



# **UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**

## **FACULTAD**

Ingeniería Industria y Arquitectura

## **CARRERA**

Ingeniería Marítima

## **TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del título de “Ingeniero Marítimo”

### **MODALIDAD:**

Proyecto Técnico

### **TEMA:**

Diseño y Construcción de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor con fines pedagógicos.

### **AUTORES:**

Baque Anzulez Josué Alexander


Ruiz Ávila Pablo Gabriel

### **TUTOR:**

PhD. Mercedes Alemán García

Manta – Manabí – Ecuador

2024

	<b>NOMBRE DEL DOCUMENTO:</b> <b>CERTIFICADO DE TUTOR(A).</b>	<b>CÓDIGO: PAT-04-F-004</b>
	<b>PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO.</b>	<b>REVISIÓN: 1</b> Página 1 de 1

## CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, certifico:

Haber dirigido y revisado el trabajo de titulación, cumpliendo el total 80 horas, bajo la modalidad de Proyecto técnico, cuyo tema del proyecto es **“Diseño y Construcción de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor con Fines Pedagógicos.”**, el mismo que ha sido desarrollado de acuerdo a los lineamientos internos de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo CERTIFICO, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometido a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

La autoría del tema desarrollado corresponde al señor **Baque Anzulez Josué Alexander**, estudiante de la carrera de Ingeniería Marítima, período académico 2024 (1), quien se encuentra apto para la sustentación de su trabajo de titulación.


Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 26 de Julio del 2024

Lo certifico,



Ing. Mercedes Alemán García  
**Docente Tutor(a)**

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

## CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutora de la Facultad Ingeniera, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Ruiz Avila Pablo Gabriel, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Marítima período académico 2024-2025, cumpliendo el total de 80 horas, cuyo tema del proyecto es **"Diseño y Construcción de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor con Fines Pedagógicos"**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.


Manta, 27 de julio de 2024.

Lo certifico,



PhD. Mercedes Alemán García  
**Docente Tutora**

## *Declaración de autoría*


	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE AUTORIA.
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO.

### **CERTIFICADO DE AUTOR**

Los derechos de título y redacción, corresponde conforme el reglamento de propiedad intelectual de la institución al Sr. JOSUE ALEXANDER BAQUE ANZULEZ y al Sr. PABLO GABRIEL RUIZ AVILA damos consentimiento para que la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ejecute la comunicación publica de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.

  
Josué Alexander Baque Anzulez  
**Autor**

  
Pablo Gabriel Ruiz Ávila  
**Autor**

  
Ing. Mercedes Alemán García  
**Docente Tutor(a)**

*Aprobación del trabajo de titulación*

Previo al cumplimiento de los requisitos de la ley, el tribunal de grado otorga la aprobación:

Ing. Edwin Ponce  
Miembro Tribunal

\_\_\_\_\_

Ing. Xavier Guillén  
Miembro Tribunal

\_\_\_\_\_

Ing. Israel Terán  
Miembro Tribunal

\_\_\_\_\_

Abg. Felipe Palma  
Secretario

\_\_\_\_\_

## *Dedicatoria*

"Queridos familiares",

En este punto culminante de nuestro viaje académico, nos encontramos reflexionando sobre los años de dedicación, esfuerzo y aprendizaje que nos han llevado hasta aquí. Esta tesis no solo representa el resultado de nuestras investigaciones, sino también el fruto de nuestra colaboración y amistad.

Nos gustaría expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestros padres por su apoyo incondicional y orientación han sido fundamentales en este proceso.

A nuestros seres queridos, gracias por creer en nosotros y por ser nuestra fuente constante de inspiración. Vuestra paciencia, amor y comprensión nos han sostenido en los momentos más desafiantes.

A nuestros profesores y mentores, gracias por compartir vuestro conocimiento y experiencia con nosotros. Vuestras enseñanzas han enriquecido nuestra comprensión del mundo y han moldeado nuestra forma de pensar.

A nuestros amigos y compañeros, gracias por el apoyo mutuo y por ser parte de este viaje. Vuestra camaradería ha hecho que los desafíos parezcan más llevaderos y las victorias más dulces.

Este logro no habría sido posible sin todos ustedes. Nos sentimos bendecidos y agradecidos por tenerlos en nuestras vidas.

Con todo nuestro cariño y gratitud,

Baque Anzulez Josué y Ruiz Ávila Pablo

### *Agradecimiento*

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todos aquellos que han sido parte de este viaje académico con nosotros. Vuestra ayuda, apoyo y ánimo nos han impulsado a alcanzar este logro. ¡Gracias!

Con gratitud,

Baque Anzulez Josué y Ruiz Ávila Pablo

## ***RESUMEN***

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor se diseña y se construye con el propósito de mejorar la comprensión y práctica de los principios de la refrigeración, especialmente en un entorno educativo, donde las prácticas convencionales pueden presentar desafíos en términos de seguridad. En esta tesis se abordan las definiciones esenciales de la refrigeración, su relevancia en diversas aplicaciones, y los materiales utilizados en su implementación. Además, se realizan cálculos detallados para el diseño y construcción, considerando la selección de la capacidad frigorífica, el tipo de compresor, el tipo de evaporador, el material de la cámara y la temperatura deseada. Los cálculos estructurales se ejecutan utilizando el software especializado como SolidWorks. El diseño del ciclo de refrigeración se realiza mediante el software Genetron Properties 1.1. Finalmente, se elabora una guía pedagógica que facilita la comprensión del sistema y su funcionamiento.

### **Palabras clave:**

**Refrigeración, compresión, vapor, guía pedagógica, diseño estructural.**



## ***Abstract***

The vapor compression refrigeration cycle is designed and constructed with the purpose of improving the understanding and practice of refrigeration principles, especially in an educational environment where conventional practices may present safety challenges. This thesis addresses the essential definitions of refrigeration, its relevance in various applications, and the materials used in its implementation. Additionally, detailed calculations are performed for the design and construction, considering the selection of refrigeration capacity, the type of compressor, the type of evaporator, the material of the chamber, and the desired temperature. Structural calculations are executed using specialized software like SolidWorks. The refrigeration cycle design is conducted using Genetron Properties 1.1 software. Finally, a pedagogical guide is developed to facilitate the understanding of the system and its operation.

### **Keywords:**

**Vapor, compression, refrigeration, pedagogical guide, structural design.**

## Índice

Declaración de autoría.....	III
Aprobación del trabajo de titulación .....	IV
Dedicatoria .....	V
Agradecimiento .....	VI
RESUMEN.....	VII
Abstract .....	VIII
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.</b> .....	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	1
1.2 Antecedentes .....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Propuesta de proyecto .....	4
1.5.    Objetivo General.....	5
1.6.    Objetivos Específicos .....	5
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>7</b>
2.1. Historia de la refrigeración.....	7
2.2. Conceptos Fundamentales sobre la refrigeración .....	8
2.2.1 Refrigeración.....	8
2.2.2 Calor.....	8
2.2.3 Conductividad Térmica .....	8
2.2.4 Sistema Termodinámico.....	8

2.2.5	Temperatura y presión de saturación.....	9
2.2.6	Transferencia de calor .....	9
2.2.7.	Compresión de vapor .....	9
2.2.9.	Ciclo de refrigeración real por compresión mecánica.....	12
2.3.	Componentes principales de instalaciones frigoríficas.....	12
2.3.1.	Compresor.....	12
2.3.2.	Condensador.....	14
2.3.3.	Evaporador .....	14
2.3.4	Dispositivo de expansión .....	14
2.4.	Elementos de regulación y control.....	16
2.4.1.	Válvula solenoide.....	16
2.4.3.	Presostato .....	16
2.4.5.	Termostato.....	17
2.4.6.	Válvula de paso .....	17
2.4.7.	Filtros secadores.....	18
2.4.7.	Recipiente de líquido.....	18
2.4.8.	Visor o mirilla de líquido .....	19
2.4.9.	Manómetro .....	19
2.5	Refrigerante.....	20
2.5.1	Halogenados.....	20
2.5.2	Hidrocarburos.....	21

2.5.3 Inorgánicos.....	21
2.6. Seguridad de uso del equipo .....	22
I. Capacitación del personal .....	22
II. Diseño seguro .....	22
III. Uso de refrigerantes seguros .....	22
IV. Supervisión adecuada .....	22
V. Mantenimiento regular.....	23
2.7. Aislamiento térmico .....	23
2.8. Sistema de control eléctrico .....	25
2.8.1 Contactor.....	25
2.8.2 Tablero poliéster.....	26
2.8.3 Luces piloto.....	26
2.8.4 Selector.....	26
2.8.5 Breaker .....	27
CAPÍTULO III: DISEÑO DEL PROYECTO.....	28
3.1 Selección de refrigerante.....	29
3.2 Balance térmico correspondiente a unidad frigorífica .....	29
3.2.1 Pérdidas debido a transmisiones (paredes, techo y suelo) .....	32
3.2.2 Carga térmica por calor desprendido de ventiladores .....	35
3.2.3 Cargas térmicas por pérdidas diversas .....	35
3.2.4 Potencia de equipo necesaria .....	36

3.3. Elección del compresor .....	37
3.4 Elección unidad evaporadora .....	37
3.4.1 Datos técnicos evaporador HEJ PLUS-1D .....	39
3.5 Elección unidad condensadora .....	40
3.5.1 Datos técnicos condensador CB-83 .....	43
3.6 Elección dispositivo de expansión .....	43
3.6.1 Consideraciones para elección de dosificador capilar .....	44
3.7 Construcción del ciclo dentro del diagrama de Mollier .....	45
3.8 Análisis de condiciones de trabajo .....	53
3.9 Elaboración de plano frigorífico .....	55
3.10 Diseño y análisis estructural de la mesa de soporte de los elementos de refrigeración.....	58
3.10.1 Propiedades del Material.....	59
3.10.2 Información de la Malla .....	59
3.10.3 Resultados del Análisis .....	60
3.10.4 Interpretación de los Resultados .....	60
3.10.5 Conclusión del análisis estructural de la mesa.....	61
CAPITULO IV: CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO .....	62
4.1 Acondicionamiento de Refrigeradora Global RG10AF .....	62
4.2 Construcción de la mesa de soporte .....	63
4.3 Marcado, colocación y ensamblaje de componentes de refrigeración.....	66

4.4 Configuración del termostato FULL GAUGE .....	68
4.5 Pruebas realizadas .....	70
4.5.1. Prueba #1 .....	70
4.5.2. Prueba #2 .....	71
4.6 Elaboración de guía metodológica basado en prueba de laboratorio .....	72
Introducción .....	72
Importancia del banco de prueba en la pedagogía .....	74
Conceptos básicos a tener en cuenta para la utilización del banco de pruebas ....	75
Conceptos básicos de seguridad .....	76
Preguntas de Comprobación .....	77
Ejercicios .....	79
Conclusiones .....	85
4.7 Análisis de costos .....	86
4.7.1. Costos directos .....	86
4.7.2. Costos Indirectos .....	89
4.7.3. Costo Total .....	89
CONCLUSIONES .....	91
RECOMENDACIONES .....	92
REFERENCIAS .....	93

Figura 1 Representación de Ciclo de refrigeración.....	10
Figura 2 Ilustración de refrigerador doméstico.....	11
Figura 3 Compresor hermético de 1/3 hp.....	13
Figura 4 Tubo capilar .....	15
Figura 5 Esquema de válvula solenoide.....	16
Figura 6 Presostato dual.....	17
Figura 7 Controlador de temperatura .....	17
Figura 8 Filtro secador seccionado .....	18
Figura 9 Receptor de líquido.....	19
Figura 10 Visor de líquido 1/4 plg .....	19
Figura 11 Manómetro de baja presión.....	20
Figura 12 Clasificación de los refrigerantes.....	21
Figura 13 Refrigerador a usar para reacondicionamiento .....	28
Figura 14 Planos evaporador HEJ PLUS-1D.....	39
Figura 15 Evaporar HEJ PLUS-1D.....	40
Figura 16 Unidad Condensadora CB-83.....	43
Figura 17 Dosificador capilar.....	45
Figura 18 Interfaz primaria software "COOLPACK".....	46
Figura 19 Selección de refrigerante de trabajo dentro de software.....	47
Figura 20 Propiedades del diagrama con respecto al refrigerante R134a software "COOLPACK".....	47
Figura 21 Diagrama de Mollier R134a .....	49
Figura 22 Establecimiento parámetros de trabajo.....	51
Figura 23 Ciclo representado dentro de la campana de Mollier .....	52

Figura 24 Condiciones de trabajo dentro del software "Genetron Properties".	54
Figura 25 Plano frigorífico.	57
Figura 26 Análisis estructural de mesa y sus cargas	58
Figura 27 Resultados de análisis estructural	61
Figura 28 Limpieza respectiva de la unidad refrigeradora.	62
Figura 29 Ensamblado de unidad frigorífica y evaporador.	63
Figura 30 Construcción mesa de soporte	64
Figura 31 Eliminación de rebabas mediante el uso de lija.	65
Figura 32 Resultado final de mesa de soporte	65
Figura 33 Proceso de marcado de elementos en mesa de soporte.	66
Figura 34 Colocación de manómetros.	67
Figura 35 Soldadura oxiacetilénica en tuberías	68
Figura 36 Esquema de conexión FULL GAUGE	69
Figura 37 Verificación de fugas en cañerías	70
Figura 38 Temperatura al paso de 15 minutos de encendido	71
Figura 39 Temperatura al paso de 55 minutos de encendido	72



Ecuación 1 Cantidad de calor extraído.....	30
Ecuación 2 Cargas térmicas debido a la perdida por transmisión.....	32
Ecuación 3 Coeficiente global de transmisión de calor ".....	32
Ecuación 4 Carga térmica por valor desprendido de ventiladores.....	35
Ecuación 5 Cargas térmicas por pérdidas diversas.....	36
Ecuación 6 Potencia del equipo.....	36
Ecuación 7 Temperaturas de trabajo.....	41
Ecuación 8 Temperatura de subenfriamiento de entrada a dosificador capilar.....	50

ANEXO A Propiedades del Refrigerante R134A. ....	95
ANEXO B Presiones y temperaturas de trabajo de R134A. ....	96
ANEXO C Propiedades del aire a 1 atm de presión. ....	97
ANEXO D Catálogo compresores SIKELAN. ....	98
ANEXO E Catálogo "ANFRIGAL" evaporadores. ....	99
ANEXO F Catálogo GRUPO DISCO. Sección condensadores. ....	100
ANEXO G Tabla de dimensionamiento capilar TECUMESH ....	101
ANEXO H Propiedades del estudio estructural de la mesa de soporte. ....	102
ANEXO I Plano representativo mesa soporte de elementos de refrigeración. ....	105
ANEXO J Plano representativo refrigerador. ....	106
ANEXO K Diagrama de poder. ....	107

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

## 1.1 Introducción

La refrigeración por compresión de vapor es un proceso esencial en una amplia gama de industrias, que parte desde la conservación de alimentos y de productos farmacéuticos. Este proceso permite mantener la temperatura de productos perecederos, resguardar la calidad de ciertos materiales sensibles al calor, y viabilizar numerosos procesos industriales. En el ámbito educativo, referente al área ingenieril, comprender los principios y prácticas de la refrigeración es fundamental para formar profesionales competentes en este campo.

La enseñanza de la refrigeración por compresión de vapor puede resultar desafiante por la complejidad de los conceptos involucrados y la necesidad de comprender aspectos teóricos y prácticos. Además, la seguridad y el bienestar de los estudiantes y profesores durante la realización de prácticas de refrigeración también son consideraciones importantes.

Por consiguiente, se presenta la necesidad de diseñar y construir un ciclo de refrigeración por compresión de vapor con propósitos educativos. El propósito de este proyecto es ofrecer a los estudiantes un entorno de aprendizaje práctico y seguro, permitiéndoles entender los principios básicos de la refrigeración y desarrollar habilidades prácticas en el diseño, operación y mantenimiento de sistemas de refrigeración.

