



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

**DESARROLLO DE UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO DE EQUIPOS DE
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL PARA EL CONTROL DE MOTORES TRIFÁSICOS
MEDIANTE VARIADORES DE FRECUENCIA PARA LOS LABORATORIOS DE LA
EMPRESA ILUSOL RENOVA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingenieros en Mecatrónica

AUTORES: JOSÉ ANDRÉS COYAGO GUAMAN

JUAN JOSÉ GUEVARA BARRAL

TUTOR: EDWIN MARCELO CASA CASA

Quito - Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, José Andrés Coyago Guaman con el documento de identificación N.º 1728135623 y Juan José Guevara Barral, y N.º 1723827067; manifestamos que:

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

Quito, Viernes 15 de agosto del 2025

Atentamente,



José Andrés Coyago Guaman

1728135623



Juan José Guevara Barral

1723827067

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, José Andrés Coyago Guaman con el documento de identificación N.º 1728135623 y Juan José Guevara Barral con número de identificación N.º 1723827067, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Dispositivo Tecnológico: “Desarrollo de un módulo de entrenamiento de equipos de automatización industrial para el control de motores trifásicos mediante variadores de frecuencia para los laboratorios de la empresa Ilusol Renova”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, Viernes 15 de agosto del 2025

Atentamente



José Andrés Coyago Guaman

1728135623



Juan José Guevara Barral

1723827067

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edwin Marcelo Casa Casa con el documento de identificación N.º 0503405946 , docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN MÓDULO DE ENTRENAMIENTO DE EQUIPOS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL PARA EL CONTROL DE MOTORES TRIFÁSICOS MEDIANTE VARIADORES DE FRECUENCIA PARA LOS LABORATORIOS DE LA EMPRESA ILUSOL RENOVA, realizado por José Andrés Coyago Guaman con el documento de identificación N.º 1728135623 y Juan José Guevara Barral, y N.º 1723827067, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Dispositivo Tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, Viernes 15 de agosto del 2025

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink that reads "Edwin Marcelo Casa Casa". The signature is stylized and includes a superscript "2" after the name.

Ing. Edwin Marcelo Casa Casa MSc.

0503405946

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mis padres por su apoyo incondicional, su compañía silenciosa y su fortaleza para levantarme en los momentos más difíciles, así como a mis hermanas por su disposición para ayudarme a comprender lo que a veces ni yo mismo entiendo y por cubrirme y apoyarme siempre que les ha sido posible; su presencia ha sido esencial e invaluable en mi camino.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, en especial a sus docentes, por las enseñanzas impartidas y los momentos compartidos que contribuyeron significativamente a mi formación. De manera particular, expreso mi gratitud al Ingeniero Marcelo Casa, mi tutor de tesis, por su paciencia, confianza y respaldo durante la realización de este proyecto de titulación. Asimismo, agradezco profundamente a dos grandes amigos, quienes me ayudaron más que nadie, demostrando su apoyo y compañía en los momentos más desafiantes.

Finalmente, expreso mi gratitud a la Empresa Ilusol Renova y a sus empleados por compartir generosamente su conocimiento, por las guías brindadas y, sobre todo, por financiar este trabajo de titulación. Su apoyo fue fundamental para la culminación de este proyecto.

José Andrés Coyago Guaman

Agradezco profundamente a mis padres, cuyo apoyo emocional, económico e intelectual ha sido fundamental para superar los momentos más difíciles y alcanzar mis metas. Su motivación constante ha sido clave en mi vida, y estoy seguro de que seguirá siendo así en mis futuros proyectos.

A mis amigos Andrés Falconí y Andrés Changoluisa, les agradezco su apoyo, consejos y compañía en este camino, así como a Steven Chávez, quien me inspira con su ejemplo de seguir un camino distinto. A mi compañero de tesis, le reconozco su acompañamiento y disposición para aclarar mis dudas. Finalmente, extiendo mi agradecimiento al Ingeniero Álvaro Carrera, a la empresa Ilusol Renova y a su equipo por el asesoramiento, guía y respaldo económico que brindaron, elementos clave para culminar este proyecto.

Juan José Guevara Barra

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, Teodora Guaman y José Odulfo, quienes han sido el pilar más importante de mi vida. Su amor, sacrificio y apoyo constante me han permitido llegar hasta este punto. Sin su ayuda, no habría sido posible dar cada paso, tanto en los días que ya pasaron como en los que están por venir. Espero que sigan a mi lado para que juntos podamos celebrar los logros futuros y compartir esas alegrías que tanto les debo.

A mis hermanas, quienes siempre han estado presentes, brindándome su apoyo incondicional y extendiéndome la mano en los momentos en los que necesitaba ese impulso para seguir adelante.

Finalmente, a todos aquellos que de una u otra manera me ayudaron en este camino, les dedico también este logro.

José Andrés Coyago Guaman

Dedico este trabajo a mis padres, Sandra Jaquelina Barral Coral y Byron Efraín Guevara Villacis, los cuales durante años han realizado un sacrificio arduo y un esfuerzo tremendo para lograr que mi hermano y yo tengamos un futuro estable. Su amor incondicional y apoyo constante me han ayudado para lograr llegar hasta el final de este trayecto.

Juan José Guevara Barral

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
GLOSARIO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TITULACIÓN	1
OBJETIVOS.....	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
CAPÍTULO I.....	4
MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO.....	4
1.1 Antecedentes	4
1.2 Automatización industrial	5
1.2.1 Tipos de procesos de automatización industrial.....	5
1.2.2 Ventajas de la automatización industrial.....	6
1.2.3 Desafíos de la automatización industrial	6
1.3 Redes y Protocolos de Comunicación Industrial	6

1.4 Controladores Lógicos Programables (PLC).....	7
1.5 Interfaces Hombre-Máquina (HMI).....	8
1.6 Motores Trifásicos	8
1.6.1 Características principales	9
1.6.2 Tipos de Motores Trifásicos.....	9
1.7 Variadores de frecuencia (VFD)	10
1.7.1 Componentes principales de un VDF	11
1.7.2 Unidad de control (Controlador).....	11
1.7.3 Panel de control o interfaz de usuario.....	11
1.8 Placa de montaje	12
CAPITULO II	13
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y METODOLOGÍA.....	13
2.1. Descripción y análisis de alternativas	13
2.2 Identificación y evaluación de Alternativas.....	13
2.2.1 Compra de simuladores virtuales.....	13
2.2.2 Compra de módulo de entrenamiento de VDF	14
2.2.3 Fabricación del módulo de entrenamiento con diseño estructural simple.....	16
2.2.4 Fabricación del módulo en una caja de panel de metal.	17
2.3 Análisis Cuantitativo de Alternativas.....	18
2.4 Metodología	19
CAPITULO III.....	21
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE ENTRENAMIENTO	21
3.1 Cálculos y selección de elementos electrónicos	21
3.1.1 Selección de breaker bifásico.....	21
3.1.2 Selección de fusibles de protección	22
3.2 Diseño de la circuitería para los diferentes componentes.....	23
3.2.1 Conexión de alimentación del Variador de Frecuencia.....	23
3.2.2 Conexión de alimentación PLC y HMI	25
3.2.3 Conexión maestro-esclavo de HMI, VDF y PLC	25
3.2.4 Diagrama de comunicación del sistema.....	26

3.2.5 Diagrama de conexiones de control entre PLC y Variador de Frecuencia.....	26
3.3 Análisis de cargas.....	26
3.3.1 Cálculos estructurales	27
3.3.2 Cálculo de la sección mínima requerida	32
3.4 Simulación de la estructura.....	33
3.5 Montaje y puesta en marcha	34
CAPITULO IV	37
ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	37
4.1 Análisis económico	37
4.1.1. Costo estructura	37
4.1.2. Costo material eléctrico y electrónico.....	37
4.1.3. Costos de mano de obra directa	38
4.1.4. Costos indirectos.....	38
4.1.5. Resumen de costos.....	39
4.2 Encuestas.....	39
4.2.1. Claridad del Módulo	39
4.2.2. Interfaz	39
4.2.3. Utilidad del Módulo.....	40
4.2.4. Calidad de los Equipos.....	40
4.2.6. Precisión del Módulo	40
4.2.7. Confiabilidad.....	40
4.2.8. Satisfacción General	40
4.2.9. Recomendación.....	40
4.3 Mantenimiento	41
CONCLUSIONES.....	45
RECOMENDACIONES	46
REFERENCIAS.....	47
ANEXOS.....	53
Anexo 1. Plano de estructura	53

Anexo 2. Plano plancha inferior	54
Anexo 3. Plano plancha HMI.....	55
Anexo 4. Guías.....	56
Anexo 5. Encuesta	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un proceso automatizado [8]	5
Figura 2. Pirámide de automatización [9].....	7
Figura 3. PLC [70]	8
Figura 4. HMI [72].....	8
Figura 5. Motor 0.75 HP	9
Figura 6. VDF [68]	11
Figura 7. Tol galvanizado [20].....	12
Figura 8. Virtual VDF [21]	13
Figura 9. Módulo de entrenamiento de VDF [7]	14
Figura 10. VDF Schneider Electric Altivar 61.....	15
Figura 11. Motor WEG de 1HP	15
Figura 12. Propuesta de diseño	16
Figura 13. Caja de panel de control [29]	17
Figura 14. Conexión de alimentación de VDF	24
Figura 15. Diagrama de alimentación.....	25
Figura 16. Red de comunicación con protocolo MODBUS-RTU y bus RS-485. [68].....	25
Figura 17. Diagrama de comunicación del sistema	26
Figura 18. Conexión del Variador y el PLC.....	26
Figura 19. Medidas de la estructura.....	27
Figura 20. Datasheet tubo cuadrado [35].....	27
Figura 21. Datasheet de la plancha [36]	28
Figura 22. Diagrama de esfuerzos en el elemento crítico.....	30
Figura 23. Diagrama de fuerzas cortantes.	31
Figura 24. Diagrama de momentos.....	31
Figura 25. Análisis estructural.	33
Figura 26. Factor de seguridad	33
Figura 27. Análisis estructural completo	34
Figura 28. Ensamble estructura	35
Figura 29. Montaje componentes.....	35
Figura 30. Cableado de equipos.....	36

Figura 31. Vista frontal del módulo de entrenamiento 36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la compra de simuladores de VDF.....	14
Tabla 2. Ventajas y desventajas de comparar de un módulo de entrenamiento de VDF	15
Tabla 3. Ventajas y desventajas de la fabricación de un módulo de entrenamiento de VDF	17
Tabla 4. Ventajas y desventajas al implementar el módulo en una caja de panel	18
Tabla 5. Clasificación de alternativas.....	18
Tabla 6. Potencia consumida por el sistema [68].....	21
Tabla 7. Potencia consumida por el sistema [70].....	23
Tabla 8. Características conector de alimentación [68]	24
Tabla 9. Cálculo de la masa total del equipo montado.....	29
Tabla 10. Elementos utilizados en el módulo.....	34
Tabla 11. Costos materiales eléctricos y electrónicos	37
Tabla 12. Costo mano de obra directa.....	38
Tabla 13. Costos indirectos	38
Tabla 14. Resumen de costos	39

GLOSARIO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

UPS	Universidad Politécnica Salesiana
HMI	Interfaz humano maquina
VDF	Variador de frecuencia
PLC	Controlador lógico programable
W	Watt o vatio
VAC	voltios de corriente alterna
DC	Corriente Directa
FMS	Sistema de Fabricación Flexible
SCADA	Control de Supervisión y Adquisición de Datos
AC	Corriente alterna

RESUMEN

El siguiente trabajo de titulación aborda la necesidad de cerrar la brecha entre el aprendizaje teórico y la práctica en el ámbito de la automatización industrial, especialmente en el control de velocidad y torque mediante variadores de frecuencia. Para ello, se diseñó e implementó un módulo de entrenamiento técnico profesional para los laboratorios de Ilusol Renova, integrando un controlador lógico programable (PLC) y una interfaz humano-máquina (HMI).

El desarrollo del proyecto incluyó cálculos teóricos y simulaciones detalladas que aseguraron un diseño robusto y confiable, logrando un factor de seguridad mínimo de 34, muy por encima del valor estándar requerido de 1.5. Este nivel de precisión y fiabilidad refuerza la capacidad del módulo para operar bajo condiciones reales de trabajo. Además, el sistema implementado opera de manera eficiente gracias al uso de una red de comunicación basada en el protocolo MODBUS-RTU y el bus RS-485, lo que garantiza una interacción segura y efectiva entre todos los componentes del sistema.

Se elaborarán guías técnicas completas y estructuradas que explican el proceso de configuración, calibración y manejo del módulo, facilitando el aprendizaje práctico para usuarios de distintos niveles técnicos. Estas guías están orientadas a maximizar el aprovechamiento del módulo en contextos de formación técnica, proporcionando a los usuarios competencias directamente aplicables en la industria.

- *Palabras clave:* automatización industrial, variadores de frecuencia, control, HMI, PLC, protocolo RS-485, MODBUS-RTU.

ABSTRACT

The following degree project addresses the need to bridge the gap between theoretical learning and practical application in the field of industrial automation, particularly in speed and torque control using frequency inverters. To achieve this, a professional technical training module was designed and implemented for the laboratories of Ilusol Renova, integrating a programmable logic controller (PLC) and a human-machine interface (HMI).

The development of the project included detailed theoretical calculations and simulations that ensured a robust and reliable design, achieving a minimum safety factor of 34, far exceeding the standard required value of 1.5. This level of precision and reliability enhances the module's capacity to operate under real working conditions. Additionally, the implemented system operates efficiently thanks to the use of a communication network based on the MODBUS-RTU protocol and the RS-485 bus, ensuring safe and effective interaction between all system components.

Comprehensive and structured technical guides will be developed to explain the process of configuring, calibrating, and handling the module, facilitating practical learning for users of different technical levels. These guides are designed to maximize the use of the module in technical training contexts, providing users with skills directly applicable to the industry.

- **Keywords:** industrial automation, variable frequency drives, control, HMI, PLC, RS-485 protocol, MODBUS-RTU.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ausencia de un programa de formación estructurado en ILUSOL RENNOVA, que integre teoría y práctica en el manejo de motores trifásicos, limita la capacidad del personal para implementar soluciones efectivas y seguras. Esta carencia puede derivar en un uso ineficiente de los equipos, incrementando los costos operativos, el riesgo de fallos y comprometiendo la seguridad laboral. Operar motores por encima o por debajo de sus tensiones nominales, por ejemplo, afecta su eficiencia y otros parámetros críticos de operación [2].

Además, la falta de capacitación dificulta la detección temprana de señales de advertencia de fallos, incrementando el riesgo de accidentes laborales. Alltestpro, subraya que el desequilibrio de tensión, una causa común de fallos puede provocar un sobrecalentamiento de los motores y degradar su aislamiento, lo que acelera su deterioro y aumenta los riesgos operativos. Por estas razones, es imperativo establecer un módulo de entrenamiento estructurado en ILUSOL RENNOVA para garantizar la eficiencia operativa, minimizar los fallos y priorizar la seguridad del personal [5].

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

El desarrollo de un módulo de capacitación en automatización industrial para el control de motores trifásicos mediante variadores de frecuencia permitirá a ILUSOL RENNOVA fortalecer las competencias de su personal y optimizar procesos, mejorando la seguridad y la eficiencia en el entorno de trabajo. Esta iniciativa representa una inversión estratégica en el crecimiento y la competitividad de la empresa.

Los variadores de frecuencia son fundamentales en la optimización del control de motores trifásicos, ya que permiten ajustar la velocidad y el torque del motor de manera eficiente, lo cual mejora el rendimiento de los procesos industriales y reduce el consumo energético, una necesidad crítica en Ecuador. [75]

Capacitar al personal en el uso adecuado de estos dispositivos maximizará su potencial, minimizando riesgos y fallos. Un entrenamiento adecuado garantiza que los empleados comprendan cómo configurar y mantener los variadores de frecuencia, promoviendo un manejo más seguro y efectivo que reduce la probabilidad de errores.

En un entorno industrial en constante evolución, mantener al personal actualizado en las últimas tecnologías es esencial. Este módulo no solo cubre el uso actual de variadores de frecuencia, sino que está diseñado para adaptarse a futuras innovaciones, asegurando que ILUSOL RENOVA se mantenga a la vanguardia y fortalezca su sostenibilidad y eficiencia operativa.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un módulo de entrenamiento de equipos de automatización industrial para el control de motores trifásicos mediante variadores de frecuencia para los laboratorios de la empresa ILUSOL RENOVA.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un módulo de entrenamiento para la simulación del proceso de automatización industrial a través de configuración de variadores de frecuencia y procedimientos de control.
- Implementar el módulo demostrativo por medio de la integración de sistemas mecánicos y electrónicos para el uso eficiente del mismo en entornos controlados.
- Proporcionar material de capacitación a través de guías técnicas para facilitar la educación del personal y la aplicación del conocimiento adquirido en proyectos futuros de la empresa.

