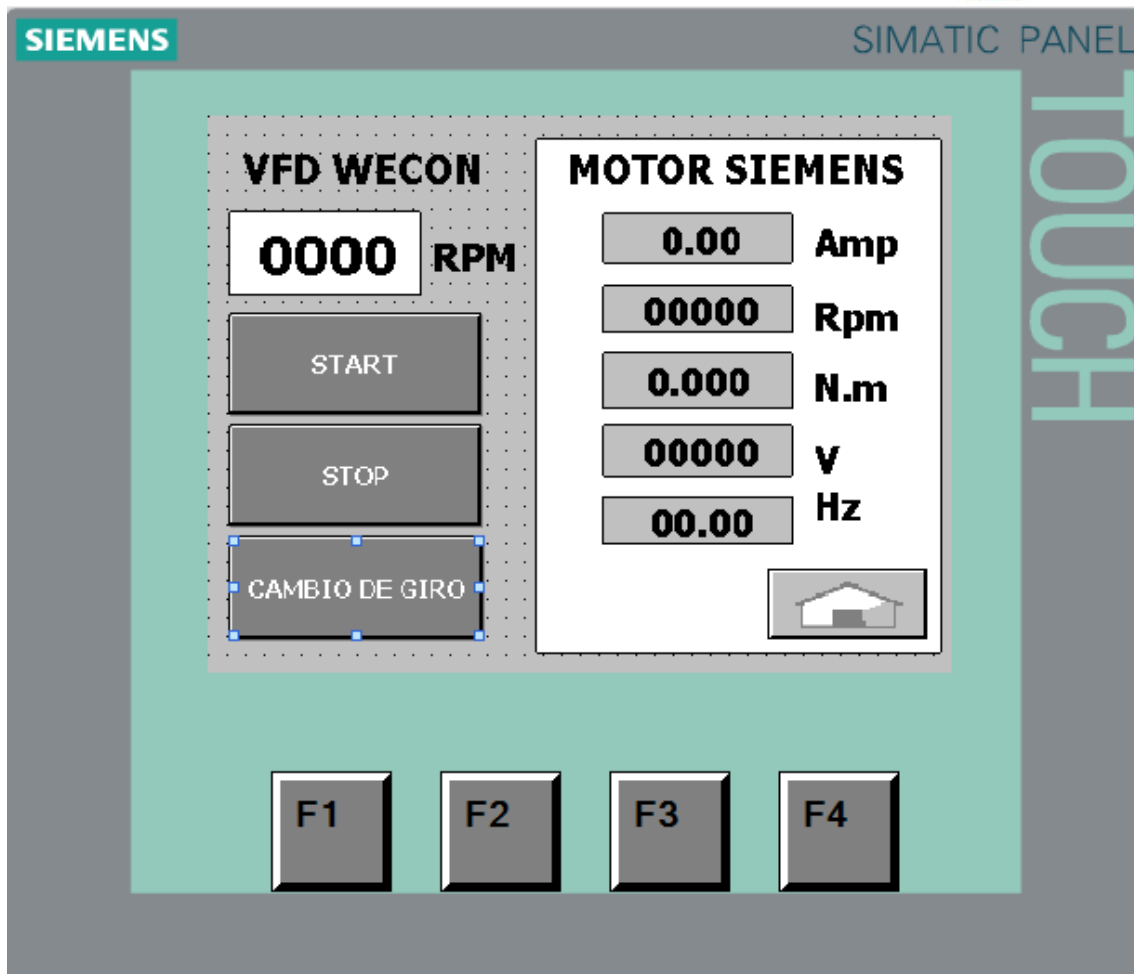
Visualización de variables

Aquí se presentan cinco indicadores que reflejan el comportamiento del motor, los cuales están enlazados a variables internas del PLC:

- **Corriente (Amp):** se muestra el valor de %MD40, que contiene la lectura de corriente ya convertida a número real.
- **Velocidad (Rpm):** se visualiza el valor de %MW38, que refleja las revoluciones por minuto del motor.
- **Torque estimado (N·m):** el valor proviene de %MD840, donde se almacena el torque calculado.
- **Voltaje (V):** esta variable está enlazada a %MW48, que representa la tensión entregada al motor.
- **Frecuencia de salida (Hz):** se obtiene desde %MD50, donde se almacena el valor real convertido de la frecuencia enviada por el VFD.