El proyecto busca la elaboración de una guía de estudio detallada para garantizar que el sistema de refrigeración se pueda utilizar de forma eficaz y segura en el entorno educativo. Esta guía proporcionará a los instructores y estudiantes información detallada sobre el funcionamiento del ciclo de refrigeración, los procedimientos de operación segura, y varias prácticas referentes a mediciones en los aspectos relevantes del ciclo, como son las presiones y temperaturas, para posterior realizar los ejercicios indicados dentro de esta guía.

En resumen, este proyecto de diseño y construcción de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor con fines pedagógicos busca mejorar la calidad de la educación en el

campo de la refrigeración, proporcionando a los estudiantes las herramientas y conocimientos necesarios para tener éxito en este sector de constante evolución. Además, se espera que este proyecto contribuya al desarrollo de prácticas seguras y eficientes en la manipulación de sistemas de refrigeración en entornos educativos y profesionales.

## **1.2 Antecedentes**

Desde tiempos antiguos, la humanidad ha buscado formas de conservar los alimentos, reconociendo la importancia de mantener su frescura y calidad. A lo largo de los siglos, se han desarrollado varias técnicas de conservación, desde el uso de hielo hasta el método moderno de refrigeración por compresión de vapor. Este último avance ha revolucionado el almacenamiento y la distribución de alimentos perecederos, permitiendo la conservación a gran escala.

En el ámbito educativo, enseñar los principios de la refrigeración es crucial para formar profesionales competentes en este campo en constante evolución. Los cursos técnicos sobre refrigeración a menudo implican proyectos que combinan experiencia práctica con conocimientos teóricos, ayudando a los estudiantes a comprender cómo operan los sistemas de refrigeración.

El objetivo de este proyecto es desglosar todas las partes del sistema de refrigeración en una escala menor para facilitar la comprensión de los estudiantes. Además, se proporciona una guía de estudio detallada, que ofrece información clave sobre el funcionamiento del sistema de refrigeración.

En este contexto, diseñar y construir un ciclo de refrigeración por compresión de vapor con fines educativos presenta una oportunidad para mejorar la calidad de la educación en refrigeración. Este proyecto equipa a los estudiantes para enfrentar los desafíos de una industria en constante cambio, promoviendo prácticas seguras y eficientes en el manejo de sistemas de refrigeración.

Al comprender los componentes y funciones esenciales de un sistema de refrigeración, los estudiantes pueden desarrollar una base sólida en esta tecnología esencial. El proyecto también enfatiza la importancia de la sostenibilidad y la eficiencia energética, factores clave en las prácticas modernas de refrigeración. A través de la experiencia práctica y materiales de estudio integrales, los estudiantes estarán bien preparados para contribuir al avance de la tecnología de refrigeración y sus aplicaciones en diversas industrias.

### **1.3 Justificación**

La refrigeración por compresión de vapor es fundamental en diversas industrias relacionadas con la manipulación de productos perecederos y la conservación de productos sensibles a los cambios abruptos de temperaturas. Sin embargo, su práctica tradicional implica riesgos para los operadores, como la exposición a sustancias químicas, el ruido, y las lesiones por frío. En sectores como la industria alimentaria, la refrigeración se utiliza en sistemas de almacenamiento, transporte, y procesamiento de alimentos, subrayando la importancia de garantizar condiciones seguras de trabajo. Además, la misma está presente en ámbitos como la climatización, rama encargada de regular las condiciones ambientales de un espacio interior, con sistemas de aires acondicionados; para brindar un ambiente confortable al ser humano.

La presente investigación se justifica en virtud de la creciente importancia de la formación técnica y la necesidad de mejorar los recursos didácticos efectivos en la institución. Los sistemas de refrigeración por compresión de vapor son fundamentales en sectores industriales y domésticos, donde se requiere un sólido entendimiento teórico y habilidades prácticas de los futuros profesionales. Sin embargo, la escasez de material didáctico específico y la complejidad inherente a estos sistemas presentan desafíos en la enseñanza.

La utilidad del proyecto se extiende a varios beneficiarios. En primer lugar, los estudiantes son los principales beneficiarios al tener acceso a un equipo educativo único que les permita adquirir habilidades prácticas relevantes para su formación profesional. El impacto

esperado del proyecto es significativo, ya que se espera mejorar la calidad de la educación en el área de la refrigeración, aumentar el nivel de competencia de los estudiantes y fortalecer la conexión entre la teoría y la práctica en el contexto educativo. Esto, a su vez, puede tener un impacto positivo en la preparación de los estudiantes para ingresar al mercado laboral y contribuir al desarrollo de la industria de la refrigeración

La construcción de este sistema de refrigeración por compresión de vapor se centra en la implementación de prácticas pedagógicas, incluyendo la creación de una guía de estudio detallada. Se llevan a cabo pruebas exhaustivas para evaluar tanto el funcionamiento como el rendimiento del ciclo, lo cual depende del ajuste adecuado de los parámetros de operación y del mantenimiento regular del equipo.

#### **1.4 Propuesta de proyecto**

En el ámbito marítimo, la refrigeración industrial no solo es esencial para preservar alimentos y mantener productos en condiciones óptimas durante el transporte en barcos, sino que también desempeña un papel clave en la seguridad y el bienestar de la tripulación y los pasajeros. La formación en refrigeración industrial para quienes trabajan en este sector es crucial para garantizar el correcto funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de refrigeración a bordo de las embarcaciones. Esta formación no solo abarca aspectos técnicos, como el funcionamiento de los equipos y la resolución de problemas, sino también aspectos específicos del entorno marítimo, la seguridad en el manejo de refrigerantes y el cumplimiento de regulaciones internacionales. Una capacitación sólida no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la seguridad y el bienestar de todos a bordo.

Por ello, diseñar, construir e implementar un sistema de refrigeración por compresión con fines pedagógicos en una institución educativa se convierte en una iniciativa invaluable. Este proyecto se enfoca en construir un equipo educativo único que satisface las necesidades de enseñanza en el campo de la refrigeración, abordando tanto los aspectos técnicos como

pedagógicos. El ciclo de refrigeración se diseña para cumplir con objetivos específicos de aprendizaje, ofreciendo a los estudiantes una experiencia práctica y aplicada en el área, preparándolos para abordar los desafíos reales del ámbito marítimo con conocimiento y competencia.

Se lleva a cabo una investigación exhaustiva para establecer un diseño adecuado, considerando la disponibilidad de recursos y materiales. Además, se desarrolla un plan de estudio completo que integre el ciclo de refrigeración en el currículo existente, permitiendo a los estudiantes comprender los conceptos fundamentales de manera efectiva. Esta propuesta busca llenar el vacío existente en la institución educativa, proporcionando a los estudiantes una herramienta de aprendizaje invaluable en el campo de la refrigeración

### **1.5. Objetivo General**

Construir y diseñar un ciclo de refrigeración por compresión de vapor con fines educativos, proporcionando una guía de estudio para mejorar la comprensión práctica y teórica de los estudiantes en el área de la refrigeración.

### **1.6. Objetivos Específicos**

- Identificar los componentes necesarios para la construcción del ciclo de refrigeración por compresión de vapor, mediante una revisión exhaustiva de la literatura especializada y la consulta con expertos en el campo.
- Diseñar el sistema de refrigeración abarcando tanto los aspectos mecánicos como eléctricos. Esto implica seleccionar y dimensionar componentes como el compresor, evaporador y condensador, así como construir el sistema eléctrico con cableado, controles y dispositivos de protección.
- Construir el ciclo de refrigeración por compresión de vapor de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas, siguiendo un proceso de fabricación planificado y documentado.

- Desarrollar una guía de estudio que integre el ciclo de refrigeración en el currículo educativo, definiendo los objetivos de aprendizaje, las actividades prácticas y los recursos necesarios para su implementación.



## **CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1. Historia de la refrigeración**

La historia técnica de la refrigeración es una narrativa cautivadora que comienza en el siglo XIX, impulsada por los avances en termodinámica y mecánica que llevaron a la creación de los primeros sistemas de refrigeración mecánica. Un momento clave fue el trabajo teórico de Sadi Carnot en 1824, donde estableció los principios fundamentales del ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Este ciclo, basado en la compresión y expansión controlada de un refrigerante, proporcionó el marco conceptual para la mayoría de los sistemas de refrigeración modernos.

La transición de la teoría a la aplicación práctica ocurrió en 1834, cuando Jacob Perkins desarrolló el primer refrigerador de compresión de vapor funcional. Utilizando éter etílico como refrigerante, el invento de Perkins marcó un avance significativo e inauguró la era de la refrigeración mecánica. Las contribuciones adicionales vinieron de innovadores como John Gorrie, quien en la década de 1840 patentó un sistema de compresión de vapor diseñado para enfriar el aire en hospitales y espacios públicos, promoviendo así el avance de la tecnología.

La Revolución Industrial intensificó la necesidad de refrigeración, especialmente en la industria alimentaria y para la preservación de productos perecederos durante el transporte. En 1850, Alexander Twining introdujo el primer sistema de refrigeración comercial, y James Harrison siguió en 1856 con el desarrollo del primer sistema de refrigeración doméstica. Estos avances fueron cruciales para la evolución de la tecnología de refrigeración, dando lugar a la creación de sistemas cada vez más eficientes y versátiles y estableciendo las bases para los avances tecnológicos continuos.

Desde entonces, la refrigeración se ha convertido en un motor de innovación en diversas industrias, desde la alimentación hasta la farmacéutica, transformando fundamentalmente la vida y el trabajo modernos. Esta historia técnica subraya no solo los logros científicos y

tecnológicos alcanzados, sino también la importancia crítica de aplicar los principios fundamentales de la termodinámica y la mecánica para abordar las necesidades humanas en un mundo en constante cambio.

## **2.2. Conceptos Fundamentales sobre la refrigeración**

### ***2.2.1 Refrigeración***

Proceso de eliminar calor de un espacio o sustancia para reducir y mantener su temperatura por debajo de la temperatura ambiente. Este proceso se logra mediante la transferencia de calor desde el objeto o espacio que se desea enfriar a otro lugar, generalmente utilizando un ciclo de refrigeración que incluye componentes como un compresor, un condensador, un dispositivo de expansión y un evaporador.

### ***2.2.2 Calor***

Es una forma de energía que se transfiere entre sistemas o cuerpos debido a una diferencia de temperatura. Se desplaza de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura hasta que ambos sistemas alcancen el equilibrio térmico. (Moran, 2010.)

### ***2.2.3 Conductividad Térmica***

Si la temperatura de los diferentes puntos de un sólido opaco o fluido estáticos es desigual, en estos casos, según exige el segundo principio de la termodinámica, el calor se transmite espontáneamente desde las partes del cuerpo que tienen temperatura más alta a aquellas donde la temperatura es más baja. Este fenómeno se llama conductibilidad térmica. (Arenas, 2020)

### ***2.2.4 Sistema Termodinámico.***

Es una porción específica del universo que se aísla para su estudio, con el fin de analizar los intercambios de energía y materia que ocurren dentro de sus límites.

### ***2.2.5 Temperatura y presión de saturación***

La temperatura de saturación es la temperatura a la cual un líquido hierve a una presión específica, mientras que la presión de saturación es la presión a la cual un líquido hierve a una temperatura específica. Existe una relación directa entre ambas: a medida que la temperatura aumenta, la presión de saturación también aumenta y viceversa. La presión y temperatura de saturación de un refrigerante se corresponden cuando hay presentes tanto líquido como vapor bajo dos condiciones:

- Cuando esté teniendo lugar el cambio de estado (vaporización o condensación).
- Cuando el refrigerante esté en equilibrio (ni se añade ni se elimina calor).

(Gonzalez Sierra, 2019)

### ***2.2.6 Transferencia de calor***

Proceso mediante el cual la energía térmica se desplaza de una región de mayor temperatura a otra de menor temperatura, y ocurre a través de tres mecanismos principales: conducción, donde el calor se transfiere a través de un material sólido; convección, donde el calor se transfiere mediante el movimiento de fluidos como líquidos o gases; y radiación, donde el calor se transfiere mediante ondas electromagnéticas, principalmente infrarrojas, incluso en el vacío.

Siempre que exista un declive de temperatura en un medio sólido, el calor fluye de la zona de mayor temperatura a la de menor temperatura (Kreith, 2012)

### ***2.2.7. Compresión de vapor***

La refrigeración por compresión de vapor (VCRS), en la que el refrigerante sufre cambios de fase, es uno de los muchos ciclos de refrigeración y es el método más utilizado para el aire acondicionado de edificios y automóviles. También se utiliza en refrigeradores domésticos y comerciales, almacenes a gran escala para el almacenamiento refrigerado o congelado de alimentos y carnes, camiones, refrigerados y vagones de ferrocarril, y una gran

cantidad de otros servicios comerciales e industriales. Las refinерías de petróleo, las plantas de procesamiento petroquímico y químico y las plantas de procesamiento de gas natural se encuentran entre los muchos tipos de plantas industriales que a menudo utilizan grandes sistemas de refrigeración por compresión de vapor. Los sistemas de refrigeración en cascada también se pueden implementar utilizando dos compresores.

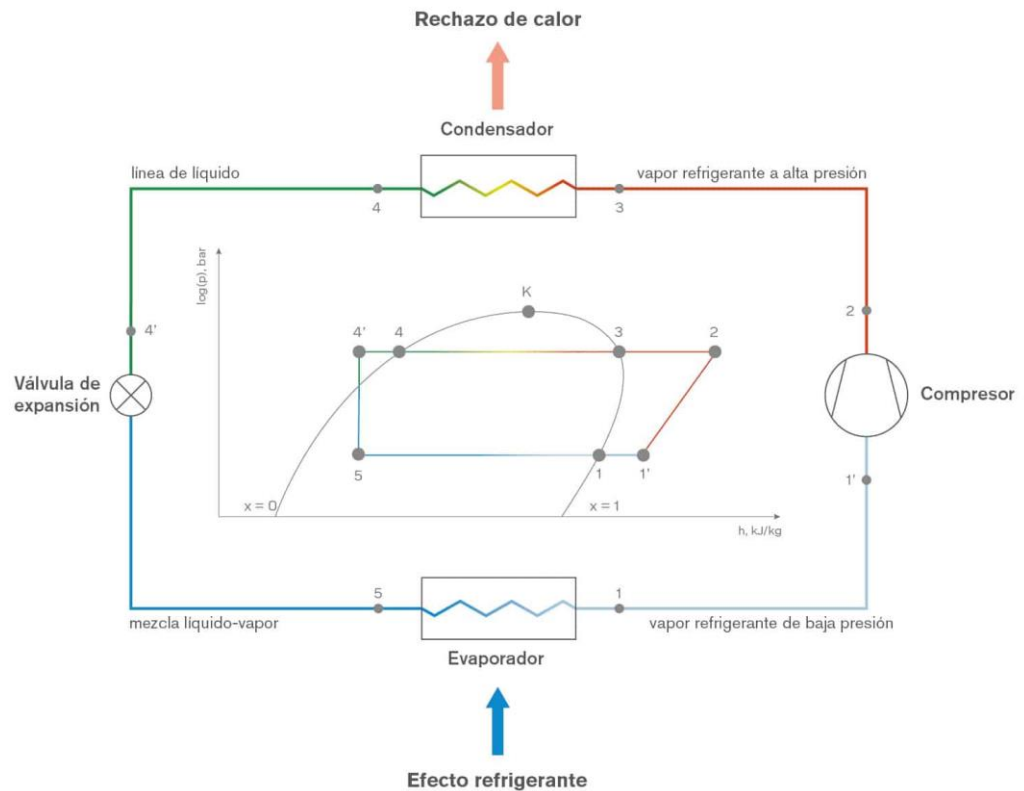


Figura 1 Representación de Ciclo de refrigeración

Obtenido de <https://areacooling.com/areacademy/es/ciclo-basico-de-refrigeracion/>

La refrigeración puede definirse como la reducción de la temperatura de un espacio cerrado mediante la eliminación del calor de ese espacio y su transferencia a otro lugar. El ciclo que resulta se denomina ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor, y se muestra de manera esquemática y en un diagrama T-s en la figura 1. El ciclo de refrigeración por compresión de vapor es el que más se utiliza en refrigeradores, sistemas de acondicionamiento de aire y bombas de calor. Se compone de cuatro procesos (ÇENGEL & BOLES, 2015):

- 1-2 Compresión isoentrópica en un compresor
- 2-3 Rechazo de calor a presión constante en un condensador
- 3-4 Estrangulamiento en un dispositivo de expansión
- 4-1 Absorción de calor a presión constante en un evaporador

### 2.2.8. Ciclo invertido de Carnot

Es un ciclo totalmente reversible que se compone de: (ÇENGEL & BOLES, 2015).