CAPÍTULO I

MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

La automatización industrial ha transformado significativamente los procesos productivos, mejorando la eficiencia y reduciendo costos operativos. En este contexto, el desarrollo de módulos de entrenamiento se vuelve esencial para capacitar a los profesionales en el uso de tecnologías avanzadas, como los variadores de frecuencia para el control de motores trifásicos. Este capítulo aborda los conceptos, características fundamentales y el contexto de desarrollo de cada uno de los componentes esenciales del proyecto de titulación.

1.1 Antecedentes

La incorporación de variadores de frecuencia (VFD) en entornos industriales ha revolucionado la automatización, permitiendo un control preciso de la velocidad y torque de motores eléctricos. Estos dispositivos se han vuelto esenciales para mejorar la eficiencia energética y optimizar el rendimiento de máquinas en sectores como la manufactura, la industria alimentaria y la construcción. Los VFD regulan la frecuencia y voltaje del suministro de energía, ajustando la velocidad del motor según las necesidades operativas, lo que permite reducir el consumo eléctrico y minimizar el desgaste de los componentes, extendiendo su vida útil y reduciendo el mantenimiento necesario [1].

El uso de VFD ofrece un mayor control sobre los procesos productivos al adaptarse a variaciones en la carga de trabajo, lo cual es especialmente útil en aplicaciones que requieren ajustes dinámicos, como en los sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado, y en equipos de bombeo industrial. Este tipo de automatización contribuye significativamente a la reducción de los costos operativos y mejora la sostenibilidad al disminuir el impacto ambiental de los procesos [3].

La capacitación del personal es clave para maximizar los beneficios de los VFD. Una formación adecuada en el manejo y configuración de estos dispositivos ayuda a los técnicos y operadores a utilizar sus funciones avanzadas de manera eficiente, logrando un mejor rendimiento en sistemas industriales complejos. Organizaciones como Phase Technologies han resaltado la importancia de formar a los equipos en la configuración y mantenimiento de VFD, subrayando que una adecuada

preparación reduce los errores, mejora la seguridad y aumenta la competitividad de las empresas en mercados cada vez más tecnificados [4].

1.2 Automatización industrial

La automatización, basada en tecnologías como robots industriales, controladores lógicos programables (PLC) y variadores de frecuencia (VFD), ha transformado los procesos industriales al mejorar la eficiencia y reducir la intervención humana. Esto ha sido clave en el desarrollo de fábricas inteligentes dentro del marco de la Industria 4.0. Además de incrementar la seguridad al minimizar riesgos para los trabajadores y el desgaste de equipos, la capacitación técnica resulta esencial para optimizar su rendimiento y adaptar las instalaciones a futuros avances tecnológicos, como destaca Phase Technologies [6].

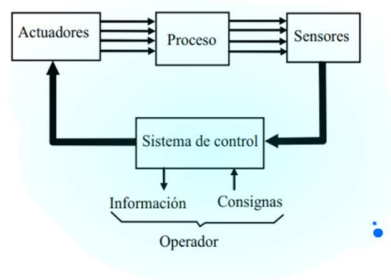


Figura 1. Estructura de un proceso automatizado [8]

1.2.1 Tipos de procesos de automatización industrial

1.2.1.1 Automatización de procesos continuos

En este tipo de automatización, los procesos de producción no se detienen y operan de manera constante, como en la producción de productos químicos, petróleo, alimentos y bebidas. Los sistemas controlan variables como temperatura, presión, flujo y nivel de manera continua para garantizar que el proceso se mantenga dentro de los parámetros deseados. La automatización de procesos continuos garantiza una operación constante, logrando altos estándares de precisión y estabilidad en la producción [25].

1.2.1.2 Automatización de procesos discretos

Los procesos discretos son aquellos que involucran la fabricación de productos en unidades individuales o lotes, como la producción de automóviles, electrodomésticos o componentes

electrónicos. Este tipo de automatización utiliza máquinas, robots y controladores programables (PLC) para realizar operaciones como ensamblaje, inspección y empaque. En la automatización de procesos discretos, los sistemas están configurados para ejecutar tareas repetitivas con gran precisión y adaptabilidad, facilitando la fabricación de lotes pequeños o productos personalizados [27].

1.2.1.3 Automatización flexible (FMS)

La automatización flexible se refiere a la capacidad de un sistema para adaptarse rápidamente a cambios en los productos fabricados o en el proceso de producción. Esto es particularmente importante en la manufactura moderna, donde las líneas de producción deben ser capaces de ajustarse a diferentes configuraciones sin tiempos de inactividad largos. La automatización flexible permite a las empresas ajustarse rápidamente a las fluctuaciones del mercado, optimizando la eficiencia y disminuyendo los costos asociados con los cambios en la producción [24].

1.2.2 Ventajas de la automatización industrial

Los procesos de automatización industrial ofrecen numerosas ventajas, como la mejora en la eficiencia, la reducción de errores humanos, el incremento de la seguridad laboral y la reducción de costos operativos a largo plazo. Además, contribuyen a una mayor precisión y consistencia en la producción, lo que resulta en productos de mayor calidad. La automatización de procesos industriales facilita la fabricación de bienes con mayor rapidez y precisión, lo que mejora la competitividad de las empresas en un entorno global [31].

1.2.3 Desafíos de la automatización industrial

A pesar de sus beneficios, la automatización industrial también presenta desafíos, tales como la alta inversión inicial en tecnología, la necesidad de personal capacitado para operar y mantener los sistemas, y la resistencia al cambio dentro de las organizaciones. Aunque la integración de tecnologías avanzadas en la automatización puede resultar compleja y costosa, los beneficios a largo plazo, como la disminución de los costos operativos y la optimización de la calidad, suelen justificar la inversión [27].

1.3 Redes y Protocolos de Comunicación Industrial

Las redes y protocolos de comunicación industrial son sistemas esenciales que permiten la interconexión y transmisión de datos confiables y rápidos entre dispositivos en entornos

industriales. Incluyen protocolos como Modbus, Profibus y Ethernet/IP, que facilitan la integración de controladores, sensores y actuadores. Estas redes están diseñadas para ambientes que requieren alta robustez, confiabilidad y tiempos de respuesta en tiempo real, y se clasifican en niveles como el de campo (sensores y actuadores), control (SCADA) y gestión (supervisión y toma de decisiones) [10]. Redes como Ethernet industrial, con variantes como PROFINET y EtherCAT, Fieldbus (Modbus y Profibus) y redes inalámbricas (WirelessHART, ISA100.11a), son ejemplos de soluciones adaptadas a las exigencias de la automatización industrial [11].

Según Nóbrega y Cabral, estas redes satisfacen necesidades de robustez, baja latencia y confiabilidad en entornos adversos [12], y permiten la interoperabilidad de sistemas distribuidos que controlan y supervisan procesos industriales en tiempo real. Esto optimiza la eficiencia, reduce tiempos de respuesta y mejora la operación sincronizada de sistemas complejos. Además, los avances en comunicación industrial e inteligencia artificial han potenciado el control y monitoreo remoto, consolidando estas redes como la base técnica para la supervisión y control en plantas industriales [13].

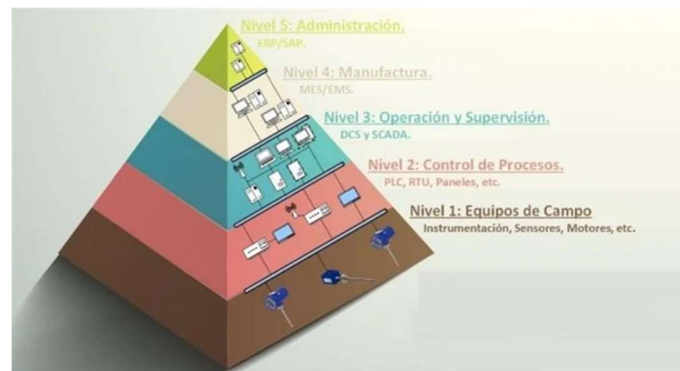


Figura 2. Pirámide de automatización [9]

1.4 Controladores Lógicos Programables (PLC)

Los PLC son dispositivos de control que ejecutan instrucciones preprogramadas para gestionar y coordinar el funcionamiento de las máquinas y equipos en una línea de producción. Los PLC monitorean las señales de los sensores y activan los actuadores según la lógica de control establecida. Debido a su flexibilidad y robustez, los PLC son uno de los componentes más utilizados en la automatización industrial [26].



Figura 3. PLC [70]

1.5 Interfaces Hombre-Máquina (HMI)

Las interfaces HMI son dispositivos o sistemas que permiten la interacción entre los operadores y los sistemas de automatización. A través de estas interfaces, los operarios pueden supervisar el estado del proceso, ingresar comandos manuales y ajustar parámetros. Las HMI son cruciales para el monitoreo y ajuste del sistema, facilitando la supervisión y el mantenimiento de los equipos [28].



Figura 4.HMI [72]

1.6 Motores Trifásicos

Los motores trifásicos son dispositivos electromagnéticos que convierten la energía eléctrica en energía mecánica mediante el uso de un sistema de corriente alterna (CA) de alimentación trifásica. Este tipo de motor es ampliamente utilizado en la industria debido a su eficiencia, fiabilidad y capacidad para operar a altas cargas sin problemas significativos de sobrecalentamiento o pérdida de potencia.

Los motores trifásicos son esenciales en aplicaciones industriales que requieren un rendimiento robusto y continuo, como en bombas, ventiladores, y sistemas de transporte [33].



Figura 5. Motor 0.75 HP

1.6.1 Características principales

Los motores trifásicos presentan diversas características que los hacen ideales para su uso en entornos industriales. Una de las características más destacadas de los motores trifásicos es su capacidad para entregar un par motor constante y eficiente, lo que asegura un arranque suave y un funcionamiento estable a lo largo del tiempo. Además, estos motores tienen una mayor densidad de potencia, lo que significa que pueden entregar más energía en un tamaño más compacto. También son conocidos por su durabilidad, ya que están diseñados para soportar condiciones de trabajo exigentes y prolongadas.

1.6.2 Tipos de Motores Trifásicos

Existen varios tipos de motores trifásicos según su construcción y funcionamiento, cada uno con características y aplicaciones específicas, siendo los más comunes los motores de inducción (asíncronos) y los motores síncronos. La selección del tipo de motor trifásico adecuado depende de las necesidades específicas de cada aplicación. Mientras que los motores de inducción se adaptan mejor a cargas que requieren arranques y par de baja complejidad, los motores síncronos son preferibles en sistemas donde el control de la velocidad y la eficiencia energética son prioritarios [52].

1.6.2.1 Motores Síncronos

Los motores trifásicos síncronos son máquinas eléctricas que funcionan en sincronía con la frecuencia de la red de suministro eléctrico. A diferencia de los motores de inducción, los motores síncronos operan a una velocidad constante, independientemente de la carga, ya que el rotor gira

a la misma velocidad que el campo magnético del estator, sin deslizamiento [54]. Este tipo de motor es ampliamente utilizado en aplicaciones donde se requiere precisión en la velocidad, como en la generación de energía, sistemas de transmisión, y maquinaria industrial de alta precisión. Sin embargo, sus desventajas principales son que: necesita de un sistema de arranque adicional, costos más elevados y mayor complejidad en comparación con motores de inducción y mayor necesidad de mantenimiento en los motores de rotor devanado.

1.6.2.2 Motores Asíncronos (de inducción)

Los motores trifásicos de inducción son ampliamente utilizados en la industria por su construcción simple, bajo costo de mantenimiento y capacidad de operar en condiciones adversas [53]. Funcionan mediante la inducción de corriente en el rotor por el campo magnético del estator, operando de forma asíncrona, es decir, la velocidad del rotor nunca iguala al campo magnético, lo que genera torque y movimiento [54]. Aunque requieren equipos adicionales, como variadores de frecuencia, para un control preciso de velocidad, destacan por su resistencia y eficiencia energética [55]. Su principio de funcionamiento se basa en la inductancia electromagnética: el campo magnético giratorio del estator induce corrientes en el rotor, generando un deslizamiento esencial para la transferencia de energía [56].

1.7 Variadores de frecuencia (VFD)

Los variadores de frecuencia permiten controlar la velocidad y el torque del motor ajustando la frecuencia de la alimentación. Esto mejora la eficiencia energética y permite adaptar el rendimiento del motor a las necesidades de la carga en tiempo real, reduciendo el desgaste y optimizando el consumo eléctrico. Los VFD son fundamentales para regular la velocidad de motores trifásicos, especialmente en escenarios que demandan un control preciso del torque y alta eficiencia [64].

Los variadores de frecuencia (VDF) son dispositivos electrónicos que permiten el control preciso de la velocidad y el torque de los motores eléctricos de corriente alterna, ajustando la frecuencia y el voltaje de la alimentación suministrada al motor lo que es esencial para aplicaciones que requieren control preciso de velocidad y par, como bombas, ventiladores, cintas transportadoras, y sistemas de automatización industrial, por lo que optimiza su rendimiento y eficiencia energética. Estos son dispositivos clave para el control eficiente de motores eléctricos, especialmente en aplicaciones industriales.

Su capacidad de ajuste de velocidad, ahorro energético y mejora de la durabilidad de los motores los convierte en una solución ideal para entornos de carga variable como ventiladores, bombas y compresores. Sin embargo, la implementación adecuada y el control de los armónicos son necesarios para maximizar sus beneficios y minimizar impactos en la red eléctrica [54].



Figura 6. VDF [68]

1.7.1 Componentes principales de un VDF

Cada componente de un VDF cumple un rol crítico para asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo y del motor. Desde el control preciso de la velocidad hasta la protección y durabilidad del sistema, los variadores de frecuencia son componentes fundamentales en la automatización y eficiencia energética de las aplicaciones industriales. Los principales componentes de un VDF son:

1.7.2 Unidad de control (Controlador)

La unidad de control es el "cerebro" del VFD y regula el funcionamiento del inversor para que este produzca la frecuencia y voltaje adecuados, en función de los parámetros definidos por el operador o el sistema. Según Jones [65], el sistema de control no solo facilita la programación de la velocidad y el torque, sino que también incorpora funciones de protección, supervisión y comunicación con otros sistemas industriales.

1.7.3 Panel de control o interfaz de usuario

La mayoría de los VDF cuentan con un panel de control o una interfaz de usuario que puede ser una pantalla simple o un sistema más avanzado, donde se configuran parámetros como la velocidad, la aceleración, la desaceleración, el tipo de control de torque, entre otros. También proporciona información en tiempo real sobre el estado del VDF y del motor, lo que facilita el monitoreo y ajuste del equipo [54].

1.8 Placa de montaje

Una placa de montaje es un componente mecánico diseñado con una superficie plana, generalmente fabricada en metal o plástico resistente, que permite fijar de manera segura y eficiente diversos componentes eléctricos. Este elemento no solo facilita la instalación de dichos componentes, sino que también les proporciona un soporte estable y confiable, contribuyendo a la organización y protección de los sistemas eléctricos. Su diseño versátil permite adaptarse a una amplia gama de aplicaciones en distintos entornos industriales y domésticos. En la Figura 7 se muestra un ejemplo ilustrativo de este tipo de placa [19].



Figura 7. Tol galvanizado [20]

CAPITULO II

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y METODOLOGÍA

Se evaluarán distintas alternativas para abordar la necesidad derivada de la deficiencia en las prácticas orientadas a la industria, ocasionada por la ausencia de módulos de control. Asimismo, se llevará a cabo un análisis cuantitativo de dichas alternativas con el objetivo de determinar la opción más adecuada.

2.1. Descripción y análisis de alternativas

El control de motores trifásicos mediante variadores de frecuencia es esencial en los sistemas modernos de automatización industrial, ya que permite optimizar el rendimiento, reducir el consumo energético y prolongar la vida útil de los equipos. Sin embargo, la ausencia de un módulo de entrenamiento específico plantea retos significativos para los operadores y técnicos. Este análisis evalúa alternativas viables para suplir esta carencia, considerando la eficiencia, accesibilidad y aplicabilidad práctica de cada opción.

2.2 Identificación y evaluación de Alternativas

2.2.1 Compra de simuladores virtuales

Usar software que simule escenarios reales de control de motores trifásicos con variadores de frecuencia, reduciendo la dependencia de equipos físicos.

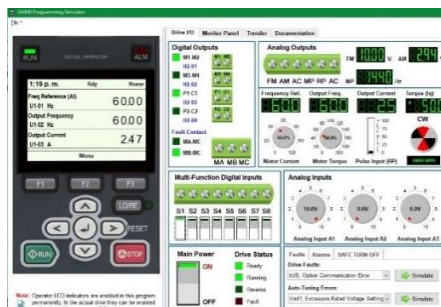


Figura 8. Virtual VFD [21]

En la tabla 1 se muestran las ventajas y desventajas de la compra de simuladores previamente mencionado.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la compra de simuladores de VDF

Ventajas	Desventajas
Bajo costo y accesibilidad inmediata.	Experiencia limitada en manejo de equipos reales.
Permite aprendizaje a distancia y sin riesgos.	Dependencia de habilidades digitales previas.
Fácil actualización del software con nuevas funcionalidades.	Requiere equipos de cómputo con especificaciones adecuadas.
Puede ser usado por múltiples usuarios simultáneamente.	La simulación puede no cubrir todas las condiciones reales de operación.