En la parte inferior derecha, se colocó un botón con ícono de casa que permite regresar directamente al menú principal.

Esta pantalla cumple la función de ser un punto de interacción claro y funcional, permitiendo al usuario ajustar la velocidad del sistema y observar su respuesta sin necesidad de acceder al variador ni conectar instrumentos externos.



21. Pantalla de lectura del encoder y velocidad del motor

Esta pantalla fue diseñada para mostrar al operador los valores en tiempo real provenientes del encoder y de la velocidad calculada del motor. Su propósito es brindar una visualización directa y precisa del movimiento del eje, facilitando el diagnóstico o supervisión durante pruebas.

Lectura del encoder

En la parte superior se muestra el valor de pulsos capturados por el encoder. Este dato está vinculado a la dirección de entrada %ID1000, que corresponde al canal digital donde se recibe la señal del sensor. La cifra representada indica la cantidad de pulsos acumulados en cada intervalo de lectura.

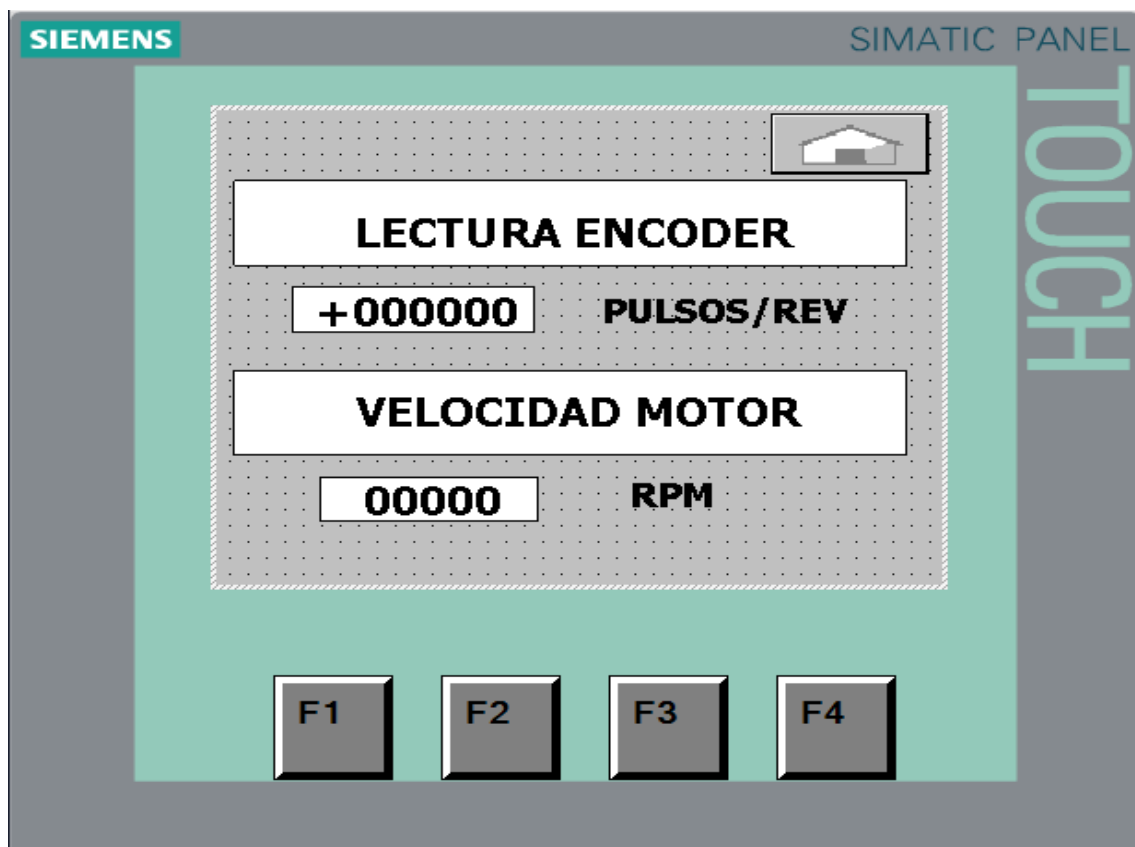
El formato con signo (+000000) permite identificar la dirección del giro, en caso de que el encoder lo soporte, aunque en este caso se representa únicamente la magnitud.