- 1-2: El calor se transfiere reversiblemente desde la región fría a la temperatura  $T_L$ , de manera isoterma, durante la cual el refrigerante cambia de fase.
- 2-3: El refrigerante se comprime de manera isoentrópica hasta alcanzar la temperatura máxima  $T_H$ .
- 3-4: El calor se transfiere reversiblemente a la región caliente a la temperatura  $T_H$ , de manera isoterma, durante la cual el refrigerante cambia de fase de vapor a líquido.
- 4-1: El refrigerante se expande isoentrópicamente hasta alcanzar la temperatura mínima  $T_L$ .

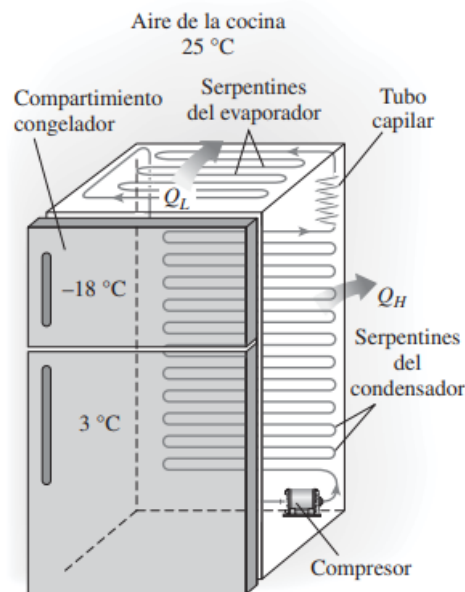


Figura 2 Ilustración de refrigerador doméstico.

### **2.2.9. Ciclo de refrigeración real por compresión mecánica**

Sistema que utiliza un refrigerante para extraer calor de un espacio o ambiente y transferirlo a otro, a través de un ciclo termodinámico que involucra compresión, condensación, expansión y evaporación del refrigerante (Barbosa Saldaña & Gutierrez Torres , 2016). En la etapa de compresión, el refrigerante es comprimido por un compresor, aumentando su presión y temperatura. Luego, el refrigerante caliente se condensa en un condensador, liberando calor al ambiente circundante y cambiando de estado de gas a líquido. Posteriormente, el líquido refrigerante pasa por una válvula de expansión, donde experimenta una reducción brusca de presión, lo que provoca una disminución de temperatura y una parte del refrigerante se vaporiza. Finalmente, este vapor frío y parcialmente líquido se evapora en un evaporador, absorbiendo calor del ambiente que se desea enfriar y completando así el ciclo. Este proceso continuo de compresión, condensación, expansión y evaporación permite mantener un ambiente refrigerado de manera eficiente.

## **2.3. Componentes principales de instalaciones frigoríficas**

### **2.3.1. Compresor**

Son dispositivos que se utilizan para aumentar la presión de un fluido. A estos dispositivos el trabajo se provee desde una fuente externa a través de un eje giratorio, por lo tanto, los compresores requieren entrada de trabajo (ÇENGEL & BOLES, 2015). Existen varios tipos de compresores utilizados en aplicaciones de refrigeración, como los compresores de pistón, los compresores de tornillo, los compresores de scroll y los compresores de velocidad variable. La función principal es aspirar los vapores a baja presión procedentes del evaporador, y comprimirlos a la misma velocidad que se van produciendo, disminuyendo así su volumen y aumentando en consecuencia la presión y la temperatura del gas (Gonzalez Sierra, 2019).

Dentro de las instalaciones frigoríficas se encuentran tres tipos de compresores a usar:

- Compresores herméticos
- Compresores semiherméticos
- Compresores abiertos

**2.3.1.1. Compresores herméticos.** Son aquellos equipos en los cuales el motor y el compresor están dentro de una misma carcasa sin acceso exterior (de allí surge su denominación), usados en equipos de potencia baja manteniendo un costo bajo en comparativa a los otros tipos. Presenta la ventaja de que el propio compresor es refrigerado por la circulación propia del refrigerante.



*Figura 3 Compresor hermético de 1/3 hp*

*Obtenido de <https://www.ebay.es/itm/175413363920>*

**2.3.1.2 Compresores semiherméticos.** Dentro de este tipo de compresor, el eje del motor es la prolongación del cigüeñal del compresor unidos a la misma carcasa, siendo accesibles desde el medio exterior. Son usados para trabajos de media potencia, además son mucho más accesible “pues el plato de válvulas es desmontable y todas las partes internas pueden cambiarse fácilmente en caso necesario” (Sierra, 2020).

**2.3.1.3 Compresores abiertos.** Este tipo de compresores son accionados por un motor externo unidos por correas. Son de mayor versatilidad, sin embargo, presenta problemas de vibraciones en consecuencia de las transmisiones necesarias.

### ***2.3.2. Condensador***

La unidad condensadora es una parte integral de los sistemas de refrigeración por compresión mecánica. Se encuentra típicamente en el exterior del edificio o área que se está refrigerando y es responsable de disipar el calor absorbido por el refrigerante durante el ciclo de refrigeración. Esta unidad consta de varios componentes clave, incluyendo el condensador, el ventilador y el compresor.

### ***2.3.3. Evaporador***

Es un intercambiador de calor donde se produce el efecto frigorífico, por ebullición de refrigerante (Gonzalez Sierra, 2019). Un evaporador es un tipo de dispositivo intercambiador de calor que facilita la evaporación mediante la utilización de transferencia de calor conductiva y convectiva, que proporciona la energía térmica necesaria para la transición de fase de líquido a vapor. Dentro de los evaporadores, un líquido circulante se expone a un ambiente atmosférico o de presión reducida, lo que hace que hierva a una temperatura más baja en comparación con la ebullición atmosférica normal.

### ***2.3.4 Dispositivo de expansión***

Este tipo de elementos constituyen a la separación existente entre la parte de alta y baja presión. Dentro de estos elementos el fluido refrigerante accede con una presión y temperatura



de condensación y mediante el traspaso de este por un orificio calibrado baja la presión llegando al punto de evaporación parcial, pasando este de vapor a una mezcla de líquido-vapor.

La primordial función de este dispositivo es de “Mantener un diferencial de presión entre los lados de alta y baja presión del sistema que permita vaporizar el refrigerante. (Sierra, 2020). De igual forma estos se clasifican de la siguiente manera:

- Válvula de expansión termostática
- Dosificador de tubo capilar

**2.3.4.1. Válvula de expansión termostática.** Este dispositivo regula el caudal del refrigerante a través del sistema maximizando el rendimiento de evaporación, además de proteger al compresor de entrada de líquido por acción del sobrecalentamiento.

**2.3.4.2. Dosificador de tubo capilar.** Dispositivo de funcionamiento sencillo al cual se denomina capilar, debido a su estructura, la cual corresponde a “tubo de 0,5 a 2,5 mm de diámetro interior y una longitud de 0,5 a 5 m” (Sierra, 2020). El líquido a la circular por el tubo pierde presión por ende existiendo una disminución en cuanto a su temperatura. De forma habitual el capilar se monta en un bucle enrollado de aproximadamente 50 a 200 mm de diámetro.

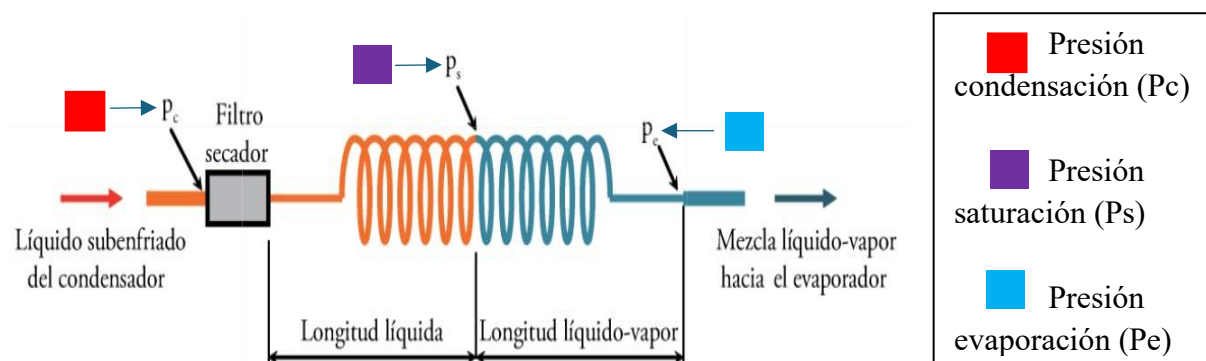


Figura 4 Tubo capilar

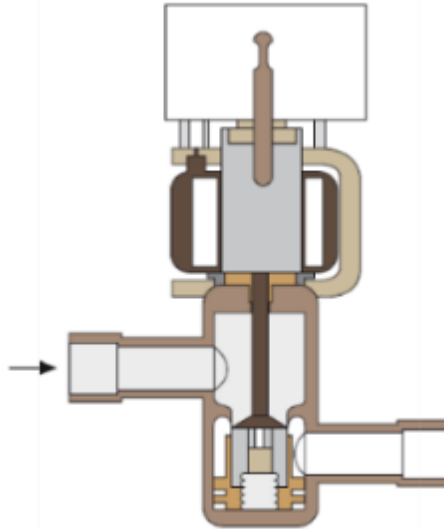
Obtenido de: <https://elibro.net/es/ereader/uileam/167804>

## 2.4. Elementos de regulación y control

Este tipo de elementos son los encargados del control tanto de la temperatura, presiones y flujo del refrigerante, entre otros elementos, dentro de la instalación frigorífica, cuya finalidad se basa en mantener un funcionamiento óptimo y eficiente.

### 2.4.1. Válvula solenoide

Válvulas con principio electromecánico, las cuales están formadas por sensores destinados para medir temperatura o presiones, poseyendo el mismo un instrumento regulador que procesa la información recibida.



*Figura 5 Esquema de válvula solenoide*

*Tomado de: <https://elibro.net/es/ereader/uleadm/167804>*

### 2.4.3. Presostato

Controlador de presión del refrigerante, cuyo funcionamiento se basa en un mecanismo mecánico controlado por sensores, en donde se van a activar o desactivar los componentes principales como: compresor, ventiladores o alarmas indicadoras. Pueden existir dos tipos de presostatos, tanto en la zona de baja como en la de alta, protegiendo al sistema manteniendo un control dentro de los parámetros de presiones.



*Figura 6 Presostato dual*

*Obtenido de <https://www.compresoreservicios.com/shop/10270106-presostato-dual-r22-r404a-r507-r134a-reset-manual-manual-flare>*

#### **2.4.5. Termostato**

“Los reguladores de acción todo/nada tienen un comportamiento discontinuo que presenta dos estados de funcionamiento: conexión y desconexión.” (García, 2022). De esta manera se describe en forma general a los termostatos, llegan a tener similitud en los presostatos, con la diferencia de que estos se basan en la lectura de la temperatura mediante una sonda manteniendo a esta en un rango establecido controlando los equipos de refrigeración.



*Figura 7 Controlador de temperatura*

*Obtenido de: <https://refriworld.com.pe/tienda/repuestos/controlador-de-temperatura/controlador-de-temperatura-digital-full-gauge/>*

#### **2.4.6. Válvula de paso**

Válvula encargada de controlar el flujo de refrigerantes entre distintos componentes del sistema. Además de esto se logra abrir o cerrar totalmente estas, permitiendo así aislar tramos

del sistema evitando el vacío completo del refrigerante, con la finalidad de brindar mantenimiento a la sección que se desee.

#### ***2.4.7. Filtros secadores***

Este tipo de elemento se encarga de proteger las instalaciones frigoríficas eliminando la humedad y las impurezas dentro del ciclo de refrigeración. Este tipo de filtro se pueden colocar tanto en la tubería de líquido como la de vapor. Dentro del funcionamiento del filtro, la humedad queda atrapada permitiendo el paso del refrigerante. Este accesorio es una barrera la cual protege al compresor, por lo cual debe de ser verificada y reemplazada cuando sea necesario, tal es el caso en donde estos “deben sustituirse cuando el sistema se abra para realizar reparaciones.” (Gonzalez Sierra, 2019)



*Figura 8 Filtro secador seccionado*

*Obtenido de: <https://elibro.net/es/ereader/uileam/167792>*

#### ***2.4.7. Recipiente de líquido***

Elementos que pueden o no estar dentro de la instalación frigorífica, cuya finalidad se basa en suplir la insuficiencia volumétrica del refrigerante en su estado líquido, suministrando el reservorio si es necesario.



*Figura 9 Receptor de líquido*

*Obtenido de: <https://www.directindustry.es/prod/carly/product-17640-44146.html>*

#### **2.4.8. Visor o mirilla de líquido**

Este tipo de elementos se instalan en la parte de líquido del sistema, para verificar el estado de circulación del refrigerante y de igual el nivel de humedad existente dentro de esta zona. Este accesorio se usa para verificar un funcionamiento correcto del sistema debido a que “se puede comprobar la falta de refrigerante en el sistema porque, al pasar a través de la mirilla, aparecen unas burbujas indicando que la tubería lleva una parte de líquido y una parte de gas.” (Balboa J. , 2014)



*Figura 10 Visor de líquido 1/4 plg*

*Obtenido de <https://www.compresoresservicios.com/en/shop/12410001-visor-de-liquido-sae-1-4-pulg-13168?category=519#attr=20434>*

#### **2.4.9. Manómetro**

Indicadores de presiones cuya finalidad es la de conocimiento el estado de las presiones en distintos puntos del sistema. Se suele establecer en los puntos de cambios de presiones como en la salida del condensador y en la entrada del evaporador.



*Figura 11 Manómetro de baja presión*

*Obtenido de: <https://rnr-refrigeracion.com/producto/manometro-baja-3-1-8-r410-r22-r404-r134/>*

## **2.5 Refrigerante**

El refrigerante es todo fluido capaz de absorber y ceder el calor dentro de un ciclo de refrigeración, sin perder propiedades. Se menciona que se consideran de dos clases de enfriamiento; el **primario**, en donde el refrigerante interviene de manera directa con el medio a enfriar. Mientras que el **secundario**, es aquel que transporta el calor del medio a enfriar hacia el refrigerante primario como el agua, la salmuera.

Los refrigerantes pueden clasificarse de distintas formas, sin embargo, la más usual es la descrita por la normativa estándar 34 de **ASHRAE**, en donde menciona que “los refrigerantes de acuerdo con su composición química y la designación numérica, por nivel de toxicidad y por inflamabilidad.” (MPCEIP, 2021). La siguiente clasificación corresponde a las familias de refrigerantes usados comercialmente.

### **2.5.1 Halogenados**

Sustituyen átomos de carbonos por halógenos como el flúor, cloro, bromo, yodo. Posee la siguiente división acorde a sus átomos:

- Clorofluorocarbonos: **CFC**. Posee dos átomos estables, comercialmente se encuentran R-11, R-12, R-114, R-115, R-500 Y R-502

- Hidroclorofluorocarbonos: **HCFC**. Afectan entre un 2 a 10% a la destrucción de la capa de ozono y el calentamiento global (R-22, R-123, R-124 Y R-141b)
- Hidrofluorocarbonos: **HCF**. No destruyen la capa de ozono, sin embargo, da un severo aporte al efecto invernadero. (R-152a, R-32, R- 125 Y R-134a).
- Hidro Fluoro Olefinas: **HFO**. Poseen potencial de agotamiento cero frente al deterioro de la capa de ozono, además de un efecto irrelevante frente al calentamiento global.

