



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL
AUTOMÁTICO PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS EN UN
ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR:

CRISTIAN ANDERSON MALIZA LLIQUÍN

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL
AUTOMÁTICO PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS EN UN
ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTOR: CRISTIAN ANDERSON MALIZA LLIQUÍN

DIRECTOR: Ing. FÉLIX ANTONIO GARCÍA MORA

Riobamba – Ecuador

2024

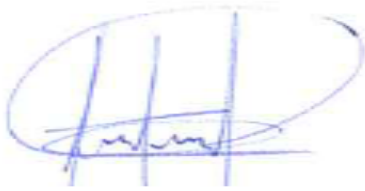
©2024 Cristian Anderson Maliza Lliquín

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Cristian Anderson Maliza Lliquín, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 07 de mayo 2024





Cristian Anderson Maliza Lliquín

CI: 1501024960

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS EN UN ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO**”, realizado por el señor: **CRISTIAN ANDERSON MALIZA LLIQUÍN** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Antonio Ordóñez Viñán PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-05-07
Ing. Félix Antonio García Mora DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-07
Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-07

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis hermanas, Alexandra Maliza y Erika Maliza cuyo apoyo constante y aliento inquebrantable han sido la fuerza motriz detrás de mi dedicación a este proyecto técnico. A mis abuelos, María Quinata y Cristóbal Lliquín por todo su amor y por motivarme a seguir hacia adelante. A mi cuñado, Fabián Aguaiza cuyas enseñanzas y orientación han sido fundamentales en mi formación personal y académica. A mi familia materna, por su paciencia y comprensión durante los desafíos que surgieron en el camino, su participación fue esencial para mi éxito.

Cristian

AGRADECIMIENTO

Agradezco sinceramente a mi director, Félix García, por brindarme sus conocimientos y apoyarme durante el desarrollo de mi trabajo de titulación. Su orientación experta fue fundamental para alcanzar los objetivos de este proyecto. De igual manera, quiero expresar mi gratitud a mi asesor, Marco Santillán, quien me proporcionó las herramientas necesarias para desenvolverme en la industria. Sus consejos y guía fueron de gran valor en cada etapa de este trabajo de titulación. Del mismo modo, quiero extender mi gratitud a todos los docentes de la Carrera de Mantenimiento Industrial, cuya dedicación y compromiso contribuyeron significativamente a mi crecimiento académico y personal. Gracias a ellos, he adquirido no solo conocimientos, sino también experiencias invaluable, intelecto y una importante dosis de humanidad. A cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Cristian

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Motor trifásico de inducción de jaula de ardilla	5
2.1.1. <i>Características de los motores de inducción trifásicos tipo jaula de ardilla</i>	5
2.1.2. <i>Importancia de los motores eléctricos en la industria</i>	6
2.1.3. <i>Costos de mantenimiento de los motores de inducción trifásicos</i>	8
2.2. Arranque estrella-triángulo	11
2.2.1. <i>Principios de funcionamiento</i>	11
2.2.2. <i>Aplicaciones y ventajas</i>	13
2.2.3. <i>Comparación con otros métodos de arranque</i>	14
2.2.4. <i>Fallas en el arranque estrella-triángulo</i>	16
2.3. Ecuaciones para la selección de elementos electromecánicos	17
2.3.1. <i>Corriente de protección de un disyuntor</i>	17
2.3.2. <i>Consideraciones para la selección de un contactor</i>	18
2.3.3. <i>Rango del relé térmico</i>	19
2.4. Módulo lógico programable.....	19
2.4.1. <i>Características y aplicaciones</i>	19

2.4.2.	<i>Lenguaje FBD y Ladder Logic</i>	20
2.4.3.	<i>Mantenimiento y localización de fallas de un módulo lógico programable</i>	21
2.5.	Interfaz Humano-Máquina (HMI)	23
2.6.	Fundamentos del diseño de tableros de control	24
2.6.1.	<i>Normativa aplicable a tableros de control</i>	25
2.6.2.	<i>Normativa utilizada para la construcción de tableros de control</i>	25
2.6.3.	<i>Calibre de cableado</i>	26
2.6.4.	<i>Código de colores y etiquetas</i>	26
2.6.5.	<i>Consideraciones para el diseño del tablero de control</i>	27
2.6.6.	<i>Grado de protección IP</i>	28

CAPÍTULO III

3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS EN UN ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO	30
3.1.	Requerimientos	30
3.2.	Diseño de los circuitos de fuerza y mando	30
3.3.	Selección de elementos electromecánicos	32
3.3.1.	<i>Breaker o disyuntor</i>	32
3.3.2.	<i>Selección de un contactor</i>	34
3.3.3.	<i>Selección del relé térmico</i>	35
3.4.	Elemento de control automático	36
3.4.1.	<i>Selección del micro PLC</i>	36
3.4.2.	<i>Selección de la pantalla HMI</i>	36
3.5.	Diseño de la estructura del módulo	37
3.6.	Construcción del módulo	38
3.6.1.	<i>Estructura soporte</i>	38
3.6.2.	<i>Fijación de la canaleta ranurada y el riel DIN</i>	39
3.6.3.	<i>Botonera</i>	41
3.7.	Conexión de elementos seleccionados	42
3.7.1.	<i>Elección del tamaño del conductor</i>	42
3.7.2.	<i>Conexión del circuito de control con elementos mecánicos</i>	43
3.7.3.	<i>Conexión del circuito de control con micro PLC</i>	43
3.8.	Programación del micro PLC	44
3.9.	Programación de la pantalla HMI	46
3.9.1.	<i>Configuración de la pantalla HMI</i>	46
3.9.2.	<i>Desarrollo del programa HMI</i>	48

3.9.3.	<i>Direccionamiento de variables digitales</i>	54
3.9.4.	<i>Direccionamiento de variable analógica</i>	58
3.10.	Fallos y métodos de detección	60
3.11.	Análisis de costos	61

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS EN UN ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO. ..	63
4.1.	Resultados del diseño del módulo	63
4.2.	Resultados de la construcción y conexiones del módulo	64
4.2.1.	<i>Material y construcción</i>	64
4.2.2.	<i>Tratamiento de superficies</i>	64
4.2.3.	<i>Resultado de la conexión</i>	65
4.3.	Resultados de la programación del micro PLC y configuración del HMI	67
4.4.	Guía práctica de laboratorio	71

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
5.1.	Conclusiones	73
5.2.	Recomendaciones	74

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Costos de reparación de fallas en el motor del sistema ELPO.	10
Tabla 2-2:	Lenguaje de programación IEC 61131-3	21
Tabla 2-3:	Apartados de la norma IEC 61131-3.....	26
Tabla 2-4:	Capacidad de corriente permitida base a la temperatura ambiental	26
Tabla 2-5:	Código de colores a implementar	27
Tabla 2-6:	Espesor mínimo de la plancha de acero	27
Tabla 3-1:	Características técnicas del Contactor Sirius 3RT2 de Siemens	35
Tabla 3-2:	Características técnicas del LOGO 12/24RCE.....	36
Tabla 3-3:	Características técnicas del LOGO 12/24RCE.....	37
Tabla 3-4:	Estructura y dimensiones detalladas de la estructura soporte.....	39
Tabla 3-5:	Costos para la implementación del módulo	61
Tabla 4-1:	Elementos utilizados en el circuito de control industrial.....	65
Tabla 4-2:	Elementos utilizados en el circuito de control automático	66
Tabla 4-3:	Código de colores empleado en el módulo.....	67
Tabla 4-4:	Entradas digitales programadas	68
Tabla 4-5:	Entradas de red digitales programadas	68
Tabla 4-6:	Salidas digitales programadas	68
Tabla 4-7:	Salidas de red digitales programadas	69
Tabla 4-8:	Entrada y salida analógicas programadas	69
Tabla 4-9:	Funciones básicas programadas	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Placa de características.....	6
Ilustración 2-2:	Consumo de energía dentro de la industria	7
Ilustración 2-3:	Curva de costos de mantenimiento con relación al tiempo	10
Ilustración 2-4:	Corrientes iniciales en la línea de alimentación de un motor.....	12
Ilustración 2-5:	Diagrama eléctrico del arranque estrella-triángulo	13
Ilustración 2-6:	Curva de corriente arranque directo	14
Ilustración 2-7:	Curva de corriente arranque estrella-triángulo.....	15
Ilustración 2-8:	Curva de corriente arranque a voltaje reducido.....	15
Ilustración 2-9:	Comparación de curvas de corriente	16
Ilustración 2-10:	Compuertas lógicas en lenguaje LADDER y FBD.....	21
Ilustración 2-11:	Disposición del código.....	28
Ilustración 3-1:	Circuito de mando del arranque estrella-triángulo.....	31
Ilustración 3-2:	Circuito de potencia del arranque estrella-triángulo	31
Ilustración 3-3:	Circuito de control utilizando micro PLC	32
Ilustración 3-4:	Breaker	33
Ilustración 3-5:	Modelado de la estructura	38
Ilustración 3-6:	Capa protectora de pintura	39
Ilustración 3-7:	Sujeción mecánica del alucobón	40
Ilustración 3-8:	Sujeción mecánica de canaletas	40
Ilustración 3-9:	Estructura con grado IP 00.....	41
Ilustración 3-10:	Modelado de la botonera.....	42
Ilustración 3-11:	Programación en lenguaje FBD del arranque estrella-triángulo	45
Ilustración 3-12:	Selección del tipo de pantalla HMI.....	46
Ilustración 3-13:	Selección del tipo de módulo lógico programable	47
Ilustración 3-14:	Configuración de la dirección IP del micro PLC	47
Ilustración 3-15:	Configuración de la dirección IP de la pantalla	48
Ilustración 3-16:	Entorno de programación.....	48
Ilustración 3-17:	Representación de botones momentary.....	49
Ilustración 3-18:	Ventana de propiedades para bonotes	49
Ilustración 3-19:	Tipos de botones.....	50
Ilustración 3-20:	Representación gráfica del botón de inicio en el entorno de programación.	50
Ilustración 3-21:	Botón de inicio y paro	51
Ilustración 3-22:	Indicadores disponibles por estados	51
Ilustración 3-23:	Indicadores para el arranque estrella-triángulo	52

Ilustración 3-24:	Selección de la variable analógica numérica.....	52
Ilustración 3-25:	Representación gráfica de la variable numérica.....	53
Ilustración 3-26:	Representación del visualizador numérico.....	53
Ilustración 3-27:	Representación gráfica del Indicador de fallo.....	54
Ilustración 3-28:	Direccionamiento de Variable 0.0.....	55
Ilustración 3-29:	Dirección de escritura variable de entrada 0.0	55
Ilustración 3-30:	Dirección de escritura de la variable de entrada 0.1.....	56
Ilustración 3-31:	Direccionamiento de la variable 0.3.....	56
Ilustración 3-32:	Dirección de escritura de la variable de salida 0.3	57
Ilustración 3-33:	Dirección de escritura de las variables de salida 0.4 y 0.5	57
Ilustración 3-34:	Programación de la entrada analógica de red.....	58
Ilustración 3-35:	Programación de la salida analógica de red	58
Ilustración 3-36:	Direccionamiento de la variable de entrada numérica	59
Ilustración 3-37:	Direccionamiento de la variable de salida numérica.....	59
Ilustración 4-1:	Diseño del módulo	63
Ilustración 4-2:	Resultados de la construcción del módulo	65
Ilustración 4-3:	Diagrama del circuito de control.....	66
Ilustración 4-4:	Resultados del cableado del módulo	67
Ilustración 4-5:	Programación del micro PLC y configuración del HMI	71
Ilustración 4-6:	Resultados de la programación del HMI.....	71
Ilustración 4-7:	Guía práctica de laboratorio	72

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** DISEÑO EXPLOSIONADO DEL MÓDULO DE CONTROL
- ANEXO B:** DIMENSIONES DEL MÓDULO DE CONTROL
- ANEXO C:** DISEÑO DE LA ESTRUCTURA BASE
- ANEXO D:** DISEÑO DEL ALUCOBON
- ANEXO E:** DISEÑO DE LA BOTONERA
- ANEXO F:** CIRCUITO DE MANDO DEL ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO
- ANEXO G:** CIRCUITO DE POTENCIA DEL ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO
- ANEXO H:** CIRCUITO AUTOMÁTICO DEL ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO
- ANEXO I:** PROGRAMACIÓN DEL ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO
- ANEXO J:** GUÍA DE LABORATORIO

RESUMEN

El proceso de diseño y construcción del módulo de control se inició con la identificación de los requisitos técnicos y funcionales necesarios para automatizar el arranque estrella-triángulo, seleccionando cuidadosamente los componentes como pulsadores, contactores, temporizadores y un módulo lógico programable para garantizar la eficiencia del proceso. La metodología adoptada abarcó el diseño de los circuitos de fuerza y mando, siguiendo las directrices de la norma IEC 60617, para representar gráficamente los componentes eléctricos, se utilizó el software de diseño de esquemas eléctricos para una visualización clara y documentación precisa. Así mismo, se empleó un software de diseño en 3D para el modelado de la estructura del módulo, optimizando el espacio disponible y su transporte. El diseño de la estructura consideró la selección de materiales, como aluminio y el cuadro de alucobón, se realizó considerando sus propiedades de liviandad, resistencia y aplicabilidad, prescindiendo de los grados de protección IP debido al contexto académico del proyecto. Se procuró un entorno adecuado, seco y ventilado, para asegurar el correcto enfriamiento de los componentes. Para la programación del micro PLC, se realizó mediante el software LOGOSoft Comfort en lenguaje de programación FBD de acuerdo con la norma IEC 61131-3. Con respecto a la pantalla HMI se necesitó utilizar un protocolo de comunicación Ethernet y una programación gráfica realizada en el software DOPSoft. Como resultado, el módulo final incorpora dos circuitos funcionales, tanto con elementos electromecánicos como automáticos, permitiendo la simulación el arranque estrella-triángulo y los fallos más comunes que pueden ocurrir durante el proceso.

Palabras clave: <CONTROL AUTOMÁTICO> <CONTROL INDUSTRIAL>
<COMUNICACIÓN ETHERNET> <DETECCIÓN DE FALLAS> <ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO> <CORRIENTE DE FASE>

0909-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

The design and construction process of the control module began with the identification of the technical and functional requirements necessary to automate the star-delta start, carefully selecting components such as pushbuttons, contactors, timers and a programmable logic module to guarantee the efficiency of the control module process. The methodology adopted covered the design of the power and control circuits, following the guidelines of the IEC 60617 standard, to graphically represent the electrical components. The electrical diagram design software was used for clear visualization and precise documentation. Likewise, 3D design software was used to model the module's structure, optimizing the available space and transportation. The design of the structure considered the selection of materials, such as aluminum and the alucobond frame. It was carried out considering its properties of lightness, resistance, and applicability, disregarding the IP protection degrees due to the academic context of the project. A suitable, dry, and ventilated environment was sought to ensure proper cooling of the components. The micro PLC was programmed using the LOGOSoft Comfort software in the FBD programming language following the IEC 61131-3 standard. Regarding the HMI screen, using an Ethernet communication protocol and graphic programming in the DOPSoft software was necessary. As a result, the final module incorporates two functional circuits with electromechanical and automatic elements, allowing the simulation of star-delta starting and the most common failures that can occur during the process.

Keywords: <AUTOMATIC CONTROL> <INDUSTRIAL CONTROL> <ETHERNET COMMUNICATION> <FAULT DETECTION> <STAR-DELTA STARTING> <PHASE CURRENT>



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.:0603366113

INTRODUCCIÓN

En un entorno industrial que demanda cada vez mayor eficiencia y tecnología avanzada, el mantenimiento de equipos y sistemas juega un papel crucial en la continuidad de las operaciones y minimizar los periodos de inactividad. Especialmente durante el arranque estrella-triángulo, la identificación de fallos en los sistemas de control de los motores eléctricos adquieren una importancia significativa para evitar costosos daños y garantizar la disponibilidad de los equipos

El enfoque de esta investigación se dirige hacia el diseño y la construcción de un módulo de control con fines didácticos para la detección de fallas en el arranque estrella-triángulo, con el propósito de fortalecer las capacidades de mantenimiento en el ámbito industrial.

Esta iniciativa surge de la necesidad de proporcionar a los estudiantes de la Carrera de Mantenimiento Industrial herramientas prácticas y sistemas tecnológicos que les permitan desarrollar habilidades específicas para la identificación y solución de problemas en los motores de inducción.

La implementación de este módulo en el laboratorio no solo mejorará el proceso de formación de los futuros profesionales en Mantenimiento Industrial, sino que también tendrá un impacto positivo para la elaboración de futuros sistemas tecnológicos asociados al Mantenimiento Industrial.

La oportunidad de realizar prácticas de laboratorio con este sistema permitirá a los estudiantes adquirir experiencia práctica en un entorno seguro y controlado, preparándolos para enfrentar los desafíos del ámbito laboral con las habilidades necesarias para el Mantenimiento preventivo y correctivo de equipos eléctricos en la industria.

Sumando a esto los estudiantes conocerán sobre los diferentes lenguajes de programación utilizados en la industria, se familiarizarán con el entorno de programación, así como el protocolo de comunicación Ethernet. Junto con eso, tendrán la oportunidad de realizar una interfaz humano-maquina (HMI), donde pueden visualizar el funcionamiento del arranque e ingresar variables numéricas que son importantes para el tiempo de conmutación entre la conexión estrella y triángulo.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En este capítulo se abordará el análisis inicial del problema a resolver, así como la justificación y los objetivos del trabajo de integración curricular.

1.1. Planteamiento del problema

En la Carrera de Mantenimiento Industrial, se han formado profesionales con conocimientos teóricos y prácticos capacitados para llevar a cabo el mantenimiento preventivo y correctivo de equipos mecánicos, eléctricos, neumáticos, hidráulicos y de control industrial.(Carrera de Mantenimiento Industrial, 2020)

Sin embargo, en el ámbito del control industrial, una de las principales causas de fallos en los motores de inducción se debe a que éstos consumen corrientes elevadas en la fase de arranque, debido a que en ese momento la impedancia del motor es significativamente más baja en comparación con la fuente de alimentación y la carga máxima. Esta situación conlleva un elevado torque que produce un consumo excesivo, superando 7 veces la placa de consumo de un motor y provocando recalentamientos que resultan en la pérdida de aislamiento. (Anaguano 1997, pág. 48)

Las intensas fuerzas magnéticas generadas debido al flujo de corriente elevado en la fase de arranque provocan vibraciones en las barras del rotor, con frecuencias de 120 ciclos por segundo, en contraste con la alimentación eléctrica que opera a 60 ciclos por segundo. (Anaguano 1997, pág. 110)

En una conexión en estrella ocurre, una reducción en la tensión de alimentación que llega a los devanados individuales del motor, en un valor de 0,58. Esta reducción en la tensión de alimentación durante el arranque en conexión estrella tiene un impacto importante en el comportamiento del motor.

De manera típica, la corriente de arranque en una conexión en estrella es de aproximadamente el 20% al 25% de la corriente nominal del motor, que se representa como “ I_e ”. Esta reducción en la corriente de arranque es beneficiosa para prevenir el sobrecalentamiento del motor y garantizar un arranque más suave y eficiente. (Huamán Cruz, 2020)

A pesar de la importancia del control eficiente en motores de arranque estrella-triángulo, en el Laboratorio de Mantenimiento Correctivo actualmente no se dispone de un módulo de control automático que permita detectar y diagnosticar de manera precisa y eficiente estas fallas. Este vacío en la capacidad de diagnóstico y control representa un desafío significativo para los profesionales de Mantenimiento Industrial, ya que la detección temprana de problemas en los motores es esencial para evitar daños costosos y tiempos de inactividad en la industria. Por lo tanto, es necesario abordar este problema y desarrollar soluciones que permitan un control más efectivo de los motores de arranque estrella-triángulo en el ámbito del mantenimiento industrial.

1.2. Justificación

La presencia de motores eléctricos en el mundo del industrial es cada vez más común. Sobre todo, en la industria automotriz, donde los diseños de los vehículos son respetuosos con el medio ambiente. La clave está en el motor eléctrico que sustenta las operaciones de una variedad de sectores como la fabricación y generación de energía. (SICMA21, 2023)

La Ingeniería en Mantenimiento Industrial desempeña un papel fundamental en el aseguramiento de la operación eficiente de equipos y sistemas en distintos sectores industriales. Este proceso contribuye a incrementar la producción y mejorar la disponibilidad de dichos equipos y sistemas.

Debido a la necesidad de completar el aprendizaje del estudiante, se propone el diseño y construcción de un módulo de control automático en el Laboratorio de Mantenimiento Correctivo, el sistema de control permitirá detectar y diagnosticar fallas al conectar el arranque estrella-triángulo tanto al programar el módulo lógico programable como al realizar las conexiones de los elementos de maniobra.

Estas fallas tienen el potencial de provocar interrupciones no planificadas en la producción y aumento del consumo energético, generando costosos tiempos de inactividad y, en situaciones más críticas, daños severos en los motores y componentes relacionados.

En un entorno industrial altamente competitivo y tecnológicamente avanzado, resulta imperativo que los estudiantes de mantenimiento correctivo tengan la oportunidad de llevar a cabo prácticas de laboratorio con herramientas y sistemas que les permiten detectar estas fallas de manera temprana. Esto no solo contribuirá al éxito y la competitividad de la industria, sino que también enriquecerá el proceso de formación de profesionales en el campo de la Ingeniería en Mantenimiento Industrial.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir un módulo de control automático para la detección de fallas en el arranque estrella-triángulo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar un módulo de control automático, identificando los requisitos técnicos y funcionales con equipo electromecánico y módulo lógico programable.
- Construir la estructura que albergará los elementos y las conexiones necesarias para el módulo de control.
- Programar el módulo lógico programable y configurar la interfaz HMI dentro del módulo de detección de fallas, garantizando una operación coherente y precisa del sistema de control automático.
- Elaborar una guía de práctica de laboratorio que explique cómo montar los elementos en el módulo de control para el arranque estrella-triángulo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo se adentra en los principios teóricos y conceptuales que constituyen la base para el desarrollo del módulo propuesto.

2.1. Motor trifásico de inducción de jaula de ardilla

El motor trifásico de inducción de jaula de ardilla (MAJA) se destaca por su tamaño compacto con relación a su potencia, en comparación con otros tipos de motores. Además, ofrece una excelente regulación de velocidad en situaciones de carga variables. Gracias a su robusta construcción y su funcionamiento fiable, este motor es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones industriales. (Keljik, 2009, pág. 103)

Algunos autores afirman que más del 90% de todos los motores instalados en la industria a nivel mundial son motores trifásicos de inducción. Esto se debe a su alta durabilidad y simplicidad constructiva en comparación con otro tipo de máquinas. (Universidad Nacional del Mar del Plata, 2019, pág.1)

2.1.1. *Características de los motores de inducción trifásicos tipo jaula de ardilla*

Las características mencionadas, según la descripción de (Fernández, 2018), comprenden aspectos clave en la evaluación de motores trifásicos de jaula de ardilla. Estos incluyen:

Engine Torque, que representa el par aplicado por el motor al cigüeñal; par inicial requerido para superar la inercia e iniciar la rotación; par nominal, que indica la potencia entregada por el motor en determinadas condiciones de funcionamiento y eficiencia, concepto que hace referencia al trabajo que realiza una máquina y se caracteriza por un rendimiento óptimo con un esfuerzo reducido. Estas consideraciones, afirma Fernández, permiten comprender plenamente las características fundamentales de estos motores.

Además, es esencial que cada motor esté equipado con una placa de características técnicas claramente visible y firmemente sujeta, como se ilustra en la Ilustración 2-1. Esta práctica, garantiza una identificación precisa de las especificaciones del motor y facilita su mantenimiento y operaciones eficientes. Es importante tener en cuenta que cada placa de datos incluirá el logotipo o marca del fabricante correspondiente. Por lo tanto, es posible que los datos contenidos en estas

placas varíen y no sean idénticos en todas ellas, aunque generalmente se incluyen los datos más importantes.

1. Nombre del fabricante.	○ <input type="text" value="1"/> ○	
2. Tamaño, forma de construcción.	Typ <input type="text" value="2"/>	
3. Clase de corriente.	3 <input type="text" value="4"/>	Nr. <input type="text" value="5"/>
4. Clase de máquina; motor, generador, etc.	6 <input type="text" value="7"/>	V <input type="text" value="8"/>
5. Número de fabricación.	9 <input type="text" value="10"/>	S <input type="text" value="11"/>
6. Identificación del tipo de conexión del arrollamiento.	cos φ <input type="text" value="12"/>	
7. Tensión nominal.	13 <input type="text" value="14"/>	/min <input type="text" value="15"/>
8. Intensidad nominal.	16 <input type="text" value="17"/>	V <input type="text" value="18"/>
9. Potencia nominal. Indicación en kW	19 <input type="text" value="A"/>	
10. Unidad de potencia, por ejemplo kW.	Isol.-Kl. <input type="text" value="20"/>	IP <input type="text" value="21"/>
11. Régimen de funcionamiento nominal.	<input type="text" value="22"/> kg	
12. Factor de potencia.	○ <input type="text" value="23"/> ○	
13. Sentido de giro.		
14. Velocidad nominal en revoluciones por minuto revol/min.		
15. Frecuencia nominal.		
16. "Err" excitación en máquinas de corriente continua y mác "Lfr" inducido para máquinas asíncronas.		
17. forma de conexión del arrollamiento inducido.		
18. Máquinas de cc y síncronas: tensión nominal de excitación. Motores de inducido de anillos rozantes: tensión de parada del inducido (régimen nominal).		
19. Máquinas de cc y síncronas: corriente nominal de excitación. Motores de inducido de anillos rozantes: intensidad nominal del motor.		
20. Clase de aislamiento.		
21. Clase de protección.		
22. Peso en Kg o T.		
23. Número y año de edición de la disposición VDE tomada como base.		

Ilustración 2-1: Placa de características

Fuente: Fernández, 2018.

La velocidad nominal de rotación del motor, como especifica el fabricante, representa la velocidad real a la que el motor opera, y se distingue de la velocidad síncrona por el corte nominal. El rendimiento de la velocidad se evalúa mediante el porcentaje de deslizamiento, una medida que indica la diferencia entre la velocidad síncrona y la velocidad nominal. Este parámetro es fundamental para comprender cómo el motor responde a diversas cargas y condiciones operativas. (Keljik, 2009, pág. 110)

2.1.2. *Importancia de los motores eléctricos en la industria*

Los motores eléctricos desempeñan un papel fundamental como el “corazón” de diversas fábricas e industrias, operando en líneas de montaje, impulsando cintas transportadoras y proporcionando movilidad a juntas de sistemas robóticos. Su presencia abarca prácticamente todos los entornos industriales, ya medida que evolucionan, estos motores se vuelven cada vez más complejos y técnicos. El desafío radica en lograr que funcionen a su máximo rendimiento, tarea que exige un enfoque experto y meticuloso para optimizar su funcionamiento en contextos industriales diversos. (Tractian, 2022, pág. 3)

Según lo indicado por Pacheco y Santos (2020, pág. 293) el motor de inducción trifásico con jaula de ardilla se encuentra catalogado como una de las máquinas eléctricas más confiables en la actualidad. Su destacada confiabilidad lo posiciona como una de las máquinas eléctricas más ampliamente utilizadas en el mercado. Se estima que, debido a su alta confiabilidad, este tipo de

motor se considera como la máquina eléctrica más común empleada. Además, se señala que los motores eléctricos representan aproximadamente el 50% de la demanda de electricidad a nivel global, destacando así su relevancia en el consumo energético a escala mundial.

La Ilustración 2-2. Revela que aproximadamente el 55% del consumo total de energía eléctrica se destina a los motores eléctricos. Este elevado porcentaje subraya la contribución significativa de los motores eléctricos al consumo global de energía. Además, se observa que un 19% se asigna a los procesos electroquímicos, indicando la relevancia de dichos procesos en el consumo energético.

Las pérdidas por calentamiento representan un 18%, subrayando la importancia de la eficiencia térmica en la gestión energética. La refrigeración constituye un 6%, mientras que la iluminación representa un 2% del consumo total de energía eléctrica. Estos datos proporcionan una visión detallada de la distribución del consumo energético en diferentes áreas, resaltando la predominancia de los motores eléctricos en el panorama energético. (Tractian, 2022)

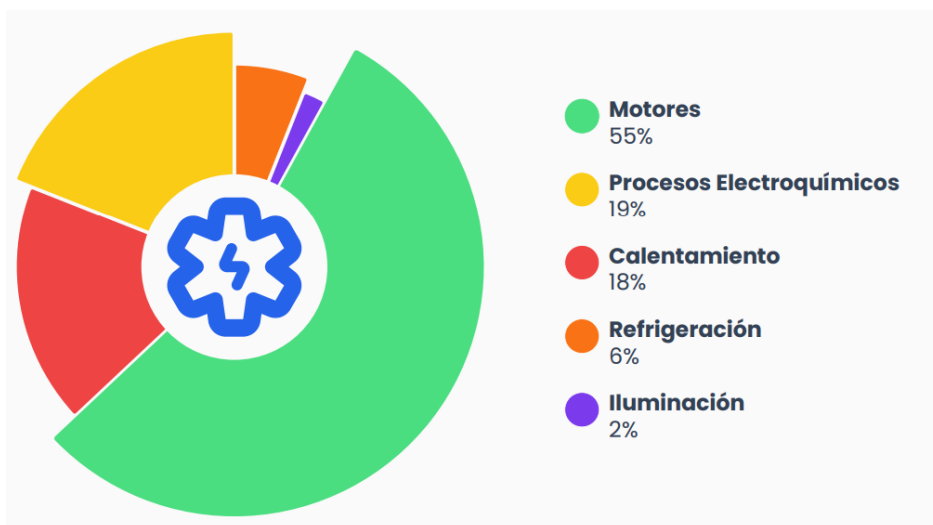


Ilustración 2-2: Consumo de energía dentro de la industria

Fuente: Tractian, 2022.

Cuando la ocasión lo amerita, los motores eléctricos industriales pueden estar equipados con dispositivos de control y protección. Entre estos elementos se incluyen variadores de frecuencia, sensores de temperatura y sistemas de frenado. Estos dispositivos posibilitan la adaptación del rendimiento del motor a las condiciones específicas de carga y operación, al tiempo que ofrecen salvaguardas contra situaciones como sobrecalentamiento, sobrecargas y fallas eléctricas. La presencia de estos mecanismos no solo permite una mayor flexibilidad en la operación del motor, sino que también contribuye a prolongar su vida útil al prevenir daños potenciales derivados de condiciones adversas de funcionamiento. (Sicma21, 2023)

2.1.3. Costos de mantenimiento de los motores de inducción trifásicos

Es importante recordar que los motores eléctricos, debido a su notable capacidad para intervenir en diversos procesos dentro del ámbito industrial, se vuelven intrínsecamente vulnerables a diversos problemas de funcionamiento. Por lo tanto, garantizar continuamente el correcto mantenimiento de estos motores es fundamental para los operadores industriales. La necesidad de mantener un rendimiento óptimo y prevenir posibles problemas motiva a los profesionales de la industria a prestar mucha atención al mantenimiento. Esto garantiza la eficiencia y longevidad de los motores en entornos industriales. (Función de la Industria, 2017)

Para asegurar el rendimiento, eficiencia y vida útil de un motor eléctrico, se identifican distintas categorías de mantenimiento aplicables a estos dispositivos, cada una con sus propias ventajas y consideraciones particulares.

Las siguientes secciones describen estrategias de mantenimiento que se pueden aplicar a motores eléctricos industriales, incluido el mantenimiento preventivo y correctivo. Cada uno de estos enfoques tiene sus propias características y contribuye de diferentes maneras a la gestión eficaz del rendimiento del motor.

Según (Sicma21 2023), el mantenimiento preventivo de un motor eléctrico se define como un conjunto de medidas y procedimientos llevados a cabo de forma regular con el propósito de asegurar el correcto funcionamiento y extender la vida útil del motor. Este tipo de mantenimiento abarca diversas acciones, entre las cuales se encuentran:

- a. Inspección visual:** Realizar revisiones periódicas para evaluar el estado general del motor, así como las conexiones eléctricas, los contactores y relés térmicos. Realice los ajustes necesarios con el fin de prevenir posibles fallos o averías futuras.
- b. Limpieza:** Mantener la limpieza del motor en el interior como exterior del motor, los conductos de ventilación y las aletas de refrigeración como parte integral del proceso de mantenimiento preventivo.
- c. Lubricación:** Aplicar la grasa adecuada a los rodamientos según las recomendaciones del fabricante y en los intervalos de tiempo especificados. Se realizan los ajustes necesarios para evitar posibles fallas o averías en adelante.
- d. Revisión de componentes eléctricos:** Examinar las conexiones eléctricas, evaluar el estado del aislamiento y realizar las pruebas eléctricas necesarias.

El mantenimiento correctivo se basa en realizar una recuperación correctiva tras detectar un error,

para devolver el sistema a un estado en el que pueda realizar su función correctamente. (UNE 13306, 2018, pág. 17)

Para evaluar los costos estándar se incluye el mantenimiento preventivo y correctivo. Según el libro realizado por Pérez (2021, pág. 41-42), el cálculo del costo de vida total promedio acumulado de mantenimiento durante el período de tiempo T, denotado como CTM_{prom} se expresa mediante la siguiente Ecuación 2-1:

$$CTM_{prom} = \frac{CMP + CMC}{T}$$

Ecuación 2-1: Costo total promedio acumulado de mantenimiento

CTM: costo de vida total promedio acumulado de mantenimiento.

CMP: costo del mantenimiento preventivo.

CMC: costo del mantenimiento correctivo.

T: periodo considerado (meses, trimestre, semestre).

Para Pérez (2021, pág. 41-42), cada costo de mantenimiento incluye esencialmente:

- Horas laborales
- Horas no aprovechadas (lucro cesante)
- Suministros y servicios externos.

El índice de mantenimiento programado en un período determinado. T para Pérez (2021, pág. 41-42), se representa como (%MP) según con la Ecuación 2-2:

$$\%MP = \frac{H_{s_{hombre}} - MP}{H_{s_{hombre}} - MP + H_{s_{hombre}} - MC}$$

Ecuación 2-2: Índice de mantenimiento programado

En la Ilustración 2-3, muestra cómo los costos de mantenimiento cambian con relación al tiempo.

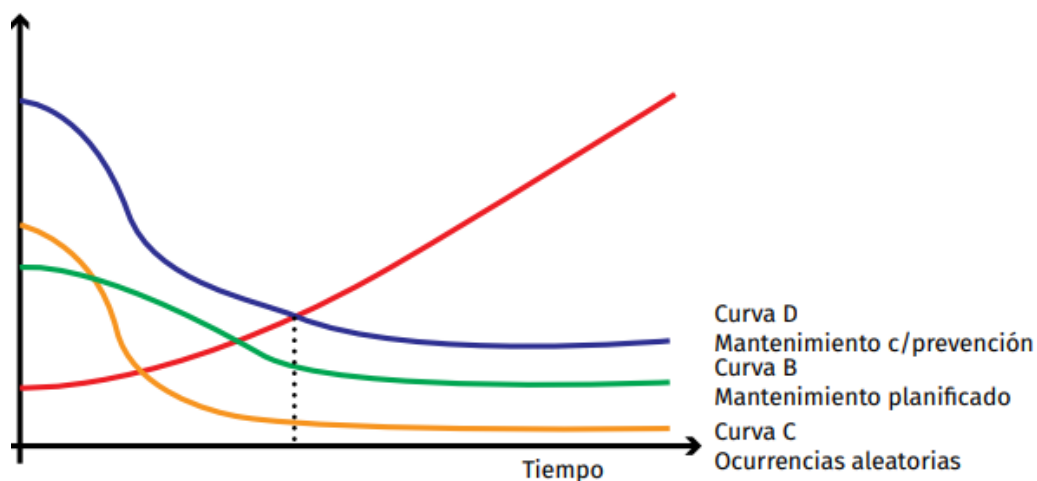


Ilustración 2-3: Curva de costos de mantenimiento con relación al tiempo

Fuente: Pérez, 2021.

Con base en la investigación realizada a cabo por Barrionuevo (2022, págs. 67-68) en el contexto de CIAUTO y en relación con el sistema de cabina horno ELPO, los costos asociados a la reparación de los modos de fallo del motor se detallan en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Costos de reparación de fallas en el motor del sistema ELPO.

Modo de falla	Evidencia de falla	Tarea	Costo de reparación (USD)
Circuito de la fotorresistencia	El motor se apaga	Cambiar la fotorresistencia	60,00
Pérdida de una fase en el motor	El motor no arranca	Rebobinar el motor	300,00
Conexiones eléctricas flojas	Sobrecalentamiento	Ajustar las borneras	30,00

Fuente: Barrionuevo, 2022.

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Es necesario considerar que las labores detalladas en la Tabla 2-1. Corresponden a actividades de mantenimiento preventivo. Estas estarán incluidas en el Plan de Mantenimiento, junto con la asignación presupuestaria destinada a la ejecución de cada tarea. En general, se puede decir que para un Departamento de Mantenimiento es importante identificar que “los costos de mantenimiento se refieren al dinero utilizado para ejecutar los trabajos y los gastos de mantenimiento se refieren al dinero utilizado para mantener funcionando el sistema que sustenta la gestión del mantenimiento”. (Contreras, 2021, pág. 322)

2.2. Arranque estrella-triángulo

El arranque estrella-triángulo es un método ampliamente utilizado en la puesta en marcha de motores trifásicos, reconocido por su eficacia y aplicabilidad en diversas industrias. En esta sección, se explorarán sus fundamentos, aplicaciones, ventajas, comparaciones con otros métodos de arranque y posibles fallas.

2.2.1. Principios de funcionamiento

Para motores de altas y medias potencias, especialmente aquellos con una capacidad de hasta 30 o 40 HP, se prefiere el arranque estrella-triángulo. En este método, se requiere que los motores tengan 6 terminales de fase dirigidos hacia el exterior y un voltaje nominal similar al de la red, generalmente entre 220 y 380 V, para garantizar una conexión adecuada. (Valencia, 2022, pág. 6)

Durante el encendido, se produce una reducción del voltaje nominal, aproximadamente un 58%, o una disminución de $\sqrt{3}$ en cada bobina. Por lo tanto, se prefiere el uso de motores asíncronos trifásicos con rotor en cortocircuito para lograr una conexión que genere una corriente de arranque entre 1.3 y 2.6 veces la corriente nominal (I_n), equivalente al 1/3 del valor inicial. Esta variación se puede lograr mediante circuitos abiertos, los más comunes, o circuitos cerrados, a veces utilizando resistencias adicionales en el sistema de traspaso. (Valencia 2022, pág. 6)

Inicialmente, el sistema presenta una configuración en conexión estrella (Y). A medida que el movimiento se incrementa, aproximadamente en un rango entre el 70% y el 90% de su velocidad, realiza una transición hacia la conexión en delta. Después de este cambio, las características nominales se restablecen, incluyendo un pico de corriente de 2.5 veces el valor nominal y un torque de arranque que es 1.5 veces el dato nominal presente en el arranque directo. (Valencia 2022, pág. 6)

Una transición excesivamente rápida entre los ajustes de estrella y triángulo podría resultar en la desconexión del arco en los contactos de los contactores, lo que podría provocar un cortocircuito.

Es esencial que el intervalo de tiempo durante la transición sea lo suficientemente amplio para eliminar los arcos, evitando así problemas. Simultáneamente, se busca minimizar la reducción de velocidad de la unidad durante este proceso. Se han desarrollado relés temporizadores específicos para facilitar la transición de estrella a triángulo, asegurando que se cumpla de manera eficiente y segura. La variación inicial en la corriente solicitada, en muchas circunstancias, podría resultar extremadamente perjudicial para el entorno. Esto se debe a que puede provocar caídas de tensión

en la línea de alimentación hacia la máquina, afectando potencialmente a otras máquinas o receptores cercanos. Estas fluctuaciones pueden ser la causa de daños y, en algunos casos, podrían generar reclamaciones legales dirigidas hacia la empresa encargada de la distribución y suministro eléctrico de los receptores o consumidores próximos al motor en cuestión. Se recomienda consultar la Ilustración 2-4, para obtener una representación visual de este fenómeno. (Cruz, 2012)

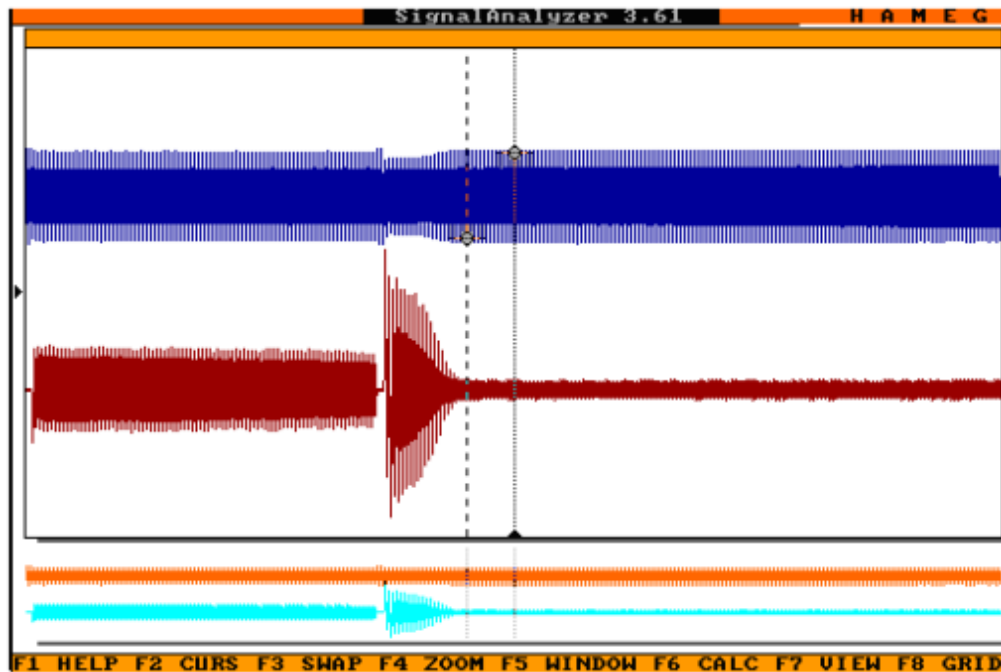


Ilustración 2-4: Corrientes iniciales en la línea de alimentación de un motor

Fuente: Cruz, 2012.

