

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de tablero de control para preservación de productos pesqueros mediante
un compresor de tornillo

INGE-2528

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Mecatrónica

Presentado por:

Edward Elian Fernández Carranza

José Isaac García Arcos

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

A mis padres, Edward y Maryuri, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio me han guiado y apoyado en cada paso de mi vida.

A mi hermano mayor, Andrés, y a mi abuelita Tula, quienes ya no están físicamente presentes, pero cuyas memorias siguen siendo una luz en mi vida. Que su recuerdo viva siempre en mi corazón y me impulse a alcanzar cada meta.

A mis familiares, especialmente a mis tías, hermanos y Peluche, quienes con su cariño y cercanía me han recordado siempre la importancia de la familia. A mis amigos, aquellos que estuvieron conmigo desde el inicio de esta aventura académica y los que conocí en las últimas etapas. A todos ustedes, gracias por compartir alegrías, desafíos y momentos inolvidables.

A mi amada Amy, gracias por tu paciencia, por tu cariño y por creer en mí.

Edward Fernández

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mis padres, Ana y Celso, por ser mi inspiración constante y por brindarme su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida. Su amor y sacrificio han sido el pilar sobre el cual he construido mis logros.

A mis hermanos Ronald y Julio, por ser un ejemplo que seguir y por estar siempre cuando los necesito, compartiendo alegrías, desafíos y triunfos.

A mis amistades, quienes se convirtieron en una familia a lo largo de este camino académico, por su apoyo mutuo, consejos y momentos inolvidables que hicieron de este viaje una gran experiencia.

Isaac García Arcos

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios, por ser mi guía y fortaleza en este camino. Su presencia constante me ha dado la fe y esperanza necesarias para superar cada desafío.

Agradezco profundamente a mis padres, por ser mi apoyo incondicional.

A mi amada y a toda mi familia, por su cariño y palabras de aliento que siempre me han motivado a seguir adelante.

A mis amigos, gracias por compartir este camino lleno de desafíos y alegrías. Sin ustedes, esta travesía habría sido mucho más solitaria y difícil. También, un agradecimiento especial a mis amigas, Maite y Gisella, quienes han estado presentes desde el inicio de este proceso académico. Su apoyo y amistad han sido fundamentales en este largo viaje.

A mis profesores de la universidad, gracias por impartirme sus conocimientos y formarme profesionalmente.

Edward Fernández

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme fortaleza y sabiduría.

A mi familia, cuyo apoyo incondicional me ha brindado motivación para perseverar en todo momento.

A la empresa Electropro S.A.S., por brindarme la oportunidad de desarrollar e implementar este proyecto, permitiéndome aplicar y expandir mis conocimientos en el ámbito profesional.

A Ronald y Juan Carlos, mis guías de trabajo, quienes, con su paciencia, sabiduría y orientación constante, me han enseñado valiosas lecciones tanto profesionales como personales.

Finalmente, a todos mis profesores de la universidad, quienes me han formado y ayudado a construir la base de conocimientos necesarios para culminar este proyecto.

Isaac García Arcos

Declaración Expresa

Nosotros, Edward Elian Fernández Carranza y José Isaac García Arcos, acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 21 de mayo del 2024.



Edward Elian Fernández
Carranza



José Isaac García Arcos

Evaluadores

Bryan Puruncajas, M.Sc.

Profesor de Materia

Wilton Ágila, Ph.D.

Tutor de proyecto

Resumen

El trabajo de diseño de un tablero de control para el sistema de refrigeración de una embarcación pesquera se lleva a cabo con la finalidad de optimizar el proceso de monitoreo y control tanto de presiones como temperaturas, garantizando calidad durante el almacenamiento y transporte de la pesca. Se emplearon componentes de automatización industrial como PLC, módulos de expansión, pantalla HMI y arrancador suave para el motor eléctrico. Se realizó la programación del funcionamiento mediante el software TIA Portal y se aplicaron normas de seguridad eléctrica para selección de demás elementos que permitan trabajar en un ambiente salino evitando su corrosión. Los resultados demostraron una mejora en el control de la temperatura del sistema, con variaciones mínimas gracias a la automatización, lo que otorgó un monitoreo en tiempo real de los principales parámetros, con el fin de que el operador pueda reaccionar de manera inmediata ante cualquier imprevisto. El tablero de control de manera general garantiza que el proceso de enfriamiento de las cámaras de pesca sea el ideal para conservar los productos pesqueros.

Palabras Clave: Automatización, monitoreo, refrigeración, pesca.

Abstract

The design of a control panel for the refrigeration system of a fishing vessel is carried out in order to optimize the monitoring and control process of both pressures and temperatures, ensuring quality during storage and transport of fish. Industrial automation components such as PLC, expansion modules, HMI screen and soft starter for the electric motor were used. The operation was programmed using TIA Portal software and electrical safety standards were applied for the selection of other elements that allow working in a saline environment avoiding corrosion. The results showed an improvement in the control of the system temperature, with minimal variations thanks to the automation, which provided real-time monitoring of the main parameters, so that the operator can react immediately to any unforeseen event. In general, the control panel ensures that the cooling process of the fish chambers is ideal for the preservation of fish products.

Key words: Automation, monitoring, refrigeration, fishing.

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VI
Simbología.....	VII
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas	IX
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del problema	3
1.3 Justificación del problema	4
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.5 Marco teórico.....	7
1.5.1 Sistema de refrigeración.....	7
1.5.2 Componentes de un sistema de refrigeración	8
1.5.3 Compresores de tornillo	9
1.5.4 Evaporadores.....	10
1.5.5 Condensadores	10
1.5.6 Motores eléctricos.....	11
1.5.7 Tipos de arranque.....	12
1.5.8 Refrigerantes	13
1.5.9 Gas Amoníaco.....	14

1.6 Diagrama P&ID	14
Capítulo 2.....	17
2. Metodología.....	18
2.1 Alternativas de solución	18
2.2 Requerimientos de diseño.....	19
2.3 Criterios de selección.....	21
2.4 Solución final.....	22
2.5 Proceso de diseño	23
2.6 Diseño mecánico.....	24
2.6.1 Material del diseño.....	24
2.6.2 Dimensiones.....	25
2.7 Diseño eléctrico	26
2.7.1 Selección de PLC	26
2.7.2 Selección de módulo de señal de 8 entradas analógicas configurables como V/mA ..	27
2.7.3 Selección de módulo de 8 entradas analógicas para sensores tipo RTD	28
2.7.4 Selección de pantalla HMI.....	29
2.7.5 Selección de arrancador suave	30
2.7.6 Selección de fuente de alimentación.....	33
2.7.7 Selección de contactor para resistencia de calentamiento de aceite	33
2.7.8 Selección de cable para control, fuerza y sensores analógicos	34
2.7.9 Selección de relés para salida de señales digitales.....	35
2.7.10 Selección de relés de estado sólido para inyección de refrigerante	35
2.7.11 Selección de electroválvulas	36
2.7.12 Selección de transductores de presión	37
2.7.13 Selección de sensores de temperatura.....	38

2.7.14 Selección de sensor de corriente	38
2.8 Diseño informático	39
2.8.1 Programación del PLC	39
Capítulo 3.....	43
3. Resultados y análisis.....	44
3.1 Diseño mecánico.....	44
3.2 Diseño eléctrico	46
3.3 Diseño de software	47
3.4 Análisis de costo	53
Capítulo 4.....	56
4.1 Conclusiones y recomendaciones	57
4.1.1 Conclusiones	57
4.1.2 Recomendaciones.....	58
Referencias	59
Apéndices	63

Abreviaturas

AISI	American Iron and Steel Institute
AI	Analog Input
CFC	Clorofluorocarbono
DI	Digital Input
DO	Digital Output
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
HCFC	Hidroclorofluorocarbono
HFC	Hidrofluorocarbono
HMI	Human Machine Interface
IEC	International Electrotechnical Commission
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
IP	Ingress Protection
IPIAP	Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
PLC	Controlador Lógico Programable
PPP	Peces Pelágicos Pequeños
RTD	Resistance Temperature Detector
SSR	Relé de Estado Sólido
VDC	Volts Direct Current
VAC	Volts Alternating Current

Simbología

A	Amperios
°C	Grados Celcius
GPa	Giga Pascal
HP	Caballo de fuerza
Hz	Hercio
J	Jules
Kg	Kilogramo
kW	Kilovatio
m	Metro
min	Minuto
mm	Milímetro
mA	Miliamperio
mV	Milivoltio
MPa	Mega Pascal
Ω	Ohmio
PSI	Libras por pulgada cuadrada
s	Segundo
V	Voltio
W	Vatio

Índice de figuras

Figura 1.1 Barcos pesqueros en la costa ecuatoriana.....	2
Figura 1.2 Antiguo tablero de control industrial.....	5
Figura 1.3 Esquema de un sistema de refrigeración industrial básico.....	8
Figura 1.4 Partes del compresor de tornillo	9
Figura 1.5 Partes del motor eléctrico	12
Figura 1.6 Diagrama P&ID del sistema de refrigeración	15
Figura 2.1 Diagrama de flujo del proceso de diseño	24
Figura 2.2 Carcasa seleccionada para el tablero de control.....	26
Figura 2.3 PLC S7 1200.....	27
Figura 2.4 Módulo de entradas analógicas	28
Figura 2.5 Módulo de entradas analógicas para sensores RTD	29
Figura 2.6 Pantalla HMI KTP700 Basic.....	30
Figura 2.7 Arrancador suave LOVATO	32
Figura 2.8 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema	40
Figura 2.9 Pantalla de control manual para salidas digitales del sistema.....	42
Figura 3.1 Diseño de los cortes en el tablero en la tapa frontal	44
Figura 3.2 Diseño de tapa frontal del tablero eléctrico.....	45
Figura 3.3 Pantalla principal.....	48
Figura 3.4 Simulación de presiones y temperaturas	49
Figura 3.5 Simulación de presiones cuando el compresor trabaja al 50%.....	50
Figura 3.6 Simulación de temperaturas cuando el compresor trabaja al 50%	51
Figura 3.7 Simulación de presiones cuando el compresor trabaja al 100%.....	52
Figura 3.8 Simulación de temperaturas cuando el compresor trabaja al 100%	53

Índice de tablas

Tabla 1.1 Descripción de indicadores del diagrama P&ID.....	16
Tabla 2.1 Requerimientos de diseño.....	20
Tabla 2.2 Ponderación de criterios para la selección de la solución.....	22
Tabla 2.3 Matriz de decisión.....	23
Tabla 2.4 Propiedades mecánicas y térmicas del acero inoxidable AISI 304	25
Tabla 2.5 Especificaciones técnicas del PLC	27
Tabla 2.6 Especificaciones técnicas del módulo de entradas analógicas.....	28
Tabla 2.7 Especificaciones técnicas del módulo de entradas analógicas para sensores RTD	29
Tabla 2.8 Especificaciones técnicas del HM	30
Tabla 2.9 Especificaciones técnicas del arrancador suave.....	32
Tabla 2.10 Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación.....	33
Tabla 2.11 Especificaciones técnicas del contactor.....	34
Tabla 2.12 Especificaciones técnicas de los cables	35
Tabla 2.13 Especificaciones técnicas del relé.....	35
Tabla 2.14 Especificaciones técnicas del relé de estado sólido	36
Tabla 2.15 Especificaciones técnicas de solenoide.....	36
Tabla 2.16 Especificaciones técnicas de transductor para condensador y aceite	37
Tabla 2.17 Especificaciones técnicas de transductor para el chiller.....	37
Tabla 2.18 Especificaciones técnicas de PT100	38
Tabla 2.19 Especificaciones técnicas de sensor de corriente.....	39
Tabla 3.1 Detalle de costos de componentes	54

Capítulo 1

1.1 Introducción

La pesca es una actividad económica de vital importancia para la costa del Ecuador, representando una relevante fuente de empleo y sustento para numerosas comunidades. Según datos del Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca (IPIAP), la producción pesquera en Ecuador ha mostrado una cifra de captura de peces pelágicos pequeños (PPP) de alrededor de 182,000 toneladas en el tercer trimestre del 2023 [1]. El sector de pesca (excepto de camarón) sumó alrededor de \$ 412 millones en el año 2023 [1]. Este sector no solo contribuye al desarrollo económico del país, sino que también posee un papel importante en la seguridad alimentaria y en la generación de divisas a través de la exportación de productos pesqueros.

Figura 1.1

Barcos pesqueros en la costa ecuatoriana



En este contexto, la eficiencia y fiabilidad de los sistemas de refrigeración a bordo de los barcos pesqueros, ver Figura 1.1, se tornan elementos esenciales para garantizar la calidad y frescura del pescado. Un sistema de refrigeración adecuado no solo preserva la integridad del producto, sino que también permite prolongar el tiempo de almacenamiento y transporte, factores fundamentales para satisfacer la demanda del mercado nacional e internacional [2].

Dado este contexto, el proyecto actual se enfoca en el diseño de un tablero de control para el sistema de refrigeración de un barco pesquero, ubicado en la costa ecuatoriana. Este diseño busca optimizar la operación del sistema de refrigeración, asegurando un control preciso y eficiente de la temperatura a lo largo de las diferentes etapas del proceso pesquero [3].

En un esquema general se emplearán tecnologías modernas de automatización y monitoreo para desarrollar un sistema que no solo sea confiable, sino también fácil de operar y mantener por la tripulación del barco. La idea principal de este proyecto es proporcionar una solución innovadora que contribuya a mejorar la competitividad de la industria pesquera ecuatoriana, reduciendo pérdidas post captura y aumentando la calidad del producto final. A través de un análisis detallado de las necesidades específicas del barco pesquero en referencia, dicha solución deberá responder las exigencias del entorno marítimo y las normativas vigentes en materia de seguridad y eficiencia energética establecidas por el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN [4].

1.2 Descripción del problema

El sector pesquero en la costa del Ecuador enfrenta diversos desafíos relacionados con la conservación y calidad de los peces capturados. Uno de los problemas más críticos es la eficiencia de los sistemas de refrigeración a bordo de los barcos pesqueros. La falta de un control adecuado de la temperatura puede resultar en la rápida descomposición del pescado, causando pérdidas económicas significativas y afectando la competitividad de los productos en el mercado [5].

Actualmente, muchos barcos pesqueros en la región dependen de sistemas de refrigeración obsoletos o manuales que no garantizan un control preciso de las condiciones de almacenamiento. Estos sistemas suelen presentar problemas como fluctuaciones de temperatura, consumo excesivo de energía y fallos técnicos que pueden comprometer la calidad del pescado [6]. La falta de monitoreo continuo agrava estos problemas, ya que la tripulación no siempre dispone de los

medios o el conocimiento técnico necesario para gestionar correctamente el sistema de refrigeración.

Adicionalmente, las normativas internacionales y los estándares de calidad para la exportación de productos pesqueros son cada vez más estrictos, exigiendo niveles más altos de control en el manejo de los alimentos. Un sistema de refrigeración deficiente no solo impacta la calidad del producto, sino que también puede llevar a incumplimientos regulatorios y, por ende, a sanciones o restricciones en el acceso a mercados clave [7].

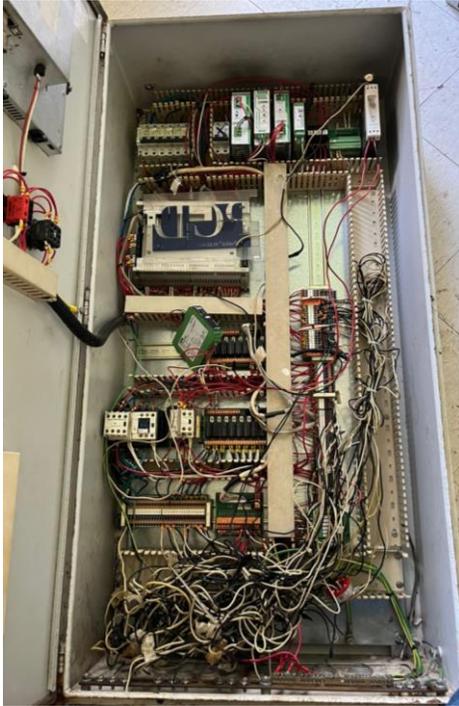
1.3 Justificación del problema

Un barco pesquero de la costa ecuatoriana ha estado inactivo por 7 meses debido a que su sistema de refrigeración ha quedado obsoleto. Este sistema cuenta con un antiguo tablero de control de refrigeración industrial, observar la Figura 1.2, que presenta múltiples fallos en su funcionamiento. Además, no hay respaldo de información sobre sus componentes y conexiones eléctricas, y el controlador lógico programable (PLC) corresponde a una marca genérica no reconocida en la industria de automatización. Debido a su antigüedad, no se puede encontrar información sobre el software de programación utilizado.

El mal funcionamiento del sistema ha causado que el compresor presente problemas de sobrecalentamiento. Este problema se ve aún más agravado por la ausencia de etiquetado en el cableado de sensores y actuadores, lo que dificulta la identificación de las señales dentro del sistema.

Figura 1.2

Antiguo tablero de control industrial



Durante los 7 meses de inactividad, las pérdidas económicas para la empresa han sido significativas. Considerando que un barco pesquero de esta clase puede generar ingresos promedio de \$50,000 por mes, la inactividad ha causado pérdidas estimadas en aproximadamente \$350,000.

