

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diagnóstico y rediseño de una cámara de refrigeración experimental en la

FIMCP

INGE-2949

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Juan Antonio Tandazo Macas

Joel Enrique Veintimilla Espinoza

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a la memoria de mi padre, por su amor incondicional y por creer siempre en mí; sé que, donde estes, estarás orgulloso. A mi madre, por su valentía, fortaleza y apoyo en los momentos difíciles. A mi hermano y mi familia. A Matheus, quien estuvo a mi lado en una etapa difícil, compartiendo largas horas de estudio y desvelo, siendo mi soporte emocional y una gran compañía, siempre presente en mi corazón.

Juan Antonio Tandazo Macas.

Agradecimientos

Agradecemos de manera muy especial
al MSc. Frank Porras y al MSc. José
Macías, nuestros tutores, por su guía,
dedicación y paciencia a lo largo de
todo el proyecto integrador.

Declaración Expresa

Nosotros Joel Enrique Veintimilla Espinoza y Juan Antonio Tandazo Macas 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 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, 27 de mayo del 2025.


Joel Enrique Veintimilla Espinoza
Juan Antonio Tandazo Macas

Evaluadores

PhD. Miguel Angel Quilambaqui Jara

Profesor de Materia

MSc. Frank Vicente Porras Carrión

Tutor de proyecto

Resumen

El proyecto se centra en el diagnóstico y rediseño de una cámara de refrigeración perteneciente a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción de la ESPOL. El objetivo principal es recuperar este equipo con fines didácticos, siguiendo lineamientos técnicos de la normativa ASHRAE 2022 y asegurando condiciones óptimas para su uso académico. Durante el desarrollo se efectuó una inspección técnica inicial de los componentes principales, verificando compresor, evaporador, tuberías y sistema eléctrico, se calcularon las cargas térmicas mediante el software Coolselector y se diseñaron las tuberías y el aislamiento térmico. Posteriormente se evaluaron alternativas de intervención, eligiéndose la reutilización de equipos principales con modernización parcial, lo que incluyó la construcción de un tablero eléctrico con instrumentos de monitoreo digital. Como resultado, la cámara fue rehabilitada manteniendo operativos el compresor y el evaporador, alcanzando condiciones seguras y confiables de operación. La simulación arrojó una capacidad efectiva de 3.668 BTU/h, equivalente al 72 % de la nominal, el análisis económico confirmó un ahorro de USD 1.158 frente a una sustitución total. Se concluye que el equipo es técnica y didácticamente viable, que su modernización optimiza recursos y que el plan de mantenimiento preventivo garantiza continuidad, confiabilidad y disponibilidad para la formación de futuras generaciones de estudiantes.

Palabras clave: cámara de refrigeración, carga térmica, sistema, rediseñar, diagnóstico.

Abstract

The project focuses on the diagnosis and redesign of a refrigeration chamber belonging to the Faculty of Mechanical Engineering and Production Sciences at ESPOL. The main objective is to recover this equipment for didactic purposes, following the technical guidelines of the ASHRAE 2022 standard and ensuring optimal conditions for its academic use. During the development, an initial technical inspection of the main components was carried out, verifying the compressor, evaporator, piping, and electrical system. Thermal loads were calculated using the Coolselector software, and the piping and thermal insulation were designed. Subsequently, different intervention alternatives were evaluated, selecting the reuse of the main equipment with partial modernization, which included the construction of an electrical control panel with digital monitoring instruments.

As a result, the chamber was rehabilitated while keeping the compressor and evaporator operational, achieving safe and reliable operating conditions. The simulation showed an effective capacity of 3,668 BTU/h, equivalent to 72% of the nominal value. The economic analysis confirmed savings of USD 1,158 compared to a complete replacement.

It is concluded that the equipment is technically and didactically feasible, that its modernization optimizes resources, and that the preventive maintenance plan ensures continuity, reliability, and availability for the training of future generations of students.

Keywords: refrigeration chamber, thermal load, system, redesign, diagnostic.

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Abreviaturas.....	VI
Simbología.....	VII
Índice de figuras	IX
Índice de tablas	XI
Índice de planos	XII
Capítulo 1	1
1. Introducción.....	2
1.1 Descripción del Problema.....	4
1.2 Justificación del Problema.....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Marco teórico.....	6
1.4.1 Aspectos fundamentales de refrigeración.....	6
1.4.2 Ciclos de refrigeración.....	7
1.4.3 Sistema de refrigeración por compresión	10
1.4.4 Cámara de refrigeración	12
1.4.5 Daños comunes e inspecciones de las cámaras de refrigeración.....	12
Capítulo 2	14
2. Metodología.....	15
2.1 Inspección de la cámara de refrigeración	15
2.2 Estrategia de diseño	16

2.3	Diseño detallado	17
2.4	Cálculo de la carga térmica	17
2.5	Diseño de tubería de cobre	21
2.5.1	Línea de succión (l. s.).....	21
2.5.2	Línea de líquido (l. l.)	23
2.6	Selección de aislamiento térmico	25
2.7	Listado de equipos	26
2.8	Matriz de selección	27
2.9	Listado de componentes reutilizables vs reemplazables	31
2.10	Propuesta técnica de rediseño	33
Capítulo 3		27
3.	Resultados y análisis	37
3.1	Ejecución de mejoras mecánicas y eléctricas tras el diagnóstico de la Cámara de Refrigeración experimental.	37
3.2	Estimación de la carga térmica máxima de operación para posibles usos en la industria.38	
3.3	Análisis de costo	41
3.4	Plan de mantenimiento preventivo	44
3.4.1	Inspección general	45
3.4.2	Limpieza e inspección exterior del equipo	45
3.4.3	Inspección de integridad	46
3.4.4	Ajuste de terminales	46
3.4.5	Comprobación de daños y desgaste.....	46
Capítulo 4		49
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	48
4.1	Conclusiones.....	48

4.2	Recomendaciones	50
	Referencias	60
	ANEXO A	62

Abreviaturas

ASHRAE Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire

Acondicionado

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

COP Coeficiente de rendimiento

FIMCP Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción

IVA Impuesto Valor Agregado

GWP Potencial de Calentamiento Global

HFC Hidrofluorocarbono

RPM Revoluciones por Minuto

CFM Cubic Feet per Minute

CAPEX Capital Expenditure

DAQ Adquisición de Datos

ODP Potencial Destructor del Ozono

l.s. Línea de succión

l.l Línea de liquido

Simbología

Cu	Cobre
m	Metro
in	Pulgadas
E	Energía
T	Temperatura
P	Presión
H	Entalpía
Q	Calor
qs	Calor sensible
L	Calor latente
BTU	Unidad térmica británica
Kcal	Kilo calorías
m/s	Metros por segundo
bar	Bares
psi	Libra por pulgada cuadrada
°C	Grados Celsius
L	Calor latente
Ps	Presión de succión del compresor
Pd	Presión de descarga del compresor
$\dot{m}$	Flujo másico
I	Corriente eléctrica
V	Voltaje eléctrico

t	tiempo
E	Energía eléctrica consumida
η	Eficiencia del sistema

Índice de figuras

Figura 1.1 <i>Esquema y diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.</i>	8
Figura 1.2 <i>Esquema y diagrama T-s para el ciclo simple de refrigeración de gas.</i>	8
Figura 1.3 <i>Esquema y diagrama T-s para un sistema de refrigeración en cascada de dos etapas con el mismo refrigerante en ambas etapas.</i>	9
Figura 1.4 <i>Esquema y diagrama T-s para un Ciclo de refrigeración por absorción</i>	10
Figura 1.5 <i>Ciclo de refrigeración por compresión</i>	11
Figura 2.1 <i>Diagrama de flujo</i>	16
Figura 2.2 <i>Parámetros iniciales para cálculo de carga térmica</i>	18
Figura 2.3 <i>Selección de condensador y refrigerante de la cámara de refrigeración</i>	19
Figura 2.4 <i>Selección de válvula de expansión.</i>	20
Figura 2.5 <i>Carga térmica calculada</i>	20
Figura 2.6 <i>Parámetros iniciales para selección de tubería</i>	22
Figura 2.7 <i>Selección de diámetro de tubería de l. s.</i>	23
Figura 2.8 <i>Selección de diámetro de tubería de l. l.</i>	24
Figura 2.9 <i>Evaporador Mipal (MI-013)</i>	26
Figura 2.10 <i>Condensador/Compresor TECUMSEH (UTS0111LZ/CAJ2464)</i>	27
Figura 2.11 <i>Plano exterior tablero de control.</i>	34
Figura 2.12 <i>Plano interior tablero de control.</i>	35
Figura 3.1 <i>Estimación del desempeño operativo de la cámara de refrigeración experimental.</i>	39
Figura 3.2 <i>Resultado del cálculo de carga térmica estimado.</i>	40

Figura A.1	<i>Propiedades físicas del refrigerante R404A</i>	62
Figura A.2	<i>Conductividad térmica y calor específico para diferentes materiales</i>	63
Figura A.3	<i>Potencia entregada por el compresor/condensador</i>	64
Figura A.4	<i>Datos eléctricos condensador/compresor.....</i>	64
Figura A.5	<i>Datos mecánicos del compresor/condensador.....</i>	65
Figura A.6	<i>Consumo eléctrico evaporador MIPAL</i>	65
Figura A.7	<i>Esquema eléctrico del sistema de deshielo</i>	66
Figura A.8	<i>Ficha técnica del temporizador mecánico de descongelamiento</i>	67
Figura A.9	<i>Diagrama de conexión del temporizador mecánico de descongelamiento.....</i>	68

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Criterios de evaluación y puntuación asignada a cada alternativa</i>	28
Tabla 2	<i>Cálculo del puntaje ponderado por alternativa</i>	29
Tabla 3	<i>Comparación final de alternativas</i>	29
Tabla 4	<i>Listado de piezas</i>	31
Tabla 5	<i>Costos de materiales y accesorios alternativa 2.</i>	42
Tabla 6	<i>Costos de materiales y accesorios alternativa 3.</i>	43
Tabla 7	<i>Plan de mantenimiento preventivo.</i>	45

Índice de planos

Plano 1 <i>Diagrama de tubería e instrumentación de la cámara de refrigeración experimental</i>	
.....	69
Plano 2 <i>Layout Exterior Tablero de Control</i>	70
Plano 3 <i>Layout Interior Tablero de Control</i>	71
Plano 4 <i>Multifilar 220VAC</i>	72
Plano 5 <i>Diagrama de Control</i>	73
Plano 6 <i>Plano final de la cámara de refrigeración experimental</i>	74
Plano 7 <i>Plano final de la cámara de refrigeración experimental.</i>	75

Capítulo 1

1. Introducción

En el ámbito de la carrera Ingeniería Mecánica, la formación práctica es fundamental para el desarrollo de competencias técnicas, siendo una de ellas la refrigeración, que es de las áreas más importantes en los sectores alimenticio, farmacéutico y de climatización, donde se requiere profesionales capacitados para el diseño, mantenimiento y optimización de sistemas térmicos. La cámara de refrigeración constituye un recurso didáctico valioso, ya que permite la aplicación práctica de conceptos teóricos, fortalece el conocimiento técnico y fomenta el interés por esta especialidad dentro del campo de la ingeniería mecánica.

El presente trabajo tiene como objetivo rediseñar la cámara de refrigeración que se encuentra no operativa en la FIMCP, la cual tiene fines didácticos y no está destinada para el almacenamiento y conservación de ningún alimento.

Para alcanzar este objetivo, el proyecto se estructura en varias etapas que comprenden el diagnóstico del sistema actual, el rediseño mediante planos constructivos, la simulación térmica y energética con software especializado como Coolselector y CERA, la estimación de costos de implementación y la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo. Todas las actividades se ejecutarán conforme a normas internacionales como las de ASHRAE Handbook Refrigeration 2022.

La cámara de refrigeración cuenta con un condensador y compresor TECUMSEH modelo UTS0111LZ y CAJ2464Z respectivamente con una capacidad de 6517 Btu/h además un evaporador MIPAL modelo MI-013 con una capacidad de 5094 Btu/h y flujo de aire de 588 CFM, lo cual la hace adecuada para su uso en entornos didácticos, su tamaño compacto y su eficiencia energética aseguran un consumo moderado de electricidad, lo que representa una ventaja significativa en contextos educativos, además, el sistema será equipado con todas

las etiquetas e indicaciones necesarias, lo que facilitará la comprensión y apreciación del funcionamiento del ciclo de refrigeración por parte de los estudiantes.

Adicionalmente, este proyecto presenta un gran potencial de mejora mediante la incorporación de un sistema de control y adquisición de datos, que permitiría monitorear en tiempo real variables como temperatura, presión, consumo energético y ciclos de operación dependiendo de la carga que se le aplique al sistema.

La implementación de este tipo de sistemas no solo optimizaría el rendimiento de la cámara de refrigeración, sino que también fortalecería el entorno de aprendizaje al brindar una plataforma interactiva para el análisis de datos, la identificación de fallas y la evaluación de estrategias de control.

1.1 Descripción del Problema

En el inventario de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) se ha identificado una cámara de refrigeración experimental que actualmente se encuentra fuera de servicio. Esta unidad, concebida como un recurso didáctico, requiere realizar un diagnóstico técnico integral, así como una estimación detallada de los costos asociados a su rehabilitación y puesta en funcionamiento. Cabe mencionar que no se dispone de un plan de mantenimiento documentado, lo que, sumado al prolongado período de inactividad, ha conllevado al deterioro de sus componentes. Como resultado, se ha determinado que todos los accesorios presentan desgaste, obsolescencia o fallas funcionales, por lo cual, basándonos en las normativas vigentes, como la ASHRAE, se sugiere el reemplazo de los componentes.

1.2 Justificación del Problema

La cámara de refrigeración desempeña un papel fundamental en la enseñanza de los sistemas de control de temperatura, ya que permite mantener productos a condiciones térmicas adecuadas mediante la integración de componentes mecánicos específicos. El diseño y funcionamiento de estos elementos ofrece una valiosa oportunidad didáctica para los estudiantes, facilitando la comprensión de los principios de la refrigeración, en este sentido, la incorporación de cámaras de refrigeración en entornos educativos contribuye significativamente a fortalecer el conocimiento técnico y teórico en el área de refrigeración en la ingeniería mecánica, promoviendo un mayor interés por esta especialidad, donde las materias como Refrigeración y climatización pueden incorporar este equipo para impartir sus clases prácticas, las actividades que se pueden realizar son:

- Diagnóstico y análisis de componentes.

- Medición de variables termodinámicas.
- Análisis de consumo energético.
- Incorporación de un sistema de adquisición de datos.

Este tipo de prácticas permite que los estudiantes apliquen la teoría en un entorno controlado y seguro, comprendan el funcionamiento de un sistema real, desarrollen habilidades de diagnóstico, análisis técnico y solución de problemas además de prepararlos para encontrarse con equipos similares en la industria.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Rediseñar la cámara de refrigeración experimental aplicando los lineamientos técnicos establecidos por la normativa ASHRAE y adecuarla a estándares de desempeño térmico.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Diagnosticar el estado actual del sistema de refrigeración y sus componentes.
2. Reconstruir la cámara de refrigeración.
3. Estimar la carga térmica bajo distintas condiciones de operación utilizando el software especializado Coolselector.
4. Elaborar plan de mantenimiento preventivo para alargar la vigencia operativa del equipo.