En la Ilustración 2-4, los gráficos representan los efectos sin considerar el valor absoluto de la corriente tanto en el funcionamiento convencional como en el instante de las sobre corrientes de arranque. La maniobra ilustrada corresponde a un arranque estrella-triángulo mal ejecutada, donde se realiza el cambio de la configuración de estrella a triángulo prematuramente. De este modo, se analizan en un solo gráfico las corrientes elevadas de un arranque directo hipotético, la disminución al realizar el arranque a tensión reducida (estrella, la primera corriente registrada), y finalmente, la corriente en funcionamiento normal (valor de corriente al final del gráfico), además de reducir el impacto en la línea de tensión. (Cruz, 2012)

El proceso de arranque estrella-triángulo implica la coordinación de tres contactores esenciales:

- El contactor de línea (L, KM1)
- El contactor de estrella (Y, KM1)
- El contactor de triángulo (Δ , KM3)

En este sistema, los elementos de protección desempeñan un papel crucial para garantizar la integridad del proceso de arranque.

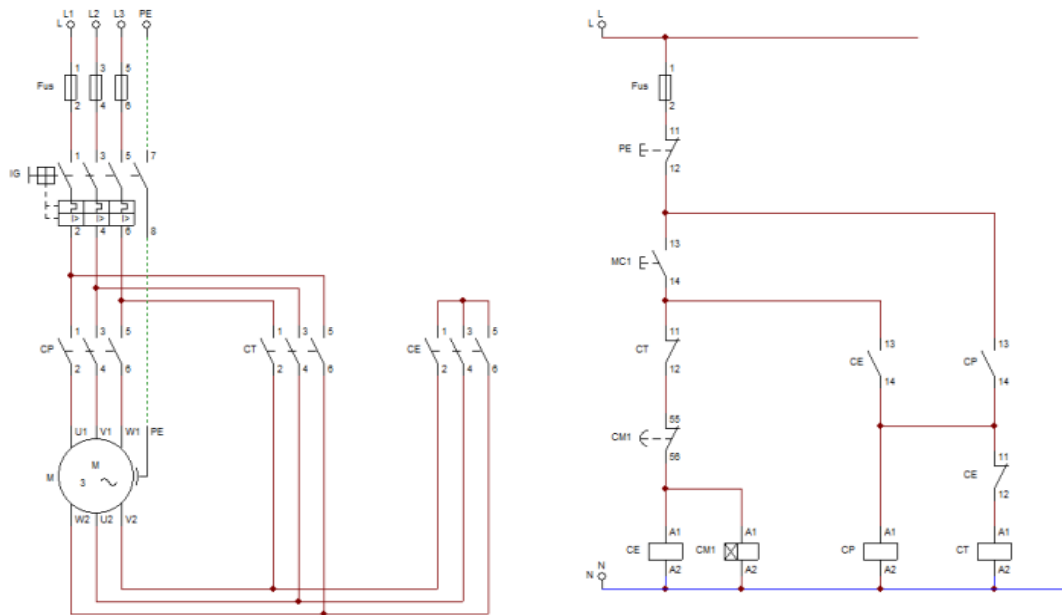


Ilustración 2-5: Diagrama eléctrico del arranque estrella-triángulo

Fuente: Huamán, 2020.

2.2.2. Aplicaciones y ventajas

La utilización de la conexión estrella triángulo emerge como una alternativa rentable y eficaz para iniciar motores trifásicos que presentan cargas significativas o una inercia elevada. Sin embargo, se recomienda realizar una evaluación exhaustiva de las ventajas asociadas con este método de arranque antes de su implementación. (Automatizarte 2023)

- Disminuye la corriente inicial del motor, previniendo descensos de voltaje en la red y posibles sobrecargas o daños en el motor.
- Se trata de un procedimiento sencillo y asequible que únicamente requiere la implementación de tres contactores y un temporizador.
- Facilita el arranque gradual del motor, sin generar picos de corriente ni un aumento excesivo de la temperatura.
- Permite que el motor alcance su máxima potencia y velocidad final al realizar la transición a la conexión en triángulo.
- Además, evita interferencias con otros dispositivos conectados a la red de distribución.

Las aplicaciones típicas de estos motores incluyen aplicaciones como bombas hidráulicas centrífugas, extrusoras, transportadores, trituradoras, fresadoras, generadores, ventiladores

centrífugos, máquinas herramienta (con arranque por vacío), compresores alternativos con sistema de refrigeración, arrancadores de alivio de presión y tornillos. En general todo tipo de máquinas centrífugas que comienza a trabajar al vacío. (Capacitación Técnica, 2019)

2.2.3. Comparación con otros métodos de arranque

Según Valencia (2022, págs. 20-28), al comparar el arranque estrella-triángulo con otros métodos, sostiene que la simulación es el enfoque más efectivo. En la Ilustración 2-6, se representa la curva de corriente durante el arranque directo en un motor trifásico de inducción (143T a 184T).

Según la gráfica, se observa que la corriente alcanza su punto máximo, aproximadamente 375 A, y a partir de los 0.72 segundos, comienza a disminuir hasta alcanzar su corriente nominal después de un segundo, con un valor de 21.72 A. Es relevante señalar que la corriente nominal simulada es similar a la corriente nominal del motor real, la cual es de 23.2 A. (Valencia 2022, pág. 20)

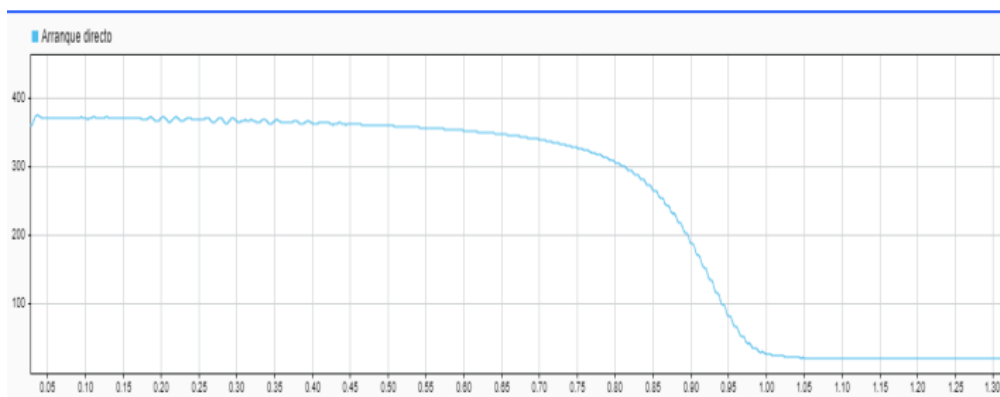


Ilustración 2-6: Curva de corriente arranque directo

Fuente: Valencia, 2022, pág. 20.

En la Ilustración 2-7, muestra la curva de corriente durante el arranque estrella-triángulo. Se puede ver que el punto máximo de corriente alcanza aproximadamente los 136.4 A. Después de 1.5 segundos la corriente comienza a bajar a 2.51 segundos durante los cuales se produce un aumento brusco de corriente, alcanzando el valor máximo de 173.1 A. Este aumento se atribuye al cambio de estrella a triángulo. Sin embargo, este pico elevado es solo parte de la simulación y no se realizará en un motor real debido al tiempo que lleva cambiar de una conexión a otra. A partir de los 2.7 segundos la corriente alcanza el valor nominal de 21.8 A. Es importante resaltar que, al igual que en el caso del arranque directo, el valor de la corriente nominal obtenida en la simulación guarda similitud con la corriente nominal indicada, que es de 23.2 A. (Valencia, 2022, pág. 22)

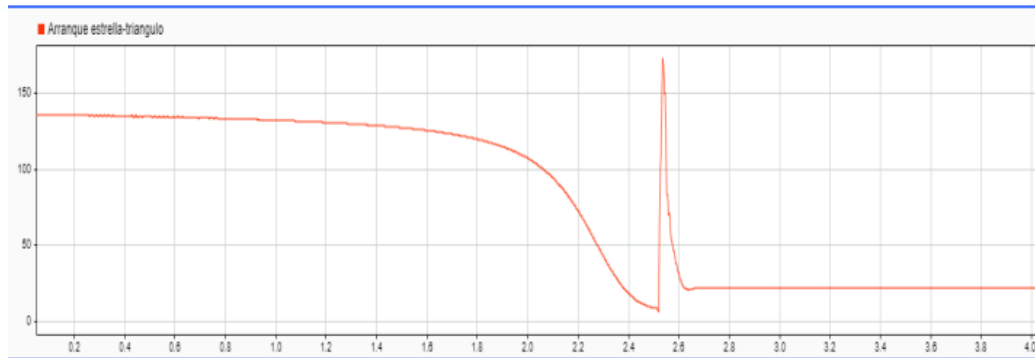


Ilustración 2-7: Curva de corriente arranque estrella-triángulo

Fuente: Valencia, 2022, pág. 22.

En la Ilustración 2-8, se presenta la curva de corriente correspondiente al arranque del motor mediante voltaje reducido con autotransformador. De acuerdo con la representación gráfica, se puede observar que el pico máximo de corriente alcanza aproximadamente los 115.4 A. A partir de los 0.3 segundos, la corriente comienza a disminuir hasta los 6 segundos, momento en el cual experimenta un aumento hasta alcanzar su punto máximo de 137.2 A. Este incremento se atribuye al autotransformador, que inicia su funcionamiento a los 6 segundos, escalando gradualmente su voltaje hasta alcanzar su corriente máxima. Posteriormente, la corriente disminuye hasta los 8.5 segundos y se estabiliza a partir de los 15 segundos, llegando finalmente a su corriente nominal de 21.9 A. Es esencial señalar que, al igual que en los arranques anteriores, el valor de la corriente nominal obtenida del motor es de 23.2 A. (Valencia, 2022, pág. 23)

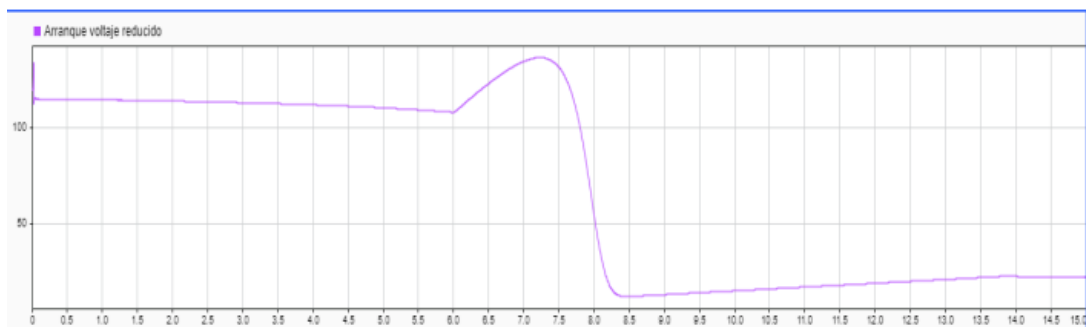


Ilustración 2-8: Curva de corriente arranque a voltaje reducido

Fuente: Valencia, 2022, pág. 23.

En la Ilustración 2-9, muestra tres corrientes obtenidas para cada uno de los arranques. Donde se aprecia la relación entre la corriente de arranque y la corriente nominal, Se debe tener en cuenta que la corriente máxima se presenta en el arranque directo, siendo esta 16.15 veces la corriente nominal (I_N). En cambio, la corriente pico más baja se registra en el arranque a voltaje reducido con 4.9 veces la corriente nominal (I_N). (Valencia, 2022, pág. 25)

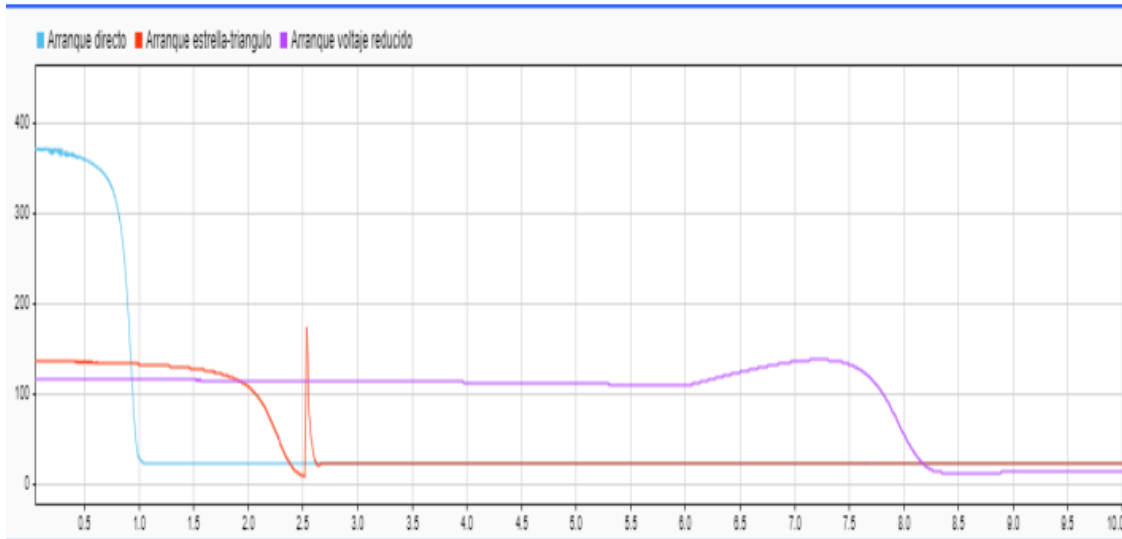


Ilustración 2-9: Comparación de curvas de corriente

Fuente: Valencia, 2022, pág. 25

2.2.4. Fallas en el arranque estrella-triángulo

En cualquier parte del sistema eléctrico, existe la posibilidad de que ocurra un fallo, el cual se define como un evento aleatorio que interrumpe el flujo regular de corriente, provocando sobretensiones y caídas de voltaje. Estas situaciones pueden originarse debido a problemas mecánicos, contaminación, la operación de interruptores, errores en la mano de obra, entre otras causas. (Huamán, 2020)

A continuación, se examinarán las fallas más frecuentes que pueden manifestarse durante el arranque estrella-triángulo y cómo impactan en su funcionamiento:

a. Fallo en el contactor

- **Degradación mecánica:** Con el tiempo, las piezas móviles de un contactor pueden deteriorarse, comprometiendo su capacidad para realizar una conexión efectiva.
- **Acumulación de residuos:** La deposición de desechos en las partes internas del contactor puede causar interferencias en su correcto funcionamiento.
- **Corrosión:** La oxidación de los contactos puede afectar la conducción adecuada de la corriente eléctrica

b. Avería en los relés de sobrecarga

- **Ajuste inadecuado:** Si los relés de sobrecarga no están configurados correctamente, es posible que no detecte el motor y lo protejan de sobrecargas.
- **Deterioro:** Los relés de sobrecarga pueden dañarse por impactos o caídas, impidiendo que funcionen correctamente.

- **Degradación:** El uso prolongado de relés de sobrecarga puede provocar desgaste de los componentes internos y, por tanto, genera fallos.
- c. Problemas en los cables de conexión**
- **Conexiones sueltas o desconexiones:** Si los cables de conexión no están instalados correctamente se puede producir una interrupción en el flujo de electricidad.
 - **Daño físico:** Los cables de conexión pueden sufrir daños debido al desgaste, la exposición a condiciones ambientales desfavorables o un manejo incorrecto.
 - **Sección transversal inapropiada:** Si los cables de conexión tienen una sección incorrecta, se puede producir una caída de tensión importante, lo que afecta el rendimiento del sistema.
- d. Problemas en los motores**
- **Sobrecalentamiento:** El sobrecalentamiento del motor puede dañar sus componentes internos y afectar su capacidad de arranque.
 - **Desgaste de cojinetes:** Los cojinetes desgastados pueden causar fricción adicional en el motor, lo que afectará el rendimiento del motor y puede resultar en fallas.
 - **Problemas de aislamiento:** Cuando el aislamiento del motor se deteriora, pueden ocurrir fugas de corriente o cortocircuitos, lo que puede afectar el funcionamiento adecuado.

2.3. Ecuaciones para la selección de elementos electromecánicos

A continuación, se presentarán las ecuaciones fundamentales utilizadas para la selección precisa de elementos electromecánicos clave en el diseño y funcionamiento de sistemas industriales.

2.3.1. Corriente de protección de un disyuntor

En primer lugar, la Ecuación 2-3, muestra cómo calcular la corriente nominal (I_n)

$$I_n = \frac{P}{V \cdot \cos\phi \cdot \sqrt{3}}$$

Ecuación 2-3: Corriente nominal

I_n : Corriente nominal.

P : Potencia.

V : Voltaje.

$\cos\phi$: Factor de potencia.

Para determinar el tamaño adecuado de este dispositivo, es necesario multiplicar la corriente nominal de acuerdo con Ecuación 2-3 por un factor de 1,25, lo que proporcionará la corriente de protección requerida. Esta corriente representa la carga que el dispositivo debe manejar para asegurar su funcionamiento óptimo. Es esencial considerar este valor con precisión, ya que determinará la capacidad del dispositivo para proteger el sistema contra posibles sobrecargas. (Cargua y Mendoza, 2021, pág. 19)

$$I_p = 1.25 * I_n$$

Ecuación 2-4: Corriente de protección

2.3.2. *Consideraciones para la selección de un contactor*

Para seleccionar correctamente un contactor según los lineamientos (Padilla, 2017) se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- Potencia solicitada por la aplicación.
- Tipo de alimentación eléctrica, ya sea CA o CC, tanto para la bobina como para la aplicación.
- Tipo de circuito, que puede ser de CA, CC, monofásico o trifásico.
- Tiempo de funcionamiento del contactor.
- Número total de maniobras realizadas durante la vida útil.
- Condiciones ambientales bajo las cuales se instala el contactor.
- Métodos de arranque aplicables de acuerdo con las necesidades específicas del sistema. (pág. 13)

La Ecuación 2.5, se utiliza para calcular la corriente de fase (I_f), que ayuda a definir tanto el contactor de línea como el contactor de triángulo.

$$I_f = I_n / \sqrt{3}$$

Ecuación 2-5: Corriente de fase

La elección adecuada de un contactor de línea y de triángulo, se requiere la selección de uno cuya corriente sea igual o superior a la corriente de fase (I_f) como la muestra la Ecuación 2.6 y 2.7.

$$I_{kl} \geq I_f$$

Ecuación 2-6: Límite superior de la corriente de fase

$$I_{k3} \geq I_f$$

Ecuación 2-7: Límite inferior de la corriente de fase

Para hallar el contactor de estrella se debe seleccionar un contactor que soporte el 33% de la corriente nominal. (Studocu, 2021)

$$I_{k2} \geq 33\%(I_n)$$

Ecuación 2-8: Corriente nominal de estrella

2.3.3. *Rango del relé térmico*

Para realizar una adecuada dimensión del relé térmico, es necesario asegurarse de que la corriente de fase (I_f) se encuentre dentro de los límites mínimo y máximo establecidos por el propio dispositivo. Este proceso implica calcular los límites mediante la aplicación de un factor de seguridad del 80%, que se multiplica a la corriente nominal para establecer un margen de operación seguro. Es esencial este cálculo para evitar sobrecargas o subcargas que puedan comprometer el funcionamiento eficiente del relé térmico. (Studocu 2021)

$$I_{\min} = I_f * 0.8$$

Ecuación 2-9: Límite mínimo de corriente de fase

$$I_{\max} = I_f / 0.8$$

Ecuación 2-10: Límite máximo de corriente de fase

2.4. **Módulo lógico programable**

El módulo lógico programable (micro PLC) será el foco de atención en este segmento, siendo un componente crucial en sistemas de automatización industrial. Se explorarán sus características y aplicaciones, así como su mantenimiento y la identificación de fallas.

2.4.1. *Características y aplicaciones*

Un módulo lógico se caracteriza por permitir al usuario definir la lógica de control mediante un conjunto de instrucciones, las cuales pueden ser ingresadas directamente en el controlador mediante la interfaz de usuario del equipo o mediante un software de programación desde un PC. (Álvarez, 2007, pág. 1)

Los módulos lógicos programables cuentan con terminales de entrada, también conocidos como captadores, a los cuales se conectan dispositivos como pulsadores, finales de carrera, fotocélulas y detectores. Asimismo, disponen de terminales de salida, denominados actuadores, donde se conectarán elementos como bobinas de contactores, electroválvulas y lámparas. La operación de estos últimos depende de las señales de entrada que estén activadas en cualquier momento, de acuerdo con el programa almacenado en el controlador. (Martínez, 2015, pág. 6)

La función principal de estos dispositivos consiste en automatizar procesos y maquinaria en entornos industriales, simplificando la toma de decisiones basada en funciones lógicas (Lenguaje FBD), tales como operaciones AND, OR, entre otras, o mediante el uso de diagramas de contacto para la lógica programada (Lenguaje Ladder Logic). Una de las características más destacadas es la ausencia de necesidad de mantenimiento en su operación. (Álvarez, 2007, pág. 7)

2.4.2. Lenguaje FBD y Ladder Logic

El lenguaje Diagrama de bloques de funciones (FBD) es particularmente útil para programadores con experiencia en circuitos electrónicos porque utiliza funciones lógicas como AND, OR, entre otras. Por el contrario, el lenguaje de programación LADDER permite una representación visual del circuito de control utilizando símbolos como contactos (N.A. y N.C.), temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, relés y otros elementos. El nombre de este lenguaje proviene de su similitud con los diagramas de circuitos eléctricos en forma de escalera. (Martínez, 2015, pág. 6)

En la Ilustración 2-10, muestra las conexiones básicas utilizadas en el diagrama FBD y su equivalencia con las conexiones del diagrama LADDER. Estos diagramas son útiles para comprender las funciones y relaciones entre dos o más variables ampliamente utilizadas en la ingeniería de software. Aunque los bloques de funciones son estándar, se pueden personalizar según necesidades específicas. Adicionalmente el lenguaje FBD del estándar IEC 1131-3 permite al usuario crear sus propios bloques de funcionales basados en los requisitos del programa de control. (Brunete et al., 2020)

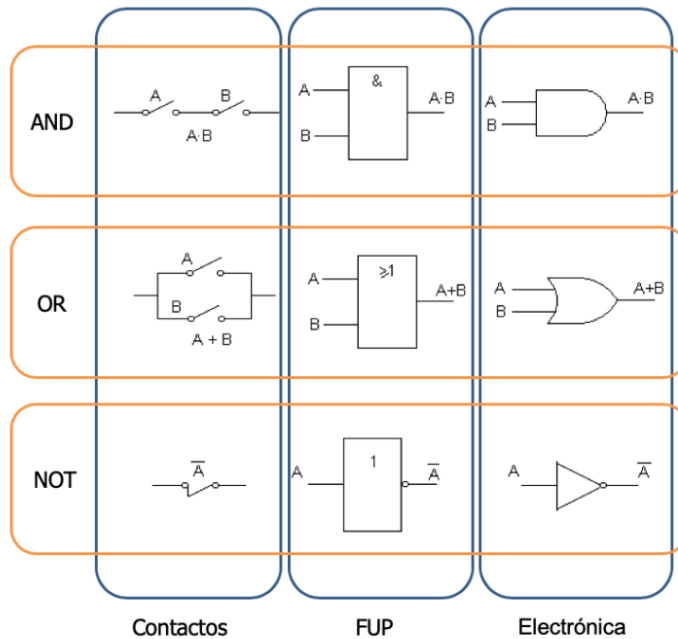


Ilustración 2-10: Lenguaje LADDER y FBD

Fuente: Brunete et al., 2020.

La Ilustración 2-10. Indica que es posible llevar a cabo la programación en un lenguaje de diagrama de escalera (LADDER) y luego convertirlo al formato de diagrama de bloques de funciones (FBD), así como realizar el proceso inverso. En la Tabla 2-2, se detallan dos de los lenguajes de programación estándar IEC 61131-3. (Arias, 2019)

Tabla 2-2: Lenguaje de programación IEC 61131-3

LENGUAJE	CARACTERÍSTICA	EJEMPLOS	TIPO	NIVEL
Plano	Diagrama eléctrico	LADDER	Visual	Alto
Diagrama de bloques secuencial	Diagrama lógico	FBD	Visual	Alto

Fuente: Ramírez y Sotomayor, 2009 pág. 49.

Realizado por: Maliza C., 2024.

2.4.3. *Mantenimiento y localización de fallas de un módulo lógico programable*

El primer paso en la reparación implica determinar si el problema radica en el procesador interno o en las entradas y salidas. A menudo se asume que los fallos en los módulos lógicos programables se deben a problemas en el procesador, pero la experiencia ha demostrado que más del 80% de los fallos se deben a problemas en los interruptores de entrada y salida (E/S) o en los dispositivos de campo. Es relativamente sencillo identificar si un problema afecta al procesador o a las entradas y salidas, ya que cada fallo presenta síntomas distintivos. (Thesergioscorner, 2015)

Para los fallos internos, se realiza la inspección visual del cableado de alimentación y tierra para detectar conexiones sueltas, corroídas o sospechosas. Esta inspección se lleva a cabo cuando el equipo está conectado a la alimentación y encendido.

Si el módulo lógico programable está equipado con una fuente de alimentación AC, es necesario verificar el voltaje de entrada, el cual debe estar dentro de los valores recomendados por el fabricante. En el caso de ser alimentado con DC, también se debe realizar una comprobación, midiendo cada una de las salidas de la fuente de alimentación DC y asegurándose de que los voltajes estén dentro de los parámetros indicados por el fabricante. Además, es importante realizar una búsqueda de ondulaciones de onda AC, lo cual se puede realizar utilizando un multímetro digital configurado en el rango AC más bajo. El valor medido debe estar significativamente por debajo de las especificaciones del fabricante. Las ondulaciones en la fuente de alimentación continua pueden tener efectos drásticos en el funcionamiento de los procesadores y memorias dentro del PLC. (Thesergioscorner, 2015)

Otro aspecto por considerar son las interferencias electromagnéticas (EMI) o las interferencias de radiofrecuencia (RFI). Es importante investigar si el mal funcionamiento se debe a una EMI o RFI externa, como, por ejemplo, arranques de motores, soldadura por arco cercana, relámpagos o el uso de radios de mano. Aunque aparenten ser inofensivas, las radios de mano son comúnmente utilizadas por el personal de mantenimiento y emiten radiación RF de gran alcance que puede afectar seriamente el funcionamiento de los equipos desprotegidos. (Soriano, 2015)

Según SICMAC (2023), se pueden reconocer diversas causas comunes de los fallos en los módulos lógicos programables, también conocidos como micro PLC:

- **Errores del módulo de E/S:** Estos pueden ocurrir debido a quemaduras de entrada debido a transitorios, quemaduras de salida debido a sobrecarga o daños en el relé dañados, entre otros.
- **Cortes de energía:** Estos cortes de energía pueden dañar los componentes críticos debido a condiciones climáticas adversas o mantenimiento inadecuado.
- **Sobrecalentamiento:** No mantener el espacio libre adecuado y exceder la temperatura máxima recomendada por el fabricante para los equipos microautomáticos puede provocar un sobrecalentamiento y un rendimiento deficiente.
- **Fallo a tierra:** Las conexiones a tierra inadecuadas pueden causar una variedad de problemas, desde transitorios eléctricos inducidos en el controlador hasta posibles descargas eléctricas.

- **Degradación de la memoria:** Factores como interferencias electromagnéticas, interferencias de radiofrecuencia, acumulación de polvo en la placa del módulo lógico programable, condiciones de humedad, fluctuaciones de temperatura o picos transitorios de voltaje pueden alterar o incluso dañar irreversible en la memoria de un micro PLC.
- **Problemas electromagnéticos y/o radiofrecuencia (EMC):** Pueden afectar las redes industriales contaminándolas con campos electromagnéticos, lo que puede provocar fallos y daños en la parte electrónica del módulo lógico programable.

Existen varias tácticas y recursos disponibles para localizar errores en un módulo lógico programable. Con la observación de los indicadores puede proporcionar detalles sobre el estado del sistema.

Asimismo, el uso de un multímetro es fundamental para comprobar resistencias a tierra, tensiones de la batería y otras mediciones eléctricas. La termografía también puede ser útil para detectar anomalías térmicas, lo que podría indicar un problema. (Siema21, 2023)

2.5. Interfaz Humano-Máquina (HMI)

Un dispositivo de Interfaz Hombre-Máquina (HMI) se presenta como un medio de comunicación diseñado para facilitar la interacción entre el operador y máquina por medio de un lenguaje gráfico.

De acuerdo con Cando y Medina (2021 pág. 16), este dispositivo habilita el control, la gestión y la optimización desde su panel de instrumentos.

Permite la introducción de variables y la monitorización en tiempo real. Su función principal es proporcionar gráficos que aporten significado y contexto sobre el estado de los elementos en los procesos, aplicando parámetros fundamentales como estabilidad, robustez y simplicidad de acuerdo con los requisitos específicos de cada situación. Los HMI funcionan de manera eficiente en conjunto con el protocolo de comunicación Ethernet, la cual se caracteriza por ser una red que permite la comunicación en tiempo real con diversas aplicaciones del sistema. (Cando y Medina 2021, pág.16)

De acuerdo con (Cazco y Iñiguez, 2013, págs. 109-110) un sistema HMI se encarga de:

- **Visualización de procesos:** Los procesos se muestran en el panel de control y cualquier cambio en el estado del proceso se muestra automáticamente en la pantalla del panel de control.
- **Control de procesos:** Los operadores pueden controlar el proceso a través de una interfaz gráfica de usuario. Por ejemplo, puede especificar puntos de ajuste para el control o arrancar/parar el motor.
- **Generar advertencias:** Si se detecta condiciones críticas durante el proceso, se generan advertencias automáticamente (por ejemplo, si se excede un cierto valor límite).
- **Guardar valores de proceso y mensajes:** La HMI puede registrar valores de proceso y mensajes para que pueda documentar el progreso del proceso y ver registros de producción.

2.6. Fundamentos del diseño de tableros de control

Un tablero industrial está formado por una variedad de elementos. A través de interruptores, las distintas señales generadas en un proceso industrial son recibidas por las terminales de entrada de un módulo lógico programable. Este dispositivo procesa la información y, a través de las salidas, activa los actuadores para ejecutar la tarea requerida. Además, los tableros están compuestos por rieles de fijación, los cuales tienen la función de sostener y mantener en su lugar, de manera segura, los componentes del tablero. Estos rieles se ensamblan por medio de tornillos a la parte interna del tablero, que en ellos se pueden instalar el autómatas programable y sus módulos al igual que las terminales. Para que este tenga una apariencia ordenada son usadas las canaletas, de esta forma los cables no son visibles. (Sánchez Perdomo 2021)

El tablero eléctrico según lo afirma (Guillén, 2022 pág. 9) está compuesto por varias:

- **El gabinete:** es la carcasa exterior que protege todos los componentes del circuito de control. Por lo general, estos gabinetes están hechos de metal, aunque en algunos casos se utilizan materiales plásticos, dependiendo de la aplicación.
- **Los rieles metálicos:** sirven como base para montar todos los componentes que se utilizarán para controlar el sistema.
- **Las canaletas:** son canales de plástico donde se colocan los cables para llevarlos de un lugar del tablero a otro.
- **Las borneras de conexiones:** también conocidas como clemas, son conectores eléctricos que aprisionan el cable mediante un tornillo. Estas borneras se utilizan principalmente cuando los cables salen del tablero hacia un componente externo, como un motor o un actuador.

En cuanto a los componentes eléctricos y electrónicos: estos pueden variar según el tipo de sistema requerido, desde un conjunto básico con fusibles y protecciones hasta uno más complejo con contactores, guardamotores, temporizadores, entre otros.

2.6.1. Normativa aplicable a tableros de control

La Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), particularmente en su capítulo 15 sobre sistemas electromecánicos, tiene como finalidad establecer los requisitos mínimos de seguridad para sistemas de baja tensión (inferiores a 600 V). Esto se hace para garantizar la seguridad de las personas que operan o interactúan con dichas instalaciones y para proteger los equipos y el entorno en el que se encuentran. (Cargua y Mendoza, 2021, pág. 16)

Se empleará la normativa de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC 60529) con el propósito de familiarizarse y comprender la nomenclatura y clasificación de los grados de protección que brinda la cubierta o cerramiento de equipos eléctricos con tensión nominal no superior a 72.5kV. (Cargua y Mendoza, 2021, pág. 16)

2.6.2. Normativa utilizada para la construcción de tableros de control

La norma IEC 61439-2 se presenta como el estándar internacional para la construcción de tableros eléctricos de baja tensión, con una tensión nominal máxima de 1000 V en corriente alterna o 1500 en corriente continua. (Cargua y Mendoza, 2021, pág. 16)

Entre los términos y nomenclatura utilizados por la norma se destacan algunos a continuación:

Conjunto ensamblado: Este término se define como un sistema completo de componentes eléctricos y mecánicos (carcasas, barras colectoras, unidades funcionales) que deben ensamblarse según las instrucciones del fabricante. (Legrand, 2015, pág. 15)

Constructor de ensamblaje: Se refiere a la entidad que realiza el ensamblaje y cableado del tablero y asume la responsabilidad del ensamblaje terminado. (Legrand, 2015, pág. 15)

Circuito principal: Este término incluye todas las partes conductoras de un conjunto que se incluyen en un circuito destinado a la transmisión de energía eléctrica. (Legrand, 2015, pág. 15)

Circuito auxiliar: Se refiere a todas las partes conductoras de un conjunto contenido en un circuito (distinto del circuito principal) cuya función es, entre otras cosas, el control, medición, señalización, regulación y procesamiento de información. (Legrand, 2015, pág. 15)

Durante la creación de conjuntos se debe asegurar la conformidad de su aplicación. En la Tabla 2-3, se detalla los apartados de la norma aplicable a tableros particulares de baja tensión, se toma en consideración específicamente el apartado 1 y 2 de la normativa IEC-61439. (Cargua y Mendoza 2021, pág. 16)

Tabla 2-3: Apartados de la norma IEC 61131-3

IEC-61439	
IEC-61439-1	Reglas generales
IEC-61439-2	Conjuntos armados
IEC-61439-3	Tableros de repartición
IEC-61439-4	Tableros de faena

Fuente: Cargua y Mendoza, 2021, págs.17-18.

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

2.6.3. *Calibre de cableado*

Dentro del desarrollo de una instalación eléctrica, resulta fundamental para el usuario determinar el calibre del cableado en función de la corriente que atravesará dichos conductores y las condiciones de operación previstas. Por consiguiente, se deben seguir normas específicas, como la norma NEC 310.15, la cual detalla los parámetros a tener en cuenta al elegir el calibre adecuado, como la temperatura de operación y la capacidad de corriente permisible de los conductores. (Navas, 2018, pág. 22)

Cabe señalar que una selección inadecuada del calibre del cableado podría comprometer tanto la integridad del sistema eléctrico como la seguridad de las personas.

Tabla 2-4: Capacidad de corriente permitida base a la temperatura ambiental

Calibre de conductor AWG	Rango de temperatura del conductor		
	60°C	75°C	90°C
22	3	-	-
20	5	-	-
18	-	-	14
16	-	-	18

Fuente: Sánchez, 2021.

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

2.6.4. *Código de colores y etiquetas*

El proceso de selección de la norma IEC 60446 como referencia para la identificación de conductores eléctricos en tableros de automatización se llevó a cabo considerando la importancia de establecer principios básicos de seguridad. Esta normativa, aunque ampliamente reconocida,

presenta una excepción en cuanto a los cables destinados a señales digitales y analógicas. (Guillé 2022, pág. 13)

Para abordar esta situación, se desarrolló un nuevo código de colores basado en la norma mencionada, con modificaciones específicas para estos tipos de cables. Esta adaptación se detalla en la Tabla 2-5 del documento. Este enfoque busca garantizar la seguridad y la eficiencia en el manejo de los conductores eléctricos en sistemas de automatización

Tabla 2-5: Código de colores a implementar

Función	Etiqueta	Color
Tierra protectora	PE	Verde
Línea	L	Rojo
Neutro	N	Blanco
Alimentación 24V	24V	Café
Alimentación 0V	0V	Azul
Entradas analógicas	AI	Negro
Entradas digitales	DI	Negro
Salidas digitales	DO	Rojo

Fuente: Sánchez, 2021.

Realizado por: Maliza C., 2024.

2.6.5. *Consideraciones para el diseño del tablero de control*

Según la normativa NEC 2011 Capítulo 15, (Pillajo, 2017, pág. 45) se establece que el tablero de control debe reservar al menos el 25% del espacio total para futuras extensiones no planificadas. Sin embargo, se recomienda disponer de al menos un 40% de espacio libre para garantizar una adecuada disipación del calor y prevenir posibles descargas eléctricas por contacto accidental.

Para la producción de tableros metálicos se utilizan láminas de hierro con un espesor mínimo correspondiente al tamaño de la lámina. La Tabla 2-6, muestra algunos espesores de láminas de acero utilizadas en la elaboración de tablero metálicos

Tabla 2-6: Espesor mínimo de la plancha de acero

Superficie libre (m^2)	Espesor de la plancha (mm)
1	1.8
Sobre 1	2.0-3.0

Fuente: Durán y Cabrera, 2018.