Velocidad del motor

Justo debajo se encuentra el campo que indica la velocidad del eje en revoluciones por minuto (RPM). Este valor está vinculado a la dirección $\%MW38$, donde se almacena la conversión de los pulsos a velocidad utilizando la lógica previamente programada en el PLC.

Ambos datos permiten al usuario tener una referencia clara y en tiempo real del comportamiento dinámico del motor, especialmente útil durante ensayos o pruebas de variación de carga y frecuencia.

Finalmente, se incluye un botón con ícono de casa para regresar al menú principal, garantizando una navegación simple e intuitiva entre las diferentes pantallas del sistema.



22. Pantalla de gráfico de velocidad

Esta pantalla fue implementada para mostrar, de forma visual y en tiempo real, el comportamiento de la velocidad del motor. Se trata de una herramienta de monitoreo que permite al usuario observar las variaciones de RPM durante el funcionamiento del sistema.

El gráfico ocupa la mayor parte de la interfaz y se encuentra configurado para registrar el valor de una variable vinculada al tag de velocidad, que corresponde al contenido de %MW38, el cual representa las revoluciones por minuto (RPM). Este valor es tomado directamente desde el PLC y trazado en el tiempo sobre la curva.

A lo largo del eje horizontal se muestra el tiempo transcurrido, mientras que en el eje vertical se representa la velocidad. Esta visualización permite identificar comportamientos como arranques, frenados, inestabilidad o variaciones de carga, de manera rápida y sin necesidad de instrumentos externos.

En la parte inferior se incluye una tabla que muestra los valores históricos registrados, lo que complementa la interpretación gráfica. También se colocó un botón tipo HOME, que permite regresar de forma inmediata al menú principal del HMI.

Esta pantalla resulta útil para validar el rendimiento del sistema, comparar resultados con las consignas enviadas desde el HMI y hacer ajustes en tiempo real si fuese necesario.



23. Función combinada de la interfaz Ethernet y Wi-Fi con el equipo HF9606

Se utilizó el equipo HF9606_HF9606W para establecer una red local utilizando la interfaz Ethernet y la conexión Wi-Fi, la cual permitió integrar distintos equipos bajo una misma red, funcionando de manera similar a un router.

Se trabajó con una dirección IP dentro del mismo segmento de red, específicamente bajo la red por defecto 10.10.100.XXX, donde "XXX" representa el número final asignado a cada dispositivo. Se verificó que tanto el equipo HF9606 como los demás dispositivos conectados compartieran el mismo segmento, lo cual fue necesario para que todos pudieran comunicarse correctamente.

Después se pudo modificar la dirección IP LAN del dispositivo HF9606 desde el software de configuración, permitiendo ajustar la red según las necesidades específicas del proyecto. Al tener conectividad Wi-Fi y Ethernet, el HF9606 actuó como un puente entre dispositivos cableados e inalámbricos, e incluso permitió el acceso a Internet cuando se configuró correctamente.

24. Configuración del programa IOTService

Al encender el equipo HF9606W, en la lista de redes Wi-Fi de la computadora apareció una con el mismo nombre del dispositivo. Esto ayudó a confirmar que estaba funcionando bien. Se conectó la PC a esa red para poder seguir con la configuración.

No fue necesario cambiar ningún parámetro al principio, ya que el equipo emitía la red por defecto apenas se encendía. Esta red permitió ingresar luego a la configuración del dispositivo desde el navegador.



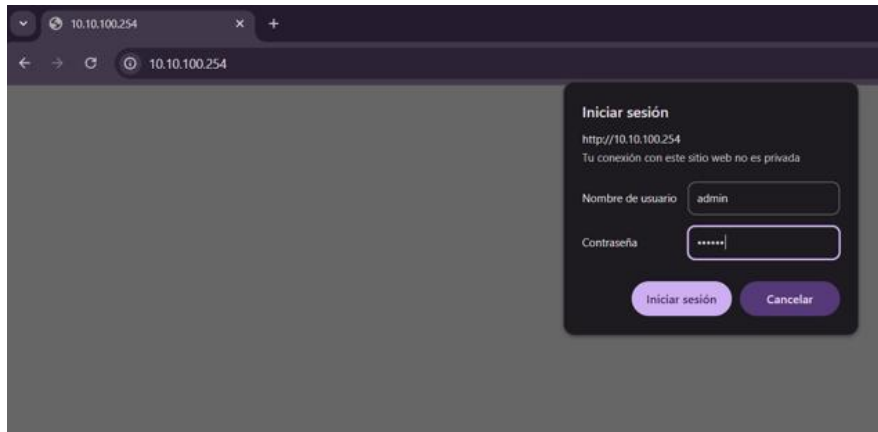
25. Conexión de la PC al equipo HF9606_HF9606W

Se conectó una computadora al equipo HF9606_HF9606W de dos formas distintas, la primera mediante la red Wi-Fi que este emite como punto de acceso y la segunda mediante conexión directa con cable de red al puerto Ethernet del dispositivo.