1.4 Marco teórico

El proyecto comprende el sistema de refrigeración, para lo cual se va a considerar la norma de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, por sus siglas en ingles).

1.4.1 Aspectos fundamentales de refrigeración

La refrigeración es el proceso por el cual se reduce la temperatura de un lugar con el fin de conservar algún elemento o sustancia (ASHRAE, 2022). A continuación, describimos los conceptos que se van a abarcar como:

Energía: Es la capacidad que tiene un cuerpo de realizar un trabajo, esta energía puede estar dada de varias formas y únicamente está definida por su origen (Serway & Jewett, 2014).

Termodinámica: Es la ley de la física que estudia la energía y sus transformaciones, se basa en dos leyes principales conocidas como las leyes de la termodinámica, la primera ley es una expresión del principio de conservación de la energía y nos dice que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma, la segunda ley sugiere que la energía tiene cantidad y calidad, y los procesos reales ocurren cuando disminuye la calidad de la energía (Dincer, 2010).

Temperatura: se define como la magnitud física que mide el grado de un cuerpo. Se relaciona directamente con la energía cinética promedio de las partículas que componen ese cuerpo (Michael & Howard, 2010).

Presión: se define como la fuerza que actúa perpendicularmente sobre una superficie por unidad de área. Este concepto se aplica en el análisis de fluidos, ya sea gaseoso o líquido (Munson & Young, 2009).

Entalpía: se define como la suma de la energía interna (U) y el producto de la presión por el volumen del sistema. Para procesos a presión constante, el cambio de entalpía (ΔH) corresponde al calor intercambiado con el entorno (OpenStax, 2022).

Calor: el calor es la forma térmica de la energía y la transferencia de calor tiene lugar cuando existe una diferencia de temperatura dentro de un medio o entre medios diferentes (Dincer, 2010).

Calor sensible: se define como la cantidad de energía que, al ser transferida hacia o desde una sustancia, provoca una variación en su temperatura, sin cambiar su estado o fase (Cengel & Boles, 2009).

Calor latente: se define como la cantidad de energía que, al ser transferida a una sustancia o extraída de ella, produce un cambio de estado físico, sin cambiar su temperatura (Cengel & Boles, 2009).

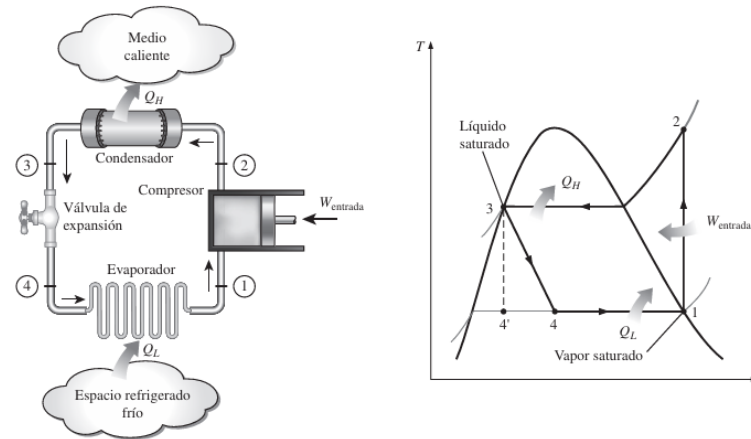
1.4.2 Ciclos de refrigeración

Son los estados en los que operan los dispositivos que producen refrigeración y se pueden dividir en diferentes tipos (Hafiz, 2025).

Ciclo de refrigeración de compresión por vapor: Aquí el refrigerante pasa de estado líquido a gaseoso alternadamente, para luego comprimirse en la fase de vapor ver Figura 1.1 (Cengel & Boles, 2009).

Figura 1.1

Esquema y diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.

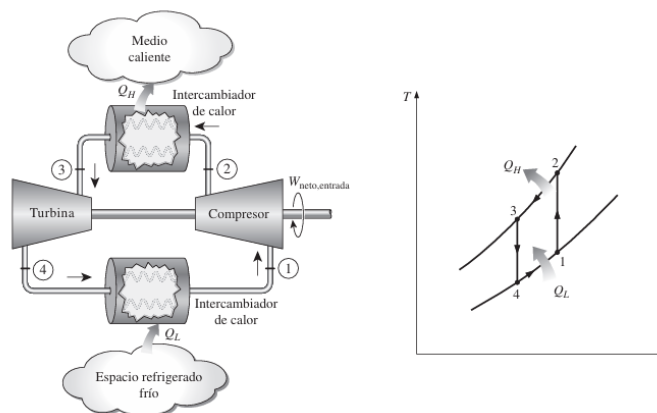


Nota: Ilustración tomada del libro de Termodinámica de Cengel y Boles (Cengel & Boles, 2009).

Ciclo de refrigeración a gas: Ciclo en donde el refrigerante pasa todo el tiempo en estado gaseoso ver Figura 1.2 (Cengel & Boles, 2009).

Figura 1.2

Esquema y diagrama T-s para el ciclo simple de refrigeración de gas.

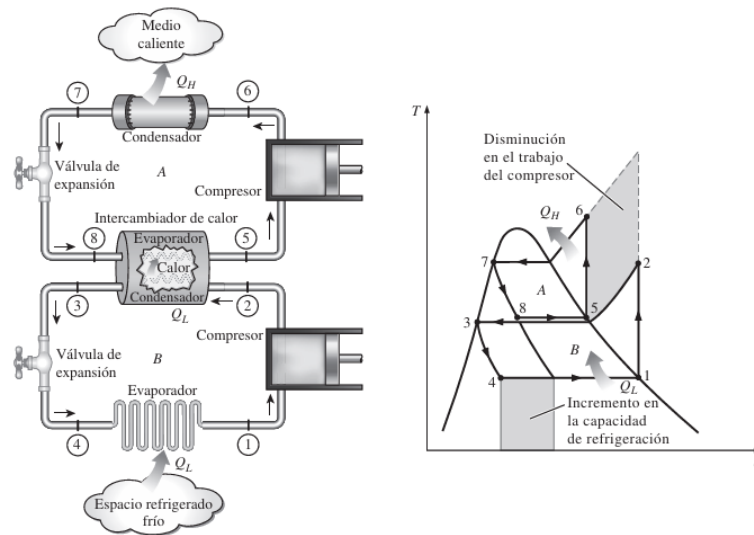


Nota: Ilustración tomada del libro de Termodinámica de Cengel y Boles (Cengel & Boles, 2009).

Ciclo de refrigeración en cascada: Cuenta con dos o más ciclo de refrigeración operando en serie, utilizado cuando se requiere temperaturas moderadamente bajas ver Figura 1.3 (Cengel & Boles, 2009).

Figura 1.3

Esquema y diagrama T-s para un sistema de refrigeración en cascada de dos etapas con el mismo refrigerante en ambas etapas.

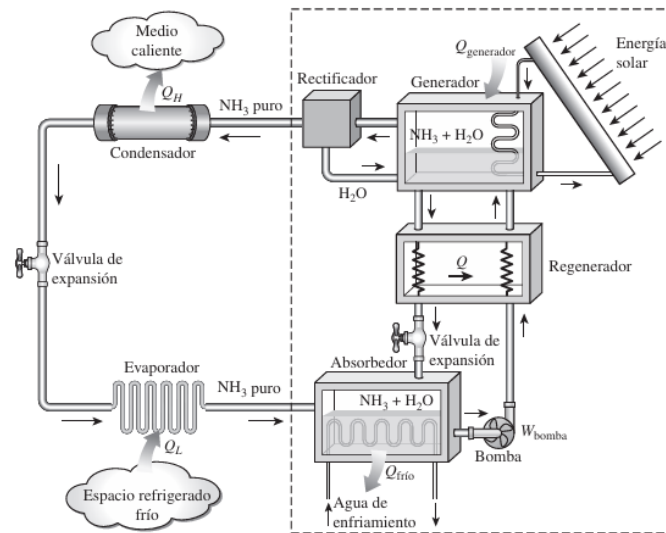


Nota: Ilustración tomada del libro de Termodinámica de Cengel y Boles (Cengel & Boles, 2009).

Ciclo de refrigeración por absorción: Es aquel, donde el refrigerante se disuelve en un líquido antes de ser comprimido ver Figura 1.4 (Cengel & Boles, 2009).

Figura 1.4

Esquema y diagrama T-s para un Ciclo de refrigeración por absorción



Nota: Ilustración tomada del libro de Termodinámica de Cengel y Boles (Cengel & Boles, 2009).

El ciclo de refrigeración más comúnmente usado es el ciclo de refrigeración por compresión por vapor y es el que se va a utilizar para este proyecto.

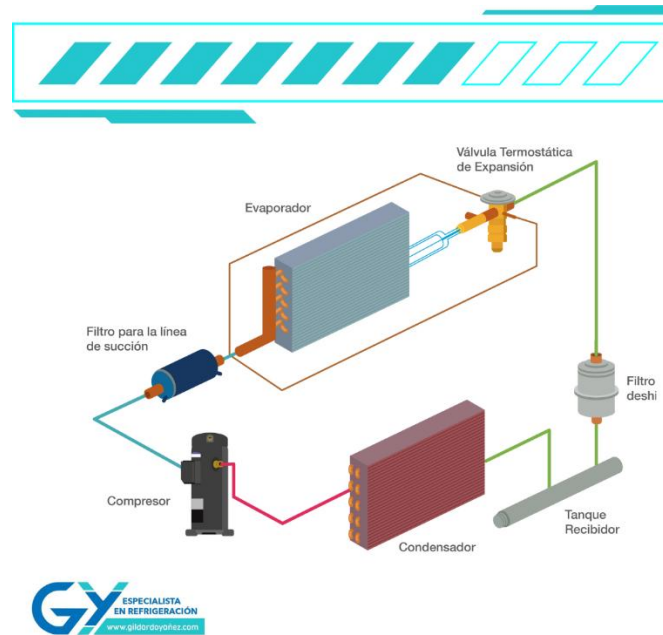
1.4.3 Sistema de refrigeración por compresión

Este sistema cuenta con 4 procesos como se puede observar en la Figura 1.5:

- Compresión isentrópica en un compresor
- Rechazo de calor a presión constante en un condensador
- Estrangulamiento en un dispositivo de expansión
- Absorción de calor a presión constante en un evaporador

Figura 1.5

Ciclo de refrigeración por compresión



Nota: Imagen tomada del sitio web especialista en refrigeración (Yañez, 2024).

Entre los elementos esenciales para el diseño se encuentran:

- Compresor: encargado de elevar la presión y temperatura del refrigerante.
- Evaporador: encargado de extraer el calor del interior de la cámara.
- Condensador: encargado de disipar el calor al ambiente.
- Tuberías y controles: regula, controla y dirige el flujo del refrigerante.

Esta configuración permite un funcionamiento eficiente y estable (ASHRAE, 2022).

En un ciclo ideal el refrigerante entra al compresor en estado gaseoso como vapor saturado, se comprime isoentrópicamente aumentando su temperatura y entra al condensador como vapor sobrecalentado, luego sale como líquido saturado al ceder calor a su entorno, posteriormente se estrangula mediante una válvula de expansión reduciendo su presión y temperatura, entra al evaporador como vapor húmedo y se evapora completamente al

absorber calor del espacio que está refrigerando, finalmente regresa al compresor completando así el ciclo (Cengel & Boles, 2009).

1.4.4 Cámara de refrigeración

La cámara de refrigeración es un espacio cerrado diseñada especialmente para mantener temperaturas controlados y asegurar la conservación de productos sensibles o perecederos no destinados al confort humano. Para lograrlo, se integran sistemas de refrigeración, cálculo de cargas térmicas, diseño aislamiento térmico, selección de refrigerante, selección de tuberías y controles ambientales que optimizan la eficiencia energética (Hafiz, 2025).

1.4.5 Daños comunes e inspecciones de las cámaras de refrigeración

De acuerdo con la empresa Squair los fallos más comunes son:

- Temperatura incorrecta: Puede deberse a fallos con el termostato, problemas con el compresor o evaporador, sondas mal instaladas.

Prevención: Verificación y calibración del termostato, limpieza periódica de compresor y evaporador.

- Acumulación de hielo: Puede ser por humedad excesiva, obstrucción en el sistema de drenaje, no descongela el evaporador.

Prevención: Uso de deshumidificador, aplicar buena ventilación.

- Fugas de gas refrigerante: Mala instalación, daños físicos como golpes en la tubería, vibraciones excesivas, corrosión.

Prevención: Inspección regular de tuberías y conexiones, utilización de materiales de alta calidad, instalación con un técnico certificado.

- Condensación excesiva: Humedad excesiva, aislamiento térmico mal dimensionado.

Prevención: Utilizar un buen material para el aislamiento térmico además de inspecciones periódicas.

- Fallas eléctricas: Sobrecargas, cortocircuitos, componentes eléctricos desgastados.

Prevención: Utilizar protectores contra sobretensiones, realizar pruebas periódicas del sistema eléctrico (Squair Inteligente, 2024).

Capítulo 2

2. Metodología

La metodología de investigación es un enfoque estructurado y progresivo que guía al investigador desde la identificación del problema hasta la presentación de resultados, mediante preguntas claves que conducen a acciones específicas según la respuesta obtenida (IBM, 2025). Para el presente proyecto este enfoque es el más adecuado, ya que permite organizar de manera técnica y sistemática cada una de las etapas, facilitando una ejecución ordenada y alineada con los objetivos planteados y para esto se realizó un diagrama de flujo ver Figura 2.1.

2.1 Inspección de la cámara de refrigeración

Como parte del diagnóstico técnico inicial, se realizó una inspección visual y funcional de la cámara de refrigeración experimental. En esta revisión se identificó que las bobinas y los controles de presión presentaban un estado deficiente, evidenciado por la presencia de óxido y desgaste físico, lo que implica la necesidad de sustituir estos elementos por componentes nuevos en base a la recomendación del fabricante.

Posteriormente, se evaluó el funcionamiento del compresor y del evaporador mediante la instalación de manómetros, registrando una presión de operación de 180 psi, valor que se encuentra dentro de los rangos recomendados para este tipo de sistema.