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

De acuerdo con la normativa NEC 2011 Capítulo 15, el tablero de control debe ser fabricado con materiales resistentes al fuego, auto extinguidos, no higroscópicos y resistentes a la corrosión, o en su defecto, estar protegido adecuadamente contra ella. Además, es necesario que cuente con

perforaciones de tamaño apropiado para permitir el libre paso del cableado y otras conexiones necesarias. (Pillajo, 2017, pág. 77)

Asimismo, se establece que los tableros de baja o media capacidad, tamaño y peso pueden ser montados o sobrepuestos en una pared, siempre y cuando se cumplan con las especificaciones establecidas en la normativa. (Pillajo, 2017, pág. 75)

2.6.6. *Grado de protección IP*

El grado o índice de protección, definido por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) 60529, es un sistema de clasificación que evalúa el nivel de seguridad que ofrece una instalación frente a varios riesgos, incluyendo la intrusión de objetos sólidos, polvo, contactos accidentales y agua. Esta clasificación se utiliza ampliamente en la industria eléctrica para garantizar que los equipos y dispositivos cumplan con estándares de seguridad adecuados. La normativa establece diferentes niveles de protección, desde protección mínima hasta protección completa contra cada uno de los factores mencionados. La correcta aplicación de estas normas asegura un entorno seguro para la operación de equipos eléctricos en diversas condiciones ambientales y operativas. (Cargua y Mendoza, 2021, pág. 14)

La designación del primer número evalúa, en términos generales, la protección contra el acceso a partes peligrosas y objetos sólidos externos. El segundo número característico indica el nivel de protección contra la entrada de agua. La incorporación de una letra adicional se utiliza únicamente cuando los niveles de protección son bajos contra el acceso a partes peligrosas, y especifica el grado de protección de las personas frente a dicho acceso. La letra suplementaria proporciona información adicional sobre aparatos de alto voltaje, sus pruebas, y las condiciones climáticas específicas en las que han sido evaluados. (Cajamarca y Morales, 2018, pág. 5)

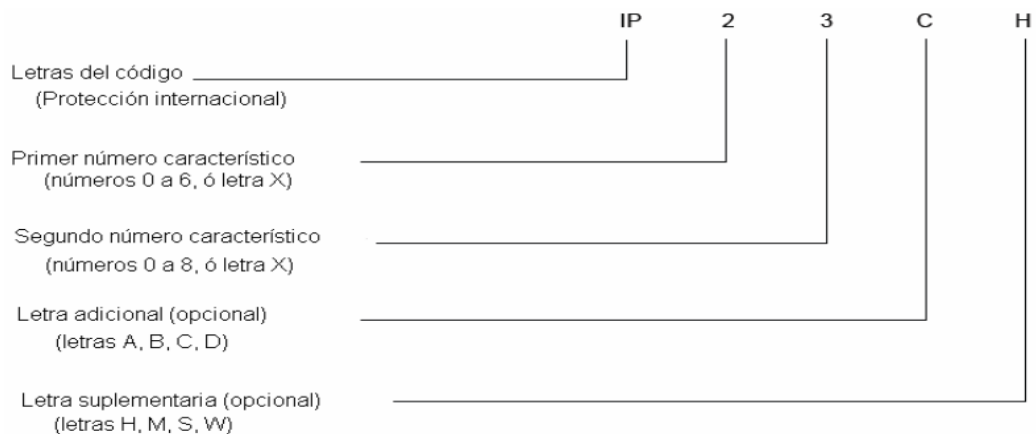


Ilustración 2-11: Disposición del código

Fuente: IEC-60529, 2014

En entornos sin riesgo de ingreso de agua, se estipula en la normativa IEC-61439 que, como mínimo, los cuadros destinados a instalaciones en interiores deben cumplir con los siguientes niveles de protección: IP 00, IP 2X, IP 3X, IP 4X, IP 5X, IP 6X.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS EN UN ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO

3.1. Requerimientos

Para dar inicio el proceso de diseño del módulo es esencial que cumplan los siguientes requerimientos:

- A. En cuanto a la seguridad, el módulo contará con dispositivos esenciales, como un relé térmico bimetálico para simular sobrecarga y prevenir daños por calentamiento excesivo. Además, para la regulación controlada de la potencia se utilizará un disyuntor bipolar, esto protege contra cortocircuitos y evita sobrecargas que podrían afectar el funcionamiento.
- B. Se ha seleccionado cuidadosamente varios controles para realizar el arranque estrella-triángulo. Estos componentes incluyen pulsadores de arranque y parada, contactor de línea, contactor de estrella y triángulo, temporizador, selector manual, módulo lógico programable y pantalla táctil (HMI). Esta selección se realiza cuidadosamente para asegurar un control eficiente y preciso del proceso de arranque estrella-triángulo.
- C. Adicionalmente, se necesitará una estructura soporte que albergue todos los elementos del sistema.

3.2. Diseño de los circuitos de fuerza y mando

Se considera esencial llevar cumpliendo rigurosamente con las pautas establecidas por la norma IEC 60617 parte1, seccion7, la cual se enfoca específicamente en la simbología de los dispositivos de maniobra, control y protección. (Espinosa, 2023, pág. 3)

El uso del software de diseño de esquemas de controles eléctricos facilita la representación gráfica detallada de los componentes eléctricos, permitiendo una visualización clara y documentación precisa del arranque estrella triángulo. Asimismo, incluye herramientas de simulación y análisis, que permiten evaluar el funcionamiento. Ver Ilustración 3-1 y 3-2.

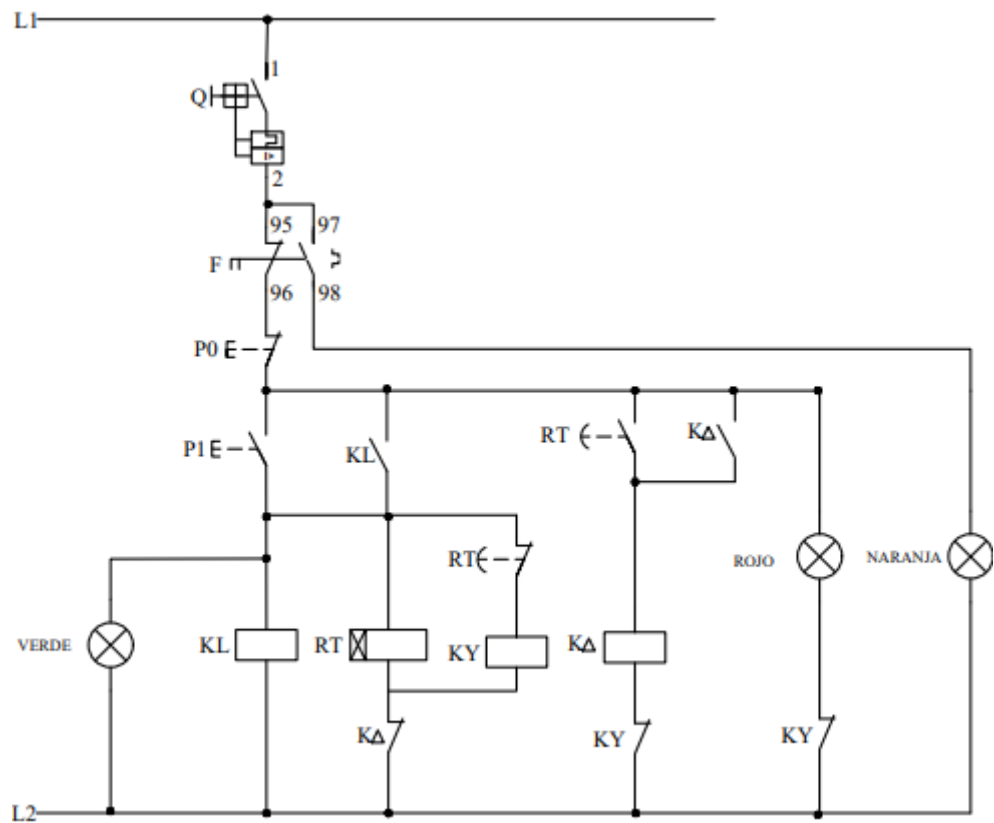


Ilustración 3-1: Circuito de mando del arranque estrella-triángulo

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

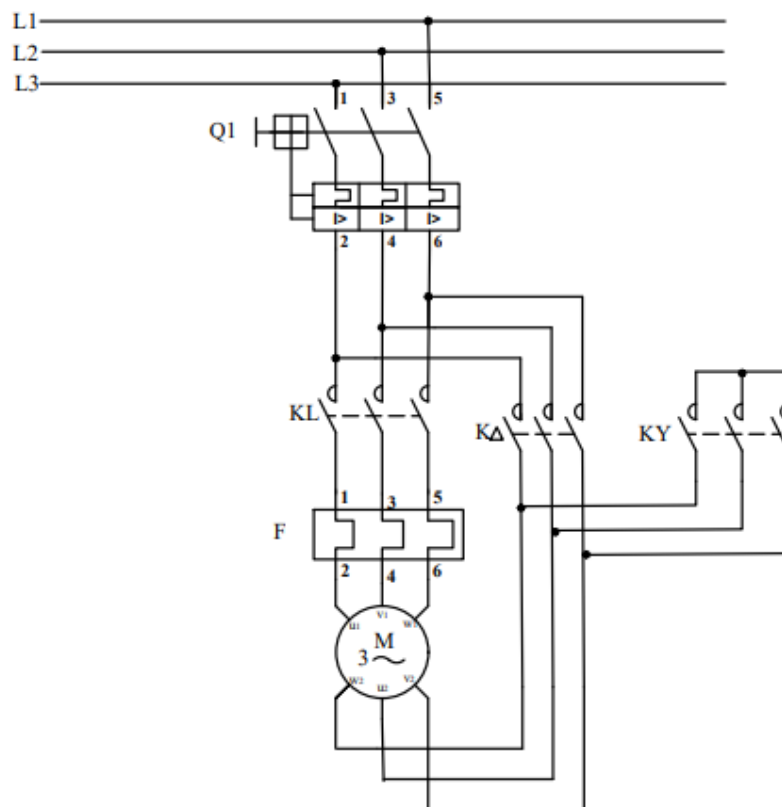


Ilustración 3-2: Circuito de potencia del arranque estrella-triángulo

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Para el diseño del esquema funcional del arranque estrella-triángulo con un módulo lógico programable, se emplea el software Cade Simu. La ventaja de este software radica en su capacidad para diseñar en tres dimensiones (3D), lo que facilita una comprensión más completa de cómo se llevan a cabo las conexiones en el entorno del módulo lógico programable. Ver Ilustración 3-3.

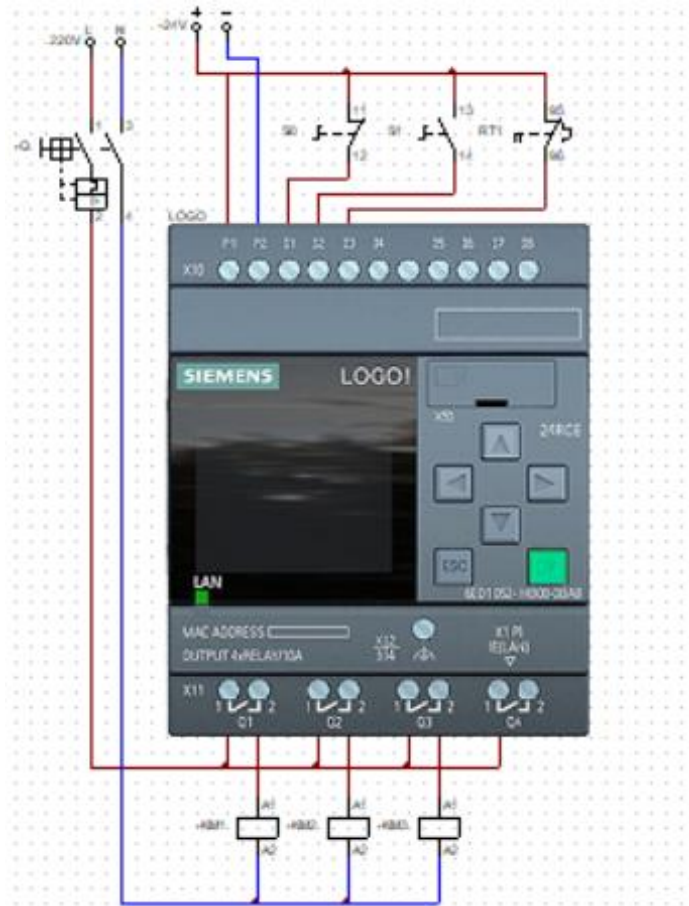


Ilustración 3-3: Circuito de control utilizando micro PLC

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

3.3. Selección de elementos electromecánicos

En esta sección, nos enfocaremos en analizar la selección de elementos electromecánicos, considerando una variedad de factores importantes que juegan un papel crucial en la elección acertada de estos componentes esenciales en sistemas eléctricos e industriales.

3.3.1. Breaker o disyuntor

Para evaluar las dimensiones de este dispositivo, se debe tener en cuenta un voltaje de 220V, una potencia de 1Hp, un factor de potencia de 0.85 y la presencia de $\sqrt{3}$, dado que se trata de un

sistema trifásico, como se indica en la Ecuación 2-3. Al sustituir los valores correspondientes en la ecuación, se obtiene la corriente nominal (I_n).

$$I_n = \frac{746 \text{ Watts}}{220\text{V} * (0.85) * 1.73}$$
$$I_n = 2.1 \text{ A}$$

Se debe tener en cuenta que la Ecuación 2-4 emplea un factor multiplicativo de 1.25. La inclusión de este factor multiplicativo tiene como objetivo asegurar que el disyuntor sea lo suficientemente robusto como para gestionar el pico de corriente sin activarse de manera incorrecta.

$$I_p = 1.25 * 2.1$$

$$I_p = 2.63 \text{ A}$$

Basándose en la corriente de protección, se concluye que la opción más apropiada sería el breaker para montaje en riel serie MM5-63 de 2 polos de la marca CamSCO como se muestra en la Ilustración 3-4.



Ilustración 3-4: Breaker

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Con capacidades que abarcan desde 1 amperio hasta 63 y una capacidad de soporte de hasta 400V en una red AC. Esta elección se respalda en su eficacia y reducido costo. Además, de acuerdo con la información suministrada en la hoja de datos del producto, la capacidad de ruptura es de 6kA que destaca su diseño robusto y su capacidad para enfrentar condiciones de voltaje de hasta 400V,

convirtiéndolo en una elección sólida para diversas aplicaciones tanto residencial como comercial. (Camsmark, s.f.)

3.3.2. Selección de un contactor

En esta sección, se abordarán la selección de los contactores de línea, estrella y triángulo. La determinación de la corriente que el contactor de línea y triángulo debe soportar, se realizará mediante el cálculo de la corriente de fase, como se expresa en la Ecuación 2-5, utilizando la corriente nominal previamente calculada:

$$I_f = 2.1 / \sqrt{3}$$

$$I_f = 1.21 \text{ A}$$

Es imperativo seleccionar un contactor cuya corriente sea igual o superior a 1.21 A, conforme establecen las Ecuaciones 2-6 y 2-7. Con el propósito de proporcionar un margen de seguridad, se adoptará un valor de referencia de 2 A para ambos contactores.

Para determinar el contactor de estrella, se empleará un valor equivalente al 33% de la corriente nominal, de acuerdo con lo indicado en la Ecuación 2-8.

$$I_{k2} \geq 33\%(2.1 \text{ A})$$

$$I_{k2} \geq 0.7 \text{ A}$$

Asimismo, es necesario que la bobina de alimentación del contactor permita conexiones a 110-120V.

Basándose en los cálculos anteriores, se seleccionaron los contactores Sirius 3RT2 que demostraron su idoneidad para los requisitos técnicos establecidos.

Además, estos contactores son una opción popular y confiable para aplicaciones de arranque estrella-triángulo debido a su diseño robusto, capacidad de conmutación y durabilidad. En adición, la marca Siemens goza de una buena reputación por su calidad y fiabilidad en el campo de la automatización industrial.

A continuación, se presenta una tabla que resume las características técnicas del contactor Siemens seleccionado:

Tabla 3-1: Características técnicas del Contactor Sirius 3RT2 de Siemens

Contactor Sirius 3RT2	
Perdidas de potencia por polo en operación (W)	0.4
Vida útil mecánica (ciclos de maniobra)	10 000 000
Rango de temperatura (°C)	25 a 60
Tensión de alimentación de mando (V)	110
Frecuencia (Hz)	50/60
Retardo de cierre (ms)	8 a 40
Retardo de apertura (ms)	4 a 16
Intensidad de empleo (A)	9
Grado de protección IP	20

Fuente: Siemens, 2022.

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

3.3.3. Selección del relé térmico

Las Ecuaciones 2-9 y 2-10, se utilizan para seleccionar el relé térmico apropiado. Estas ecuaciones describen los valores mínimo y máximo de la corriente de fase (I_f) que deben corresponder a las propiedades del relé.

$$I_{\min} = 1.21 * 0.8$$

$$I_{\min} = 0.968 \text{ A}$$

$$I_{\max} = 1.21 / 0.8$$

$$I_{\max} = 1.51 \text{ A}$$

El intervalo de corriente obtenido no correspondía a ningún relé térmico de sobrecarga disponible en el mercado. En vista de esta situación, se optó por seleccionar el relé térmico de sobrecarga 3RU2126, el cual demuestra ser compatible tanto en términos eléctricos como mecánicos con los contactores 3RT previamente elegidos.

Esta elección se respalda en las indicaciones proporcionadas por el manual del producto (Siemens, 2023, págs. 21-59), que especifica la posibilidad de adosarlos directamente y simular un disparo con el pasador TEST, con lo que puede comprobarse si el cableado del circuito auxiliar es correcto.

Este enfoque garantiza una integración eficiente y sin inconvenientes entre los componentes, optimizando así el desempeño y la confiabilidad del sistema eléctrico en cuestión.

3.4. Elemento de control automático

A continuación, exploraremos los elementos de control automático, centrándonos en la selección del micro PLC y la selección de la pantalla HMI (Interfaz Hombre-Máquina). Se analiza los criterios y consideraciones necesarios para la elección acertada de estos elementos importantes en el sistema de automatización industrial.

3.4.1. Selección del micro PLC

Se optó por la selección del LOGO 12/24RCE en virtud de su versatilidad de programación y su atractivo costo en comparación con otros módulos programables disponibles en el mercado. Las características distintivas de este dispositivo se presentan de manera detallada en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Características técnicas del LOGO 12/24RCE

LOGO 12/24RCE	
Tensión de alimentación (V DC)	12-24
Entradas digitales	8, de ellas, 4 aptas como E analógicas (0-10 V)
Salidas	4 de tipo relé
Consumo de corriente (mA)	20-75
Intensidad de salida con carga inductiva (A)	3
Temperatura en servicio (°C)	-20 hasta 55
Protocolo de red	Ethernet
Frecuencia de conmutación (Hz)	0.5

Fuente: Siemens, 2021.

Realizado por: Maliza C., 2024.

Es necesario recordar que este dispositivo necesita una fuente de alimentación de 24V DC. Para cumplir esta necesidad, se ha optado por la fuente de alimentación MEAN WELL MDR-60-24.

Esta fuente conmutada de 60 Watts proporciona una salida de 24 voltios y 2.5 amperios. Además, la MDR-60-24 ofrece un rango de entrada de corriente alterna universal y está equipada con protecciones integradas contra cortocircuitos, sobrecargas y sobretensiones. La refrigeración se lleva a cabo mediante convección de aire libre, y su eficiencia supera el 89%, contribuyendo significativamente a la reducción de la disipación de energía (MEAN WELL, s.f.)

3.4.2. Selección de la pantalla HMI


En la selección de la pantalla HMI, se asignó una consideración primordial a la compatibilidad con el micro PLC previamente elegido y su protocolo de comunicación. En este contexto, se determinó que la pantalla HMI DELTA sería la opción más adecuada, dado que cuenta con un

protocolo de comunicación Ethernet y una notable compatibilidad con diversas marcas, incluyendo el LOGO de Siemens.

Las características fundamentales de la pantalla HMI DELTA DOP-103WQ se detallan en la Tabla 3-3:

Tabla 3-3: Características técnicas del LOGO 12/24RCE

Pantalla HMI DELTA DOP-103WQ	
Tamaño de pantalla (in)	4.3
Resolución (px)	480x272
RAM (MB)	512
ROM (MB)	256
Comunicación	Ethernet
Temperatura de operación (°C)	0 hasta 50
Procesador	Cortex-A8



Fuente: DELTA, 2021.

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Esta elección se sustenta en la capacidad de la pantalla HMI DELTA para integrarse eficientemente con el micro PLC, proporcionando una interfaz de usuario efectiva y una comunicación estable a través de Ethernet.

3.5. Diseño de la estructura del módulo

En el proceso de diseño de la estructura, se emplea un software de diseño asistido por computadora para su modelado, prescindiendo de los grados de protección IP debido al carácter académico del módulo. En la Ilustración 3-5, se puede verificar el modelado de la estructura con grado IP 00.

La selección del material y dimensiones para el módulo busca optimizar el espacio disponible, facilitar el transporte y manipulación. En este sentido, se optará por utilizar aluminio como material principal debido a su combinación única de liviandad y resistencia. El diseño incluirá un cuadro de alucobón de 64x25 cm para la parte superior y otro de 64x45 cm para la parte inferior.

El aluminio se distingue por tener una densidad de 2.7 g/cm^3 . Esta característica, combinada con su alta resistencia a la tracción de 90 MPa no solo ofrece una solución liviana, sino también durabilidad y una resistencia a la corrosión que oscila entre 7 y 8 en escala de Mohs. Estas cualidades garantizan una prolongada vida útil, incluso en ambientes industriales.

Se procurará identificar un entorno seco, exento de humedad, que cuente con una ventilación adecuada. Con el objetivo de suministrar circulación de aire para lograr el enfriamiento eficiente de los componente eléctricos y electrónicos. (Tituaña, 2015, pág. 8)

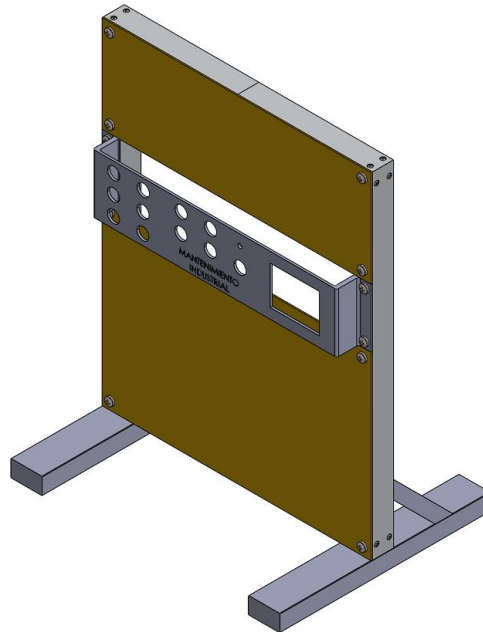


Ilustración 3-5: Modelado de la estructura

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

3.6. Construcción del módulo

La sección de construcción del módulo abordará aspectos relacionados con la estructura de soporte, la fijación de la canaleta ranurada y el riel DIN, así como la integración de la botonera.

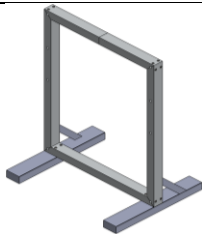
Adicionalmente, se examinarán detalladamente otros elementos cruciales para el ensamblaje completo del módulo, como la disposición de los materiales.

3.6.1. Estructura soporte

Se inició con la toma exhaustiva de medidas del perfil rectangular, identificado como anclaje clave, con el fin de asegurar una base sólida. Se determinó la necesidad de contar con un par de estos anclajes para lograr una conformación estructural óptima. Posteriormente, se procedió a medir el perfil cuadrado destinado a formar el marco, reconociendo la importancia de tener cuatro unidades para mantener la estabilidad de la estructura. Luego, se introdujo un perfil cuadrado de dimensiones más reducidas, destinado a servir como soporte del marco en conjunto con la base. Se realizaron cortes precisos en los perfiles para asegurar un ajuste perfecto a las dimensiones

requeridas. La etapa final del proceso consistió en ensamblar los perfiles cortados mediante remaches y aplicar una capa de pintura negra en todas las partes, marcando así la conclusión del procedimiento constructivo. Este enfoque sigue rigurosamente las pautas establecidas por la normativa IEC 61439, asegurando la calidad y confiabilidad de la estructura para su uso en obras de distintas magnitudes.

Tabla 3-4: Estructura y dimensiones detalladas de la estructura soporte

Estructura	Material	Dimensiones(cm)	Cantidad (U)
	Perfil rectangular de aluminio (base)	7.5x4x50	2
	Perfil cuadrado de aluminio (marco)	4x5x80	4
	Perfil cuadrado de aluminio (soporte)	3x3x20	2

Fuente: Galdámez, 2018.

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

3.6.2. Fijación de la canaleta ranurada y el riel DIN

Para llevar a cabo la sujeción, se utilizarán dos paneles de alucobon con medidas específicas. El primero, destinado a la sección superior, contará con dimensiones de 64x23 cm, mientras que el segundo, designado para la sección inferior, medirá 64x42 cm.

Una vez que los paneles de alucobón han sido cortados conforme a las dimensiones requeridas, se considera prestar especial atención a la preparación de la superficie. La limpieza minuciosa de las hojas de aluminio garantizará una adherencia efectiva de la pintura esmalte, la cual desempeña un papel esencial en la prevención de la oxidación y la corrosión.



Ilustración 3-6: Capa protectora de pintura

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

En la etapa subsiguiente del proceso de instalación, se emplea un taladro junto con autoperforantes para fijar con seguridad los paneles de alucobon en las secciones superior e inferior. Ver Ilustración 3-7.

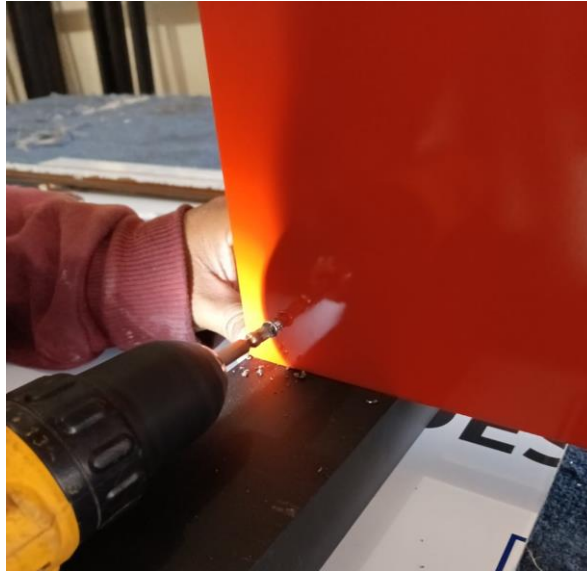


Ilustración 3-7: Sujeción mecánica del alucobón

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Tras posicionar los paneles, se procede a la meticulosa medición, corte e instalación segura de canaletas ranuradas de tono gris. Esta acción no solo provee protección a los cables, sino que también organiza eficazmente el cableado, una consideración clave en el módulo que ostenta un grado de protección IP 00. Ver Ilustración 3-8.



Ilustración 3-8: Sujeción mecánica de canaletas

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

La tarea continúa con la precisa medición, corte y aseguramiento del riel DIN fabricado en acero de tipo Omega (Ω). Las dimensiones óptimas de este riel son de 3.5 cm de ancho por 50 cm de longitud, requiriendo dos cortes precisos para su implementación. Cada segmento del riel se fija

al panel de alucobon, garantizando una distribución uniforme a lo largo del espacio definido por las canaletas ranuradas. Este proceso, se documenta en la Ilustración 3-9.



Ilustración 3-9: Estructura con grado IP 00

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

En el diseño del módulo de control correspondiente, se ha tenido en cuenta y asignado un cuarto (1/4) del espacio adicional necesario para ajustarse a futuras expansiones, garantizando así flexibilidad y capacidad para hacer frente a cambios imprevistos.

3.6.3. Botonera

En el programa de diseño asistido por computadora se modeló la botonera con el objetivo de obtener una representación detallada y precisa de su estructura y funcionamiento. Esto conlleva a una reducción de errores y menor costo. La ilustración 3-10 proporciona una visualización gráfica del diseño elaborado, brindando una referencia visual clara para la fabricación y la toma de decisiones en el proceso de desarrollo.



Ilustración 3-10: Modelado de la botonera

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Para la construcción se utilizó una lámina de acero con dimensiones de 68 cm de longitud, 12 cm de alto y 2 mm de espesor para la fabricación de la botonera. A través de cortes láser de 2 cm de diámetro, se generaron las aberturas necesarias para la disposición de pulsadores, lámparas, selector y potenciómetro. Asimismo, se llevó a cabo un corte adicional de 12 cm x 9 cm destinado a la pantalla de la interfaz HMI.

Una vez finalizados estos cortes, se procedió a la aplicación de una capa de pintura electrostática sobre la lámina, asegurando de esta manera una resistencia y durabilidad superiores gracias a la combinación homogénea de pequeñas partículas de pigmento, resinas y minerales.

3.7. Conexión de elementos seleccionados

En la sección de conexión de elementos seleccionados, se abordarán aspectos como la elección del tamaño del conductor, la conexión del circuito de control con elementos mecánicos y la conexión del circuito de control con el micro PLC.

3.7.1. Elección del tamaño del conductor

Para realizar las conexiones eléctricas, es importante considerar dos tipos de cables: el AWG 16 y el AWG 22. El cable AWG 16 se utiliza principalmente para conectar los elementos del circuito de control del arranque estrella-triángulo, que se muestra en la Ilustración 3-1. Además, este mismo cable se emplea para llevar la corriente de 110V a la fuente de 24V de corriente continua (CC), asegurando así un suministro de energía estable.

Por otro lado, el cable AWG 22 se utiliza para alimentar el micro PLC y la pantalla desde la misma fuente de 24V de corriente continua. Es importante destacar que las entradas del micro

PLC deben conectarse utilizando específicamente el cable AWG 22 para garantizar que la corriente sea menor a 4A.

3.7.2. *Conexión del circuito de control con elementos mecánicos*

El proceso de conexión sigue el diseñado en la Ilustración 3-1. Se inicia alimentando un breaker bifásico con fase y neutro. La fase del breaker se vincula tanto a un contacto normalmente cerrado (NC) como a un contacto normalmente abierto (NA) del relé térmico. La salida del NA del relé térmico se dirige hacia una luz piloto de color naranja, mientras que el NC se conecta a un pulsador de paro. La salida del pulsador de paro se enlaza al pulsador de arranque, cuya salida se conecta a una bornera y luego a la bobina del contactor KML. Desde la salida de esta bobina se deriva un cable que conecta a una bornera, sirviendo como el cable neutro común.

La memoria del contactor se conecta en paralelo al pulsador de arranque mediante un contacto auxiliar NA. Se añade un cable extra desde la salida del contactor para alimentar la bobina del temporizador On Delay. La salida de la bobina del temporizador se conecta a un contacto auxiliar NC del contactor KMD, y su salida se enlaza a la bornera de neutro. Para conectar el contactor KMY, primero se vincula la entrada del contacto NC del temporizador a la salida del contacto NA de KML. Luego, la salida del contacto NA del temporizador se conecta a la entrada de la bobina del contactor KMY, cuya salida se enlaza en paralelo a la salida del relé térmico.

Para conectar el contactor KMD, se emplea un contacto NA donde la entrada se conecta en paralelo con la entrada del contacto KML, y su salida se dirige hacia la entrada de la bobina del propio contactor KMD. La salida de este último se conecta a un contacto NC de KMY, y su salida se enlaza a la bornera en común. Además, se establece la conexión en paralelo de la memoria del contactor KMD para mantenerlo enclavado, lo cual simplemente implica conectar en paralelo un contacto NA de KMD.

3.7.3. *Conexión del circuito de control con micro PLC*

El texto detalla el procedimiento para conectar el circuito de control con un micro PLC. Se emplea un selector para alternar entre el circuito con elementos mecánicos y el circuito con el micro PLC.

Para la conexión, se sigue el diseño del circuito de control presentado en la Ilustración 3.3, que requiere una alimentación de 24 V para el micro PLC.

Para lograr esto, se conecta una fase y un neutro a las entradas de CA del transformador MEANWALL, generando así los 24 V de CD necesarios. Estos 24 V se enrutan hacia las entradas de alimentación (I1, I2) del micro PLC. Además, se emplea una bornera común con 24 V y otra con 0 V para activar los pulsadores de paro y arranque, los cuales envían señales al micro PLC. La misma fuente de 24 V se utiliza también para alimentar la pantalla HMI.

En cuanto a las salidas de tipo relé (Q1, Q2, Q3 y Q4) del micro PLC, se requiere una alimentación de 110 V para las entradas de relé, y las salidas se conectan directamente a las bobinas KML, KMY y KMD.

3.8. Programación del micro PLC

La programación del micro PLC se llevó a cabo mediante el uso del entorno de programación "Logo Soft Confort". Este software permite controlar las salidas de tipo relé a través de pulsos digitales generados por los pulsadores y la pantalla táctil HMI.

En la Ilustración 3-11. Se presenta la programación elaborada en lenguaje FBD (Diagrama de Bloques de Funciones). La elección de este tipo de lenguaje se fundamenta en la similitud de sus funciones condicionales con los conceptos de la electrónica analógica, en los cuales se tenía experiencia previa lo cual facilita la comprensión y desarrollo de la lógica de control.

En la programación del micro PLC, se asignaron tres entradas del módulo lógico programable para diferentes propósitos. La entrada I1 se destinó para simular fallos, mientras que la entrada I2 fue asignada para reiniciar dichos fallos. Por otro lado, la entrada I3 se utilizó para bloquear el sistema en casos donde no sea necesario controlar el arranque mediante el micro PLC. Es relevante señalar que las entradas I1 e I2 están configuradas para captar las señales provenientes de los pulsadores.

Asimismo, existen tres salidas denominadas Q1, Q2 y Q3, cada una con funciones específicas. Q1 se configuró para funcionar como contacto de línea, mientras que Q2 se configuró para funcionar como contacto en estrella, y Q3 como contacto en triángulo.

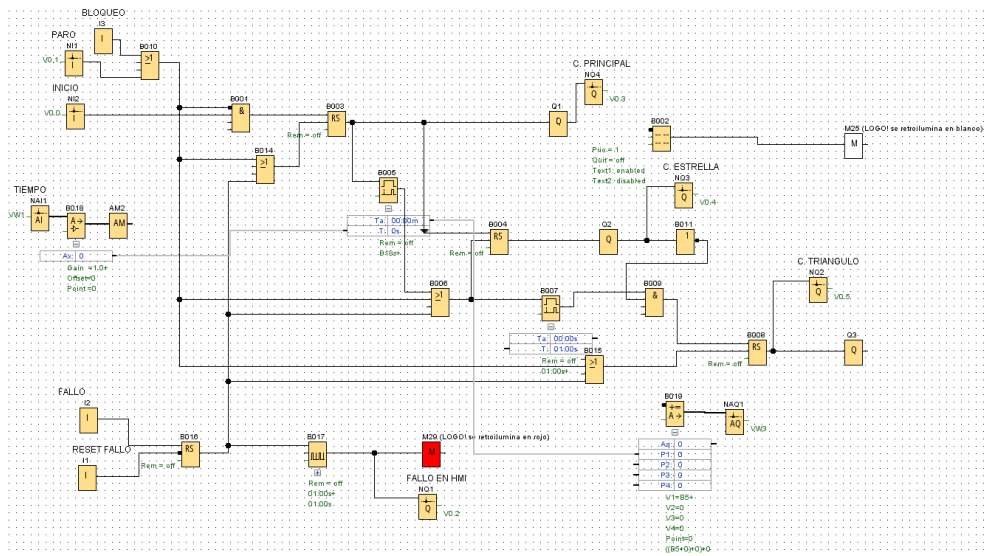


Ilustración 3-11: Programación en lenguaje FBD del arranque estrella-triángulo

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Para activar los pulsos de inicio y paro, se emplearon dos entradas de red, V0.0 y V0.1, esenciales para captar las señales enviadas por la interfaz HMI. La entrada de red V0.0 se conectó a un bloque condicional AND, el cual condiciona el arranque bajo dos parámetros: la desactivación del bloqueo y la recepción de una señal por la entrada V0.0. Cuando estos criterios se cumplen, se activan las bobinas Q1 y Q2, y además se inicia un temporizador con retardo conectado a la conexión B005.

Es importante mencionar que el temporizador B005 está vinculado a una entrada analógica de red, lo que permite la introducción del tiempo de conmutación para cambiar de modo estrella a modo triángulo a través de la interfaz HMI. Además, este temporizador controla el apagado de la bobina Q2 y la activación de un temporizador adicional, B007, diseñado para evitar cortocircuitos debido a la velocidad de conmutación de las salidas de tipo relé del micro PLC. Finalmente, el temporizador B007 activa la bobina Q3 en la etapa final, completando así el proceso del arranque estrella-triángulo. En la programación, se ha implementado un bloque generador de impulsos asíncrono, desempeña un papel crucial en la lógica de control, permitiendo la generación de pulsos de manera independiente de la señal principal y junto con marcas específicas, controlan la retroiluminación del logo proporcionan una indicación visual clara y rápida sobre el estado de la entrada I2. Cuando esta entrada se activa para simular un fallo, la retroiluminación del logo se enciende, alertando al operador sobre la presencia de la anomalía en el sistema.

3.9. Programación de la pantalla HMI

Se detallarán los pasos y ajustes necesarios para la adecuada configuración de la pantalla HMI, crucial en el funcionamiento del sistema de automatización industrial.

3.9.1. Configuración de la pantalla HMI

En la configuración de la pantalla HMI, se utiliza la herramienta DOPSoft para desarrollar una interfaz de usuario gráfica. A continuación, se detallan los pasos realizados en la configuración previa a la programación:

- A. Se abre el programa DOPSoft y se hace clic en "New Project". Esto despliega una ventana para elegir el tipo de modelo de la pantalla que se va a programar. En este caso, se selecciona el tipo 103WQ y se hace clic en "Next". Ver Ilustración 3-12.

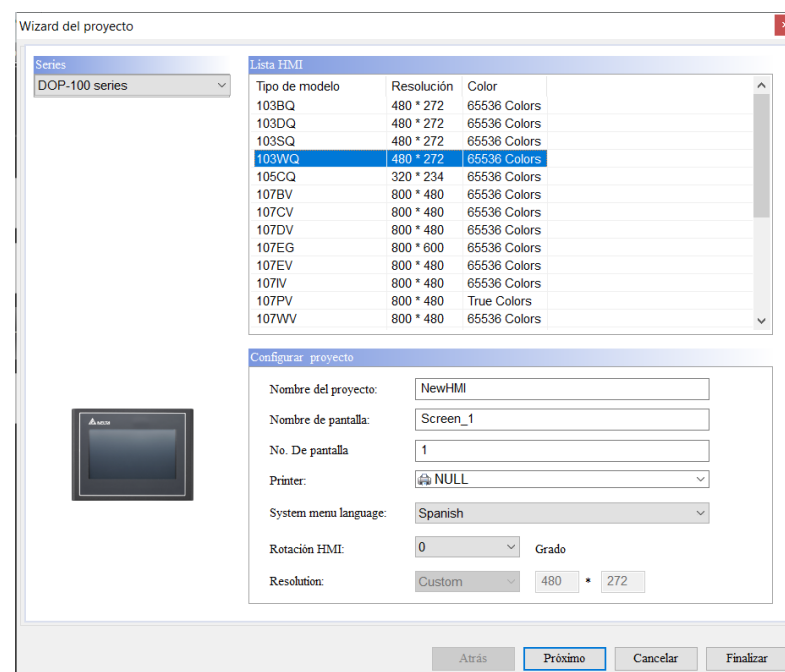


Ilustración 3-12: Selección del tipo de pantalla HMI

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- B. Aparece la ventana de configuración de comunicación, donde se elige el tipo de comunicación Ethernet y se agrega un nuevo tipo de enlace de comunicación buscando el nombre de "S7 LOGO (ISO TCP)". Ver Ilustración 3-13.

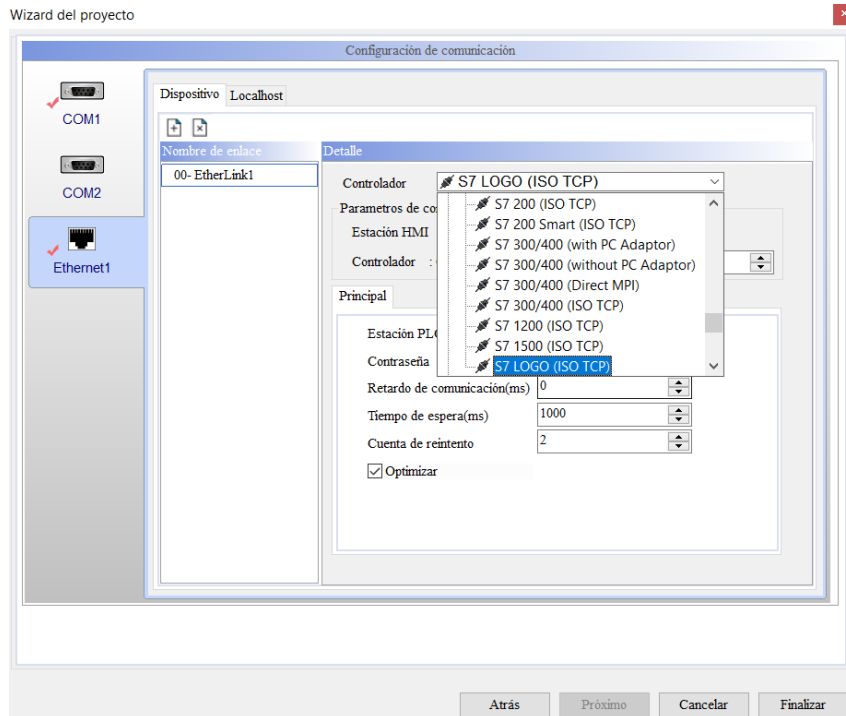


Ilustración 3-13: Selección del tipo de módulo lógico programable

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- C. En la misma ventana, se configura la dirección IP del logo utilizando la dirección 192.168.0.26, como se muestra en la Ilustración 3-14.