Por lo tanto, un nuevo diseño del tablero de control para el sistema de refrigeración de este barco pesquero es primordial para que vuelva a estar operativo. Este nuevo diseño permitirá mejorar la supervisión y control sobre las cámaras de refrigeración del barco, manteniéndolo dentro de los límites normativos para la preservación de la pesca. Con el uso de tecnología de automatización y control actualizada, se puede optimizar el funcionamiento del compresor de tornillo y otros componentes, mejorando la eficiencia energética y reduciendo los costos operativos. Esto prolongará la vida útil del equipo al reducir el desgaste y el mantenimiento frecuente, estimándose una reducción de costos operativos en un 20%, lo que podría traducirse en ahorros anuales de aproximadamente \$60,000.

Adicionalmente, el nuevo diseño del tablero garantizará que el sistema opere de manera segura, cumpliendo con las normativas y regulaciones ambientales y de seguridad. Esto es especialmente crítico, ya que el uso de amoníaco como refrigerante presenta riesgos que deben ser gestionados adecuadamente.

El diseño del tablero de control para el sistema de refrigeración del barco pesquero es una solución integral que aborda los desafíos operativos mencionados. Mejorará la calidad y conservación de los productos, optimizará el rendimiento del sistema, reducirá los costos operativos y garantizará un funcionamiento seguro y sostenible.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un tablero de control para el sistema de refrigeración en un barco pesquero, utilizando un compresor de tornillo y componentes como transductores de presión y sensores de temperatura, para mejorar la supervisión y preservación de los productos pesqueros.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Realizar el diseño de un tablero de control encargado de la refrigeración de cámaras pesqueras, por medio de dispositivos electrónicos que permitan la supervisión y control preciso de las condiciones de operación del sistema.
2. Diseñar el sistema de arranque del compresor de tornillo para el motor eléctrico, que permita un arranque gradual y controlado, reduciendo fallos en el sistema eléctrico y mecánico, prolongando la vida útil de los equipos.

3. Plantear un mejor sistema de comunicación entre los diferentes elementos de control, utilizando cableado apantallado para las señales analógicas, reduciendo las interferencias electromagnéticas y garantizando una comunicación eficiente con el PLC.
4. Establecer un sistema de monitoreo mediante la programación del PLC y una pantalla HMI, con la finalidad de agilizar la configuración de los parámetros como la activación de electroválvulas, calibración de señales analógicas, alarmas y demás estados operativos.

1.5 Marco teórico

A continuación, se expondrán distintas prácticas, conceptos e información relevante para establecer un entendimiento del proyecto propuesto.

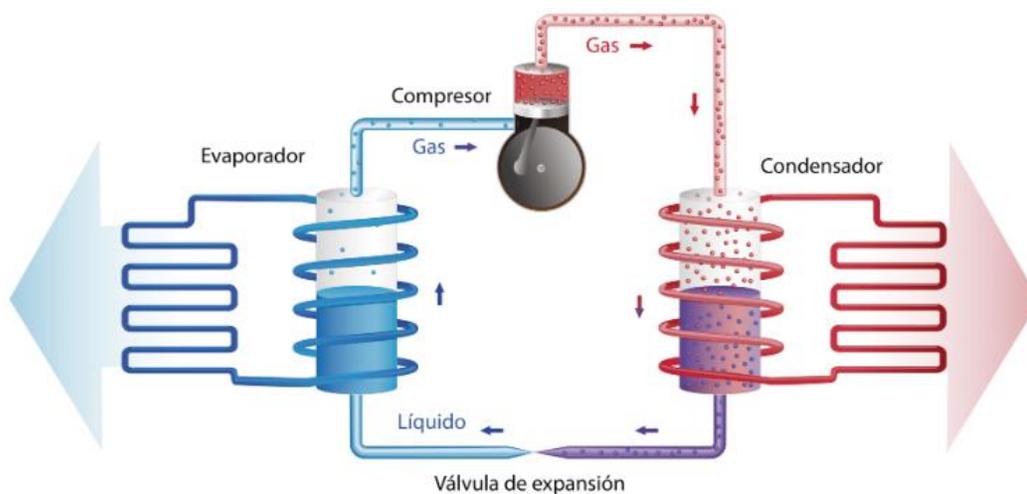
1.5.1 Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración de un barco mantiene una temperatura adecuada en un lugar o entorno específico del mismo. Este sistema se basa en la segunda Ley de la termodinámica, la cual establece que el calor se conduce desde un objeto caliente hacia otro más frío [8].

Un sistema de refrigeración se define como un sistema de intercambiador de calor compuesto por diversos equipos que trabajan en conjunto [9]. El sistema de refrigeración mostrado en la Figura 1.3 consta, fundamentalmente, de cuatro componentes principales: el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador [11].

Figura 1.3

Esquema de un sistema de refrigeración industrial básico [10]



El compresor se encarga de aumentar la presión en el sistema. Al llegar el refrigerante al condensador condensa el fluido disminuyendo su temperatura y liberando energía. La válvula de expansión genera una caída de presión en el sistema. Luego en el evaporador, el refrigerante se evapora aumentando así su temperatura, absorbiendo energía y regresando al compresor [11].

1.5.2 Componentes de un sistema de refrigeración

La refrigeración industrial se aplica en diversos sectores, como el alimentario, químico, textil, de construcción y plásticos, entre otros. A continuación, se presentan los materiales y componentes esenciales en la refrigeración industrial, destacando la importancia de una correcta selección [12].

Es fundamental señalar que todos los materiales y componentes son esenciales en la refrigeración industrial para asegurar un funcionamiento óptimo de estos sistemas. La ausencia de cualquiera de ellos podría impedir alcanzar niveles adecuados de eficiencia. Los componentes esenciales en los sistemas de refrigeración industrial incluyen el compresor, evaporador,

condensador, válvula de expansión, refrigerante, aceite lubricante, así como los controladores y sensores [12].

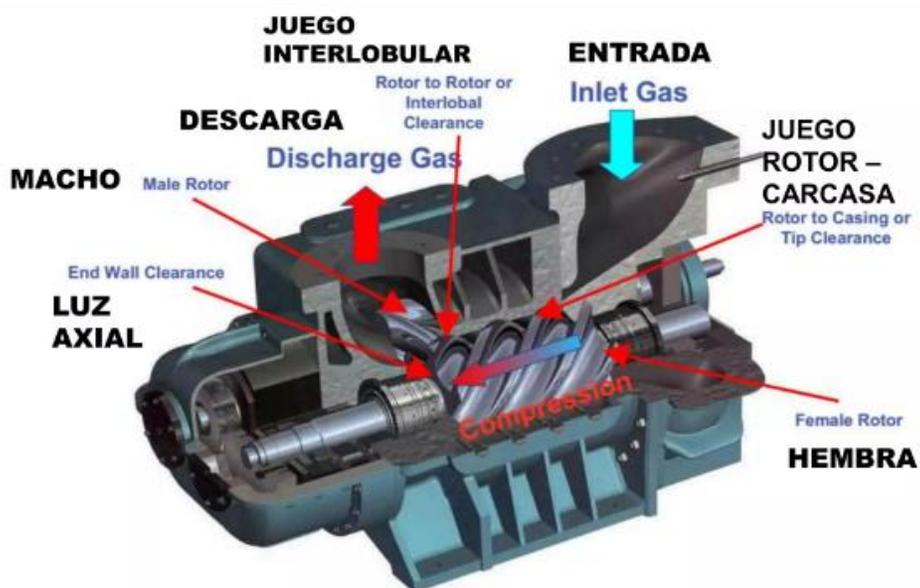
1.5.3 Compresores de tornillo

Los compresores de tornillo utilizan movimientos rotativos para aumentar la presión del aire. En su estructura, se encuentra un conjunto de rotores macho y hembra, como se observa en la Figura 1.4, diseñados de manera específica para que, al girar simultáneamente, atrapen el gas amoníaco entre ellos. El rotor macho cuenta con lóbulos convexos, mientras que el rotor hembra posee cavidades cóncavas, lo que permite que engranen sin tocarse, facilitando así la compresión.

Además, el rotor macho tiene ligeramente menos lóbulos que el hembra, lo que resulta en una rotación más rápida, impulsando de manera eficaz al rotor hembra [13].

Figura 1.4

Partes del compresor de tornillo [14]



1.5.4 Evaporadores

El sistema de enfriamiento *chiller* se utiliza en embarcaciones pesqueras para mantener frescas grandes cantidades de peces capturados. Almacenar los peces en un sistema de refrigeración que emplea agua de mar es una técnica efectiva para preservar la captura hasta su descarga en tierra. En un corto período de tiempo, los peces se enfrían hasta aproximadamente la temperatura de congelación del agua de mar, lo que garantiza su conservación y calidad durante el transporte [15].

1.5.5 Condensadores

El condensador es un componente esencial en la refrigeración industrial, encargado de enfriar el gas refrigerante y convertirlo en líquido. El gas refrigerante ingresa al serpentín o condensador después de salir del compresor, y debido a que este dispositivo está expuesto a bajas temperaturas, se produce la liberación de calor. Este proceso puede ocurrir en un entorno de agua, aire exterior u otros fluidos [12].

Durante este proceso de liberación de calor, el refrigerante se condensa y se convierte en estado líquido. El objetivo de este proceso es reducir la temperatura del refrigerante, permitiendo que salga del dispositivo a una temperatura más baja mientras mantiene la misma presión [12].

Los tipos de condensadores utilizados en los sistemas de refrigeración industrial se dividen en: condensadores refrigerados por agua, aire y evaporativos.

- Los condensadores refrigerados por agua se encargan de transferir el calor del refrigerante al agua, permitiendo así extraer y alejar el calor del sistema. Para lograr esto, se utiliza un segundo tubo que contiene agua y rodea la tubería por la cual circula el refrigerante [12].
- Los condensadores enfriados por aire permiten que el refrigerante se exponga al aire exterior para reducir su temperatura. En algunos casos, se utiliza un ventilador o soplador

para hacer circular el aire a través de toda la superficie del condensador, optimizando el proceso de enfriamiento [12].

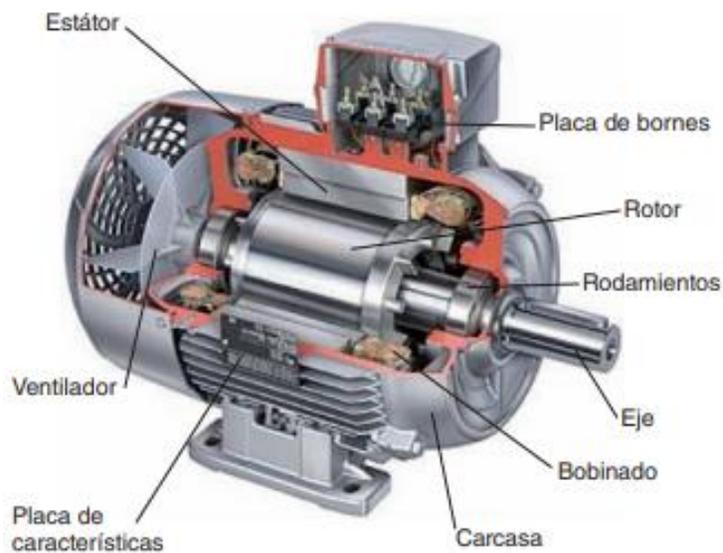
- Los condensadores evaporativos son el tipo de condensador más utilizado en la industria. Funcionan rociando agua sobre un panel celulósico que ha sido previamente humedecido con la cantidad adecuada de agua. Esto permite enfriar el aire que pasa a través del panel, mejorando la eficiencia del condensador y permitiendo su funcionamiento incluso en condiciones exteriores adversas, como en situaciones de calor extremo [12].

El sistema de refrigeración actual del barco posee un condensador que es refrigerado por agua. Se succiona agua de mar que es utilizada para enfriar el refrigerante caliente que entra al condensador. Es un medio de enfriamiento eficiente y común en sistemas cercanos al mar.

1.5.6 Motores eléctricos

Los motores eléctricos son máquinas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Se clasifican en dos tipos según su tipo de alimentación: motores de corriente continua y motores de corriente alterna. La elección del motor eléctrico adecuado depende de la aplicación en la que se va a utilizar, considerando las características y propiedades específicas de cada tipo [16].

Un motor eléctrico en un compresor de tornillo sirve como la fuente de energía que impulsa el mecanismo de compresión. El eje del motor eléctrico, ver Figura 1.5, se acopla al compresor y hace girar los tornillos helicoidales (rotores) que están en contacto entre sí. A medida que estos tornillos giran, el aire es atrapado en los espacios entre los tornillos y la carcasa del compresor. Al avanzar el aire a lo largo de los tornillos, el volumen se reduce, lo que aumenta la presión del aire.

Figura 1.5*Partes del motor eléctrico [16]*

1.5.7 Tipos de arranque

Los principales métodos de arranque de un motor eléctrico son: arranque directo, arranque estrella-delta, arranque suave y arranque por variador.

Los arranques de tipo directo son, con diferencia, los métodos de arranque de motores eléctricos más utilizados en el mercado debido a su sencillez, compacidad y bajo costo inicial. Este tipo de arranque requiere únicamente un contactor de línea y un relé de sobrecarga térmico o electrónico [17].

Una desventaja importante del arranque directo es la elevada corriente de arranque, que suele ser de seis a ocho veces la corriente nominal. Además, el torque inicial en un arranque directo es muy alto, a menudo mucho mayor de lo necesario para la mayoría de las aplicaciones. Este alto torque provoca un estrés mecánico significativo tanto en el sistema de transmisión como en la carga misma [17].

El método de arranque estrella-triángulo para motores eléctricos normalmente consta de tres contactores, un relé de sobrecarga y un temporizador. Durante la primera etapa de aceleración, el motor se conecta en configuración estrella, lo que reduce la corriente. Después de un tiempo preestablecido, se realiza la conmutación a configuración triángulo, permitiendo que el motor absorba toda la corriente y alcance su torque máximo [17].

El tipo de arranque con arrancadores suaves se utilizan en situaciones donde es necesario controlar la velocidad y el par durante el arranque, y, si cuentan con parada suave, también durante la detención. Son especialmente útiles para reducir las altas corrientes de entrada que se generan al energizar un motor grande. Además, proporcionan un arranque suave al sistema mecánico, lo que ayuda a mitigar los picos de par y la tensión asociados con un arranque normal, como ocurre en transportadores, sistemas con correa, engranajes, entre otros [17].

1.5.8 Refrigerantes

Un refrigerante es un compuesto que actúa como agente de enfriamiento al absorber calor de otro cuerpo. Es el fluido esencial en cualquier sistema de refrigeración mecánica [12]. En base a este proyecto se menciona que los refrigerantes de tipo hidrocarburo halogenados, se utilizan principalmente en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, debido que, son efectivos por sus propiedades termodinámicas, estabilidad química y compatibilidad con variedad de equipos industriales [18]. A continuación, se detalla los tipos de refrigerantes de la familia de los hidrocarburos halogenados:

CFC (Clorofluorocarbono): Compuesto por flúor, carbono y cloro, no contiene hidrógeno en su molécula química, lo que le confiere estabilidad. Esta estabilidad permite que permanezca en la atmósfera durante mucho tiempo, afectando seriamente la capa de ozono y contribuyendo al efecto invernadero. Ejemplos incluyen R-11, R-12 y R-115 [18].

HCFC (Hidroclorofluorocarbono): Compuesto por hidrógeno, carbono, flúor y cloro, es similar a los CFC, pero contiene átomos de hidrógeno en su molécula. Tiene un potencial reducido de destrucción de la capa de ozono en comparación con los CFC. Un ejemplo es el R-22 [18].

HFC (Hidrofluorocarbono): Compuesto por hidrógeno, flúor y carbono, es un fluorocarbono sin cloro. La ausencia de cloro le confiere un potencial nulo de destrucción del ozono. Ejemplos incluyen R-134a y R-141b [18].

1.5.9 Gas Amoníaco

La refrigeración con amoníaco es el método más económico y eficiente en términos de rendimiento energético. La fórmula química del amoníaco es NH_3 , y su símbolo identificativo como refrigerante es R717. El amoníaco es un compuesto natural y uno de los gases más abundantes en la atmósfera, ya que se descompone en moléculas de hidrógeno y nitrógeno, las cuales constituyen aproximadamente el 80% de la atmósfera [19].

El amoníaco está clasificado en el grupo L2 y el grupo de seguridad B2 según el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias. Esta clasificación establece que la sala de máquinas específica, así como su diseño y construcción, se rige por la instrucción técnica IF-07 de dicho reglamento [19].

1.6 Diagrama P&ID

En la Figura 1.6, se observa un diagrama P&ID mostrando el funcionamiento general del sistema de refrigeración utilizando los componentes mencionados anteriormente. El ciclo inicia desde el compresor hasta llegar al evaporador. Para un mayor entendimiento, la explicación detallada se encuentra en el capítulo 3.

En la Tabla 1.1, se describen los indicadores de presión y temperatura.