2.2.2 Compra de módulo de entrenamiento de VDF

Invertir en equipos compactos diseñados para la formación práctica, que incluyan un variador y motor trifásico.



Figura 9. Módulo de entrenamiento de VDF [7]

Una pequeña breve descripción de lo que contiene este módulo dispone de su elemento principal el cual es un variador de frecuencia de la marca Schneider con el modelo Schneider Electric Altivar 61, el cual es un variador diseñado para aplicaciones de bombeo y ventilación. Ofrece eficiencia energética mejorada, reducción de tensión mecánica en el motor y control de velocidad preciso. [40]



Figura 10. VDF Schneider Electric Altivar 61

Y un Motor Trifásico 1 HP 1750 RPM 208-230/460 V de la WEG, en motor trifásico ofrece una potencia de 1 HP y una velocidad de 1750 RPM. Cuenta con una carcasa de hierro fundido y es ideal para aplicaciones industriales que requieren robustez y fiabilidad. [41]



Figura 11. Motor WEG de 1HP

En la tabla 2 se muestran las ventajas y desventajas del módulo.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de comparar de un módulo de entrenamiento de VDF

Ventajas	Desventajas
Ofrece experiencia directa con equipos.	Requiere inversión inicial significativa.
Portabilidad y uso flexible.	Mantenimiento y actualización de los equipos.
Permite el aprendizaje de procedimientos reales de instalación y configuración.	Riesgo de desgaste o daño durante el uso continuo.

Fácil integración con otros equipos o módulos didácticos.

Limitación en el número de usuarios que pueden practicar simultáneamente.

Limitación de la integración de nuevas tecnologías y prácticas

2.2.3 Fabricación del módulo de entrenamiento con diseño estructural simple.

El desarrollo del módulo propuesto en esta investigación permite no solo el control preciso de la velocidad y el torque, sino también una mejora en la eficiencia energética y una reducción en el desgaste de los equipos industriales, aspectos clave para la sostenibilidad y el rendimiento operativo. Desde una perspectiva pedagógica, el desarrollo de módulos de entrenamiento basados en prácticas con equipos reales, como los VDF, es una estrategia de aprendizaje experiencial que favorece el entendimiento profundo y aplicado de conceptos teóricos complejos, además de fomentar habilidades de solución de problemas y análisis crítico.

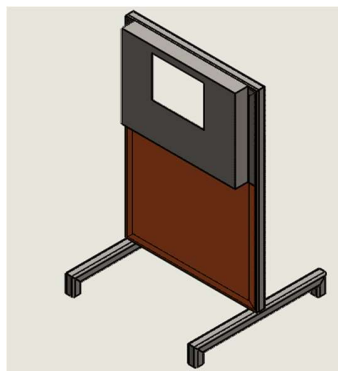


Figura 12. Propuesta de diseño

La empresa proporciona los siguientes equipos para realizar la fabricación del módulo:

- Variador de frecuencia SINNE EM730-1.5-2B
- Motor Siemens trifásico de 0.75HP
- HMI delta DOP Series WQ103
- PLC Delta DVP20SX2

En la tabla 3 se muestran las ventajas y desventajas del módulo.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de la fabricación de un módulo de entrenamiento de VDF

Ventajas	Desventajas
Ofrece una experiencia integral con equipos reales y simulaciones prácticas.	Requiere una inversión inicial significativa en diseño, construcción e instalación.
Permite personalizar los ejercicios según las necesidades específicas de cada usuario.	Necesidad de personal capacitado para la operación y mantenimiento del módulo.
Disminuye la dependencia de recursos externos o de terceros.	Puede tener costos recurrentes de actualización tecnológica.
Facilita el aprendizaje en un entorno seguro y controlado.	Limitado a las configuraciones y capacidades específicas del módulo desarrollado.
Aumenta la capacidad de entrenar a múltiples usuarios dentro de la organización de manera simultánea.	

2.2.4 Fabricación del módulo en una caja de panel de metal.

Esta alternativa se encuentra entrelazada con la alternativa anterior; sin embargo, se propone realizar el módulo en una caja de panel similar a la que se muestra en la Figura 13, con el fin de tener otro punto de vista en cuanto a su fabricación.



Figura 13. Caja de panel de control [29]

En la tabla 4 se pueden visualizar las ventajas y desventajas que se tienen al implementar el módulo de esta manera.

Tabla 4. Ventajas y desventajas al implementar el módulo en una caja de panel

Ventajas	Desventajas
Diseño más estético.	Peso elevado
Posee mayor equilibrio.	Ocupa mayor espacio
Estructura normalizada.	Costo elevado
Módulo didáctico y de fácil manejo	

2.3 Análisis Cuantitativo de Alternativas

La evaluación cuantitativa muestra que una combinación de estrategias permite optimizar los recursos disponibles mientras se desarrollan competencias técnicas esenciales. Este enfoque mixto asegura resultados sostenibles y efectivos frente a la carencia de un módulo de entrenamiento específico para el control de motores trifásicos mediante variadores de frecuencia. Para cuantificar las alternativas, se consideran los siguientes criterios y se asigna una puntuación de 1 a 4 (siendo 1 el menor valor y 4 el mayor) en cada uno:

Tabla 5. Clasificación de alternativas

Alternativa	Costo	Accesibilidad	Experiencia Práctica	Escalabilidad	Nivel de aprendizaje	Total
Compra de simuladores virtuales de VDF	3	2	2	2	2	11
Compra de módulo de entrenamiento VDF	4	2	4	3	3	16
Fabricación del módulo de	2	4	4	3	4	17

entrenamiento
con diseño
estructural
simple.

Fabricación del módulo en una caja de panel de metal.	3	4	4	1	3	15
--	---	---	---	---	---	----

La implementación de simuladores virtuales tiene una puntuación alta en facilidad de implementación y escalabilidad, pero limitada en aplicabilidad práctica y nivel de aprendizaje práctico.

La adquisición de kits portátiles tiene un balance entre aplicabilidad práctica y nivel de aprendizaje, aunque con costos y mantenimiento que pueden limitar su adopción.

En cambio, el módulo de entrenamiento específico tiene una alta puntuación en nivel de aprendizaje y aplicabilidad práctica, equilibrando costos y escalabilidad, pero con requerimientos de inversión inicial y mantenimiento.

El análisis muestra que tanto la implementación de simuladores virtuales como el desarrollo de un módulo de entrenamiento específico obtienen los puntajes más altos debido a su combinación de costo razonable, aplicabilidad y beneficios en el aprendizaje. La decisión final dependerá de los recursos disponibles y los objetivos de capacitación de la organización.

2.4 Metodología

Las metodologías de investigación que se aplicarán en este proyecto están representadas en las siguientes fases:

- **Fase 1.** Se identifican las necesidades del módulo de entrenamiento, incluyendo características técnicas y funcionales de los equipos, procesos industriales a simular, presupuesto disponible y espacio físico. Además, se selecciona un software de simulación eléctrica adecuado, considerando capacidades, compatibilidad con equipos y costos.

- **Fase 2.** Se desarrolla un modelo virtual del módulo en el software de simulación, incluyendo conexiones eléctricas, parámetros de los componentes, y esquemas detallados. Se realizan simulaciones computacionales para analizar su comportamiento bajo diversas condiciones, identificando fallos potenciales. También se diseña el tablero de control con herramientas especializadas, optimizando la disposición de componentes y cumpliendo con normas de seguridad.
- **Fase 3.** Se arma el módulo físico siguiendo los diagramas y especificaciones, garantizando conexiones seguras y fijación adecuada de los componentes. Se ejecutan pruebas iniciales para validar su funcionamiento y la correspondencia con las simulaciones realizadas. Finalmente, se elaboran manuales técnicos y se prueban las funcionalidades del módulo con personal capacitado, evaluando su efectividad como herramienta de aprendizaje.

CAPITULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE ENTRENAMIENTO

En este capítulo se detallará el dimensionamiento de elementos tanto de la parte eléctrica como de la parte mecánica, con el fin de obtener las variables de diseño y la visualización de este mediante el diseño de los circuitos y la parte estructural del sistema para posteriormente aplicarlas en el montaje del módulo de entrenamiento para variadores de frecuencia.

3.1 Cálculos y selección de elementos electrónicos

3.1.1 Selección de breaker bifásico

Para determinar el valor del breaker bifásico a utilizar, es necesario calcular la potencia total consumida por todos los dispositivos eléctricos y electrónicos presentes en el sistema, tal como se detalla en la tabla 6:

Tabla 6. Potencia consumida por el sistema [68]

Dispositivo	Cantidad	Potencia
Fuente de alimentación	1	75 W
Motor	1	559.5 W
Potencia Total		634.5 W

Después se procede a calcular la intensidad de corriente que consume el motor que se encuentra conectado en conexión estrella, el cual a través del variador se calcula con la ecuación 1:

$$I_{\text{Variador}} = \frac{P_{\text{motor}}}{V \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \phi} \quad (1)$$

Donde

$$P_{\text{motor}} = 559.5 \text{ W}$$

$$V = 220$$

$$\cos \phi = 0.79$$

Sustituyendo con la ecuación 1:

$$I_{\text{Variador}} = \frac{0.5595 \text{ kVA}}{220 \text{ V} * \sqrt{3} * \cos 0.79}$$
$$I_{\text{Variador}} = \frac{559.5}{381.01} \approx 1.7 \text{ A}$$

Después se procede a calcular la intensidad de corriente eléctrica de la Fuente de alimentación mediante la ecuación 2:

$$P_{\text{Fuente}} = V * I_{\text{Fuente}} \quad (2)$$

$$I_{\text{Fuente}} = \frac{P_{\text{Fuente}}}{V}$$

$$I_{\text{Fuente}} = \frac{75 \text{ W}}{220 \text{ V}}$$

$$I_{\text{Fuente}} \approx 0.34 \text{ A}$$

Sumamos ambas corrientes para tener el consumo total del sistema

$$I_{\text{Total}} = I_{\text{Variador}} + I_{\text{Fuente}}$$

$$I_{\text{Total}} = 1.7 \text{ A} + 0.34 \text{ A}$$

$$I_{\text{Total}} = 2.04 \text{ A}$$

El breaker bifásico más cercano estándar sería de **6 A**, ya que cubre holgadamente los 2.04 A calculados.

3.1.2 Selección de fusibles de protección

Para determinar el valor de fusibles de protección a utilizar, es necesario calcular la potencia total consumida por todos los dispositivos eléctricos y electrónicos presentes en el sistema, tal como se detalla en la tabla 7:

Tabla 7. Potencia consumida por el sistema [70]

Dispositivo	Cantidad	Potencia
Pantalla HMI Delta de 4"	1	7.2 W
PLC Delta DVP-20SX2	1	12 W
Potencia Total		19.2 W

Mediante el uso de la ecuación 2 obtenemos la corriente del sistema:

$$I = \frac{19.2}{24} = 0.8 \text{ A}$$

Según Salvatierra, la capacidad nominal del fusible eléctrico debe estar comprendida entre 1,25 veces la corriente de la carga y la corriente máxima que el conductor puede manejar de forma segura [30].

Para ello se hace uso de la ecuación 3:

$$I_{\text{fusible}} \in [1.25 \cdot I_{\text{total carga}}, I_{\text{max. conductor}}] \quad (3)$$

Con los datos:

$I_{\text{Total carga}}=0.8 \text{ A}$, que es la suma de la corriente nominal del HMI y el PLC.

$I_{\text{Fusible}}=1.25 \cdot 0.8=1.0 \text{ A}$.

Por lo tanto, el fusible debe estar en el rango:

$$I_{\text{fusible}} \in [1.0\text{A}, 7.0\text{A}]$$

Con un conductor AWG 18 y una carga total de 0.8 A, se utilizan fusibles de 1 A para proteger individualmente la pantalla HMI y el PLC, cumpliendo criterios técnicos y protegiendo el cable.

3.2 Diseño de la circuitería para los diferentes componentes

3.2.1 Conexión de alimentación del Variador de Frecuencia

El variador de frecuencia SINEE Em730 tiene la capacidad de trabajar con dos y tres fases de alimentación en este caso lo realizaremos con dos fases de alimentación como lo muestra la figura 14:

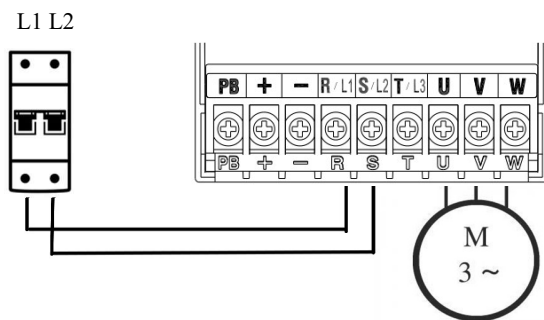
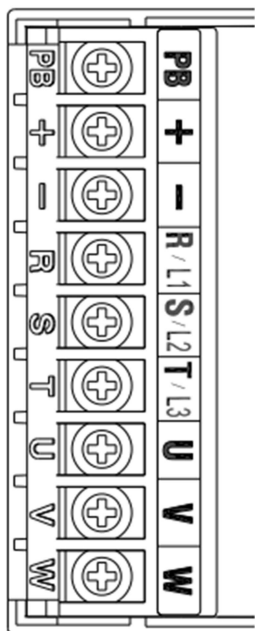


Figura 14. Conexión de alimentación de VDF

Es importante tomar en cuenta la función que tiene cada uno de los terminales con la finalidad de realizar las conexiones de manera adecuada, las descripciones de cada una de las funciones se encuentran detalladas en la tabla 8.

Tabla 8. Características conector de alimentación [68]

Descripción de terminales potencia de VDF



Pin	Función
PB	Terminales de resistencia de frenado
+	Terminales de bus DC
-	Terminales de bus DC
R/L1	Terminales de entrada de corriente alterna trifásica
S/L2	Terminales de entrada de corriente alterna trifásica
T/L3	Terminales de entrada de corriente alterna trifásica
U	Terminales al motor
V	Terminales al motor
W	Terminales al motor

3.2.2 Conexión de alimentación PLC y HMI

El sistema de conexión diseñado para el módulo incluye la configuración específica de la alimentación de los equipos, asegurando su correcto funcionamiento y distribución energética. Este diseño permite una integración eficiente y organizada de los componentes, facilitando tanto el monitoreo como el mantenimiento del sistema. La disposición de las conexiones y la alimentación de los dispositivos se detalla en la Figura 15, donde se pueden observar los elementos involucrados en el esquema.

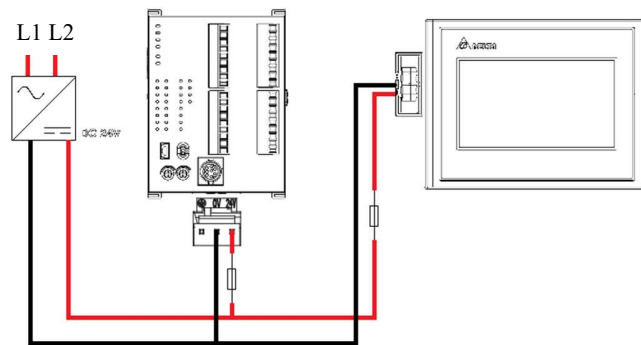


Figura 15. Diagrama de alimentación

3.2.3 Conexión maestro-esclavo de HMI, VDF y PLC

La conexión de este caso se realizará mediante bus RS-485 y protocolo MODBUS-RTU según describe la figura 16:

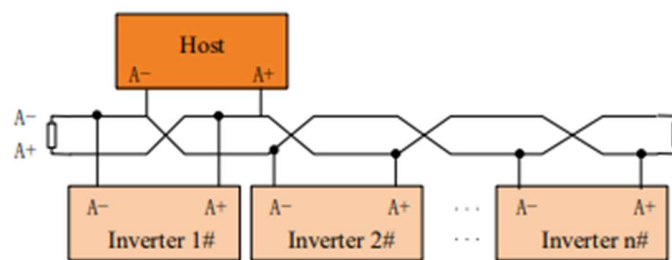


Figura 16. Red de comunicación con protocolo MODBUS-RTU y bus RS-485. [68]

Este tipo de configuración se caracteriza por su simplicidad y robustez, siendo ampliamente utilizada en aplicaciones industriales para la integración de dispositivos. El protocolo MODBUS-RTU es un estándar abierto que permite la comunicación entre diferentes equipos de automatización, facilitando la interoperabilidad entre dispositivos de distintos fabricantes. [68]

3.2.4 Diagrama de comunicación del sistema

En esta configuración, el HMI se establece como el maestro de la red, encargado de gestionar la comunicación y enviar comandos a los dispositivos esclavos. [71] Por su parte, el VDF y el PLC operan como esclavos, respondiendo a las solicitudes del maestro y proporcionando información relevante, como estados operativos o datos de proceso, como muestra la figura 17.