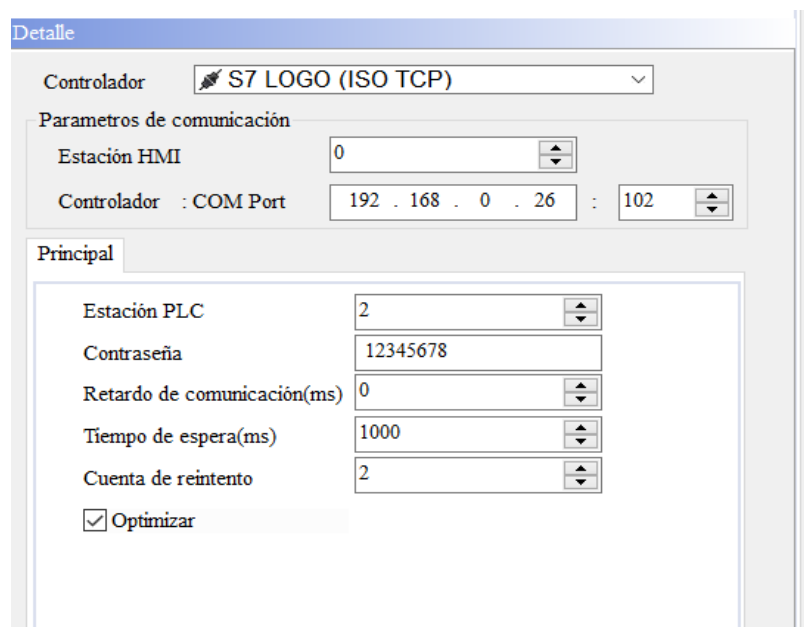


Ilustración 3-14: Configuración de la dirección IP del micro PLC

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

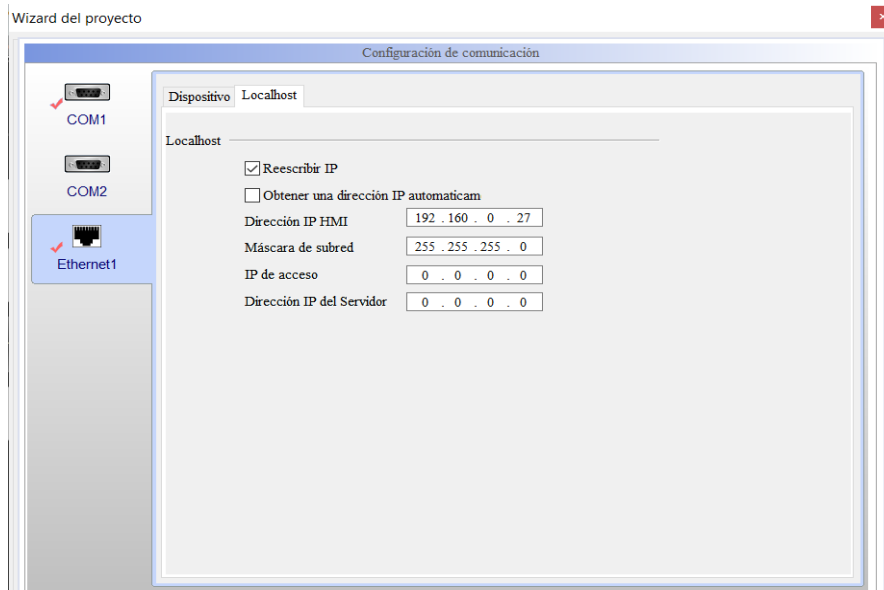


Ilustración 3-15: Configuración de la dirección IP de la pantalla

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

3.9.2. *Desarrollo del programa HMI*

Para la creación de las variables digitales en el entorno de programación, se encuentra la opción "elementos", donde se puede hallar el icono "Button". Al seleccionar "Momentary" dentro de esta opción, se representa un botón sin enclavamiento permanente.

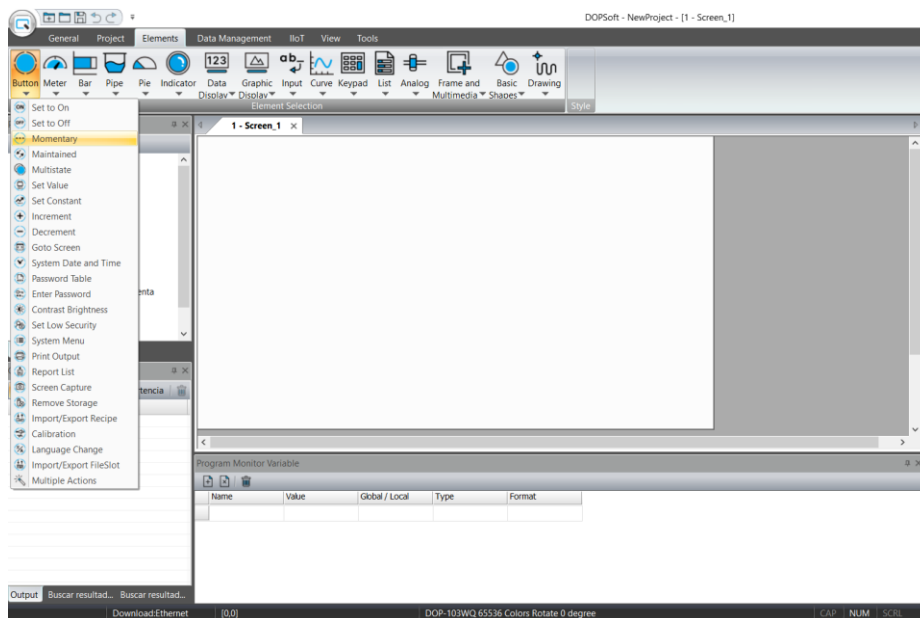


Ilustración 3-16: Entorno de programación

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Para el presente programa se necesita utilizar dos botones. En la Ilustración 3-17, se representan los botones “Momentary” de inicio y paro.

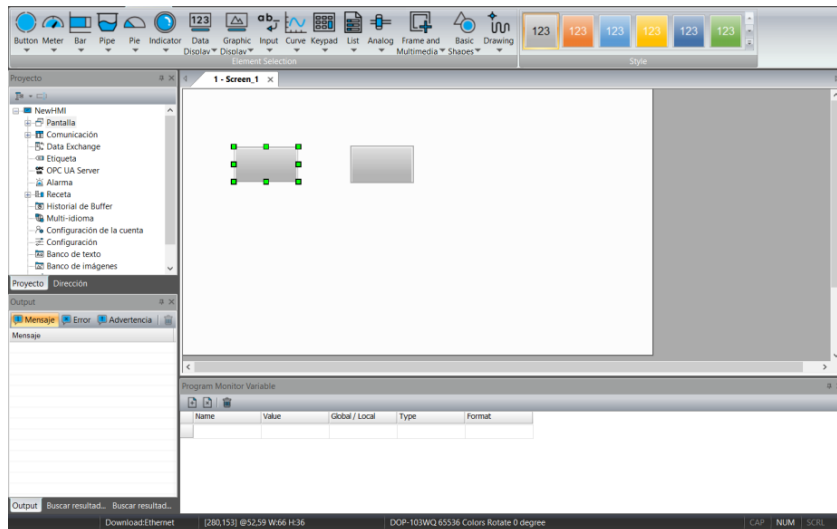


Ilustración 3-17: Representación de botones Momentary

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Para cambiar las propiedades del botón, simplemente haga doble clic en el rectángulo. Aparecerá una ventana donde podrá seleccionar el estado deseado para configurar del botón. Consulte la Ilustración 3-18.

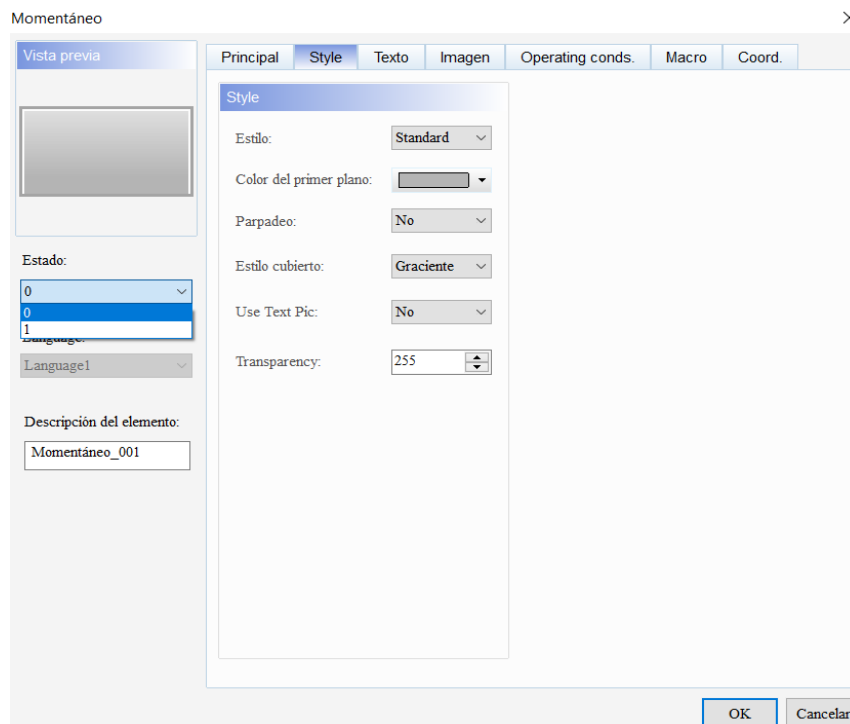


Ilustración 3-18: Ventana de propiedades para botones

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Una vez seleccionado el estado del botón, se hace clic en la imagen. Esto abrirá una ventana donde se elige la opción "None". Posteriormente, se selecciona la opción general "Button", lo que mostrará los diferentes aspectos con los que cuenta el botón. Ver Ilustración 3-19.

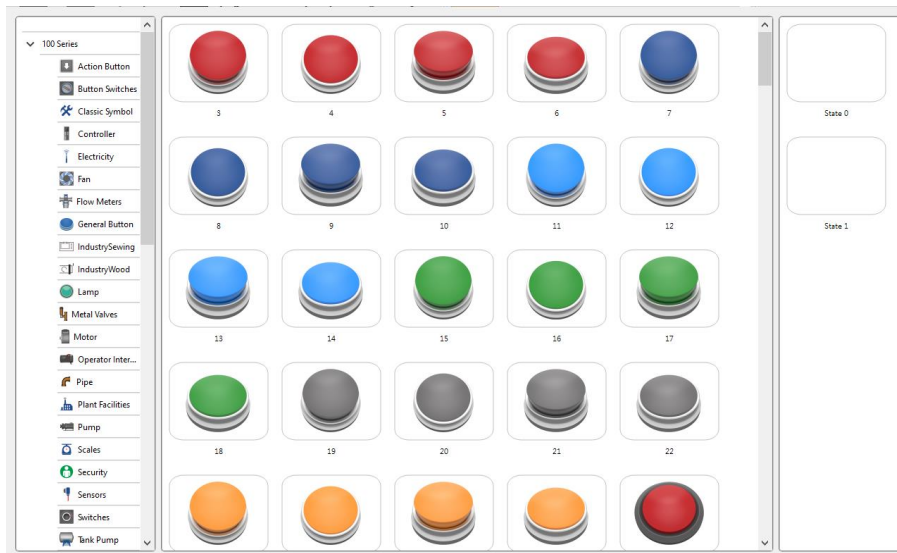


Ilustración 3-19: Tipos de botones

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Para el aspecto, se escogió el botón 17 en el estado 0 y el botón 18 en el estado 1. Al realizar esta elección, se crea el botón en el entorno de programación. Ver Ilustración 3-20.

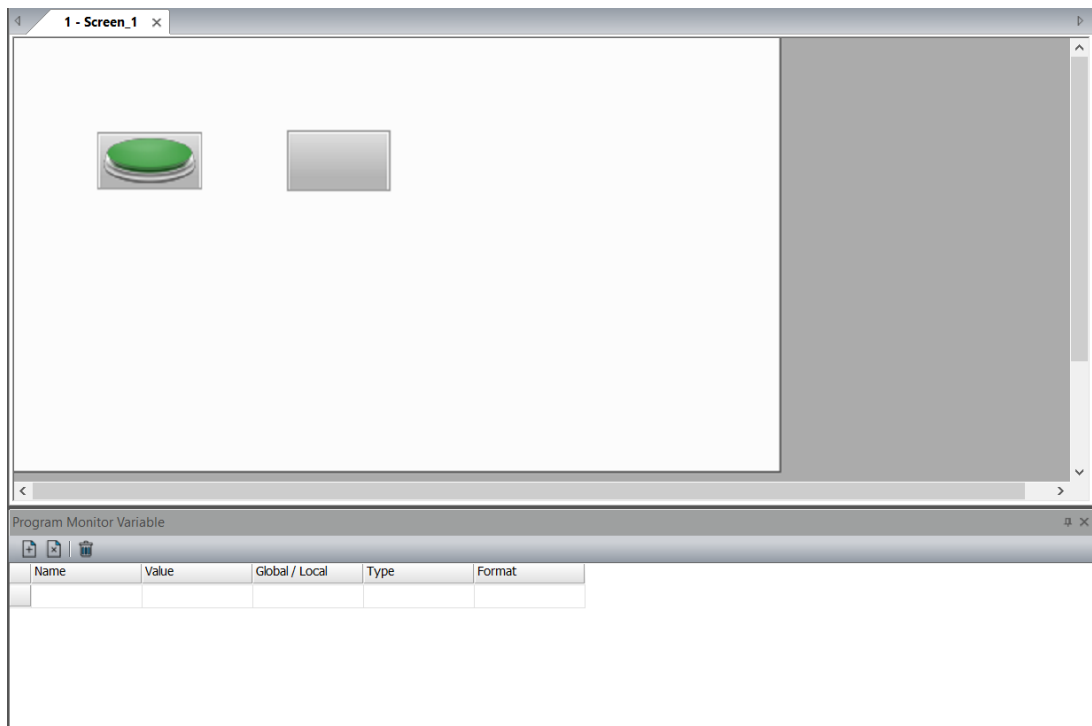


Ilustración 3-20: Representación gráfica del botón de inicio en el entorno de programación

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Para configurar el botón de parada, siga el mismo procedimiento que para el botón de inicio. Se puede obtener una representación visual de los dos botones en la Ilustración 3-21.

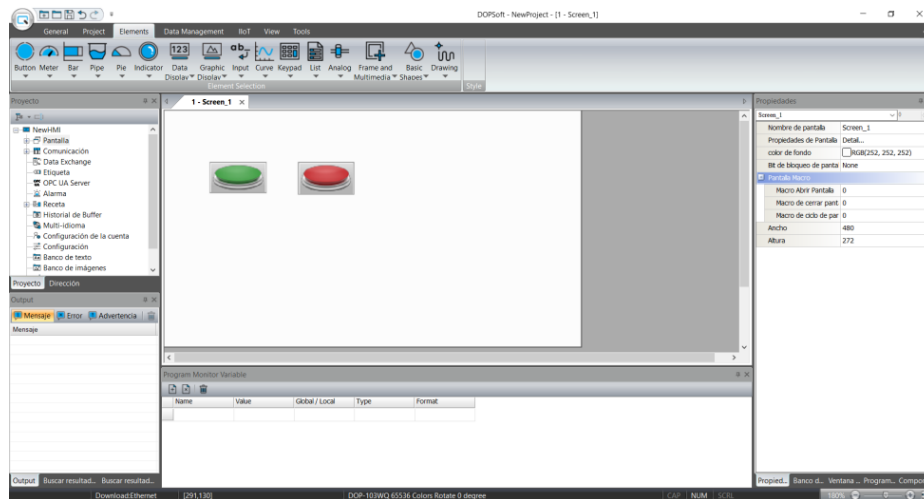


Ilustración 3-21: Botón de inicio y paro

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Se avanza a la fase de creación de los indicadores correspondientes al contactor de línea, estrella y delta. Para llevar a cabo esta acción, el usuario debe dirigirse a la sección de elementos y hacer clic en el “Button”, seguido de la opción “Momentary”. A continuación, se crea un nuevo cuadro de acceso para las propiedades, en el cual se selecciona la opción “Imagen” y luego “None” con un clic. Como resultado de los pasos mencionados, se despliega una ventana que exhibe una variedad de indicadores disponibles para su empleo. En la Ilustración 3-22, se puede observar la elección del indicador 12 para el estado 0 y el número 9 para el estado 1.

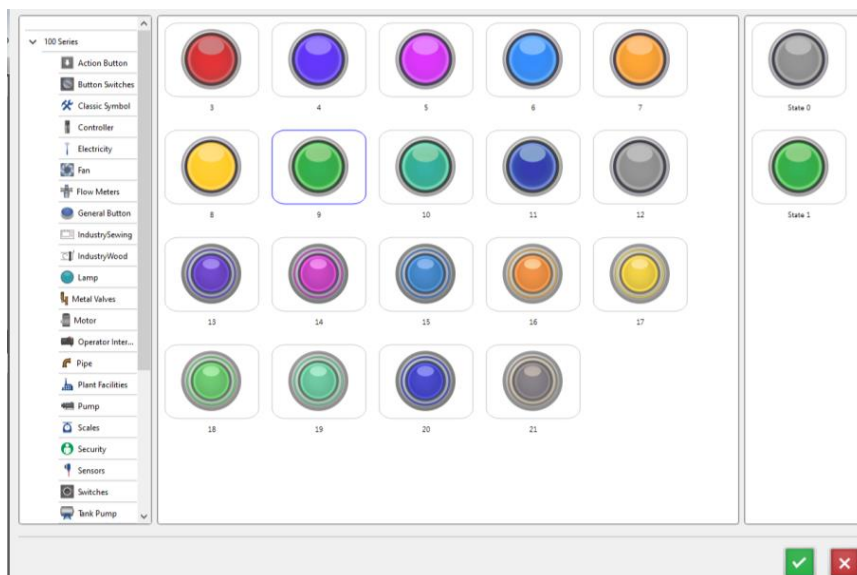


Ilustración 3-22: Indicadores disponibles por estados

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Después de haber creado el indicador del contactor de línea, una alternativa eficaz para evitar repetir los pasos previos es duplicar el indicador ya creado dos veces, utilizando las teclas

Control+C para copiar y Control+V para pegar. Esto se muestra claramente en la Ilustración 3-23.

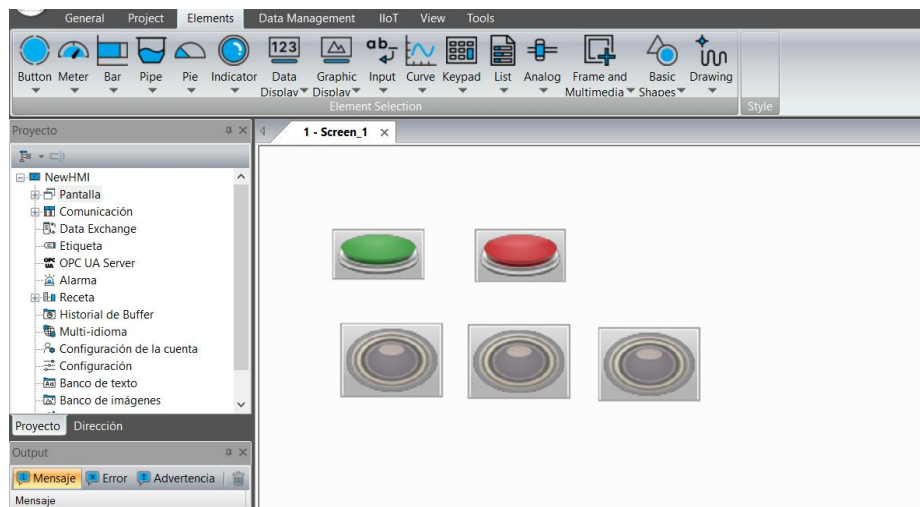


Ilustración 3-23: Indicadores para el arranque estrella-triángulo

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Una vez que se hayan creado los 2 botones y los 3 indicadores de estado para los contactores, se propone la creación de variables analógicas numéricas con el objetivo de permitir el ingreso del tiempo de conmutación entre el contactor de estrella y el de arranque. Para lograrlo, en "Elements", se selecciona "Input" y se hace clic en "Numeric Entry". Ver Ilustración 3-24

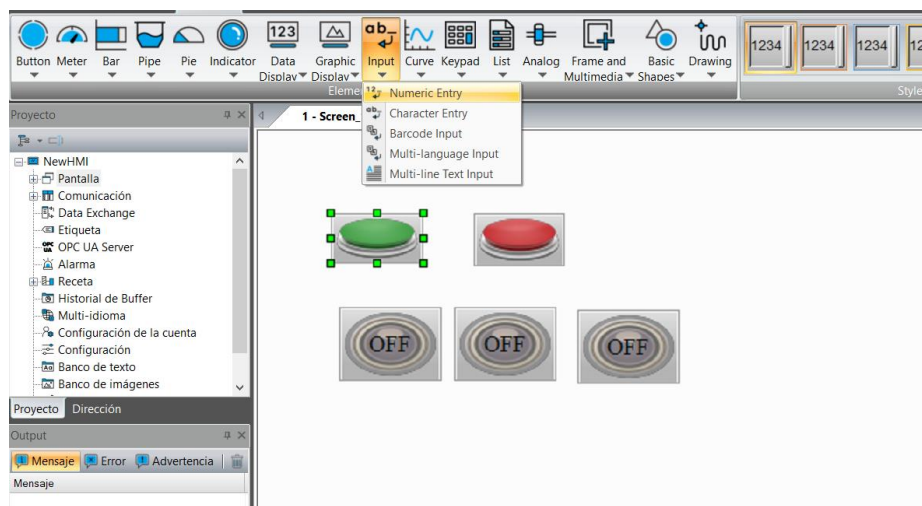


Ilustración 3-24: Selección de la variable analógica numérica

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Para crear la variable numérica, se arrastra el puntero manteniéndolo presionado hasta que se forme un rectángulo, donde se ingresa el tiempo de conmutación. Ver Ilustración 3-25.

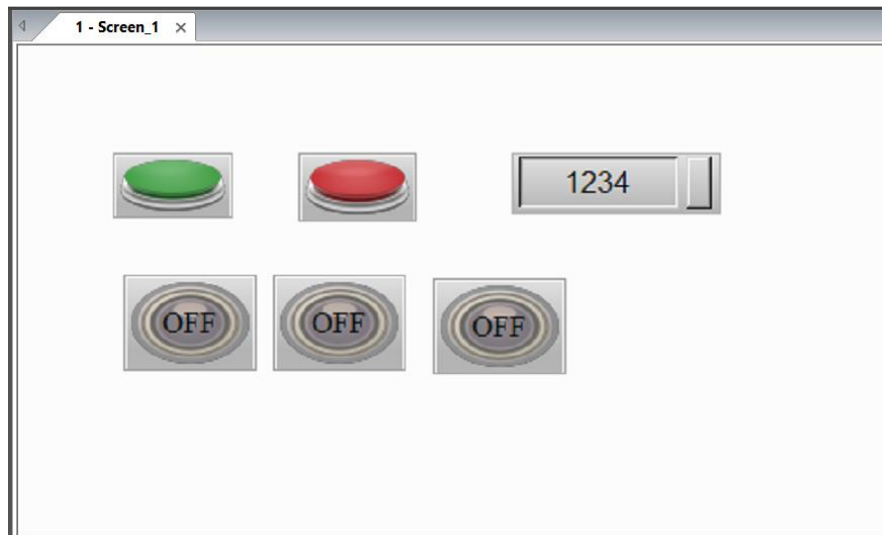


Ilustración 3-25: Representación gráfica de la variable numérica

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Es esencial tener un visualizador numérico para monitorizar el tiempo de conmutación. En la Ilustración 3-26, se accede a la sección "Elements" y se opta por la alternativa "Data Display", seguido de la selección de "Numeric Display", lo que permite establecer el área de visualización requerida.

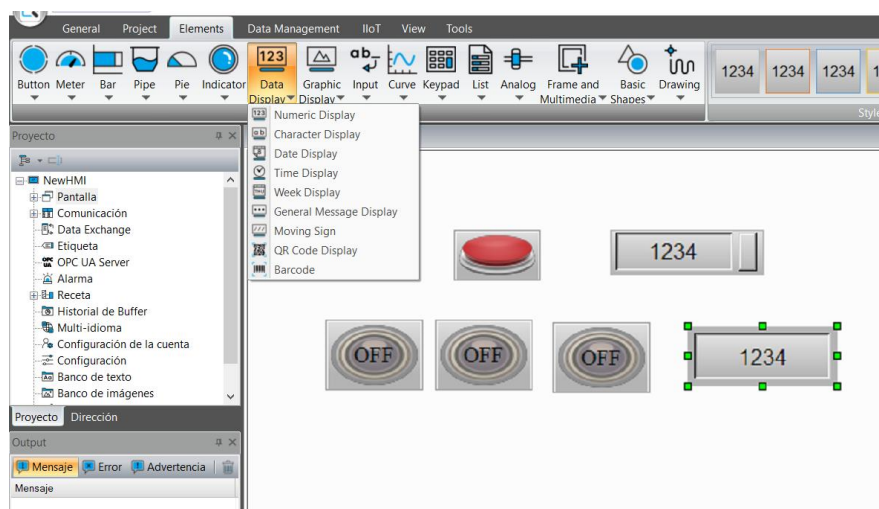


Ilustración 3-26: Representación del visualizador numérico

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Con el fin de exhibir en la pantalla del HMI el fallo programado en el micro PLC, se procederá a incorporar en el entorno de programación un indicador que facilite la distinción entre su estado activado y desactivado. Ver Ilustración 3-27

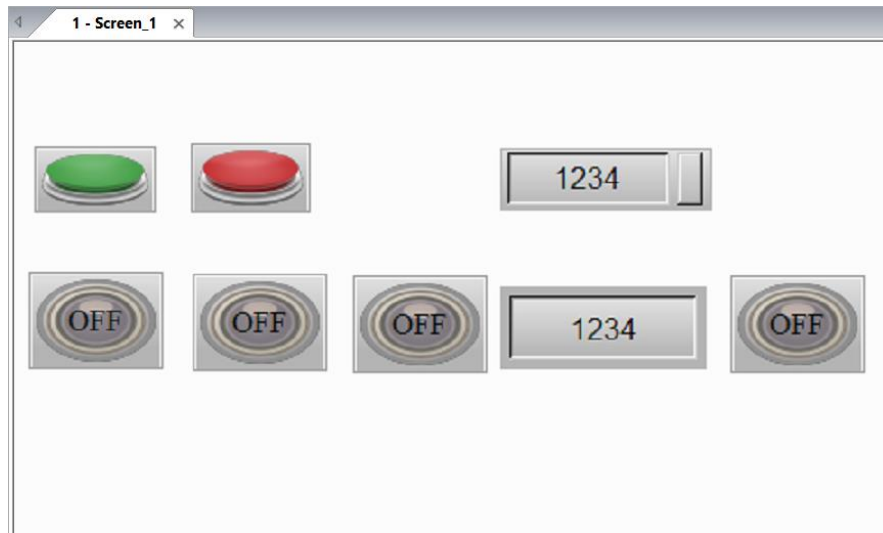


Ilustración 3-27: Representación gráfica del Indicador de fallo

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

3.9.3. *Direccionamiento de variables digitales*

El direccionamiento óptimo de las variables digitales se logra una vez que tanto la programación del micro PLC como la del HMI han sido completadas previamente. En la programación del micro PLC, como se muestra en la Ilustración 3-11, se pueden identificar las entradas y salidas de red.

Las entradas están etiquetadas como V0.1 para el paro y V0.0 para el inicio, mientras que las salidas están etiquetadas como V0.3 para el contactor de línea, V0.4 para el contactor de estrella y V0.5 para el contacto de triángulo. Estos nombres asignados en la programación del PLC son cruciales para ajustar el programa elaborado en DOPSoft, siguiendo una secuencia detallada de pasos que se describe a continuación.

- A. Como primer paso, se debe verificar las entradas y salidas de red. Se cuentan con 2 entradas V0.0 y V0.1, y 3 salidas o indicadores V0.3, V0.4 y V0.5.
- B. En la programación de la pantalla, se realiza doble clic en el botón verde, lo que despliega la ventana de propiedades. Posteriormente, se selecciona "Dirección de escritura" y se despliega una ventana donde se realiza el siguiente cambio. En "Enlace", se elige la opción "EtherLink1" y se selecciona el tipo de variable que es V, designada como entrada V0.0, como se muestra en la Ilustración 3-28.
- C. Después de introducir la dirección, se debe presionar la tecla "Enter". Esto permitirá que en la sección "Dirección de escritura" se muestre la variable de entrada seleccionada, tal como se puede observar en la Ilustración 3-29.

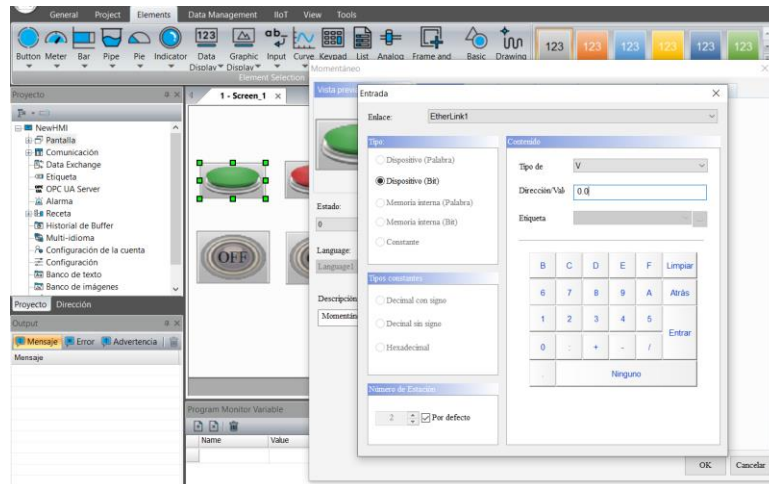


Ilustración 3-28: Direccionamiento de Variable 0.0

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- D. Para configurar el botón rojo, el procedimiento es el mismo, solo que en este caso la dirección del botón se establece en V0.1, como se muestra en la Ilustración 3-30.
- E. Es importante tener en cuenta que el software DOPSoft puede aceptar imágenes descargadas de internet o importadas desde una computadora.
- F. Para direccionar las salidas de red V0.3, V0.4 y V0.5 seguir un procedimiento específico. Primero, haga doble clic en el indicador debajo del botón verde para abrir la ventana de propiedades.

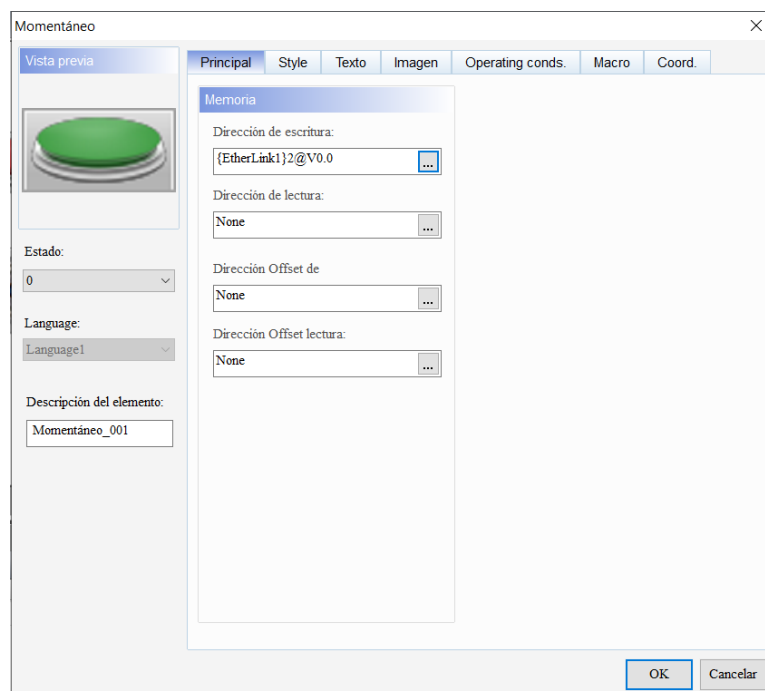


Ilustración 3-29: Dirección de escritura variable de entrada 0.0

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

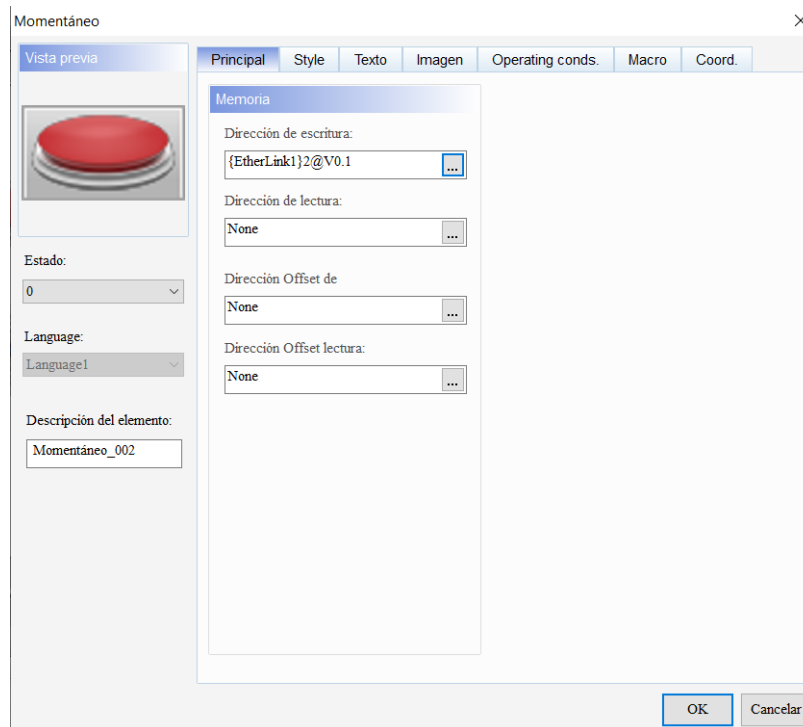


Ilustración 3-30: Dirección de escritura variable de entrada 0.1

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- G. Luego, se selecciona la opción "Dirección de escritura", lo que despliega una nueva ventana donde se efectúa el siguiente ajuste. En la sección "Enlace", se elige la opción "EtherLink1" y se selecciona el tipo de variable correspondiente, que en este caso es V, indicando que se trata de una salida. Además, se especifica que se trata de la salida V0.3, correspondiente a la bobina del contactor de línea, como se muestra en la Ilustración 3-31.

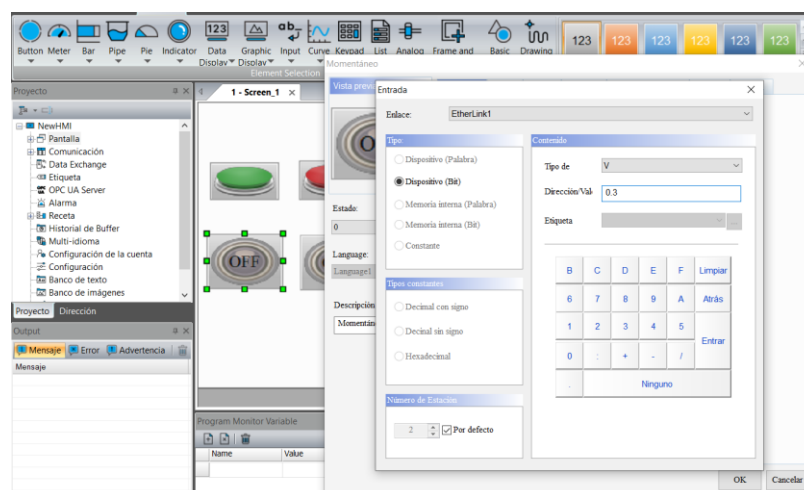


Ilustración 3-31: Direccionamiento de la variable 0.3

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- H. Después de introducir la dirección, se debe presionar la tecla "Enter". Esto permitirá que en

la sección "Dirección de escritura" se muestre la variable de salida seleccionada, tal como se puede observar en la Ilustración 3-32.

El procedimiento para asignar las variables a los indicadores del contactor de estrella y del contactor de triángulo sigue la misma secuencia que se utilizó para configurar la salida V0.3. Esta metodología se emplea para garantizar que los indicadores estén correctamente direccionados. La Ilustración 3-33 muestra la dirección de escritura para ambos indicadores.

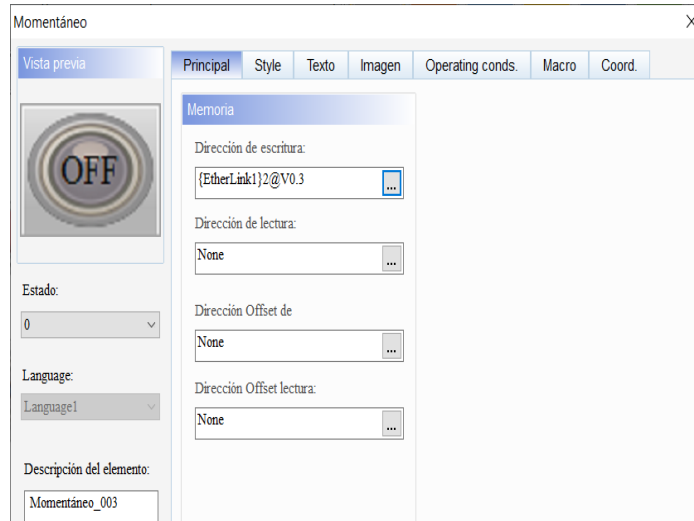


Ilustración 3-32: Dirección de la variable de salida 0.3

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

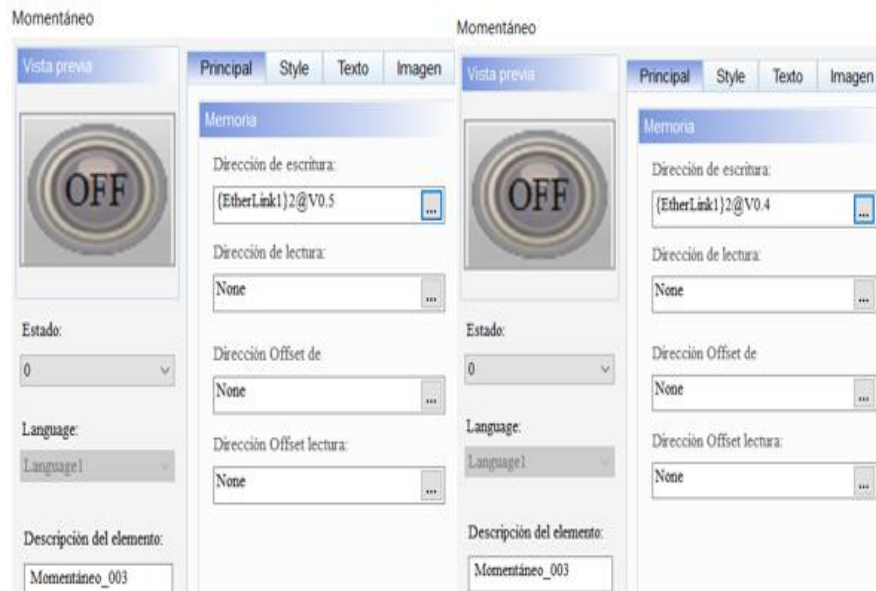


Ilustración 3-33: Dirección de escritura de las variables de salida 0.4 y 0.5

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

3.9.4. Direccionamiento de variable analógica

Para el direccionamiento de las variables analógicas de entrada VW1 y salida VW3.0 Se sigue un procedimiento estándar en la programación del micro PLC. Este proceso se describe detalladamente a continuación:

El bloque de función "Entrada analógica de red" se configura con la dirección VW1 y se vincula a un amplificador analógico. Al inicio, este amplificador tiene un valor de 0. Luego, este valor se transfiere al temporizador con retardo a la conexión. Para que el circuito pueda enviar la señal, es necesario cerrarlo con una marca analógica, como se muestra en la Ilustración 3-34.

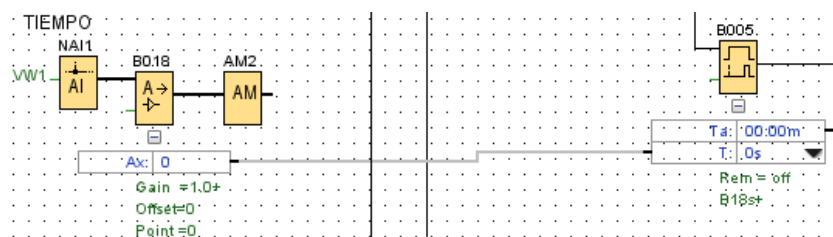


Ilustración 3-34: Programación de la entrada analógica de red

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Para que el bloque de función "Salida analógica de red" pueda recibir el dato del temporizador, se añadiría una "Instrucción aritmética". Además, se asignaría la dirección VW3 para esta función, según se muestra en la Ilustración 3-35.