### 2.5.2 Hidrocarburos

Formados por las uniones entre carbonos e hidrógenos con enlaces distintos, entre los que se encuentran el etano (R-170), propano (R-290), isobutano (R-600a).

### 2.5.3 Inorgánicos

No poseen presencia de carbono a excepción del CO<sub>2</sub>, la denominación que se posee para estos elementos es el serial 700, por ejemplo, agua (R-718), amoniaco (R-717).

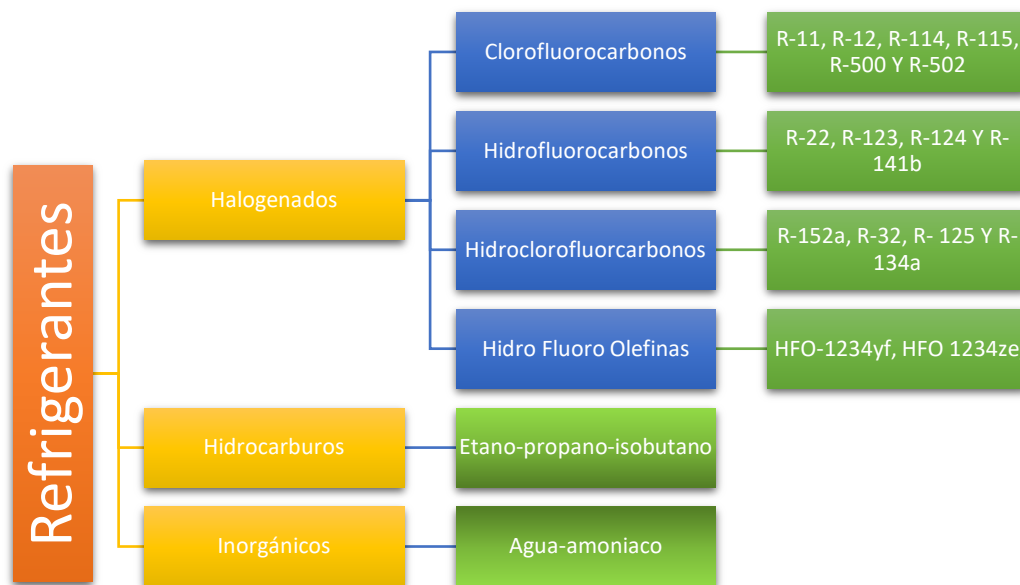


Figura 12 Clasificación de los refrigerantes

Fuente: Propia

## **2.6. Seguridad de uso del equipo**

La seguridad es una consideración primordial en el diseño, construcción y operación de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor en un contexto educativo. Garantizar un entorno de aprendizaje seguro y productivo es esencial. A continuación, se detallan medidas de seguridad específicas a tener en cuenta:

### ***I. Capacitación del personal***

Todo el personal involucrado en el diseño, construcción y operación del ciclo de refrigeración debe recibir una formación adecuada en seguridad. Esto incluye la comprensión de los riesgos asociados con el manejo de equipos y sustancias químicas, así como el conocimiento de los procedimientos de emergencia.

### ***II. Diseño seguro***

El ciclo de refrigeración debe diseñarse cumpliendo con las normas de seguridad pertinentes. Esto incluye la instalación de dispositivos de seguridad, como válvulas de alivio de presión y sistemas de ventilación adecuados para prevenir la acumulación de gases refrigerantes.

### ***III. Uso de refrigerantes seguros***

Deben seleccionarse refrigerantes que sean seguros para su uso en un entorno educativo. Esto puede incluir refrigerantes no tóxicos y no inflamables que minimicen los riesgos para los estudiantes y el personal.

### ***IV. Supervisión adecuada***

Durante las actividades prácticas o experimentos relacionados con el ciclo de refrigeración, es crucial contar con una supervisión adecuada por parte de personal capacitado. Esto garantizará el cumplimiento de los procedimientos de seguridad y el manejo adecuado de los equipos y materiales.



## ***V. Mantenimiento regular***

Debe implementarse y seguirse estrictamente un plan de mantenimiento preventivo para asegurar que el equipo esté en condiciones óptimas de funcionamiento. Esto incluye inspecciones periódicas, limpieza de componentes y reparación o reemplazo de piezas según sea necesario.

### **2.7. Aislamiento térmico**

El aislamiento térmico es un elemento crucial en el diseño y la construcción de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor, especialmente para fines educativos. Un aislamiento térmico eficaz minimiza la pérdida de energía, mejora la eficiencia del sistema y garantiza condiciones óptimas de enseñanza.

Al seleccionar materiales para sistemas de refrigeración, es fundamental tener en cuenta varias propiedades fundamentales para garantizar su eficacia y seguridad. La resistencia térmica, medida en  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , es una de esas propiedades. Indica qué tan bien un material puede resistir el flujo de calor en relación con su espesor y conductividad térmica. Una resistencia térmica adecuada es esencial para minimizar la transferencia de calor no deseada en los sistemas de refrigeración, mejorando así la eficiencia energética y manteniendo temperaturas estables en el entorno controlado.

Además, las propiedades mecánicas como la estabilidad dimensional, la compresión, la flexión y la resistencia a la tracción son cruciales para garantizar la integridad estructural del material durante el funcionamiento y evitar daños durante la instalación o el uso. La absorción de agua es otro factor clave, ya que la humedad puede afectar negativamente el rendimiento y la durabilidad del material en un entorno de refrigeración.

Evaluar el comportamiento del material a diferentes temperaturas, su resistencia a los productos químicos y su resistencia al fuego, clasificada según las clases Euro, también es necesario para garantizar la seguridad y el cumplimiento normativo en los sistemas de

refrigeración. Además, se deben tener en cuenta consideraciones económicas y ambientales, como el costo, la facilidad de instalación y el impacto ambiental, para garantizar que los materiales sean efectivos y sostenibles a largo plazo.

El aislamiento de las instalaciones de refrigeración depende del tipo de material, su espesor, consistencia, estructura y montaje (incluyendo juntas, puertas, etc.). El objetivo es reducir la entrada de calor y mantener las temperaturas establecidas en el interior con un aporte mínimo de energía.

Los materiales utilizados para el aislamiento en instalaciones de refrigeración deben tener coeficientes de flujo y conductividad térmicos bajos. Para determinar estos coeficientes, se debe considerar la densidad del material, junto con sus características intrínsecas.

Los principales materiales para el aislamiento térmico en instalaciones de refrigeración incluyen:

- Poliuretano inyectado
- Fibra mineral
- Poliestireno extruido
- Fibras de madera o corcho

*Tabla 1 Aislantes Térmicos más comunes en la refrigeración*

<b>Material</b>	<b>Tipo de Aislante</b>	<b>Conductividad Térmica (W/m·K)</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Aplicaciones Comunes</b>
Espuma de caucho	Espuma flexible	0.033 - 0.040	40 - 70	Aislamiento de tuberías, equipos de climatización
Poliestireno expandido (EPS)	Espuma rígida	0.032 - 0.038	15 - 35	Embalaje de productos refrigerados, paredes de cámaras frigoríficas

Poliestireno extruido (XPS)	Espuma rígida	0.029 - 0.035	25 - 45	Paneles aislantes, suelos y techos de cámaras frigoríficas
Poliuretano (PU)	Espuma rígida	0.020 - 0.030	30 - 60	Refrigeradores domésticos, cámaras frigoríficas
Lana de vidrio	Fibroso	0.030 - 0.045	10 - 100	Conductos de aire acondicionado, cámaras frigoríficas
Espuma de polietileno	Espuma flexible	0.035 - 0.045	20 - 30	Tubos de refrigeración, aislantes de puertas

## 2.8. Sistema de control eléctrico

Un panel de control eléctrico es un componente esencial en sistemas eléctricos y electrónicos que se utiliza para supervisar, controlar y proteger los diferentes elementos de un sistema eléctrico. Cada día es más necesario plantear una instalación frigorífica lo más automatizada posible, que efectúe una correcta regulación para establecer un buen control que lleve a obtener el máximo de seguridad y fiabilidad. Desde que en las instalaciones se efectuaba la regulación y control manualmente hasta hoy, se ha evolucionado mucho, tanto para los controles mecánicos como para los eléctricos o electrónicos, o la combinación de ambos a la vez. (Balboa J. , 2014)

La protección de las instalaciones es un tema bastante importante a la hora de diseñar una instalación, tanto para la protección de los conductores como de las personas que van a trabajar en el centro donde existe una instalación eléctrica. (Pérez Rodríguez, 2012)

### 2.8.1 Contactor

Se emplea con el fin de regular la activación y desactivación de un circuito eléctrico. Aunque funciona de manera similar a un relé, está diseñado específicamente para gestionar corrientes significativamente mayores. Los contactores encuentran un uso generalizado en

entornos industriales donde sirven para controlar motores eléctricos, bancos de condensadores, sistemas de iluminación y otros equipos eléctricos que soportan cargas pesadas.

### ***2.8.2 Tablero poliéster***

Un tablero de poliéster, también llamado gabinete o caja de poliéster, es una cubierta utilizada en instalaciones eléctricas para contener y proteger equipos y componentes eléctricos. Estos tableros están fabricados con materiales compuestos de poliéster reforzado con fibra de vidrio, lo que les proporciona alta resistencia mecánica, durabilidad y propiedades de aislamiento eléctrico. Son comúnmente empleados en entornos industriales, comerciales y residenciales debido a su resistencia a la corrosión, a los productos químicos y a condiciones climáticas adversas. Además, los tableros de poliéster son ligeros y fáciles de instalar, ofreciendo una solución segura y confiable para la gestión de sistemas eléctricos.

### ***2.8.3 Luces piloto***

Sirven como indicadores visuales que transmiten el estado operativo actual de un circuito o equipo. Por lo general, consisten en pequeñas lámparas incandescentes o LED que se iluminan o se apagan según condiciones específicas, como la activación de un interruptor, la presencia de energía o el funcionamiento del motor. Estas luces desempeñan un papel crucial en los paneles de control y tableros de distribución al ofrecer información visual inmediata y distinta sobre el estado del sistema.

### ***2.8.4 Selector***

Un selector es un interruptor multifuncional que permite a un operador escoger entre distintos circuitos o modos de operación en un sistema eléctrico. Estos selectores pueden ser rotativos, de palanca o de botón, y se usan comúnmente en paneles de control, maquinaria industrial y equipos electrónicos para modificar configuraciones, ajustar parámetros o seleccionar funciones específicas. Su diseño y construcción permiten una operación confiable y repetitiva, garantizando que el circuito seleccionado esté adecuadamente conectado.

### ***2.8.5 Breaker***

Un breaker, también llamado interruptor automático, es un dispositivo utilizado en sistemas eléctricos para protegerlos cortando el flujo de corriente en caso de sobrecargas o cortocircuitos, previniendo daños y posibles incendios. Detecta anomalías en el flujo de corriente y desconecta el circuito de manera automática y segura. Este dispositivo no solo protege los circuitos eléctricos, sino que también permite restaurar el servicio manualmente una vez que se haya resuelto la falla.

### CAPÍTULO III: DISEÑO DEL PROYECTO

Como punto de partida se plantea la elaboración de un sistema de refrigeración por compresión de vapor, enfocado al ámbito pedagógico. Para esto, al ser un proyecto en donde se elaboran prácticas, la construcción debe ser compacta para una mejor apreciación de este. Por este motivo, como consideración inicial el elemento en donde se coloca el evaporador va a ser una refrigeradora compacta, considerando a esta como una cámara frigorífica.



*Figura 13 Refrigerador a usar para reacondicionamiento*

*Fuente: propia*

Esta unidad posee las siguientes características:

- Dimensiones: Altura de equipo 1,30 m, ancho de equipo 0,62 m, profundidad de equipo 0,69 m.
- Capa externa: Por diseño de fabricante se usa el plástico de alta resistencia para el ensamblado estructural con un grosor de 0,0015 m.
- Aislante térmico: Por diseño de fabricante se hace uso del poliuretano expandido.
- Capa interna: Por diseño se usa poliestireno con un grosor de 2 mm.

### **3.1 Selección de refrigerante**

El Ecuador ha tenido un avance notable en cuanto al uso de refrigerante, pasando de usar el R22, usado a inicios de los años 2000, sin embargo, ha sido prohibido debido a su alto índice perjudicial para la capa de ozono, se ha buscado alternativas más amigables con el medio ambiente tal como “R-22, R404a y R-134a, altamente utilizados.” (MPCEIP, 2021).

Debido a las condiciones del sistema y por las dimensiones de la cámara frigorífica, los equipos a usar deben de poseer una relación en cuanto al tamaño, por lo cual la alternativa es el R134a, dado que:

- a) Posee un potencial de agotamiento cero en la capa de ozono.
- b) Posee un bajo nivel de toxicidad ante exposición.
- c) El vapor se acumula en el suelo en caso de fuga debido a su alta densidad en comparación al aire.

### **3.2 Balance térmico correspondiente a unidad frigorífica**

Para los cálculos necesarios se deben de realizar consideraciones propias de los autores. Debido a que el proyecto está destinado a prácticas de laboratorio, el mismo debe de alcanzar temperaturas bajas (0 °C). Por ende, basados en las temperaturas de trabajo del refrigerante, se indica que dentro de la cámara se desea llegar a una temperatura de -15 °C. Con respecto a la temperatura ambiente de Manta- Ecuador, se analiza el gráfico correspondiente al Atlas de la ciudad:

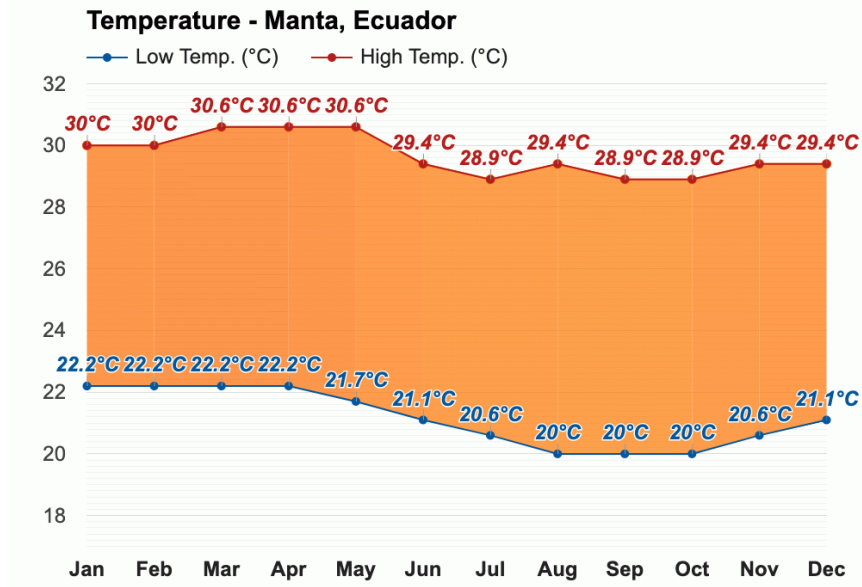


Figura 14 Previsión climática 2024 Manta- Ecuador.

Fuente: <https://www.weather-atlas.com/es/ecuador/manta-clima#temperature>

Como se observa en la imagen anterior, el clima estimado dentro de la ciudad de Manta oscila entre los 22 °C y 29 °C. Por lo tanto, al considerar estas temperaturas para poder extraer una media, el valor resultante se establece como 25 °C, siendo esta la temperatura ambiente de trabajo.