Figura 1.6

Diagrama P&ID del sistema de refrigeración

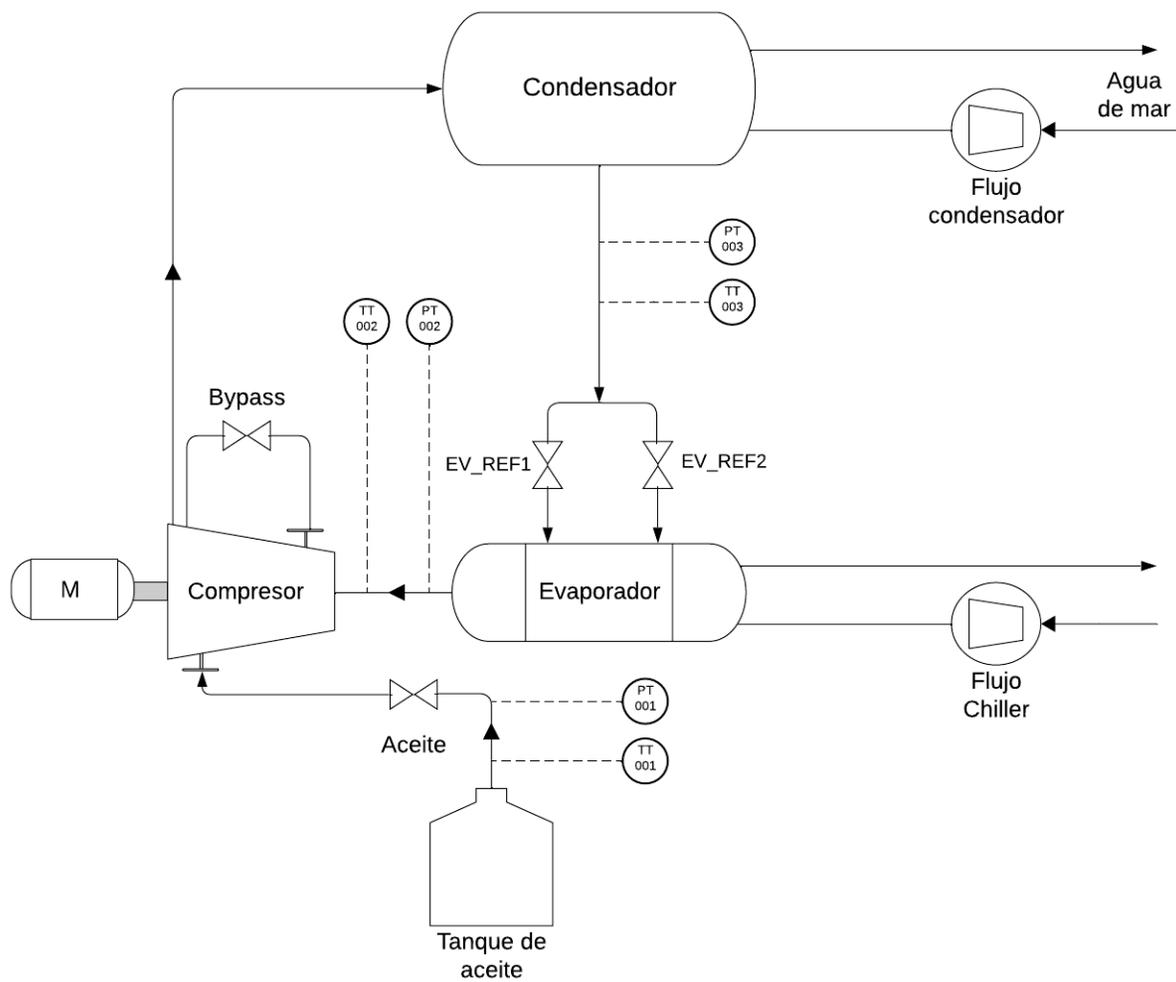


Tabla 1.1*Descripción de indicadores del diagrama P&ID*

Indicadores	Descripción
PI001	Indicador de presión aceite
PI002	Indicador de presión evaporador
PI003	Indicador de presión condensador
TI001	Indicador de temperatura aceite
TI002	Indicador de temperatura evaporador
TI003	Indicador de temperatura condensador
TI004	Indicador de temperatura salida de agua

Capítulo 2

2. Metodología

En este capítulo se describe detalladamente el enfoque metodológico adoptado para abordar la problemática de este proyecto y alcanzar los objetivos planteados. Se presentan las alternativas de solución consideradas, el proceso de evaluación y selección de la solución final, basada en los requerimientos y limitaciones del cliente.

2.1 Alternativas de solución

Se planteó 4 alternativas asociadas a la búsqueda de la solución a la problemática de este proyecto:

Alternativa 1:

Diseño de un sistema eficiente utilizando un autómatas programable y un arrancador suave para mejorar el control y la gestión del proceso. El PLC permite automatizar tareas del sistema de refrigeración, asegurando que las temperaturas se mantengan dentro de los límites deseados con un consumo de energía minimizado. El arrancador suave, por su parte, reduce el estrés mecánico y eléctrico durante el arranque del motor del compresor.

Alternativa 2:

Se mantiene el esquema de diseño con autómatas programable, no obstante, el motor eléctrico debe controlarlo por un variador de frecuencia, el cual ajusta la velocidad del motor del compresor según la demanda de refrigeración. Esta alternativa es útil en situaciones donde las condiciones de operación varían mucho.

Alternativa 3:

Diseño del tablero de control mediante un sistema con arranque directo, este tipo de arranque es una alternativa más simple y económica, donde el motor del compresor se enciende

directamente a plena carga sin dispositivos de arranque suaves ni variadores de frecuencia. Este método tiene un costo inicial bajo y genera un mayor desgaste en los componentes eléctricos y mecánicos. Esta alternativa de solución puede ser adecuada para aplicaciones donde el costo inicial es una consideración crítica y el sistema no requiere ajustes frecuentes en la capacidad de refrigeración.

Alternativa 4:

Diseño de un sistema utilizando un microcontrolador económico que sólo permita realizar tareas básicas. Teniendo en cuenta que no se garantiza el funcionamiento eficiente del sistema.

2.2 Requerimientos de diseño

Se presentan los requerimientos de diseño generales establecidos por el cliente que se observan en la Tabla 2.1, los cuales rigen sobre la solución base de este proyecto.

Tabla 2.1*Requerimientos de diseño*

Requerimientos de diseño	Descripción
Mecánicos	La carcasa del tablero de control debe de ser de un material altamente no corrosivo, ya que está en presencia de humedad y salinidad.
Electrónicos	Elección y protección de elementos o componentes electrónicos según las especificaciones de trabajo requerido. Emplear cableado necesario para mejor registro y lectura de las señales de distintos tipos de sensores.
De control	Monitoreo y lectura de parámetros principales en el sistema de refrigeración como: temperatura en la cámara de pesca, temperaturas y presiones en el condensador, evaporador y aceite del sistema.
Informáticos	Interfaz que permita al operador visualizar señales y estados de alarmas, ajustar parámetros de control.

2.3 Criterios de selección

A continuación, se describe los criterios de diseños establecido para poder evaluar las alternativas de solución.

- **Diseño del tablero:** En este criterio se detalla la estética del tablero, la disposición de los componentes y la facilidad de identificación de los controles. Considera la calidad, compatibilidad y durabilidad de los componentes seleccionados para el tablero. Es crucial elegir componentes que cumplan con los estándares de la industria y que sean adecuados para el ambiente marino.
- **Interfaz de operación:** Este criterio considera cómo los operadores interactúan con el sistema de control, incluyendo la facilidad de aprendizaje y uso de los controles y las interfaces. La interfaz de usuario debe ser clara y fácil de manejar, permitiendo a los operadores realizar ajustes y monitorear el sistema de manera eficiente.
- **Software:** La elección del software de programación debe permitir una configuración fácil y flexible del sistema de control. Debe ser compatible con el hardware seleccionado y proporcionar herramientas para la monitorización y ajuste del sistema en tiempo real.
- **Costo de fabricación:** Este criterio está relacionado a todos los costos relacionados con la creación del tablero de control, desde la adquisición de componentes hasta la programación y la instalación.

Se presenta en la Tabla 2.2 los pesos de importancia de los criterios de diseño establecidos para realizar la evaluación de las alternativas de solución, evidenciando que se debe de tener mayor prioridad en el diseño general del tablero, y con menor peso de importancia el costo de fabricación, debido a que, este proyecto se enfoca en una escala industrial en el sector de refrigeración de embarcaciones, donde se cuenta con un presupuesto significativo que puede alcanzar miles de dólares, lo cual permite cierta flexibilidad en la inversión.

Tabla 2.2

Ponderación de criterios para la selección de la solución

Criterio	Prioridad	Peso relativo	Porcentaje (%)
Diseño del tablero	1	4	40
Interfaz de operación	2	2.5	25
Software	3	2.5	25
Costo de fabricación	4	1	10

2.4 Solución final

Una vez realizada la matriz de decisión, que es la evaluación de los criterios de diseño con las alternativas de solución planteadas, se concluye en la Tabla 2.3 que la solución viable para la problemática establecida fue la alternativa 1.

Tabla 2.3*Matriz de decisión*

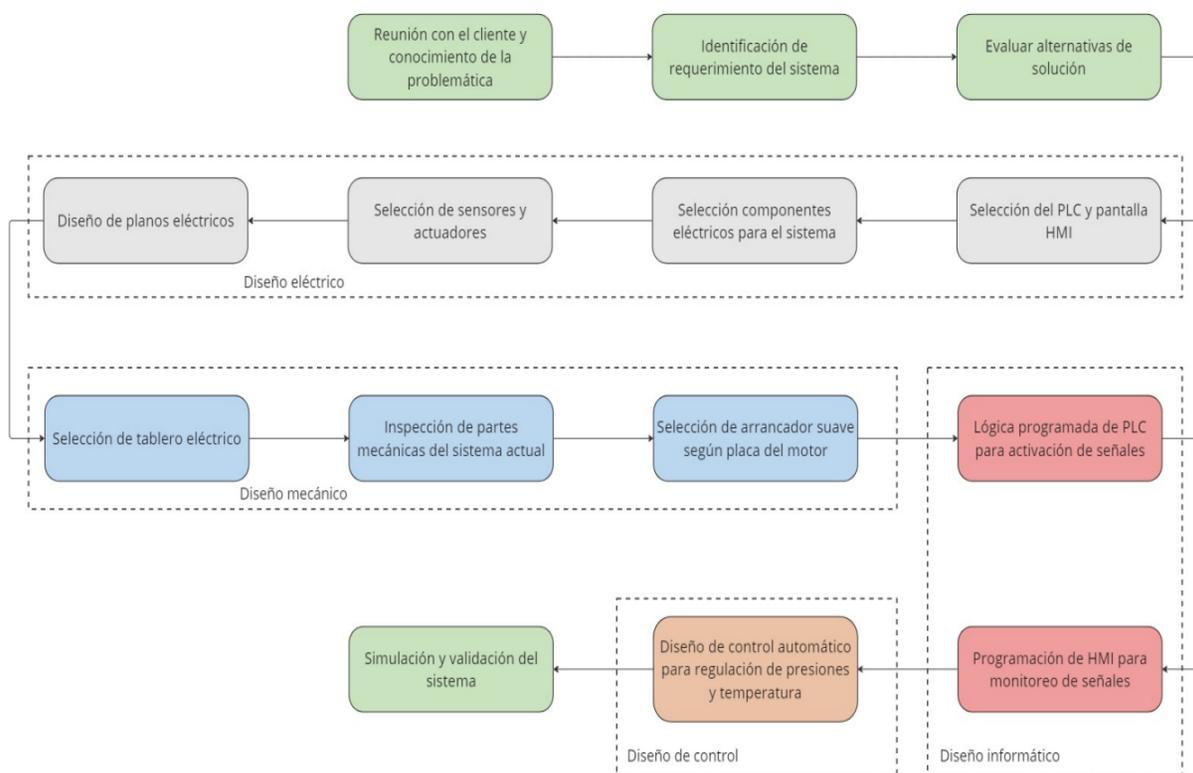
Alternativas	Diseño del tablero	Interfaz de operación	Software	Costo de fabricación	Peso (%)
Alternativa 1	14	10	10	2	36
Alternativa 2	14	5	5	1	25
Alternativa 3	8	7.5	2.5	3	21
Alternativa 4	4	2.5	7.5	4	18

2.5 Proceso de diseño

A continuación, se muestra un diagrama que resume el proceso de diseño de la solución propuesta, como se observa en la Figura 2.1. Este diagrama detalla los aspectos más relevantes de los diseños eléctrico, mecánico, informático y de control.

Figura 2.1

Diagrama de flujo del proceso de diseño



2.6 Diseño mecánico

El diseño mecánico del proyecto se centró en la selección de la carcasa del tablero de control, para aquello, se debió considerar la protección de los componentes internos, la durabilidad en el ambiente marino y la facilidad de uso y mantenimiento.

2.6.1 Material del diseño

Se ha seleccionado el acero inoxidable AISI 304 (American Iron and Steel Institute) como material de elaboración de la carcasa del tablero de control. Esta elección es respaldada por las excelentes propiedades de resistencia a la corrosión y durabilidad que tiene este tipo de acero, obsérvese la Tabla 2.4.

Tabla 2.4*Propiedades mecánicas y térmicas del acero inoxidable AISI 304 [20]*

Acero inoxidable AISI 304					
Propiedad	Módulo de elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo último (MPa)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg°C)
Valor asignado	193	220	564	7850	500

2.6.2 Dimensiones

Se seleccionó una carcasa de base rectangular simple, con dimensiones de 1000x600x280 mm, estas dimensiones se han optimizado para proporcionar suficiente espacio para todos los componentes necesarios sin ser excesivamente grande o pesada. Además, en esta selección de la carcasa se tomó en consideración el grado de protección respectivo para carcasas de equipos eléctricos.

En base a esto, se escogió un tablero de control con grado IP66, ver Figura 2.2, bajo la norma IEC 60529 (International Electrotechnical Commission). Esta norma define los niveles de protección proporcionados por las envolventes contra la entrada de objetos sólidos y agua, los cuales se indican mediante el código IP (Ingress Protection) [21].

En el caso del IP66, el primer dígito "6" indica que la carcasa es totalmente protegida contra el polvo (protección completa contra el ingreso de objetos sólidos), y el segundo dígito "6" señala que la carcasa es protegida contra chorros de agua potentes desde cualquier dirección, sin que el equipo en su interior resulte afectado [21].

Figura 2.2

Carcasa seleccionada para el tablero de control



2.7 Diseño eléctrico

A continuación, se presenta la disposición de elementos, los cuales han sido seleccionados en base a características técnicas, confiabilidad de las marca y optimización del presupuesto. Cada componente se escogió con la finalidad de garantizar un rendimiento óptimo, durabilidad del sistema y mantener un equilibrio adecuado entre calidad y costo.

2.7.1 Selección de PLC

Se escogió el PLC S7 1200 la versión de 24 VDC, ver Figura 2.1, debido a que permite una mejor integración con el resto de los componentes y dentro de la gama Siemens es el que mejor se adapta tanto en funcionalidad como en presupuesto, es decir, permite comunicación Profinet y

módulos de expansión para aumentar el número de entradas y salidas. En la Tabla 2.5 se muestran sus características.

Figura 2.3

PLC S7 1200 [22]



Tabla 2.5

Especificaciones técnicas del PLC [22]

PLC S7 1200 1214C DC/DC/DC	
Modelo	6ES7214-1AG40-0XB0
Voltaje de entrada	24 VDC
Corriente de entrada	500 mA
Corriente de salida	1600 mA
Entradas digitales	14
Salidas digitales	10
Entradas analógicas	2
Salidas analógicas	0

2.7.2 Selección de módulo de señal de 8 entradas analógicas configurables como V/mA

Se eligió un módulo adicional compatible con el PLC de entradas analógicas para la conexión de 3 transductores de presión y 1 sensor de corriente para el motor, estas entradas son configurables como señal de voltaje o corriente. Se lo seleccionó debido al número de entradas

analógicas, las cuales son suficientes para las señales del sistema y con la posibilidad de agregar señales adicionales en un futuro. En la Tabla 2.6 se muestran sus características.

Figura 2.4

Módulo de entradas analógicas [23]



Tabla 2.6

Especificaciones técnicas del módulo de entradas analógicas [23]

Módulo de señal: AI	
Modelo	6ES7231-4HF32-0XB0
Voltaje de alimentación	24 VDC
Rangos de entrada corriente	4-20 mA, 0-20 mA
Rangos de entrada voltaje	± 10 V, ± 5 V, ± 2.5 V
Entradas analógicas	8

2.7.3 Selección de módulo de 8 entradas analógicas para sensores tipo RTD

El catálogo Siemens tiene un módulo específico para las entradas de los 5 sensores de temperatura RTD (Resistance Temperature Detector), ya que son componentes resistivos compatibles con dicho módulo. Se lo seleccionó debido al número de entradas que posee. En la Tabla 2.7 se muestran sus características.

Figura 2.5

Módulo de entradas analógicas para sensores RTD [24]

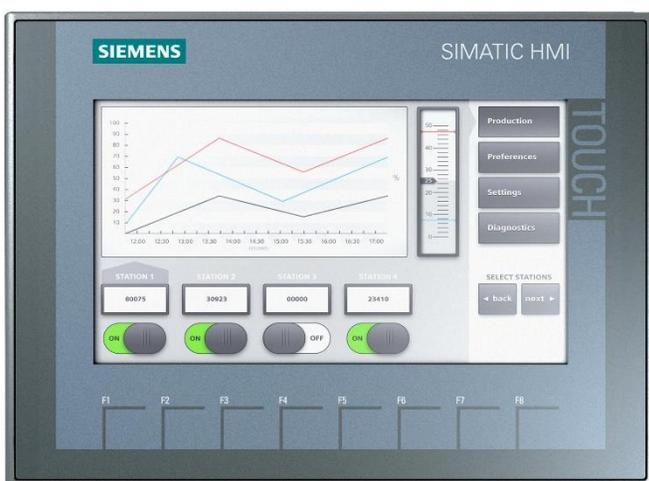
**Tabla 2.7**

Especificaciones técnicas del módulo de entradas analógicas para sensores RTD [24]

Módulo de señal de temperatura	
Modelo	6ES7231-5PF32-0XB0
Voltaje de alimentación	24 VDC
Corriente de entrada	40 mA
Entradas analógicas	8, resistencia térmica

2.7.4 Selección de pantalla HMI

Para el monitoreo de señales e interfaz de usuario se eligió una pantalla HMI KTP700 Basic de la gama Siemens, debido a que en presupuesto y compatibilidad en comunicación con el PLC era la más acertada. En la Tabla 2.8 se muestran sus características.