Una vez que se realizó la conexión por cable, se llegó a observar que el dispositivo tardó algunos segundos en asignar automáticamente una dirección IP a la PC. Sin embargo, para evitar demoras, se configuró manualmente una dirección IP estática dentro del mismo segmento de red del equipo, utilizando la red 10.10.100.254. Junto a eso, dentro del programa IOTService se denominó un usuario con el nombre de “admin” y una contraseña con el mismo nombre.

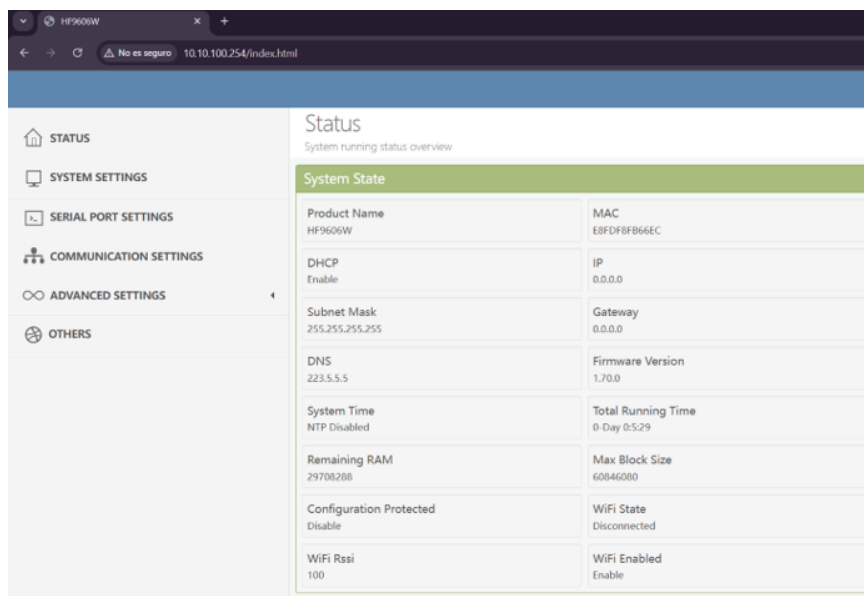


Con la configuración manual se pudo acelerar el reconocimiento de la red y se ingresó más rápido a la interfaz web del equipo. Para eso se escribió la dirección 10.10.100.254 en el navegador estando conectado a la red Wi-Fi del HF9606W. Luego se puso el usuario “admin” y la contraseña “admin” que se establecieron en el programa de IOTService.



26. Estado del sistema del equipo HF9606W

Después de ingresar al navegador con la dirección 10.10.100.254 se mostró la interfaz principal del equipo. En el lado izquierdo aparecieron varias opciones de configuración y se seleccionó la pestaña “Status”. Ahí se pudo ver toda la información del estado del sistema.



27. Configuración del sistema y cambio del AP SSID

Luego de revisar el estado del equipo se entró a la opción System Settings desde el menú de la izquierda. Ahí se pudo ver varios campos como el nombre del equipo la zona horaria

y el canal de la red Wi-Fi. También se encontró el campo llamado AP SSID que es el nombre de la red que emite el equipo.

WiFi Settings

Enable

WiFi Mode

AP SSID

AP KEY

AP Channel

Telnet Settings

Enable

Telnet Port

Echo

Este cambio no afecta el funcionamiento del equipo, pero sí ayuda a encontrar más rápido la red. Después de guardar los cambios tocó volver a conectarse a la nueva red con el nombre que se eligió.