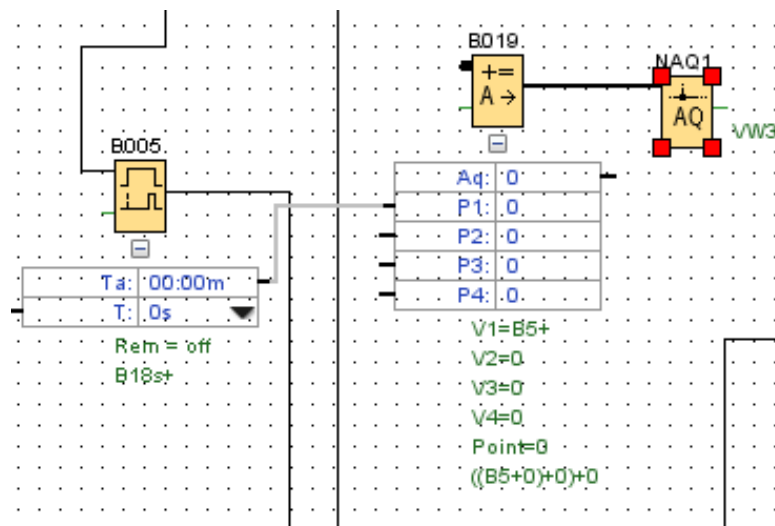


Ilustración 3-35: Programación de la salida analógica de red

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Al hacer clic dos veces en la variable numérica en el programa del DOPSoft, Se abrirá la ventana

de propiedades. Aquí, se elige la opción "Dirección de escritura" para luego modificar el enlace a "EtherLink1" y ajustar el tipo de variable como "VW1". Estos cambios se realizan de acuerdo con lo representado en la Ilustración 3-36.

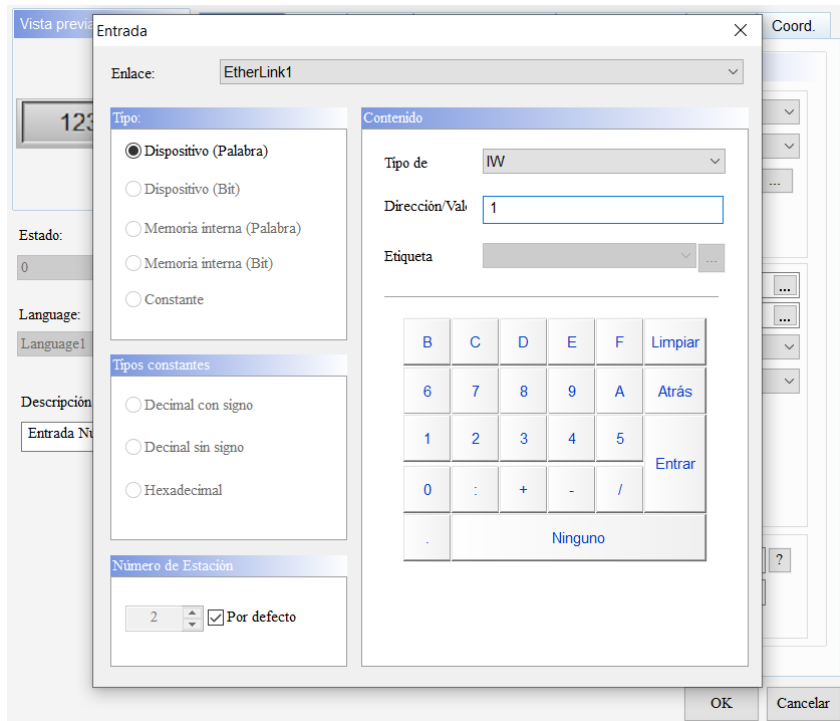


Ilustración 3-36: Direccionamiento de la variable de entrada numérica

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

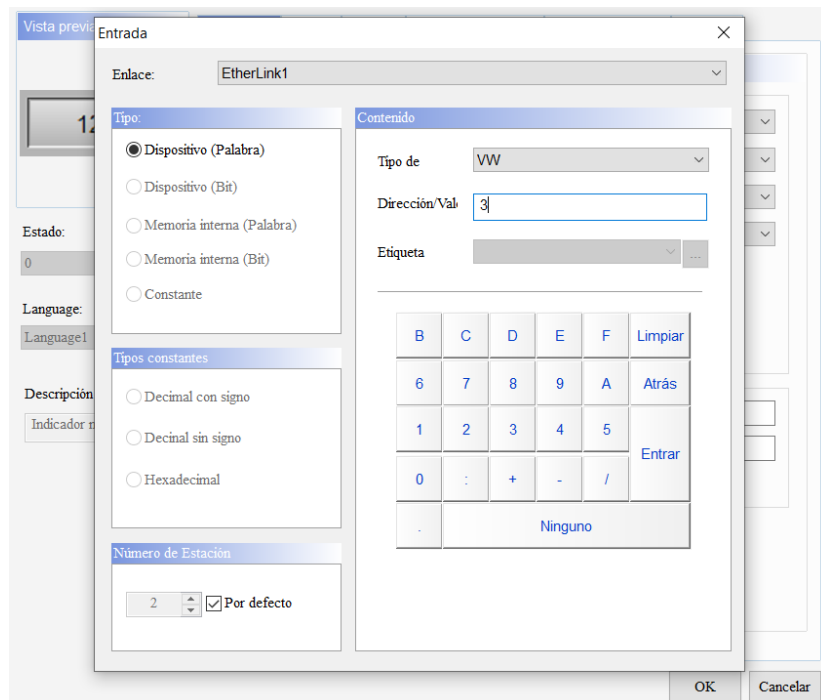


Ilustración 3-37: Direccionamiento de la variable de salida numérica

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Para configurar el direccionamiento de la variable de salida analógica, se realizará un doble clic en el "Indicador numérico". Esto provocará la apertura de la ventana de propiedades, donde se seleccionará la opción "Dirección de escritura". Posteriormente, se modificará el enlace a "EtherLink1" y se ajustará el tipo de variable a "VW3". Estos ajustes los aprecia en la Ilustración 3-37.

3.10. Fallos y métodos de detección

Se han identificado varios problemas recurrentes durante el proceso de arranque estrella-triángulo, que incluyen sobrecargas, cortocircuitos, contactos soldados, conexiones deficientes en el cableado, frecuencias de conexión y desconexión excesivamente rápidas, así como tensiones anómalas, ya sea demasiado altas o bajas.

En el módulo, se simula tres fallas comunes que pueden ocurrir durante el proceso de arranque estrella-triángulo.

- En la simulación de sobrecarga, se activa el botón de prueba "test" en el relé térmico del contactor de línea. Esto simula una carga excesiva al abrir los contactos NC y cerrar los contactos NA. Para verificar este proceso, se utiliza un multímetro para confirmar que el contacto del relé NC indique 0 y el NA indique continuidad. Esta verificación es esencial para evaluar el rendimiento del sistema y requiere el uso de un multímetro.
- En la fase de simulación de fallos en la bobina del contactor, se adopta como medida inicial el ajuste del selector en la posición de neutro, una acción que desconecta de manera crucial la fuente de energía. Este procedimiento, fundamental para la seguridad del sistema, desactiva la fuente de alimentación y coloca el sistema en un estado seguro. Luego se verifica la continuidad de la bobina con un multímetro como se recomienda. En esta prueba, los cables del multímetro se conectan a los terminales de la bobina correspondiente (A1 y A2). La medición de resistencia resultante proporciona información importante sobre el estado y el rendimiento de la bobina. Si la resistencia medida es demasiado alta, indica posibles problemas como cortocircuitos, bobinas abiertas o deterioro del aislamiento. Este paso se realiza no solo para evaluar la resistencia, sino también como parte de una inspección visual detallada para detectar posibles arcos o marcas de quemaduras en los contactores de acuerdo con las recomendaciones de seguridad y mantenimiento eléctrico.
- Se implementará la simulación de un arranque prolongado utilizando el micro PLC. En la fase de programación, se ajustará el tiempo de transición, asegurándose de que sea inferior a 30 milisegundos. Este retardo es crucial para prevenir cortocircuitos entre fases, ya que evita que ambos contactores se cierren simultáneamente.

Además, se incorpora la flexibilidad de ajustar el tiempo de transición durante el arranque estrella-triángulo a través de la interfaz HMI (Interfaz Hombre-Máquina). Esto ofrece la oportunidad de variar la duración de la transición, permitiendo un control más preciso y adaptado a las necesidades específicas del sistema. Este enfoque no solo refleja una consideración técnica detallada en la simulación del arranque prolongado, sino que también destaca la importancia de la interfaz HMI como una herramienta integral para la gestión y personalización de los procesos de arranque en sistemas eléctricos.

3.11. Análisis de costos

En esta sección se identifican y detallan los costos asociados, en la cual integra el precio de la infraestructura, pintura, cable y elementos de control industrial como automático. La Tabla 3.5, proporciona un visión clara y concisa de los costos involucrados en la realización del módulo.

Tabla 3-5: Costos para la implementación del módulo

Ítem	Cantidad (U)	Costo unitario (USD)	Costo total(USD)
Logo 8 12/24RC	1	175.696	175.70
Bornera riel 4mm	35	0.401	14.06
Breaker riel	1	6.25	6.25
Fuente MEANWEEL 24V	1	35.71	35.71
Luz piloto verde	1	1.339	1.34
Luz piloto roja	1	1.205	1.21
Luz piloto amarilla	1	1.205	1.21
Luz piloto azul	1	1.47	1.47
Luz con sonido rojo	1	2.678	2.68
Luz piloto voltímetro	1	02.366	2.37
Pulsador simple verde	2	1.79	3.59
Pulsador simple rojo	2	1.79	3.59
Selector 3 posiciones	1	2.50	2.50
Pantalla HMI	1	254.46	254.46
Riel DIN 35m	2	1.964	3.93
Canaleta ranurada	2	7.116	14.23
Cable de red	1	4.375	4.38
Potenciómetro lineal	1	17.857	17.86
Tapa para bornera	10	0.23	2.23
Tope de bornera	10	0.268	2.68
Puente equipotencial	3	1.34	4.02
Timer On Delay	1	21.357	21.36
Base relay timer	1	1.267	1.27
Contactador SIRIUS 3RT	3	29.375	88.12
Relé térmico	1	58.79	58.79
Base para relay 14 pines	2	6.043	12.09
Relay 14 pines	2	10.39	20.78

Estructura	1	80.00	80.00
Pinturas	1	60.00	60.00
Rollo de cable	3	16.99	50.97
Subtotal			948.85
IVA 15%			142.33
Total			1091.18

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS EN UN ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO

4.1. Resultados del diseño del módulo

En el diseño del módulo de control, realizado en el software de diseño asistido por computadora donde se aplicaron directrices establecidas por la normativa NEC 2011. Durante el proceso de diseño y modelado se reserva un espacio adicional equivalente al 25% del tamaño total del módulo para futuras modificaciones o expansiones, en la Ilustración 4-1 se muestra el diseño realizado.

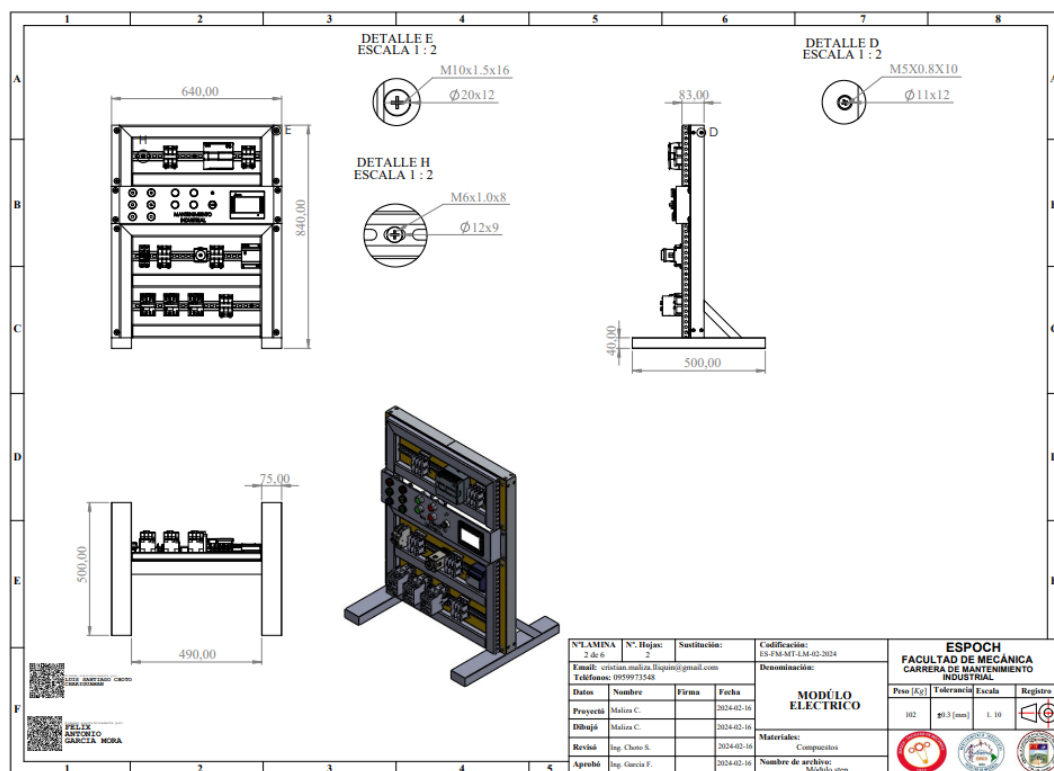


Ilustración 4-1: Diseño del módulo eléctrico

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

La Ilustración 4-1. Presenta las dimensiones de la estructura base del módulo, destacando que no se incluye un gabinete para proteger los componentes. En su lugar, se optó por utilizar canaletas plásticas, las cuales se dispusieron estratégicamente para conformar un marco que no solo mantiene el orden, sino que también brinda protección a los conductores que conectan diferentes elementos dentro del tablero. Los rieles metálicos fueron modelados como soportes esenciales para los diversos elementos que componen el módulo.

Durante esta fase, se aplicaron las normativas IEC 61432 y IEC 61439 para la disposición de los elementos electromecánicos y de control automático. Ver Anexo A. Tres contactores y un relé térmico fueron ubicados en el riel inferior del módulo, mientras que el temporizador se colocó en el riel debajo de la botonera, reduciendo así la necesidad de cableado. La alimentación de 24 voltios, necesaria para la conexión tanto de la pantalla HMI como del módulo lógico programable, se distribuyó de manera óptima en el riel superior. El disyuntor se posicionó en el riel intermedio para garantizar el cumplimiento de los estándares internacionales de construcción de tableros eléctricos y proporcionar una protección adecuada a los componentes del módulo.

4.2. Resultados de la construcción y conexiones del módulo

El proceso de construcción del módulo se llevó a cabo meticulosamente, siguiendo las directrices establecidas por la normativa NEC 2011 y seleccionando cuidadosamente los materiales más adecuados para garantizar la seguridad y durabilidad del sistema. A continuación, se detallan los resultados obtenidos:

4.2.1. Material y construcción

La estructura del módulo está hecha de aluminio para que sea ligera y fácil de mover. Está formada por perfiles rectangulares y cuadrados de aluminio, con medidas específicas: los rectangulares miden 7.5x4x50 cm y los cuadrados miden 4x5x80 cm. Estos perfiles se unen con tornillos especiales para formar una estructura sólida. Además, hay dos planchas de alucobón, una de 64x23 cm y otra de 64x42 cm, que sirven como anclaje para las canaletas y el riel DIN. Para mayor estabilidad, se añadieron dos perfiles cuadrados de aluminio de 3x3x20 cm en la parte posterior, sujetos firmemente a la base y al marco. En la ilustración 4-2 se puede verificar que la estructura resultante está construida de acuerdo con el diseño realizado en el software.

4.2.2. Tratamiento de superficies

Los perfiles de aluminio de la estructura son de color negro para reducir su capacidad de reflejar la energía térmica y aumentar su emisividad. Esta pintura también proporciona protección adicional al aluminio, asegurando su integridad y durabilidad. Por otro lado, las planchas de alucobón son de color naranja, no solo por razones estéticas, sino también para resaltar los elementos montados. La botonera, anclada en el marco de la estructura, está fabricada con una plancha de tol de 68 cm de longitud, 2 cm de altura y 2 mm de espesor, tratada con pintura electrostática de color gris para prevenir la oxidación. Se puede observar el resultado final en la Ilustración 4-2.

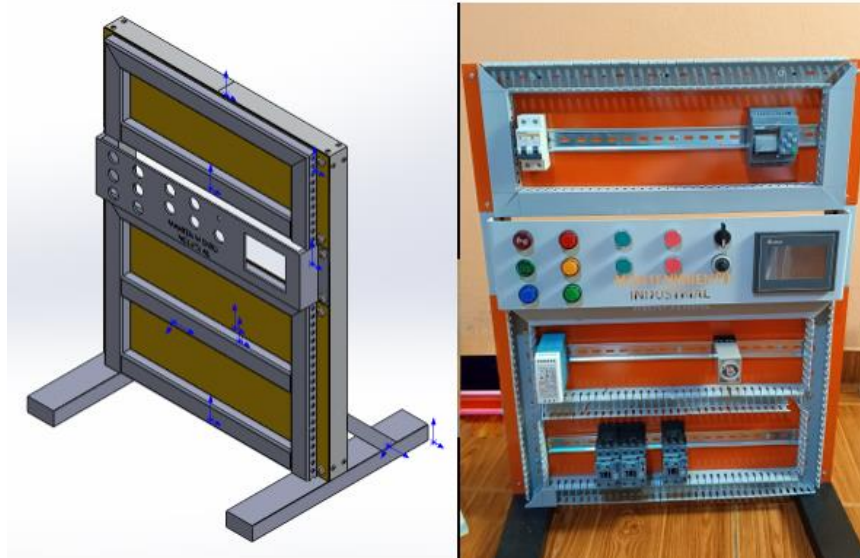


Ilustración 4-2: Resultados de la construcción del módulo

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

4.2.3. Resultado de la conexión

Las conexiones de los elementos eléctricos en el circuito de control industrial se guían por el diagrama de la Ilustración 4-3. Además, en la Tabla 4-1 se muestran los elementos electromecánicos utilizados en el circuito de control industrial, junto con su función correspondiente. Todos estos elementos están conectados utilizando cable conductor AWG 16.

Tabla 4-1: Elementos utilizados en el circuito de control industrial

Elemento	Función
Breaker	Protección
Relé térmico	Protección
Pulsador de paro	Desconexión
Pulsador de arranque	Conexión
Temporizador ON delay	Conexión y desconexión
Contactador KML	Control
Contactador KMD	Control
Contactador KMY	Control
Lampara de encendido (verde)	Indicador
Lampara de apagado (verde)	Indicador
Lampara de fallo (naranja)	Indicador

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

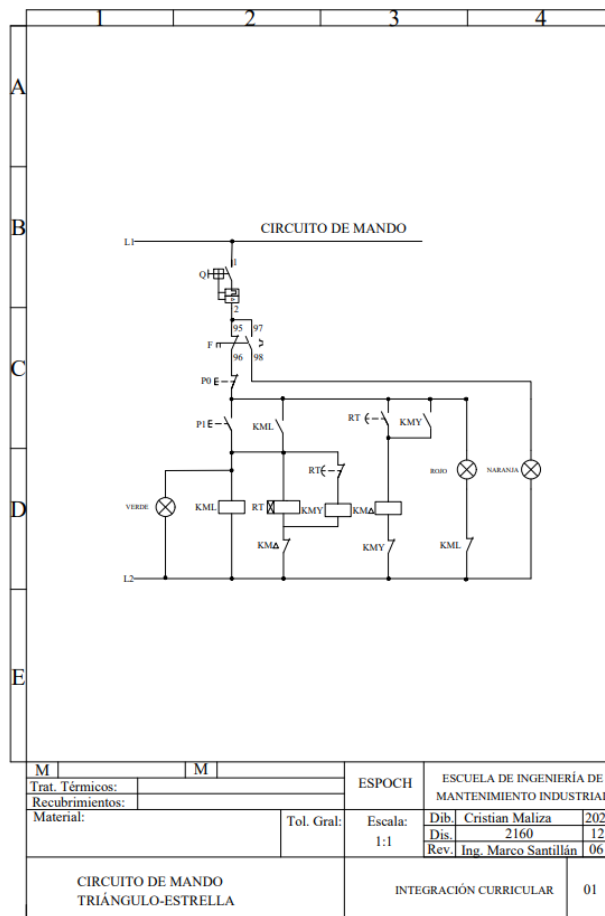


Ilustración 4-3: Diagrama del circuito de control

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

La conexión del circuito de control automático sigue el diagrama de la Ilustración 3-3 y se realizó utilizando cable AWG22. Los elementos conectados en este circuito se detallan en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Elementos utilizados en el circuito de control automático

Elemento	Función
Fuente de 24 V	Alimentación
Pantalla HMI	Interfaz humano-Máquina
Módulo lógico programable	Adquisición de señales
Pulsador de paro	Desconexión
Pulsador de arranque	Conexión

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

El código de colores de los cables utilizados se representa en la Tabla 4-3 para una identificación adecuada de las conexiones.

Tabla 4-3: Código de colores empleado en el módulo

Función	Etiqueta	Color
Línea	L	Rojo
Neutro	N	Blanco
Alimentación 24V	24V	Café
Alimentación 0V	0V	Azul
Entradas analógicas	AI	Negro
Entradas digitales	DI	Negro
Salidas digitales	DO	Rojo

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

En la Ilustración 4-4, se muestra el resultado de las conexiones del módulo.



Ilustración 4-4: Resultados del cableado del módulo

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

4.3. Resultados de la programación del micro PLC y configuración del HMI

Se presentan los resultados obtenidos de la programación del Micro PLC realizados en lenguaje de Diagrama de Bloques de Funciones (FBD), conforme a lo establecido en la Norma IEC 1131-3. La metodología de programación se basa en la utilización de una serie de bloques funcionales, como se detalla a continuación:

Tabla 4-4: Entradas digitales programadas

Entradas digitales	Nombre en la programación
I3	Bloqueo
I2	Fallo
I1	Reset Fallo

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Los bloques funcionales mencionados han sido implementados para controlar diversas funciones del sistema. Específicamente, el bloque funcional (I3) se ha configurado para desactivar el sistema de control industrial, garantizando que el accionamiento del botón de inicio del circuito electromecánico no afecte el funcionamiento del sistema de control automático.

Por otro lado, el bloque (I2) está diseñado para detectar y simular un fallo al recibir señales a través de un pulsador normalmente abierto (NA). Mientras que el bloque (I1) tiene como función restablecer dicho fallo mediante la activación de un pulsador normalmente cerrado (NC).

Tabla 4-5: Entradas de red digitales programadas

Entradas de red digitales	Nombre en la programación
NI1 (V0.1)	Paro
NI2 (V0.0)	Inicio

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Estas entradas de red digitales han sido configuradas para recibir señales enviadas desde la pantalla HMI. Específicamente, la entrada de red (NI1) con la dirección V0.1 corresponde al botón de paro programado en la pantalla HMI, mientras que la entrada (NI2) con la dirección V0.0 corresponde al botón de inicio también programado en la pantalla HMI, tal como se ilustra en la Ilustración 4-5.

Tabla 4-6: Salidas digitales programadas

Salidas digitales	Nombre en la programación
Q1	C. Principal
Q2	C. Estrella
Q3	C. Triángulo

Realizado por: Maliza C., 2024.

Las salidas digitales están configuradas para activar las bobinas de los contactores correspondientes. En detalle, la salida (Q1) se encarga de activar la bobina del contactor de línea, mientras que la salida (Q2) activa la bobina del contactor de estrella. Por último, la salida (Q3) se

utiliza para activar la bobina del contactor de triángulo.

Tabla 4-7: Salidas de red digitales programadas

Salidas digitales	Nombre en la programación
NQ4(V0.3)	C. Principal
NQ3(V0.4)	C. Estrella
NQ2(V0.5)	C. Triángulo

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Las salidas de red han sido configuradas para transmitir información hacia la pantalla HMI. De manera específica, la salida NQ4, identificada con la dirección V0.3, transmite una señal destinada al indicador del contacto principal. Acto seguido, la salida NQ3, cuya dirección es V0.4, emite una señal dirigida al indicador del contactor estrella, y, por último, la salida NQ2, asignada con la dirección V0.5, envía una señal al indicador del contactor de triángulo tal como se visualiza en la Ilustración 4-5.

Tabla 4-8: Entrada y salida analógicas programadas

Entrada analógica de red	Nombre en la programación
NAI1(VW1)	Tiempo
NAQ(VW3)	-

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

La configuración de la entrada analógica NAI1 implica la recepción de información numérica a través de la interfaz de la pantalla HMI, donde el usuario introduce dichos datos.

Posteriormente, estos datos se transmiten mediante la dirección VW1, como se puede apreciar en la Ilustración 4.1, donde se especifica el área designada para esta acción.

Por otro lado, la salida analógica desempeña la función de un contador que se exhibe en la pantalla HMI, tal como se evidencia en la misma Ilustración 4-5.

En la Tabla 4.9, se presenta el bloque de función OR (B010) que se encarga de condicionar el encendido de la bobina (Q1). Esta bobina se activará únicamente si tanto el bloqueo (I3) como el botón de paro (NI1) se encuentran en estado alto.

El bloque AND (B001) condiciona el encendido de la bobina de línea, requiriendo que tanto la señal enviada desde el bloque B010 como la señal proveniente del botón de inicio (NI2) estén en estado alto.

Tabla 4-9: Funciones básicas programadas

Funciones básicas	Nombre en la programación
OR	B010
AND	B001
OR	B014
OR	B006
OR	B015
AND	B009
NOT	B011

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

El bloque OR (B014) está diseñado para apagar la bobina del contactor de línea en dos situaciones: cuando el bloque B010 emite una señal o cuando la entrada de red digital (I2) envía una señal.

Por otro lado, el bloque OR (B006) tiene la función de apagar la bobina del contacto de estrella y simultáneamente activar el temporizador (B007).

El bloque OR (B015) está programado para apagar la bobina (Q3) cuando el bloque B010 o el bloque I2 envían una señal.

Respecto al bloque AND (B009), se enciende la bobina de (Q3) únicamente si la bobina (Q2) se apaga y cuando el temporizador emite una señal en alto.

Además, el bloque NOT (B011) se encarga de enviar una señal en bajo cuando la bobina (Q2) está encendida y una señal en alto cuando la bobina está apagada.

En la Ilustración 4-5 exhibe el fruto del proceso de programación y ajuste de pantalla HMI, llevado a cabo con meticulosidad en la fase de desarrollo. En contraste, la Ilustración 4-6, ofrece una instantánea del módulo en acción, demostrando de manera palpable su desempeño al ejecutar la programación deseñada para la Interfaz Humano-Máquina (HMI).

Este detallado seguimiento visual nos proporciona una comprensión más profunda y tangible del funcionamiento del sistema, permitiendo un control más preciso y adaptabilidad al entorno operativo.

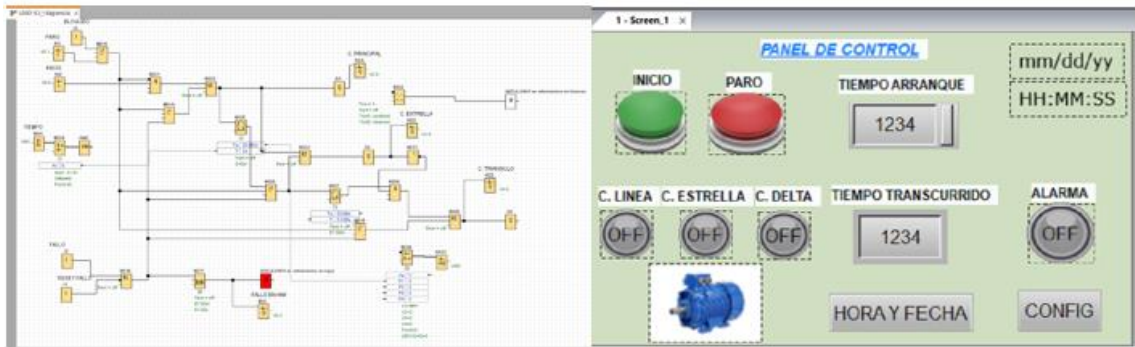


Ilustración 4-5: Programación del micro PLC y configuración del HMI

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.



Ilustración 4-6: Resultados de la programación del HMI

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

4.4. Guía práctica de laboratorio

La guía práctica de laboratorio ha sido desarrollada con el propósito de brindar a los estudiantes una herramienta completa para llevar a cabo las prácticas relacionadas con circuitos de control

industrial y automáticos. Esta guía incluye información detallada y clara que abarca desde los diagramas de conexiones para ambos tipos de circuitos, hasta instrucciones paso a paso para la programación del micro PLC y la configuración del HMI.

Además de las instrucciones técnicas, la guía proporciona una amplia cobertura sobre los métodos de detección de fallas simuladas en el módulo, así como recomendaciones sobre las herramientas y equipos de protección necesarios para realizar las prácticas de manera segura y eficiente. El ANEXO J complementa visualmente esta descripción, mostrando la estructura y contenido de la guía práctica de laboratorio.



GUÍA DE LABORATORIO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Práctica No....

TEMA: “Conexión e Identificación de Fallas en Circuitos de Control Industrial y Automático para el Arranque Estrella Triángulo”

1. DATOS GENERALES

NOMBRE	CÓDIGO	% DE PARTICIPACIÓN

GRUPO No.....

FECHA DE REALIZACIÓN: FECHA DE ENTREGA:

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Analizar eficazmente las fallas en los circuitos de control industrial y automático empleados en el arranque estrella triángulo mediante la verificación exhaustiva de la programación, la inspección de los diagramas y la evaluación de la continuidad utilizando un multimetro.

2.2. Objetivo específico

- Comprender los principios básicos de funcionamiento de los circuitos de control industrial y automático en el contexto del arranque estrella triángulo
- Interpretar los diagramas de conexión de los circuitos de control para identificar posibles problemas y malfuncionamientos.
- Desarrollar habilidades en la inspección minuciosa de los componentes eléctricos y dispositivos de automatización para detectar posibles fallas.



Ilustración 4-7: Guía práctica de laboratorio

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se diseñó la estructura del módulo integrando de manera eficiente equipos electromecánicos. A través del uso del software de diseño asistido por computadora

Se construyó la estructura mecánica, obteniendo un resultado exitoso. Este diseño aseguró un espacio adicional del 25% para futuras modificaciones, así como una resistencia mecánica adicional, siendo además ligero y de fácil transportar.

Se completó exitosamente la programación del micro PLC mediante el software LogoSoft Comfort con el lenguaje FBD según lo establecido por la norma IEC 61131-3. Por otro lado, la configuración de la interfaz HMI se realizó mediante el software DOPSoft, que permitió la configuración del protocolo de comunicación Ethernet y la asignación de direcciones para las variables digitales y analógicas.

Se elaboró una guía práctica de laboratorio, que describe el montaje de los elementos en el módulo de control con el propósito de enriquecer el proceso de formación de profesionales en el campo de la Ingeniería en Mantenimiento Industrial.

5.2. Recomendaciones

Conectar este módulo a una fuente de alimentación de corriente alterna de 120V y cerciorarse de que las conexiones se encuentren en buen estado.

Emplear borneras para optimizar la distribución de los cables durante la realización de la práctica, simplifica tanto la organización como la gestión de los cables, esto puede resultar en ventajas económicas al disminuir el exceso de cable.

Conocer sobre los lenguajes de programación del micro PLC y de la pantalla táctil, además se debe tener en cuenta el protocolo de comunicación que manejan estos dispositivos.

Asignar a cada función, de forma individual, para prevenir conflictos y garantizar que no haya dos señales configuradas en la misma dirección.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ÁLVAREZ PULIDO, Manuel.** *Controladores Lógicos* [en línea]. 1. Barcelona: Marcombo S.A., 2007. ISBN 9788426713476. [consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/45911>
2. **ANAGUANO LAMIÑO, Patricio.** Causas, análisis, reparación y prevención de fallos en los motores trifásico de inducción de jaula de ardilla. [en línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería eléctrica. Quito-Ecuador. 1997. Págs. 1-305. [consulta: 2023-11-5]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5991>
3. **ARIAS POLANCO, Jhonatan.** Análisis comparativo de los lenguajes de programación de PLC definidos en la norma IEC 61131-3. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira-Colombia. págs. 6-33. [consulta: 2023-11-19]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/10557>
4. **AUTOMATIZARTE.** *Arranque estrella triángulo: Todo lo que debes saber en 2023.* [blog]. Perú: 2023 [consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <https://automatizarte.com/como-funciona-el-arranque-estrella-triangulo/>
5. **BARRIONUEVO, Ricardo.** Elaboración de un plan de mantenimiento mediante el análisis de los modos de falla para los activos en la planta de pintura de la Empresa CIAUTO Cía. Ltda. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2022. [consulta: 2023-11-16]. Disponible en: <https://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/16183>
6. **BRUNETE, Alberto; et al.** *Introducción a la Automatización Industrial* [en línea]. Madrid: 2020 [consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/intro.html
7. **CAJAMARCA CHIMBORAZO, Alex Roberto & MORALES ZÚÑIGA, Silvia Gabriela.** Diseño e implementación de un sistema de iluminación exterior programable, para la casona principal de la Escuela de Formación de Tecnólogos. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Electromecánica. Quito-Ecuador [consulta: 2023-12-05]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19702>

8. **CAMSMARK.** *Catálogo General*. [en línea]. [Consulta:29 diciembre 2023]. Disponible en: <https://camsmark.com/wp-content/uploads/2021/07/Copia-de-Ca%CC%81talogo-general-Camscol-2020-V.1.1.2.pdf>
9. **CANDO HERRERA, Franklin Fernando & MEDINA LESCANO, Giovanni Fernando.** Implementación de un sistema de control y monitoreo de nivel de agua para el sistema de riego chambo-guano en la provincia de Chimborazo. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ingeniería en Electricidad y Computación. Guayaquil-Ecuador. 2021 págs. 1-81. [consulta: 2023-12-05]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56415>
10. **CAPACITACIÓN TÉCNICA.** Arranque Estrella/Triángulo. [blog]. Argentina: 2019. [consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: <https://capacitaciontecnica.com.ar/2019/10/13/arranque-estrella-triangulo/>
11. **CARGUA LÓPEZ, Ángel Israel & MENDOZA CHUGÑAY, Cristhian Sebastián.** Rediseño y mantenimiento del tablero de control y automatización del sistema de dosificación de aceite de palmar para reducir tiempos de producción de balanceados del grupo Avícola San Vicente. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica. Riobamba-Ecuador. 2021. págs. 13-97. [consulta: 23-12-29]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15989>
12. **CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.** *Misión y Visión*. [blog]. Riobamba: 2020. [consulta: 3 noviembre 2023]. Disponible en: <http://mantenimiento.esPOCH.edu.ec/academia.php?cual=2&&nomb=Academia>
13. **CAZCO BARBA, Luisa Cristina & IÑIGUEZ CARRILLO, Iván Darío.** Diseño e implementación de un prototipo con hmi para automatizar procesos de cultivo hidropónico de lechuga. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ingeniería en Electrónica, Control y Redes Industriales. Riobamba-Ecuador. 2013 págs. 1-120. [consulta: 2023-12-05]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3185>
14. **CONTRERAS MÁRQUEZ, José Neptalí.** *Planificación, programación y costos del mantenimiento* [En línea]. Buenos Aires-Argentina: La Imprenta Ya, 2021. [consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.studocu.com/latam/document/universidad->

nacional-experimental-politecnica-de-la-fuerza-armada-bolivariana/mantenimiento-general/capitulo-1-libro-planificacion-jose-contreras/37898184

15. **CRUZ, Juan.** Configuración estrella triángulo. Aplicación industrial. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia-España. 2012 [consulta: 2023-12-23]. Disponible en: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17104/Configuraci%C3%B3n%20estrella%20tri%C3%A1ngulo.%20Aplicaci%C3%B3n%20industrial.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
16. **ESPINOSA RUEDA, Bryan David.** Elaboración de un informe técnico y planos eléctricos de las instalaciones de la zona a de la ESFOT plano eléctrico de la zona A. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Politécnica Nacional, Electromecánica. Quito-Ecuador. 2023. [consulta: 2023-12-23]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23792>
17. **FERNÁNDEZ, José.** Motores eléctricos para la industria. [en línea] 2018. págs. 1-45. [consulta: 2023-11-9]. Disponible en: <https://www.academia.edu/40289681/>
18. **FUNCIÓN DE LA INDUSTRIA.** *Los motores eléctricos y su importancia en la Industria.* [blog]. WordPress, 2017. [consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: <https://funciondelaindustria.wordpress.com/2017/05/10/los-motores-electricos-y-su-importancia-en-la-industria/>
19. **GUILLÉN MADRID, Diego Samuel.** Diseño de implementación de módulos digitales para un controlador lógico programable en tableros industriales con fines didácticos en la Universidad del Valle de Guatemala. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Licenciatura). Universidad del Valle de Guatemala, Ingeniería. Guatemala. 2022. págs. 1-37.[consulta: 2023-11-22]. Disponible en: <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/4707>
20. **HUAMÁN CRUZ, Luis Alberto.** Elección óptima de arranque de motores eléctricos trifásicos asíncronos según su uso en la industria. [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Continental, Ingeniería. Arequipa. 2020. págs. 1-112. [Consulta: 2023-11-5]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10047>

21. **KELJIK, Jeff.** *Electricidad 4: motores CA/CC, controles y mantenimientos*, 9. Ed. [en línea], Buenos Aires-Argentina: Cengage Learning, 2009. [consulta: 9 septiembre 2023]. Disponible en: <http://www.ebooks7-24.com.bdigital.sena.edu.co/stage.aspx?il=&pg=&ed=>
22. **LEGRAND.** *Construcción y certificación de conjuntos de conformidad con IEC 61439-1 y 2* [en línea], 2015. (Ecuador) 3(2), págs. 54-67. [consulta: 9 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.legrand.es/sites/g/files/ocwmcr651/files/2022-08/Guia-Normativas-Potencia-Legrand.pdf>
23. **MAQUINAS Y ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS.** *Introducción a motor trifásico de inducción.* [blog]. 2019. [consulta: 12 octubre 2023]. Disponible en: http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrica/maquinasyaccionamientos/subir/1.Teoria_apuntes_de_catedra/mae_2019_apunte_catedra6_introduccion_motor_trifasico_de_induccion.pdf.
24. **MARTÍNEZ, Hilariona.** Módulo didáctico para prácticas de laboratorio con controladores lógicos programables. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo León, Mecánica y Electrónica. Nuevo León-México. 2015. págs. 1-57. [consulta: 2023-11-19]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/9535>
25. **MEAN WELL.** *MDR-60-24 series.* [blog]. USA: Mouser Electronics. [consulta: 26 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.mouser.ec/ProductDetail/MEAN-WELL/MDR-60-24?qs=TaOZSEYtRiX%2FgE8ZUA70Qg%3D%3D>
26. **NAVAS GARCÍA, Juan José.** Guía práctica de diseño de sistemas eléctricos según el código nec. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala. 2018. págs. 1-163. [consulta: 2023-11-22]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20086>
27. **PACHECO CHICA, Wilson & SANTOS MOREIRA, Daniel.** Análisis tecnológico de motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla. *Revista Científica-Dominio de las Ciencias* [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 6 (5), págs. 291-303. [consulta: 12 noviembre 2023]. ISSN 2477-8818. Disponible en: <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1601/3044>
28. **PADILLA, Xavier.** Diseño y construcción de un módulo didáctico, para el control de un motor trifásico. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Tecnólogo). Escuela Politécnica

Nacional, Escuela de Formación de Tecnólogos. Quito-Ecuador. 2017. págs. 12-26. [consulta: 12 marzo 2024]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18953>.