Figura 2.6*Pantalla HMI KTP700 Basic [25]***Tabla 2.8***Especificaciones técnicas del HMI [25]*

Simatic HMI	
Modelo	6AV2123-2GB03-0AX0
Voltaje de alimentación	24 VDC
Tamaño	7 in
Teclas de función	8
Protección	IP65

2.7.5 Selección de arrancador suave

La elección del arrancador se obtuvo según las especificaciones técnicas de la placa del motor eléctrico, la potencia nominal a 440 VAC 60Hz del motor es de 84kW. Por ende, el arrancador debe estar dimensionado con la capacidad un poco más alta que la potencia del motor. Para evitar inconvenientes al arranque se ha optado por sobredimensionar el arrancador a uno de 110 kW, ver Figura 2.7. En la Tabla 2.9 se muestran sus características.

1. RPM del motor (2 polos)

$$N_s = \frac{120 \times f}{P}$$

(2.1)

Donde:

- N_s : velocidad sincrónica en RPM
- f : frecuencia de trabajo en Hz
- P : número de polos

$$N_s = \frac{120 \times 60\text{Hz}}{2} = 3600 \text{ RPM}$$

(2.2)

2. Velocidad angular en rad/s

$$\omega = \frac{3600 \times 2\pi}{60} = 376,99 \text{ rad/s}$$

(2.3)

3. Potencia del motor en kW

$$P = \frac{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi}{1000}$$

(2.4)

Donde:

- P : potencia en kW
- V : voltaje en V
- I : corriente en A
- $\cos \varphi$: factor de potencia (0.85)

$$P = \frac{\sqrt{3} \times 440V \times 127A \times 0.85}{1000}$$

$$P \approx 82 \text{ kW}$$

(2.5)

Figura 2.7*Arrancador suave LOVATO [26]***Tabla 2.9***Especificaciones técnicas del arrancador suave [26]*

Arrancador suave	
Modelo	ADXL 0190 600
Voltaje de alimentación	208...600 VAC
Corriente Ie	195 A
Potencia nominal del motor 230VAC	55 kW
Potencia nominal del motor 400VAC	110 kW
Potencia nominal del motor 500VAC	132 kW

2.7.6 Selección de fuente de alimentación

Se escogió una fuente de alimentación 24VDC para la parte de control del sistema, debido a que la alimentación de toda esta sección se maneja con un rango de voltaje de 20 a 28VDC y un amperaje máximo de 500mA. En la Tabla 2.10 se detallan sus características.

Tabla 2.10

Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación

	Fuente de alimentación	Figura
Modelo	NDR-120-24	
Voltaje de alimentación	90...264VAC, 127...370VDC	
Corriente AC	2.25A/115VAC, 1.3A/230VAC	
Voltaje de salida	24VDC	
Corriente de salida	0...5A	
Voltaje adj	24...28VDC	

2.7.7 Selección de contactor para resistencia de calentamiento de aceite

Para la parte de potencia se requería una resistencia de calentamiento para el aceite del compresor, por ende, se dimensionó un contactor Siemens con bobina de 24VDC de 12 amperios, ya que la resistencia era de 5 a 6 amperios. En la Tabla 2.11 se muestran sus características.

1. Cálculo de amperaje

$$I = \frac{P}{V}$$

P: potencia en W

V: voltaje en V

I: corriente en A

$$I = \frac{2000W}{220V} = 9A$$

(2.6)

Tabla 2.11*Especificaciones técnicas del contactor*

Contactor para resistencia de calentamiento		Figura
Modelo	3RT2024-1BB44	
Voltaje de alimentación de control	24VDC	
Contactos NC	2	
Contactos NO	2	
Corriente de operación	12A	

2.7.8 Selección de cable para control, fuerza y sensores analógicos

Para el cable de control se escogió el de calibre 16 AWG y para la parte de fuerza se optó por un calibre 12 AWG. Por otra parte, para las señales analógicas se decidió por cable apantallado de 4 hilos 22 AWG. En la Tabla 2.12 se detallan las características de amperaje y temperatura máxima resistida.

Tabla 2.12*Especificaciones técnicas de los cables*

Cables	
Cable 12 AWG	25A a 60°C
Cable 16 AWG	13A a 60°C
Cable 22 AWG 4 hilos	5A a 60°C

2.7.9 Selección de relés para salida de señales digitales

Para la activación de señales digitales del sistema se dimensionaron relés de bobina 24VDC marca Siemens, ver Tabla 2.13, debido a que el PLC cuenta con salidas tipo transistores y para la activación de las electroválvulas los contactos auxiliares de este relé operan a 220VAC.

Tabla 2.13*Especificaciones técnicas del relé*

Relé de 24VDC	Figura
Modelo	LZX PT370024
Voltaje de alimentación de control	24VDC
Potencia activa consumida	741 mW
Número de contactos	3
Corriente térmica DC	10A



2.7.10 Selección de relés de estado sólido para inyección de refrigerante

El sistema inyecta refrigerante casi inmediato y para ello se prefirió colocar relés de estado sólido (SSR) para conmutar estas salidas. Cuenta con una bobina de activación de 24VDC compatible el controlador y mejora la eficiencia del proceso. En la Tabla 2.14 se muestran sus características.

Tabla 2.14*Especificaciones técnicas del relé de estado sólido*

Relé de estado sólido		Figura
Modelo	SR1-1225-N	
Voltaje de entrada	4...30VDC	
Corriente de entrada	28 mA	
Voltaje de salida	24...240VAC	

2.7.11 Selección de electroválvulas

Se requerían cinco electroválvulas para la activación de salidas. Dos de ellas se conectan a los SSR seleccionados anteriormente, otras dos para ingreso de carga en el compresor y una para inyección de aceite al compresor. El voltaje de alimentación de 220VAC es el requerido para que sean activados por los relés. Su potencia es ideal para el manejo de fluidos dentro del proceso. En cuando a calidad la marca Danfoss es muy recomendable. En la tabla 2.15 se muestran sus características.

Tabla 2.15*Especificaciones técnicas de solenoide*

Solenoide		Figura
Modelo	BE220BS	
Voltaje de entrada	220 VAC	
Consumo de energía	13 W	
Frecuencia	60 Hz	

2.7.12 Selección de transductores de presión

Según los requerimientos del sistema se procedió a dimensionar los transductores de presión cumpliendo con los rangos de operación para condensador (0-500 PSI), chiller (0-180 PSI) y aceite (0-500 PSI). En la tabla 2.16 y 2.17 se muestran sus características.

Tabla 2.16

Especificaciones técnicas de transductor para condensador y aceite

Transductor de presión 1		Figura
Modelo	060G1145	
Voltaje de entrada	9...32 VDC	
Señal de salida	4...20 mA	
Rango de presión	0...500 PSI	

Tabla 2.17

Especificaciones técnicas de transductor para el chiller

Transductor de presión 2	
Modelo	060G2101
Voltaje de entrada	9...32 VDC
Señal de salida	4...20 mA
Rango de presión	-14.5...174 PSI

2.7.13 Selección de sensores de temperatura

Los sensores PT100 fueron los más acertados para manejar los rangos de temperatura requeridos dentro sistema. En la tabla 2.18 se muestran sus características.

- Aceite: -10 a 110°C
- Condensador: 20 a 110°C
- Chiller: -5 a 45°C
- Entrada de agua: 0 a 30°C
- Salida de agua: -1 a 30°C

Tabla 2.18

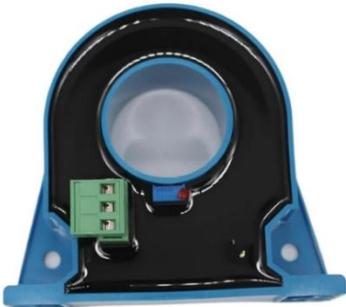
Especificaciones técnicas de PT100

	PT100	Figura
Modelo	MBT 153	
Resistencia	100 ohm	
Conexión	2 cables	
Rango de temperatura	-50...200°C	

2.7.14 Selección de sensor de corriente

La corriente nominal del motor es de aproximadamente 100 A, no obstante, también se consideró la corriente de arranque de este que suele ser 3 veces la nominal. Por ello, se decidió por un transductor de hasta 400 A. En la tabla 2.19 se muestran sus características.

Tabla 2.19*Especificaciones técnicas de sensor de corriente*

Sensor de corriente		Figura
Modelo	Current transmitter	
Voltaje de entrada	24 VDC	
Señal de salida	0...10 VDC	
Rango de presión	0...400 A	

2.8 Diseño informático

El diseño informático para el control del sistema de refrigeración del barco se realizó utilizando el software TIA Portal. Este software se seleccionó debido a su robustez, flexibilidad y capacidad de integración con una amplia gama de dispositivos y controladores industriales. Este diseño de software abarcó tanto la programación del PLC como el diseño de la HMI.

2.8.1 Programación del PLC

En la programación del PLC Siemens S7 1200 (compatible con TIA Portal) se definió la estructura del sistema de control, incluyendo todos los sensores, actuadores, y dispositivos de entrada/salida.

En la lógica de control se desarrollaron los bloques de programa necesarios para el control del compresor, electroválvulas, resistencia de calentamiento y otros componentes del sistema de refrigeración.

2.8.2 Diseño de pantalla HMI

El diseño del HMI también se llevó a cabo en TIA Portal, este permite a los operadores interactuar de manera eficiente con el sistema de refrigeración, supervisar su estado y realizar ajustes cuando sea necesario.

Para el desarrollo de este diseño se definieron las funciones y características esenciales que la HMI debía proporcionar, como la visualización de temperaturas, presiones y estados de los componentes.

Con relación al diseño de las pantallas HMI, estas deben incluir la pantalla de inicio, pantallas principales, la visualización de datos en tiempo real y las pantallas de configuración (ajuste de parámetros). En dichas pantallas se incorporó gráficos y elementos visuales claros para representar el estado del sistema y facilitar la interpretación de la información.

En la programación de la HMI, se configuraron alarmas y notificaciones para alertar a los operadores en caso de fallos o condiciones anómalas. También, se implementaron funciones de seguridad para proteger el acceso a configuraciones críticas del sistema.

En la Figura 2.9, se observa una de las ventanas del diseño de la pantalla HMI mostrando el control manual del sistema para activación de salidas digitales.

Figura 2.9
Pantalla de control manual para salidas digitales del sistema



Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3.1 Diseño mecánico

En este apartado se muestra el resultado final del diseño de la carcasa del tablero de control, obsérvese la Figura 3.1, 3.2. El material seleccionado para este diseño fue el acero inoxidable AISI 304, dicho material es fundamental para la durabilidad en el entorno corrosivo de trabajo.

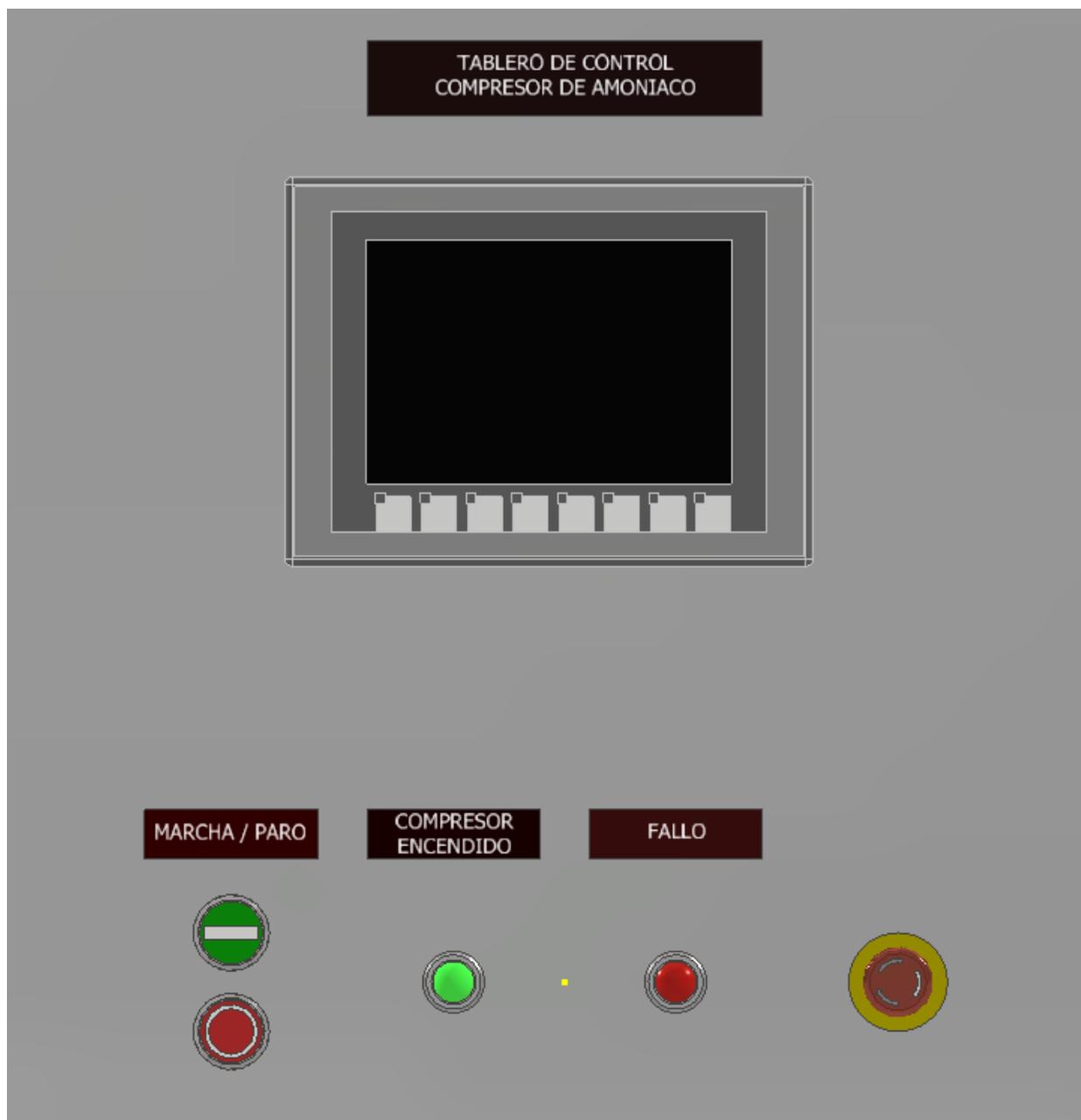
Figura 3.1

Diseño de los cortes en el tablero en la tapa frontal



Figura 3.2

Diseño de tapa frontal del tablero eléctrico



3.2 Diseño eléctrico

Se realizó el diseño de planos eléctricos del sistema de refrigeración tanto en la parte de fuerza como de control. En el apéndice A, se presenta una descripción general del sistema de fuerza 01, el cual se describe a continuación de la siguiente manera:

1. Fuente de alimentación:

- X1 es la entrada de alimentación eléctrica con líneas L1, L2 y L3.
- SW2 es un interruptor de 16 amperios que controla la alimentación.
- BK1, BK2, BK4 son breakers de 16 amperios como protección contra sobrecargas.

2. Contactores y relés:

- K1 es un contactor que controla una resistencia de calentamiento R2 para el aceite del compresor.
- RLY4, RLY5, RLY6, RLY7 son relés que controlan las activaciones de las válvulas solenoides de 75%, 100%, bypass compresor e inyección de aceite.

3. Relés de estado sólido:

- SSR1 y SSR2 son relés de estado sólido que controlan la activación de las válvulas solenoides de refrigerante 1 y 2.

4. PLC:

- El PLC etiquetado como /08-PLC DO1 Y /09-PLC DO2 son las salidas digitales del sistema. La parte de control del sistema se detalla en apéndice A.

3.3 Diseño de software

Se realizó una simulación en TIA PORTAL con las principales ventanas que muestran el funcionamiento del sistema.

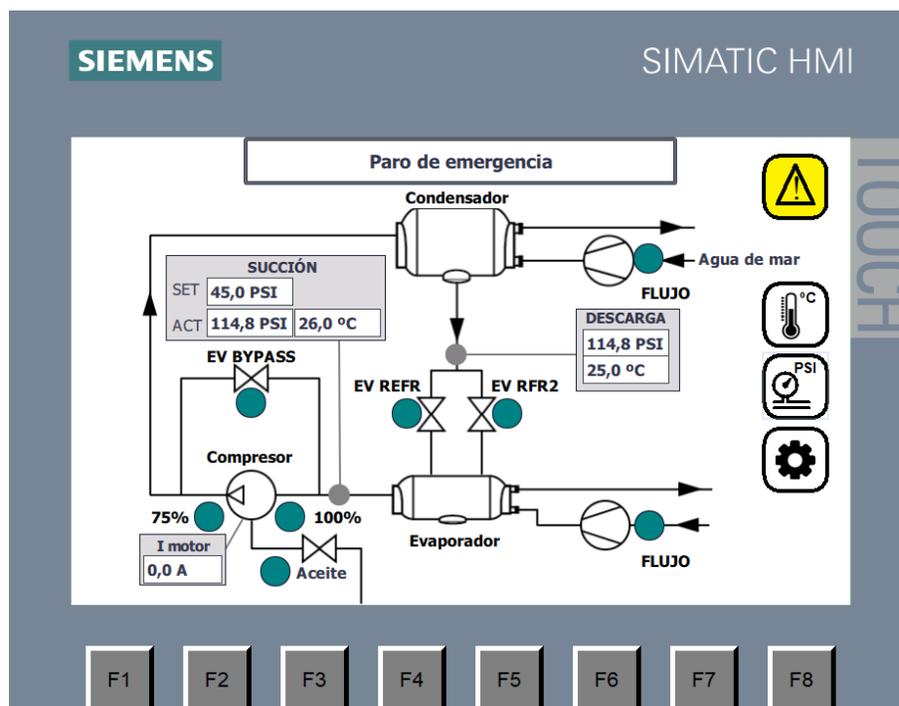
En la Figura 3.3 se muestra la ventana principal del sistema de refrigeración en un diagrama P&ID, empleado en un entorno marino. El ciclo sigue los siguientes pasos:

- 1. Compresor:** El proceso se inicia en el compresor, donde el refrigerante en estado gaseoso es aspirado a baja presión y luego comprimido. En el diagrama, se observa que el compresor puede operar al 75% o 100% de su capacidad.
- 2. Válvula de bypass (EV BYPASS):** Permite al refrigerante circular directamente desde la salida del compresor de vuelta a su entrada, evitando el paso por el condensador y el evaporador. Esta válvula se utiliza para el control del flujo o como medida de protección en ciertas condiciones operativas.
- 3. Condensador:** El refrigerante, una vez comprimido, se dirige al condensador, donde es enfriado mediante el agua de mar que circula a través de este equipo. El condensador tiene la función de convertir el refrigerante de su estado gaseoso a líquido, liberando calor al agua de mar en el proceso.
- 4. Válvulas de control de refrigerante (EV REFR y EV RFR2):** Después del condensador, el refrigerante líquido es enviado al evaporador a través de las válvulas de control EV REFR y EV RFR2, las cuales regulan el flujo hacia el evaporador.
- 5. Evaporador:** Dentro del evaporador, el refrigerante se expande y se evapora, absorbiendo calor y creando el efecto refrigerante necesario para enfriar el agua.