WiFi Mode

AP SSID

AP KEY

AP Channel

STA SSID

STA KEY

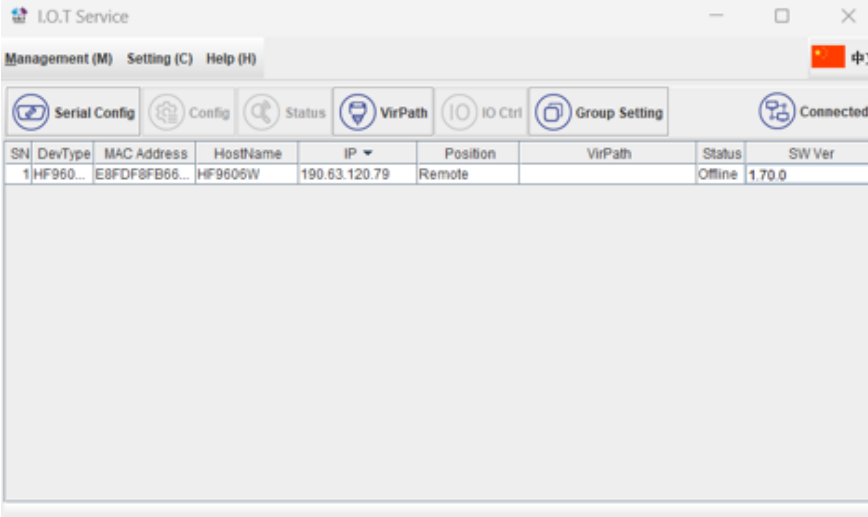
ID	BSSID	SSID	Rssi	Channel	Security	Choose
1	20:65:8e:59:a9:e0	NETLIFE DELTA	94	9	✓	<input type="radio"/>
2	66:83:dd:aa:86:a7	intento200	91	1	✓	<input type="radio"/>
3	a6:89:b2:d8:53:27	redes industriales	52	6	✓	<input type="radio"/>
4	5ce9:31:31:01:79	NETLIFE DELTA_Ext	39	9	✓	<input type="radio"/>
5	dc:62:79:32:98:5e	WIFI_EDF_AUX	29	5	✓	<input type="radio"/>
6	e2:62:79:32:98:5e		29	5	✓	<input type="radio"/>
7	90:8d:78:4f:86:16	CONSORCIO	20	1	✓	<input type="radio"/>
8	c8:3a:35:05:15:30	WIFI_100	10	11	✓	<input type="radio"/>
9	72:85:x4:86:b7:0e	WIFI_200	7	11	✓	<input type="radio"/>
10	72:85:x4:d6:b7:0e		5	11	✓	<input type="radio"/>
11	70:4ca5:c0:22:11	WIFI-UTC	0	1	✗	<input type="radio"/>
12	70:4ca5:bf:73:57	WIFI-UTC	0	1	✗	<input type="radio"/>
13	92:4ca5:bf:73:57	WIFI-UTC-MIGRACION	0	1	✗	<input type="radio"/>

28. Detección del equipo en el programa IOTService

Después de haber configurado el equipo y conectado correctamente a la red se abrió el programa IOTService en la computadora. Una vez abierto se tuvo que esperar unos segundos hasta que el programa detecte el equipo de forma automática. Esto solo funciona si la PC está conectada a la misma red del HF9606W.

Cuando el equipo fue detectado se mostró en la lista con su nombre su dirección IP su dirección MAC y el estado. En este caso se vio el nombre HF9606W y una IP asignada como 190.63.120.79. También se mostró que estaba en modo Remote lo que significa que se está conectando desde otra red.

Esta ventana es útil para confirmar que el dispositivo está activo y listo para ser configurado desde el software.