Para esto se establece las condiciones de trabajo con respecto a las dimensiones de la unidad frigorífica, las cargas térmicas existentes en este caso de estudio y temperaturas. Para esto se establece que la potencia frigorífica es igual a la cantidad de calor extraído del medio, representado en la siguiente formula:

$$\sum Q = \sum P$$

Ecuación 1 Cantidad de calor extraído

- $\sum Q$ =Cantidad de calor extraído.
- $\sum P$ =Potencia frigorífica necesaria.



A su vez la cantidad de calor extraído se establece como las cargas térmicas presentes a las que se somete la unidad frigorífica. Para el diseño y la finalidad del sistema se considera las siguientes cargas térmicas:

- Cargas térmicas debido a la pérdida por transmisión tanto en paredes, techo y suelo (denominada como  $Q_1$ ).
- Cargas térmicas por el calor que va a desprender el ventilador correspondiente a la unidad evaporadora (denominado  $Q_5$ ).
- Cargas que hacen referencias a situaciones diversas ( $Q_8$ ).

Al mencionarse las cargas térmicas que van a estar afectando al sistema, de igual forma se establece las condiciones que van a pasar inadvertidas para la realización del cálculo correspondiente, así como el motivo por el cual se va a establecer lo mencionado:

- Cargas térmicas por renovación de aire ( $Q_2$ ): Al ser un sistema pedagógico y didáctico, la finalidad va a ser netamente de estudio. No va a estar enfocado a la conservación de algún producto, por lo cual no es necesario renovar el aire circulante en el interior de la cámara.
- Cargas térmicas por pérdidas de refrigeración y congelación ( $Q_3$ ): Como lo menciona el punto anterior, el sistema no se enfoca en la conservación de productos por lo cual la existencia de pérdidas que reflejen los productos en base a su periodo de congelación y conservación va a ser inexistente.
- Cargas térmicas por necesidades de conservación de productos ( $Q_4$ ): No va a existir producto alguno dentro de la cámara, por lo cual los valores de masas de productos van a ser despreciables.
- Cargas térmicas por circulación de operarios ( $Q_6$ ): El sistema es compacto y pedagógico, por lo cual va a ser imposible que exista circulación dentro de la cámara de refrigeración por alguna persona.

- Cargas térmicas por iluminación ( $Q_7$ ): La cámara de refrigeración va a pasar cerrada en todo momento de uso, por lo tanto, no es necesario el uso de iluminación interna, despreciando esta fuente de calor.

### 3.2.1 Pérdidas debido a transmisiones (paredes, techo y suelo)

Como primer punto se debe establecer que las pérdidas por transmisiones son igual al producto del coeficiente global de transmisión de calor, el área a refrigerar y el diferencial de temperatura existente entre el ambiente y el medio frigorífico.

$$Q_1 = U * A * \Delta T$$

*Ecuación 2 Cargas térmicas debido a la perdida por transmisión*

U= Coeficiente global de transmisión de calor .

A= Área del recinto ( $m_2$ ).

$\Delta T$ = Diferencia temperatura en el exterior con respecto al interior ( $^{\circ}C$ ).

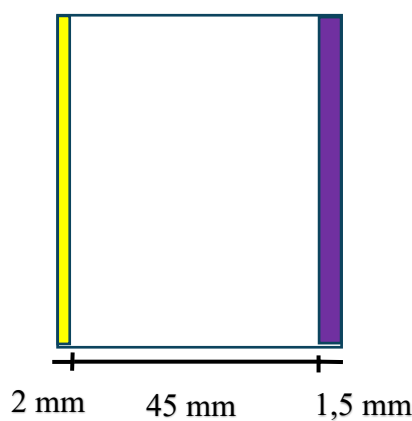
Para el cálculo respectivo en primera instancia, se extrae el coeficiente global de transmisión de calor en función de la convección y la conducción respecto a las paredes del recinto obteniendo.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} + \frac{L_3}{K_3} + \frac{1}{h_2}}$$

*Ecuación 3 Coeficiente global de transmisión de calor*

- $\frac{1}{h_1}$  = Coeficiente por convección (temperatura inicial)  $W/m^2 * ^{\circ}C$
- $\frac{L_1}{K_1}$  = Coeficiente conduccion del material (capa externa)  $W/m * ^{\circ}C$
- $\frac{L_2}{K_2}$  = Coeficiente conduccion del material (aislante)  $W/m * ^{\circ}C$
- $\frac{L_3}{K_3}$  = Coeficiente conduccion del material (capa interna)  $W/m * ^{\circ}C$
- $\frac{1}{h_2}$  = Coeficiente por convección (temperatura final)  $W/m^2 * ^{\circ}C$

Para la obtención de estos datos, se considera los materiales usados y el grosor correspondiente emitido por el fabricante.



	Plástico de alta resistencia. Valor de conductividad $0,200 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$
	Poliuretano expandido. Valor de conductividad $0,028 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$
	Poliestireno. Valor de conductividad $0.037 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$

Para los datos de los coeficientes convectivos del aire a las temperaturas de  $-15 \text{ °C}$  (temperatura deseada) y  $25 \text{ °C}$  (temperatura ambiente). Se verifica en ANEXO C por lo cual a las temperaturas deseadas se establece que estos valores corresponden a  $h_1 = 0,025 \text{ W/m}_2 \cdot \text{°C}$  y  $h_2 = 0,022 \text{ W/m}_2 \cdot \text{°C}$  respectivamente. Por lo cual, obtenido los datos necesarios, se procede a reemplazar los valores respectivos dentro de la ecuación de coeficiente global de transmisión de calor.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{0,025 \text{ W/m}_2 \cdot \text{°C}} + \frac{0,002 \text{ m}}{0,200 \text{ W/m} \cdot \text{°C}} + \frac{0,045 \text{ m}}{0,028 \text{ W/m} \cdot \text{°C}} + \frac{0,0015 \text{ m}}{0.037 \text{ W/m} \cdot \text{°C}} + \frac{1}{0,022 \text{ W/m}_2 \cdot \text{°C}}}$$

$$U = 0,0114 \text{ W/m}_2 \cdot \text{°C}$$

Una vez se obtuvo el valor correspondiente al coeficiente de transmisión de calor global, se procede a reemplazar este en la ecuación respectiva a las pérdidas tanto en paredes, techo y suelo respectivamente.

3.2.1.1 Pérdidas en techo y suelo. Debido a las condiciones ambientales donde la temperatura va a ser uniforme en todas las caras de la cámara y las dimensiones similares tanto

en techo como en el suelo (0,62 m ancho y 0,69 m altura), el valor obtenido va a corresponder tanto al techo como el suelo.

$$Q = U * A * \Delta T$$

*Ecuación 2 Cargas térmicas debido a la pérdida por transmisión en techo y suelo*

Reemplazando los valores correspondientes se obtiene:

$$Q = 0,0114 \text{ W/m}_2 * ^\circ\text{C} * (0,62\text{m} * 0,69\text{m}) * (25^\circ\text{C} - (-15^\circ\text{C}))$$

$$Q = 0,19 \text{ W}$$

3.2.1.2 Pérdidas en paredes laterales. Debido a las condiciones similares en cuanto a las paredes laterales (0,69 m base de pared; 1,38 m altura pared), el valor que se obtiene va a ser usado para las paredes lateral izquierda y lateral derecha respectivamente.

$$Q = U * A * \Delta T$$

*Ecuación 2 Cargas térmicas debido a la pérdida por transmisión en paredes laterales*

Reemplazando los valores correspondientes se obtiene:

$$Q = 0,0114 \text{ W/m}_2 * ^\circ\text{C} * (0,69\text{m} * 1,38) * (25^\circ\text{C} - (-15^\circ\text{C}))$$

$$Q = 0,43 \text{ W}$$

3.2.1.3 Pérdidas en pared frontal y posterior. Por las condiciones de similitud en cuanto a las dimensiones de estas paredes ( 0,62 m base pared; 1,38 m altura pared), el valor obtenido corresponde a ambas paredes.

$$Q = U * A * \Delta T$$

*Ecuación 2 Cargas térmicas debido a la pérdida por transmisión en pared frontal y posterior*

Reemplazando los valores correspondientes se obtiene:

$$Q=0,0114 \text{ W/m}_2 * ^\circ\text{C} * (0,62\text{m} * 1,38\text{m}) * (25^\circ\text{C} - (-15^\circ\text{C}))$$

$$Q=0,39 \text{ W}$$

Se obtuvo los valores con respecto a las pérdidas en todas las caras de la cámara de tal forma que se realiza una sumatoria para obtener el valor total de pérdidas por transmisión en paredes, techo y suelo.

$$\sum Q_1 = 0,43 W + 0,43 W + 0,19 W + 0,19 W + 0,39 W + 0,39 W$$

$$\sum Q_1 = 2,02 W$$

### ***3.2.2 Carga térmica por calor desprendido de ventiladores***

Por el diseño compacto del sistema y la mejor adaptabilidad se considera adquirir un evaporador con carcasa, en donde se incluye el ventilador de este. Las estimaciones realizadas por los autores se llegan a la conclusión que la potencia requerida de un ventilador compacto va a ser de aproximadamente 10 W, basados en catálogos de evaporadores comerciales. A su vez el tiempo que el ventilador este encendido será aproximadamente de 30 minutos, debido a las demandas de enfriamiento del sistema.

$$Q_5 = 860 * P * N$$

*Ecuación 7 Carga térmica por valor desprendido de ventiladores*

- P= Potencia de ventiladores expresada en kW.
- N= Horas encendido.

Con las consideraciones realizadas se obtiene el siguiente resultado.

$$Q_5 = 860 * 0,010 kW * 0,5 H$$

$$Q_5 = 0,43 kW = 430 W$$

### ***3.2.3 Cargas térmicas por pérdidas diversas***

Dentro de este se considera cargas por factores adversos al sistema como puede ser un mal aislamiento, un aumento en la temperatura y humedad ambiente, entre otros. Para esto se considera el producto entre un valor constante de 0,1-0,15 y las cargas térmicas principales, en este caso las pérdidas por transmisiones en paredes, techo y suelo, obteniendo:

$$Q_8 = \alpha * (Q_1)$$

*Ecuación 8 Cargas térmicas por pérdidas diversas*

- $\alpha =$  Constante de pérdidas diversas.
- $Q_1 =$  Pérdidas por transmisiones en paredes, techo y suelo.

Reemplazando en la ecuación se obtiene:

$$Q_8 = 0,15 * (2,02W)$$

$$Q_8 = 0,303 W$$

### **3.2.4 Potencia de equipo necesaria**

Para emitir la potencia del equipo se debe de considerar las horas de uso. Por lo tanto, los autores basados en horarios de clases dentro del entorno de materias afines al caso como refrigeración. Se considera un uso de 4 horas diarias.

$$\Sigma Q = \Sigma P$$

Eso menciona que basta con realizar la sumatoria de la cantidad de cargas térmicas para conocer la potencia necesaria del equipo. Por lo tanto, se obtiene:

$$\Sigma P = Q_1 + Q_5 + Q_8$$

*Ecuación 9 Potencia del equipo*

$$\Sigma P = 2,02 W + 430 W + 0,303 W$$

$$\Sigma P = 432,32 W$$

Llevando el valor en unidades de vatios a la unidad de elección de compresores de refrigeración en BTU/h, sabiendo que W es igual a 3,41BTU/h, se obtiene lo siguiente.

$$\Sigma P = 432,32 W * \frac{3,41 \frac{BTU}{h}}{1W}$$

$$\Sigma P = 1474,22 BTU/h$$

### **3.3. Elección del compresor**

Una vez se obtiene la capacidad frigorífica que debe de poseer el equipo para alcanzar la temperatura de evaporación correspondiente a  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la cual refleja que el equipo debe de disipar una capacidad térmica correspondiente a 432,32 W. Para esto se indaga en el mercado comercial correspondiente a los compresores enfocados a la rama de la refrigeración y sus diversos catálogos. A nivel comercial en la ciudad de Manta son usados los compresores marca SIKELAN, por su calidad-precio, en donde destaca la compactibilidad y bajo peso por lo que este tipo a elección de los autores son los correctos debido a la finalidad pedagógica del proyecto.

Indagando se hace uso de un catálogo referente a los compresores que esta marca ofrece (véase en ANEXO D), tanto en potencia como en capacidad frigorífica. Relacionando la capacidad térmica a disipar con los compresores que la marca ofrece se llega a la conclusión que el compresor ideal para disipar la carga térmica y lograr el efecto frigorífico deseado, equivale al compresor “SIKELAN ADW916T” con una potencia de 1/3 hp cuya capacidad frigorífica corresponde a 484 W. En comparativa a la capacidad necesaria, el modelo es relativamente superior, obteniendo así una mejor capacidad de disipación de calor.

### **3.4 Elección unidad evaporadora**

Para la elección de la unidad evaporadora, se debe de establecer los siguientes parámetros.

- Temperatura evaporación  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Sistema compacto y de pequeñas dimensiones.
- Fluido a refrigerar: aire.
- Escarcha presente a las bajas temperaturas presente en los serpentines del evaporador.

Los parámetros mostrados pueden ser acreedores a una elección muy amplia de unidades evaporadoras por consideración de los autores, sin embargo, el punto a resaltar es las dimensiones en donde se ubica la unidad. Al poseer la cámara que va a ser acondicionada, se establece que la unidad va a ser colocada en la parte superior de esta. Dicha elección se la realiza en base a que en este punto va a existir una mejor circulación de aire entre el ambiente y el medio a refrigerar, además una mejor apreciación para los estudiantes al realizar las correspondientes prácticas.

Se determina que se va a hacer uso de una unidad de tubos aleteados para cubrir una mayor eficiencia en cuanto al ciclo, manteniendo las bajas dimensiones en cuanto al diseño; así mismo, la unidad va a refrigerar aire por lo cual se va a ser uso de un evaporador por convección forzada. Dicha elección se hace en base a una mejor eficiencia de disipación de calor dentro de la cámara, además de una reducción de escarche dentro de la unidad. Se realiza la búsqueda correspondiente en el catálogo ANFRIGAL (ver en ANEXO E). Dentro del catálogo se va a optar por la serie JEH PLUS, debido a su fabricación que provee de bajo decibeles de ruido, su alto nivel de eficiencia frigorífica y a su vez su bajo costo inicial y fácil mantenimiento. Se encuentra los siguientes evaporadores de esta clase.

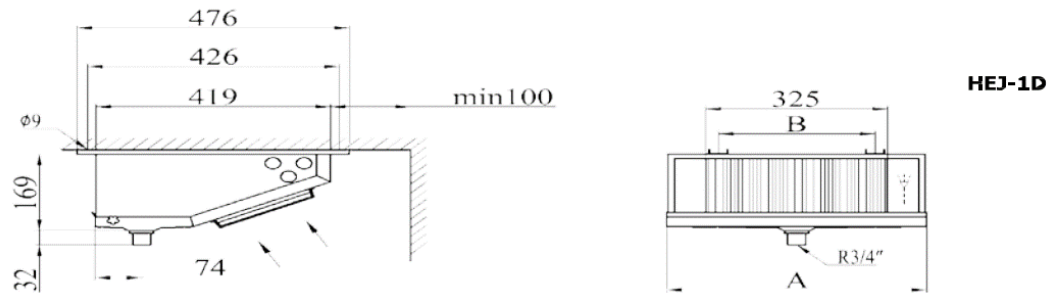
*Tabla 2 Modelos evaporadores serie JEH PLUS*

MODELO	DIMENSIONES DEL EVAPORADOR (MM)		
	A	B	C
HEJ PLUS 1D	415	250	
HEJ PLUS 2D	740	575	
HEJ PLUS 3D	1.065	900	450
HEJ PLUS 4D	1.390	1.224	612

Fuente: <https://anfrigal.com/wp-content/uploads/2021/07/SECCION-5-EVAPORADORES-Y-CONDENSADORES1.pdf>



En cuanto a las dimensiones, el modelo más acorde sería el HEJ PLUS 1D, debido a que por selección de los autores y en comparativa con las dimensiones de la cámara, es la opción que entra dentro de los parámetros de medidas.