6. **Retorno al compresor:** Luego de pasar por el evaporador, el refrigerante regresa al compresor en estado gaseoso para reiniciar el ciclo de refrigeración.
7. **Monitoreo y control:** El sistema incluye mediciones clave de presión y temperatura tanto en la succión como en la descarga, esenciales para su control y operación segura. Por ejemplo, la presión de succión y descarga en su estado inicial antes de dar marcha se mantienen en elevadas en un margen similar de 114,8 PSI, el set Point que es 45 PSI sería la presión ideal en la succión para que el sistema enfríe con regularidad, recordando que dichos valores pueden variar dependiendo de cada sistema en particular. Cuando la temperatura de salida de agua llegue a -1°C el compresor se debe apagar automáticamente.

Figura 3.3

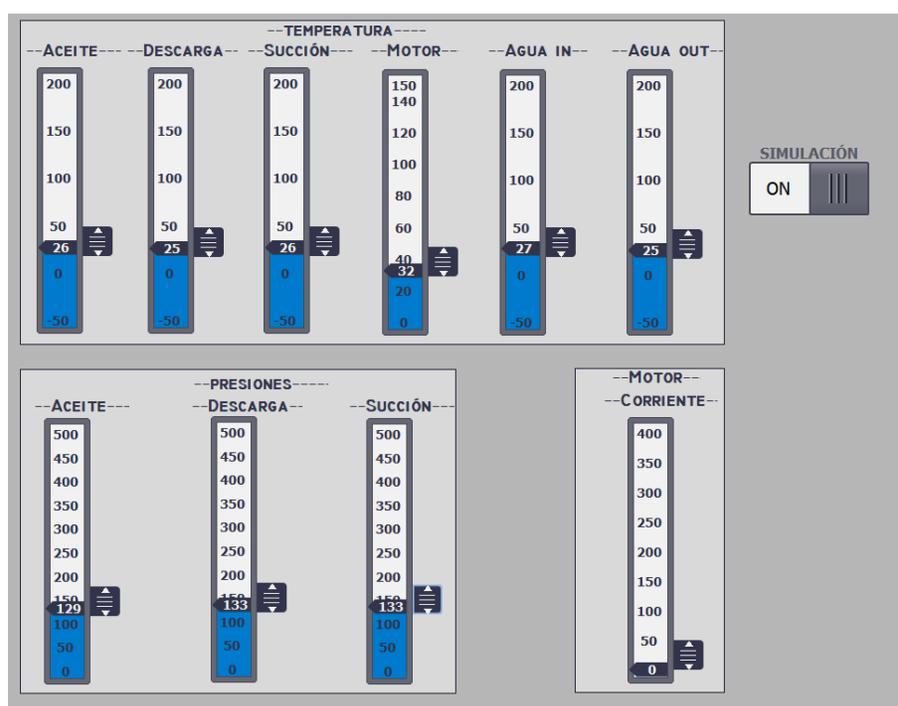
Pantalla principal



En la Figura 3.4 se realizó una simulación de las temperaturas y presiones del sistema con la finalidad de tener una idea general del monitoreo de señales relevantes. Cuando la corriente del motor es 0A quiere decir que el sistema está apagado y las presiones iniciales de descarga y succión son similares en este caso 133 PSI, la presión de aceite también se mantiene alta en 129 PSI. Todas las temperaturas inicialmente están al ambiente.

Figura 3.4

Simulación de presiones y temperaturas



En la Figura 3.5 se observa que la corriente del motor es de 58 A, lo que indica que el compresor ha arrancado y se encuentra trabajando al 50% de su capacidad durante un periodo de 15 minutos. En este tiempo, las presiones en el sistema empiezan a experimentar cambios, en específico la presión de succión del chiller, la cual disminuye gradualmente hasta llegar al set point que es 45 PSI. De igual manera, en la Figura 3.6 se evidencian variaciones en las temperaturas, por ejemplo, el aceite, descarga y motor empiezan a calentarse, mientras que las temperaturas del

evaporador, entrada y salida de agua muestran una disminución progresiva. Es importante destacar que siempre se mantiene un margen de 2°C entre las temperaturas de entrada y salida de agua.

Figura 3.5

Simulación de presiones cuando el compresor trabaja al 50%

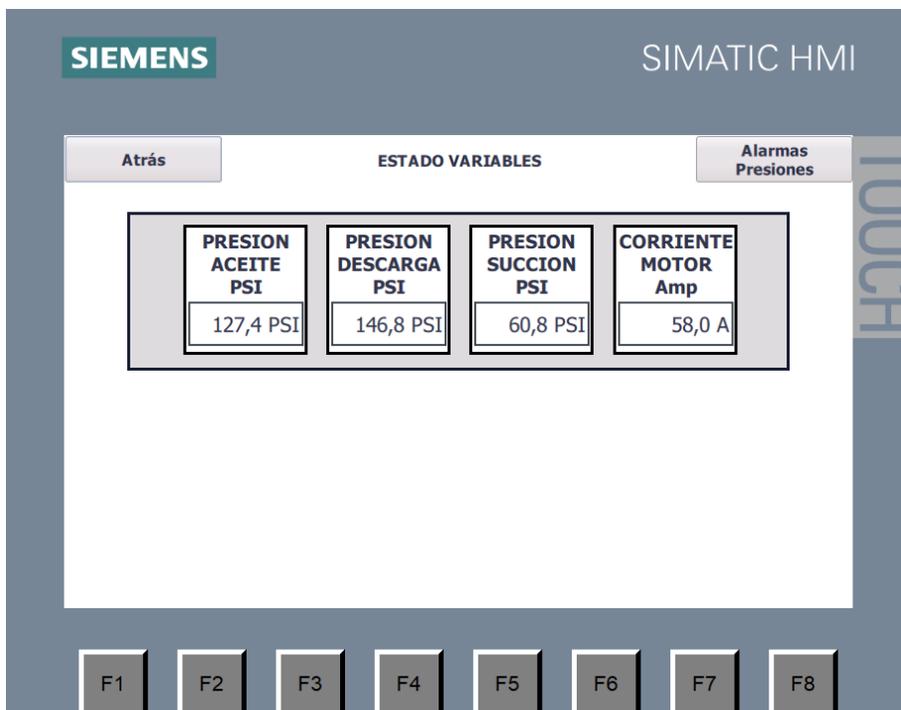
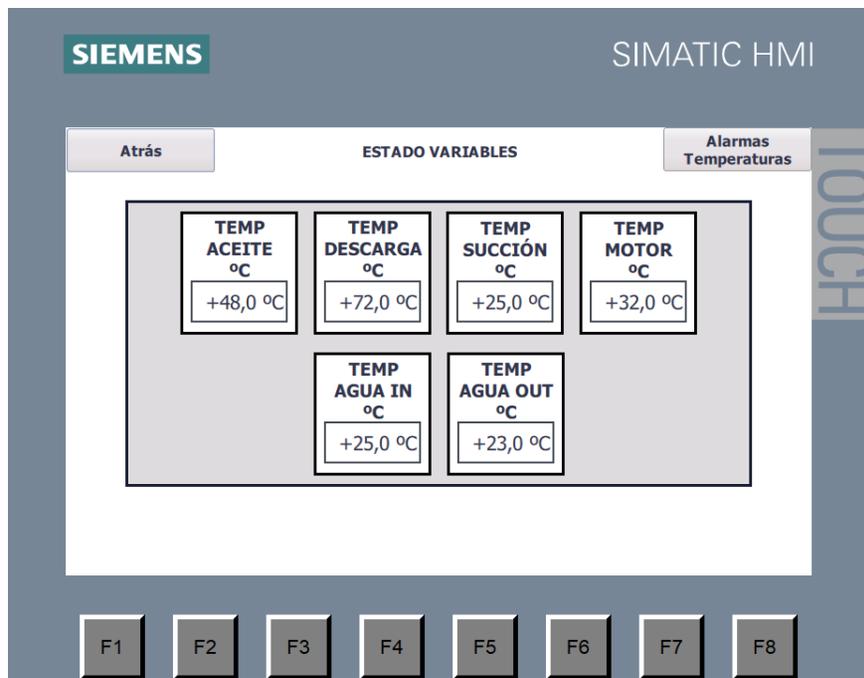


Figura 3.6

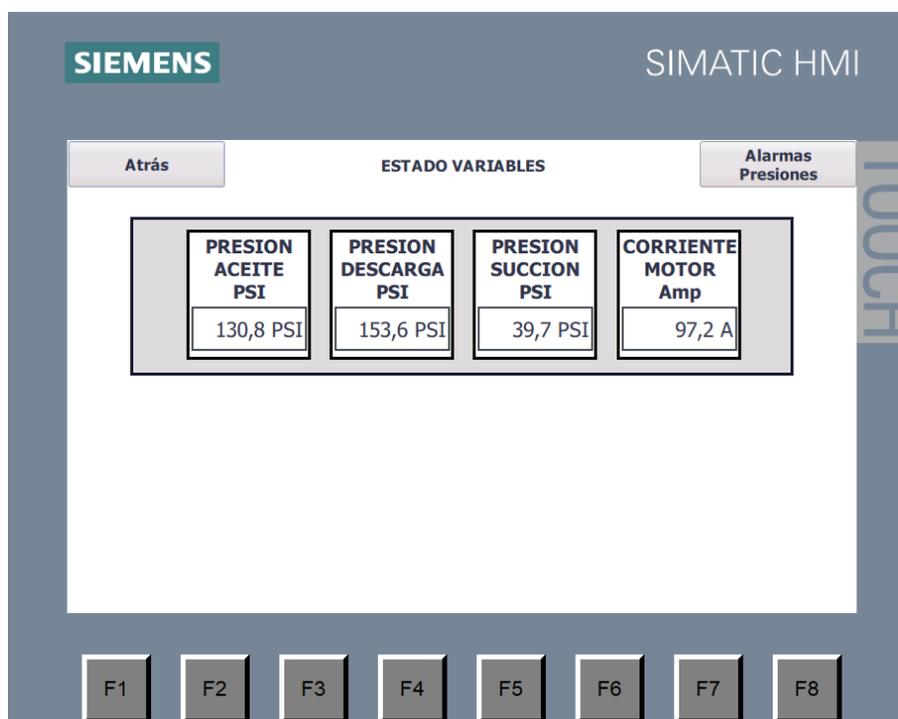
Simulación de temperaturas cuando el compresor trabaja al 50%



En la Figura 3.7, después de 30 min aproximadamente se activa el compresor al 100% de su capacidad consumiendo 97,2A y empieza a disminuir la presión de succión de manera más rápida, por ejemplo, en la imagen se observa que la succión está en 39,7 PSI y además la descarga y aceite se han elevado un poco.

Figura 3.7

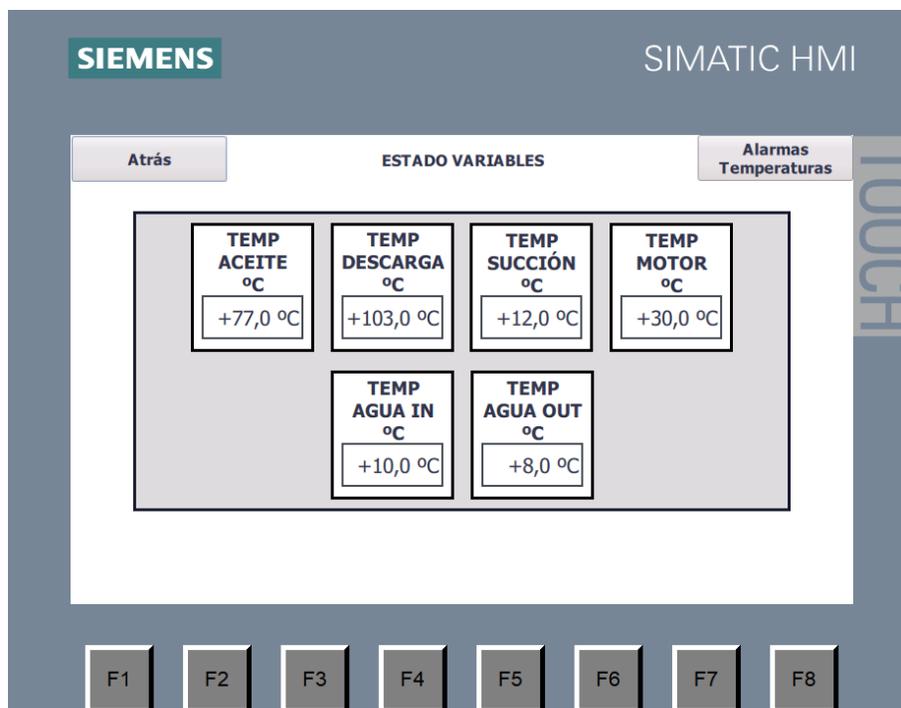
Simulación de presiones cuando el compresor trabaja al 100%



En la Figura 3.8, las temperaturas siguen el mismo patrón previamente descrito. Luego de aproximadamente 50 minutos de funcionamiento, la temperatura de salida comienza a enfriar hasta que pueda alcanzar el punto de 4°C, momento en el cual compresor reduce su capacidad de funcionamiento del 100% al 75%. A medida que la temperatura sigue disminuyendo gradualmente hasta alcanzar los 0°C, el compresor ajusta su operación al 50%. Finalmente, cuando la temperatura desciende a -1°C, el sistema se apaga automáticamente.

Figura 3.8

Simulación de temperaturas cuando el compresor trabaja al 100%



3.4 Análisis de costo

En la Tabla 3.1 se detallan los elementos y costos correspondientes a la implementación del tablero eléctrico de control. A parte se debe presupuestar la mano de obra, servicio de instalación y servicio de ingeniería inversa.