29. **PÉREZ, Félix.** *Conceptos Generales en la Gestión del Mantenimiento Industrial.* Bucaramanga-Colombia: 2021. ISBN 978-958-8477-92-3.
30. **PILLAJO ACOSTA, Fernando Wladimir.** Rediseño de las instalaciones eléctricas en la escuela fiscal mixta "Juan Genaro Jaramillo". [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2017. [consulta: 2023-12-28]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17043>
31. **SÁNCHEZ PERDOMO, Elías Josué.** Diseño de implementación de módulos analógicos en tableros didácticos de control industrial en la Universidad del Valle de Guatemala. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Licenciatura). Universidad del Valle de Guatemala, Ingeniería. Guatemala. 2021. págs. 1-55. [consulta: 2023-11-22]. Disponible en: <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/3995>
32. **SICMA 21.** *Cómo se realiza el mantenimiento de un motor eléctrico.* [blog]. Cataluña: 2023 [consulta: 31 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.sicma21.com/mantenimiento-de-un-motor-electrico/>
33. **SORIANO, Sergio.** *¿Cómo testear PLCs? guía básica de diagnóstico de PLCs.* [blog]. 2015 [consulta: 23 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.thesergioscorner.com/post/2015/12/04/-c%C3%B3mo-testear-plcs-gu%C3%ADa-b%C3%A1sica-de-diagn%C3%B3stico-de-plcs>.
34. **STUDOCU.** *Arranque estrella triangulo-preguntas guía - ¿Qué es un arranque estrella triangulo?* [blog]. 2021. [consulta: 22 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es-mx/document/servicio-nacional-de-adiestramiento-en-trabajo-industrial/electronica-industrial/arranque-estrella-triangulo-preguntas-guia/64071629>
35. **THESEGIOSCORNER.** *¿Cómo testear PLCs? guía básica de diagnóstico de PLCs.* [blog]. 2015 [consulta: 22 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.thesergioscorner.com/post/2015/12/04/-c%C3%B3mo-testear-plcs-gu%C3%ADa-b%C3%A1sica-de-diagn%C3%B3stico-de-plcs>

36. **TRACTIAN**. *Motores Eléctricos*. [blog]. 2022. [consulta: 15 octubre 2023]. Disponible en: <https://tractian-webpage.s3.amazonaws.com/ebooks/es/ebook-motores-electricos.pdf>
37. **UNE 13306, 2018**. *Terminología del Mantenimiento-6-26*.
38. **VALENCIA, Dylan**. Simulación de los principales tipos de arranque de un motor trifásico de inducción: simulación de tipos de arranque de un motor trifásico. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación de Tecnólogos. Quito-Ecuador. 2022. págs. 1-31. [consulta: 2023-11-16]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23105>

Total 38 referencias bibliográficas



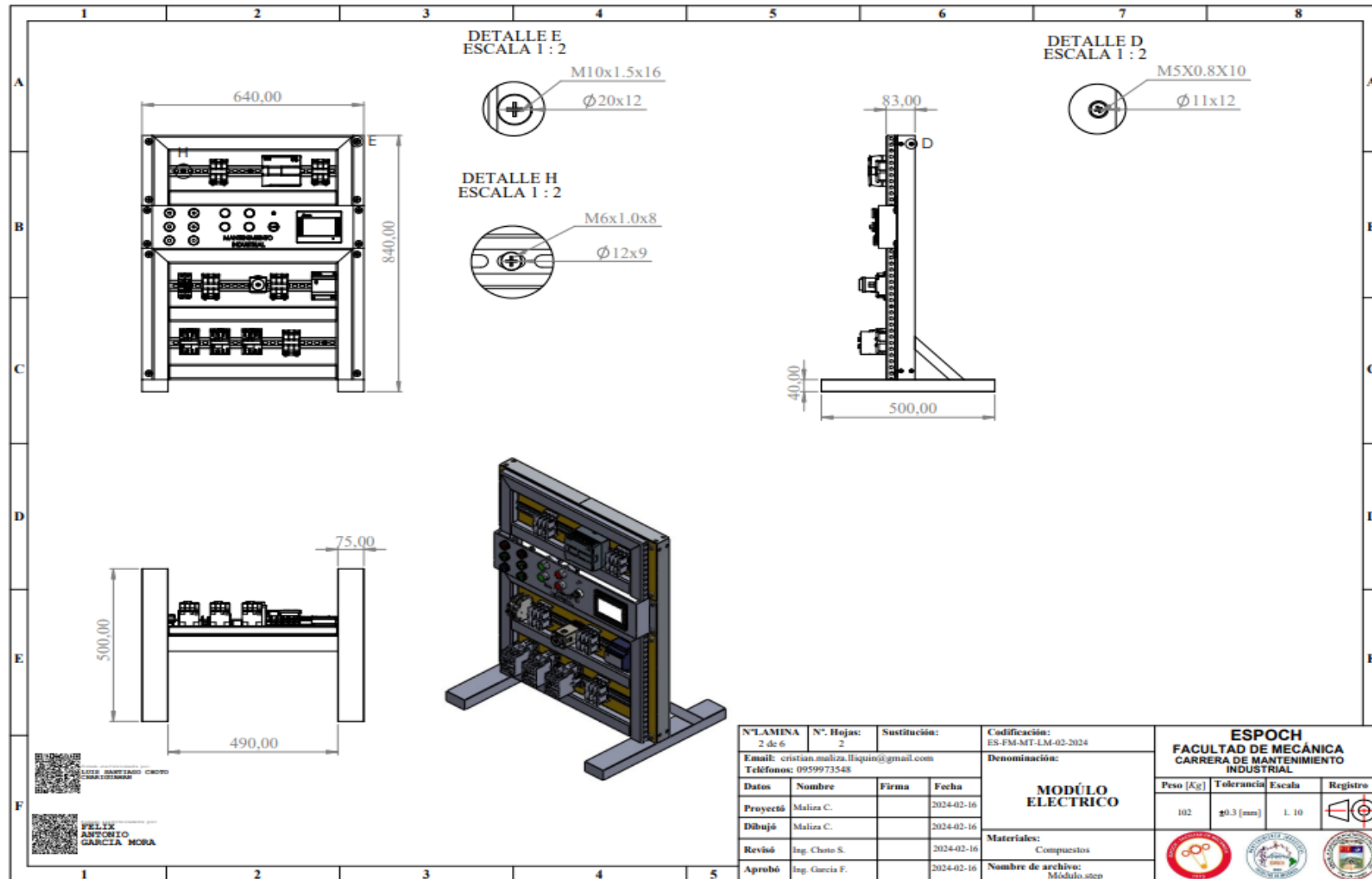
ANEXOS

ANEXO A: DISEÑO EXPLOSIONADO DEL MÓDULO DE CONTROL

N.º de pieza	Cant.	Denominación	Norma	Material	Observaciones
1	2	Base	ASTM	B221	Manufacturado
2	1	Marco	ASTM	B221	Manufacturado
3	2	Angulo	ASTM	B221	Manufacturado
4	8	Tornillo de cabeza troncocónica M5X0.8X25	ASME/ANSI	B18.6.7M	Catálogo TorqBolt
5	12	Tornillo de cabeza troncocónica M5X0.8X10	ASME/ANSI	B18.6.7M	Catálogo TorqBolt
6	4	Tornillo de cabeza troncocónica M5X0.8X50	ASME/ANSI	B18.6.7M	Catálogo TorqBolt
7	1	Alucobon	ASTM	B209	Manufacturado
8	8	Tornillo de cabeza troncocónica M10X1.5X16	ASME/ANSI	B18.6.7M	Catálogo TorqBolt
9	1	Porta Botones	ASTM	A653	Manufacturado
10	4	Tornillo de cabeza troncocónica M10X1.5X20	ASME/ANSI	B18.6.7M	Catálogo TorqBolt
11	9	Canaleta ranurada 40x40	UNE-EN	50085	Catálogo Kywi
12	20	Tornillo de cabeza troncocónica M5X0.8X8	ASME/ANSI	B18.6.7M	Catálogo TorqBolt
13	3	Riel DIN	DIN	60715	Catálogo ISA-Industrial
14	9	Tornillo de cabeza troncocónica M6X10X8	ASME/ANSI	B18.6.7M	Catálogo TorqBolt
15	1	Variable resistor	UNE-EN	60393-5	Catálogo Schneider Electric
16	3	Contactor	IEC	60947-4-1	Catálogo Siemens
17	5	Bornera	ASTM	D648	Catálogo Schneider Electric
18	1	Lampara piloto blue	NEMA	-	Catálogo Schneider Electric
19	2	Lampara piloto red	NEMA	-	Catálogo Schneider Electric
20	1	Lampara piloto yellow	NEMA	-	Catálogo Schneider Electric
21	1	Indicador de Voltaje	NEMA	-	Catálogo Schneider Electric
22	1	Lampara piloto green	NEMA	-	Catálogo Schneider Electric
23	2	Pulsador arranque	NEMA	-	Catálogo Schneider Electric
25	2	Pulsador paro	NEMA	-	Catálogo Schneider Electric
26	1	Commutador	NEMA	-	Catálogo Schneider Electric
27	1	Pantalla HMI Delta	ISA	101.1	Catálogo Delta
28	1	Breaker	IEC	60898-1	Catálogo Camco
29	1	Fuente de alimentación	UNE-EN	60950-1	Catálogo MEAN WELL
30	1	Logo Siemens	-	-	Catálogo Siemens
31	1	Cuerpo Timer	-	-	Catálogo Schneider Electric
32	1	Base Timer	-	-	Catálogo Schneider Electric

N.º LAMINA		N.º Hojas:		Sustitución:		Codificación:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
1 de 6		1				ES-FM-MT-IM-01-2024									
Email: cristian.maliza.flores@gmail.com				Denominación:				MÓDULO ELÉCTRICO							
Teléfonos: 0959973548															
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		Maliza C.				2024-02-16		102		±0.3 [mm]		1:1			
Dibujó		Maliza C.				2024-02-16		Materiales:							
Revisó		Ing. Choto S.				2024-02-16									
Aprobó		Ing. Garcia F.				2024-03-06		Número de archivo:		Explosionado					

ANEXO B: DIMENSIONES DEL MÓDULO DE CONTROL



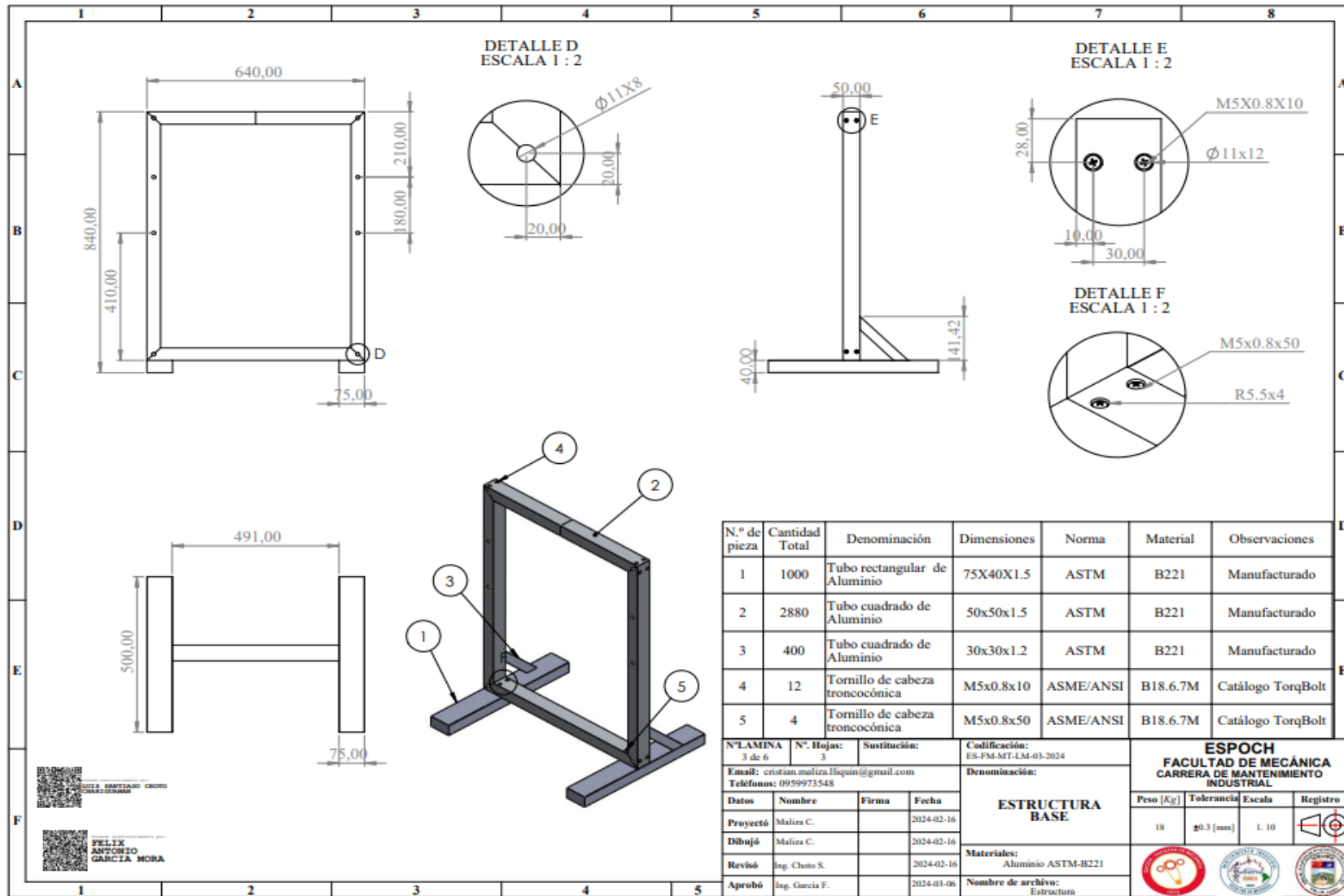
LEON SANTIANO CROCO

 CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

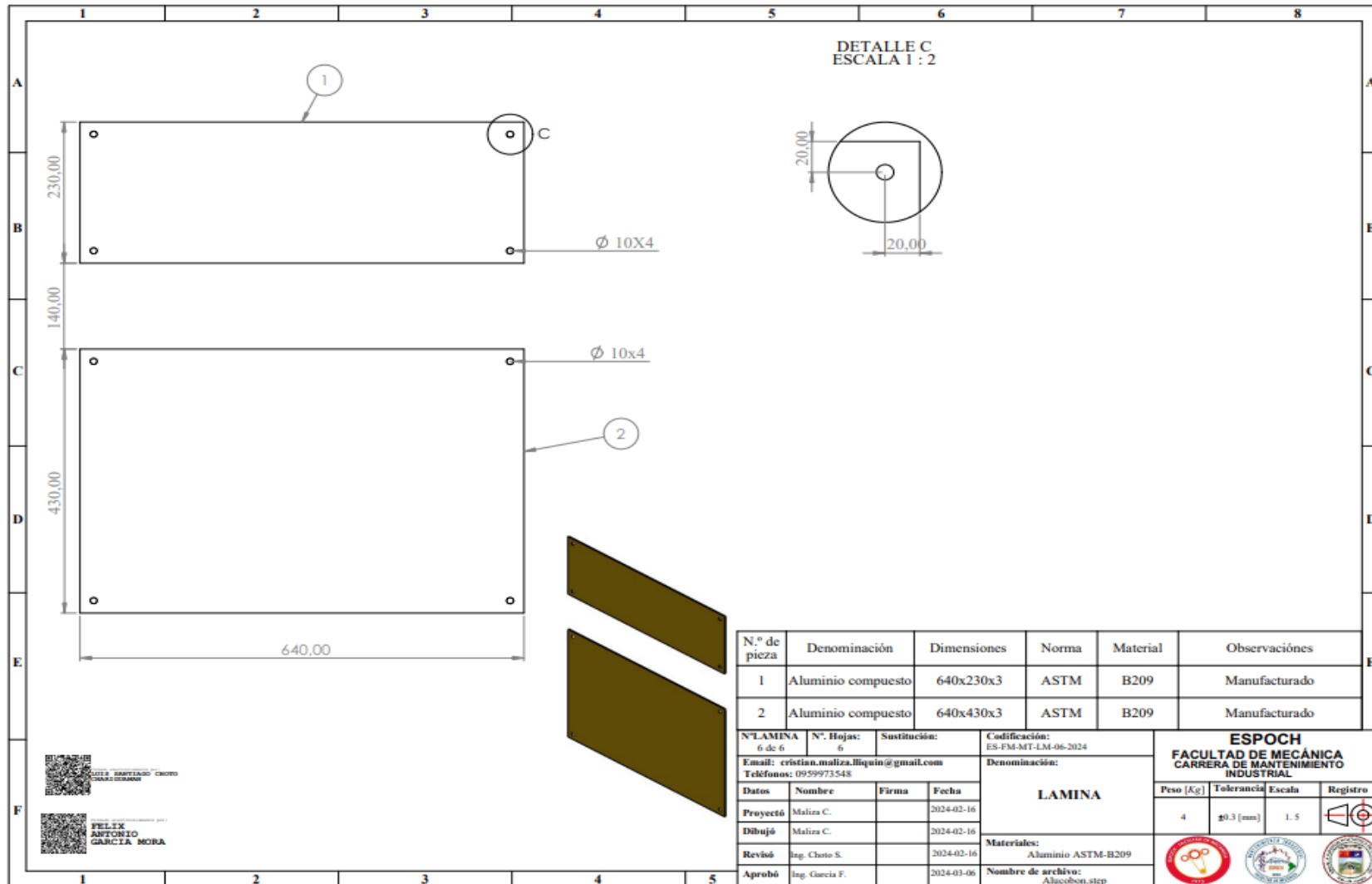
FELIX ANTONIO GARCIA MORA

N° LAMINA 2 de 6		N° Hojas: 2		Sustitución:		Codificación: ES-FM-MT-LM-02-2024		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: cristian.maliza.llaquin@gmail.com				Denominación:							
Teléfonos: 0959973548				MODÚLO ELECTRICO				Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha					102	±0.3 [mm]	1:10	
Proyectó	Maliza C.		2024-02-16								
Dibujó	Maliza C.		2024-02-16								
Revisó	Ing. Choto S.		2024-02-16								
Aprobó	Ing. Garcia F.		2024-02-16	Materiales: Compuestos				Nombre de archivo: Módulo.step			

ANEXO C: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA BASE



ANEXO D: DISEÑO DEL ALUCOBON



N.º de pieza	Denominación	Dimensiones	Norma	Material	Observaciones
1	Aluminio compuesto	640x230x3	ASTM	B209	Manufacturado
2	Aluminio compuesto	640x430x3	ASTM	B209	Manufacturado

N.º LAMINA 6 de 6	N.º Hojas 6	Sustitución:	Codificación: ES-FM-MT-LM-06-2024
Email: cristian.maliza.lliquin@gmail.com		Denominación:	
Teléfonos: 0959973548		LAMINA	
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Maliza C.		2024-02-16
Dibujó	Maliza C.		2024-02-16
Revisó	Ing. Choto S.		2024-02-16
Aprobó	Ing. Garcia F.		2024-03-06
Materiales: Aluminio ASTM-B209		Nombre de archivo: Alucobon.step	

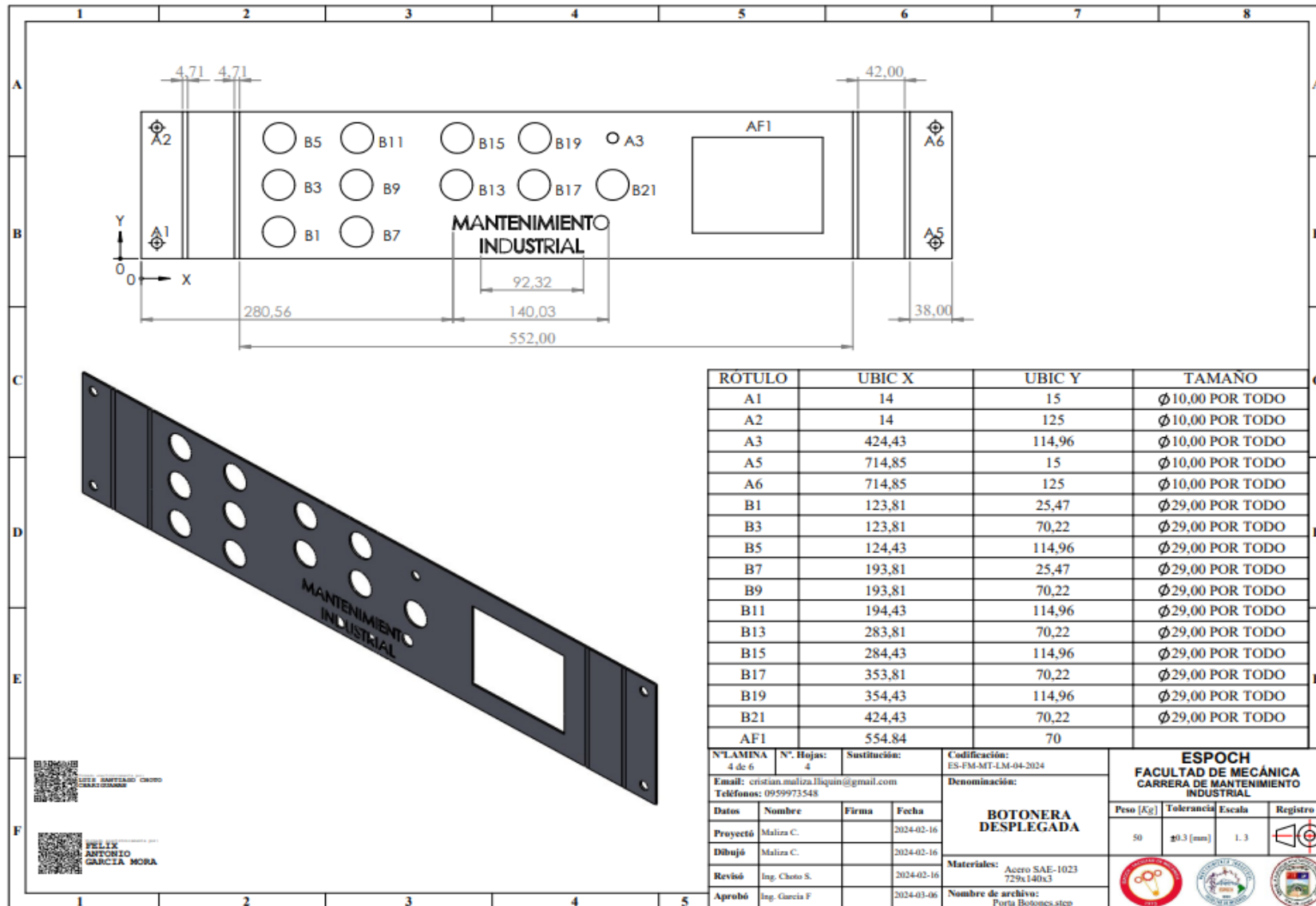
ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
4	±0.3 [mm]	1.5	

LUIS BARTOLAO CHOTO
 COORDINADOR

FELIX ANTONIO GARCIA MORA



ANEXO E: DISEÑO DE LA BOTONERA

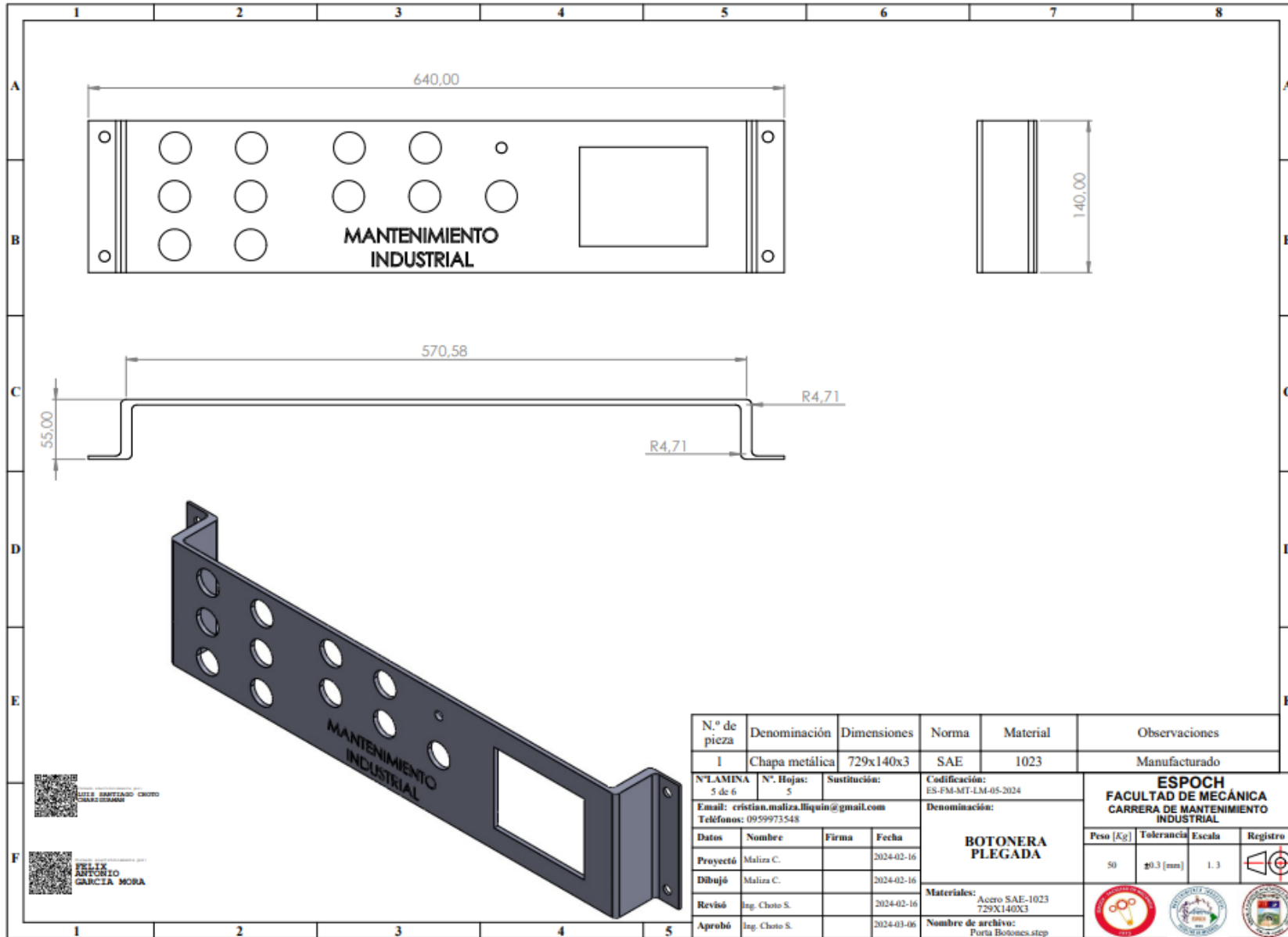


ROTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	14	15	Ø 10,00 POR TODO
A2	14	125	Ø 10,00 POR TODO
A3	424,43	114,96	Ø 10,00 POR TODO
A5	714,85	15	Ø 10,00 POR TODO
A6	714,85	125	Ø 10,00 POR TODO
B1	123,81	25,47	Ø 29,00 POR TODO
B3	123,81	70,22	Ø 29,00 POR TODO
B5	124,43	114,96	Ø 29,00 POR TODO
B7	193,81	25,47	Ø 29,00 POR TODO
B9	193,81	70,22	Ø 29,00 POR TODO
B11	194,43	114,96	Ø 29,00 POR TODO
B13	283,81	70,22	Ø 29,00 POR TODO
B15	284,43	114,96	Ø 29,00 POR TODO
B17	353,81	70,22	Ø 29,00 POR TODO
B19	354,43	114,96	Ø 29,00 POR TODO
B21	424,43	70,22	Ø 29,00 POR TODO
AF1	554,84	70	

N° LAMINA 4 de 6	N° Hojas: 4	Sustitución:	Codificación: ES-FM-MT-LM-04-2024
Email: cristian.maliza.llequin@gmail.com		Denominación:	
Teléfonos: 0959973548		BOTONERA DESPLEGADA	
Datos	Nombre		
Proyectó	Maliza C.		2024-02-16
Dibujó	Maliza C.		2024-02-16
Revisó	Ing. Chato S.		2024-02-16
Aprobó	Ing. Garcia F		2024-03-06
Materiales: Acero SAE-1023 729x140x3		Nombre de archivo: Porta Botones.step	

ESPOCH
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
50	±0.3 [mm]	1:3	



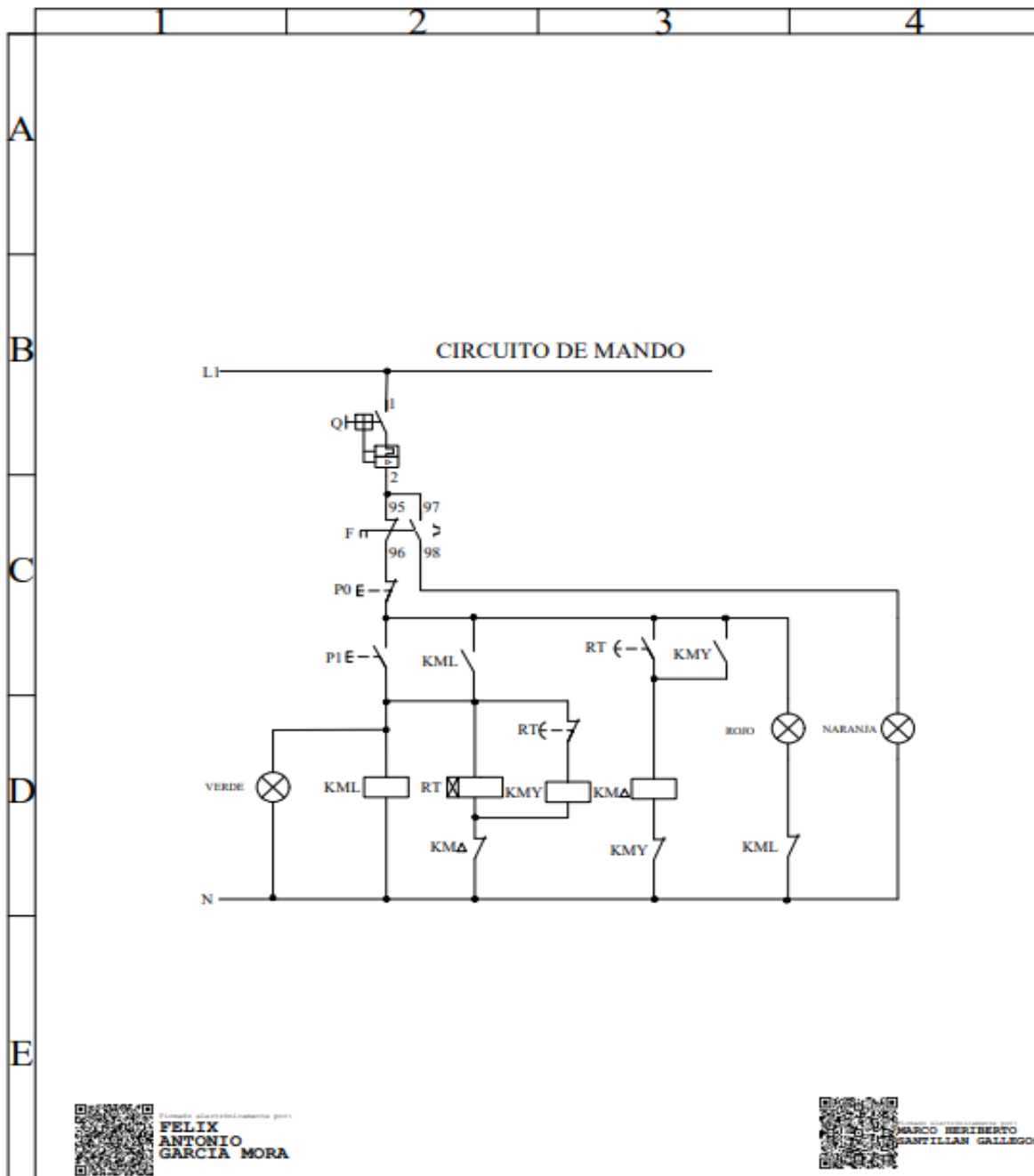
FELIX ANTONIO GARCIA MORA

FELIX ANTONIO GARCIA MORA

N.º de pieza	Denominación	Dimensiones	Norma	Material	Observaciones								
1	Chapa metálica	729x140x3	SAE	1023	Manufacturado								
N.º LAMINA 5 de 6		N.º Hojas: 5		Sustitución:									
Email: cristian.maliza.liquin@gmail.com		Teléfonos: 0959973548		Codificación: ES-FM-MT-LM-05-2024									
Denominación:			BOTONERA PLEGADA										
Materiales: Acero SAE-1023 729X140X3													
Nombre de archivo: Porta Botones.step			<table border="1"> <tr> <th>Peso [Kg]</th> <th>Tolerancia</th> <th>Escala</th> <th>Registro</th> </tr> <tr> <td>50</td> <td>±0.3 [mm]</td> <td>1:3</td> <td></td> </tr> </table>			Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro	50	±0.3 [mm]	1:3	
Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro										
50	±0.3 [mm]	1:3											



ANEXO F: CIRCUITO MANDO DEL ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO



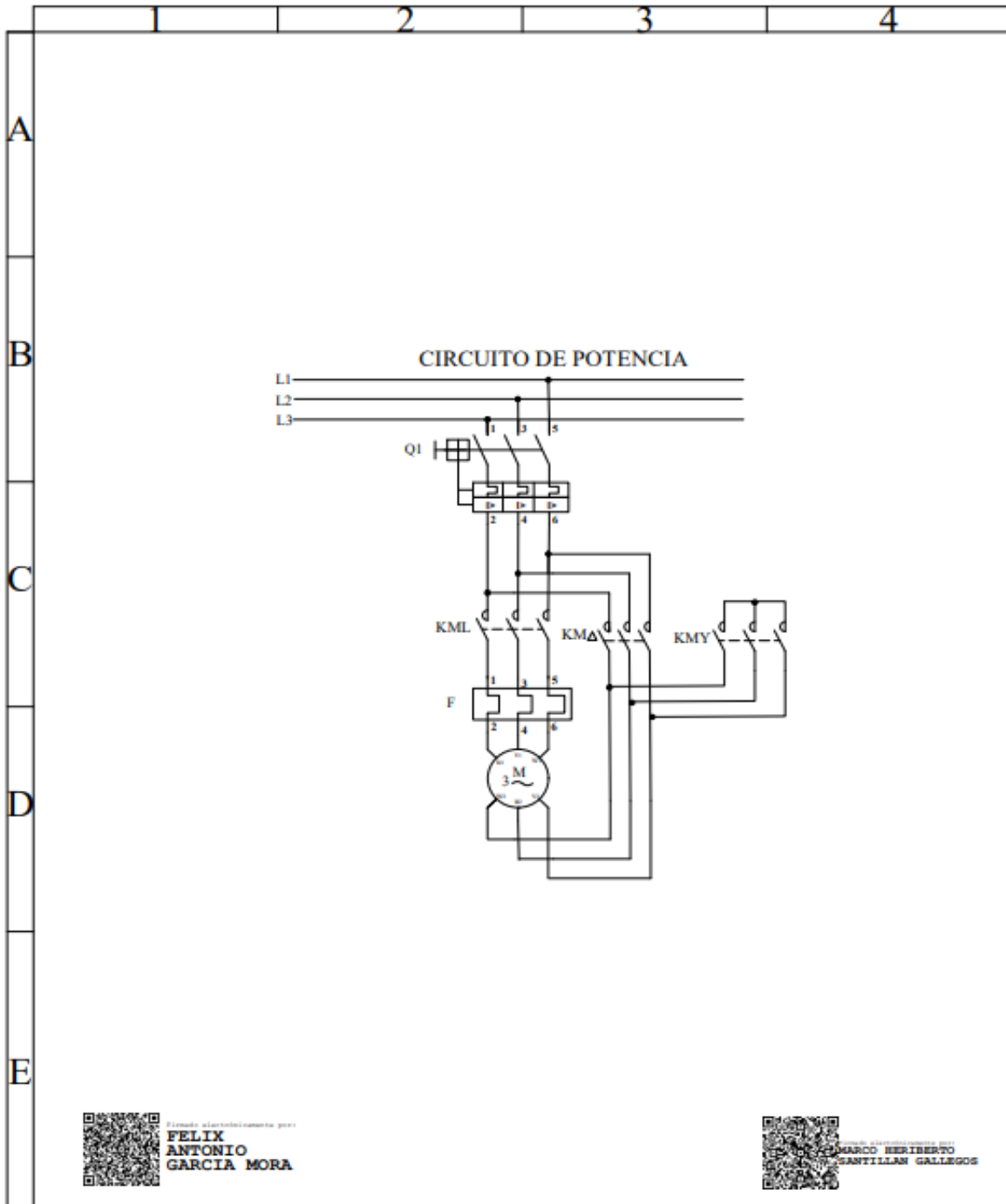
Firmado digitalmente por:
FELIX ANTONIO GARCIA MORA



Firmado digitalmente por:
MARCO HERIBERTO SANTILLAN GALLEGOS

M	M	ESPOCH	CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL		
Trat. Térmicos:		Escala: 1:1	Dib.	Cristian Maliza	2023
Recubrimientos:			Dis.	2160	12
Material:	Tol. Gral:		Rev.	Ing. Marco Santillán	06
CIRCUITO DE MANDO ESTRELLA-TRIÁNGULO		INTEGRACIÓN CURRICULAR		02	

ANEXO G: CIRCUITO DE POTENCIA DEL ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO



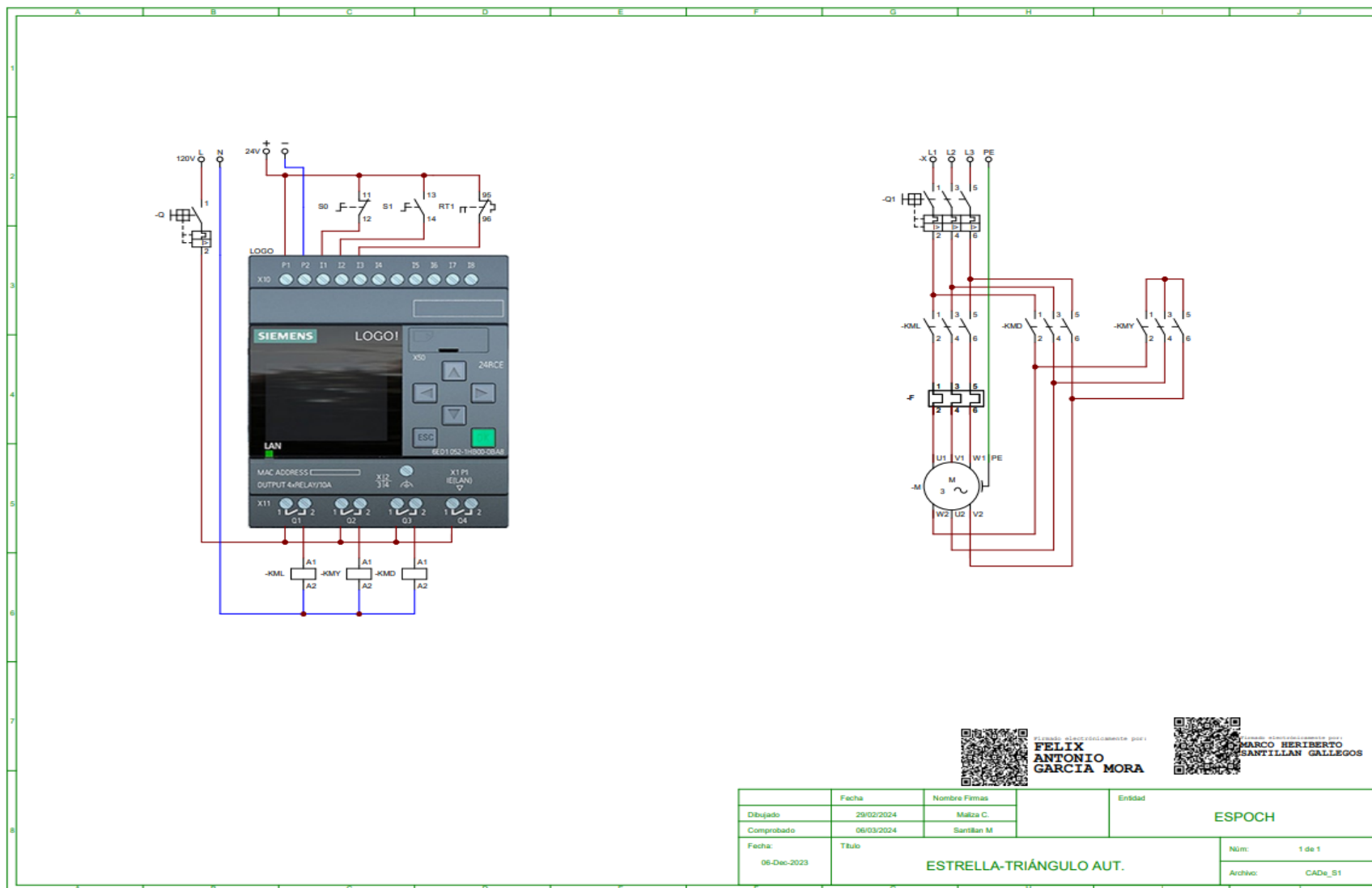
Firmado electrónicamente por:
**FELIX
 ANTONIO
 GARCIA MORA**



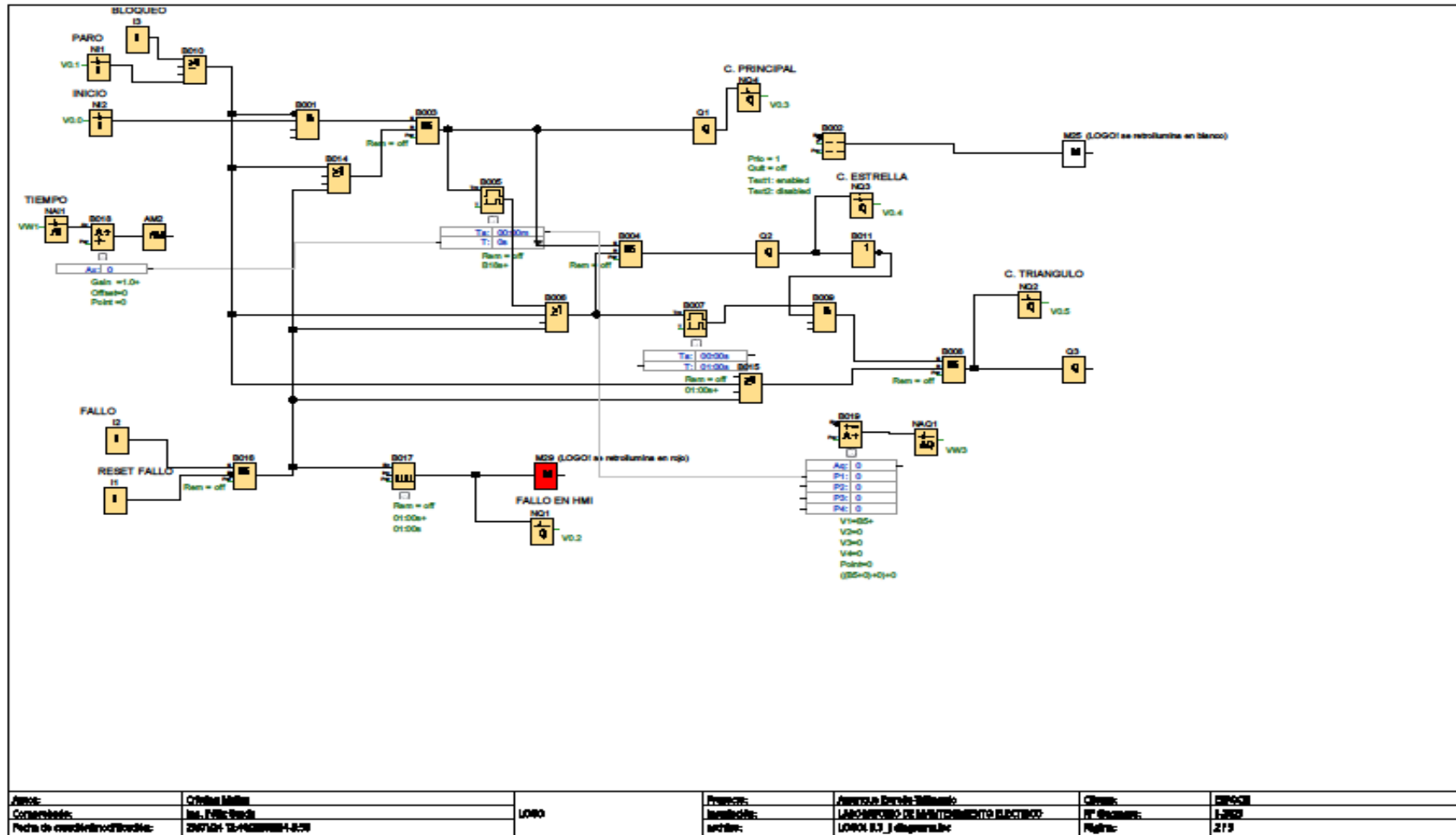
Firmado electrónicamente por:
**MARCO HERIBERTO
 SANTILLÁN GALLEGOS**

M	M	ESPOCH	CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL		
Trat. Térmicos:		Escala: 1:1	Dib.	Cristian Maliza	2023
Recubrimientos:			Dis.	2160	12
Material:			Rev.	Ing. Marco Santillán	06
CIRCUITO DE POTENCIA ESTRELLA-TRIÁNGULO		INTEGRACIÓN CURRICULAR			03

ANEXO H: CIRCUITO AUTOMÁTICO DEL ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO



ANEXO I: PROGRAMACIÓN DEL ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO





ANEXO J: GUÍA DE LABORATORIO

GUÍA DE LABORATORIO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Práctica No....