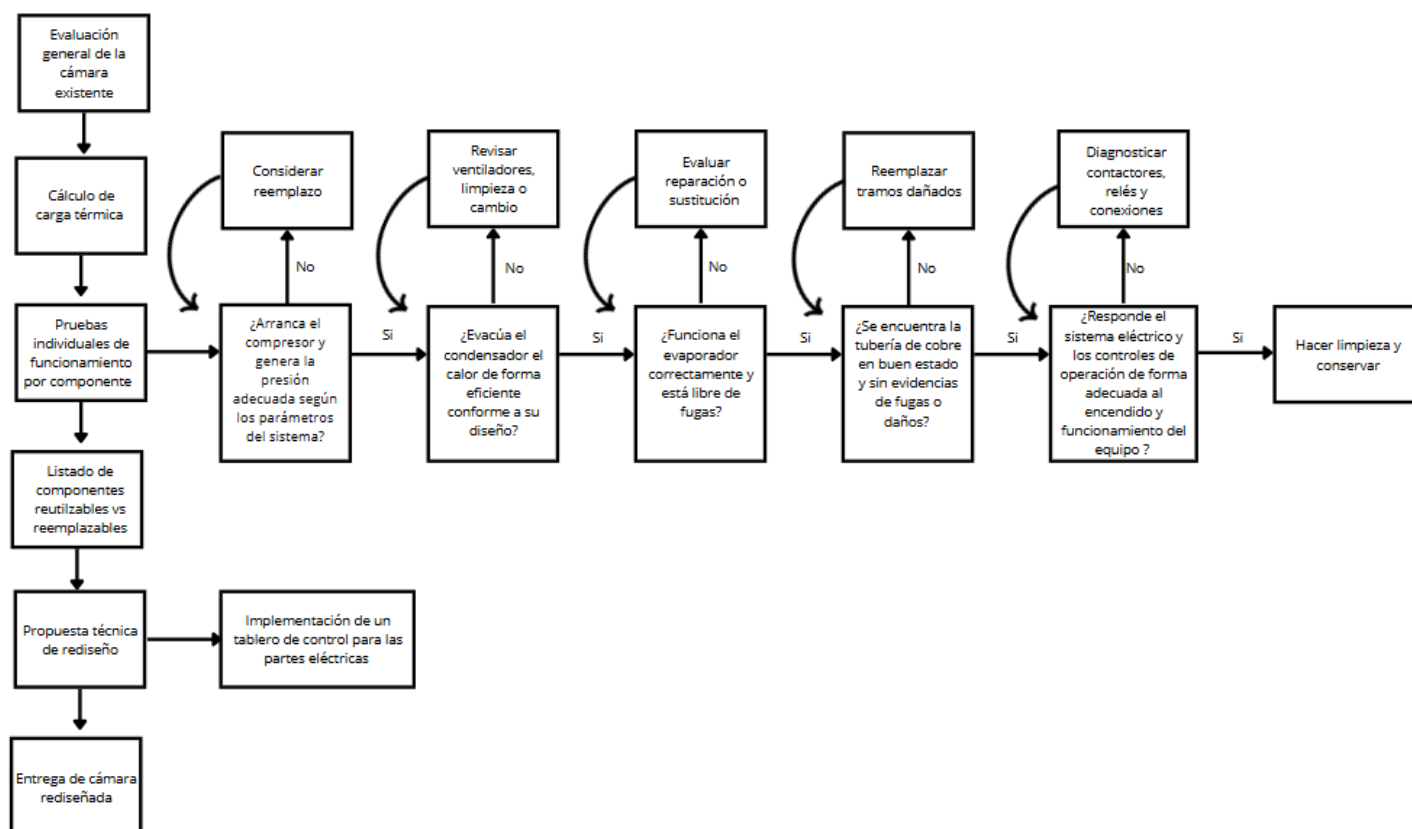
Se intentó la activación del compresor mediante conexión directa a 220 V, sin obtener respuesta inicial positiva. Ante esta condición, se implementó un kit de arranque Supco RCO410, logrando la puesta en marcha exitosa del compresor. Tras esta prueba, se concluyó que el equipo se encuentra operable, aunque requiere limpieza interna, reemplazar el filtro secador y completar carga del refrigerante R404A.

Antes de completar la carga refrigerante R404A, es necesario realizar una limpieza del sistema, lo que implica la recuperación del refrigerante R404A. Este procedimiento se ejecutará conforme a los lineamientos establecidos por la norma ASHRAE 147, la cual regula la extracción, almacenamiento y posible reutilización o reciclaje de refrigerantes mediante el uso de equipos y contenedores homologados, garantizando la protección ambiental y el desempeño adecuado del sistema (ASHRAE, 2021).

2.2 Estrategia de diseño

Figura 2.1

Diagrama de flujo



Nota: Elaboración propia

2.3 Diseño detallado

En el presente proyecto se ha decidido mantener el uso del refrigerante R-404A, esta elección se debe a que dicho refrigerante ya se encontraba cargado en el sistema original del equipo, lo cual permite aprovechar los componentes existentes que han sido diseñados y calibrados para operar con este fluido. Además, el R-404A posee propiedades físicas adecuadas para aplicaciones de refrigeración de media y baja temperatura, como se muestra en la Tabla A (ver anexos), lo que lo hace compatible con los requerimientos operativos de la cámara de refrigeración experimental. Este refrigerante es una mezcla ternaria de HFC compuesta por R-125, R-143a y R-134a, caracterizada por su comportamiento estable y buena capacidad frigorífica en rangos de operación típicos para cámaras de conservación y congelación. No obstante, desde el punto de vista ambiental, el R-404A presenta un GWP de aproximadamente 3922, y un ODP igual a 0, ya que no contiene cloro en su composición. Esto lo clasifica como un gas que, si bien no contribuye al deterioro de la capa de ozono, sí tiene un impacto climático significativo, razón por la cual su uso está siendo progresivamente regulado bajo acuerdos internacionales como el Protocolo de Kigali (ASHRAE, 2022).

2.4 Cálculo de la carga térmica

Para estimar la carga térmica de la cámara de refrigeración, se empleó el software especializado Coolselector, desarrollado por Danfoss, el cual permite calcular de manera precisa las necesidades térmicas de sistemas frigoríficos, este programa requiere el ingreso de ciertos parámetros fundamentales para la estimación, ver Figura 2.2, entre los cuales se incluyen:

- Las dimensiones internas o externas de la cámara de refrigeración, con el fin de definir el volumen a acondicionar.

- Las condiciones operativas esperadas dentro de la cámara, como la temperatura de conservación y humedad.
- Las características del producto a almacenar, considerando su masa y temperatura de ingreso.
- El número estimado de renovaciones de aire, que representa las pérdidas térmicas por apertura de puertas u otras infiltraciones.
- El tipo y espesor del aislamiento térmico previsto, ya que influye directamente en la eficiencia del sistema.
- Las cargas térmicas adicionales, como la presencia de iluminación interna, equipos eléctricos en operación dentro de la cámara, y el calor sensible generado por el ingreso de personas u otros elementos.

Figura 2.2

Parámetros iniciales para cálculo de carga térmica

Los datos siguientes son necesarios para calcular la capacidad de refrigeración requerida en la Cámara Frigorífica:

Longitud: 1,00 m	Condiciones de Cámara: Temperatura: 6,0 °C	Producto: Productos varios
Anchura: 1,00 m	Humedad relativa: 80 %	Cantidad diaria: 1 kg
Altura: 1,50 m	Hora de trabajo: 6 h	Temperatura de entrada: 16,0 °C
☒ Dimensiones interiores ☐ Dimensiones exteriores		Carga térmica de respiración: 20000 kg

Renovaciones de aire (infiltraciones):	
Temperatura: 30,0 °C	
Humedad relativa: 55 %	
☒ Aperturas de puerta:	
Frecuentes	
☐ Tasa de renovaciones de a: 57,15	
(tantas veces el volumen de la cámara cada 24 horas)	

Transferencia de calor:	
☒ Paneles estándar	☐ Paneles personalizados
Tipo: Poliuretano	
Espesor: 50,00 mm	
Temperatura ambiente: 30,0 °C	
Temperatura del suelo: 20,0 °C	

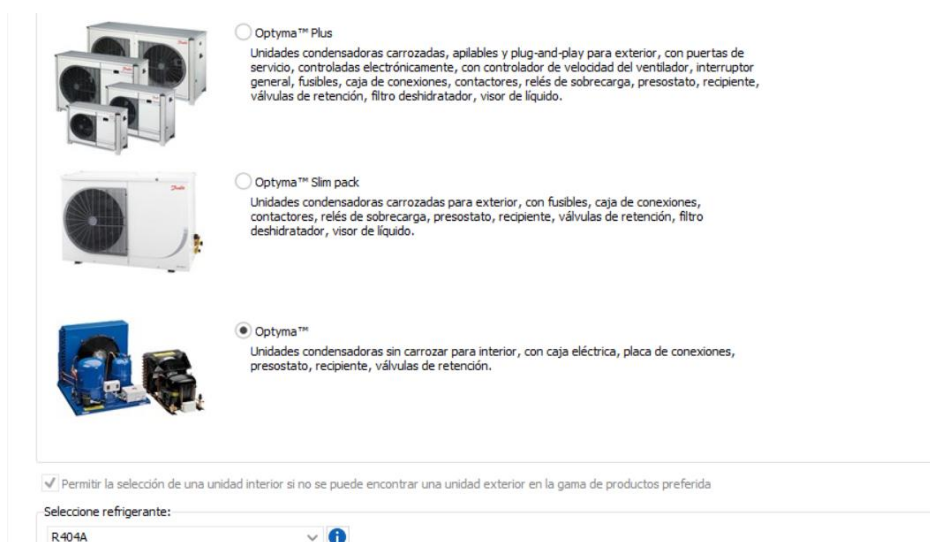
Carga adicional	
Luces: 0 W	☐ Desescarche
Ventiladores: 0 W	☐ Eléctrico
Personas: 0 h/día	☒ Natural
	Potencia: 1510 W
	Desescarches al día: 6

Nota: ilustración tomada de Coolselector.

Una vez ingresados los parámetros iniciales relacionados con las condiciones de operación y características de la cámara, el software solicita al usuario la selección del tipo de condensador a emplear, ver Figura 2.3, así como del refrigerante que circulará en el sistema. Esta etapa es fundamental, ya que tanto el condensador como el fluido refrigerante influyen directamente en la eficiencia térmica del ciclo de refrigeración y en el comportamiento operativo del sistema.

Figura 2.3

Selección de condensador y refrigerante de la cámara de refrigeración



The screenshot displays the 'Selección de condensador y refrigerante de la cámara de refrigeración' screen. It features three radio button options for condenser units, each accompanied by an image and a detailed description of its components. The first option, 'Optyma™ Plus', is for outdoor units on a cart with electronic controls. The second, 'Optyma™ Slim pack', is for outdoor units with basic electrical components. The third, 'Optyma™', is selected and represents indoor units without a cart. Below these options is a checkbox for allowing an indoor unit selection if no outdoor unit is found. At the bottom, there is a dropdown menu for 'Seleccione refrigerante:' currently set to 'R404A'.

☐ Optyma™ Plus
Unidades condensadoras carrozadas, apilables y plug-and-play para exterior, con puertas de servicio, controladas electrónicamente, con controlador de velocidad del ventilador, interruptor general, fusibles, caja de conexiones, contactores, relés de sobrecarga, presostato, recipiente, válvulas de retención, filtro deshidratador, visor de líquido.

☐ Optyma™ Slim pack
Unidades condensadoras carrozadas para exterior, con fusibles, caja de conexiones, contactores, relés de sobrecarga, presostato, recipiente, válvulas de retención, filtro deshidratador, visor de líquido.

☒ Optyma™
Unidades condensadoras sin carrozar para interior, con caja eléctrica, placa de conexiones, presostato, recipiente, válvulas de retención.

☒ Permitir la selección de una unidad interior si no se puede encontrar una unidad exterior en la gama de productos preferida

Seleccione refrigerante:
R404A

Nota: ilustración tomada de Coolselector.

Finalmente, el programa nos arroja la carga térmica necesaria.

Figura 2.4

Selección de válvula de expansión.

Seleccione el tipo de válvula de expansión que desea utilizar en su Cámara Frigorífica

☐ Válvula de expansión electrónica (ETS 6)
 ☒ Válvula de expansión termostáticas:

Material de válvula de expansión electrónica preferente:

☒ Latón
 ☐ Acero Inoxidable




Tipo de conexión:

Soldadura cobre ANSI ODF

Nota: ilustración tomada de Coolselector.

Figura 2.5

Carga térmica calculada

Por favor, revise cuidadosamente la capacidad de refrigeración y las condiciones de trabajo antes de presionar "Seleccionar":

Condiciones de funcionamiento		Evaporación:		Condensación:	
Capacidad requerida:		Temperatura de punto de rocío:	-2,2 °C	Temperatura ambiente:	32,0 °C
Capacidad de refrigeración:	2,041 kW	Recalentamiento útil:	5,3 K	Subenfriamiento:	3,0 K
		Recalentamiento adicional:	0 K	Subenfriamiento adicional:	0 K
		☐ Temperatura del gas de retorno:	3,1 °C	Altitud:	0 m

Cámara de refrigeración:

Temperatura: 6,0 °C
 Humedad relativa: 80,0 %
 Hora de trabajo: 6,0 h

Longitud de línea entre unidad condensadora y evaporador:

1,00 m

No se seleccionará el evaporador. Por favor, contacte con su proveedor habitual de intercambiadores de calor

Detalles de carga:

Transmisión:	0,303 kW
Infiltración:	0,226 kW
Hielo en el evaporador:	0,016 kW
Productos total:	0,002 kW
Productos, enfriamiento:	0,002 kW
Productos, respiración:	0 kW
Luz:	0 kW
Personas:	0 kW
Ventiladores:	0 kW
Otros:	0 kW
Desescarche:	1,495 kW
Total:	2,041 kW

Ayuda

< Anterior Seleccionar

Nota: ilustración tomada de Coolselector.

2.5 Diseño de tubería de cobre

Para el correcto diseño de la tubería de cobre se considera la normativa vigente de ASHRAE la cual nos indica lo siguiente:

- Velocidad de 0.5 a 1.25 m/s en la línea de líquido y de 8 a 15m/s en la línea de succión (ASHRAE, 2022).
- Pérdida de presión máxima de 0.35 bar en la línea de líquido y en la línea de succión depende de su temperatura. (ASHRAE, 2022).

Esto con el fin de asegurar condiciones óptimas de operación, un exceso en la caída de presión puede comprometer el rendimiento global del sistema. Esta pérdida tiende a incrementarse proporcionalmente con la longitud de la tubería y se ve agravada cuando se utilizan diámetros reducidos (Universidad Laboral, 2013).

Para realizar el dimensionamiento de la tubería de cobre se utilizará el software Coolselector, debido a que este software es especializado para cámaras de refrigeración, dándonos un resultado más exacto y confiable.

2.5.1 Línea de succión (l. s.)

Para el diseño de la línea de succión se consideran 2 aspectos fundamentales que son:

- **Pérdida de presión del refrigerante:** La caída de presión en las tuberías se origina debido a la fricción entre el refrigerante y las superficies internas del conducto, lo que puede provocar una disminución en la densidad del fluido refrigerante y, en consecuencia, una reducción en la capacidad operativa del sistema. Para evitar afectaciones en el desempeño del sistema, es necesario seleccionar un diámetro de tubería que, considerando su longitud, no genere una pérdida de presión superior a 3 psi. (ASHRAE, 2022).

- **Retorno del aceite al compresor:** El aceite lubricante circula juntamente con el refrigerante a lo largo del sistema; sin embargo, bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, ambos pueden separarse. Si el aceite no logra retornar al compresor, se interrumpe su lubricación, lo que puede provocar fallos mecánicos graves. Por esta razón, el diámetro de las tuberías debe dimensionarse de manera que la velocidad del flujo no sea inferior a 8 m/s, asegurando así el arrastre adecuado del aceite hacia el compresor. (ASHRAE, 2022).

La distancia considerada de la tubería es de 3m desde el condensador al evaporador, el software en un primer paso nos pide ingresar datos de capacidad, evaporación, condensación y distancia de la tubería de cobre, todos estos datos fueron arrojados anteriormente como se puede observar en la Figura 2.4.