*Figura 14 Planos evaporador HEJ PLUS-1D*

*Obtenido de: <https://anfrigal.com/wp-content/uploads/2021/07/SECCION-5-EVAPORADORES-Y-CONDENSADORES1.pdf>*

#### **3.4.1 Datos técnicos evaporador HEJ PLUS-1D**

- Capacidad frigorífica -15 °C, respecto a temperatura evaporación 830 W.
- Peso neto 6 kg.
- Espacio entre aletas 4,5-9 mm.
- Voltaje de alimentación 220 V.
- Frecuencia 60 Hz.
- Capacidad calentador eléctrico 500 W (hace referencia a las resistencias ZOPPAS RT de descarche).



*Figura 15 Evaporar HEJ PLUS-1D*

*Fuente: Propia*

Dentro de un sistema eficiente, la capacidad frigorífica del evaporador debe de ser mayor al trabajo generado por el compresor. El valor correspondiente al compresor es de 484 W, mientras que el del evaporador a una temperatura de  $-15^{\circ}\text{C}$  es de 830 W. Esto demuestra que el evaporador maneja una capacidad superior de 430 W con respecto al compresor, siendo la elección acorde para un buen funcionamiento del sistema.

### **3.5 Elección unidad condensadora**

Para establecer el tipo de condensador debe de ser usado acorde al sistema en construcción se toma los siguientes parámetros como punto de partida:

- Capacidad del compresor 484 W.
- Nivel de ruido bajo.
- Sistema compacto y de pequeñas dimensiones.
- Uso de un único ventilador disipador.

Una de las mejores elecciones es un condensador enfriado por convección de aire forzado, esta decisión se basa en criterios como que, al momento de mover cantidades de calor, se necesita una superficie de intercambio muy grande debido a que el “aire tiene un calor

específico muy bajo (1 kJ/kg-K) y, además, el coeficiente global de transmisión de calor entre un vapor condensante y un gas (aire) es débil.” (González, 2015) .

Como se va a disponer de un condensador de sistema de refrigeración estándar la temperatura a la cual va a trabajar la condensación de este se la considera un valor de 17 °C por encima de la temperatura ambiente, tal como lo indica González (2015) “la mayor parte de los condensadores se diseñan para tener una separación de 17 °C para un rango de temperatura ambiente entre 25 °C a 35 °C, aplicado a unidades condensadoras de sistemas de refrigeración estándar (SEER 10)”, por lo cual la temperatura de condensación va a ser la siguiente.

$$T_c = T_a + S_c$$

*Ecuación 10 Temperaturas de trabajo*

$T_c$  = Temperatura condensación °C

$T_a$  = Temperatura ambiente °C

$S_c$  = Separación de temperatura condensador °C

Por lo cual considerando la temperatura ambiente a 25 °C y la separación de 17 °C, se obtiene:

$$T_c = 25^{\circ}\text{C} + 17^{\circ}\text{C}$$

$$T_c = 42^{\circ}\text{C}$$

La unidad condensadora va a poseer tubos aleteados que se van a enfriar mediante convección forzada, estos poseen un costo inicial-mantenimiento bajo; “utilizados solamente en máquinas frigoríficas de potencia igual o inferior a 2000 kW” (González, 2015). A su vez, la capacidad del condensador debe de ser mayor a la del compresor, ya que este debe de disipar de manera eficiente calor reflejado en trabajo por parte del compresor, por tal motivo se realiza la búsqueda en el catálogo GRUPO Disco en el apartado de condensadores (véase ANEXO F).

Dentro de la búsqueda realiza en el catálogo se hace uso de la serie CPN. Este tipo de unidades están constituidas por tuberías de cobre con estrías con una separación entre aletas de 2,1 mm, lo cual proporciona un mejor intercambio de calor eliminando el calor generado por el compresor. La unidad puede incluir el respectivo ventilador disipador, sin embargo, por elección de los autores este va a ser adquirido de manera independiente, debido a que se desea trabajar con una tensión nominal de 120 V. Dentro del apartado de la serie CPN, están presentes los modelos CB, cuyas dimensiones son acorde a lo requerido, además presentando un bajo costo de adquisición en comparativa al resto de condensadores presentes.

Tabla 3 Modelo condensadores CPN

Batería con Baffle			Condensador completo con ventilador monofásico			Capac. Dt=15 K W	Sup m <sup>2</sup>	Vol dm <sup>3</sup>	Caudal m <sup>3</sup> /h	Tipo CB (sólo batería con baffle)				Tipo CV con ventilador			
Código	Modelo CB	Precio €	Código	Modelo CV	Precio €					Dimensiones			Peso kg	Ventiladores		Dim. G	Peso kg
										C	F	H		Nº x Ø	W/A Total		
-	CB-72	31,90	OX135	CV-72	70,80	786	1,0	0,3	415	298	105	231	1,3	1x200	29/0,19	175	2,3
OX111	CB-82	35,50	OX1124	CV-82	74,20	800	1,0	0,3	415	298	105	231	1,4	1x200	29/0,19	175	2,4
OX122	CB-83	48,80	-	CV-83	86,80	1.062	1,5	0,5	410	298	128	231	1,7	1x200	29/0,19	208	2,7
OX125	CB-84	61,90	OX126	CV-84	99,40	1.310	2,0	0,6	400	298	149	231	2,1	1x200	29/0,19	220	3,1
OX021	CB-92	47,20	OX129	CV-92	91,00	1.207	1,4	0,4	700	330	105	273	1,9	1x250	60/0,42	181	3,2
OX133	CB-93	57,30	OX276	CV-93	101,00	1.603	2,1	0,6	690	330	128	273	2,1	1x250	60/0,42	203	3,4
OX136	CB-94	74,80	OX108	CV-94	117,00	1.996	2,8	0,8	680	330	149	273	2,6	1x250	60/0,42	225	3,9
-	CB-103	68,50	-	CV-103	111,00	1.627	2,1	0,7	690	330	128	273	2,4	1x250	60/0,42	203	3,7
OX144	CB-104	82,40	OX277	CV-104	128,00	2.019	2,8	0,9	680	330	149	273	2,7	1x250	60/0,42	225	4
OX155	CB-114	125,00	OX112	CV-114	177,00	3.088	4,4	1,2	950	430	160	326	4,5	1x300	70/0,48	245	6,3
OX166	CB-124	132,00	OX521	CV-124	184,00	3.117	4,4	1,3	950	430	160	326	4,6	1x300	70/0,48	245	6,4
OX177	CB-144	143,00	OX145	CV-144	195,00	3.454	5,2	1,5	950	430	160	363	5,2	1x300	70/0,48	245	7
Condensadores con 2 ventiladores																	
-	CB-82D	68,50	OX124	CV-82D	146,00	1.600	2	0,6	830	538	105	231	2,8	2x200	58/0,38	175	4,8
-	CB-83D	90,90	OX123	CV-83D	167,00	2.124	3,1	1	820	538	128	231	3,4	2x200	58/0,38	203	5,4
OX182	CB-84D	112,00	OX103	CV-84D	187,00	2.620	4,1	1,3	800	538	149	231	4,2	2x200	58/0,38	225	6,2
OX184	CB-94D	139,00	OX390	CV-94D	225,00	3.992	5,7	1,6	1.360	600	149	273	5,2	2x250	120/0,84	225	7,8
OX110	CB-104D	167,00	OX213	CV-104D	253,00	4.038	5,7	1,7	1.360	600	149	273	5,4	2x250	120/0,84	225	8
OX178	CB-114D	199,00	OX128	CV-114D	308,00	6.176	8,8	2,3	1.900	775	160	326	9	2x300	140/0,96	245	12,6
OX179	CB-124D	229,00	OX116	CV-124D	336,00	6.234	8,8	2,6	1.900	775	160	326	9,2	2x300	140/0,96	245	12,8
OX180	CB-144D	256,00	OX113	CV-144D	361,00	6.908	10,4	3	1.900	775	160	363	10,4	2x300	140/0,96	245	14

Obtenido de: <https://www.grupodisco.com/intranet/uploads/documentos/5-Condensadores.pdf>

En la respectiva tabla, los autores consideran el modelo CB-83, esto respectivo al bajo precio que se evidencia (considerar sin ventilador), de igual forma la capacidad para eliminar el calor debe de ser superior al trabajo del compresor, por lo cual la capacidad respectiva de 1062 W es superior y está acorde al buen dimensionamiento del sistema. A su vez los autores deciden que la capacidad debe de estar próximo al doble de consumo del compresor por lo que esto reafirma que la elección del CB-83 es la más acorde para lograr una correcta y eficiente disipación del calor de compresión.

### 3.5.1 Datos técnicos condensador CB-83

Se considera al equipo dentro del catálogo solamente la batería con el bafle del equipo:

- Capacidad frigorífica 1062 W.
- Caudal refrigerante  $410 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- Peso 1,7 Kg.
- Temperatura Condensación 42 °C.



*Figura 16 Unidad Condensadora CB-83.*

*Fuente propia*

### 3.6 Elección dispositivo de expansión

El dispositivo de expansión es el encargado de separar la parte de alta y baja presión dentro del sistema de refrigeración, por lo que su elección va a corresponder un gran punto de eficiencia dentro de este. Este elemento convierte la mezcla de líquido-vapor (abundante en líquido y alta presión) proveniente del condensador a una mezcla de vapor-líquido (abundante en vapor y baja presión).

Entre los dispositivos de expansión utilizados en evaporadores se encuentran las válvulas de expansión, tanto termostática como de expansión automática, elementos que manejan altas presiones y una regulación más abrupta del flujo másico. Al tratarse de un

sistema que va enfocado hacia lo pedagógico, no va a trabajar a condiciones extremas por lo cual la siguiente opción para la elección del dispositivo de expansión va a ser un dosificador capilar. Estos elementos poseen un funcionamiento mucho más sencillo debido a que este es un tubo mucho más fino en comparativa a la tubería de alta presión, dentro del cual por consecuencia de la longitud y el diámetro del tubo pierde presión.

Este elemento es relativamente económico, y a su vez brinda la mayor eficiencia en sistemas que manejan cargas constantes, por lo cual es el elemento indicado para el sistema que se va a fabricar. Además de esto, brinda una excelente ventaja al momento de poner en marcha el sistema. “Al ser un dispositivo abierto, no evita que el líquido pase al lado de baja presión del sistema durante el ciclo de paro, nivelándose las presiones. Esto tiene la ventaja de reducir el par de arranque del motor del compresor” (González, 2015).

### ***3.6.1 Consideraciones para elección de dosificador capilar***

La longitud y el diámetro del capilar son los elementos que van a lograr que la mezcla de vapor-liquido llegue a la presión correcta para lograr una evaporación eficiente a la temperatura deseada. Por lo cual se debe considerar los siguientes datos:

- Fluido Refrigerante R134a
- Capacidad frigorífica compresor  $1651 \text{ BTU}/\text{H}$
- Temperatura evaporación  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$

Para realizar la elección del diámetro y longitud correcta se recurre a verificar tablas comerciales, en este caso se hace uso de la tabla brindada por la compañía TECUMESH, en el apartado de dimensionamiento capilar (ver en ANEXO G). Como se evidencia los parámetros de trabajo del sistema, dentro del catálogo la mejor opción es sobredimensionar el capilar por lo cual la mejor selección es considerar que el equipo trabaja a  $2000 \text{ BTU}/\text{H}$ . Esto

menciona, que la selección de capilar corresponde a un diámetro de  $1,016 \times 10^{-3}$  m y la longitud de 1,98 m.

Comercialmente el capilar se lo solicita en unidades del sistema americanas (pie) por lo cual, la longitud llevada a pie sería un valor de 6' 6".

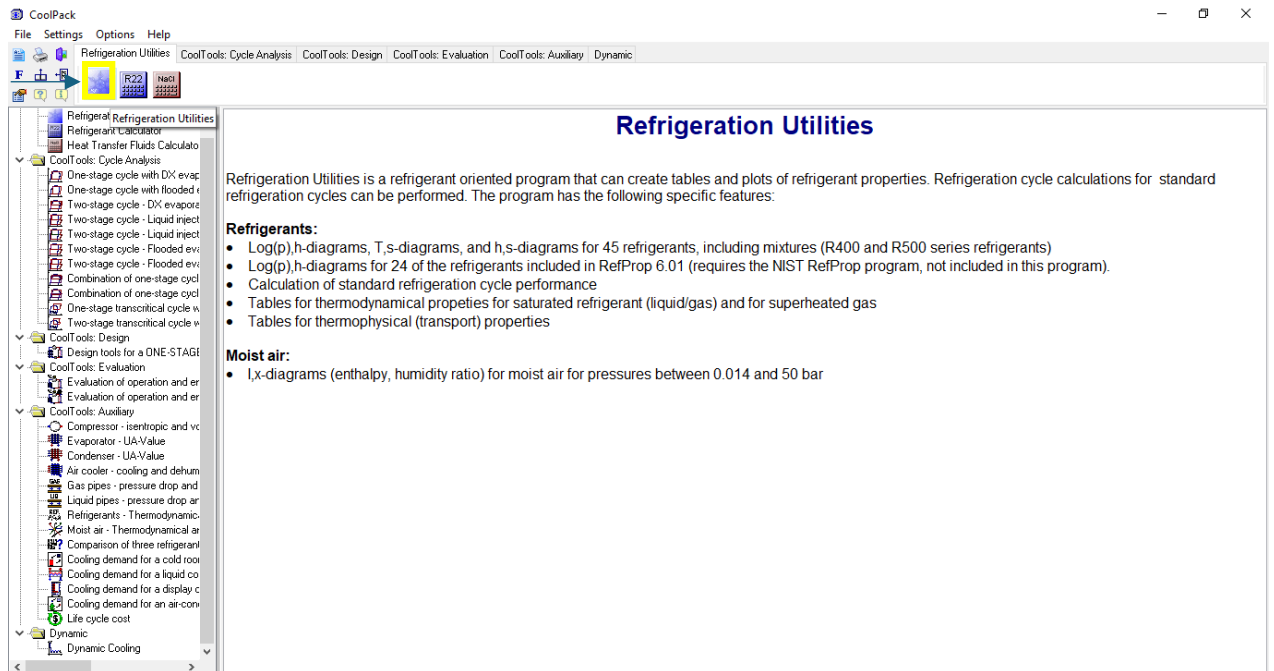


*Figura 17 Dosificador capilar.*

*Obtenido de <https://refrigeracion.com.mx/producto/9207-tubo-capilar-0-49-de-3-00-mts-rollo/>*

### **3.7 Construcción del ciclo dentro del diagrama de Mollier**

Para realizar la gráfica correspondiente al ciclo de refrigeración, los autores van a hacer uso del software “Coolpack”, software destinado al análisis gráfico y matemático de ciclos de refrigeración. El primer paso para realizar dentro de la interfaz es ingresar al apartado de herramientas de refrigeración.



*Figura 18 Interfaz primaria software "COOLPACK".*

*Fuente Coolpack*

Se menciona que dicho apartado está enfocado en la creación de tablas y gráficos de propiedades refrigerantes y el cálculo de ciclos estándares de refrigeración.

En este caso, la construcción del ciclo y comportamiento dentro de la gráfica de Mollier establece que la misma va a hacer uso de presiones con respecto a las entalpías de trabajo. A su vez se establece el refrigerante con el cual va a trabajar el ciclo de la siguiente manera.