TEMA: “Conexión e Identificación de Fallas en Circuitos de Control Industrial y Automático para el Arranque Estrella Triángulo”

1. DATOS GENERALES

NOMBRE	CÓDIGO	% DE PARTICIPACIÓN

GRUPO No.....

FECHA DE REALIZACIÓN: **FECHA DE ENTREGA:**

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Analizar eficazmente las fallas en los circuitos de control industrial y automático empleados en el arranque estrella triángulo mediante la verificación exhaustiva de la programación, la inspección de los diagramas y la evaluación de la continuidad utilizando un multímetro.

2.1. Objetivos específicos

- Comprender los principios básicos de funcionamiento de los circuitos de control industrial y automático en el contexto del arranque estrella triángulo
- Interpretar los diagramas de conexión de los circuitos de control para identificar posibles problemas y malfuncionamientos.
- Desarrollar habilidades en la inspección minuciosa de los componentes eléctricos y dispositivos de automatización para detectar posibles fallas.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Arranque estrella-triángulo

Este tipo de arranque es utilizado solo en motores que tienen disponibles sus 6 terminales de fase al exterior y cuyo voltaje nominal para la conexión triángulo sea correspondiente al voltaje de la red, generalmente los valores nominales de voltaje son 220/380 voltios. Durante el encendido se produce una reducción del voltaje nominal, aproximadamente un 58% o una disminución de $\sqrt{3}$ en cada bobina. Inicialmente el sistema presenta una configuración en conexión estrella (Y). A medida que el movimiento se incrementa, aproximadamente en un rango entre 70% y 90% de su velocidad, realiza una transición hacia la conexión en triángulo. Después de este cambio, las características nominales se establecen, incluyendo un pico de corriente de 2.5 veces el valor nominal y un torque de arranque que es 1.5 veces el dato nominal presente en el arranque directo (Valencia, 2022, pág. 6).

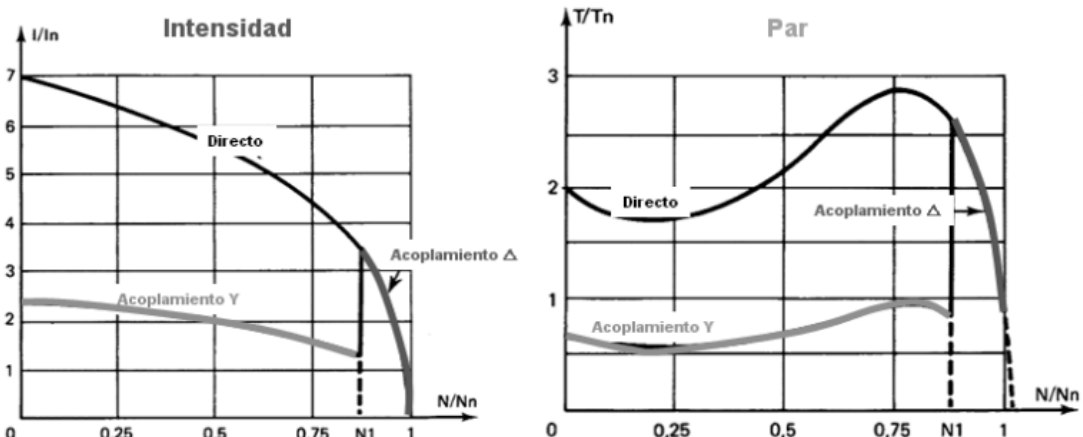


Ilustración 3-1: Diagrama de la corriente y del par en un arranque estrella-triángulo

Fuente: Escuela Politécnica Nacional, s.f.

Entre las aplicaciones comunes se incluyen bombas de agua centrífugas, máquinas de extrusión bandas transportadoras, molinos, trituradoras, cortadoras, generadores, ventiladores centrífugos, maquinas herramientas, compresores a pistón y, en general, cualquier máquina del tipo centrífuga.

3.2. Fallas en el arranque estrella triángulo

En cualquier parte del sistema eléctrico, existe la posibilidad de que ocurra un fallo, el cual se define como un evento aleatorio que interrumpe el flujo regular de corriente, provocando sobretensiones y caídas de voltaje. A continuación, se examinarán las fallas más frecuentes que pueden manifestarse durante el arranque estrella-triángulo y cómo impacta en su

funcionamiento. (Huamán, 2020)

- a. **Fallo en el contactor:** Con el tiempo, las partes móviles del contactor pueden experimentar desgaste, afectando a su capacidad para establecer un contacto adecuado. De igual forma, la acumulación de suciedad o polvo en las partes internas del contactor puede interferir con su funcionamiento apropiado. La corrosión es un fenómeno claro que puede dificultar la conducción de la corriente eléctrica.
- b. **Falla en los relés de sobrecarga:** Si los relés de sobrecarga no están calibrados correctamente, pueden no detectar y proteger adecuadamente el motor de sobrecargas. Además, el uso continuo de los relés de sobrecarga puede provocar desgaste en sus componentes internos, lo que puede resultar en fallas.
- c. **Falla en los cables de conexión:** Si los cables de conexión no están correctamente conectados, puede haber una interrupción en el flujo de corriente. Si los cables de conexión tienen una sección transversal inadecuada, puede haber una caída de voltaje significativa, lo que afecta el funcionamiento del sistema.
- d. **Diagramas o conexiones eléctricas mal elaboradas:** Representa un problema común en la identificación de fallas en sistemas eléctricos. En muchos casos, estos diagramas están mal elaborados, lo que puede resultar en conexiones indebidas y en consecuencia un cortocircuito.

3.3. Módulo lógico programable

La función principal de estos dispositivos consiste en automatizar procesos y maquinaria en entornos industriales, simplificando la toma de decisiones basada en funciones lógicas (Lenguaje FBD), tales como operaciones AND, OR, entre otras, o mediante el uso de diagramas de contacto para la lógica programada (Lenguaje Ladder Logic). Una de las características más destacadas es la ausencia de necesidad de mantenimiento en su operación (Álvarez, 2007, pág. 7)

4. OBSERVACIÓN Y RECOMENDACIÓN DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

4.1. Módulo lógico programable

- Casco y gafas de seguridad
- Guantes de protección
- Botas industriales o zapato cerrado
- Mandil u overol

4.2. Equipos y herramientas

- Módulo de control industrial y automático
- Breaker Camsco MM5-63
- Relé térmico Siemens 3RU2126
- Temporizador ON Delay
- Pulsador NA
- Pulsador NC
- Contactor de line Siemens 3RT2
- Contactor de estrella Siemens 3RT2
- Contactor de triángulo Siemens 3RT2
- Módulo lógico programable LOGO 12/4RCE
- Pantalla HMI DELTA
- Fuente MEAN WELL de 24V
- Borneras
- Destornillador de plano y estrella
- Multímetro
- Conductor AWG 16 y 22
- Alicata eléctrica

**Añadir una imagen o fotografía de los materiales y equipos
utilizados en la práctica**

5. PREPARACIÓN DEL MÓDULO

- Se verifica el estado de todos los elementos eléctricos montados en el módulo para su correcto funcionamiento y estado óptimo.

Añadir una imagen o fotografía de la verificación de los componentes eléctricos

- Se procede a comprobar que el cable de alimentación del módulo esté desconectado de la fuente de energía.

Añadir una imagen o fotografía de la verificación del cable de alimentación

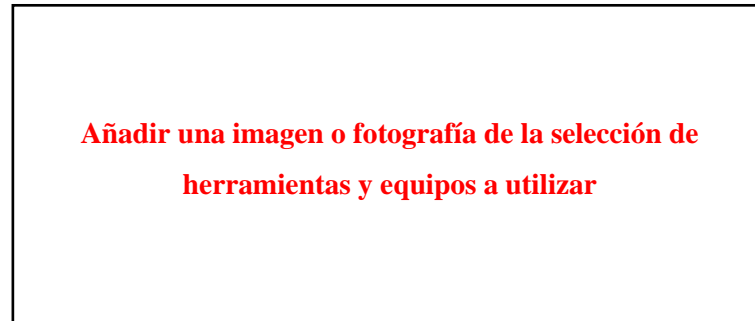
- Quitar las tapas de las canaletas para verificar si no existe solidos puntiagudos que puedan comprometer a los conductores que serán insertados en las canaletas.

Añadir una imagen o fotografía de la verificación de solidos en las canaletas ranuradas

- Realizar una limpieza del módulo, canaletas, riel DIN y elementos eléctricos.

Añadir una imagen o fotografía de la limpieza del módulo

- Seleccionar las herramientas y equipos (destornillados plano y estrella, alicate eléctrico, cable AWG 16, cable AWG 22 y multímetro) necesarios para la práctica, la ilustración 8-5 se muestran las herramientas de la práctica.



6. CONEXIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL INDUSTRIAL

Los esquemas de controles eléctricos facilitan la representación gráfica detalla de los componentes eléctricos, permitiendo una visualización clara y documentación precisa del arranque estrella-triángulo.

6.1. Esquema eléctrico del arranque estrella-triángulo

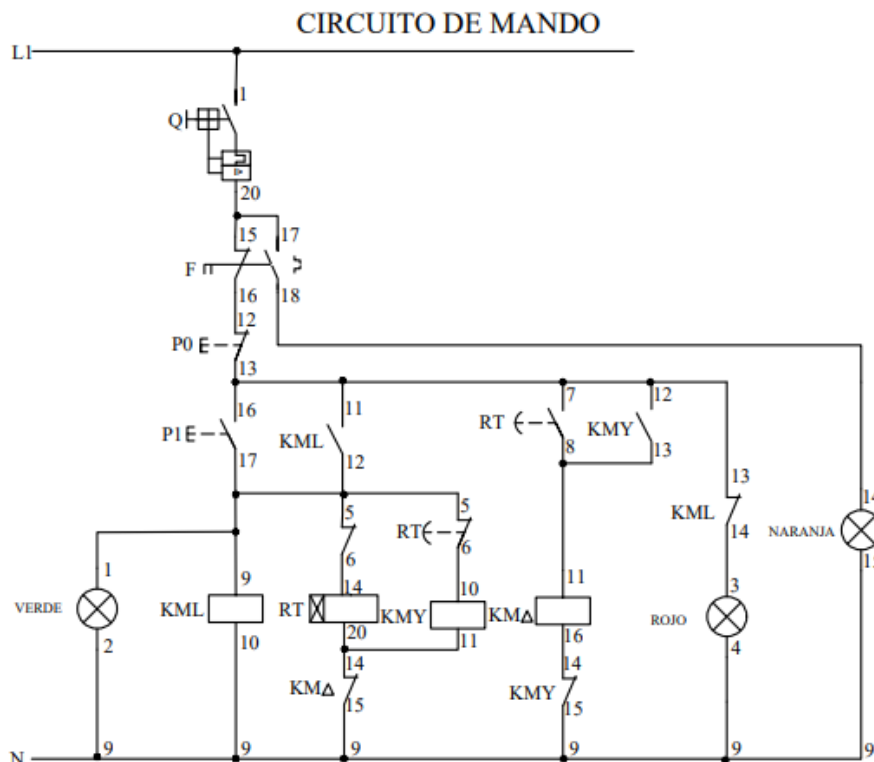


Ilustración 6-1: Circuito de mando

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

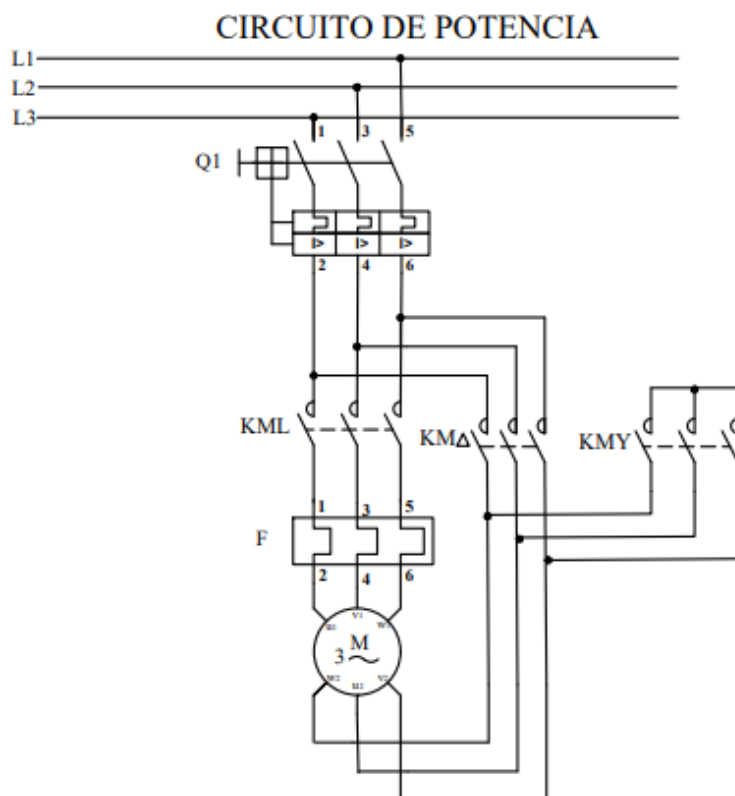


Ilustración 6-2: Circuito de potencia

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

La Ilustración 6-1, ofrece una representación clara de los diversos elementos de protección, control y maniobra. Para iniciar la conexión, se seguirán los siguientes pasos.

6.2. Procedimiento para conectar el circuito de control

- Conecta dos conductores AWG 16 a las entradas del breaker bifásico y los otros dos extremos a la fuente de alimentación, lo que garantiza la conexión de fase y neutro.
- Conecta la salida de la fase del breaker a una bornera designada como punto de distribución de 110V. Asimismo, conectar el neutro a otra bornera que servirá como punto común para cerrar el circuito.
- Conecta desde la bornera de distribución de 110V a una entrada normalmente cerrada (95) del relé térmico bimetálico, y en paralelo a una entrada normalmente abierta (97).
- Conecta desde la salida del contacto normalmente cerrado (96) del relé térmico bimetálico a un pulsador de paro (NC), también la salida del contacto normalmente abierto (98) del relé térmico bimetálico a la entrada de la luz piloto de color rojo. La salida de la luz piloto como se ve en el circuito de mando de la ilustración 6-1, se conecta al punto en común neutro que es la bornera

- Conecta la salida del relé térmico bimetálico desde la entrada normalmente cerrada (96) a un pulsador de paro (P0). Asimismo, conecta la salida del contacto normalmente abierta (98) del relé térmico bimetálico a la entrada de la luz piloto de color rojo. La salida de la luz piloto, como se muestra en el circuito de control de la ilustración 6-1, se conecta a un contacto normalmente cerrado del contactor de estrella y la salida de este contacto a un punto común neutro, que es la bornera designada.
- En este punto, es necesario conectar la salida del pulsador de paro a una bornera que será identificada como Nodo 1. Luego, la salida de esta bornera debe conectarse con el siguiente elemento, que es el pulsador de arranque (P1).
- Desde la salida del pulsador de arranque (P1), establecemos una conexión hacia otra bornera identificada como KML y de la salida de ésta, conectamos a la entrada (A1) que es la entrada de la bobina del contactor de línea (KML)
- La salida (A2) de la bobina del contactor de línea se conecta al punto en común neutro, completando de esta manera el circuito en serie.
- Para conectar el contacto normalmente abierto (KML) del contactor de línea, es debe utilizar una bornera en paralelo al Nodo 1. Esta nueva bornera establece un punto en común con el Nodo 1, donde uno de los extremos libres se conectará a la entrada (13NO) del contacto normalmente abierto (KML).
- La salida (14NO) del contacto normalmente abierto (KML) se conecta a una bornera que se unirá al punto en común identificado como (KML).
- El extremo libre de la nueva bornera se conecta a la entrada número dos de la base del temporizador On Delay. La salida número siete de la base se conecta a una bornera identificada como Nodo 2 y el otro extremo libre se conectará a la entrada (21NC) del contacto normalmente cerrado del contactor de triángulo.
- La salida (22NC) del contacto normalmente cerrado (KMA) se conecta al punto común neutro para completar el circuito y cerrarlo.
- La entrada número cinco de la base del temporizador se conecta a una bornera la cual a su vez se encuentra en corto circuito con la bornera KML.
- La salida número 8 de la base del temporizador se conecta con una bornera identificada como KMY. El extremo libre de esta bornera se conecta a la bobina del contactor de estrella.
- La salida de la bobina de contactor de estrella se conecta a una bornera en común que comparte conexión con el NODO 2. Con estas conexiones, hemos completado el proceso de arranque en configuración estrella.
- La entrada (1) de la base del temporizador se conecta a una bornera que comparte conexión con el Nodo 1.

- La salida (3) de la base del temporizador se conecta a la entrada de una bornera identificada como KMA y su salida se conecta a entrada de la bobina del contactor de triángulo.
- La salida de la bobina del contactor (KMA) se conecta a la entrada (21NC) del contactor de estrella. Luego, la salida (22NC) se conecta al juego de borneras que enlazan el punto en común neutro.
- La entrada (13NO) del contactor de triángulo se conecta a la entrada (1) de la base del temporizador, mientras que en la salida (14NO) se conecta a la entrada de una bornera identificada como KMA.
- La entrada de la luz piloto de color naranja se conecta a la salida del pulsador de paro y la luz de piloto de color naranja en paralelo a una bornera de KML.

**Añadir una imagen o fotografía de la conexión del
circuito de mando**

7. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE CONTROL

- Antes de encender asegúrate de verificar todas las conexiones eléctricas según el diagrama del circuito. Además, asegúrate de calibrar el temporizador ajustando el rango selector a 6S.

**Añadir una imagen o fotografía verificando las
conexiones y calibrando el temporizador**

- Levanta la palanca del breaker y luego presiona el pulsador de color verde para iniciar el arranque en modo estrella. Observa si la luz piloto verde, el contactor de línea y el temporizador se activan correctamente.

Añadir una imagen o fotografía del arranque en modo estrella

- Luego de un periodo se activará el modo triángulo, verifica si el temporizador se apaga al igual que se desactiva el contactor de estrella y la luz piloto verde sigue encendida

Añadir una imagen o fotografía del arranque modo triángulo

- Para realizar una prueba de paro, presiona el pulsador de paro de color rojo y verifica si el sistema se apaga correctamente. Observa también si la luz piloto de color rojo se enciende como indicador de que el sistema se ha detenido.

Añadir una imagen o fotografía verificando el funcionamiento del pulsador de paro

8. SIMULACIÓN DE FALLOS Y MÉTODOS DE DETECCIÓN EN EL CIRCUITO DE CONTROL

8.1. Sobrecarga

- Presiona el pulsador verde para encender el sistema. En el relé térmico bimetálico activa el botón de “test” del contactor de línea. El sistema debe apagarse y encenderse una luz piloto de color naranja.

Añadir una imagen o fotografía de la sobrecarga simulada

- Con el multímetro mide el voltaje de los siguientes puntos.

Tabla 8-1: Valores de voltaje nominal y en fallo

Elemento	Voltaje nominal (V)	Voltaje en fallo (V)
Breaker	-	-
Bobina KML	-	-
Bobina KMY	-	-
Bobina KMC	-	-
Contacto NA relé térmico bimetálico	-	-
Contacto NA relé térmico bimetálico	-	-

Realizado por: Maliza C., 2024

- Con el multímetro verifica continuidad en el contacto normalmente abierto del relé de térmico bimetálico

Añadir una imagen o fotografía verificando la continuidad del contacto NA del relé térmico

- Con el multímetro verifica continuidad en el contacto normalmente cerrado del relé de térmico bimetálico

Añadir una imagen o fotografía verificando continuidad en el contacto NC del relé térmico

8.2. Corto circuito

- Encendemos el sistema, una vez completada el proceso de arranque estrella triángulo, ajustamos el selector en posición neutro, esto desactiva el circuito.

Añadir una imagen o fotografía del bombeo y el derrame de aceite entre las superficies de contacto

- Con el multímetro en la escala de resistencia mide las bobinas de los contactores KML, KMY, KMA. Completa la tabla.

Tabla 8-2: Medición de la resistencia de las bobinas

Elemento	Resistencia (ohmios)
Bobina del KML	-
Bobina del KMY	-
Bobina del KMA	-

Realizado por: Maliza C., 2023.

- Con el multímetro mide la continuidad de los contactos auxiliares del contactor KML.

Añadir una imagen o fotografía verificando la continuidad de los contactos auxiliares del contactor KML

- Con el multímetro mide la continuidad de los contactos auxiliares del contactor KMA

Añadir una imagen o fotografía verificando la continuidad de los contactos auxiliares del contactor KMA

9. CONEXIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL AUTOMÁTICO

El proceso de conexión sigue el diseño del esquema eléctrico presentado en la Ilustración 9.1. En esta representación gráfica, se proporciona una clara guía sobre como conectar el módulo lógico programable.

9.1. Esquema eléctrico del arranque estrella-triángulo con mini PLC



Ilustración 9-1: Circuito con módulo lógico programable

Realizado por: Maliza C., 2023

La Ilustración 9-1, proporciona una representación clara de la conexión de un mini PLC, teniendo en cuenta que requiere una fuente de 24V. Por lo tanto, el módulo se alimentará mediante una fuente de 24V de corriente directa.

9.2. Procedimiento para conectar el circuito con mini PLC

- Conecta desde las borneras de distribución de 110V un par de conductores AWD16 a las entradas de fase y neutro de fuente de distribución de 24V CD.
- Conecta la fuente de alimentación al módulo lógico programable utilizando dos cables AWG 22. Primero, conecta los cables a las borneras correspondientes. Luego, conecta el cable de 24V a la entrada L+ y el cable de 0V a la entrada M del mini PLC. Es importante asegurarse de que la conexión sea precisa, con el cable de 24V en la entrada L+ y el de 0V en la entrada M del mini PLC.
- Conecta los pulsadores a las entradas I1, I2, I3 e I4 utilizando 4 borneras. Utiliza cable AWG 22 para realizar estas conexiones. El pulsador de paro se conecta a la bornera de la entrada I1, mientras que el pulsador de arranque se conecta a la bornera de la entrada I2. La bornera I3 se conecta a la fuente de alimentación de 24 V. En este caso, omitimos la conexión del relé térmico. Recuerda utilizar el cable AWG 22 para todas estas conexiones.
- Conecta los pulsadores a las borneras de distribución de 24V para suministrar energía a los pulsadores.
- Conecta un cable desde el relé térmico a las salidas del módulo lógico programable. Este cable debe estar conectado a las salidas (1) de Q1, (2) de Q2 y (3) de Q3. Esta conexión se debe realizar con cable AWG 16.
- Conecta las salidas (2) de los Q1, Q2 y Q3 a las bobinas de KML, KMY y KMΔ. Conecta Q1 a la entrada (A1) de la bobina KML, Q2 a la entrada (A1) de la bobina KMY y Q3 a la entrada (A1) de la bobina KMΔ.
- Por último, conecta las salidas (A2) de cada bobina al conjunto de bornes del neutro. Además, proporciona alimentación a la pantalla HMI conectando dos cables AWG 22 desde la bornera que comparte 24V a las entradas de alimentación de la pantalla HMI marcadas como 24V DC y OVDC.

9.3. Configuración y programación de la interfaz gráfica humano-maquina

Para realizar la configuración y la programación, es imprescindible descargar los programas "Logo Soft Confort" y "DOPSoft". Asimismo, se requerirán dos cables Ethernet.

9.3.1. Comunicación mini PLC y pantalla HMI

La comunicación se establece conectando un cable Ethernet tanto a los puertos Ethernet del mini

PLC como a los conectores Ethernet de la pantalla HMI. Luego, se activa el breaker para encender ambos equipos. Los siguientes pasos se llevan a cabo en la pantalla HMI para configurar la comunicación:

- Después de encenderla, accede a "Ajustes de sistema".
- En la sección "MISC", elige el idioma "Español".
- En "Fecha y Hora", ajusta la hora según tu zona horaria.
- En la configuración de red, selecciona el modo "Estático" en la opción "Mode".
- Cambia la dirección IP a "192.168.0.27".

En la computadora se lleva a cabo la siguiente configuración en el programa DOPSoft:

- Se abre el programa DOPSoft y se hace clic en "New Project". Esto despliega una ventana para elegir el tipo de modelo de la pantalla que se va a programar. En este caso, se selecciona el tipo 103WQ y se hace clic en "Next". Ver Ilustración 9-2.

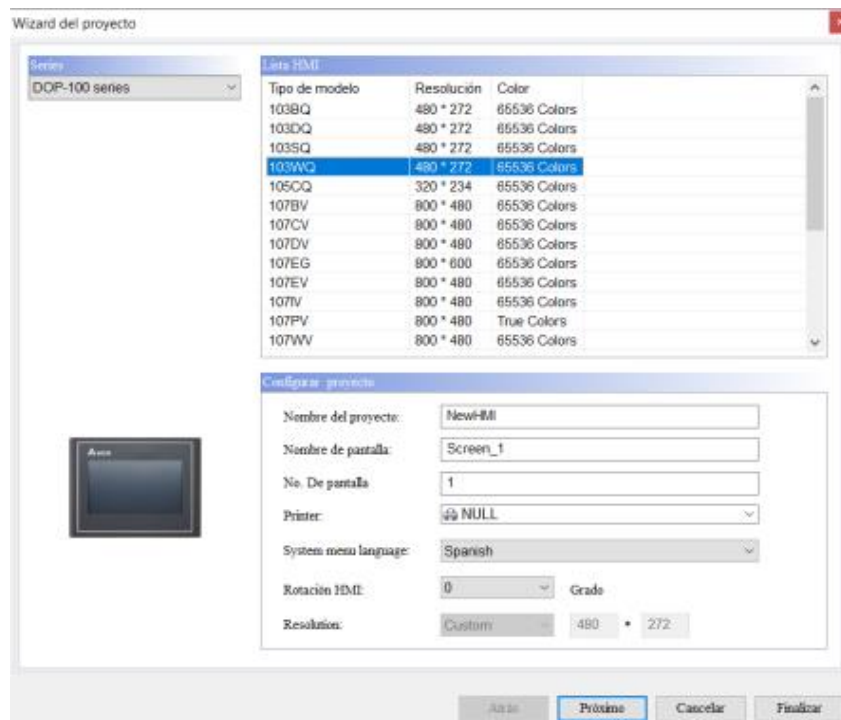


Ilustración 9-2: Selección del tipo de pantalla HMI

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- Aparece la ventana de configuración de comunicación, donde se elige el tipo de comunicación Ethernet y se agrega un nuevo tipo de enlace de comunicación buscando el nombre de "S7 LOGO (ISO TCP)". Ver Ilustración 9-3.

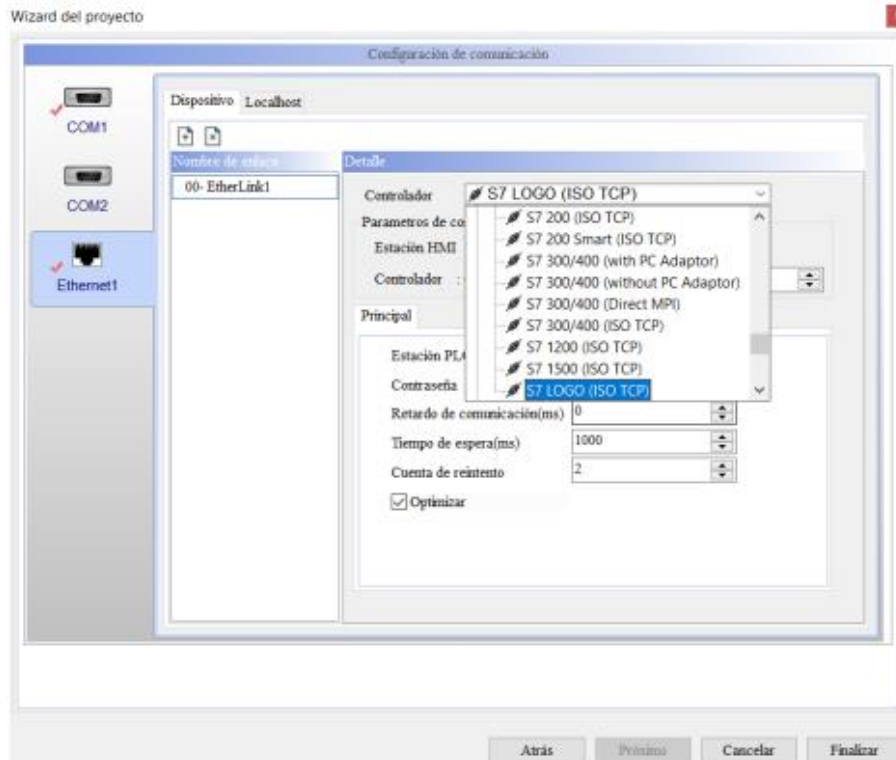


Ilustración 9-3: Selección del tipo de módulo lógico programable

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- En la misma ventana, se configura la dirección IP del logo utilizando la dirección 192.168.0.26, como se muestra en la Ilustración 9-4.

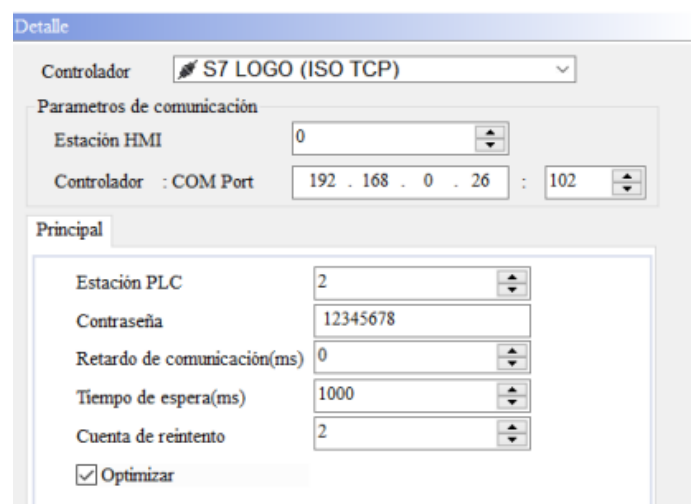


Ilustración 9-4: Configuración de la dirección IP del mini PLC

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- D. En el campo "Localhost", se configura la dirección IP de la pantalla utilizando la dirección 192.168.0.27. Ver Ilustración 9-5.

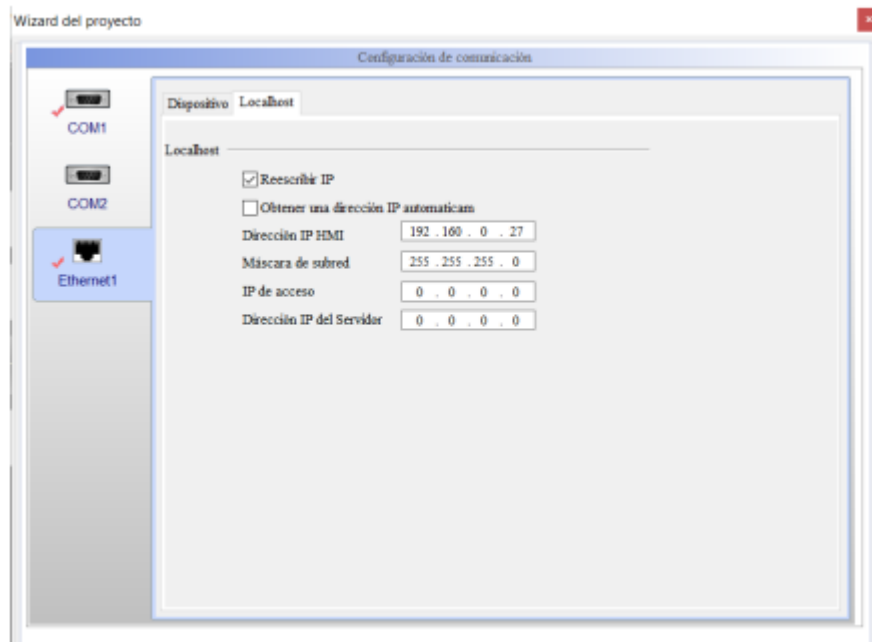


Ilustración 9-5: Configuración de la dirección IP de la pantalla

Realizado por: Maliza C., 2023.

9.3.2. Pasos para el desarrollo de la programación del mini PLC

Al ingresar al programa “Logo Soft Confort”, vamos a la opción “Nuevo” y luego seleccionamos “Proyecto de red”. Le damos un nombre y lo guardamos. Se nos debe presentar un entorno de programación. Ver Ilustración 9.6

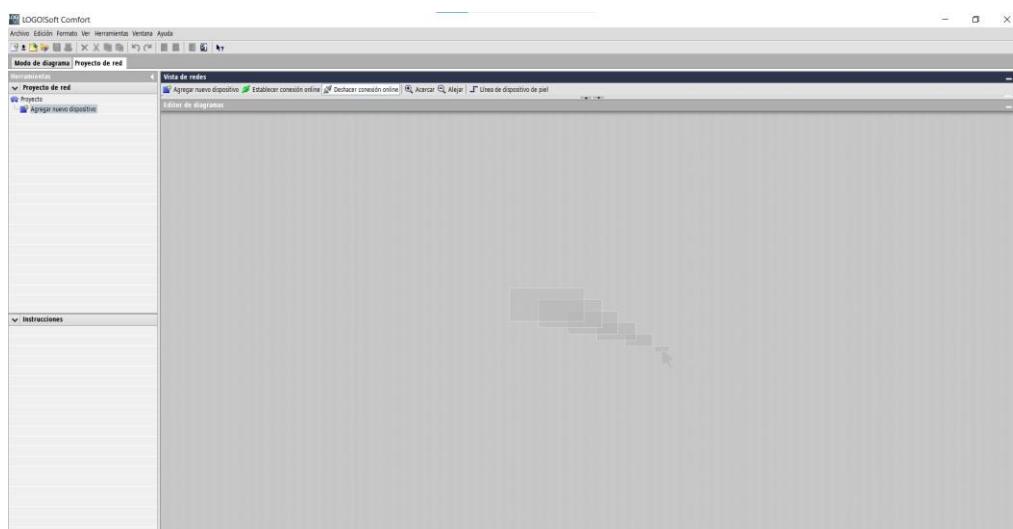


Ilustración 9-6: Entorno de programación del mini PLC

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

En la opción “Agregar nuevo dispositivo”, seleccionamos el dispositivo “LOGO 8.3” y procedemos a cambiar su dirección IP a “192. 168. 0. 26.”. Ver Ilustración.9-7.

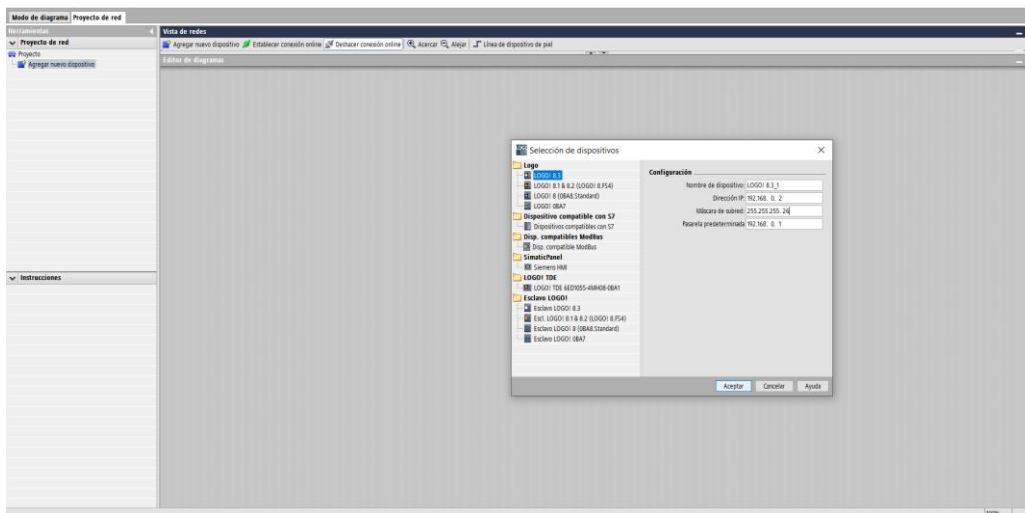


Ilustración 9-7: Cambio de dirección IP del mini PLC

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

Después de haber seleccionado el dispositivo y configurado su dirección, a continuación, se proporcionan los pasos para programar:

- Comienza añadiendo tres entradas: I1, I2 e I3. La entrada I1 se corresponde con el botón de parada, I2 con el botón de inicio, y la I3 se conecta a la fuente de energía.
- Agrega dos entradas de red: NI1 y NI2. Haz doble clic en NI1 para cambiar su valor de "Bit" a 1, mientras que NI2 permanece en 0.
- Asigna un nombre único a cada entrada. Por ejemplo, nombra a I3 como "BLOQUEO", I2 como "FALLO" y I1 como "RESET FALLO". Respecto a las entradas de red, etiqueta NI1 como "PARO" y NI2 como "INICIO". Para una referencia visual, consulta la Ilustración 9-8.
- Se incluye un bloque con la función OR y otro bloque con la función AND. Las entradas I3 y NI1 se conectan con al bloque OR, mientras que la salida del mismo se conecta secuencialmente con una funcional AND. Ver Ilustración 9.8
- Después se introduce un bloque de relé autoenclavador, identificado como "B003" que se conecta a la salida de la función AND. Ver Ilustración 9.8
- Se agrega una salida "Q1" y otra de red "NQ4". Al hacer doble click a esta ultima salida, se ltera el valor del "Bit" a 3. Ver Ilustración 9.8

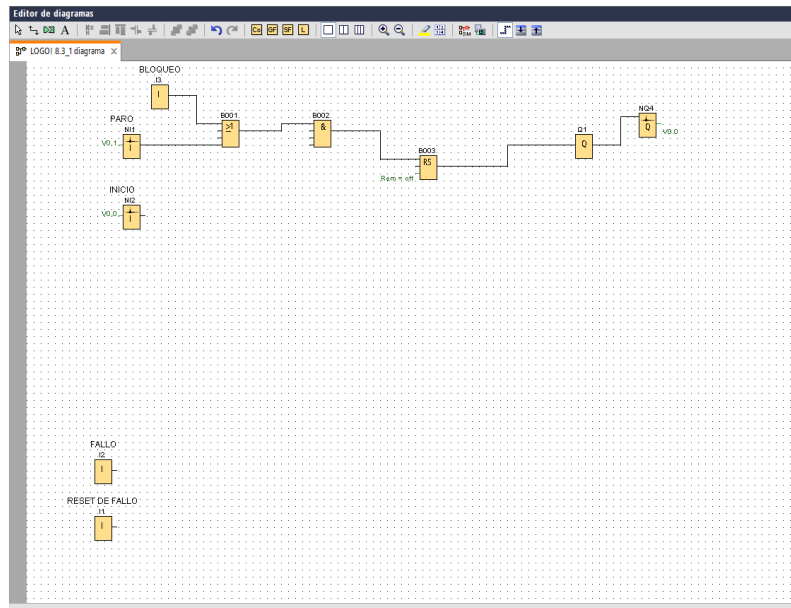


Ilustración 9-8: Cambio de dirección IP del mini PLC

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- Se vincula el bloque NI2 con el bloque AND, y se aplica una negación a la entrada conectada a la función OR, lo que resulta en la aparición de un punto en el esquema.
- Se introduce una salida denominada "Q2", otra de red llamada "NQ3" y un relé autoenclavador identificado como "B004". Este relé se conecta a la línea que envía señales a "Q1". "Q1" se enlaza con el bloque "Q2", el cual a su vez se conecta con el bloque de red "NQ3". La Ilustración 9-9 muestra la verificación del arranque en estrella.