Figura 2.6

Parámetros iniciales para selección de tubería

Sistema: **Seca**

Haga clic en el diagrama para seleccionar la línea:
Línea seleccionada: **Línea de aspiración**

Condiciones de funcionamiento		Evaporación:		Condensación:	
Capacidad:		Temperatura de punto de	-2,2 °C	Temperatura de punto de rocío	32,0 °C
Capacidad de refrigerar	2,041 kW	Recalentamiento útil:	5,3 K	Subenfriamiento:	3,0 K
Caudal másico en la línea:	57,57 kg/h	Recalentamiento adicional:	0 K	Subenfriamiento adicional:	0 K
Capacidad de calefacción:	2,482 kW				

Criterios de selección:		Criterios de selección adicionales:	
☐ Caída de presión:	Predeterm bar	☒ Caída de temperatura de saturación:	0,020 K/m
☐ Velocidad:	12,00 m/s	Longitud:	3,00 m
		Ángulo:	0 °

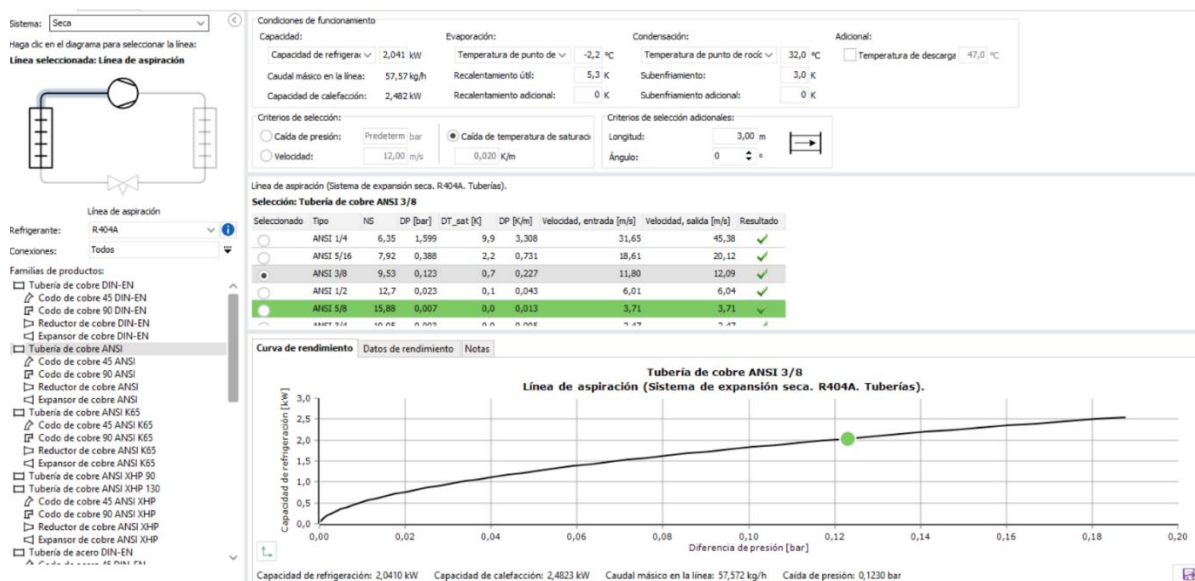
Línea de aspiración (Sistema de expansión seca, R404A, Tuberías).

Nota: ilustración tomada de Coolselector.

Una vez colocados estos datos nos da una tabla con varios diámetros de tubería, ver Figura 2.6, el cual tendremos que seleccionar siguiendo los criterios previamente dados.

Figura 2.7

Selección de diámetro de tubería de l. s.



Nota: ilustración tomada de Coolselector.

El diámetro de tubería de cobre que se ajustó a los parámetros solicitados es la de 3/8in.

2.5.2 Línea de líquido (l. l.)

Para la línea de líquido como principal punto de selección se toma en cuenta lo siguiente:

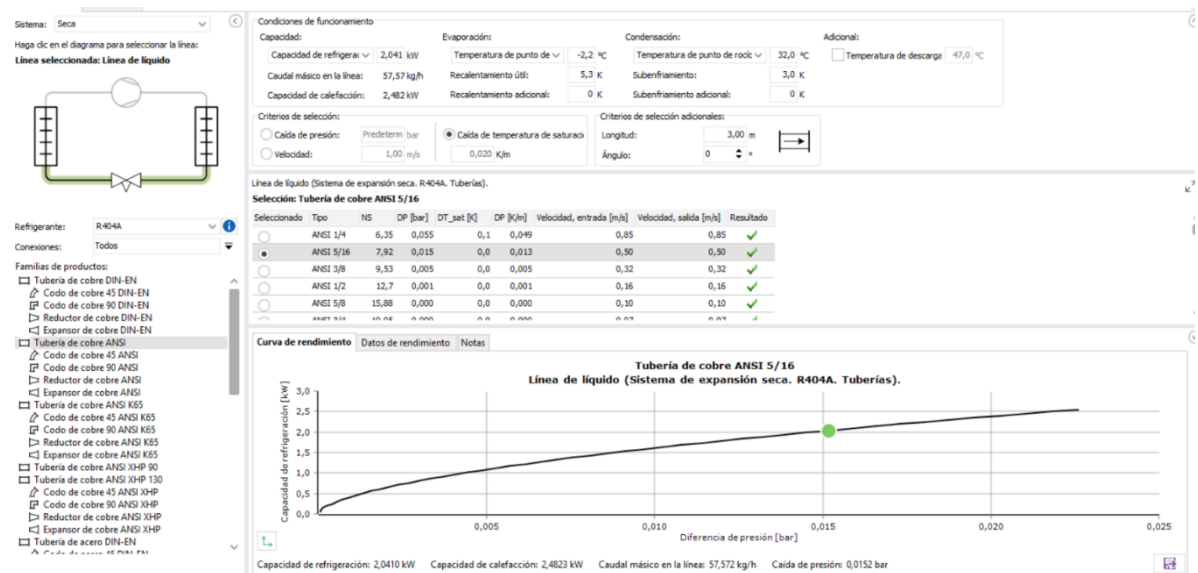
- **Subenfriamiento del líquido:** El subenfriamiento es esencial para garantizar el funcionamiento eficiente del dispositivo de expansión, ya que este debe recibir únicamente refrigerante en estado completamente líquido. La presencia de burbujas de gas puede afectar negativamente su desempeño. Por ello, se recomienda mantener un subenfriamiento mínimo de 1 °C para asegurar la estabilidad del flujo de refrigerante. (ASHRAE, 2022).

- Peso de la columna de refrigerante:** Cuando la línea de líquido presenta un tramo descendente, el peso de la columna de refrigerante genera una sobrepresión en la entrada del dispositivo de expansión, especialmente si la diferencia de altura supera los 10 metros. Para compensar este efecto y mantener un funcionamiento adecuado del sistema, es necesario incorporar un ecualizador de presión. (ASHRAE, 2022).

En este caso el segundo punto de criterio de selección no se lo tomar en cuenta, debido a que la longitud de la tubería de cobre será menor a 10m. Adicionalmente se tomará en cuenta las velocidad y presión recomendada por ASHRAE para la línea de líquido, ver Figura 2.7.

Figura 2.8

Selección de diámetro de tubería de l. l.



Nota: ilustración tomada de Coolselector.

El diámetro de tubería de cobre que se ajustó a los parámetros solicitados es la de 5/16 in.

2.6 Selección de aislamiento térmico

El aislamiento térmico es el conjunto de materiales y técnicas aplicadas para minimizar la transferencia de calor entre el ambiente externo y el volumen refrigerado, manteniendo así la eficiencia energética del sistema (ASHRAE, 2022).

Se evaluaron diferentes materiales considerando criterios como la conductividad térmica, resistencia a la humedad, durabilidad y facilidad de instalación. Tras comparar opciones como poliestireno expandido, lana mineral y poliuretano expandido.

Se seleccionó este último por su baja conductividad térmica $k = 0.02 \frac{W}{(m)(K)}$, para el poliuretano se seleccionó de la Tabla B (Ver Anexos).

Para calcular el espesor del aislante térmico se utiliza la ecuación:

$$Q = \frac{k * A * (T_{ext} - T_{int})}{L}$$

Donde:

- Q = carga térmica, 2,041 KW
- k = conductividad térmica del aislante, 0.022 W/m*k
- A = área superficial de las paredes, techo y piso, $7.6 m^2$
- T_{ext} = Temperatura exterior, 30°C
- T_{int} = Temperatura interior, 6°C
- L = espesor del aislamiento (m)

Reemplazando los valores en la ecuación se obtiene:

$$L=20 \text{ mm}$$

Este valor representa el espesor mínimo de poliuretano para que no ingresen más de 100 W de calor a la cámara de refrigeración.

2.7 Listado de equipos

Como parte del diagnóstico realizado, se han identificado los siguientes componentes del sistema:

- Evaporador Mipal (MI-013) ver Figura 2.8.
- Condensador/Compresor TECUMSEH (UTS0111LZ/CAJ2464) ver Figura 2.9.
- Presostato dual
- Válvula solenoide
- 3 contactores (etapa de condensador, descarche y control de la válvula solenoide)
- Interruptor Bipolar (protección)
- Interruptor diferencial
- Sistema de supervisión de temperatura

Figura 2.9

Evaporador Mipal (MI-013)



Nota: Ilustración tomada del sitio web MipalBR.

Figura 2.10

Condensador/Compresor TECUMSEH (UTS0111LZ/CAJ2464)



Nota: Ilustración tomada del sitio web Tecumseh products.

2.8 Matriz de selección

Con el fin de seleccionar la solución más adecuada para la recuperación y mejora de la cámara de refrigeración experimental, se plantearon diversas alternativas técnicas, estas propuestas responden a los resultados del diagnóstico realizado, así como a la necesidad de garantizar un equilibrio entre costo, funcionalidad, confiabilidad y facilidad de implementación.

Alternativa 1: Mantenimiento correctivo mínimo

- Realizar mantenimiento correctivo básico y usar los mismos componentes existentes, incluidos los eléctricos ya desgastados.

Alternativo 2: Reutilización de equipos claves y renovación de componentes eléctricos.

- Reutilizar compresor y evaporador
- Cambio de componentes eléctricos.
- Construcción de tablero de control eléctrico

Alternativa 3: Modernización parcial o total

- Cambiar por equipos más eficientes o con mejor control (timers digitales, controladores programables, sensores nuevos).

Una vez definidas las alternativas técnicas, se establecieron los criterios de evaluación que permitirían realizar una comparación objetiva entre las opciones propuestas. Los criterios seleccionados fueron: costo inicial, confiabilidad esperada, riesgo de paradas no programadas, facilidad de implementación y tiempo de ejecución.

A cada criterio se le asignó una ponderación relativa en función de su relevancia dentro del contexto del proyecto, esta asignación permitió jerarquizar los aspectos más críticos para la toma de decisiones, priorizando la sostenibilidad operativa y técnica de la cámara de refrigeración.

Tabla 1

Criterios de evaluación y puntuación asignada a cada alternativa.

Criterio	Ponderación	Alternativa	Alternativa	Alternativa
	(%)	1	2	3
Costo	25	5	4	2
Confiabilidad esperada	30	2	4	5
Riesgo de paradas no programadas	20	2	4	5
Facilidad de implementación	15	5	4	2
Tiempo de ejecución	10	5	4	2

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2*Cálculo del puntaje ponderado por alternativa*

Criterio	Ponderación (%)	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo	25	125	100	50
Confiabilidad esperada	30	60	120	150
Riesgo de paradas no programadas	20	40	80	100
Facilidad de implementación	15	75	60	30
Tiempo de ejecución	10	50	40	20
Total, suma ponderada	100	350	400	350

Nota: Elaboración propia.**Tabla 3***Comparación final de alternativas*

Alternativa	Puntaje final (sobre 100)	Resultado
Alternativa 1	70	Bajo costo, pero bajo desempeño y alto riesgo.
Alternativa 2	80	Balance óptimo entre costo, confiabilidad y riesgo.
Alternativa 3	70	Máxima confiabilidad, pero costo y complejidad altos.

Nota: Elaboración propia.

Se elaboró una matriz de decisión para comparar tres alternativas técnicas (véase la Tabla 1), a partir de cinco criterios previamente definidos: costo, confiabilidad esperada, riesgo de paradas no programadas, facilidad de implementación y tiempo de ejecución. A cada criterio se le asignó una ponderación de acuerdo con su relevancia operativa, y posteriormente se calificaron las alternativas en una escala de 1 a 5. Las puntuaciones fueron multiplicadas por los valores de ponderación respectivos con el fin de calcular el puntaje total de cada opción (véase la Tabla 2).

Los resultados consolidados (véase la Tabla 3) evidencian que la alternativa 2, con un puntaje de 80 sobre 100, constituye la opción más equilibrada al integrar adecuadamente aspectos como confiabilidad, bajo riesgo operativo y facilidad de implementación, sin representar un incremento significativo en el costo. En contraste, las alternativas 1 y 3, a pesar de obtener una puntuación de 70, presentan limitaciones: la alternativa 1, en términos de desempeño técnico, y la alternativa 3, por su complejidad y mayor inversión requerida.

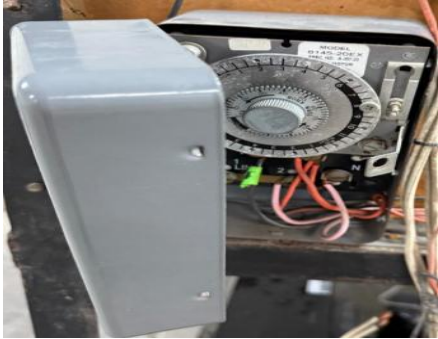
En consecuencia, la selección de la alternativa 2 se fundamenta en una evaluación analítica y técnica, alineada con los objetivos establecidos del proyecto.

2.9 Listado de componentes reutilizables vs reemplazables

Tabla 4

Listado de piezas

Listado de piezas				
N.º	Nombre de parte o pieza	Foto	Estado	Observación
1	Sistema condensador/compresor		Operativo	No requiere reemplazo. Requiere limpieza interna.
2	Evaporador		Operativo	No requiere reemplazo. Arranca correctamente tras prueba inicial. Requiere ajuste y aislación de componentes eléctricos.

3	Timer de deshielo		Operativo	Estado visual correcto. Requiere limpieza y mantenimiento del motor.
4	Presostato Dual		Para cambio	Presenta fallos durante la prueba, mostrando un funcionamiento no confiable.
5	Acumulador de succión		Operativo	Presenta un buen estado, sin golpes visibles, ni fugas.

6	Contactores		Para cambio	Presencia de oxido en las terminales, no hay buena continuidad eléctrica.
7	Filtro del refrigerante		Para cambio	El equipo ha pasado parado demasiado tiempo, se debe realizar el cambio del filtro de refrigerante.

Nota: Elaboración propia.

2.10 Propuesta técnica de rediseño

Como parte del desarrollo de la propuesta técnica de rediseño, se elaboró el diagrama unifilar del sistema de refrigeración, ver Plano 1 en anexos, con el objetivo de representar de manera clara y estructurada la disposición de los componentes eléctricos y de control.

Este diagrama permite visualizar las conexiones principales entre los distintos elementos que conforman el sistema, tales como el compresor, evaporador, contactores, válvula solenoide y presostato.