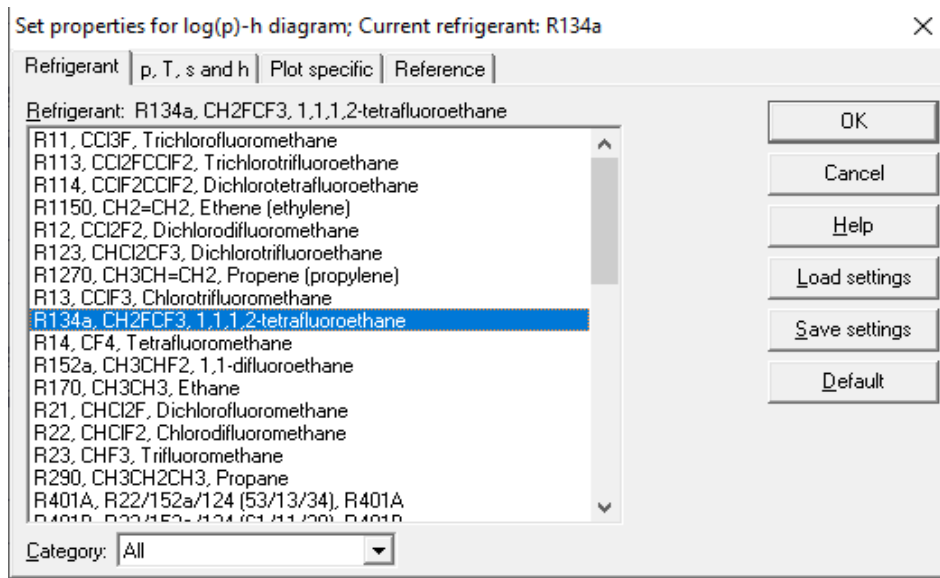


Figura 19 Selección de refrigerante de trabajo dentro de software

Fuente Coolpack

Una vez se haya seleccionado el refrigerante R134a con el cual se va a trabajar se establecen las unidades de trabajo pertenecientes a las presiones, debido a que estas gráficas se expresan en KPa, se debe de realizar el respectivo cambio.

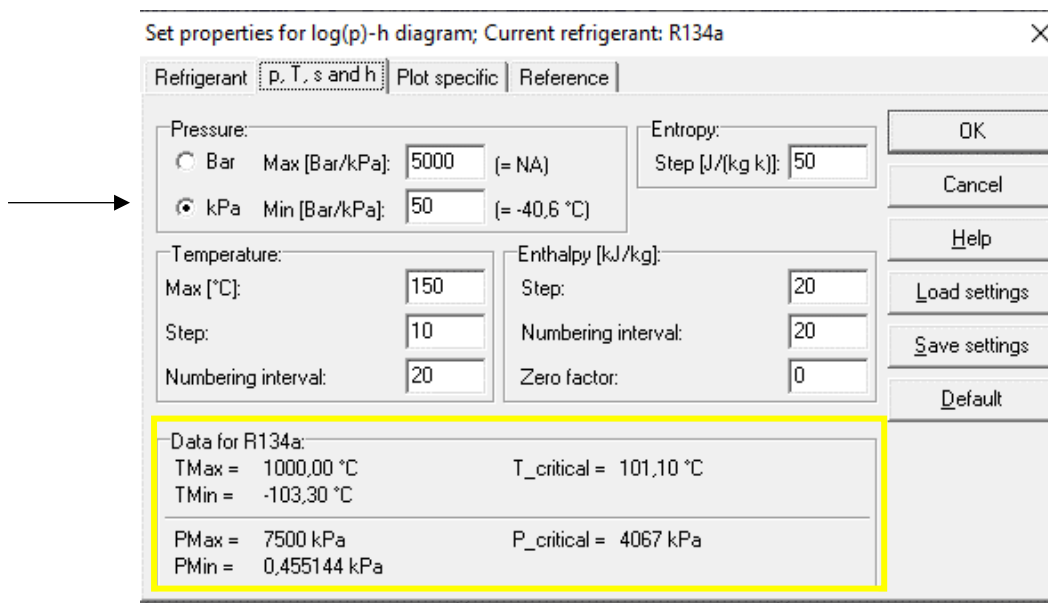


Figura 20 Propiedades del diagrama con respecto al refrigerante R134a software "COOLPACK".

Fuente Coolpack

Un dato adicional que brinda el software es la temperatura y la presión crítica perteneciente al refrigerante, esto ofrece a los autores la capacidad de comprender y conocer la eficiencia del sistema, debido a que si el ciclo opera a temperaturas más bajas con respecto a lo crítico ofrece una mayor eficiencia.

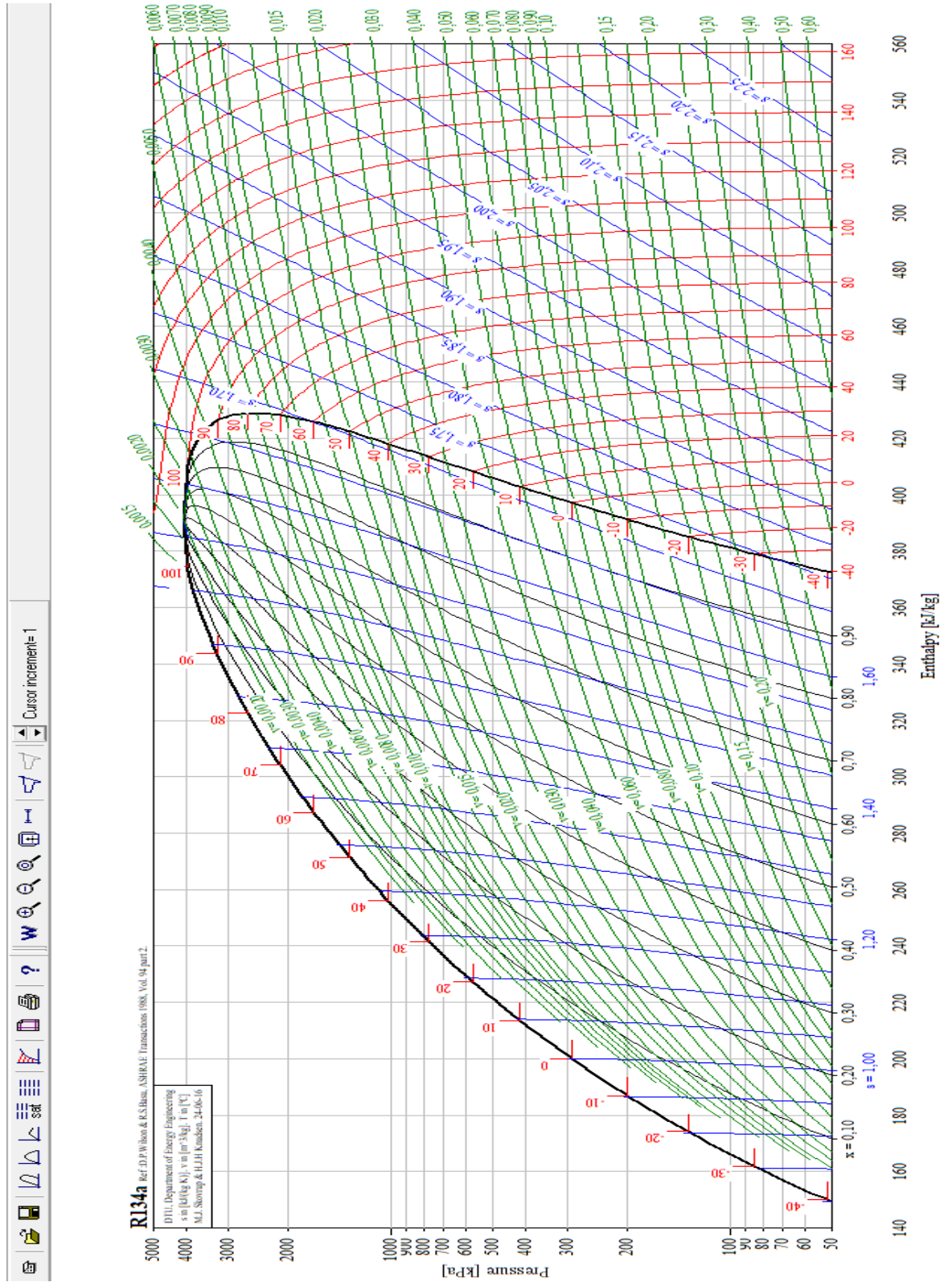


Figura 21 Diagrama de Mollier R134a

Fuente Coolpack

Dentro del software una vez estableció del diagrama correspondiente al R134a. Se procede a establecer las condiciones de trabajo del sistema con respecto a las temperaturas de trabajo:

- Temperatura evaporación -15 °C
- Temperatura condensación 42 °C
- Subenfriamiento 5 °C
- Sobrecalentamiento 10 °C
- Caídas presiones considerar 0

Dentro de las condiciones de trabajo se establecen tanto las temperaturas de trabajo de condensación y evaporación. Con respecto al subenfriamiento y el sobrecalentamiento, dentro del software al momento de trabajar en grados Celsius, se debe de establecer los valores diferenciales con respecto a la entrada del dispositivo de expansión (subenfriamiento), y de igual forma a la salida del evaporador antes de entrar en el proceso de compresión (sobrecalentamiento). De tal forma queda denotado de la siguiente forma:

$$S_e = T_c - S_{be}$$

*Ecuación 11 Temperatura de subenfriamiento de entrada a dosificador capilar*

- $S_e$  = Temperatura de subenfriamiento de entrada a dosificador capilar °C
- $T_c$  = Temperatura de condensación °C
- $S_{be}$  = Subenfriamiento °C

Se denota que el valor de la temperatura va a ser el siguiente:

$$S_e = 42^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C}$$

$$S_e = 37^\circ\text{C}$$

De igual forma se deduce la temperatura de salida del evaporador con respecto al sobrecalentamiento de la siguiente forma:

$$S_h = T_e - S_{he}$$

- $S_h$  = Temperatura de supercalentamiento de salida evaporador °C
- $T_e$  = Temperatura de evaporación °C
- $S_{he}$  = Supercalentamiento °C

Obteniendo el siguiente resultado.

$$S_{e=} - 15^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C}$$

$$S_{e=} - 5^{\circ}\text{C}$$

Una vez obtenidos todos los datos, se introducen en los parámetros correspondientes para delimitar el comportamiento del ciclo dentro del diagrama de Mollier.

*Figura 22 Establecimiento parámetros de trabajo*

*Fuente Coolpack*

Una vez se haya dado click en el apartado de dibujar ciclo, se muestra el resultado del comportamiento del ciclo dentro del gráfico de Mollier.

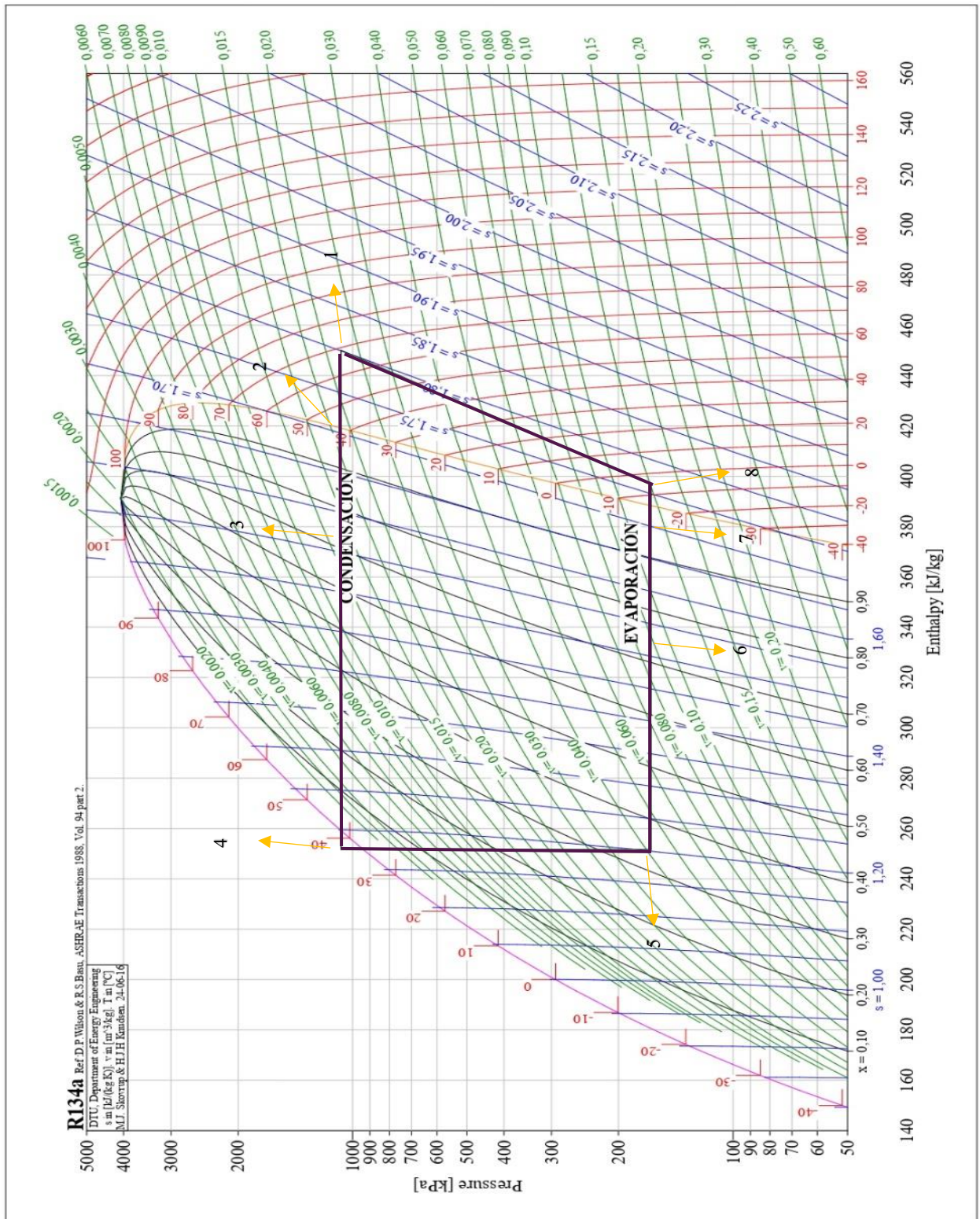


Figura 23 Ciclo representado dentro de la campana de Mollier

Fuente Coolpack

En lo que corresponde al análisis, dentro de la gráfica de Mollier se identifican los puntos representados en la siguiente tabla:



*Tabla 4 Puntos de trabajo de ciclo de refrigeración.*

Numeración	Descripción	Temperatura °C	Presión kPa	Entalpia (kJ/kg)
1	Succión compresor.	-5	163,739	396,838
2	Descarga compresor	69	1072	450,030
3	Entrada condensador	42	1072	450,030
4	Condensador	42	1072	415,26
5	Salida condensador	37	1072	251,697
6	Entrada evaporador	-15	163,739	388,45
7	Evaporador	-15	163,739	396,838
9	Salida Evaporador	-5	163,739	396,838

### **3.8 Análisis de condiciones de trabajo**

Al tener datos del sistema con relación a temperaturas, presiones y entalpías de trabajo, se procede a analizar las condiciones en las que trabaja. El respectivo análisis se lo realiza dentro del software “Genetron Properties”. Este software analiza las condiciones de trabajo en base a los parámetros y la configuración respectiva del ciclo.

Dentro de la interfaz se le asigna un nombre al proyecto, el refrigerante a elección (R134a) y las condiciones de trabajo solicitadas.