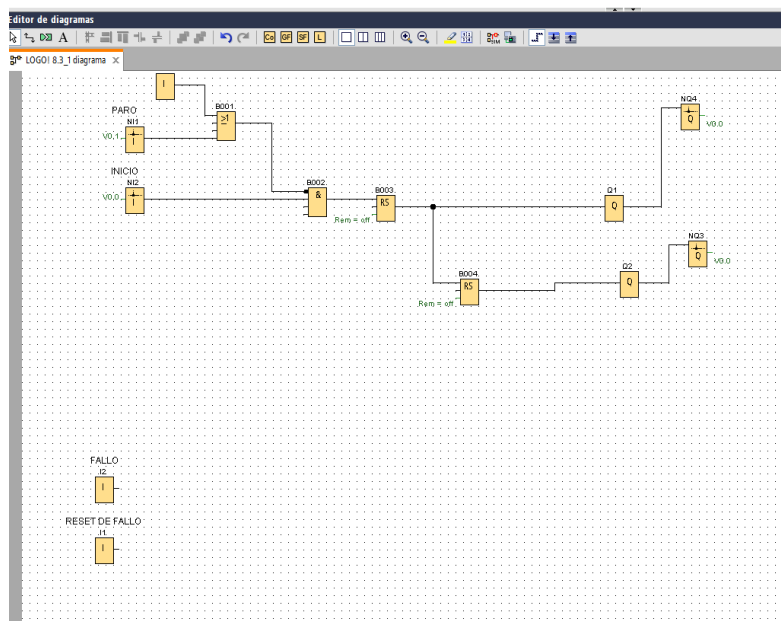


Ilustración 9-9: Programación del arranque en estrella

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- Para realizar el arranque en modo triángulo, se procede a introducir dos temporizadores con retardo en la activación, un bloque de función OR y otro de función AND, además de emplear un bloque NOT.
- El primer temporizador se conecta al bloque OR y en serie con el segundo temporizador, el cual, a su vez, se enlaza al bloque AND.
- El bloque NOT se conecta en paralelo en uno de los extremos del bloque AND, y desde la salida de este último se conecta a un relé autoenclavador, que ha sido previamente ingresado. Este relé se conecta a la salida "Q3", que a su vez se enlaza a la salida de red "NQ2". Ver Ilustración 9-10.

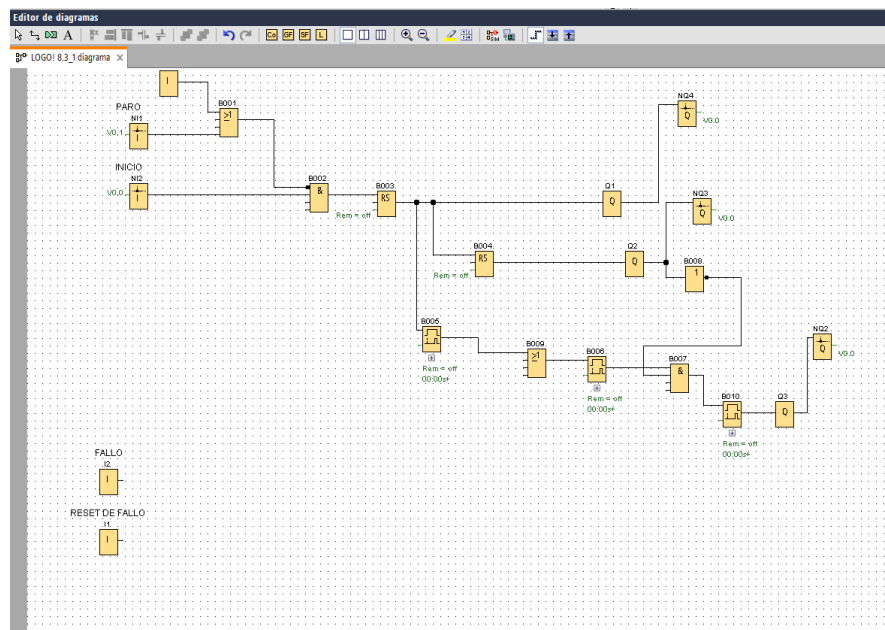


Ilustración 9-10: Programación del arranque en estrella-triángulo

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- Introduce un bloque de entrada analógica de red "NAI1", un bloque de amplificación analógica "B018" y una marca "AM2".
- Conecta la entrada analógica al amplificador y luego a la marca.
- Mostramos las variables del amplificador y del temporizador, y las conectamos entre sí como se muestra en la Ilustración 9-11.
- Agrega un bloque de instrucción aritmética "B010" y una salida de red analógica designada como "NAQ1". Ver Ilustración 9-11.
- Vincula la variable del temporizador a las variables de la instrucción aritmética. Finalmente, realiza doble clic en la entrada de la instrucción aritmética para negarla y conéctala a la salida analógica. Ver Ilustración 9-11.

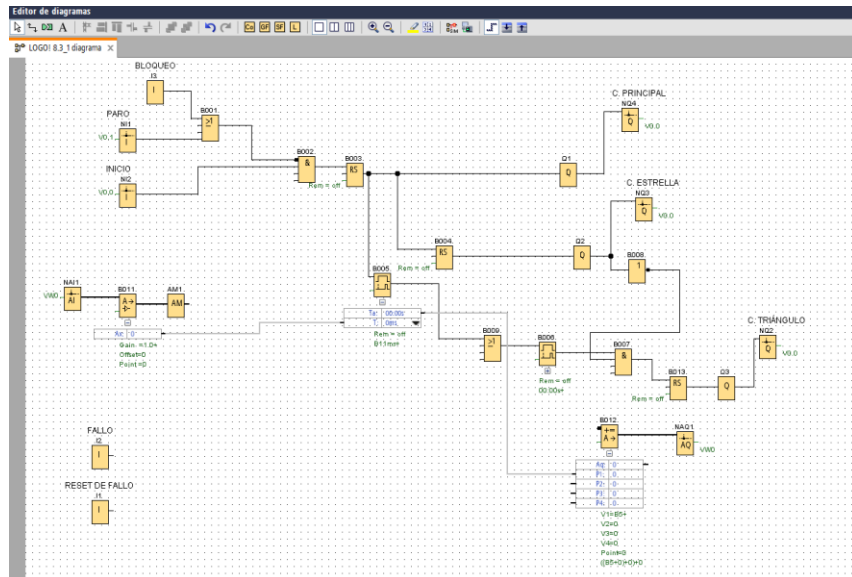


Ilustración 9-11: Programación de la variable analógica

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- Hasta este momento, hemos completado la programación para encender el arranque estrella-triángulo. Ahora, para el proceso de apagado, vamos a incorporar 3 bloques de función OR.
- Las salidas de estos bloques OR se conecta a las entradas de reinicio de los autoenclavadores, tal como se muestra en la Ilustración 9-12.
- Todas las entradas de los 3 bloques OR se enlaza con la salida del bloque OR que contiene las condiciones "BLOQUEO" y "PARO". Ve Ilustración 9-12.

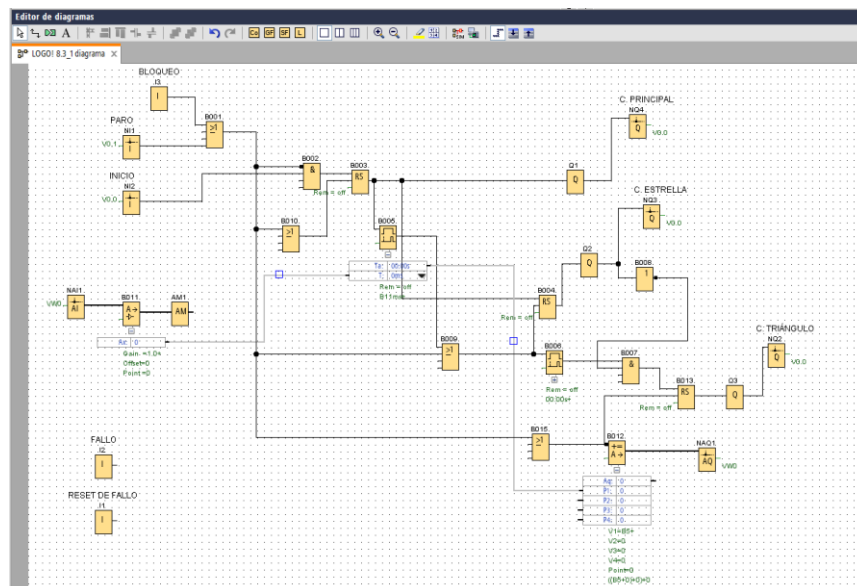


Ilustración 9-12: Programación de la variable analógica

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- Para programar una falla se procede a ingresar una relé autoenclavador, un generador de impulsos asíncrono y una salida de red “NQ1”.
- Se conecta I2 a la entrada del autoenclavador y la I1 se conecta a la entrada “Reset” del autoenclavado.
- La salida del autoenclavador se conecta con el generador de impulsos asíncronos y este a su vez con la salida de red “NQ1”. Ver Ilustración 9-13.

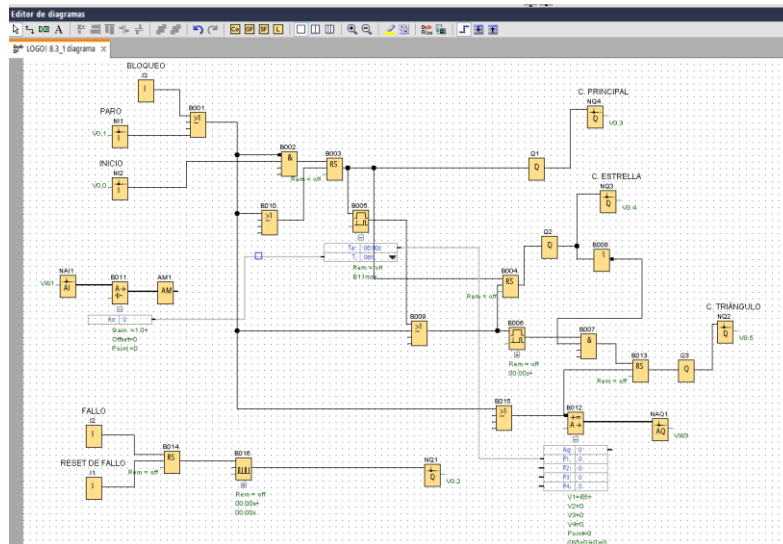


Ilustración 9-13: Programación de la falla

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- Finalmente, el relé autoenclavador de fallos se conecta a todos los bloques OR que restablecen el encendido de las salidas Q1, Q2 y Q3. Consulta la Ilustración 9-14.

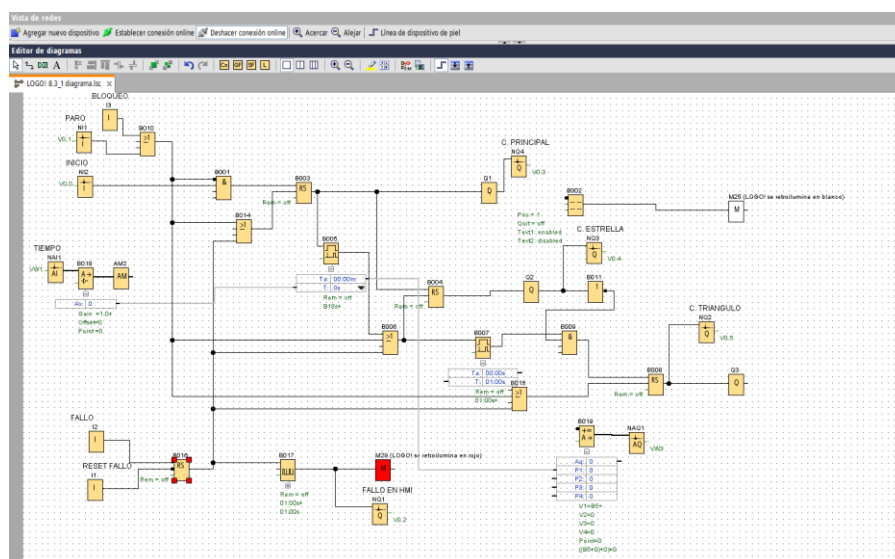


Ilustración 9-14: Programación completa en lenguaje FBD

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- Después de finalizar la programación, procede a cargar el programa en el módulo lógico programable. Para ello, conecta la computadora al módulo lógico programable mediante un cable Ethernet. Luego, haz clic en "Subir de PC a Logo". Una vez hecho esto, aparecerá una ventana en la que podrás verificar si la dirección IP del mini PLC es la correcta. Confirma haciendo clic en "Aceptar" y el programa se cargará. Consulta la Ilustración 9-15 para más detalles.

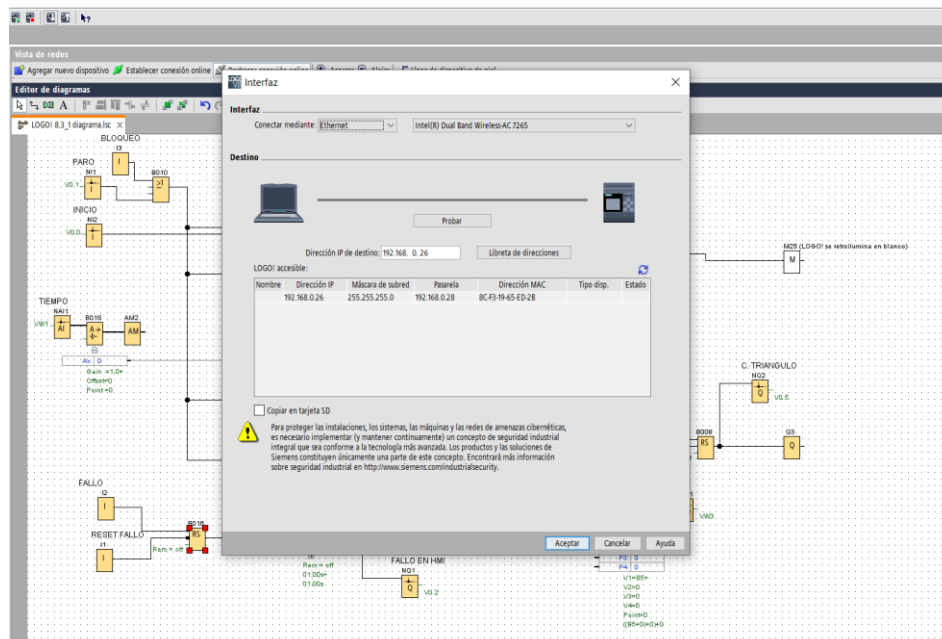


Ilustración 9-15: Carga del Programa en el Mini PLC

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

9.3.3. Pasos para el desarrollo de la programación de la pantalla HMI

Se utiliza la herramienta DOPSoft para desarrollar una interfaz de usuario gráfica. A continuación, se detallan los pasos realizados en la configuración previo a la programación:

- Se crean 2 variables digitales en el entorno de programación, se encuentra la opción "elementos", donde se puede hallar el icono "Button". Al seleccionar "Momentary" dentro de esta opción, se representa un boton si enclavamiento permanente. Ver Ilustración 9-16.
- Para editar las propiedades del botón, se debe dar doble clic en el rectángulo. Esto desencadena la aparición de una ventana en la que se puede elegir el estado del botón que se quiere configurar. Ver Ilustración 9-17

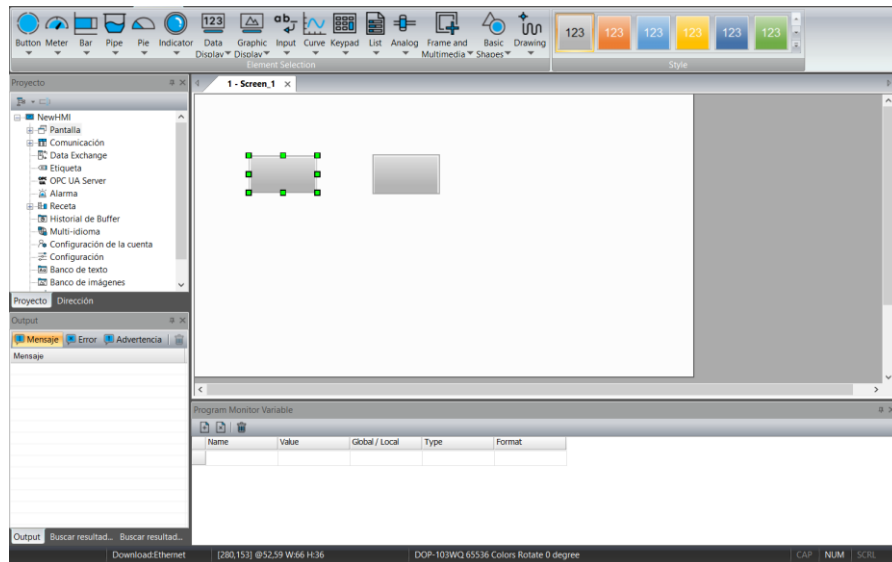


Ilustración 9-16: Representación de botones momentary

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

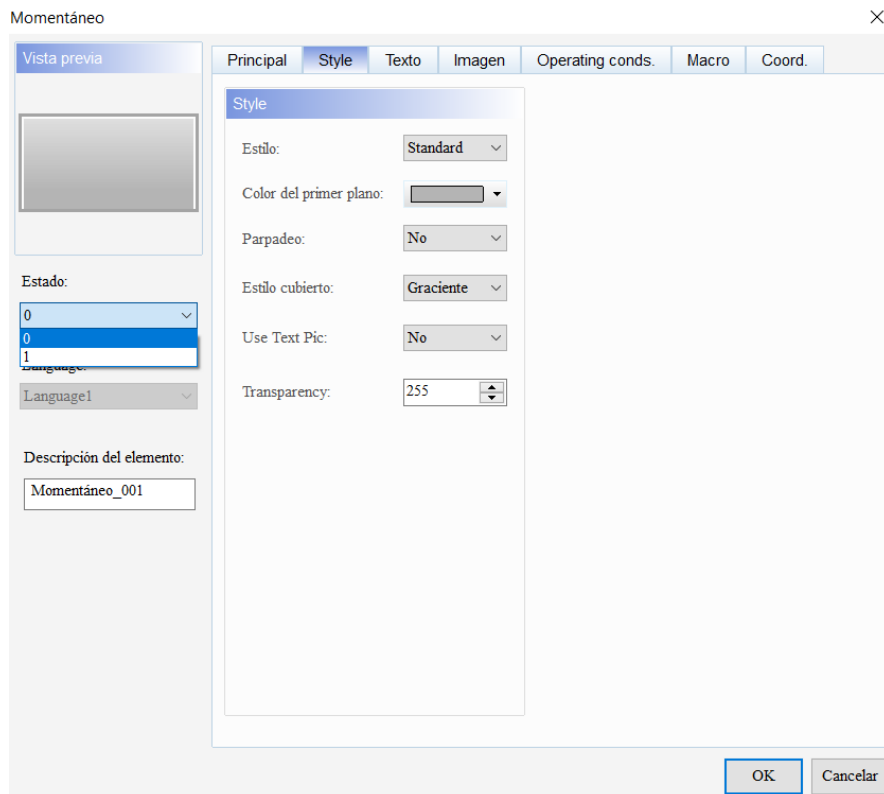


Ilustración 9-17: Ventana de propiedades para botones

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- Una vez seleccionado el estado del botón, se hace clic en la imagen. Esto abrirá una ventana donde se elige la opción "None". Posteriormente, se selecciona la opción general "Button", lo que mostrará los diferentes aspectos con los que cuenta el botón. Ver Ilustración 9-17.

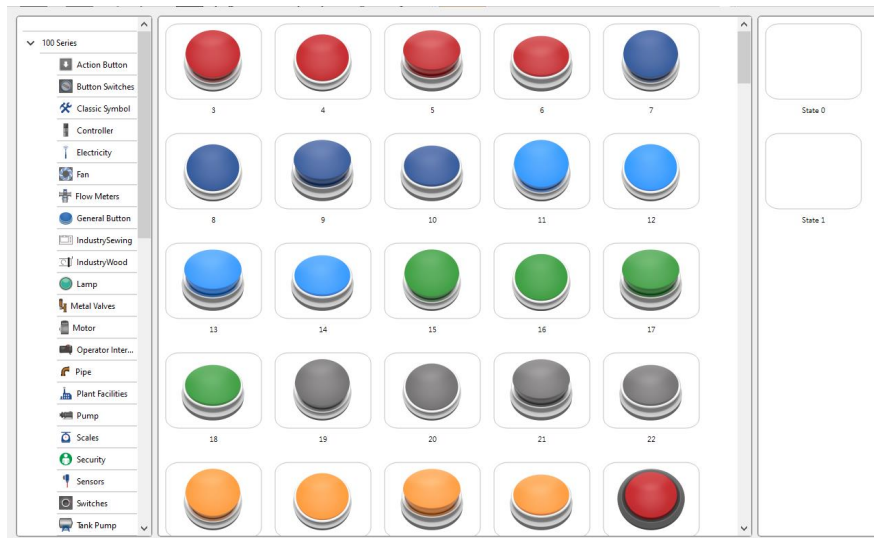


Ilustración 9-18: Tipos de botones

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- Se escoge el botón 17 en el estado 0 y el botón 18 en el estado 1. Al realizar esta elección, se crea el botón en el entorno de programación. Para el botón de paro, se realiza el mismo procedimiento que se llevó a cabo para el botón de inicio. Ver Ilustración 9-19.

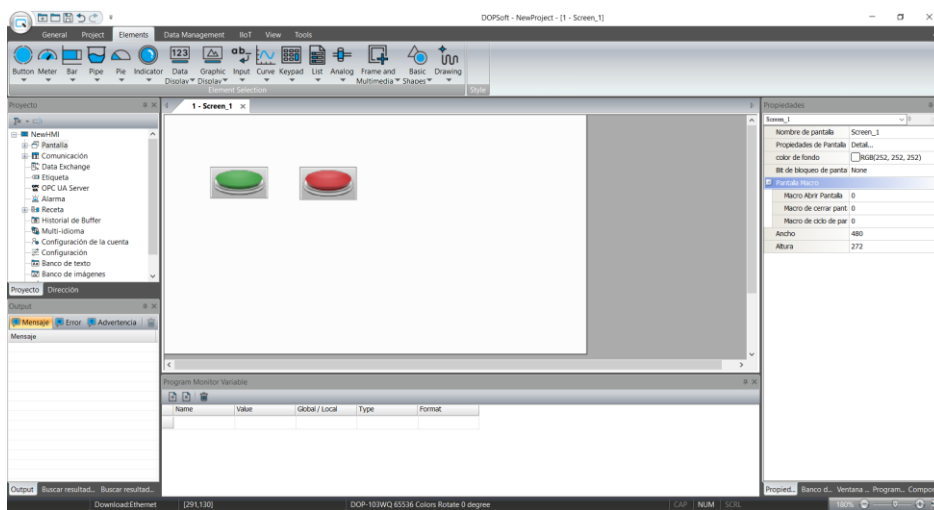


Ilustración 9-19: Botón número 17 y 18

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- Se avanza a la fase de creación de los indicadores correspondientes al contactor de línea, estrella y delta. Para llevar a cabo esta acción, se debe dirigir a la sección de elementos y hacer clic en el “Button”, seguido de la opción “Momentary”. A continuación, se crea un nuevo cuadro de acceso para las propiedades, en el cual se selecciona la opción “Imagen” y luego “None” con un clic. Como resultado de los pasos mencionados, se

despliega una ventana que exhibe una variedad de indicadores disponibles para su empleo. En la Ilustración 9-20, se puede observar la elección del indicador 12 para el estado 0 y el número 9 para el estado 1.

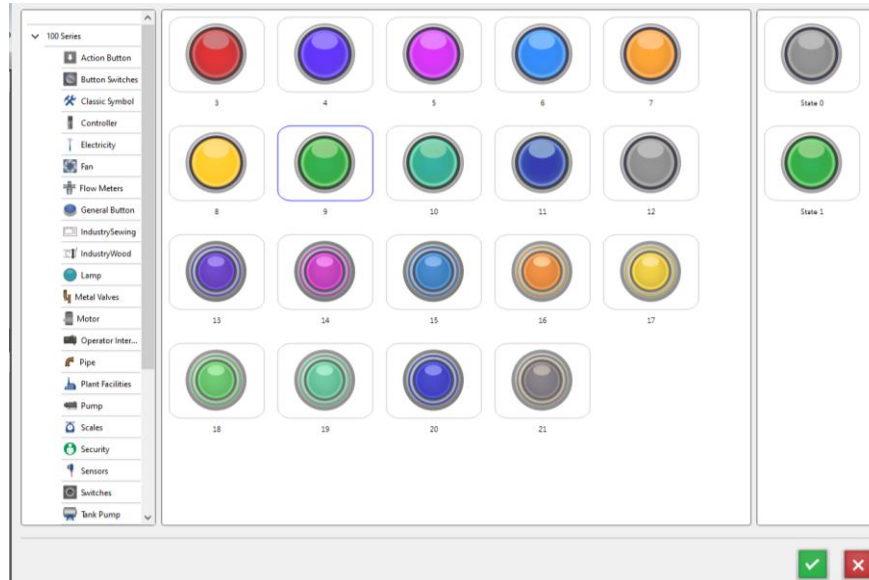


Ilustración 9-20: Tipos de indicadores de estados

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- Una vez que se hayan creado los 2 botones y los 3 indicadores de estado para los contactores, se propone la creación de variables analógicas numéricas con el objetivo de permitir el ingreso del tiempo de conmutación entre el contactor de estrella y el de arranque. Para lograrlo, en "Elements", se selecciona "Input" y se hace clic en "Numeric Entry". Ver Ilustración 3-21.

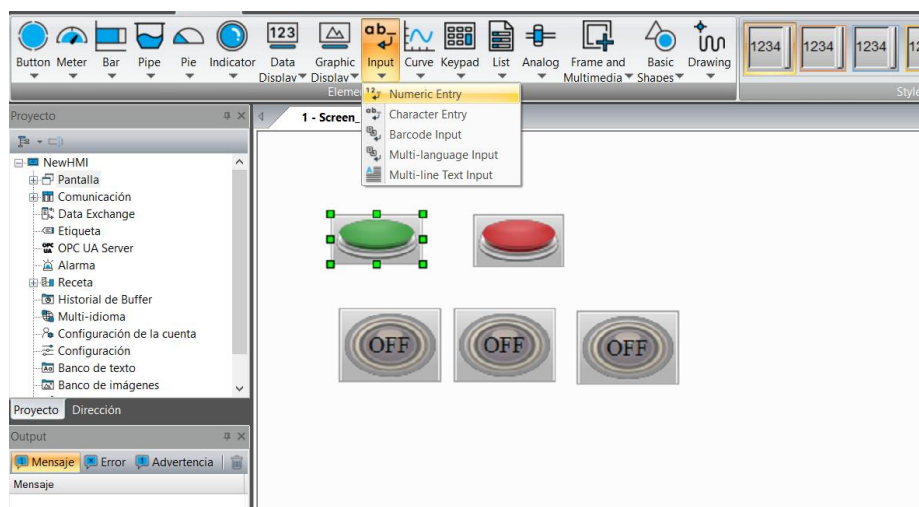


Ilustración 9-21: Selección de la variable analógica numérica

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- Para crear la variable numérica, se arrastra el puntero manteniéndolo presionado hasta que se forme un rectángulo, el cual servirá como área para ingresar el tiempo de conmutación. Ver Ilustración 9-22.

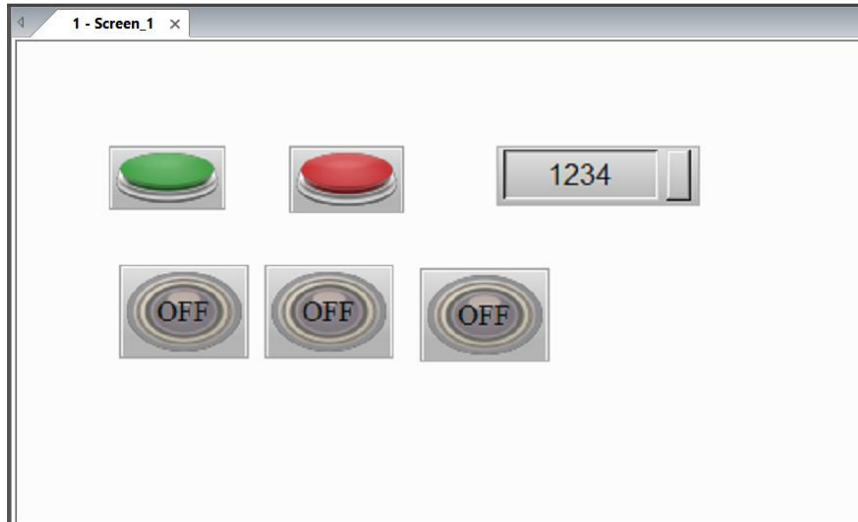


Ilustración 9-22: Representación gráfica de la variable numérica

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- En la Ilustración 9-23, se accede a la sección "Elements" y se opta por la alternativa "Data Display", seguido de la selección de "Numeric Display", lo que permite establecer el área de visualización requerida.

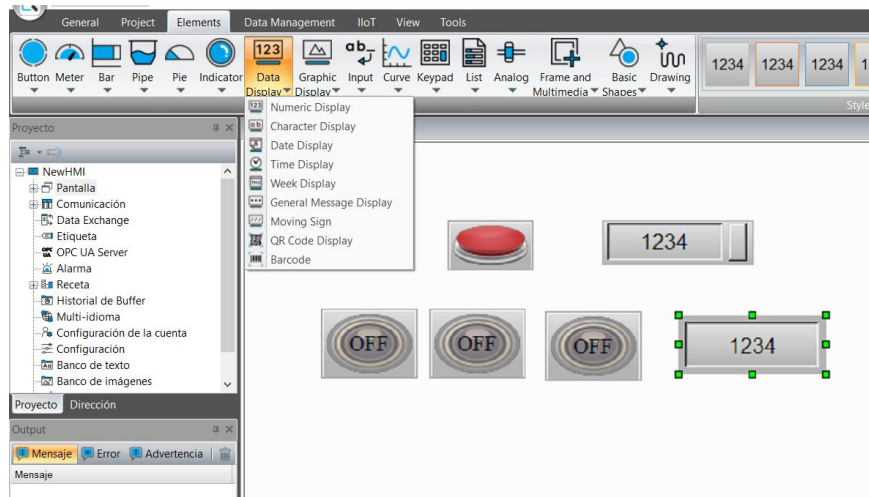


Ilustración 9-23: Representación del visualizador numérico

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

- Con el fin de exhibir en la pantalla del HMI el fallo programado en el mini PLC, se procederá a incorporar en el entorno de programación un indicador que facilite la distinción entre su estado activado y desactivado. Ver Ilustración 9-24

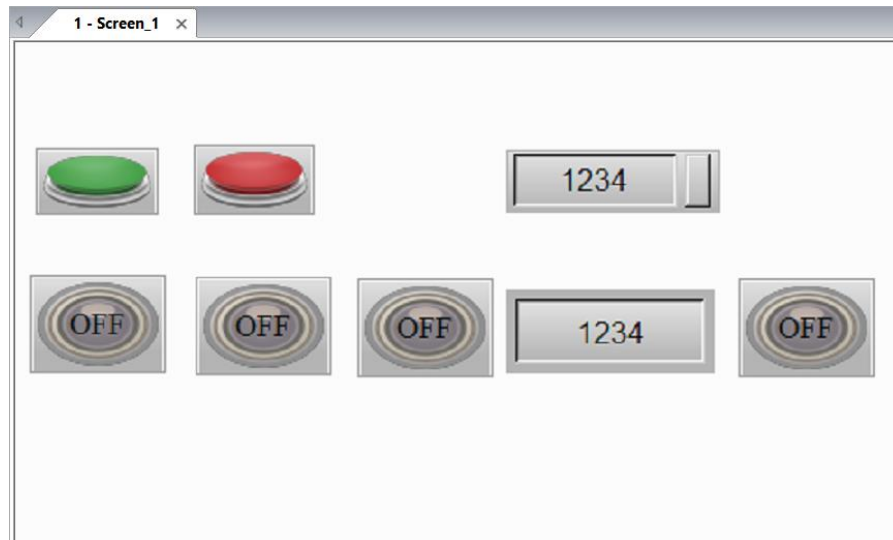


Ilustración 9-24: Indicador de Fallos

Realizado por: Maliza Cristian., 2024.

10. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LA INTERFAZ HUMANO-MAQUINA

- Antes de encender asegúrate de verificar todas las conexiones eléctricas según el diagrama del circuito. Además, asegúrate de ingresar el tiempo de conmutación que presenta la pantalla HMI.

Añadir una imagen o fotografía verificando las conexiones e ingresando el tiempo de conmutación

- Presiona el botón verde en la pantalla HMI para iniciar el arranque en modo estrella. Observa si los indicadores de inicio de arranque en la interfaz se encienden en verde.

Añadir una imagen o fotografía del arranque en modo estrella en el HMI

- Luego de un periodo se activará el modo triángulo, verifica si el conteo se muestra en la pantalla HMI, al igual que se activa el contactor de triángulo.

Añadir una imagen o fotografía del conteo que se muestra en la HMI

- Para realizar una prueba de paro, En la pantalla presiona el botón de paro de color rojo y verifica si el sistema se apaga correctamente. Observa también si los indicadores en la pantalla se apagan con forme el sistema se ha detenido.

Añadir una imagen o fotografía verificando el funcionamiento del botón de paro de la pantalla

11. SIMULACIÓN DE FALLOS Y MÉTODOS DE DETECCIÓN EN EL CIRCUITO CON MINI PLC

11.1. Procedimiento para conectar el circuito con mini PLC

- Presiona el boton de la pantalla sin antes haber ingresado el tiempo de conmutación, El indicador de triángulo es el unico que se prende.

Añadir una imagen o fotografía del arranque prolongado.

- Apagalo y antes de volver a presionar el boton, coloca los cables de el multmetro en la entrada y salida de la bobina KMY y verifica el voltaje al momento de presionar el boton.

**Añadir una imagen o fotografía verificando el voltaje
con el multímetro de él contactor KMY**

11.2. Fallo en sensor

Para ilustrar este tipo de fallas, imaginemos una situación en una planta industrial que controla una máquina mezcladora. En esta máquina, hay un sensor ubicado en la compuerta. Cuando la compuerta se abre, el sensor detecta este cambio y apaga automáticamente el motor. Además, si el sensor está en un estado activo (alto), no permite que el motor arranque a menos que la puerta esté cerrada. Sin embargo, es común que los sensores se dañen, lo que puede generar una señal falsa.

Para simular esta falla, llevaremos a cabo el siguiente procedimiento:

- Iniciamos el proceso de arranque estrella-triángulo presionando el botón de inicio en la pantalla HMI.
- Luego, presionamos el pulsador verde en la botonera para activar el proceso. Aquí es donde comenzaremos a verificar si se muestra alguna alarma tanto en el mini PLC como en el indicador de fallo.

**Añadir una imagen o fotografía de la alarma indicadora
del mini PLC y de la pantalla HMI.**

- Después, nos dirigimos a la programación del sistema para verificar la entrada a la que está conectado el sensor. Una vez identificada la entrada correspondiente al sensor, podemos intentar resolver la falla reiniciándola, lo que debería apagar la alarma.

Añadir una imagen o fotografía una vez solucionado el fallo

12. RESULTADOS OBTENIDOS

Detallar secuencialmente los resultados obtenidos tras la realización de cada simulación de fallos

12.1. Sobrecarga

En esta parte debe explicar los valores obtenidos en la Tabla 8.1
Añade imágenes o fotografía de las mediciones de voltaje

12.2. Corto circuito

En esta parte debe explicar los valores obtenidos en la Tabla 8.2
Añade imágenes o fotografía de las mediciones de voltaje

12.3. Arranque prolongado

En esta parte debe explicar los efectos que provoca el arranque prologando.

12.4. Fallo en sensor

Es el encargado del mantenimiento. En esta parte debe explicar los como identificaría y repararía esté fallo.

13. RESULTADOS OBTENIDOS

1. ¿Cuáles son las posibles causas de la sobrecarga durante el arranque estrella-triángulo?
2. ¿Qué dispositivos de protección se pueden implementar para prevenir la sobrecarga durante el arranque estrella-triángulo?
3. ¿Qué componentes del sistema pueden ser susceptibles a un cortocircuito durante el arranque estrella-triángulo?
4. ¿Qué dispositivos de protección se pueden instalar para detectar y mitigar los efectos de un cortocircuito durante el arranque estrella-triángulo?
5. ¿Cómo afecta un tiempo de arranque prolongado a la eficiencia operativa y al rendimiento del equipo?
6. ¿Qué efectos puede tener el fallo del sensor en el funcionamiento adecuado de la mezcladora y el arranque estrella-triángulo?

14. CONCLUSIONES

(Describir de forma lógica las conclusiones a las que llego UD., con la realización de esta práctica de laboratorio)

.....
.....
.....

15. RECOMENDACIONES

(Describir de forma lógica las recomendaciones que sean pertinentes para la realización de la práctica de laboratorio)

.....
.....
.....

16. BIBLIOGRAFÍA

GEYA. *Cómo probar el relé de sobrecarga térmica, consejos de mantenimiento.* [blog]. China: 2022. [Consulta: 12 de diciembre 2023]. Disponible en: <https://geya.net/es/how-to-test-thermal-overload-relay-maintenance-tips/>

HUAMÁN CRUZ, Luis Alberto. Elección óptima de arranque de motores eléctricos trifásicos asíncronos según su uso en la industria. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Continental, Ingeniería. Arequipa. 2020. págs. 1-112. [Consulta: 2023-11-5]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10047>

IEC-60617. Simbología eléctrica completa y normativa actualizada.

VALENCIA RODRÍGUEZ, Dylan Daniel. Simulación de los principales tipos de arranque de un motor trifásico de inducción: simulación de tipos de arranque de un motor trifásico. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación de Tecnólogos. Quito-Ecuador. 2022. págs. 1-31. [Consulta: 2023-11-16]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23105>

THESEGIOSCORNER. ¿Como testear PLCS? Guía básica de diagnóstico de PLC [blog]. 2015. [Consulta: 21 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.thesergioscorner.com/post/2015/12/04/-c%C3%B3mo-testear-plcs-gu%C3%ADa-b%C3%A1sica-de-diagn%C3%B3stico-de-plcs>



epoch

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 11 / 06 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: WILIAM RODRIGO OROZCO CASTILLO
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
Título a optar: INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
f. Analista de Biblioteca responsable: Lic. Ángel Ramiro Frías Sánchez



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 04/07/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR

Nombres – Apellidos: CRISTIAN ANDERSON MALIZA LLIQUIN

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: MECÁNICA

Carrera: MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Título a optar: INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Ing. Félix Antonio García Mora

Director del Trabajo de Integración Curricular

Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos

Asesor del Trabajo de Integración Curricular