Tabla 3.1*Detalle de costos de componentes*

Descripción	Cant.	V.U.	Unidad	Subtotal
6ES7214-1AG40-0XB0 CPU 1214C DC/DC/DC, alimentación 24VDC. Incorpora 14 DI a 24 VDC, 10 DO a 24VDC, 2 AI (0- 10VDC).	1	\$943,00	Unidad	\$943,00
6ES7231-4HF32-0XB0 SM1231 Módulo de señal de 8 entradas analógicas. Configurables como V/mA.	1	\$978,00	Unidad	\$978,00
6ES7231-5PF32-0XB0 SM1231 Módulo de señal de 8 entradas analógicas para sensores tipo RTD	1	\$1.340,00	Unidad	\$1.340,00
6AV2123-2GB03-0AX0 Simatic Basic Panel KTP700 a color, pantalla de 7", táctil y 8 teclas de función.	1	\$1.683,00	Unidad	\$1.683,00
MEAN WELL AC/DC DIN RAIL SUPPLY 24V 240W 10AMP	1	\$230,00	Unidad	\$230,00
MEAN WELL AC/DC DIN RAIL SUPPLY 24V 120W 5AMP	1	\$140,00	Unidad	\$140,00
BREAKER 2P SIEMENS	4	\$25,00	Unidad	\$100,00
BREAKER 3P SIEMENS	1	\$25,00	Unidad	\$25,00
CONTACTOR SIEMENS 12AMP BOBINA 24VDC	3	\$154,00	Unidad	\$462,00
Canaletas	5	\$15,00	Metro	\$75,00
RELES 24VDC RIEM DIM	5	\$30,00	Unidad	\$150,00
Riel DIM	5	\$10,00	Metro	\$50,00
Cable control #16 AWG	100	\$1,30	Metro	\$130,00
Cable fuerza #12 AWG	100	\$2,20	Metro	\$220,00
Terminales tipo punta	100	\$0,25	Metro	\$25,00
Termianles tipo punta dobles	100	\$0,25	Metro	\$25,00

Borneras de conexión	50	\$4,30	Unidad	\$215,00
Elementos de maniobra, seguridad, etiquetas, marquillado, diseño de diagrama eléctrico	1	\$300,00	Unidad	\$300,00
Tablero	1	\$800,00	Unidad	\$800,00
Switch de flujo Jhonson Control Chiller y Condensador	2	\$180,00	Unidad	\$360,00
Sensores de presión	2	\$600,00	Unidad	\$1.200,00
Sensores de temperatura PT100	5	\$200,00	Unidad	\$1.000,00
Sensor de corriente de motor 400AMP a 0 - 10Vdc	1	\$200,00	Unidad	\$200,00
Arrancador de velocidad 440V	1	\$3.220,00	Unidad	\$3.220,00
Servicio de ingeniería inversa al tablero actual (identificación de señales de entrada, salida, sensores y funcionamiento del sistema), diseño de nuevo plano electrónico con mejoras propuestas, programación de pantallas en HMI y CPU Siemens	1	\$3.800,00	Unidad	\$3.800,00
SUBTOTAL				\$17.671,00

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

- Se realizó el diseño de un tablero de control especializado para el sistema de refrigeración de un barco pesquero, logrando que las cámaras de almacenamiento de pesca alcancen una temperatura adecuada de refrigeración aproximadamente de -1° C, mejorando significativamente la preservación de los productos pesqueros.
- El uso del arrancador suave como sistema de arranque para el compresor de tornillo proporcionó un inicio gradual y controlado del motor eléctrico. Este tipo de arrancador ajustó la alta corriente de arranque que se producía al encender el compresor, lo cual redujo los fallos tanto en el sistema eléctrico como en el mecánico, contribuyendo a la prolongación de la vida útil de los equipos involucrados.
- Se planteó y ejecutó una mejora en la comunicación entre los elementos de control mediante la implementación de cableado apantallado para las señales analógicas, lo que disminuyó significativamente las interferencias electromagnéticas. Dichas interferencias se producen por la corriente que manejan las señales analógicas de 4 a 20 mA que pueden ser interferidas por las distancias largas entre los elementos y otro tipo de cableado que exista en el barco.
- La programación del PLC permitió agilizar la configuración manual de parámetros operativos, como la activación de electroválvulas, la calibración de señales analógicas y la gestión de alarmas, optimizando así el rendimiento general del sistema de refrigeración.
- El diseño de interfaz de la pantalla HMI brindó el monitoreo y control en tiempo real de las temperaturas y presiones del aceite y agua que circulan en el sistema, asegurando un seguimiento constante de los parámetros críticos. Además, la inclusión de un historial de

alarmas por estos mismos parámetros y por la corriente del motor eléctrico del compresor facilitó la identificación y resolución de posibles fallos.

4.1.2 Recomendaciones

- Se recomienda la implementación de un sistema de detección de amoníaco en las áreas críticas donde opera el sistema de refrigeración. Este sistema, compuesto por sensores especializados, permitirá identificar de manera temprana cualquier fuga de amoníaco, un gas que, aunque común en refrigeración industrial, puede ser altamente peligroso en concentraciones elevadas. La detección oportuna de amoníaco permitirá la activación de alarmas y pondrá en marcha protocolos de seguridad. Además, es esencial que este sistema esté integrado con el tablero de control existente, asegurando una respuesta automatizada y eficaz ante cualquier incidencia.
- Se sugiere la instalación de una sirena de alarma en el sistema para alertar de manera inmediata y audible al personal en caso de cualquier fallo o situación de emergencia, como presiones y temperaturas muy altas. Esta sirena o baliza debe ser lo suficientemente potente para ser escuchada en todas las áreas clave del barco y debe estar conectada al tablero de control, activándose automáticamente cuando se detecten condiciones peligrosas.

Referencias

- [1] IPIAP, “Informe de rendición de cuentas 2023”, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2024/04/Informe-de-Rendicion-de-Cuentas-IPIAP-2023-signed.pdf>
- [2] Pro-Ecuador, “Pesca”. Accedido el 14 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.proecuador.gob.ec/category/sector/pesca/>
- [3] ASOBANCA, “Guía de procesamiento de pescado”, 2022. Accedido el 20 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://asobanca.org.ec/wp-content/uploads/2022/12/6.-Guia-Procesamiento-de-pescado.pdf>
- [4] Servicio Ecuatoriano de Normalización, “Los reglamentos técnicos del INEN promueven la eficiencia energética en el país”, 2022. Accedido el 20 de junio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.normalizacion.gob.ec/los-reglamentos-tecnicos-del-inen-promueven-la-eficiencia-energetica-en-el-pais/>
- [5] Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, “Sector pesquero artesanal y acuícola incrementa su competitividad a través de la investigación, innovación y desarrollo de productos”, 2020. Accedido el 22 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.produccion.gob.ec/sector-pesquero-artesanal-y-acuicola-incrementa-su-competitividad-a-traves-de-la-investigacion-innovacion-y-desarrollo-de-productos/>
- [6] CNP – Ecuador Cámara Nacional de Pesquería, “Los Sistemas de Refrigeración Factor Importante para la Rentabilidad de la Actividad Pesquera”, 2018. Accedido el 22 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://camaradepesqueria.ec/sistemas_refrigeracion/
- [7] Ministerio de Comercio Exterior, “Protocolo técnico, logístico y de seguridad para la exportación de pescado fresco, congelado y enlatado”. Accedido el 22 de junio de 2024.

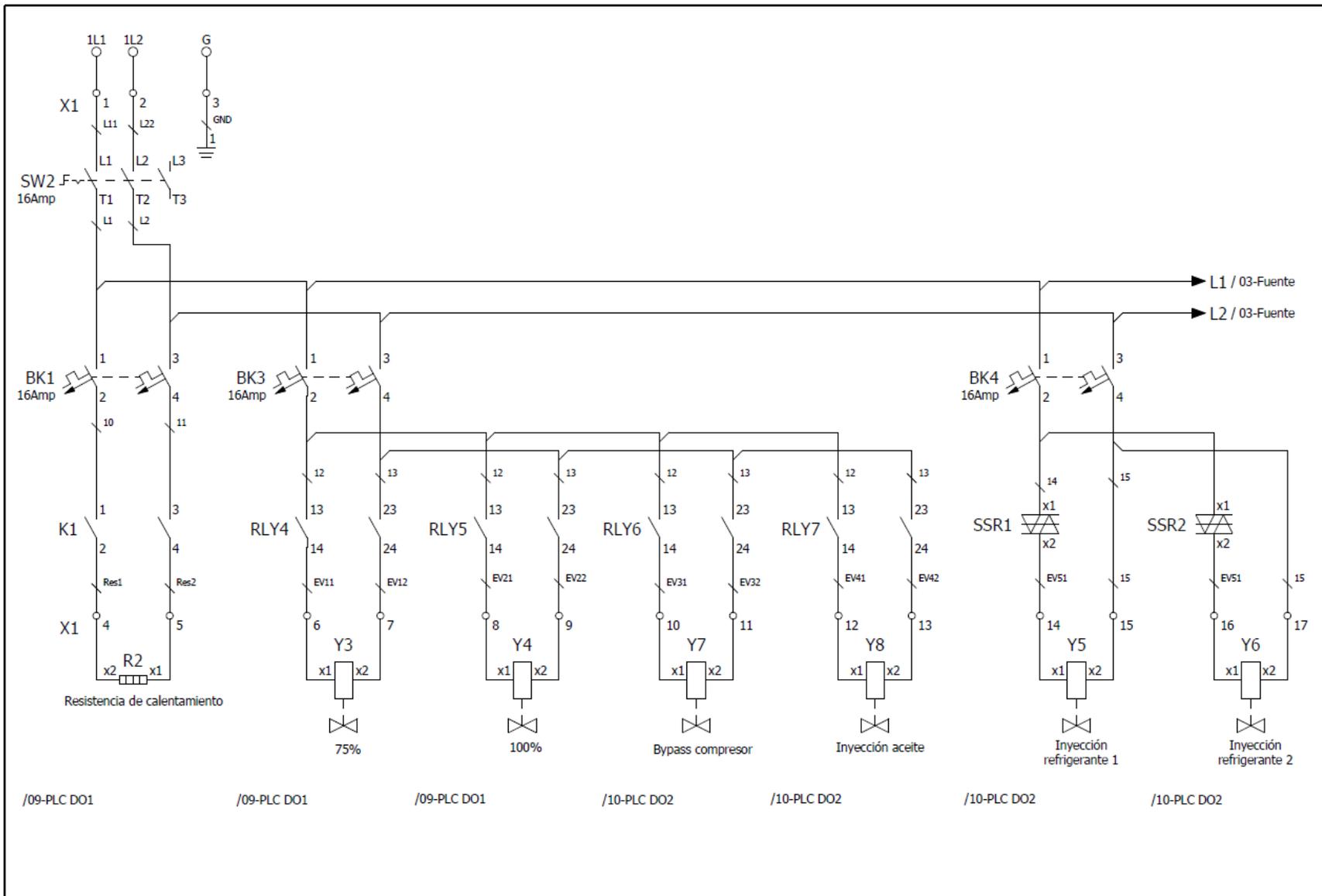
- [En línea]. Disponible en: <http://logistica.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/05/Protocolo-TLS-Pesca-Revisado-1.pdf>
- [8] C. H. B, Ed., Thermodynamics and an introduction to thermostatics, 2a ed. New York: Wiley, 1985.
- [9] C. Peña Matute, «[Guía Básica] Sistema de Refrigeración,» 2016.
- [10] Freeo, “¿Cómo funciona el ciclo de refrigeración industrial? - Freeo”. Accedido el 13 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://freeo.com.mx/como-funciona-el-ciclo-de-refrigeracion-industrial/>
- [11] W. C. Whitman y W. M. Johnson, Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado, 2000.
- [12] Inditer S.A, “Componentes sistemas de refrigeración industrial”, 2023. Accedido el 13 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://inditer.es/blog/componentes-en-refrigeracion-industrial/>
- [13] Atlas Copco, “Compresor de tornillo, ¿Cómo funciona?”, 2023. Accedido el 17 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/air-compressor-blog/compresor-de-tornillo-como-funciona>
- [14] Angelui, “Compresores de Proceso a tornillos”. SlideShare. Accedido el 17 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/compresores-de-proceso-a-tornillos/61794747>
- [15] MAYEKAWA Americas (MYCOM), “Chiller RSW – Sistema de Refrigeración para Agua de Mar”, 2022. Accedido el 17 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://americas.mayekawa.com/americas/mm/news/chiller-rsw-sistema-de-refrigeracion-para-agua-de-mar/>

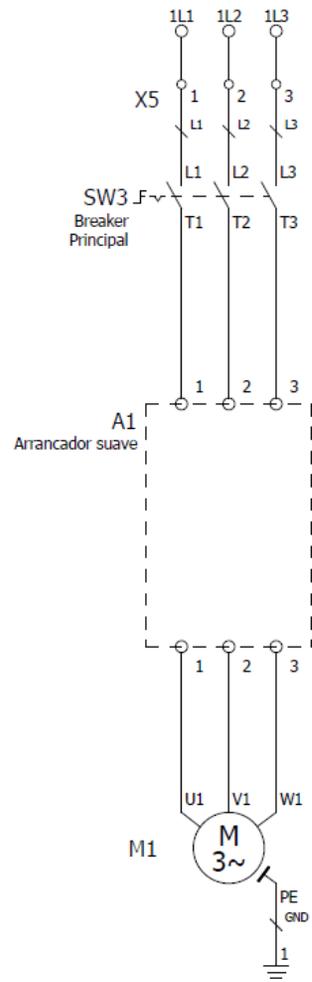
- [16] J. Castillo y E. Marrufo, Instalaciones eléctricas básicas. McGraw-Hill Ciclos Form., 2018, pp. 288-303.
- [17] R. Caputo. “Nota técnica: Motores, conceptos básicos y métodos de arranque. Parte II”. Editores. Accedido el 13 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.editorssl.com.ar/revistas/ie/297/caputo_motores_conceptos_basicos
- [18] Pochteca Chile, “Gases refrigerantes utilizados en refrigeración”, 2023. Accedido el 19 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://chile.pochteca.net/cuales-son-los-gases-refrigerantes-mas-utilizados-en-refrigeracion/>
- [19] M. Rodríguez. “El amoníaco como refrigerante: usos, funcionamiento y ventajas”. Canal Gestión Integrada, 2023. Accedido el 19 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.inesem.es/revistadigital/gestion-integrada/refrigeracion-con-amoniaco/>
- [20] Material Mundial Grados, “Acero inoxidable AISI 304 ficha tecnica, propiedades, densidad, dureza”. Accedido el 17 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.materialmundial.com/acero-inoxidable-ss-astm-sae-aisi-304-ficha-tecnica/>
- [21] Auer Signal - Sichere Signaltechnik , “Grados de protección | auersignal.com”. Accedido el 24 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.auersignal.com/es/datos-tecnicos/normas/grados-de-proteccion-ip/#:~:text=El%20grado%20de%20protecci%C3%B3n%20IP66,los%20fuertes%20chorros%20de%20agua.>
- [22] Welcome - Industry Mall - Siemens WW, “Detalles del producto - Global eBusiness - Siemens WW”. Accedido el 17 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7214-1AG40-0XB0>

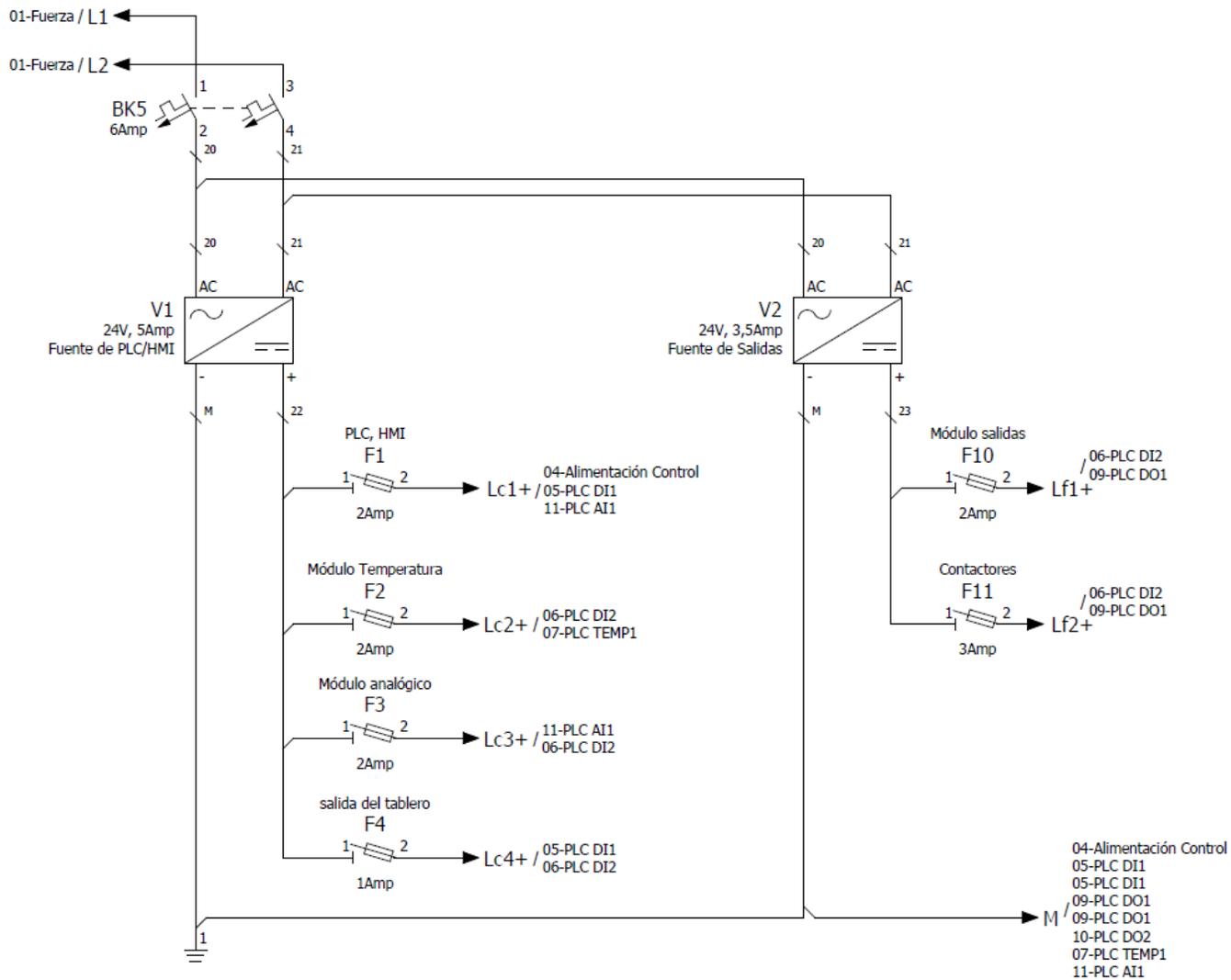
- [23] Welcome - Industry Mall - Siemens WW, “Detalles del producto - Global eBusiness - Siemens WW”. Accedido el 17 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7231-4HF32-0XB0>
- [24] PLC-CITY, “Siemens-simatic-s7-1200-analog-input-modules”. Accedido el 17 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-simatic-s7-1200-analog-input-modules/6es7231-5pf32-0xb0.html>
- [25] Farnell, “Pantalla táctil SIEMENS 6AV2123-2GB03-0AX0”. Accedido el 17 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.farnell.com/siemens/6av2123-2gb03-0ax0/panel-hmi-6-tft-800-x-480-p-xeles/dp/2828927>
- [26] Lovato Electric -Energy and Automation, “Lovato Electric product: ADXL0250600”. Accedido el 17 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://catalogue.lovatoelectric.com/es_es/Soft-starter-ADXL-type-with-integrated-by-pass-relay-Auxiliary-supply-100-240VAC