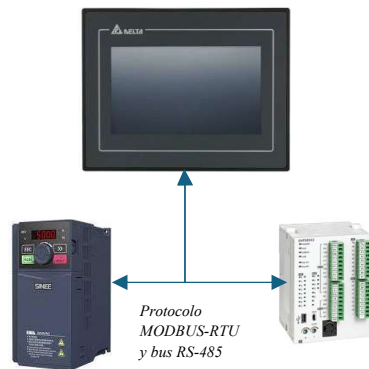


Figura 17. Diagrama de comunicación del sistema

3.2.5 Diagrama de conexiones de control entre PLC y Variador de Frecuencia

Con la comunicación establecida entre el PLC y el VDF, es posible implementar conexiones adicionales entre ambos dispositivos para optimizar su integración y funcionalidad, como se ilustra en la Figura 18.

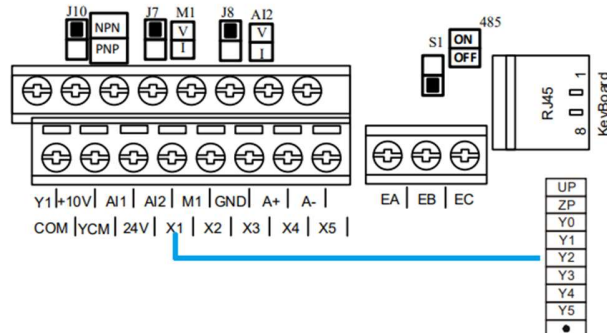


Figura 18. Conexión del Variador y el PLC

3.3 Análisis de cargas

Para la generación del diseño de la estructura del módulo se consideraron factores como la fuerza ejercida en la placa y la manera de estabilizarlo.

3.3.1 Cálculos estructurales

La estructura del módulo se realizó con tubo cuadrado de una pulgada con un espesor de 1.5 milímetros. Se calculó el factor de seguridad, considerando los esfuerzos generados conforme a las medidas detalladas en la Figura 19.

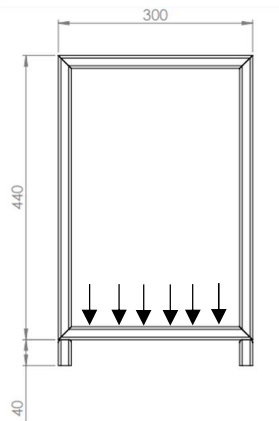


Figura 19. Medidas de la estructura

Primero punto se calcula el peso propio de la estructura con los datos otorgados por el proveedor, mostrados en la Figura 20.

Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13

Figura 20. Datasheet tubo cuadrado [35]

La masa de la estructura se determinará mediante una regla de tres para la cantidad de metros utilizados, en donde según el catálogo el peso del tubo es de 1.15 kilogramos por metro de tubo.

$$masa = m_{utilizados} * \rho_{tabla} \quad (4)$$

$$masa = 2.24(m) * 1.15\left(\frac{Kg}{m}\right)$$

$$masa = 2.57 Kg$$

Obteniendo el valor de la masa se calcula el peso correspondiente de la estructura.

$$\rho = m * g \tag{5}$$

$$\rho = 2.57 (Kg) * 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$$

$$\rho = 25.21 N$$

Donde:

- P= peso/fuerza

- m= masa

- g= gravedad

Además, la estructura cuenta con dos planchas, de tol galvanizado con un espesor de 1.4 milímetros de acero A36, por lo que a partir de la Figura 21 se determina la masa correspondiente para el área.

Espesor		Ancho		Largo		Peso Teórico
mm	pulg	mm	pie	mm	pie	Kg/ plancha
1.5	1/16"	1200	4	2400	8	33.91
2.0	5/64"	1200	4	2400	8	44.05
2.5	3/32"	1200	4	2400	8	55.55
2.9	1/8"	1200	4	2400	8	67.08
3.0	1/8"	1200	4	2400	8	67.08
		1500	5	3000	10	109.2

Figura 21. Datasheet de la plancha [36]

Se realiza el cálculo respectivo del peso de las planchas de tol utilizando los datos obtenidos en la Figura 21.

$$m_{Nominal} = \frac{peso_{Nominal} * \text{área}_{requerida}}{\text{área}_{tablas}} \tag{6}$$

$$m_{Nominal} = \frac{33.91 \left(\frac{Kg}{plancha}\right) * (0.0684 (m^2) + 0.084 (m^2))}{2.88 (m^2)}$$

$$m_{Nominal} = 1.79 Kg$$

Utilizando la ecuación 5, se obtiene un peso de 17.55 N.

Debido a que los pesos encontrados son parte de una misma estructura, se procede a realizar la suma correspondiente.

$$P_{estructura} = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad (7)$$

$$P_{estructura} = 25.21 N + 17.55 N$$

$$P_{estructura} = 42.76 N$$

Posteriormente, se calculó el peso del equipo montado en la estructura, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Cálculo de la masa total del equipo montado.

Producto	Cantidad	Peso (Kg)	Gravedad	Fuerza (N)
Fuente De Poder 24 VDC	1	0.29		2.84
PLC Delta Modelo DVP SX2	1	0.2		1.96
Porta Fusibles	2	0,06033	9.81	0.59
Breaker Riel	1	0,261		2.56
Variador de Frecuencia 1HP-0.75	1	1.2		11.77
HMI 4"	1	0.5		4.9
Fuerza Total				24.62 N

Se determinó que el elemento crítico de la estructura es la barra inferior señalada en la Figura 20, en donde ejerce una fuerza distribuida sobre ella. Sin embargo, para el análisis se trabajará con una fuerza puntual como se muestra en la Figura 22.

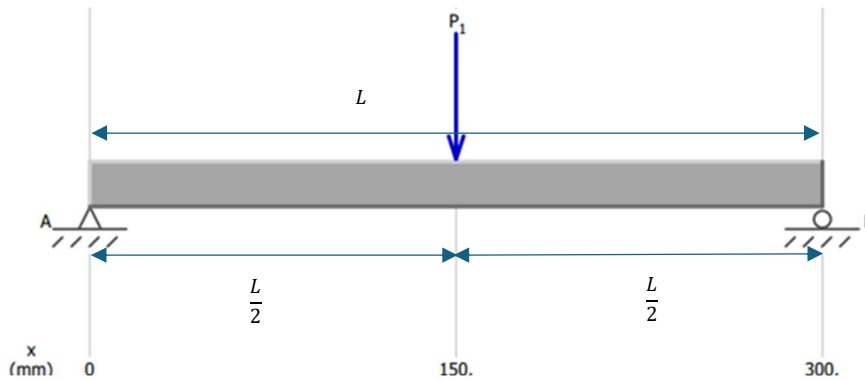


Figura 22. Diagrama de esfuerzos en el elemento crítico

Se calcula la fuerza total aplicada en el elemento crítico utilizando la ecuación 7, obteniendo de esta manera una fuerza total de 67.38 N.

Dado esto, se calculan el esfuerzo de flexión, en donde se calcula las reacciones a partir de la sumatoria de momentos.

$$\sum M_A = 0 \quad (8)$$

$$P_1 \left(\frac{L}{2} \right) - R_B (L) = 0$$

$$67.38 (N) \left(\frac{300 (mm)}{2} \right) - R_B (300 (mm)) = 0$$

$$R_B = 33.69 Nmm$$

Donde:

- P_1 = Fuerza total
- L = Longitud total de la barra
- R_B = reacción en B

Debido a que la fuerza se encuentra a la misma distancia de la reacción en A y la reacción en B, la reacción en A será la misma que la reacción en B.

En la figura 23 se realiza el diagrama de fuerzas en donde se obtiene que:



Figura 23. Diagrama de fuerzas cortantes.

A partir del diagrama de fuerzas se calcula el área para generar el diagrama de momentos, dando de esta manera lo siguiente:

$$\text{Àrea} = b * h \quad (9)$$

$$\text{Àrea} = 150(\text{mm}) * 33.69$$

$$\text{Àrea} = 5053.5$$

Donde:

- b = base

- h = altura

Los datos serán los mismos para el área 2, por lo que en la Figura 24 se muestra el diagrama de momentos.

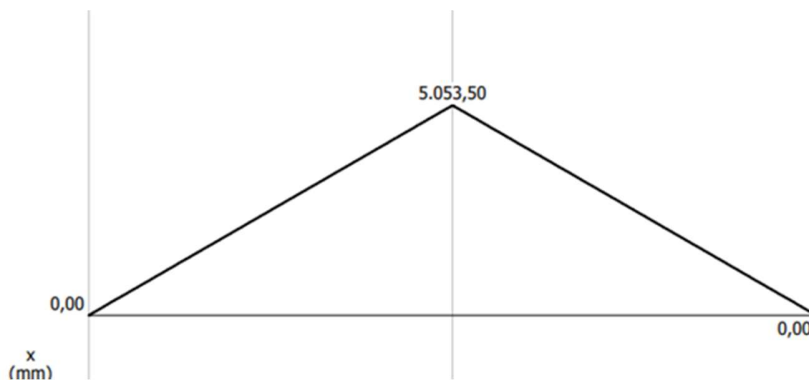


Figura 24. Diagrama de momentos.

De esta manera se procede a calcular el esfuerzo a la compresión, cabe aclarar que el valor de la

Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13

inerencia del tubo cuadrado se encuentra en la

Figura 20 con un valor de 0.69 cm⁴.

$$\sigma_{real} = \frac{M \cdot C}{I} \quad (10)$$

$$\sigma_{real} = \frac{5053.5 \text{ Nmm} \cdot 11 \text{ mm}}{6900 \text{ (mm}^4\text{)}}$$

$$\sigma_{real} = 8.05 \text{ MPa}$$

Se calcula el factor de seguridad teniendo en consideración que el material del tubo es el acero AISI A36 por lo que tiene una resistencia a la fluencia de $\sigma_y = 250 \text{ MPa}$.

$$F_S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{Real}} \quad (11)$$

$$F_S = \frac{250 \text{ MPa}}{8.05 \text{ MPa}}$$

$$F_S = 31.05$$

3.3.2 Cálculo de la sección mínima requerida

Para calcular la sección mínima requerida, se utilizó la fórmula adecuada, garantizando el cumplimiento de las condiciones de carga y seguridad estructural.

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{M}{S} \quad (12)$$

$$\sigma \approx 0.6 \sigma_y$$

$$S = \frac{M}{0.6 \sigma_y}$$

$$S = \frac{5053.5 \text{ Nmm}}{0.6 * (250\text{MPa})}$$

$$S = 0.03369 \text{ cm}^3$$

Con base en el valor de la sección mínima requerida, se puede asegurar que el un tubo cuadrado de acero A36 con dimensiones de 20 x 20 mm y un espesor de 2 mm, cuya sección mínima es de 0.69 cm³, asegura un factor de seguridad aceptable.

3.4 Simulación de la estructura

Para el desarrollo de la simulación se utilizó el software SolidWorks en donde se colocaron los esfuerzos que posee la estructura, como se puede observar en la Figura 25, en donde se analiza el elemento crítico.

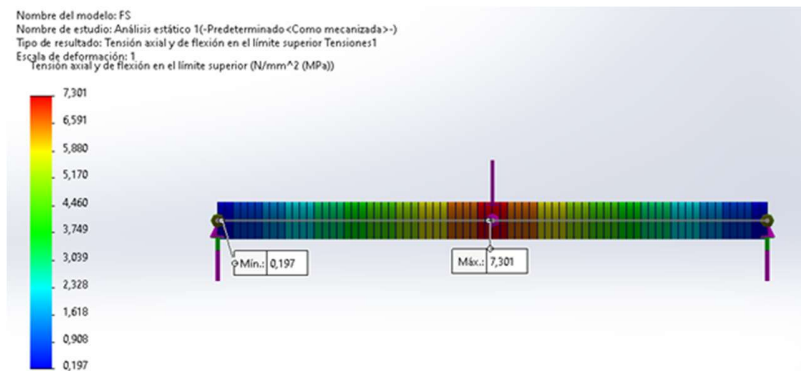


Figura 25. Análisis estructural.

Posteriormente, en la Figura 26 se muestra el factor de seguridad calculado por el software, donde muestra que el valor es de 34.

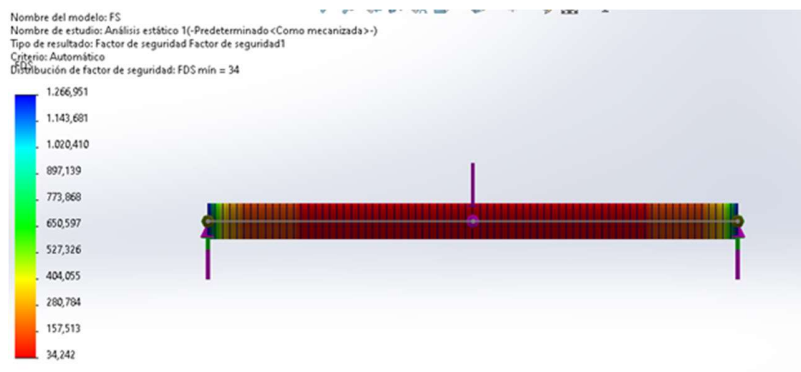


Figura 26. Factor de seguridad

A partir de esto, se compara con los valores calculados, donde el esfuerzo bajo flexión calculado es de 8.05 MPa y el simulado es de 7.3 MPa, por lo que se corrobora que el análisis matemático se realizó correctamente. Al igual con el factor de seguridad, ya que en el calculado se obtuvo un valor de 31.05 y el valor obtenido en la simulación es de 34, por lo que la estructura cuenta con el dimensionamiento correcto y apto para soportar los esfuerzos correspondientes. Posteriormente, se realizó la simulación de toda la estructura aplicando los esfuerzos correspondientes como se puede observar en la Figura 27.

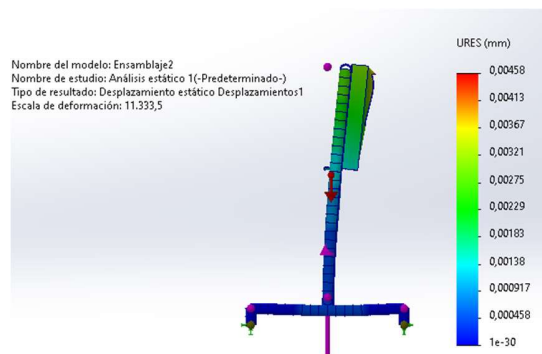


Figura 27. Análisis estructural completo

3.5 Montaje y puesta en marcha

Una vez diseñado y simulado, se procede con la construcción e implementación del módulo a partir de los elementos detallados en la tabla 10.

Tabla 10. Elementos utilizados en el módulo

Elementos	Equipos Descripción	Cantidad
PLC Delta	DVP20SX2	1
Fuente alimentación Delta	DRL-24V120W1EN	1
HMI Delta	DOP-103WQ	1
Variador de Frecuencia	EM730-1R5-2B	1
Motor	SIEMENS 0.75HP	1
Insumos y Materiales		
Cable UTP	Cable UTP Cat6 (8 Pares)	1 mtr
Estaño	Estaño de 0.8 mm	1 mtr
Pasta para Soldar	Pasta de suelda	1
Canaleta Ranurada	25x25 mm	1.2 mtrs
Riel Din	Riel DIN 35 mm Acero Perforado	0.5 mtrs
Alambre flexible AWG 18	Alimentación y conexiones	10 mtrs
Alambre Flexible AWG 14	Conexión de potencia motor	3 mtrs

Bornera de riel	Borneras de conexión para cable 12 – 22 AWG	6
Topes de riel	Separador de borneras	5
Fusibles	Fusibles de 4A	2
Prota Fusibles	Porta fusibles para Riel DIN	2
Breaker bifásico para riel	Breaker 220 V a 6A EBASEE EBS6BN	1
Enchufe 220V	Enchufe alimentación circuito de 220VAC	1
Tornillos M4 x 13mm	Tornillo autopercutor	18

Inicialmente se envió los planos que se pueden visualizar en los Anexos 1, 2 y 3 para que puedan realizar el proceso de armado de la estructura, corte y doblado de las planchas.

Posteriormente, las piezas llegaron por separado para proceder con el montaje de la estructura con la utilización de Tornillos autopercutores M4x13mm, como se muestra en la Figura 28.



Figura 28. Ensamble estructura

En la figura 29, se visualiza el proceso de montaje de cada uno de los dispositivos como se dimensionó en la simulación.



Figura 29. Montaje componentes

Teniendo los componentes colocados en el módulo, como se muestra en la figura 30, se procede a realizar el cableado de los equipos, a partir de los diagramas de conexión detallados por los fabricantes de los equipos.



Figura 30. Cableado de equipos

Finalmente, se pondrá en marcha el módulo, como se muestra en la figura 31 para realizar las pruebas de funcionamiento de acuerdo con las guías que se encuentran presentes en el Anexo 4.



Figura 31. Vista frontal del módulo de entrenamiento

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se realizará los análisis y exposición de los resultados obtenidos a partir de la implementación del módulo, con el fin de determinar la eficiencia del módulo de entrenamiento en cuanto a su operación y facilidad de manejo.