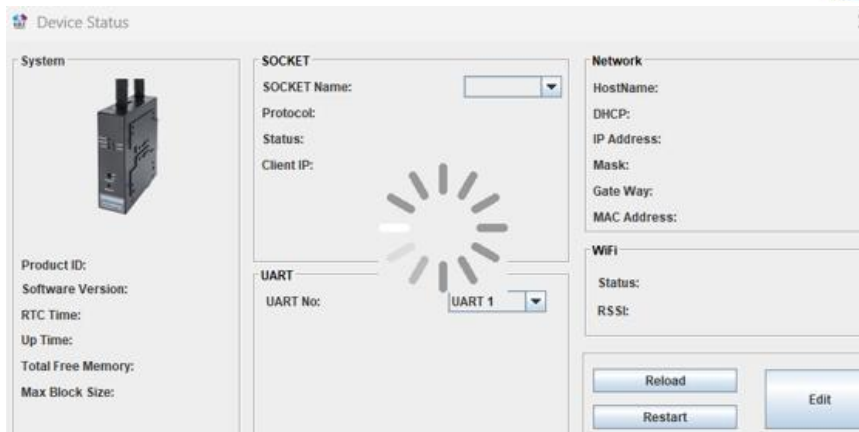


The screenshot shows the I.O.T Service application window. The title bar reads "I.O.T Service". The menu bar includes "Management (M)", "Setting (C)", and "Help (H)". The interface features several icons for "Serial Config", "Config", "Status", "VirPath", "IO Ctrl", "Group Setting", and "Connected". Below these icons is a table with the following data:

SN	DevType	MAC Address	HostName	IP	Position	VirPath	Status	SW Ver
1	HF960...	E8FDF8FB66...	HF9606W	190.63.120.79	Remote		Offline	1.70.0

29. Ventana de estado del dispositivo

Después de que el equipo fue detectado se dio doble clic sobre él desde el programa IOTService y se abrió una nueva ventana llamada Device Status. Al principio apareció una animación de carga porque el software todavía estaba intentando comunicarse con el dispositivo.

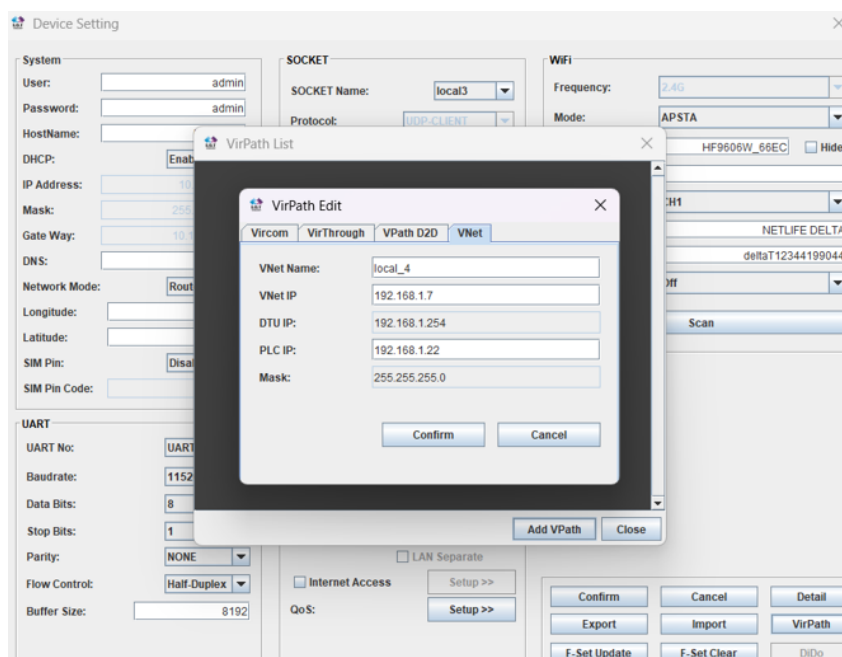


30. Configuración del VirPath para conectar con el PLC

Después de que el equipo fue reconocido se entró en editar y se abrió una ventana donde se pudieron cambiar varios datos. Ahí se buscó la opción que decía VirPath y se le dio clic en agregar uno nuevo. Para el nombre se puso Local que fue solo para identificarlo.

Después se llenaron los campos que pedía el sistema. En la parte de VNet IP se puso 192.168.1.6 que fue la IP ejemplo que se le dio al equipo. En la parte de DTU IP se ingresó la dirección de 192.168.1.254 y para la parte de la IP del PLC se puso 192.168.1.12 que fue la que ya se tenía asignada anteriormente. La máscara se dejó en 255.255.255.0 que es la que se usa normalmente en este tipo de redes

Al terminar se le dio en confirmar para guardar todo. Esto ayudó a que el equipo pueda comunicarse con el PLC por red usando esa ruta virtual