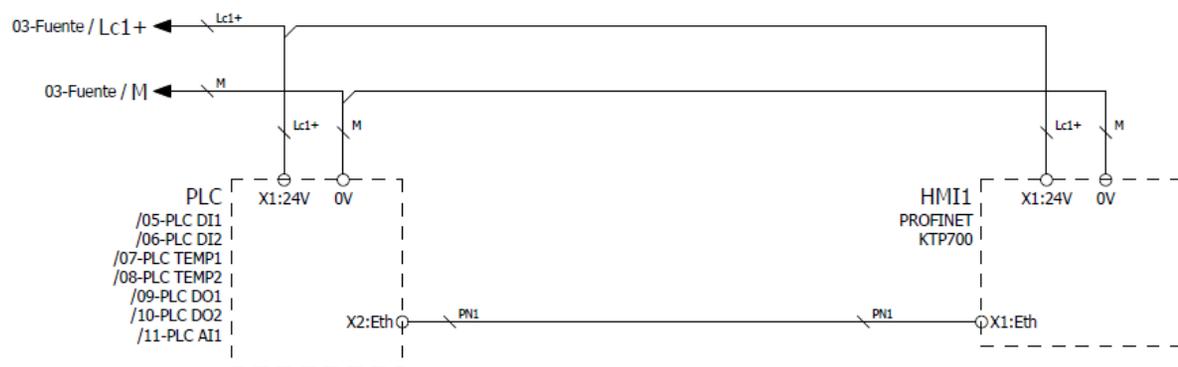
Apéndices

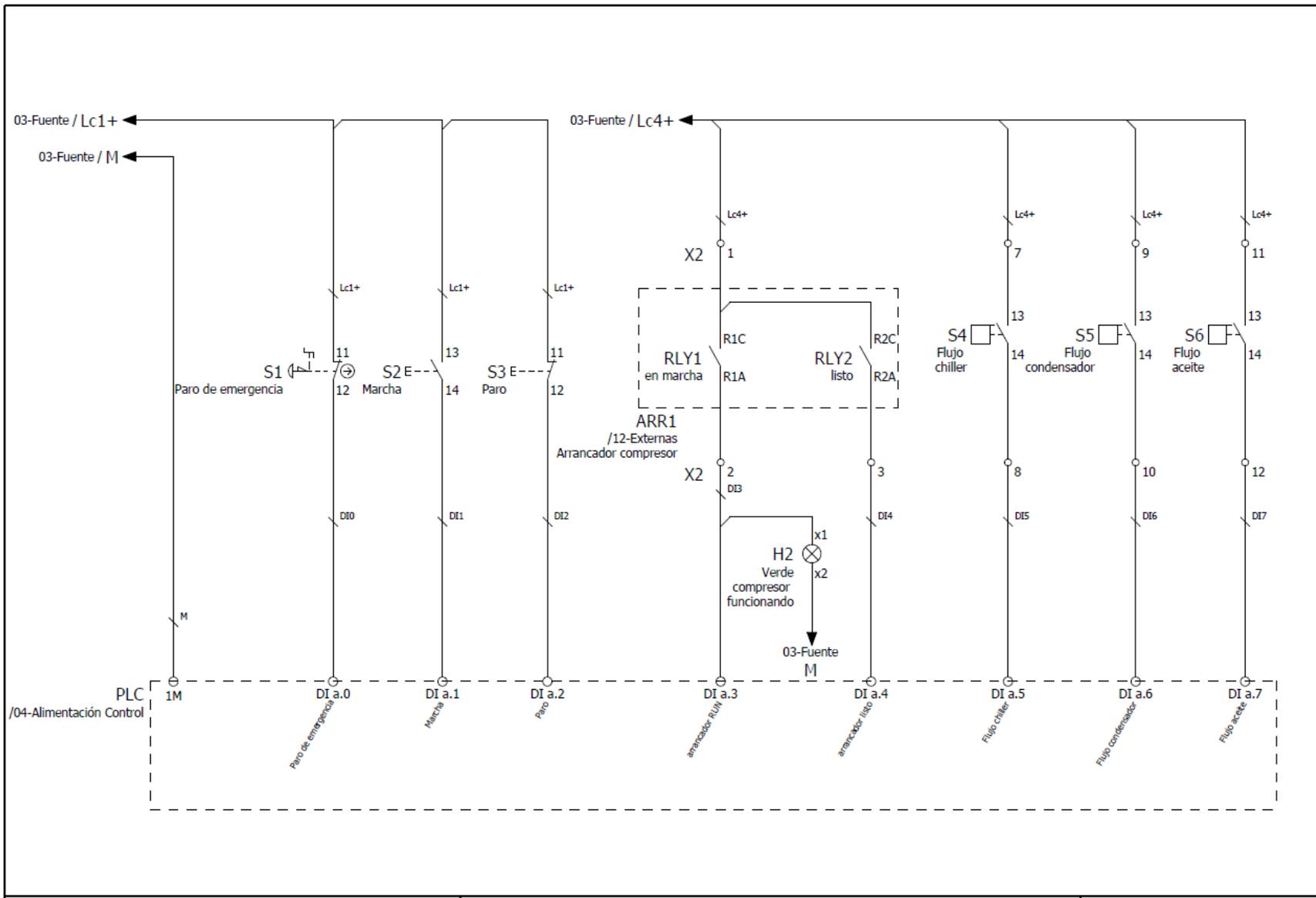
Apéndice A
Planos eléctricos

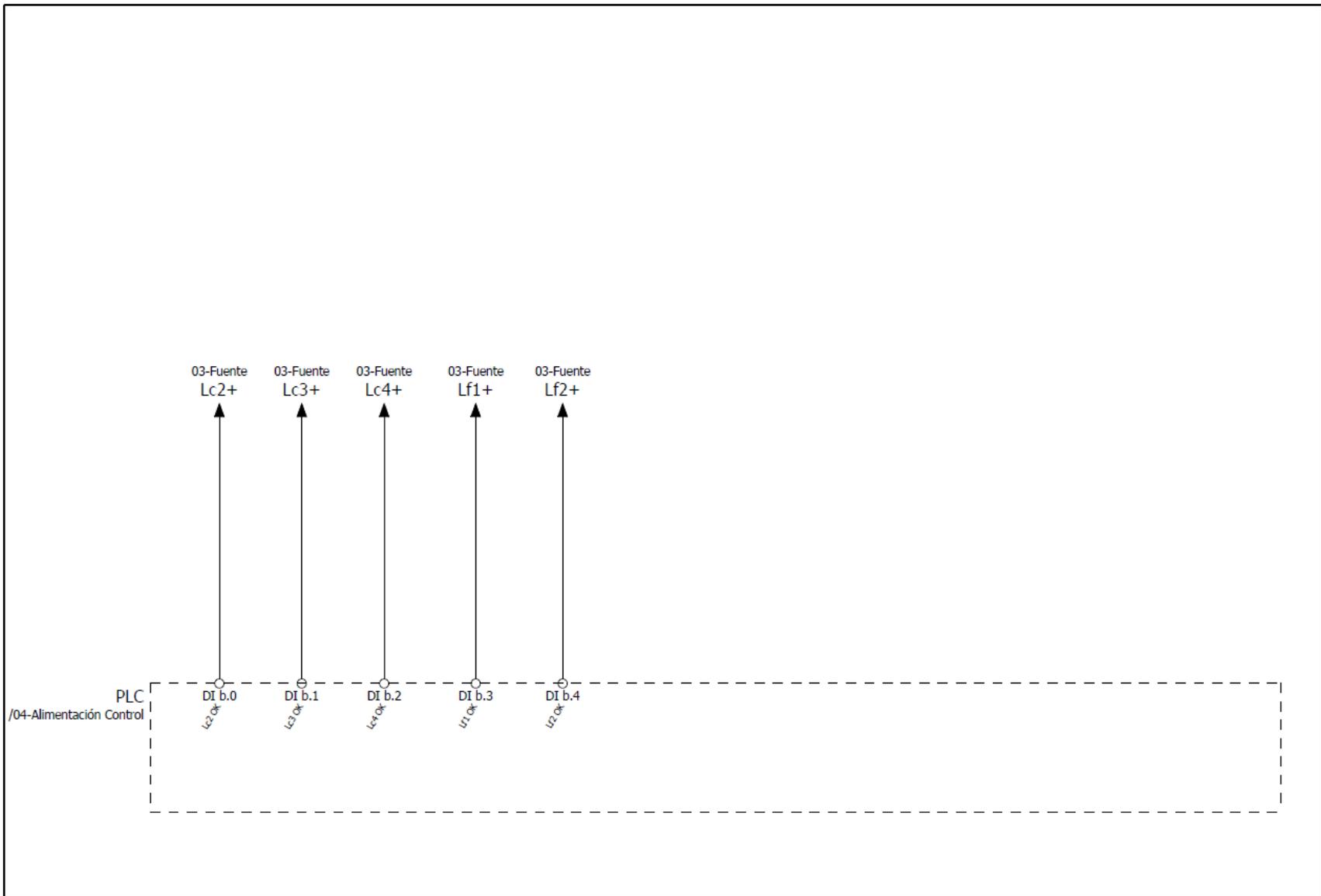


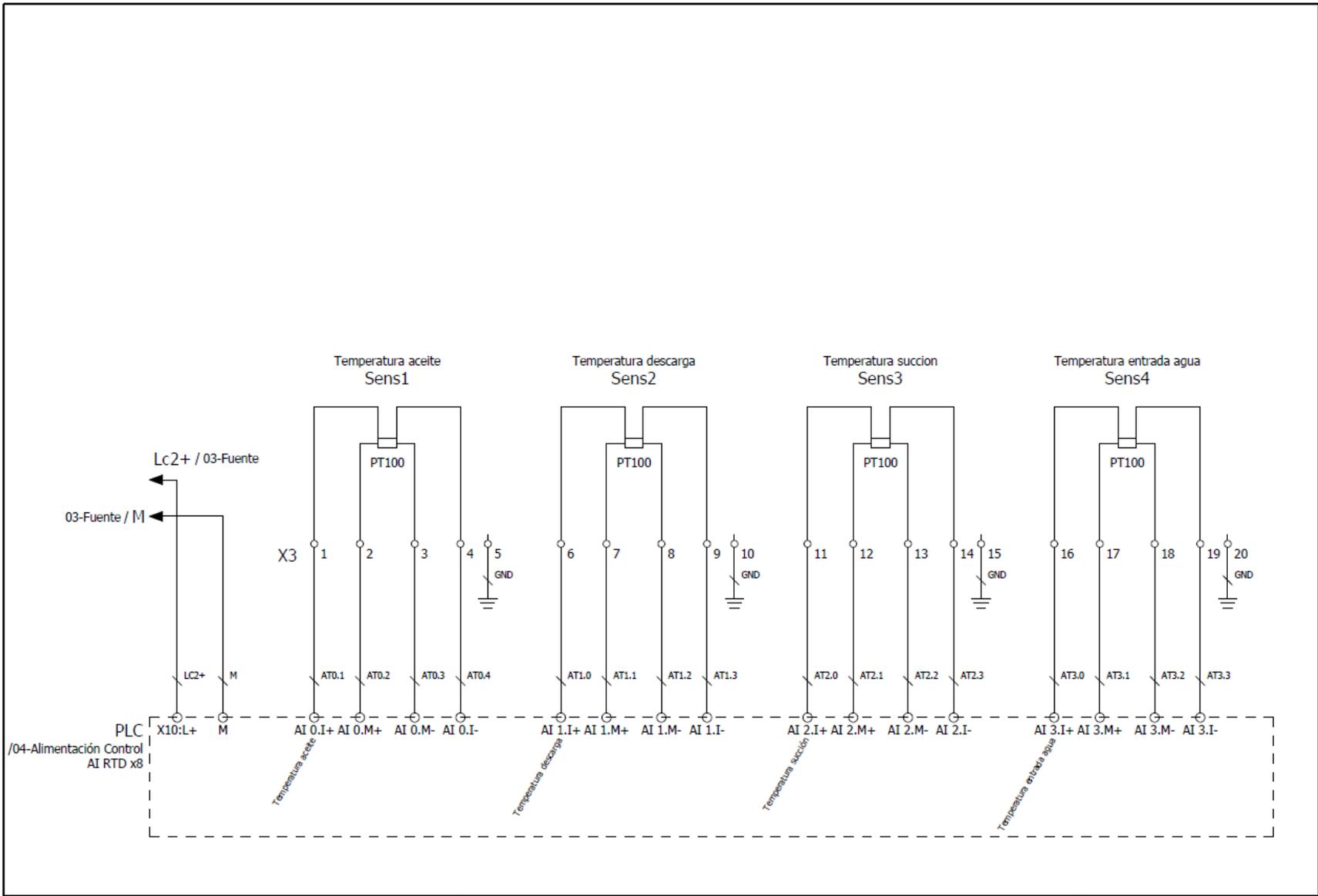


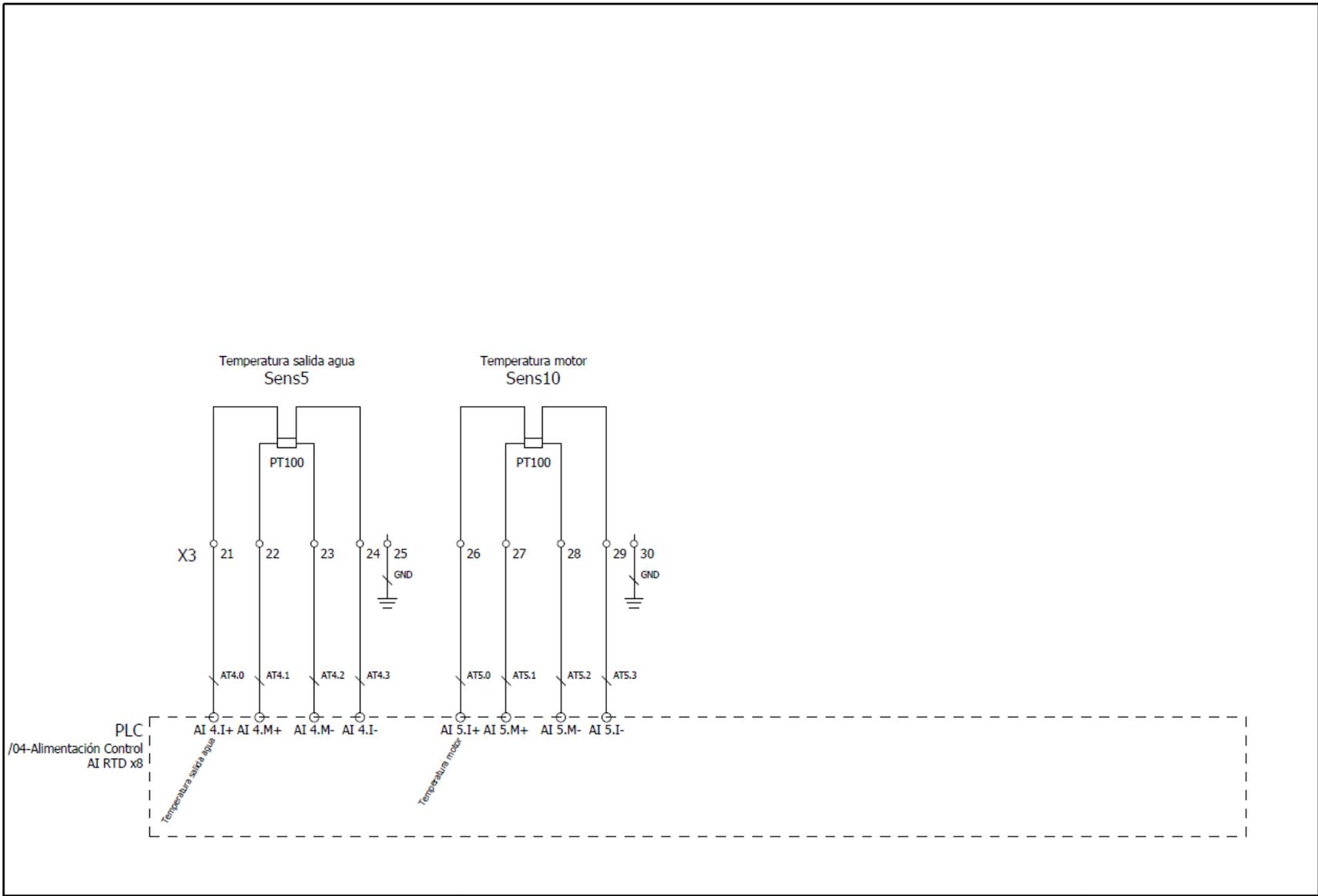


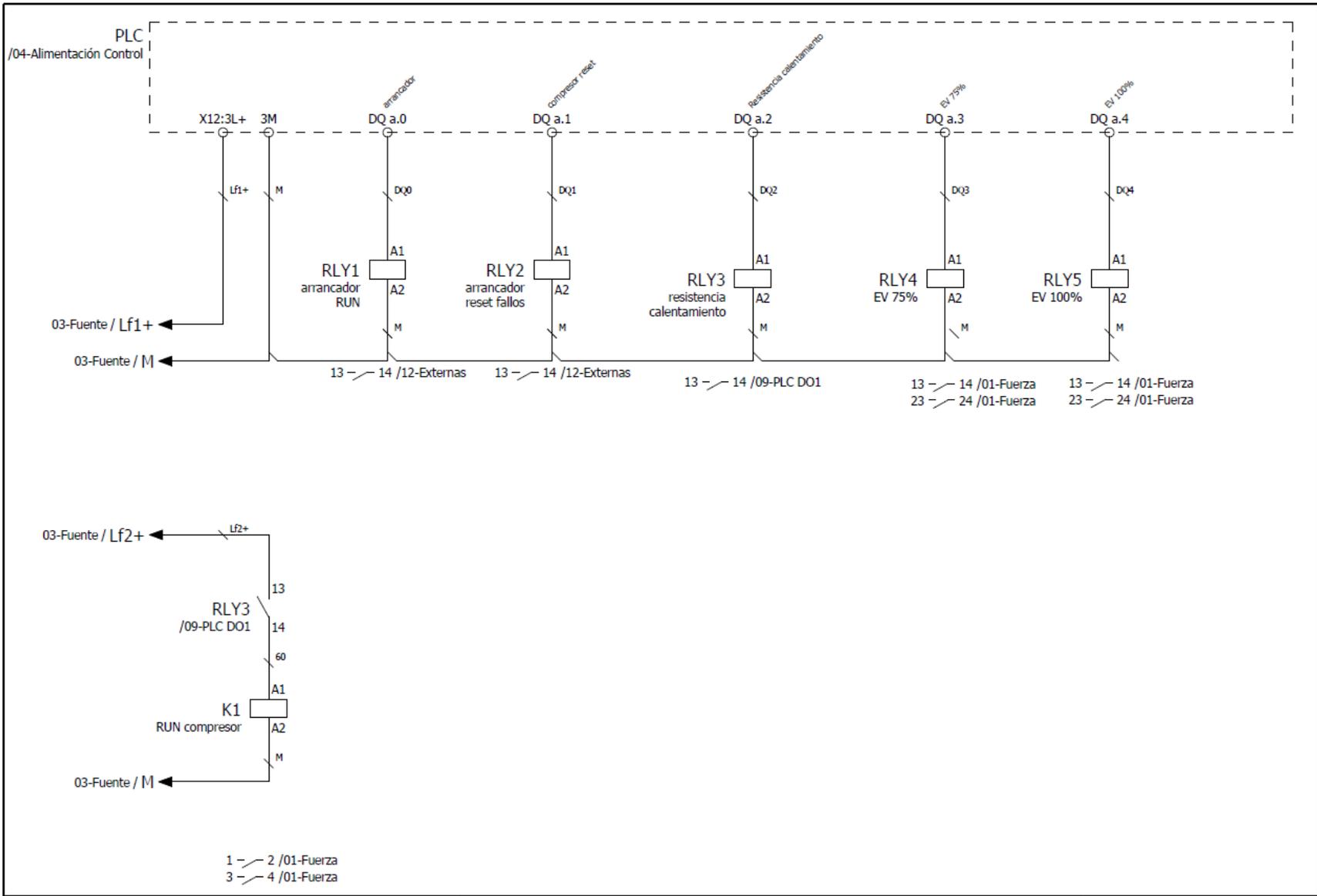


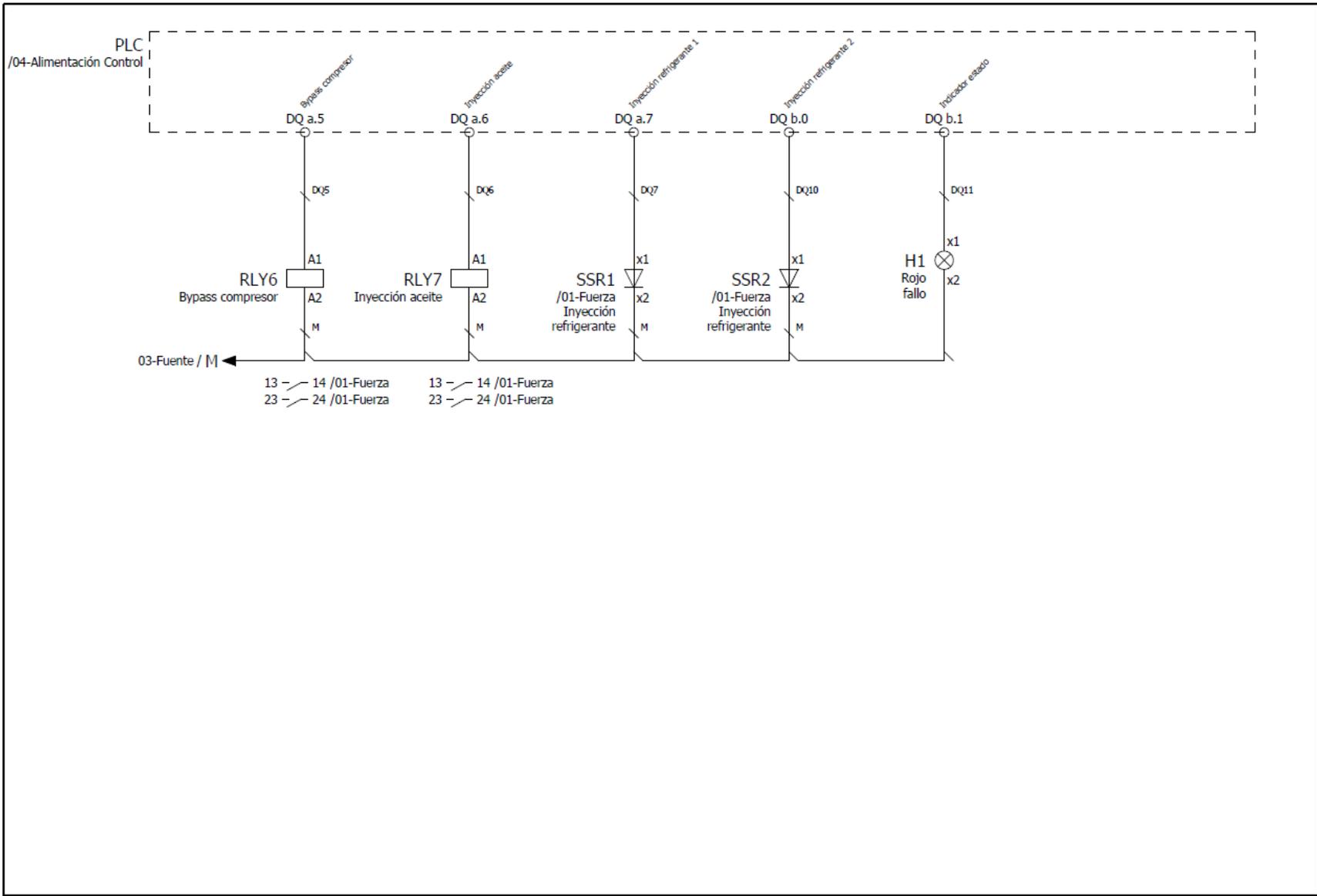


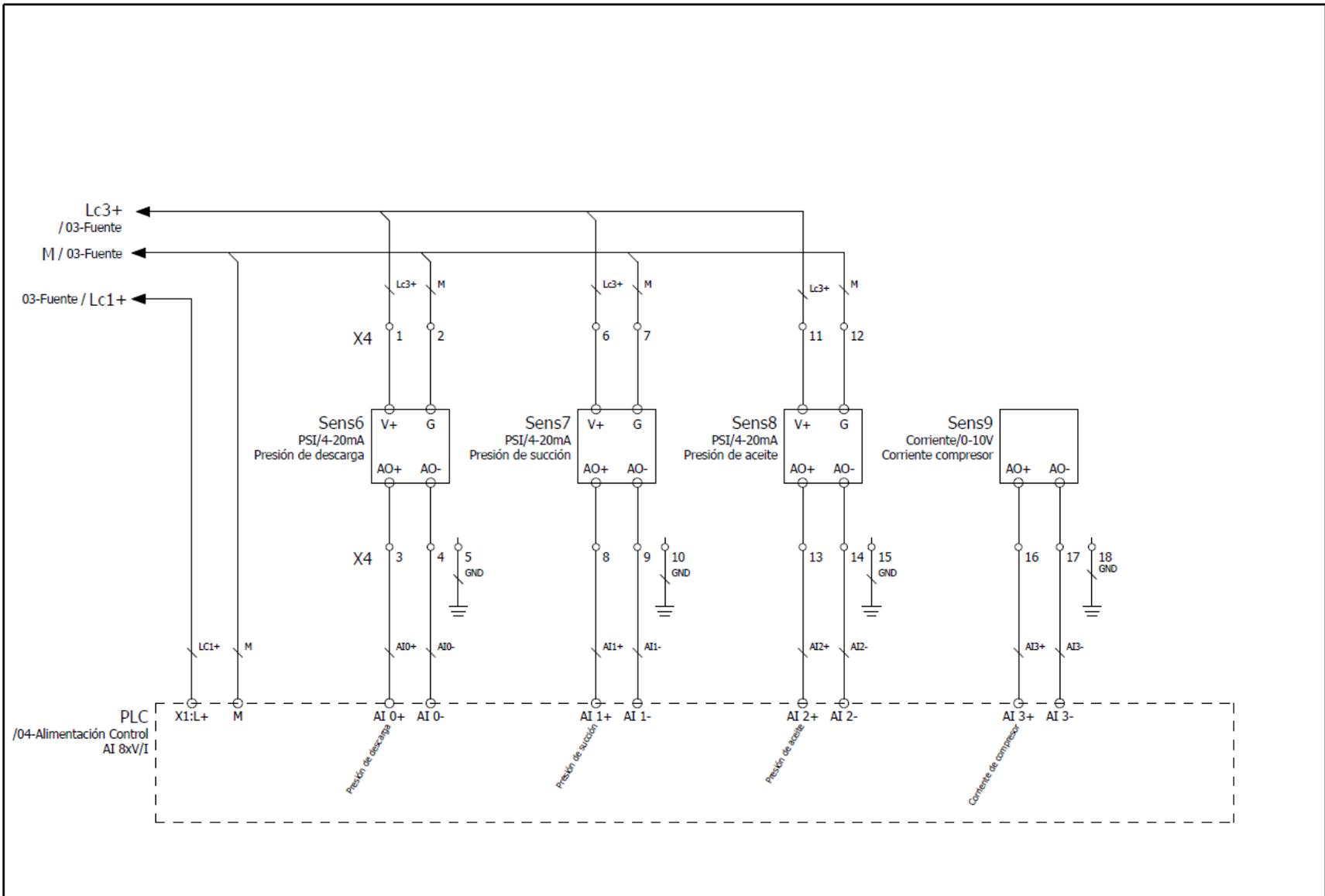


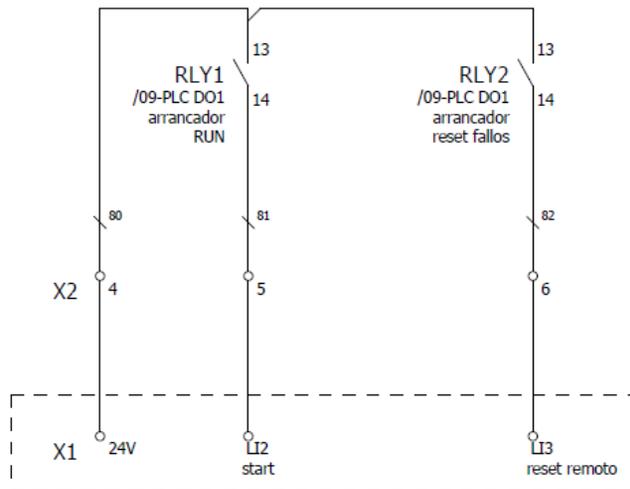












ARR1
/05-PLC DI1
Arrancador compresor

Bornes =+-X1		
N borne	Cable	Lugar
1	L11	/01-Fuerza
2	L22	/01-Fuerza
3	GND	/01-Fuerza
4	Res1	/01-Fuerza
5	Res2	/01-Fuerza
6	EV11	/01-Fuerza
7	EV12	/01-Fuerza
8	EV21	/01-Fuerza
9	EV22	/01-Fuerza
10	EV31	/01-Fuerza
11	EV32	/01-Fuerza
12	EV41	/01-Fuerza
13	EV42	/01-Fuerza
14	EV51	/01-Fuerza
15	15	/01-Fuerza
16	EV51	/01-Fuerza
17	15	/01-Fuerza

Bornes =+-X2		
N borne	Cable	Lugar
1	Lc4+	/02-Fuente
2	DI3	/04-PLC DI1
3	DI4	/04-PLC DI1
4	80	/10-Externas
5	81	/10-Externas
6	82	/10-Externas
7	Lc4+	/02-Fuente
8	DI4	/04-PLC DI1
9	Lc4+	/02-Fuente
10	DI4	/04-PLC DI1
11	Lc4+	/02-Fuente
12	DI4	/04-PLC DI1

Bornes =+-X3		
N borne	Cable	Lugar
1	AT0.1	/06-PLC TEMP1
2	AT0.2	/06-PLC TEMP1
3	AT0.3	/06-PLC TEMP1
4	AT0.4	/06-PLC TEMP1
5	GND	/06-PLC TEMP1
6	AT1.0	/06-PLC TEMP1
7	AT1.1	/06-PLC TEMP1
8	AT1.2	/06-PLC TEMP1
9	AT1.3	/06-PLC TEMP1
10	GND	/06-PLC TEMP1
11	AT2.0	/06-PLC TEMP1