4.1 Análisis económico

A partir de los elementos utilizados en el montaje del módulo, se detallan los costos de material eléctrico, estructura y costos directos e indirectos por servicio

4.1.1. Costo estructura

Al ser un proyecto financiado por la Empresa, se solicitó realizar el diseño mecánico de la estructura para ser enviado a un aliado que se encarga de realizar el módulo de acuerdo con las especificaciones detalladas en los planos presentados en los anexos 1, 2 y 3. Este proceso ya incluye los gastos de materiales como: tubo estructural, plancha de acero A36 y pintura electrostática, dando como resultado un valor total de 150.00 \$.

4.1.2. Costo material eléctrico y electrónico

En la tabla 11 se puede observar los elementos eléctricos y electrónicos utilizados en el módulo con su respectivo precio.

Tabla 11. Costos materiales eléctricos y electrónicos

Análisis Financiero			
Componente	Cantidad	P. unitario (\$)	P. total (\$)
Canaleta ranurada	1	12.50	12.50
Riel DIN 35mm	1	3.75	3.75
Porta fusible	2	3.85	7.7
Breaker 2P 6 ^a	1	12.00	12.00
Paquete Terminal T/Puntera 18 AWG (100 u)	1	5.00	5.00
Cable flexible 18 AWG	20	0.2	4.00
HMI DOP-103WQ	1	300.20	300.20
Fuente DRL-24V120W1EN	1	53.90	53.90
Variador Monofásico 200 - 240 VAC 1hp-0.75	1	284.51	284.51
PLC Delta Modelo DVP SX2 8ED	1	330.00	330.00
Bornera Riel_2 Nivel 4mmi 30A 10AWG	10	0.65	6.50

Terminal Puntera Simple 18 Amar (100u)	1	2.32	2.32
Borneras de 4mm	6	0.65	3.9
		Subtotal	1023.28
		IVA (15%)	153.94
		Valor Total	1180.22

4.1.3. Costos de mano de obra directa

En la tabla 12 se muestran los costos de la mano de obra directa.

Tabla 12. Costo mano de obra directa

Análisis Financiero			
Componente	Cantidad	P. unitario (\$)	P. total (\$)
Ingeniería (horas)	240	6.00	1440.00
		Subtotal	1440.0
		IVA (15%)	216.00
		Valor Total	1656.00

4.1.4. Costos indirectos

En la tabla 13, se justifican los costos indirectos presentes en la fabricación del módulo de entrenamiento.

Tabla 13. Costos indirectos

Análisis Financiero			
Componente	Cantidad	P. unitario (\$)	P. total (\$)
Transporte y logística	1	20.00	20.00

Valor Total

20.00

4.1.5. Resumen de costos

En la tabla 14, se presenta el resultado total de los costos que se encuentran involucrados en el desarrollo del módulo.

Tabla 14. Resumen de costos

Resumen de costos	
Descripción	Valor general (\$)
Costo estructura	150.00
Costos materiales eléctricos y electrónicos	1180.22
Costo mano de obra directa	1656.00
Costos indirectos	20.00
Valor total	3006.22

4.2 Encuestas

Para poder conocer si el módulo cumple con ser amigable e intuitivo para los clientes de Ilusol Renova, se realizó una encuesta a los capacitados dividida en tres secciones: experiencia, calidad y mejora. Se puede ver las preguntas realizadas en el anexo 5.

4.2.1. Claridad del Módulo

El 100% de los encuestados encontró que el contenido expuesto en las guías fue claro, con un 80% calificándolo como "claro" y un 20% como "muy claro". Esto demuestra que las guías cumplen efectivamente su propósito de facilitar el aprendizaje.

4.2.2. Interfaz

En cuanto a la interfaz del módulo, el 100% de los participantes consideró que es intuitiva, distribuyéndose en un 80% como "intuitiva" y un 20% como "muy intuitiva". Este resultado destaca el diseño amigable y eficiente del sistema.

4.2.3. Utilidad del Módulo

Respecto a la utilidad del módulo para reforzar conocimientos previos sobre servomotores, el 40% la calificó como "muy útil" y el 60% como "útil". Esto indica que el módulo satisface las necesidades de aprendizaje y complementa el conocimiento de los usuarios.

4.2.4. Calidad de los Equipos

El 20% de los encuestados evaluó la calidad de los equipos como "totalmente satisfactoria" y el 80% como "bastante satisfactoria". Esto subraya que el módulo cumple ampliamente las expectativas técnicas, aunque podría optimizarse para alcanzar una percepción de excelencia total.

4.2.5. Documentación

Un 30% de los participantes calificó la documentación como "totalmente suficiente", mientras que un 70% la evaluó como "bastante suficiente". Aunque estos resultados son positivos, se identifica margen de mejora en términos de claridad y detalle.

4.2.6. Precisión del Módulo

Sobre las mediciones de torque, velocidad, el 30% de los usuarios indicó que el módulo siempre permitió realizar mediciones precisas, mientras que el 70% afirmó que generalmente lo hizo. Aunque se percibe un alto nivel de precisión, este aspecto podría mejorarse para brindar mayor confiabilidad.

4.2.7. Confiabilidad

La confiabilidad del módulo fue calificada como "excelente" por el 20% de los encuestados y como "muy buena" por el 80%. Esto evidencia que el módulo funcionó de manera consistente durante las sesiones prácticas.

4.2.8. Satisfacción General

En términos generales, el 30% de los usuarios se mostró "muy satisfecho" con la experiencia de aprendizaje ofrecida por el módulo, mientras que el 70% se declaró "satisfecho". Esto refleja una percepción altamente positiva.

4.2.9. Recomendación

El 50% de los participantes recomendaría "definitivamente" el módulo a otras personas, mientras que el otro 50% "probablemente" lo haría. Este nivel de recomendación subraya la efectividad del módulo como herramienta educativa.

El módulo de entrenamiento ha demostrado un impacto significativo en la formación técnica de los usuarios, destacándose por su claridad, intuitividad, utilidad y confiabilidad. Sin embargo, aspectos como la documentación y la precisión presentan oportunidades de mejora para alcanzar estándares de excelencia aún mayores. Con una alta satisfacción general y una tasa de recomendación del 100%, este módulo se consolida como una herramienta esencial para el aprendizaje y la capacitación técnica.

4.3 Mantenimiento

Se recomienda realizar los siguientes mantenimientos para prolongar la vida útil del módulo de entrenamiento.

➤ Mantenimiento previo al uso del módulo

Estas actividades deben realizarse antes de cada uso para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del módulo.

- Inspección visual:

Revisar las conexiones eléctricas entre el variador de frecuencia y el motor, asegurándose de que estén firmes y sin daños visibles (cables desgastados, flojos o expuestos).

Verificar la carcasa del variador y del motor, comprobando que no haya suciedad excesiva, golpes o daños mecánicos.

- Examen del variador de frecuencia:

Comprobar que el variador esté libre de acumulación de polvo en sus rejillas de ventilación y que no haya obstrucciones en el ventilador.

Inspeccionar los indicadores LED del variador para confirmar que no haya alarmas activadas antes de usar el sistema.

- Revisión del motor:

Inspeccionar el estado físico del motor, asegurándose de que no haya suciedad, vibraciones inusuales o ruido al encenderlo.

Verificar que no haya señales de sobrecalentamiento o restos de aceite/lubricante en la superficie del motor.

➤ Mantenimiento mensual

El mantenimiento mensual se centra en una revisión más profunda del módulo y la limpieza para prevenir fallos y optimizar su rendimiento.

- Revisión de conexiones eléctricas:

Comprobar la firmeza y estado de las conexiones del motor y del variador (tornillos de terminales, cables de alimentación y salida).

- Limpieza del variador de frecuencia:

Limpiar las rejillas de ventilación, el ventilador y la superficie del variador con aire comprimido seco y suave, evitando dañar los componentes internos.
Asegurarse de que no haya polvo acumulado en los disipadores de calor.

- Revisión del motor:

Inspeccionar la alineación del motor con el eje acoplado (si aplica).
Limpiar la carcasa y las rejillas del motor para eliminar polvo o residuos acumulados.
Revisar las conexiones de tierra del motor para garantizar su seguridad.

- Pruebas funcionales:

Ejecutar una prueba básica de arranque y parada del motor desde el variador para comprobar que responde correctamente.
Verificar que los parámetros configurados en el variador (frecuencia, corriente, velocidad) coincidan con las especificaciones del motor.

➤ Mantenimiento trimestral

Cada tres meses se deben realizar inspecciones y ajustes más detallados para garantizar la integridad del sistema.

- Inspección interna del variador:

Abrir el variador (siguiendo las recomendaciones del fabricante) para inspeccionar componentes internos, como condensadores, contactores y resistencias, verificando que no haya signos de quemaduras o corrosión.
Revisar el estado del ventilador y reemplazarlo si presenta desgaste excesivo o falla.

- Prueba de aislamiento del motor:

Realizar una prueba básica de aislamiento del motor, asegurándose de que el equipo esté completamente desconectado de la fuente de alimentación y cumpliendo con todas las medidas de seguridad requeridas. Si es posible, girar manualmente el rotor utilizando la mano, verificando que se mueva libremente sin obstrucciones. Esto permitirá confirmar que el rotor no está bloqueado o atascado. Durante esta

inspección, es fundamental asegurarse de que no existan restos de suciedad, daños mecánicos o elementos externos que puedan afectar el giro del rotor.

- Inspección del motor:

Inspeccionar los cojinetes del motor y aplicar grasa lubricante si es necesario (según el manual del fabricante).

Revisar los niveles de vibración del motor y corregir desequilibrios si los valores exceden los límites normales.

- Verificación de protecciones:

Probar los sistemas de protección del variador, como sobre corriente, sobre temperatura y sobrecarga, para confirmar que están operativos.

➤ Mantenimiento anual

El mantenimiento anual incluye una revisión exhaustiva y pruebas avanzadas del sistema completo.

- Mantenimiento completo del variador de frecuencia:

Sustituir componentes desgastados, como ventiladores o filtros de aire (si aplica). Realizar una limpieza interna detallada con aire comprimido seco. Verificar los módulos de potencia y las tarjetas electrónicas en busca de grietas, soldaduras débiles o componentes dañados.

- Inspección profunda del motor:

Desmontar el motor (si es necesario) para una limpieza interna y revisión detallada de bobinados.

Realizar pruebas avanzadas, como análisis de vibración, prueba de resistencia de los bobinados y prueba de corriente.

- Revisión de parámetros:

Comprobar y reajustar los parámetros del variador de frecuencia para garantizar que se adapten a las necesidades del motor y la carga.

- Actualización de software:

Si el variador incluye funciones programables, actualizar el firmware o software según las recomendaciones del fabricante.

➤ Indicaciones importantes

- Seguridad:

Desconecte siempre el equipo de la alimentación eléctrica antes de realizar cualquier actividad de mantenimiento.

Utilice equipo de protección personal (EPP), como guantes dieléctricos, gafas de seguridad y ropa aislante.

- Documentación:

Mantener un registro detallado de las actividades realizadas, indicando:

- Fecha.
- Actividades realizadas.
- Resultados de pruebas.
- Observaciones (problemas detectados, reparaciones realizadas, componentes reemplazados).

CONCLUSIONES

- Los cálculos realizados mediante el software han permitido determinar que el diseño simulado presenta un factor de seguridad mínimo de 34 en su componente más crítico, muy por encima del valor mínimo requerido de 1.5. Esto confirma que la estructura es robusta y segura para soportar las cargas impuestas durante su funcionamiento, previniendo posibles daños estructurales a largo plazo y garantizando una larga y prolongada vida útil del módulo.
- La implementación de este módulo ha demostrado un desempeño óptimo en sus operaciones, gracias al uso eficiente de una red de comunicación basada en el protocolo MODBUS-RTU y el bus RS-485, permitiendo la conexión de varios dispositivos en la misma red. Esta configuración establece una relación maestro-esclavo, donde el HMI actúa como maestro y el VDF y el PLC como esclavos, garantizando una comunicación segura y efectiva, incluso entre esclavos simultáneamente. Como resultado, el operador puede controlar de manera segura y sencilla los modos del VDF e integrar el PLC, lo que brinda la posibilidad de desarrollar nuevas prácticas de forma autónoma.
- La elaboración de guías prácticas, son esenciales para que los usuarios se familiaricen con el funcionamiento de los equipos, ya sea de forma individual o en conjunto, de manera segura y eficiente. Según estudios, el uso de guías estructuradas puede mejorar hasta en un 60% la comprensión técnica de los dispositivos y reducir en un 40% los errores operativos durante la fase de aprendizaje. Estas guías ofrecen prácticas definidas que no solo minimizan riesgos, sino que también permiten al usuario operar los equipos con mayor confianza y desarrollar nuevas aplicaciones según sus necesidades. Al combinar instrucciones claras con la integración de sistemas, se garantiza una comprensión más profunda, optimizando el rendimiento y fomentando un aprendizaje autónomo y seguro.

RECOMENDACIONES

- Considerar el uso de materiales más ligeros, como tubos cuadrados de otro tipo de aleación o material, para reducir el peso del módulo y facilitar su portabilidad, manteniendo al mismo tiempo la integridad estructural necesaria.
- Crear vínculos estratégicos con universidades, centros de formación técnica y empresas del sector industrial. Estas asociaciones permitirán compartir conocimientos, ampliar la accesibilidad del módulo a diversos públicos y generar nuevas oportunidades para su aplicación en entornos educativos y profesionales.
- Investigar la posibilidad de incluir dispositivos adicionales, como sensores inteligentes o interfaces de control avanzado. Esto permitirá aumentar la funcionalidad del módulo, mejorando su versatilidad y preparándolo para escenarios futuros relacionados con la automatización y la innovación tecnológica.

REFERENCIAS

- [1] Longvista, "The Importance of Frequency Converters in Pump Control," *Longvista*, [En línea]. Disponible: <https://longvista.ch>. [Accedido: 28-oct-2024].
- [2] Fluke, "Parte II. Optimización de la eficiencia del motor eléctrico," Fluke.com, 2 de noviembre de 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-cl/informacion/blog/comprobadores-de-aislamiento/optimizacion-de-la-eficiencia-del-motor-electrico-parte-2>. [Accedido: 18-dic-2024].
- [3] A. Kumar and P. Rathore, "HMI in the Context of IoT and Industry 4.0," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 102,350–102,359, Jun. 2019.
- [4] Longvista, "The Importance of Frequency Converters in Pump Control," *Longvista*, [En línea]. Disponible: <https://longvista.ch>. [Accedido: 28-oct-2024].
- [5] "El impacto del desbalance de voltaje," *Alltestpro.com*. [En línea]. Disponible en: <https://alltestpro.com/es/el-impacto-del-desbalance-de-voltaje/>. [Accedido: 19-dic-2024].
- [6] Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. German National Academy of Science and Engineering.
- [7] "Modulo Variador - Automatización Industrial y Robótica." *Automatización Industrial y Robótica*. Accedido el 24 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.grupoautocontrol.com/capacitaciones/modulo-variador-2/>
- [8] R. Sanchis Llopis, J. A. Romero Pérez y C. V. Ariño Latorre, *Automatización industrial*, Valencia: Publicacions de la Universitat Jaume I., 2010.
- [9] "COMUNICACIONES INDUSTRIALES: AVANZANDO HACIA EL MODELO 4.0 – ISA Sección Española". *ISA Sección Española – Asociación de ingenieros de automatización – Sección Española de ISA*. Accedido el 26 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible: <https://isa-spain.org/comunicaciones-industriales-avanzando-hacia-el-modelo-4-0/>
- [10] Brennan, R., & Jacob, A. (2018). *Industrial Communication Systems and Protocols for Automation and Control*. Springer.
- [11] Tse, W., & Chan, M. (2019). *Wireless Industrial Communication: Applications and Protocols*. Wiley.
- [12] Nóbrega, R., & Cabral, T. (2020). *Las redes de comunicación en la Industria 4.0: Integración y desafíos*. Ediciones Tecnológicas.

- [13] Galloway, B., & Hancke, G. P. (2013). Introduction to industrial control networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(2), 860-880.
- [14] Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*, 101, 1-12.
- [15] García, F., & González, J. (2017). *Redes y protocolos industriales: Fundamentos y aplicaciones en sistemas de automatización*. Editorial Académica.
- [16] Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2014). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- [17] Kang, M., Kim, T., & Park, J. (2016). Machine learning frameworks for predicting failures in industrial applications. *Procedia CIRP*, 57, 396-400.
- [18] Russell, S., & Norvig, P. (2016). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson.
- [19] KrausMuller, «KrausMuller | Fabricante de Materiais Elétricos,» 3xceler, 2024. [En línea]. Available: <https://krausmuller.com.br/es/placa-de-montaje/>. [Último acceso: 18 abril 2024].
- [20] *Plancha Galvanizadas – Reiproacero S.A.* (s.f.). Reiproacero S.A. – Importadora de Productos de Acero de Calidad : Machala Ecuador. <https://reiproacero.ec/m/producto/plancha-galvanizadas/>
- [21] Yaskawa Pillar Mexicana, "Simuladores de programación de variadores de frecuencia (VFD)," [En línea]. Disponible: https://www.yaskawa-pillar.mx/producto/control-de-motores_software-y-herramientas-vfd_simuladores-de-programacion. [Accedido: 26-dic-2024].
- [22] Wuest, T., Weimer, D., Irgens, C., & Thoben, K. D. (2016). "Machine learning in manufacturing: Advantages, challenges, and applications." *Production & Manufacturing Research*, 4(1), 23-45.
- [23] Schmidhuber, J. (2015). "Deep learning in neural networks: An overview." *Neural Networks*, 61, 85-117.
- [24] Groover, M. P. (2015). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Pearson.
- [25] Bolton, W. (2015). *Instrumentation and Control Systems*. Elsevier.
- [26] Rehg, J. A., & Kraebber, G. J. (2021). *Programmable Logic Controllers*. Pearson.
- [27] Mikell, G. (2014). *Industrial Control and Automation*. McGraw-Hill.