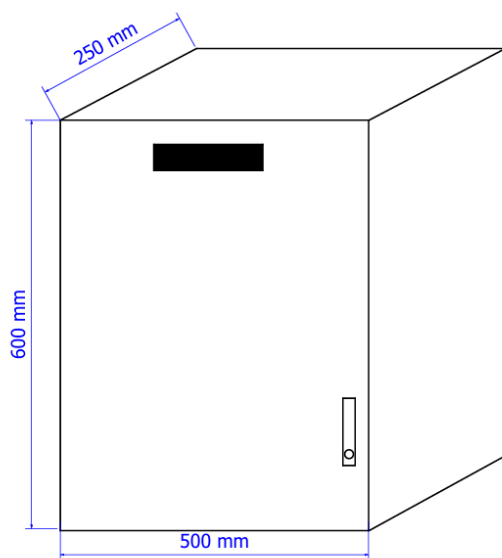
Una vez elaborado el diagrama unifilar, se procedió con la propuesta de diseño de un tablero de control eléctrico, el cual tiene como finalidad organizar y visualizar de forma clara los principales componentes eléctricos del sistema de refrigeración, esta disposición facilita

no solo el control operativo del equipo, sino también su comprensión con fines didácticos, al permitir a los estudiantes identificar la función y la interconexión de cada elemento dentro del sistema.

El tablero propuesto, ver Figuras 2.10 y 2.11, fue realizado en el software Eplan e integra componentes como breakers, presostato, timer de deshielo, repartidor de carga y bornera de conexiones.

Figura 2.11

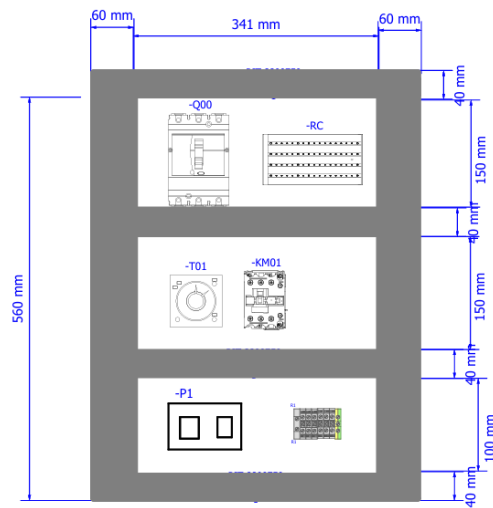
Plano exterior tablero de control.



Nota: Elaboración propia.

Figura 2.12

Plano interior tablero de control.



Nota: Elaboración propia.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3.1 Ejecución de mejoras mecánicas y eléctricas tras el diagnóstico de la Cámara de Refrigeración experimental.

En base a lo expuesto en el documento y considerando la Tabla 4, correspondiente al listado de piezas y sus observaciones, como resultado de la intervención se procedió al reemplazo del filtro refrigerante y del presostato dual, así como a la recarga del refrigerante, elevando la presión de succión desde los 165 psi registrados inicialmente hasta los 185 psi recomendados para sistemas que operan con refrigerante R-404A. La recarga de refrigerante fue una acción crucial, ya que una carga inferior a los 185 psi disminuye el flujo másico que circula por el evaporador, reduciendo la capacidad de absorción de calor y forzando al compresor a trabajar con una mayor relación de compresión. Esto provocaría un aumento en la temperatura de descarga, eleva el consumo eléctrico y acorta la vida útil de los componentes. Por lo tanto, al restablecer la presión nominal, el sistema recuperó su capacidad frigorífica y optimizó su eficiencia energética, garantizando que el compresor funcione dentro de los parámetros establecidos por el fabricante.

En el ámbito eléctrico, se optó por una renovación de los componentes eléctricos que incluyó el reemplazo de interruptores termomagnéticos (breakers), contactores y el sistema de cableado, reemplazando las conexiones obsoletas que comprometían tanto la seguridad del usuario como la estabilidad operativa. Como elemento principal de esta modernización, se diseñó y construyó un tablero de control que incorpora protecciones eléctricas nuevas y medidores digitales de voltaje y amperaje. La lectura en tiempo real de estos parámetros es fundamental, ya que el voltaje permite verificar que el sistema recibe una alimentación estable, evitando caídas que podrían ocasionar pérdida de rendimiento o sobrecalentamiento

del motor. Por su parte, el monitoreo del amperaje proporciona una indicación directa del esfuerzo mecánico y la carga térmica que enfrenta el compresor: un valor por encima del nominal puede evidenciar bloqueos, suciedad en el condensador o fallos eléctricos en el motor, mientras que un valor por debajo del esperado podría indicar un flujo de refrigerante insuficiente, pérdidas de eficiencia de la cámara de refrigeración o un funcionamiento errático de la cámara de refrigeración. Disponer de estas lecturas visibles facilita la detección temprana de anomalías y la aplicación de medidas preventivas, reduciendo el riesgo de averías y de paradas no programadas.

3.2 Estimación de la carga térmica máxima de operación para posibles usos en la industria.

La cámara de refrigeración experimental ha sido diseñada con fines didácticos, por lo que no se encuentra asociada a una carga térmica específica de operación como sucedería en una instalación comercial destinada a la conservación de productos. Sin embargo, al tratarse de un equipo plenamente funcional, resulta apropiado analizar y estimar sus condiciones máximas de desempeño, de manera que se pueda conocer su potencial operativo en caso de que se requiera destinarla a un uso específico.

En este análisis se han estimado sus dimensiones máximas, que para el presente caso corresponden a: 2m de alto x 3m de ancho x 3m de largo. Asimismo, se han considerado los parámetros técnicos del evaporador, el refrigerante empleado y las condiciones ambientales de referencia, determinando así la capacidad máxima de refrigeración y las condiciones de operación alcanzables.

Es importante destacar que estos valores son referenciales y pueden variar significativamente dependiendo del tipo de producto a almacenar, el nivel de aislamiento de la cámara, la frecuencia de aperturas y otros factores operativos que influyen directamente en la carga térmica del sistema.

Figura 3.1

Estimación del desempeño operativo de la cámara de refrigeración experimental.

Los datos siguientes son necesarios para calcular la capacidad de refrigeración requerida en la Cámara Frigorífica:

Longitud:	3,00 m	Condiciones de Cámara:	Temperatura:	5,0 °C	Producto:	Productos varios
Anchura:	3,00 m		Humedad relativa:	80 %	Cantidad diaria:	30 kg
Altura:	2,00 m		Hora de trabajo:	18 h	Temperatura de entrada:	15,0 °C
☒ Dimensiones interiores ☐ Dimensiones exteriores					Carga térmica de respiración:	
					Carga total de la cámara:	20000 kg

Renovaciones de aire (infiltraciones):	
Temperatura:	30,0 °C
Humedad relativa:	55 %
☒ Aperturas de puerta: Casualas	
☐ Tasa de renovaciones de α 7,07 (tantas veces el volumen de la cámara cada 24 horas)	

Transferencia de calor:	
☒ Paneles estándar ☐ Paneles personalizados	
Tipo:	Poluretano
Esesor:	50,00 mm
Temperatura ambiente:	30,0 °C
Temperatura del suelo:	20,0 °C
☐ Suelo aislado	

Carga adicional	
Luces:	30 W
Ventiladores:	0 W
Personas:	1 h/día
Otros:	0 W
☒ Desescarche: ☒ Eléctrico ☐ Natural	
Potencia:	1000 W
Desescarches al día:	4
Tiempo de desescarche:	15 min



Nota: ilustración tomada de Coolselector.

Figura 3.2

Resultado del cálculo de carga térmica estimado.

Cámara de refrigeración:	
Temperatura:	5,0 °C
Humedad relativa:	80,0 %
Hora de trabajo:	18,0 h
Detalles de carga:	
Transmisión:	0,873 kW
Infiltración:	0,116 kW
Hielo en el evaporador:	0,008 kW
Productos total:	0,016 kW
Productos, enfriamiento:	0,016 kW
Productos, respiración:	0 kW
Luz:	0,002 kW
Personas:	0,013 kW
Ventiladores:	0 kW
Otros:	0 kW
Desescarche:	0,048 kW
Total:	1,075 kW

Nota: ilustración tomada de Coolselector.

En base al procedimiento del cálculo de carga térmica previamente descrito en el capítulo 2 sección 2.4 y mediante un proceso iterativo de ajuste de las dimensiones de la cámara, se determinó la capacidad de refrigeración que podría cubrir el equipo.

La capacidad nominal del evaporador es de 5 094 BTU/h; sin embargo, considerando la degradación por reparaciones, el rendimiento se reduce aproximadamente al 70 % de su capacidad máxima, obteniéndose así una capacidad efectiva de 3 566 BTU/h (1,045 kW). No obstante, el cálculo realizado con el software para las condiciones evaluadas arrojó un valor de 1,075 kW (3 668 BTU/h), equivalente a aproximadamente el 72 % de la capacidad nominal. Por coherencia con los resultados de simulación, se adoptó este último valor para el dimensionamiento.

Bajo estas condiciones, la estimación indica que el evaporador podría cubrir una cámara con las dimensiones previamente mencionadas, operando a una temperatura interna de 5 °C.

3.3 Análisis de costo

En base al diagnóstico inicial y a los objetivos del proyecto, se evaluaron varias alternativas para la recuperación y rediseño de la cámara de refrigeración experimental. La alternativa 2, seleccionada para su ejecución, consistió en la reutilización del compresor Tecumseh modelo UTS0111LZ y del evaporador MIPAL modelo MI-013, reemplazando únicamente aquellos componentes que presentaban desgaste, fallas funcionales o riesgos para la operación. Entre los elementos sustituidos se incluyeron el presostato dual, el filtro de refrigerante, el refrigerante R-404A y todos los dispositivos eléctricos críticos, junto con la implementación de un nuevo tablero de control equipado con protecciones y medición de parámetros eléctricos en tiempo real.

Tabla 5*Costos de materiales y accesorios alternativa 2.*

Componente	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Contactador	Modelo NC1-3210 32 AMP	2	\$29,80	\$59,60
Breaker	2x40 AMP 5KA 480V	1	\$11,80	\$11,80
Riel Metálico	Riel metálico para fijación de componentes	1	\$3,50	\$3,50
Luz piloto	Luz piloto blanca con indicador de voltaje	1	\$6,50	\$6,50
Luz piloto	Luz piloto blanca con indicador de corriente	1	\$11,50	\$11,50
Pulsador	Pulsador color verde para encendido	1	\$3,18	\$3,18
Pulsador	Pulsador color rojo para apagado	1	\$3,18	\$3,18
Gabinete metálico	Carcasa donde van colocados los componentes	1	\$50,28	\$50,28
Presostato Dual	Presostato de alta y baja temperatura	1	\$113,04	\$113,04
Filtro de refrigerante	Filtro roscable liquido 3/8	1	\$6,25	\$6,25
Refrigerante	Tanque de refrigerante R404A	1	\$98,00	\$98,00
Subtotal				\$366,83
IVA 15%				\$55,02
Total				\$421,85

Nota: Elaboración propia.

El análisis de costos evidencia que la implementación de la alternativa 2 implicó un CAPEX total de \$366,83 (véase la Tabla 5). El valor contempla la adquisición e instalación de todos los repuestos y componentes nuevos requeridos, así como la fabricación del tablero de control. En contraste, la alternativa 3, que proponía el reemplazo total de la cámara, incluyendo el compresor y el evaporador, habría elevado la inversión de forma significativa. Según precios de referencia obtenidos en el mercado digital, el evaporador MIPAL MI-013 tiene un costo aproximado de \$558,00, mientras que un compresor equivalente al compresor Tecumseh UTS0111LZ para refrigerante R-404A se sitúa en un rango de \$300,00 a \$600,00, tomándose como referencia conservadora un valor medio de USD 500,00. A este valor se

debe añadir el costo adicional por materiales de montaje, consumibles y mano de obra especializada, estimado en \$100,00.

Tabla 6

Costos de materiales y accesorios alternativa 3.

Componente	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Contactador	Modelo NC1-3210 32 AMP	2	\$29,80	\$59,60
Breaker	2x40 AMP 5KA 480V	1	\$11,80	\$11,80
Riel Metálico	Riel metálico para fijación de componentes	1	\$3,50	\$3,50
Luz piloto	Luz piloto blanca con indicador de voltaje	1	\$6,50	\$6,50
Luz piloto	Luz piloto blanca con indicador de corriente	1	\$11,50	\$11,50
Pulsador	Pulsador color verde para encendido	1	\$3,18	\$3,18
Pulsador	Pulsador color rojo para apagado	1	\$3,18	\$3,18
Gabinete metálico	Carcasa donde van colocados los componentes	1	\$50,28	\$50,28
Presostato Dual	Presostato de alta y baja temperatura	1	\$113,04	\$113,04
Filtro de refrigerante	Filtro roscable liquido 3/8	1	\$6,25	\$6,25
Refrigerante	Tanque de refrigerante R404A	1	\$98,00	\$98,00
Compresor TECUMSEH	Compresor TECUMSEH (UTS0111LZ/CAJ2464)	1	\$500,00	\$500,00
Evaporador Mipal	Evaporador Mipal (MI-013)	1	\$558,00	\$558,00
Mano de obra	Mano de obra	1	\$100,00	\$100,00
Subtotal				\$1.524,83
IVA 15%				\$228,72
Total				\$1.753,55

Nota: Elaboración propia.

Bajo estos supuestos, la alternativa 3 habría requerido un CAPEX estimado de \$1.524,83 (véase la Tabla 6). Esto representa un incremento de inversión de aproximadamente \$1.158,00 frente a la alternativa 2, sin que dicho sobrecosto implique una mejora proporcional en el rendimiento del sistema. Esta diferencia se considera un costo evitado, ya que ambos componentes reutilizados fueron verificados y se comprobó que operan dentro de los parámetros nominales establecidos por el fabricante, con capacidad suficiente para cubrir la carga térmica del sistema.

Desde el punto de vista económico, esta decisión se sustenta en el análisis de flujo incremental. La alternativa 3, comparada con la alternativa 2, presenta un desembolso inicial superior y no genera beneficios adicionales cuantificables a lo largo de la vida útil del sistema, ya que las condiciones de operación, capacidad frigorífica y confiabilidad se mantienen equivalentes tras la intervención. En este escenario, el Valor Actual Neto (VAN) incremental de la alternativa 3 frente a la alternativa 2 sería negativo. Por lo que, la alternativa 2 genera un ahorro de capital inmediato, permitiendo destinar los recursos no invertidos en el reemplazo de equipos a otras mejoras del sistema o a la adquisición de instrumentación complementaria de valor didáctico.

3.4 Plan de mantenimiento preventivo

Esta sección especifica la periodicidad de las tareas de mantenimiento esenciales, a fin de garantizar el funcionamiento sin problemas del equipo en la siguiente tabla ilustrada.

Tabla 7

Plan de mantenimiento preventivo.

	Tarea de mantenimiento	Sección	Diaria	Semanal	Mensual	Semestral
1	Inspección general	3.4.1	X			
2	Limpieza e inspección exterior del equipo	3.4.2		X		
3	Ajuste de terminales	3.4.3		X		
4	Inspección de integridad	3.4.4			X	
5	Comprobación de daños y desgaste	3.4.5				X

Nota: Elaboración propia.