12	AT2.1	/06-PLC TEMP1
13	AT2.2	/06-PLC TEMP1
14	AT2.3	/06-PLC TEMP1
15	GND	/06-PLC TEMP1
16	AT3.0	/06-PLC TEMP1
17	AT3.1	/06-PLC TEMP1
18	AT3.2	/06-PLC TEMP1
19	AT3.3	/06-PLC TEMP1
20	GND	/06-PLC TEMP1
21	AT4.0	/07-PLC TEMP2
22	AT4.1	/07-PLC TEMP2
23	AT4.2	/07-PLC TEMP2
24	AT4.3	/07-PLC TEMP2
25	GND	/07-PLC TEMP2
26	AT5.0	/07-PLC TEMP2
27	AT5.1	/07-PLC TEMP2
28	AT5.2	/07-PLC TEMP2
29	AT5.3	/07-PLC TEMP2
30	GND	/07-PLC TEMP2

Bornes =+-X4		
N borne	Cable	Lugar
1	Lc3+	/02-Fuente
2	M	/02-Fuente
3	AI0+	/11-PLC AI1
4	AI0-	/11-PLC AI1
5	GND	/11-PLC AI1
6	Lc3+	/02-Fuente
7	M	/02-Fuente
8	AI1+	/11-PLC AI1
9	AI1-	/11-PLC AI1
10	GND	/11-PLC AI1
11	Lc3+	/02-Fuente
12	M	/02-Fuente
13	AI2+	/11-PLC AI1
14	AI2-	/11-PLC AI1
15	GND	/11-PLC AI1
16	AI3+	/11-PLC AI1
17	AI3-	/11-PLC AI1
18	GND	/11-PLC AI1

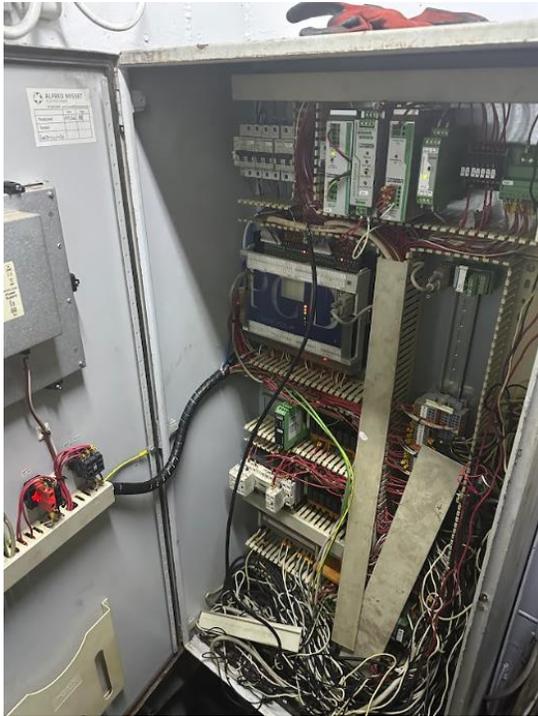
Apéndice B

A continuación, se muestran imágenes de los resultados en la implementación del trabajo mostrando un antes y después.

Cambio de electroválvulas y cableado



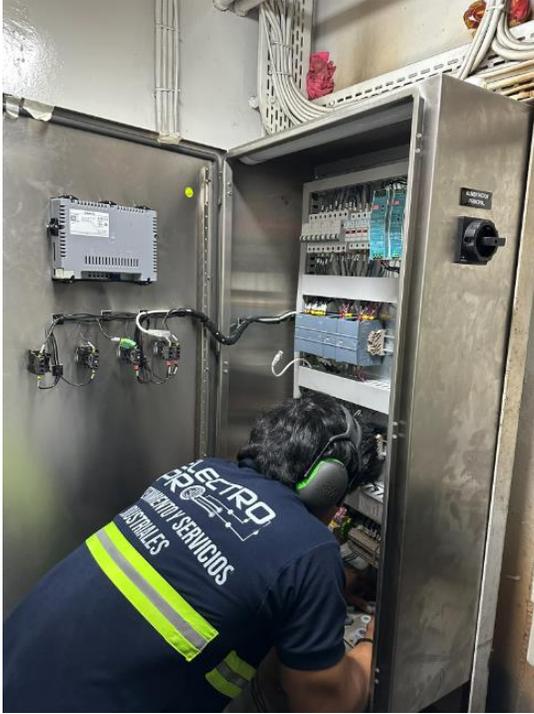
Tablero antiguo e instalación del tablero nuevo



Sensores de presión antiguos y nuevos sensores de presión



Conexiones eléctricas al nuevo tablero y arrancador suave implementado



Conexiones completas en el nuevo tablero y motor eléctrico del sistema acoplado al compresor