- [28] Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology*. Pearson.
- [29] Hebei Shouke Yuantuo Technology Co., Ltd. , «Caja de panel de control de disyuntor eléctrico de placa de distribución principal impermeable personalizada,» 03 Mayo 2024. [En línea]. [Último acceso: 11 septiembre 2024]
- [30] I. B. G. S. Cánepa, FUSIBLES, El Oro: INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO, 2022.
- [31] Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. (2015). "A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems." *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- [32] Li, S., Da Xu, L., & Zhao, S. (2020). The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243-259.
- [33] Gebrehiwet, M. (2017). *Electric Machines and Drives: Basic Principles, Applications, and Problems*. CRC Press.
- [34] Nasar, S. A., & El-Amin, M. (2015). *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications*. Academic Press.
- [35] DIPAC. "Tubo Estructural Cuadrado Negro - DIPAC". DIPAC. [En línea]. Available: <https://dipacmanta.com/producto/tubos/tubo-estructural/tubo-estructural-cuadrado-negro/>
- [36] Fiorella Representaciones S.A.C. "PLANCHA DE ACERO". Fiorella Representaciones S.A.C. [En línea]. Available: <https://www.fiorellarepre.com.pe/FichaTecnica/605020.pdf>
- [37] Khaled, A., Bandyopadhyay, S., & Biswas, S. (2017). "Optimization of efficiency in industrial motor systems." *IEEE Transactions on Industrial Applications*, 53(3), 2902-2911.
- [38] Bhattacharya, S., Kumar, A., & Chakrabarti, P. (2017). "Energy efficiency improvement in industrial motor systems." *Energy Efficiency*, 10(1), 21-36.
- [39] Bandyopadhyay, S., Biswas, S., & Khadem, M. (2019). "A review of industrial energy efficiency solutions for electric motor systems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 243-260.
- [40] Schneider Electric, "Altivar 61 Variable Speed Drive," [Online]. Available: <https://www.se.com/es/es/product-category/2900-variadores-de-frecuencia-trif%C3%A1sico-y-arrancadores/>. [Accessed: Jan. 09, 2025].

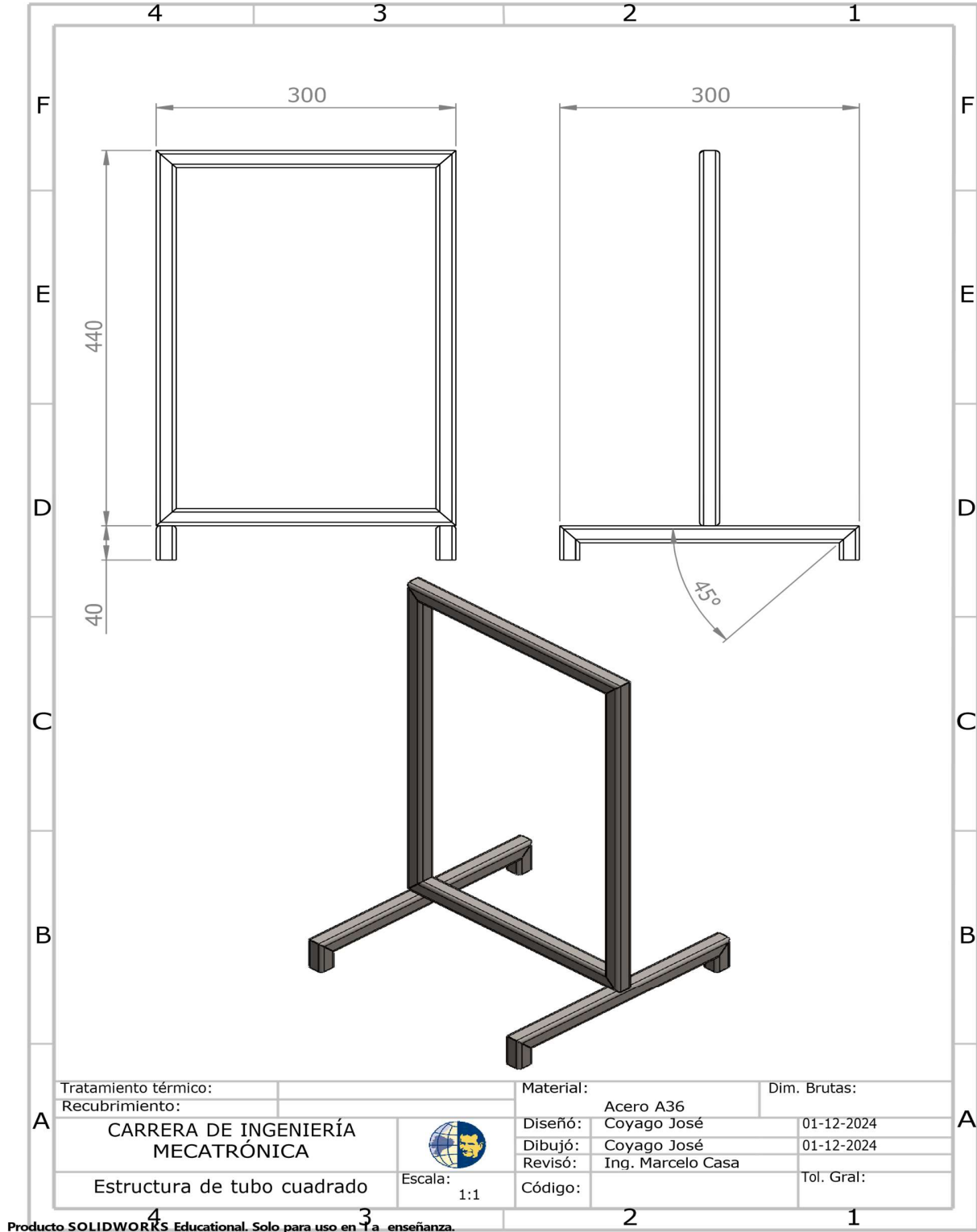
- [41] WEG, "1 HP 1750 RPM Trifásico Motor, 208-230/460 V," [Online]. Available: <https://mbeindustriales.com/product/motor-trifasico-1hp-1750rpm-208-230-460v-60hz-arm-143-5t-tefc-mca-weg-mod-00118et3em143tw/>. [Accessed: Jan. 09, 2025].
- [42] Hambley, A. R. (2017). *Electrical Engineering: Principles and Applications*. Pearson Education.
- [43] Sahoo, S., Mahapatra, S., & Pati, D. (2015). "Soft start of three-phase induction motor with reduced voltage." *International Journal of Electrical Engineering & Technology*, 6(5), 73-81.
- [44] Hossain, M., Rahman, M., & Mollah, M. (2017). "Performance analysis of soft starters for industrial motor applications." *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 12(4), 1092-1102.
- [45] Bandyopadhyay, S., Ray, P., & Chakrabarti, P. (2018). "Energy-efficient speed control of three-phase induction motors using variable frequency drives." *Energy Reports*, 4, 295-303.
- [46] Sahoo, S., Pradhan, R., & Pati, D. (2017). "Enhanced durability of three-phase induction motors: Factors and considerations." *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 12(3), 1045-1056.
- [47] Rahman, M., Alam, M., & Hossain, M. (2019). "Thermal protection and overload control in three-phase motors." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 106, 157-167.
- [48] Wang, X., Liu, Y., & Zhang, Y. (2020). "Optimization of cooling systems in three-phase induction motors to improve operational longevity." *Energy Conversion and Management*, 216, 112914.
- [49] Aslam, N., Bashir, M., & Khan, A. (2020). "Minimizing vibrations for improved durability of electric motors." *Journal of Mechanical Engineering*, 65(4), 452-464.
- [50] Khaled, A., Bandyopadhyay, S., & Biswas, S. (2018). "Prolonging motor lifespan through effective maintenance strategies." *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(5), 4500-4509.
- [51] Bhattacharya, S., Chakrabarti, P., & Ray, P. (2019). "Energy-efficient strategies for three-phase induction motor systems." *Energy Reports*, 5, 343-352.
- [52] Boldea, I., & Nasar, S. A. (2002). *Electric drives*. CRC Press.
- [53] Jordan, W. P., & Balmer, J. S. (2012). *Industrial Motor Control*. Cengage Learning.
- [54] Chapman, S. J. (2011). *Electric Machinery Fundamentals*. McGraw-Hill.

- [55] Hughes, A. (2006). *Electric motors and drives: Fundamentals, types and applications*. Elsevier.
- [56] Hubert, C. (2013). *Electric Machines: Theory, Operation, Applications, Adjustment, and Control*. Prentice Hall.
- [57] Bhattacharyya, A., Kumar, S., & Roy, B. (2019). "Industrial applications and control methods of three-phase induction motors." *IEEE Transactions on Industry Applications*, 56(5), 4320-4330.
- [58] Jones, M. (2020). "Cost-effective solutions in industrial motor applications." *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 25(2), 114-120.
- [59] Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. D. (2013). *Electric Machinery*. McGraw-Hill.
- [60] Nagrath, I. J., & Kothari, D. P. (2003). *Electric Machines*. Tata McGraw-Hill.
- [61] Jones, M. (2020). "Industrial motors and control of power factor in synchronous systems." *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 25(2), 114-120.
- [62] Bhattacharyya, A., Kumar, S., & Roy, B. (2019). "Applications and power factor correction in synchronous motors." *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(5), 4320-4330.
- [63] Hubert, C. (2013). *Electric Machines: Theory, Operation, Applications, Adjustment, and Control*. Prentice Hall.
- [64] Bhattacharyya, A., Kumar, S., & Roy, B. (2019). "Control and protection strategies for three-phase induction motors." *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(5), 4320-4330.
- [65] Jones, M. (2020). "Energy efficiency and industrial cost savings with variable frequency drives." *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 25(2), 114-120.
- [66] Bhattacharyya, A., Kumar, S., & Roy, B. (2019). "Variable Frequency Drives and energy savings in industrial applications." *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(5), 4320-4330.
- [67] S/A. "Variadores de frecuencia: Uso y beneficios en la Industria," *Suministros para la Industria*, 2023. [Online]. Available: <https://www.suministrosparalaindustria.com>.
- [68] SINEE. "EM730 General Variable Frequency Inverter." SINEE, 2024. [Online]. Available: <https://www.sineedrive.com>.
- [69] ElectricPluss. "Variadores de frecuencia SINEE." *ElectricPluss*, 2023. [Online]. Available: <https://www.electricpluss.cl>.

- [70] Delta Electronics, "DVP-SX2 Series PLC," Delta Industrial Automation, [en línea]. Disponible en: <https://industrialautomation.delta-emea.com>. [Accedido: 19-Oct-2024].
- [71] Delta Electronics, "Delta Programmable Logic Controllers," Delta Americas, [en línea]. Disponible en: <https://www.delta-americas.com>. [Accedido: 19-Oct-2024].
- [72] Delta, "DOP-100 Series," disponible en Delta Download Center.
- [73] Comina.MSc, I. E. (2022). Redes Industriales y Sistemas SCADA. Redes Industriales y Sistemas SCADA (pág. 22). Quito: Universidad Israel.
- [74] Hidalgo, A. I. (2021). Desarrollo de una plataforma IoT para la supervisión y control de procesos industriales de fabricación inteligente en tiempo real a través de la nube. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- [75] "Variadores de frecuencia: Uso y beneficios en la Industria". Suministros Industriales en Electricidad y Automatización. Accedido el 12 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible: <https://suministrosparalaindustria.com/que-son-los-variadores-de-frecuencia/>