3.4.1 Inspección general

- Verificar el funcionamiento inicial del compresor, condensador y evaporador.
- Revisar carga y ausencia de fuga de refrigerante.
- Verificar ruidos anormales o problemas de temperatura.
- Revisar que no existan obstrucciones de entradas y salidas del aire.

3.4.2 Limpieza e inspección exterior del equipo

- Limpieza superficial de la cámara de refrigeración con un paño seco.
- Inspeccionar estado del aislamiento térmico, verificar si hay condensación o roturas.
- Eliminar acumulación de polvo en la bobina y válvula de seguridad con una brocha suave.

3.4.3 Inspección de integridad

- Verificar estado del ventilador del evaporador y realizar limpieza y fijación.
- Revisar sistema de descongelación, ausencia de escarcha.
- Inspeccionar presencia de oxidación o corrosión en la cámara de refrigeración.

3.4.4 Ajuste de terminales

- Verificar que los controles, luces piloto y contactores operen correctamente.
- Ajustar terminales y conexiones eléctricas del tablero de control.
- Verificar ausencia de oxidación en componentes eléctricos.
- Sustituir cualquier componente desgastado o dañado antes de la puesta en marcha.

3.4.5 Comprobación de daños y desgaste

- Inspeccionar las presiones del sistema de alta y baja con manómetros certificados.
- Inspeccionar las conexiones del tablero de control con cámara termográfica, tanto durante la operación del sistema como cuando esté detenido, para detectar posibles puntos de sobrecalentamiento o fallas térmicas.
- Verificar estado del refrigerante color, nivel y contaminación.

Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

El diagnóstico técnico preliminar permitió identificar deficiencias operativas críticas en el sistema de refrigeración, tales como la presencia de un presostato defectuoso, una presión de succión inferior al rango operativo recomendado, ausencia parcial del refrigerante R-404A y un sistema eléctrico degradado con conexiones inseguras y componentes obsoletos. Estos hallazgos resultaron fundamentales para establecer una evaluación precisa del estado funcional del equipo y definir un plan de intervención eficiente y estructurado.

La ejecución del proceso de rehabilitación se realizó conforme a los objetivos establecidos en la propuesta técnica, manteniéndose en operación los componentes principales, el evaporador MIPAL MI-013 y el compresor Tecumseh UTS0111LZ, una vez verificado su desempeño dentro de los rangos nominales definidos por el fabricante. Como parte de la modernización, se implementó un nuevo tablero de control dotado de instrumentos digitales para el monitoreo de parámetros eléctricos como voltaje y amperaje. Esta mejora, sumada a la renovación de los dispositivos eléctricos y la recarga del refrigerante, permitió restaurar y reconstruir la cámara de refrigeración experimental garantizando condiciones seguras y confiables de operación.

La selección de la alternativa 2 resultó ser la opción más eficiente desde el punto de vista económico, al implicar una inversión significativamente menor en comparación con la alternativa 3. En términos cuantitativos, se evidenció una reducción de costos de \$1.158, sin comprometer la funcionalidad ni el rendimiento operativo del sistema, permitiendo una

optimización de recursos y favoreciendo la prolongación de la vida útil de los componentes reutilizados.

A través de la simulación realizada con el software especializado Coolselector, se estimó una capacidad efectiva de refrigeración de aproximadamente 3 668 BTU/h, correspondiente al 72 % de la capacidad nominal del evaporador. Esta disminución se considera aceptable, dado que refleja el estado funcional del equipo tras la ejecución de un mantenimiento mayor. La herramienta permitió no solo validar el rendimiento actual del sistema, sino también proyectar su operatividad más allá del entorno académico, abriendo la posibilidad de adaptar su funcionamiento a escenarios reales de aplicación en la industria, siempre que se mantenga dentro de las condiciones térmicas de diseño.

Se diseñó e implementó un plan de mantenimiento preventivo orientado a garantizar la continuidad operativa, confiabilidad y seguridad de la cámara de refrigeración experimental en el largo plazo. Este plan establece intervenciones periódicas basadas en la inspección de parámetros eléctricos, verificación de presiones del refrigerante y control del estado físico de los componentes, permitiendo anticipar fallas incipientes antes de que evolucionen en averías críticas. La ejecución rigurosa de estas acciones reduce significativamente los paros no programados, prolonga la vida útil de elementos clave como el compresor y el sistema de control eléctrico, y contribuye a minimizar los costos asociados al reemplazo prematuro de piezas. Adicionalmente, al tratarse de un equipo destinado a la formación académica, el cumplimiento del plan asegura la disponibilidad permanente del sistema para prácticas estudiantiles.

4.2 Recomendaciones

Tras culminar de manera satisfactoria lo planificado en esta propuesta, se han obtenido resultados que permiten identificar mejoras futuras. Las siguientes recomendaciones integran propuestas claves para continuar ampliando el alcance de este estudio y enfrentar sus limitaciones.

- Se recomienda la incorporación de sensores para monitoreo del sistema: se recomienda la instalación de sensores que permitan medir variables del motor como temperatura, RPM y consumo de corriente. Estos datos pueden vincular con las condiciones térmicas internas de la cámara de refrigeración, permitiendo analizar comportamientos dinámicos tanto del compresor como motor. Esta mejora ampliaría el enfoque del estudio hacia el mantenimiento predictivo, abriendo una línea al análisis de datos y control adaptativo.
- Se recomienda implementar un sistema de registro estructurado que permita documentar cada actividad del plan de mantenimiento ejecutada, especificando la fecha, tipo de intervención, observaciones técnicas y responsables. Esta trazabilidad facilitará la supervisión del cumplimiento del plan y permitirá identificar tendencias de fallas recurrentes.
- Se recomienda continuar con la evaluación energética del sistema a través de la determinación del COP, con el objetivo de cuantificar su eficiencia termodinámica en condiciones reales de operación. Considerando que el equipo estuvo inactivo durante un período prolongado largo, lo cual podría haber afectado su desempeño térmico. La obtención del COP permitirá

establecer una línea base energética, detectar posibles ineficiencias en la transferencia de calor y validar la efectividad de las mejoras implementadas.

Referencias

- ASHRAE. (2021). *Reducción de la liberación de equipos y sistemas de refrigeración y aire acondicionado halogenados*.
- ASHRAE. (2022). *Refrigeración*.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. (2009). *Termodinámica*. McGraw-Hill.
- Dincer, I. (2010). *Sistemas y aplicaciones de refrigeración*.
- GASSERVI. (s.f.). *GASSERVI*. Obtenido de GASSERVI: <https://gas-servei.com/wp-content/uploads/2024/06/Ficha-Tecnica-R-404A-GS.pdf>
- Hafiz, A. (2025). *Ingeniería de refrigeración*. Book Rivers.
- Heatcraft. (2010). *Manual de Entrenamiento Técnico Avanzado*. Brasil.
- IBM. (30 de 01 de 2025). Obtenido de <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/decision-trees>
- Michael, M., & Howard, S. (2010). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics (7.^a ed.)*. John Wiley & Sons.
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. (2021). *Buenas prácticas en los procesos de instalación y mantenimiento de sistemas de refrigeración y aire acondicionado*. Obtenido de <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/06/Manual-refrigeracion-y-aire-acondicionado.pdf>
- Munson, B., & Young, D. (2009). *Fundamentos de mecánica de fluidos*. John Wiley & Sons.
- OpenStax. (2022). *Química 2^a Edición*. Rice University.

Serway, R., & Jewett, J. (2014). *Física para ciencias e ingeniería (9.^a ed.)*.

Silberstein, E., Tomczyk, J., Whitman, W., & Johnson, W. (2022). *Tecnología de refrigeración y climatización*.

Squair Inteligente. (6 de Abril de 2024). *Squair*. Obtenido de <https://blog.squair.io/es/las-5-fallas-mas-identificadas-en-camaras-frigorificas>

Thiel, D. (2018). *Research methods for engineers*. Cambridge University Press.

Universidad Laboral. (2013). *Cálculo y diseño de líneas de refrigerante*. Toledo.

Yañez, G. (2024). Obtenido de Especialista en refrigeración:

<https://www.gildardoyanez.com/ciclo-de-refrigeracion-por-compresion-ciclo-frigorifico/>

ANEXO A

PROPIEDADES Y CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Figura A.1

Propiedades físicas del refrigerante R404A

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	R-404A
Peso molecular	(g/mol)	97.6
Temperatura ebullición a (1,013 bar)	(°C)	-46.5
Deslizamiento temperatura de ebullición (a 1,013 bar)	(K)	0.7
Temperatura crítica	(°C)	72.1
Presión crítica	(bar abs)	37.32
Densidad crítica	(kg/m³)	484.5
Densidad del líquido (25°C)	(kg/m³)	1048
Densidad del líquido (-25°C)	(kg/m³)	1236
Densidad del vapor saturado (a -15°C)	(kg/m³)	18.20
Presión del vapor (25°C)	(kPa)	1255
Presión del vapor (-25°C)	(kPa)	255
Calor latente de vaporización (a 1,013 bar)	(kJ/kg)	200
Calor específico del líquido (25°C) (1,013 bar)	(kJ/kg.K)	1.64
Calor específico del vapor (25°C) (1,013 bar)	(kJ/kg.K)	0.88
Conductibilidad térmica del líquido (25°C)	(W/mK)	0.064
Conductibilidad térmica del vapor (1,013 bar)	(W/mK)	0.0143
Solubilidad con el agua (25°C)	(ppm)	Despreciable
Límite de inflamabilidad (25°C)	(% vol)	Ninguno
Toxicidad (AEL)	(ppm)	1000
ODP	-	0
PCA (GWP)	-	3922 *

Nota: Ilustración tomada de la ficha técnica del refrigerante R404A (GASSERVI, s.f.).

Figura A.2

Conductividad térmica y calor específico para diferentes materiales

Sustancia	Conductividades térmicas k			Valores R
	$W/m \cdot K$	$kcal/m \cdot s \cdot C^{\circ}$	$Btu \cdot in/ft^2 \cdot h \cdot F^{\circ}$	
Aluminio	205	5.0×10^{-2}	1745	0.00069
Latón	109	2.6×10^{-2}	750	0.0013
Cobre	385	9.2×10^{-2}	2660	0.0038
Plata	406	9.7×10^{-2}	12	0.00035
Acero	50.2	1.2×10^{-2}	320	0.0031
Ladrillo	0.7	1.7×10^{-4}	5.0	0.20
Concreto	0.8	1.9×10^{-4}	5.6	0.18
Corcho	0.04	1.0×10^{-5}	0.3	3.3
Cartón de yeso	0.16	3.8×10^{-5}	1.1	0.9
Fibra de vidrio	0.04	1.0×10^{-5}	0.3	3.3
Vidrio	0.8	1.9×10^{-4}	5.6	0.18
Poliuterano	0.024	5.7×10^{-6}	0.17	5.9
Forno de madera	0.55	1.3×10^{-5}	0.38	2.64
Aire	0.024	5.7×10^{-6}	0.17	5.9
Agua	0.6	1.4×10^{-4}	4.2	0.24

Nota: Ilustración tomada del libro de Termodinámica de Cengel y Boles (Cengel & Boles, 2009).

Figura A.3

Potencia entregada por el compresor/condensador

UNIDADE CONDENSADORA **TAURI** / UNIDAD CONDENSADORA **TAURI** Cooling for a Better Tomorrow™

32°C | Temperatura Ambiente
Temperatura Ambiente **R404A / 60Hz** **BAIXA TEMPERATURA**
BAJA TEMPERATURA **Compressor recíproco / alternativo**

Modelo Modelo	Temperatura Externa Temperatura Externa	Performance Desempeño		Temperatura de Evaporação (°C) / Capacidade (kcal/h) Temperatura de Evaporación / Capacidad (kcal/h)						
				-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
UTS0071LZ	32	Cap.	kcal/h	1793	1498	1217	956	722	511	300
		Pot.	kW	1,15	1,02	0,91	0,80	0,71	0,62	0,53
UTS0084LZ	32	Cap.	kcal/h	2119	1769	1436	1128	851	603	335
		Pot.	kW	1,40	1,24	1,09	0,96	0,84	0,73	0,63
UTS0111LZ	32	Cap.	kcal/h	2805	2348	1910	1503	1134	804	442
		Pot.	kW	1,91	1,73	1,57	1,42	1,28	1,15	1,02

Nota: Ilustración tomada del catálogo técnico de Tecumseh products.

Figura A.4

Datos eléctricos condensador/compresor

R404A - LBP - DADOS ELÉTRICOS / DATOS ELÉCTRICOS

Unidade Condensadora Unidad Condensadora	Compressor Compresor	Tensão Tensión (V)	Frequencia Frecuencia (Hz)	RLA RLA (A)	LRA LRA (A)	MCC MCC (A)
Modelo Modelo	Modelo Modelo					
UTS0071LZ	TYA2431ZES	220V	60 Hz	3,65	29	-
UTS0084LZ	TYA2438ZES	220V	60 Hz	4,73	36,5	-
UTS0111LZ	CAJ2464ZHZ	220V	60 Hz	6,5	55	-

Nota: Ilustración tomada del catálogo técnico de Tecumseh products.

Figura A.5

Datos mecánicos del compresor/condensador

R404A - LBP - DADOS MECÂNICOS / DATOS MECÁNICOS

Unidade Condensadora <i>Unidad Condensadora</i>	Peso <i>Peso</i> (kg)	Compressor <i>Compresor</i>	Conexão <i>Conexión</i>		Dimensional <i>Dimensiones</i> (mm)			Tanque de Líquido <i>Depósito de Líquido</i>
Modelo <i>Modelo</i>		Modelo <i>Modelo</i>	Líqu. <i>Líqu.</i>	Suc. <i>Suc.</i>	Alt. <i>Alt.</i> (A)	Larg. <i>Anch.</i> (B)	Comp. <i>Comp.</i> (C)	Capacidade <i>Capacidad</i> (l)
UTS0071LZ	30	TYA2431ZES	3/8"	5/8"	426	446	524	2,1
UTS0084LZ	30	TYA2438ZES	3/8"	5/8"	426	446	524	2,1
UTS0111LZ	32	TYA2446ZES	3/8"	5/8"	426	446	524	2,1
UTS0111LZ	38	CAJ2464ZHZ	3/8"	5/8"	426	446	524	2,1

Figura A.6

Consumo eléctrico evaporador MIPAL

Modelo	Kcal/h										Watts									
	Temperaturas de Evaporación										Temperaturas de Evaporación									
	-31 °F -35 °C	-22 °F -30 °C	-13 °F -25 °C	-4 °F -20 °C	5 °F -15 °C	14 °F -10 °C	23 °F -5 °C	32 °F 0 °C	41 °F 5 °C		-31 °F -35 °C	-22 °F -30 °C	-13 °F -25 °C	-4 °F -20 °C	5 °F -15 °C	14 °F -10 °C	23 °F -5 °C	32 °F 0 °C	41 °F 5 °C	
0013	946	983	1015	1047	1077	1107	1141	1231	1284		1100	1143	1180	1217	1252	1287	1326	1431	1493	

Modelo	HP		Caudal de aire	V	C	Motor AC			Resistencias Eléctricas		
				dm³	Refr. Kg	I ~ 220V			W		
						dB(a)	W	A			
0013	1	1	1 x 1000 m³/h	1,6	0,33	44,3	70	0,6	2 x 600	5,5	5,5d

Nota: Ilustración tomada del catálogo técnico de MIPAL.