Después de guardar la configuración, se abrió el CMD en la computadora y se escribió el comando "ping 192.168.1.12" que es la IP del PLC. Con eso se pudo comprobar si había conexión entre el PLC y la computadora desde otra red si el ping respondía bien, significaba que la comunicación estaba funcionando de forma remota.

```
Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.26100.4652]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

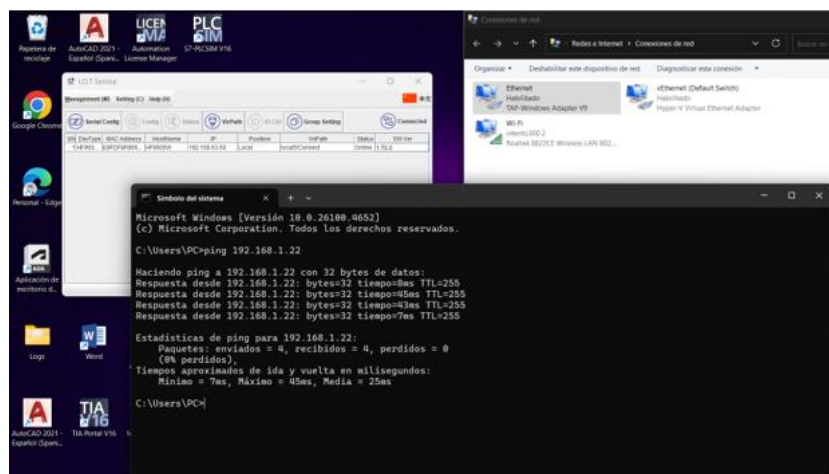
C:\Users\PC>ping 192.168.1.22

Haciendo ping a 192.168.1.22 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.22: bytes=32 tiempo=8ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.22: bytes=32 tiempo=8ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.22: bytes=32 tiempo=7ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.22: bytes=32 tiempo=7ms TTL=255

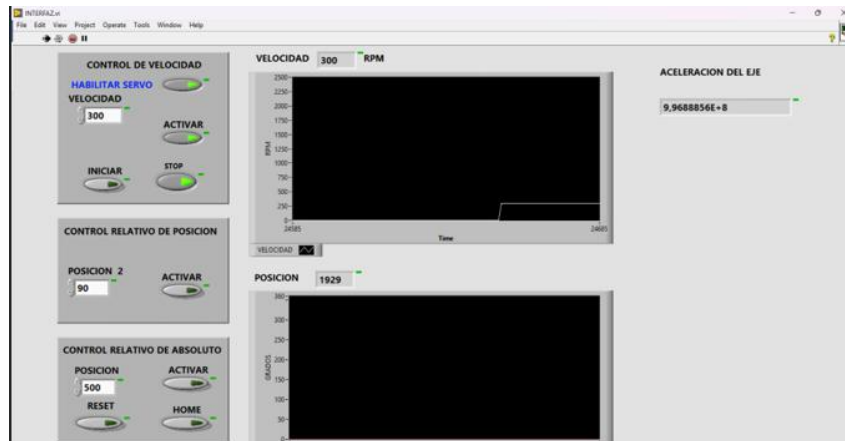
Estadísticas de ping para 192.168.1.22:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 7ms, Máximo = 8ms, Media = 7ms

C:\Users\PC>
```

Cuando ya se estableció la conexión, si aparece algún error entre el IOTService y la computadora, se tiene que entrar a conexiones de red del sistema, luego se busca la parte de Ethernet y ahí se configuran las direcciones según la IP que se puso en VirPath dentro del IOTService. Después de se desactiva y se vuelve a activar la red para abrir de nuevo el programa y revisar si ya se está haciendo bien la conexión.



Ya conectada la PC a la red se abrió el programa LabVIEW donde ya estaba hecho un SCADA parecido al que se hace en TIA Portal. Con ese panel se buscó controlar el sistema de forma remota usando la comunicación establecida con el equipo HF9606W, desde ahí se podía visualizar valores y enviar comandos al PLC sin necesidad de estar conectado de forma directa.



➤ Nota sobre verificación de comunicación

En este módulo no se ha implementado señalética visual en la HMI para indicar pérdida de comunicación entre el PLC y la pantalla, debido a que, si el cable de red se desconecta, la interfaz HMI dejaría de recibir datos y no podría mostrar ninguna alerta programada.

Para comprobar si existe comunicación con el PLC, se puede realizar un ping desde la computadora a la dirección IP del controlador (por ejemplo, ping 192.168.1.12). Si el ping responde correctamente, significa que la conexión está activa.

Además, cuando la comunicación se interrumpe y la HMI sigue encendida, los valores mostrados cambian automáticamente a símbolos numéricos predeterminados por el panel, lo que también indica falta de datos en tiempo real.