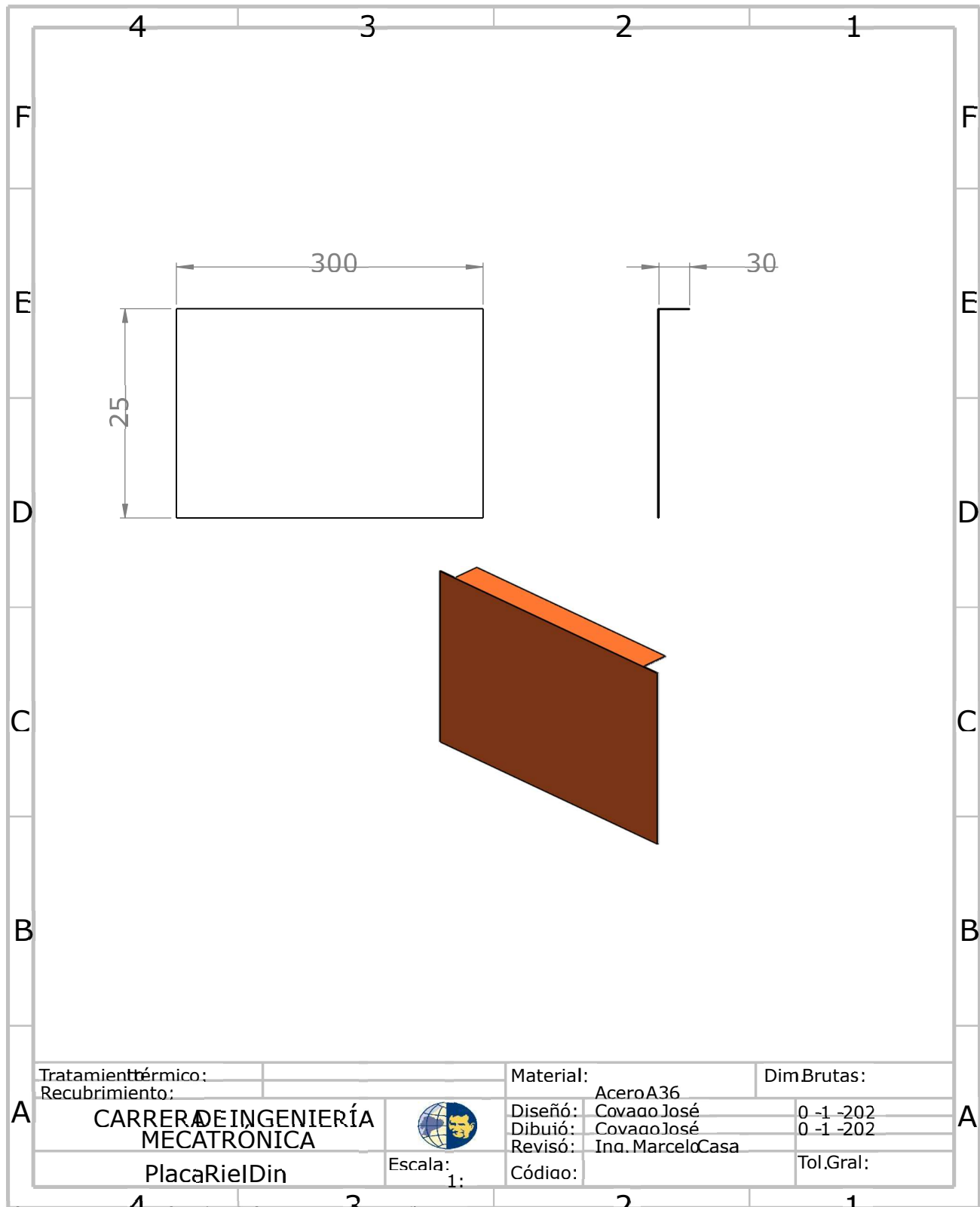
ANEXOS

Anexo 1. Plano de estructura

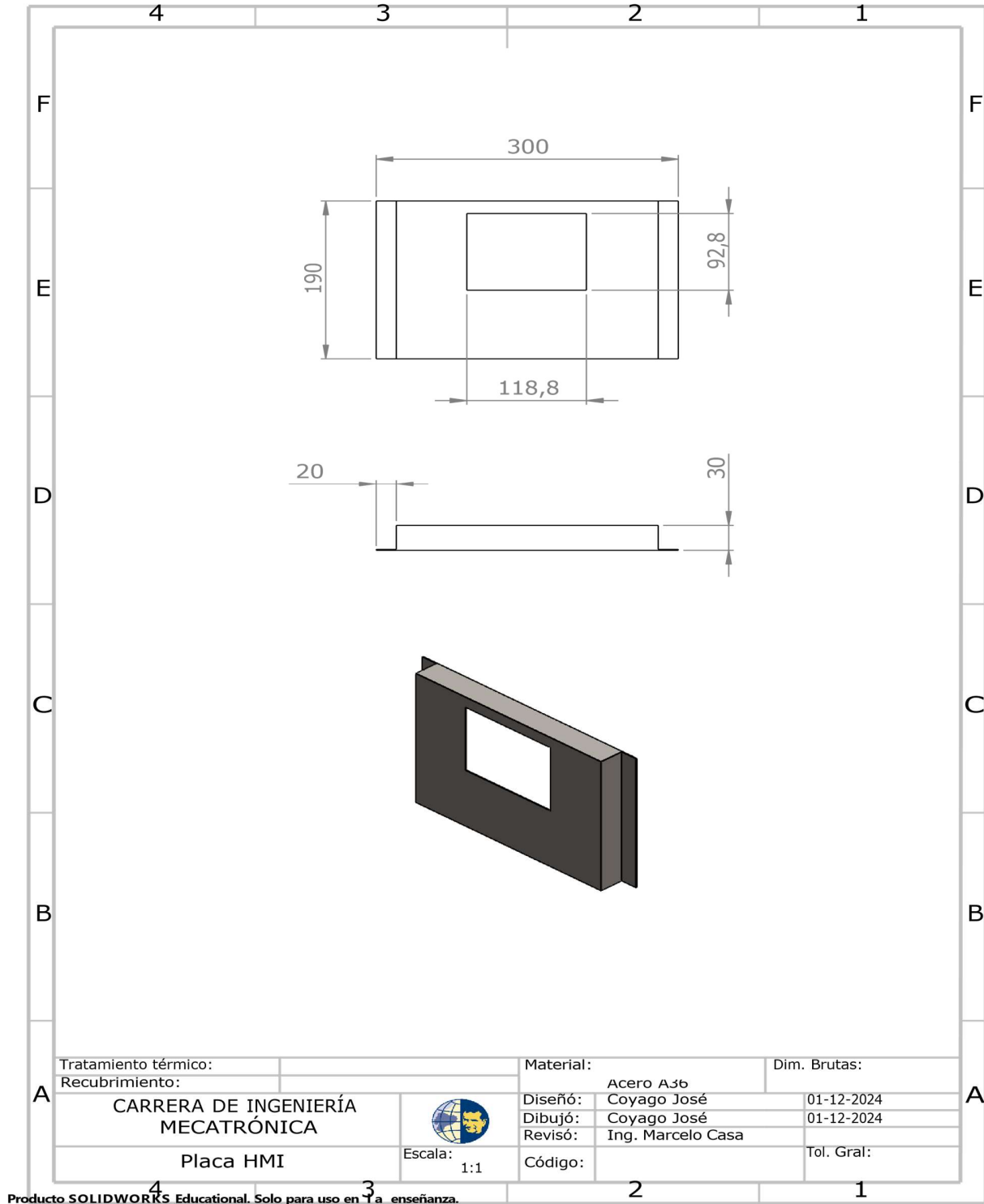


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en 1^a enseñanza.

Anexo 2. Plano plancha inferior



Anexo 3. Plano plancha HMI



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en Ta enseñanza.

Anexo 4. Guías



Guía práctica HMI (Máster) + PLC + VDF (Esclavo)

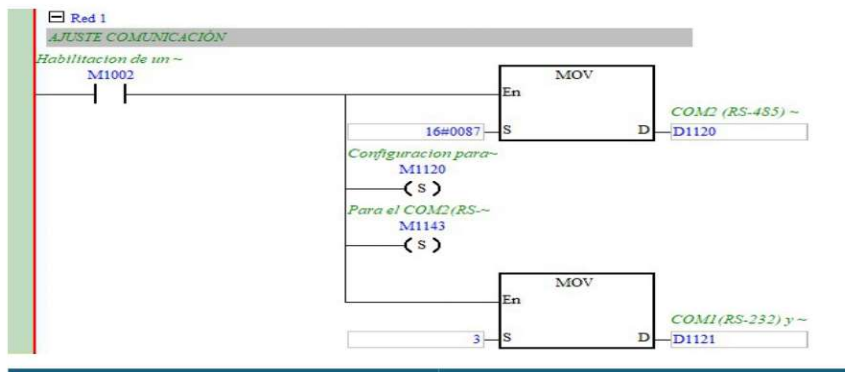


Empezamos abriendo nuestro programa ISPSOFT y realizaremos la configuración del protocolo de comunicación con el cual vamos a trabajar en nuestro PLC, para esto utilizaremos las direcciones:

D1120 → COM2 RS-485

D1121 → Definimos el número de dirección para la comunicación.

M1143 → Cambiar a protocolo RTU al PLC.



ILUSOL RENOVA

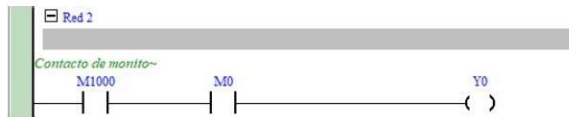
1

✉ ventas@ilusol-renova.com

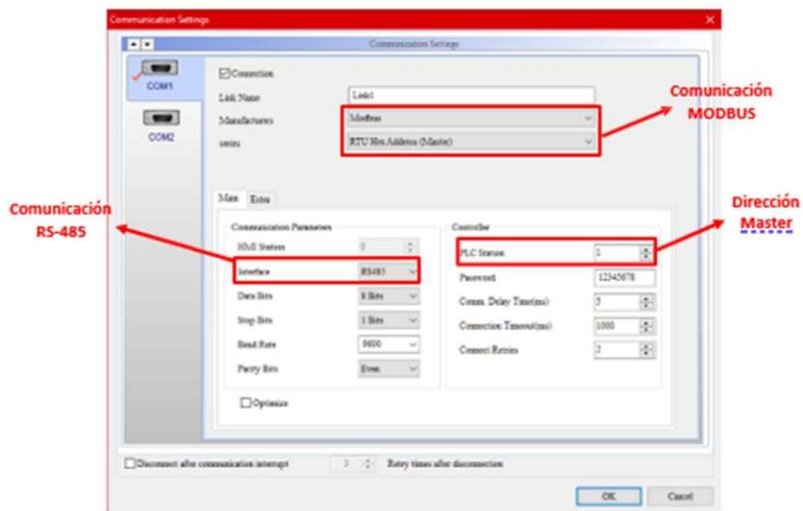
☎ (+593) 988 443 0125

📍 Av. Interoceánica Oe2-224 y Gonzalo Díaz
(Frente al Mercado Central de Tumbaco)

Definimos la dirección de nuestro esclavo en el registro D1121, para nuestro ejemplo utilizaremos nuestro PLC con la dirección 3.



Continuamos abriendo el programa DOPSoft escogemos nuestro modelo y daremos a siguiente, en la siguiente ventana que se nos desplegará seleccionamos el protocolo de comunicación RS-485 y verificamos que nuestra dirección sea 1. Y daremos clic en Finish. Como se observa en la siguiente imagen:



Configuración VDF

Restauración de los valores de fábrica:

Es importante realizar una restauración de nuestro equipo, a no ser que sea recién sacado de caja.

Función código	Nombre	Descripción del parámetro
F12.14	Restauración de los valores de fábrica.	0: Sin funcionamiento. 1: Restablecimiento de los valores predeterminados de fábrica (excluyendo los parámetros del motor, parámetros del variador, parámetros del fabricante, registro de tiempo de funcionamiento y de encendido).



Modificar la frecuencia:

Es importante modificar la frecuencia a 60 Hz que es la que manejamos en la red eléctrica de nuestro país.

Función código	Nombre	Descripción del parámetro	Valor por defecto
F00.16	Frecuencia máxima	1.00 – 600.00/1.0 – 3000.0	50.00
F00.18	Límite superior de frecuencia	Límite de frecuencia inferior F00.19 a la frecuencia máxima F00.16	50.00

Configuración parámetros:

La siguiente tabla muestra los parámetros necesarios para arranque externo: terminal RUN (avance) y F/R (retroceso).

Parámetro	Valor	Descripción parámetro
F00.02	1	0: Arranque por teclado (indicador LOC/REM: ON) 1: Arranque por terminal externo (indicador LOC/REM: OFF) 2: Arranque por comunicación (indicador LOC/REM: parpadea)
F00.03	1	0: Terminal RUN (marcha) y F/R (avance/retroceso) 1: Terminal RUN (avance) y F/R (retroceso) 2: Terminal RUN (avance), Xi (parada) y F/R (retroceso) 3: Terminal RUN (marcha), Xi (parada) y F/R (avance/retroceso)

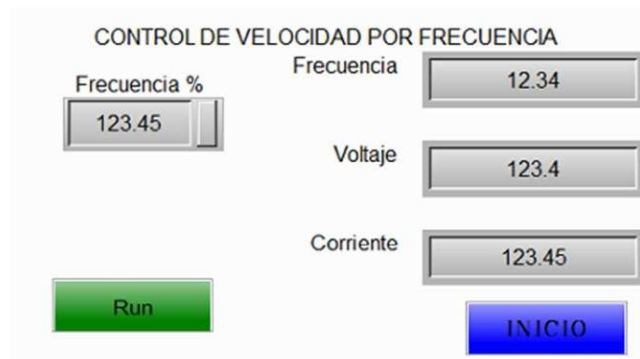
Configuración parámetros comunicación MODBUS:

En la siguiente tabla se detalla los parámetros a modificar en nuestro variador EM730 para la comunicación MODBUS:

Parámetro	Valor	Descripción de parámetro
F00.04	6	0: Ajuste de la frecuencia digital F00.07 1: AI1 2: AI2 3: Retención 4: Retención 5: Entrada de pulso de alta frecuencia (X5) 6: Ajuste de comunicación de frecuencia principal (porcentaje) 7: Ajuste de la comunicación de la frecuencia principal (frecuencia directa) 8: Ajuste del potenciómetro digital
F10.00	2	Dirección de comunicación MODBUS Local 1 – 247
F10.01	1	Velocidad de transmisión de la comunicación MODBUS

		0: 4800 1: 9600 2: 19200 3: 38400 4: 57600 5: 115200
F10.02	1	Formato de datos MODBUS 0: 1-8-N-1 (1 start bit + 8 data bits + 1 stop bit) 1: 1-8-E-1 (1 start bit + 8 data bits + 1 even parity check + 1 stop bit) 2: 1-8-O-1 (1 start bit + 8 data bits + 1 odd parity check + 1 stop bit) 3: 1-8-N-2 (1 start bit + 8 data bits + 2 stop bit) 4: 1-8-E-2 (1 start bit + 8 data bits + 1 even parity check + 2 stop bit) 5: 1-8-O-2 (1 start bit + 8 data bits + 1 odd parity check + 2 stop bit)
F10.03	2.5	Time out 0.0 – 60.0 s
F10.06	0	Opción Maestro – Esclavo 0: Esclavo 1: Maestro

Una vez configurados los parámetros para la comunicación, en nuestro programa DOPSoft, agregaremos un botón RUN, para iniciar nuestro VDF, una entrada numérica para modificar el valor de la frecuencia a la que funcionara nuestro VDF, y tres displays numéricos para observar datos como: frecuencia, voltaje y corriente, como se muestra a continuación:



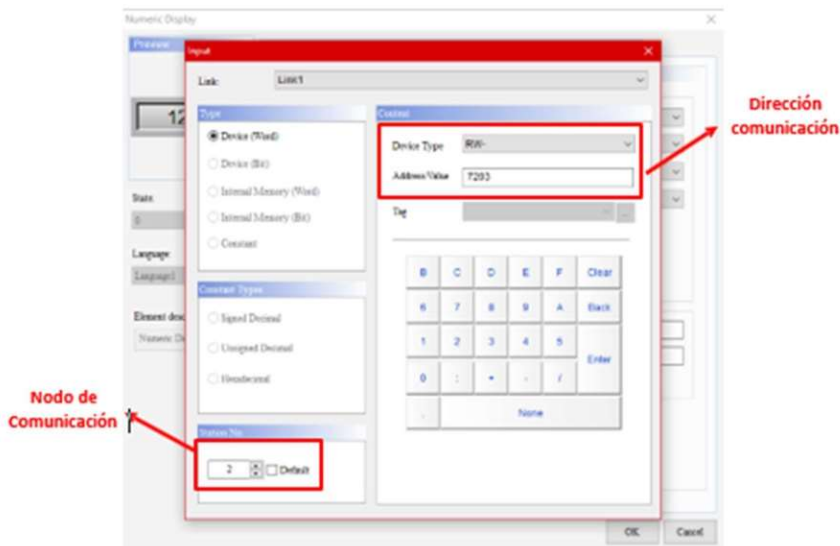
Direcciones comunicación PLC:

DISPOSITIVO	RANGO	DIRECCIÓN
S	0 – 255	0000 – 00FF
X	0 – 377 (Octal)	0400 – 04FF
Y	0 – 377 (Octal)	0500 – 05FF
T	0 – 255 (Bit)	0600 – 06FF
M	0 – 255	0800 – 08FF
C	0 – 199 (16 Bits)	0E00 – 0EC7
D	0 -- 255	1000 – 10FF

Direcciones comunicación VDF:

Dirección	Descripción
7001	Definir frecuencia
7203	Frecuencia de salida
7204	Voltaje de salida
7224	Corriente de salida

Para los elementos de nuestro HMI que van a direccionarse hacia el VDF y el PLC debemos colocar el número de dirección que se definió para nuestro ejemplo: el VDF es dirección 2 y el PLC dirección 3, como se muestra a continuación:





ventas@ilusol-renova.com



(+593) 988 443 0125



<https://ilusol-renova.com/>



Av. Interoceánica Oe2-224 y Gonzalo Díaz
(Frente al Mercado Central de Tumbaco)



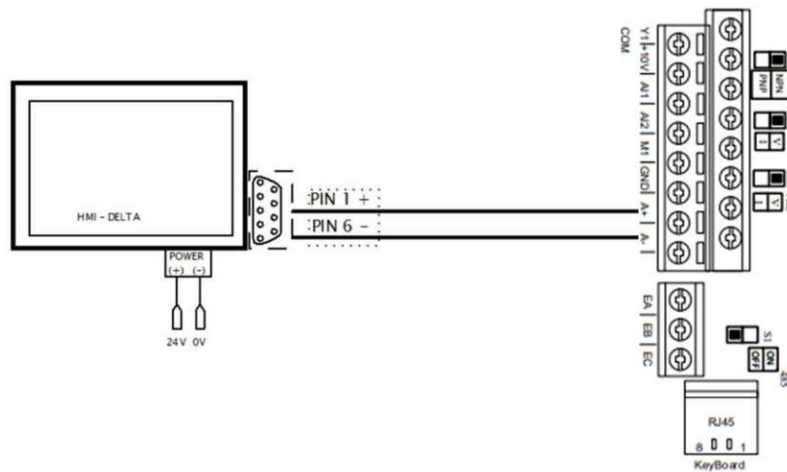
Ilusol Renova



Guía práctica
HMI (Máster) + VDF (Esclavo)
Control de Velocidad



Primera mente lo que tenemos que hacer es levantar la comunicación entre el VDF y el HMI mediante MOBUS para ello conectamos el pin 1 del el HMI al A+ del Variador repetimos el mismo proceso con el pin 6 del HMI al A- del Variador según la figura.





A continuación, procedemos con la configuración del VDF

Restauración a valores de fabrica:

Es importante realizar una restauración de nuestro equipo, a no ser que sea recién sacado de caja.

Función código	Nombre	Descripción del parámetro
F12.14	Restauración de los valores de fábrica.	0: Sin funcionamiento. 1: Restablecimiento de los valores predeterminados de fábrica (excluyendo los parámetros del motor, parámetros del variador, parámetros del fabricante, registro de tiempo de funcionamiento y de encendido).

Modificar la frecuencia:

Es importante modificar la frecuencia a 60 Hz que es la que manejamos en la red eléctrica de nuestro país.