Esquema eléctrico del sistema de deshielo

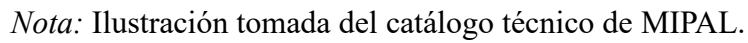
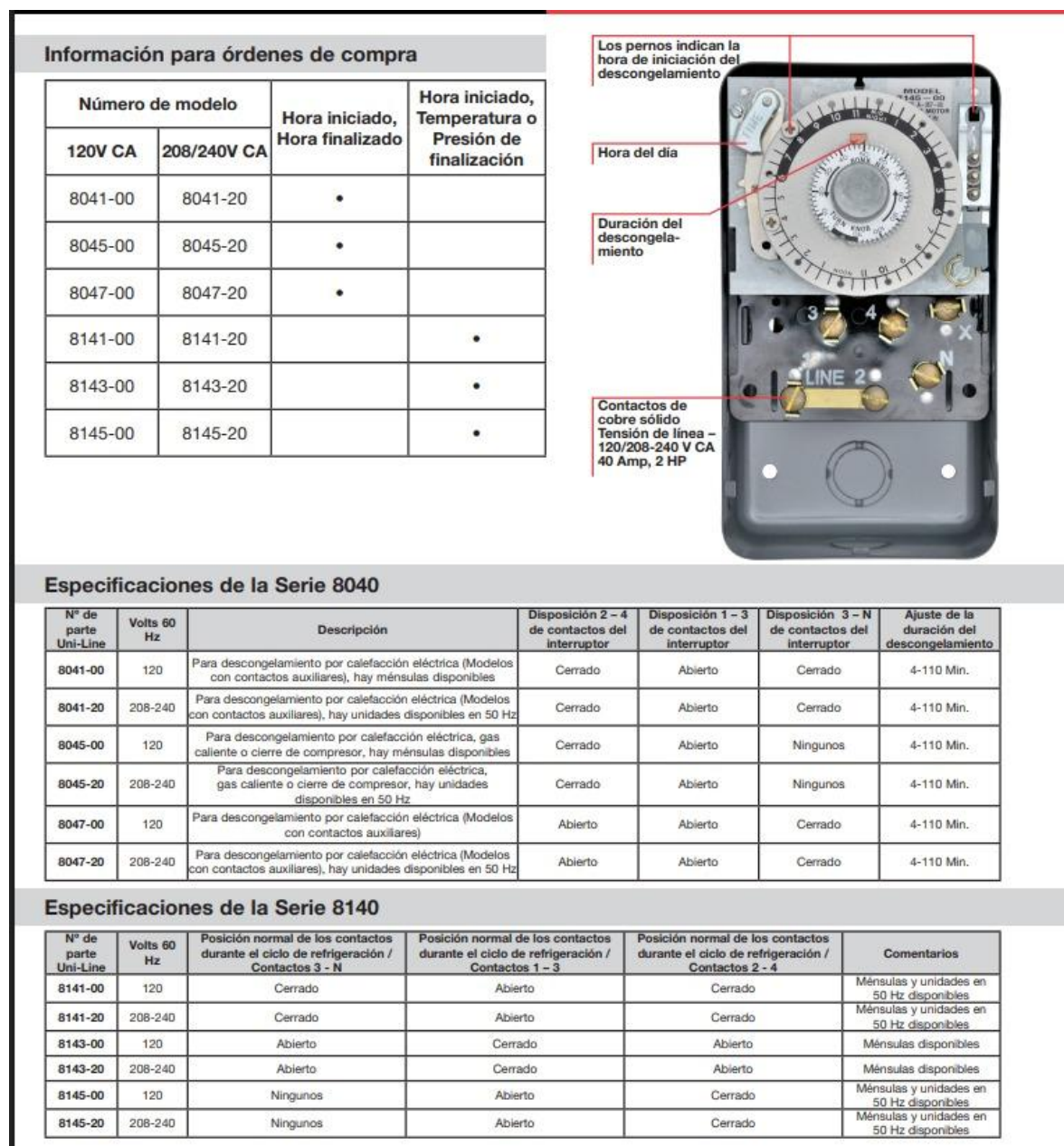


Figura A.8

Ficha técnica del temporizador mecánico de descongelamiento



Nota: Ilustración tomada de la ficha técnica PARAGON Serie 8000.

Figura A.9

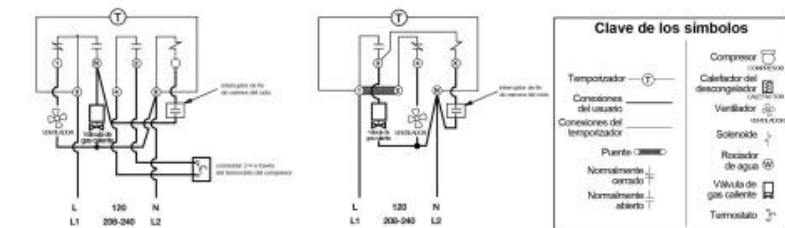
Diagrama de conexión del temporizador mecánico de descongelamiento

Aplicaciones y diagramas de conexión

**DIAGRAMAS DE CONEXIÓN PARA LA SERIE 8140
DESCONGELAMIENTO POR GAS CALIENTE**

MODELOS 8143-00 y 8143-20

MODELOS 8145-00, 8145-20 y E357-00



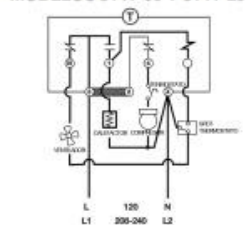
Conexión que utiliza tensión de línea monofásica de la válvula solenoide de gas caliente de 120 V o 240 V común con la del temporizador. Ciclo de Refrigeración: Ventilador ON, válvula solenoide de gas caliente cerrada, compresor ON. Ciclo de Descongelamiento: Ventilador OFF, válvula solenoide de gas caliente abierta, compresor ON.

Conexión que utiliza tensión de línea monofásica de 120 V o 240 V con el termostato del compresor cerrado durante el descongelamiento.

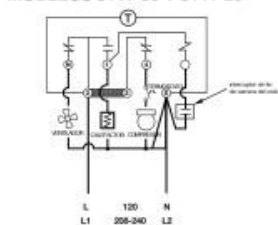
DESCONGELAMIENTO POR CALEFACCIÓN ELÉCTRICA

MODELOS 8141-00 Y 8141-20

MODELOS 8141-00 Y 8141-20



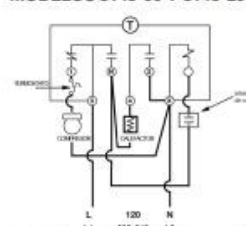
Conexión que utiliza termostato diferencial con interruptor SPDT para retardar el ventilador después del descongelamiento. termostato del compresor cerrado durante el descongelamiento.



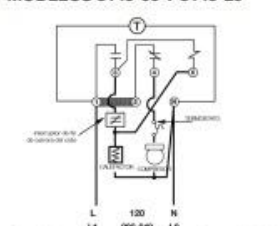
Conexión que utiliza tensión de línea monofásica de 120 V o 240 V con circuito de ventilador auxiliar.

MODELOS 8143-00 Y 8143-20

MODELOS 8145-00 Y 8145-20



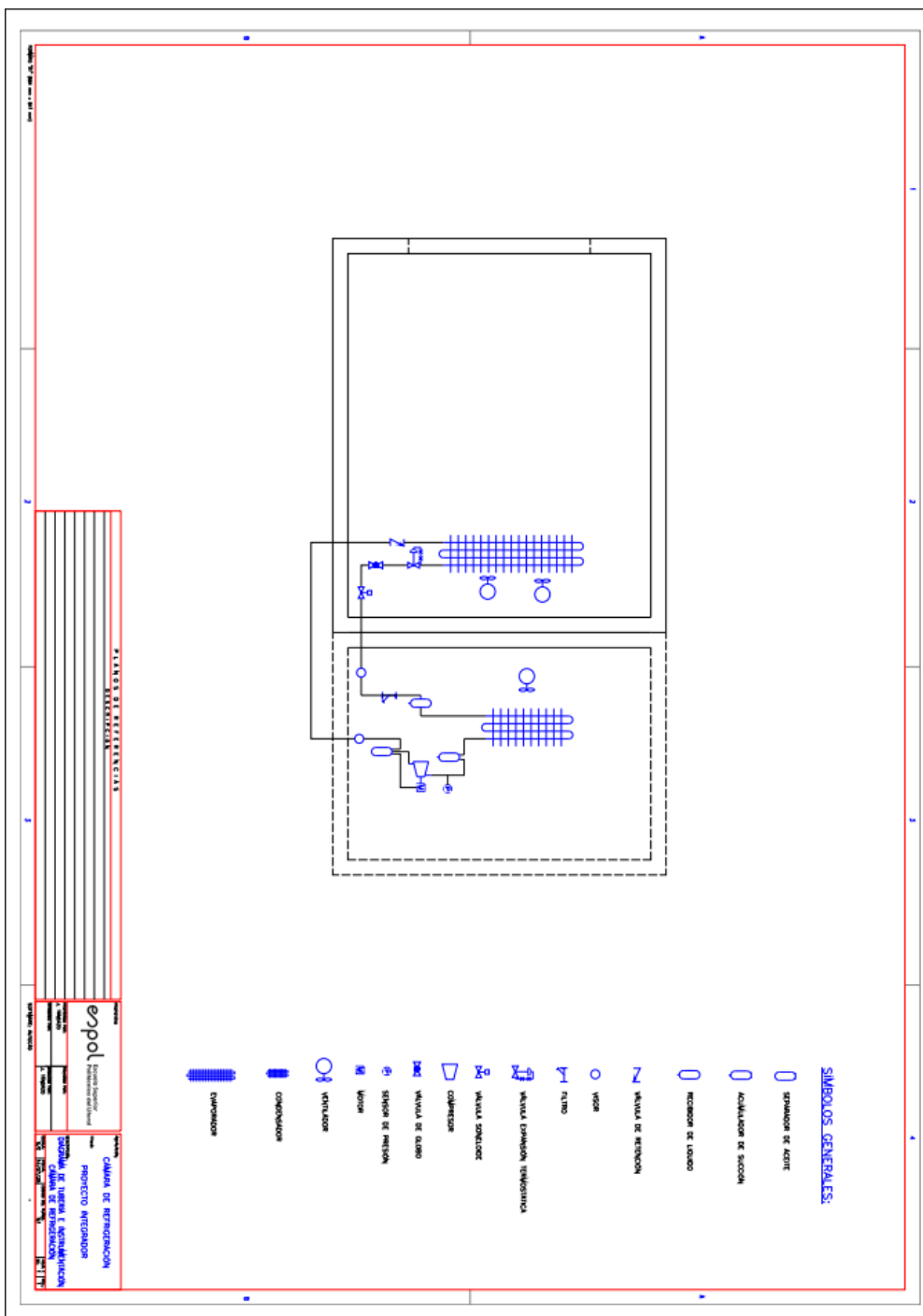
Conexión que utiliza tensión de línea monofásica de 240 V que abre ambos lados del circuito del calefactor.



Termostato normalmente cerrado usado con calefactor de descongelamiento. Conexión que utiliza tensión de línea del compresor monofásica de 120 V o 240 V que es común al temporizador.

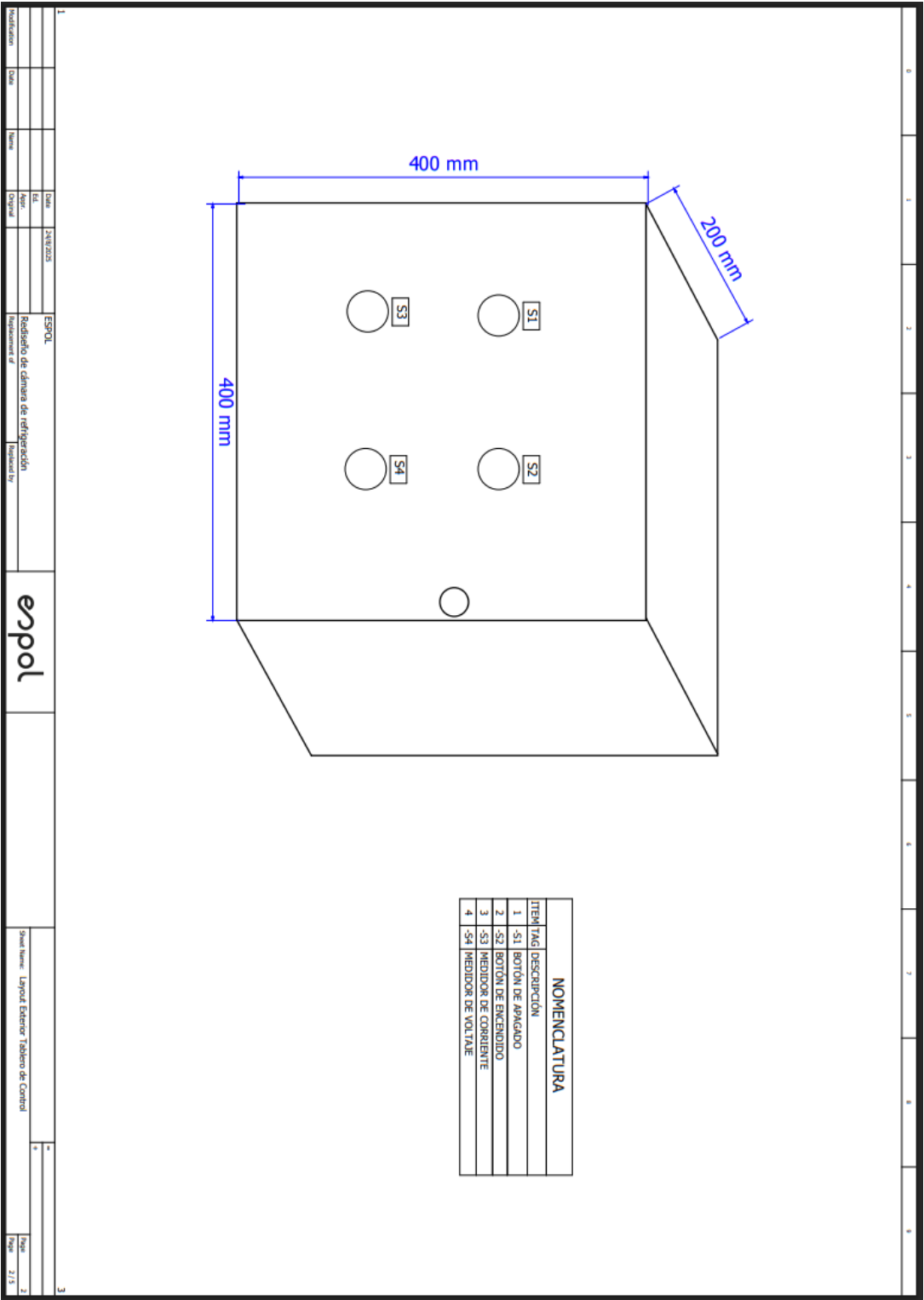
Nota: Ilustración tomada de la ficha técnica PARAGON Serie 8000.

Diagrama de tubería e instrumentación de la cámara de refrigeración experimental



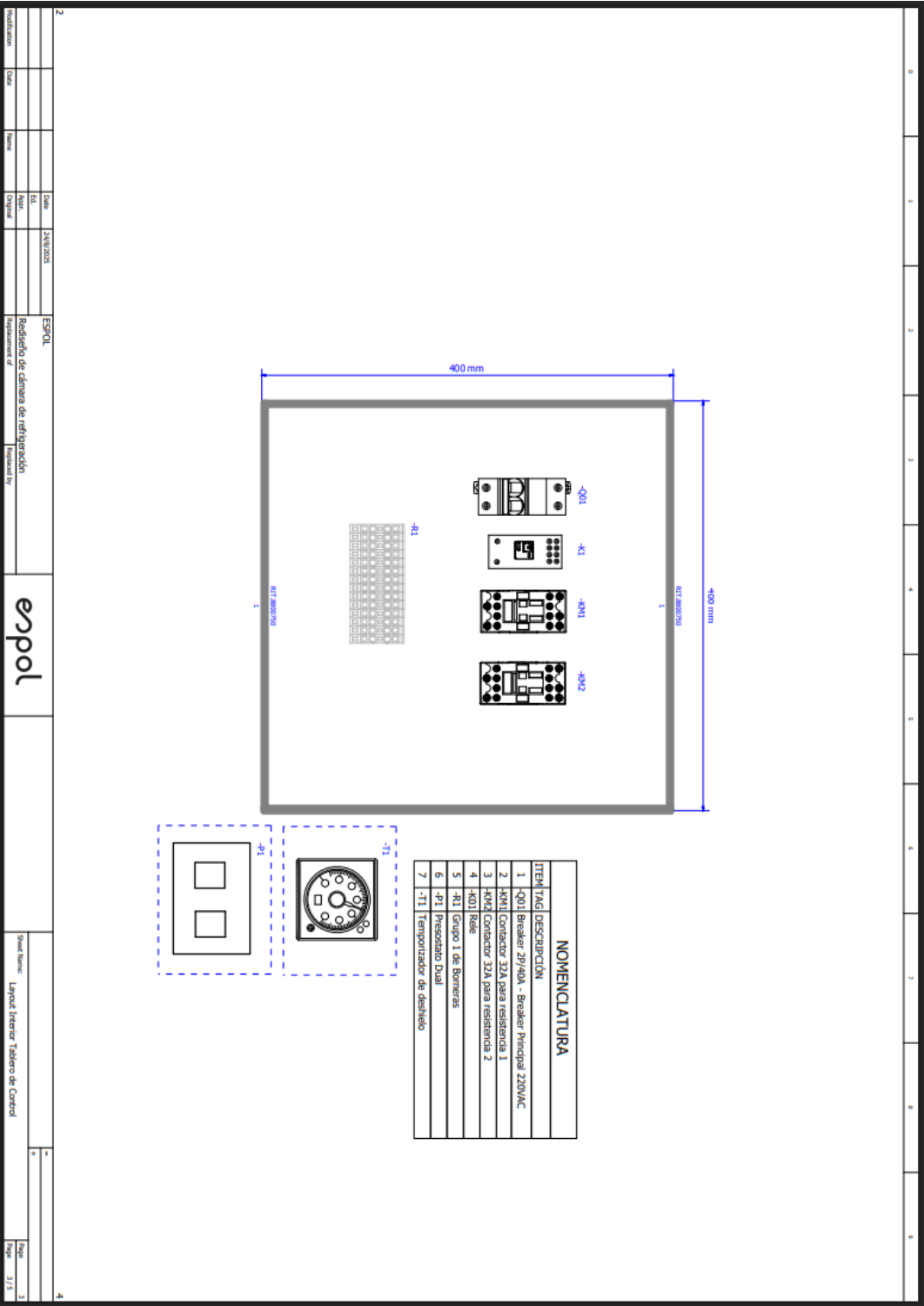
Plano 2

Layout Exterior Tablero de Control



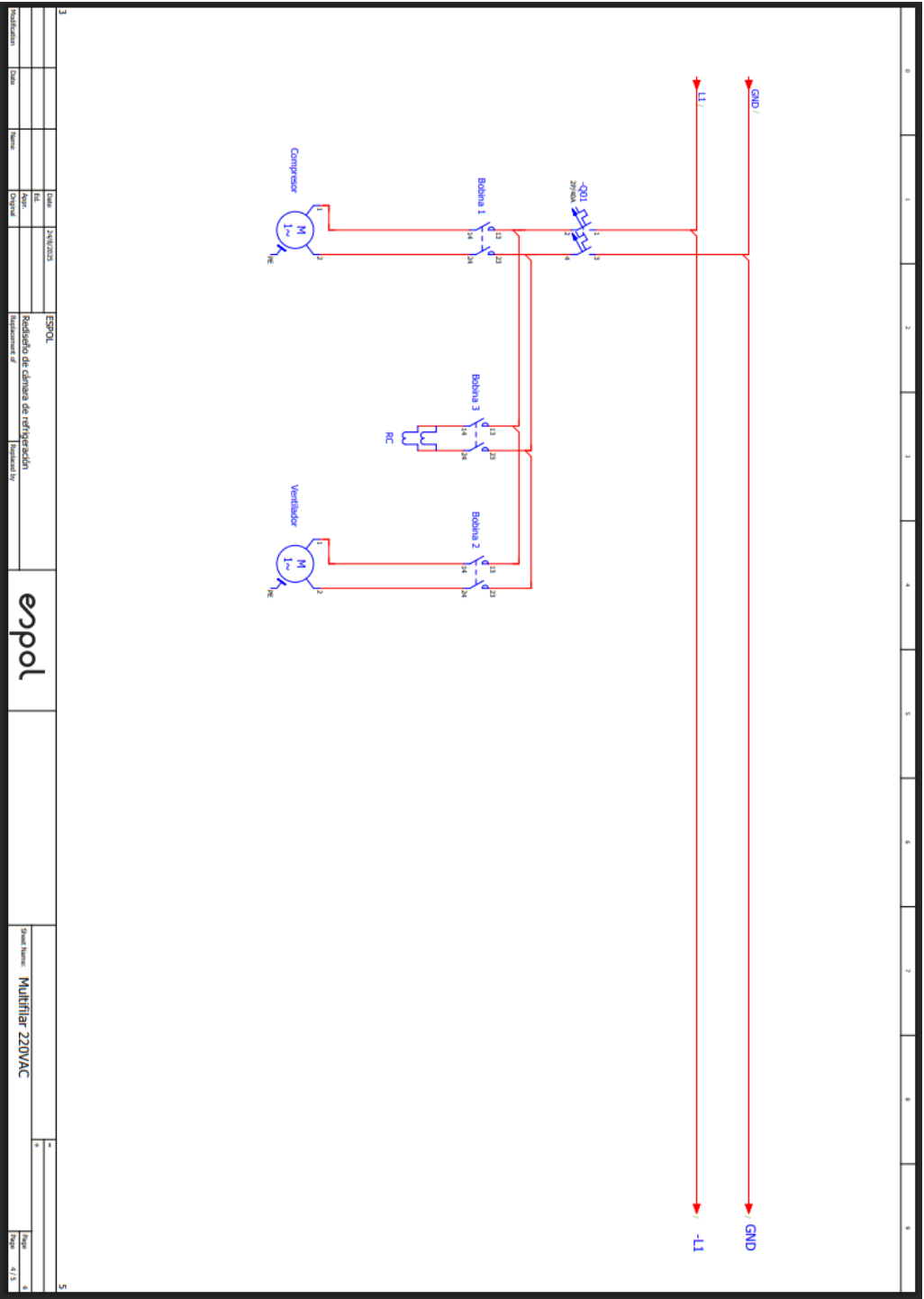
Plano 3

Layout Interior Tablero de Control



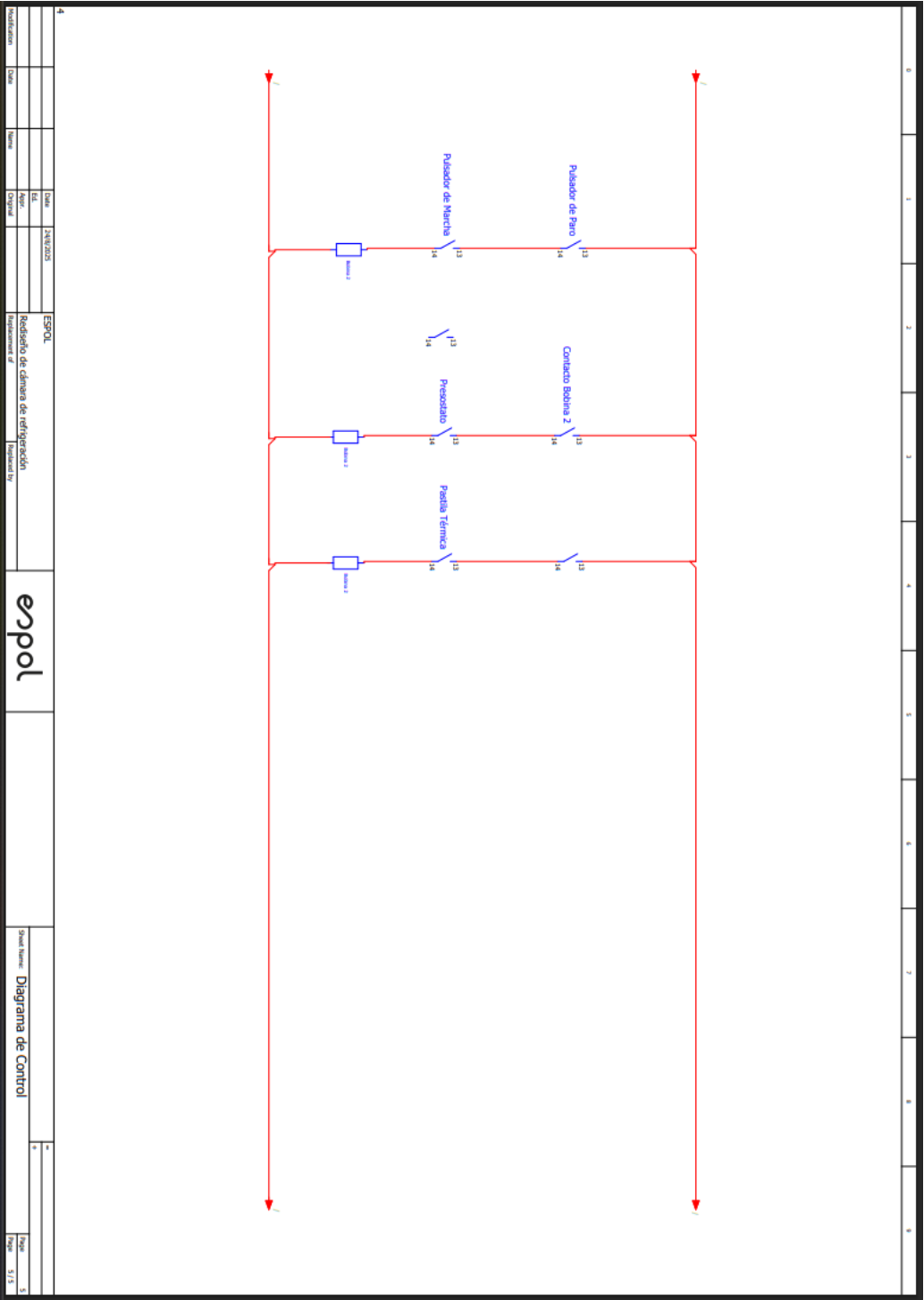
Plano 4

Multifilar 220VAC



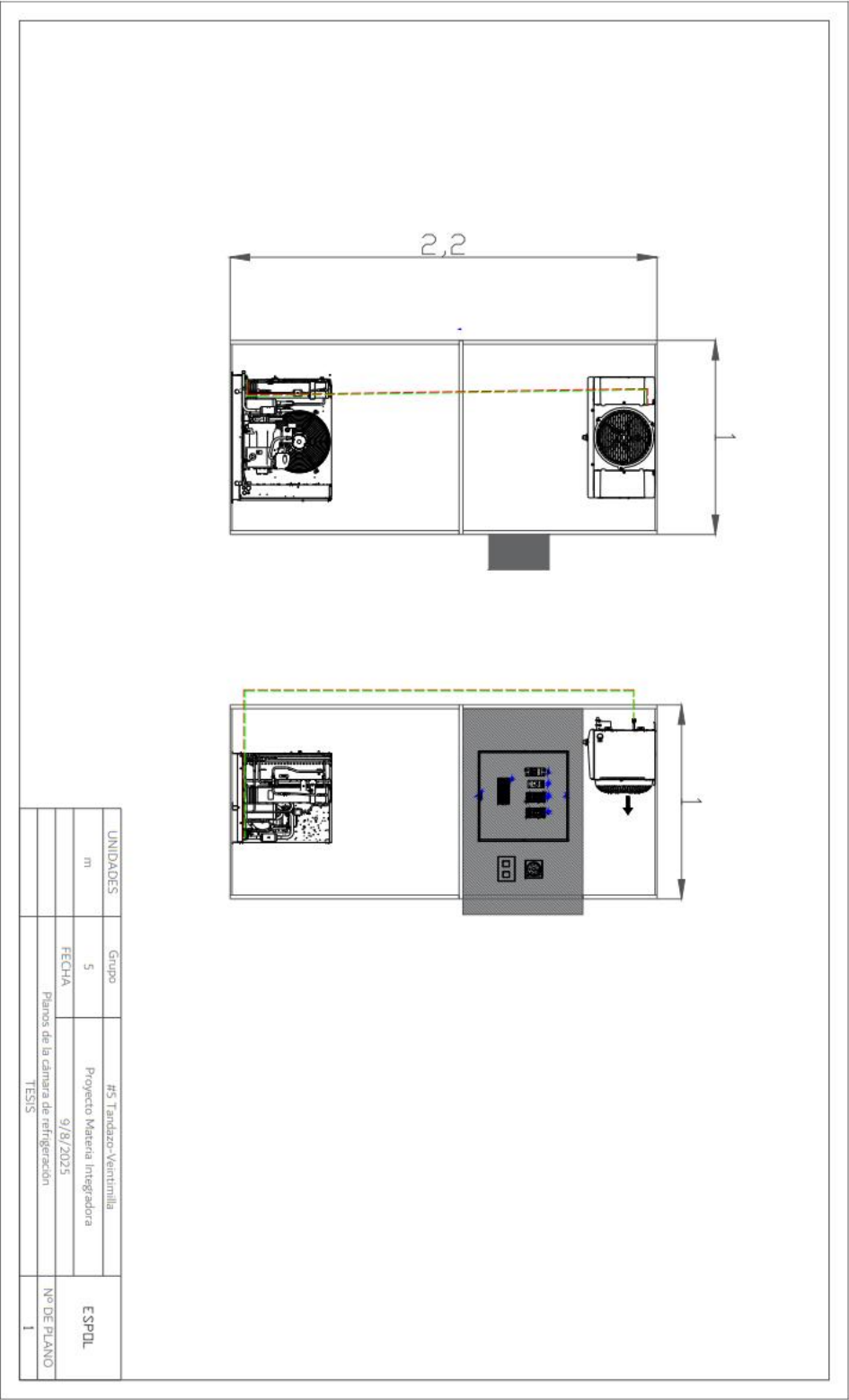
Plano 5

Diagrama de Control



Plano 6

Plano final de la cámara de refrigeración experimental



Plano 7

Plano final de la cámara de refrigeración experimental.