Función código	Nombre	Descripción del parámetro	Valor por defecto
F00.16	Frecuencia máxima	1.00 – 600.00/1.0 – 3000.0	50.00
F00.18	Límite superior de frecuencia	Límite de frecuencia inferior F00.19 a la frecuencia máxima F00.16	50.00

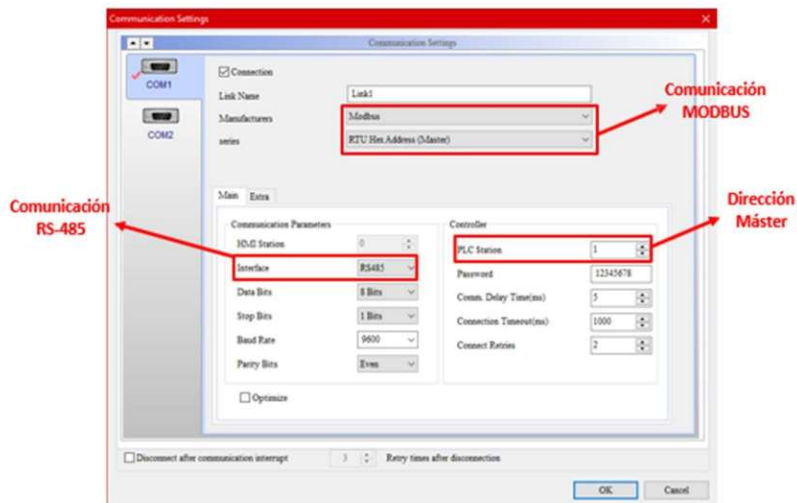
Configuración parámetros comunicación MODBUS:

En la siguiente tabla se detalla los parámetros a modificar en nuestro variador EM730 para la comunicación MODBUS:

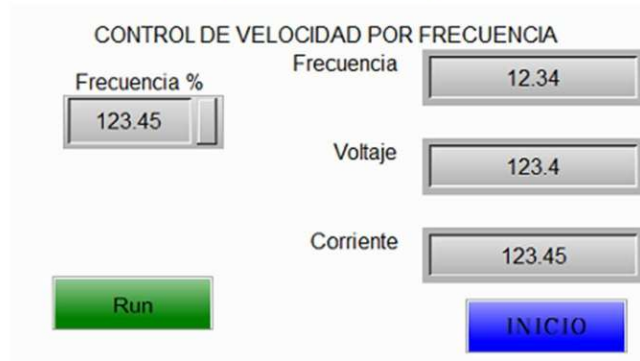
Parámetro	Valor	Descripción de parámetro
F00.04	6	0: Ajuste de la frecuencia digital F00.07 1: AI1 2: AI2 3: Retención 4: Retención 5: Entrada de pulso de alta frecuencia (X5) 6: Ajuste de comunicación de frecuencia principal (porcentaje) 7: Ajuste de la comunicación de la frecuencia principal (frecuencia directa) 8: Ajuste del potenciómetro digital
F10.00	2	Dirección de comunicación MODBUS Local 1 – 247
F10.01	1	Velocidad de transmisión de la comunicación MODBUS

Parámetro	Valor	Descripción de parámetro
F00.04	6	0: Ajuste de la frecuencia digital F00.07 1: AI1 2: AI2 3: Retención 4: Retención 5: Entrada de pulso de alta frecuencia (X5) 6: Ajuste de comunicación de frecuencia principal (porcentaje) 7: Ajuste de la comunicación de la frecuencia principal (frecuencia directa) 8: Ajuste del potenciómetro digital
F10.00	2	Dirección de comunicación MODBUS Local 1 – 247
F10.01	1	Velocidad de transmisión de la comunicación MODBUS

Una vez configurada la red en el VDF, podemos Continuar abriendo el programa DOPSoft escogemos nuestro modelo y daremos a siguiente, en la siguiente ventana que se nos desplegará seleccionamos el protocolo de comunicación RS- 485 y verificamos que nuestra dirección sea 1. Y daremos clic en Finish. Como se observa en la siguiente imagen:



Una vez configurados los parámetros para la comunicación, en nuestro programa DOPSoft, agregaremos un botón RUN, para iniciar nuestro VDF, una entrada numérica para modificar el valor de la frecuencia a la que funcionara nuestro VDF, y tres displays numéricos para observar datos como: frecuencia, voltaje y corriente, como se muestra a continuación:

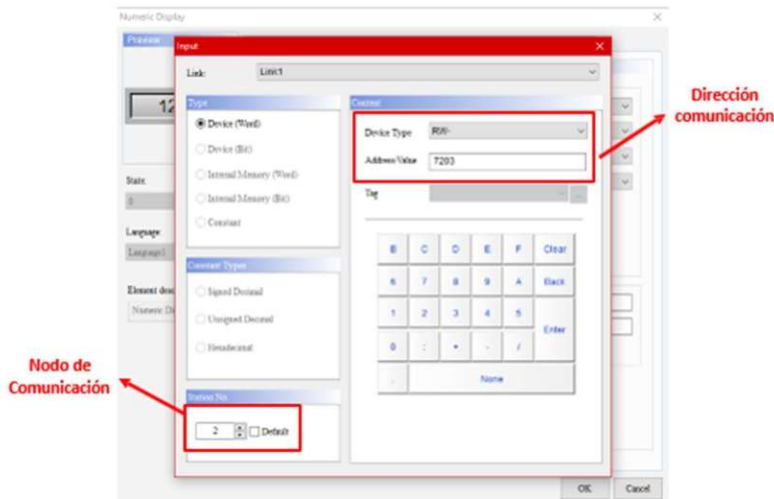


Para poder visualizar más parámetro del variador podemos seguir creando mas cuadros de interacción en la pantalla del HMI siguiendo la guía del VDF en su guía de comunicación, pero dejamos una pequeña demostración de las como las direcciones de comunicación con el VDF.

Direcciones de comunicación VDF:

Dirección	Descripción
7001	Definir frecuencia
7203	Frecuencia de salida
7204	Voltaje de salida
7224	Corriente de salida

Para los elementos de nuestro HMI que van a direccionarse hacia el VDF y el PLC debemos colocar el número de dirección que se definió para nuestro ejemplo: el VDF es dirección 2 como se muestra a continuación:





ventas@ilusol-renova.com



(+593) 988 443 0125



<https://ilusol-renova.com/>



Av. Interoceánica Oe2-224 y Gonzalo Díaz
(Frente al Mercado Central de Tumbaco)



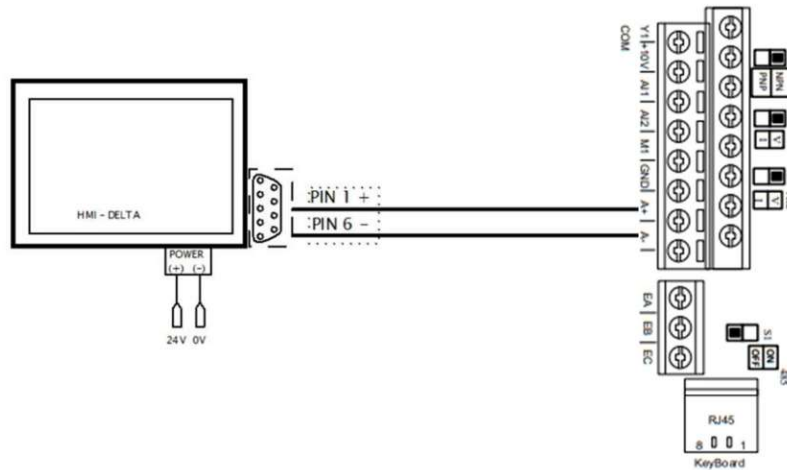
Ilusol Renova



Guía práctica
HMI (Máster) + VDF (Esclavo)
Control de Torque



Primera mente lo que tenemos que hacer es levantar la comunicación entre el VDF y el HMI mediante MOBUS para ello conectamos el pin 1 del el HMI al A+ del Variador repetimos el mismo proceso con el pin 6 del HMI al A- del Variador según la figura.





A continuación, procedemos con la configuración del VDF

Restauración a valores de fabrica:

Es importante realizar una restauración de nuestro equipo, a no ser que sea recién sacado de caja.

Función código	Nombre	Descripción del parámetro
F12.14	Restauración de los valores de fábrica.	0: Sin funcionamiento. 1: Restablecimiento de los valores predeterminados de fábrica (excluyendo los parámetros del motor, parámetros del variador, parámetros del fabricante, registro de tiempo de funcionamiento y de encendido).

Modificar la frecuencia:

Es importante modificar la frecuencia a 60 Hz que es la que manejamos en la red eléctrica de nuestro país.

Función código	Nombre	Descripción del parámetro	Valor por defecto
F00.16	Frecuencia máxima	1.00 – 600.00/1.0 – 3000.0	50.00
F00.18	Límite superior de frecuencia	Límite de frecuencia inferior F00.19 a la frecuencia máxima F00.16	50.00

Configuración parámetros comunicación MODBUS:

En la siguiente tabla se detalla los parámetros a modificar en nuestro variador EM730 para la comunicación MODBUS:

Parámetro	Valor	Descripción de parámetro
F00.04	6	0: Ajuste de la frecuencia digital F00.07 1: AI1 2: AI2 3: Retención 4: Retención 5: Entrada de pulso de alta frecuencia (X5) 6: Ajuste de comunicación de frecuencia principal (porcentaje) 7: Ajuste de la comunicación de la frecuencia principal (frecuencia directa) 8: Ajuste del potenciómetro digital
F10.00	2	Dirección de comunicación MODBUS Local 1 – 247
F10.01	1	Velocidad de transmisión de la comunicación MODBUS



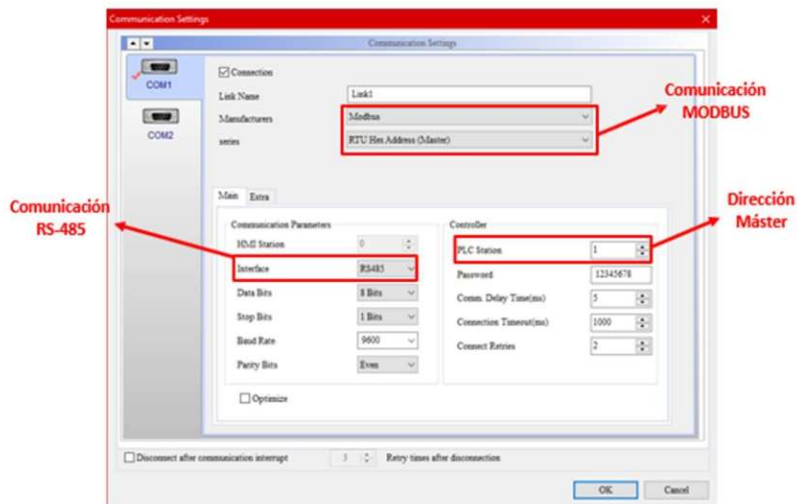
Parámetro	Valor	Descripción de parámetro
F00.04	6	0: Ajuste de la frecuencia digital F00.07 1: AI1 2: AI2 3: Retención 4: Retención 5: Entrada de pulso de alta frecuencia (X5) 6: Ajuste de comunicación de frecuencia principal (porcentaje) 7: Ajuste de la comunicación de la frecuencia principal (frecuencia directa) 8: Ajuste del potenciómetro digital
F10.00	2	Dirección de comunicación MODBUS Local 1 – 247
F10.01	1	Velocidad de transmisión de la comunicación MODBUS

Configuración de VDF, para control de torque

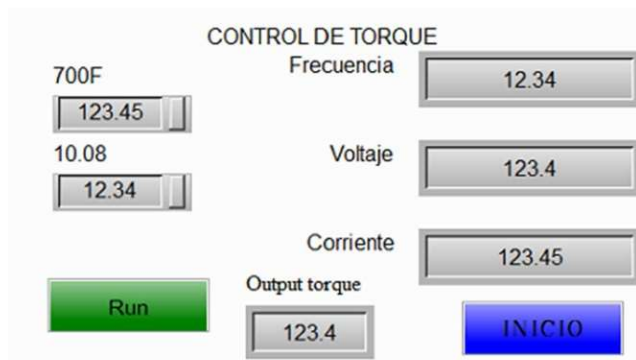
Estos cambios se pueden realizar tanto en el VDF o mediante el HMI como se prefiera hacer los cambios son los mismos que continuación son detallados.

Parámetro	Valor	Descripción de parámetro
F00.01	1	0: V/F Control (VVF) 1: control vectorial sin sensores (SVC)
F10.05	1	0: invalido 1: valido
F13.00	1	0: Control de velocidad 1: Control de torque
F13.01	6	0: configuración digital de torque F13.02 1: AI1 2: AI2 5: entrada para pulsos de alta frecuencia (X5) 6: configuración de comunicación 8: ajuste de potenciómetro digital (Rango completo de los elementos 1-6, correspondientes a F13.02 digital ajuste de torque)

Una vez configurada la red en el VDF, podemos Continuar abriendo el programa DOPSoft escogemos nuestro modelo y daremos a siguiente, en la siguiente ventana que se nos desplegará seleccionamos el protocolo de comunicación RS- 485 y verificamos que nuestra dirección sea 1. Y daremos clic en Finish. Como se observa en la siguiente imagen:



Una vez configurados los parámetros para la comunicación, en nuestro programa DOPSoft, agregaremos un botón RUN, para iniciar nuestro VDF, una entrada numérica para modificar los valores.



Para poder visualizar más parámetro del variador podemos seguir creando más cuadros de interacción en la pantalla del HMI siguiendo la guía del VDF en su guía de comunicación, pero dejamos una pequeña demostración de las como las direcciones de comunicación con el VDF.

Direcciones de comunicación VDF:

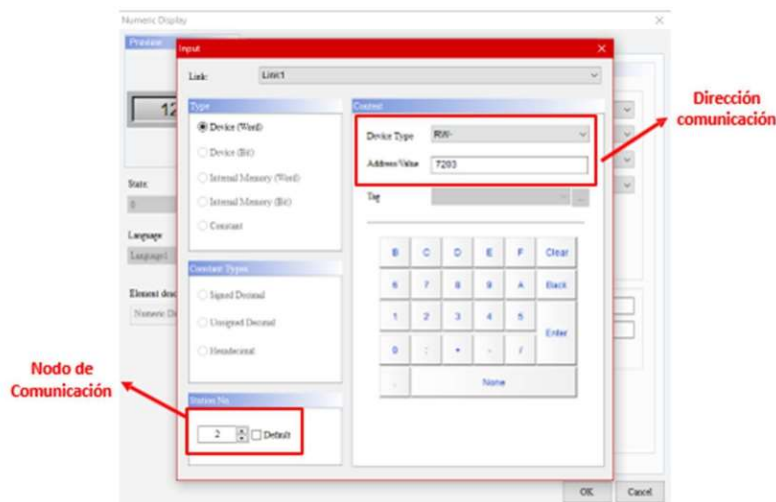
Dirección	Descripción
700F	Ajuste de comunicación maestro-esclavo
0A08 (F10.08)	Coeficiente proporcional de recepción esclavo
7203	Frecuencia de salida
7204	Voltaje de salida
7224	Corriente de salida

Para algunos parámetros no disponemos la dirección en la tabla para ellos creamos direcciones temporales o solo para ese dispositivo siguiendo la siguiente instrucción que se encuentran en el manual de usuario.

ESPACIO DE DIRECCIONES	NOTA
Código de Función 0000H-6F63H	Para el código de función FXX.YY, el orden alto es hexadecimal de XX y el orden bajo es hexadecimal de YY. Por ejemplo, la dirección de F00.14 es 000EH (00D=00H, 14D=0EH).
Código de función (no se guarda después de apagar) 8000H-EF63H	Cuando los parámetros se ajustan con el código de función 0x06 o 0x10, la función de que «los ajustes son válidos inmediatamente y no se guardan tras la desconexión» se puede realizar en forma de «dirección original +8000H». Por ejemplo, la dirección dirección de F00.14 es 800EH (=000EH+8000H).

Según la tabla tenemos dos tipos diferentes de código los cuales se usarán según el programando o la persona a cargo lo necesite.

Para los elementos de nuestro HMI que van a direccionarse hacia el VDF, debemos colocar el número de dirección que se definió para nuestro ejemplo: el VDF es dirección 2 como se muestra a continuación:





ventas@ilusol-renova.com



(+593) 988 443 0125



<https://ilusol-renova.com/>



Av. Interoceánica Oe2-224 y Gonzalo Díaz
(Frente al Mercado Central de Tumbaco)



Ilusol Renova



Anexo 5. Encuesta

Sección 1 de 4

Encuesta de satisfacción de modulo de entrenamiento de VDF

Experiencia con el Módulo

1. ¿Cómo calificarías tu experiencia general con el uso del módulo?

Mala 1 2 3 4 5 Excelente

2. ¿Qué tan intuitivo te pareció el módulo en términos de uso y navegación?

Nada intuitivo 1 2 3 4 5 Muy intuitivo

Sección 2 de 4

Calidad del Módulo

Descripción (opcional)

3. ¿Qué tan satisfecho(a) estás con la calidad general del módulo (equipos, interfaz, documentación, etc.)?

Nada satisfecho(a) 1 2 3 4 5 Totalmente satisfecho(a)

4. ¿Cómo calificarías la precisión del módulo en las mediciones (e.g., torque, velocidad)?

Nada precisa 1 2 3 4 5 Siempre precisa

Sección 3 de 4

Áreas a Mejorar



Descripción (opcional)

5. ¿Consideras que el módulo necesita mejoras en alguno de los siguientes aspectos?

	1	2	3	4	5	
Ninguna, todo está excelente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Precisión y funcionalidad

6. ¿Qué tan suficiente consideras la documentación proporcionada para usar el módulo?

	1	2	3	4	5	
Nada suficiente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Totalmente suficiente

Sección 4 de 4

Opinión General



Descripción (opcional)

7. ¿Qué tan satisfecho(a) estás con la experiencia de aprendizaje proporcionada por el módulo?

	1	2	3	4	5	
Nada satisfecho(a)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muy satisfecho(a)

8. ¿Qué tan probable es que recomiendes este módulo a otras personas?

	1	2	3	4	5	
No lo recomendaría	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Definitivamente lo recomendaría