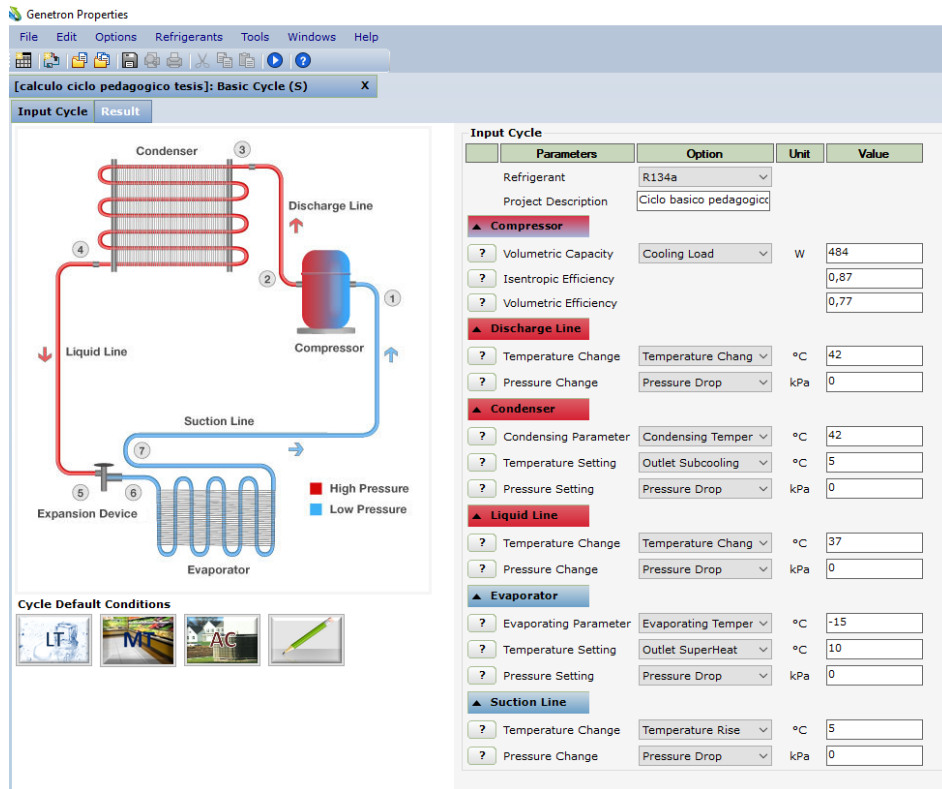


Figura 24 Condiciones de trabajo dentro del software "Genetron Properties".

Fuente Genetron Properties

Al ser un sistema con un recorrido pequeño de tuberías, tanto en el lado de alta como en el de baja presión, se considera que no va a existir caídas de presiones en estos tramos, por lo tanto, este valor va a ser igual a cero tal como se visualiza en la imagen anterior.

Al haber ubicado los datos correspondientes, se procede a simular el sistema, obteniendo los parámetros de desempeño tales como potencial de calentamiento global (GWP), coeficiente de rendimiento térmico (COP) o la ratio de eficiencia energética (EER); presentes en las condiciones de trabajo.

Tabla 5 Parámetros de Desempeño del Ciclo

PARÁMETROS DE RENDIMIENTO	
Refrigerante.	R134a
Potencial de Calentamiento Global (GWP).	1430
Flujo Másico.	0,00245 kg/S



Capacidad de Enfriamiento.	484 W
Capacidad de Calentamiento.	-32,73 W
Poder.	0,119 kW
Coefficiente de Rendimiento de Enfriamiento	4,077
Ratio Eficiencia Energética (EER).	$13,909 \text{ BTU} / \text{W} * \text{H}$
Coefficiente de Rendimiento de Calentamiento.	-0,276

De igual modo como se analiza el desempeño general del sistema, el software ofrece la posibilidad de conocer los parámetros de trabajo de cada elemento dentro del sistema. A partir de los resultados obtenidos, se indica que el sistema va a cumplir con las necesidades para lo cual va a ser diseñado, operar dentro de las condiciones indicadas con riesgo mínimo a existir alguna falla en funcionamiento dentro de este.

### 3.9 Elaboración de plano frigorífico

Dentro de la elaboración del sistema propuesto para que este cumpla un funcionamiento correcto se debe de hacer uso de distintos elementos de regulación y control que proporcionan una mayor eficiencia frigorífica y a su vez hacer uso de accesorios para lograr una comprensión total de los estudiantes al momento de realizar las prácticas. El sistema va a contar con los siguientes elementos:

Elementos principales:

- Compresor SIKELAND 1/3 HP.
- Condensador CB-83.
- Dosificador capilar 0,040"x 6 pies.
- Evaporador HEJ PLUS-1D.

Elementos de regulación y control:

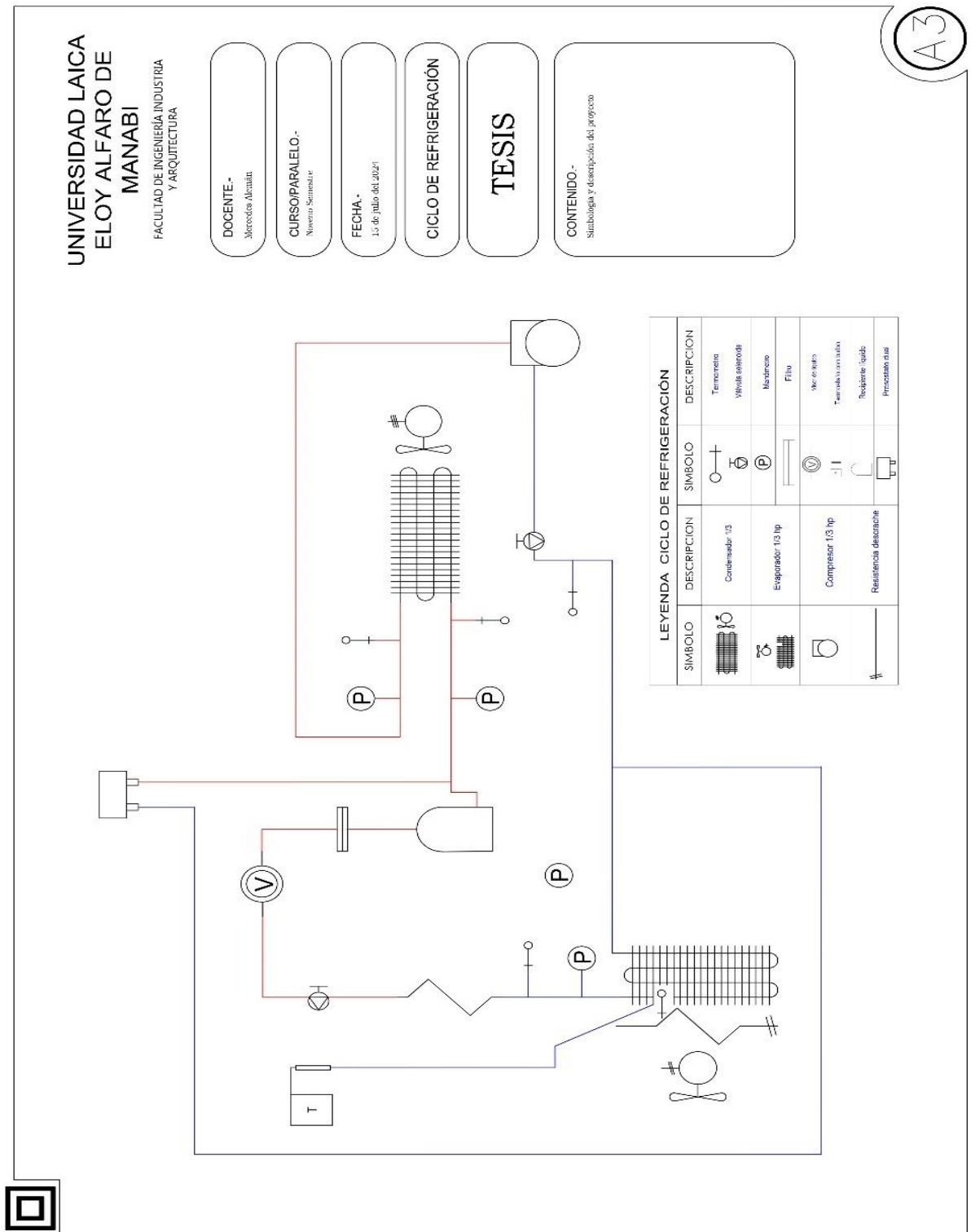
- 1 recibidor de líquido.

- 1 válvula solenoide.
- 1 visor de líquido.
- 1 filtro secador.
- 1 presostato dual.
- 1 controlador de congelación.

Accesorios:

- 2 manómetros de alta presión.
- 2 manómetros de baja presión.

Al tener conocimiento de todos los elementos a usar dentro del sistema, el mismo va a reflejarse de la siguiente forma en el correspondiente plano.



UNIVERSIDAD LAICA  
 ELOY ALFARO DE  
 MANABI  
 FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL  
 Y ARQUITECTURA

DOCENTE -  
 Mercedes Alvarado

CURSO/PARALELO -  
 Noveno Semestre

FECHA -  
 12 de Julio del 2021

CICLO DE REFRIGERACIÓN

TESIS

CONTENIDO -  
 Simbología y descripción del proyecto

A3

Figura 25 Plano frigorífico

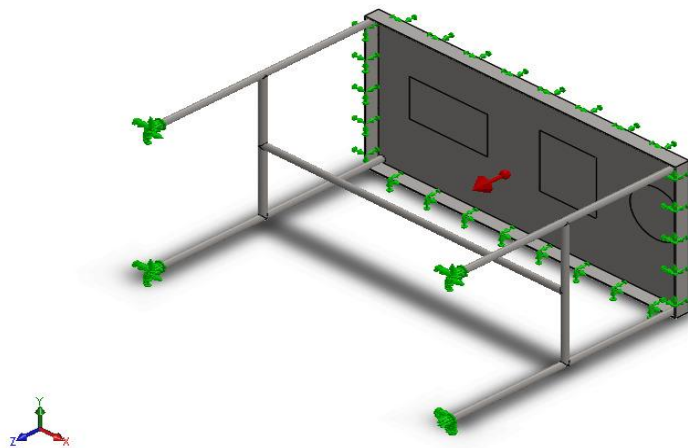
Fuente propia

Para una mejor interacción del estudiante dentro de las prácticas se va a necesitar un soporte para todo el equipo, por lo cual se opta por la elaboración de una mesa de acorde a las necesidades requeridas.

### **3.10 Diseño y análisis estructural de la mesa de soporte de los elementos de refrigeración.**

En el presente trabajo se lleva a cabo un análisis detallado del comportamiento mecánico del acero inoxidable utilizando el software de simulación SolidWorks. El objetivo principal es evaluar la respuesta estructural de este material bajo ciertas condiciones de carga y sujeción específicas, a través de un modelo isotrópico elástico lineal.

El acero inoxidable es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones industriales debido a sus propiedades mecánicas favorables, como alta resistencia a la corrosión, buena ductilidad y estabilidad térmica. Sin embargo, para garantizar su desempeño y seguridad en aplicaciones críticas, es esencial realizar un análisis exhaustivo de sus características estructurales.



*Figura 26 Análisis estructural de mesa y sus cargas*

*Fuente propia*

### 3.10.1 Propiedades del Material

1. **Límite elástico:**  $1.72339 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
2. **Límite de tracción:**  $5.13613 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
3. **Módulo elástico (E):**  $2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
4. **Coefficiente de Poisson ( $\nu$ ):** 0.28
5. **Densidad:** 7800 kg/m<sup>3</sup>
6. **Módulo cortante (G):**  $7.7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
7. **Coefficiente de dilatación térmica:**  $1,1 \times 10^{-5} / \text{K}$
8. **Suelo:** Se restringieron 4 caras con tipo de restricción de geometría fija.
9. **Fuerzas aplicadas:**
  - Compresor: 92 N en una cara
  - Accesorios varios: 50 N en una cara
  - Condensador: 35 N en una cara

### 3.10.2 Información de la Malla

- **Tipo de malla:** Malla sólida basada en curvatura de combinado.
- **Tamaño de elementos:** Máximo y mínimo 14.1062 mm.
- **Nodos totales:** 126,185
- **Elementos totales:** 77,599
- **Calidad de malla:**
  - Cociente máximo de aspecto: 3,599
  - % de elementos con cociente de aspecto < 3: 99,8%
  - % de elementos con cociente de aspecto > 10: 0%
  - % de elementos distorsionados: 0%

- **Tiempo de malla:** 00:00:03

### 3.10.3 Resultados del Análisis

#### 10. Tensiones de von Mises (Tensiones):

- Mínimo:  $5,528 \times 10^2 \text{ N/m}^2$  (Nodo: 77168)
- Máximo:  $1,049 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  (Nodo: 120077)

#### 11. Desplazamientos (Desplazamientos):

- Mínimo: 0.000 mm (Nodo: 28)
- Máximo:  $1,323 \times 10^{-2} \text{ mm}$  (Nodo: 87055)

#### 12. Deformaciones Unitarias (Deformaciones unitarias):

- Mínimo:  $2,725 \times 10^{-9}$  (Elemento: 70169)
- Máximo:  $3,472 \times 10^{-6}$  (Elemento: 51614)

### 3.10.4 Interpretación de los Resultados

13. **Tensiones:** La tensión de von Mises máxima ( $0,049 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ) está muy por debajo del límite de tracción del material ( $5,13613 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ ), lo cual sugiere que el material no ha alcanzado su límite plástico y está funcionando dentro de los límites elásticos.

14. **Desplazamientos:** El desplazamiento máximo registrado es  $1,323 \times 10^{-2} \text{ mm}$ , lo cual es muy pequeño y sugiere que la deformación del material es insignificante bajo las cargas aplicadas.

15. **Deformaciones unitarias:** Las deformaciones unitarias también son muy pequeñas, indicando que el material está sufriendo una deformación elástica mínima bajo las condiciones de carga dadas.

### 3.10.5 Conclusión del análisis estructural de la mesa

El análisis muestra que el acero inoxidable ferrítico, bajo las cargas y condiciones de sujeción especificadas, se comporta de manera elástica sin alcanzar sus límites de tensión y deformación críticos. Esto confirma que el diseño es seguro y el material no fallará bajo las cargas especificadas. Para más detalle ver ANEXO H

#### Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	5,528e+02N/m <sup>2</sup> Nodo: 77168	1,049e+06N/m <sup>2</sup> Nodo: 120077
Mesa Baque-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1			
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00mm Nodo: 28	1,323e-02mm Nodo: 87055
Mesa Baque-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1			
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2,725e-09 Elemento: 70169	3,472e-06 Elemento: 51614
Mesa -Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1			

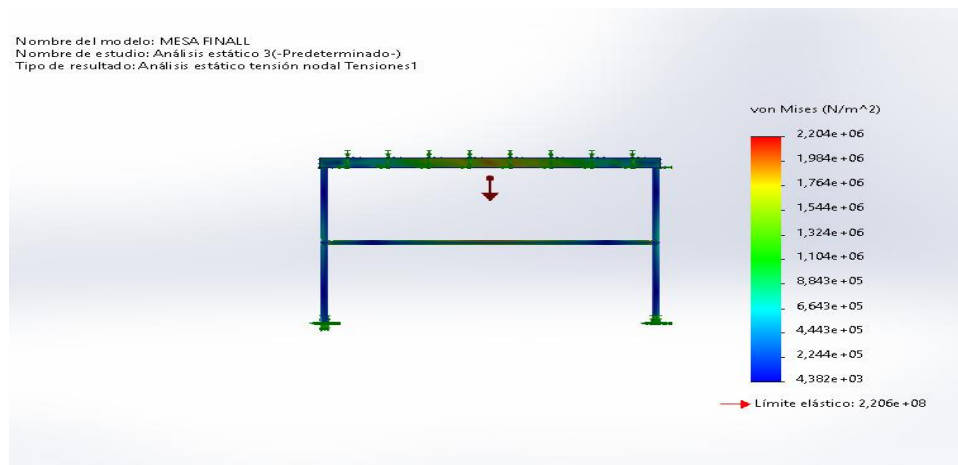


Figura 27 Resultados de análisis estructural

Fuente propia

## CAPITULO IV: CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO

### 4.1 Acondicionamiento de Refrigeradora Global RG10AF

Para la correcta implementación del ciclo de refrigeración en una refrigeradora Global RG10AF, es fundamental seguir un procedimiento detallado de limpieza y colocación del evaporador. Este proceso asegura la funcionalidad óptima del sistema y la estabilidad de la estructura.

En primer lugar, se debe realizar una limpieza exhaustiva del interior de la refrigeradora Global RG10AF. La limpieza se efectúa utilizando una mezcla de agua con desinfectante acompañado de desoxidante, asegurando que todas las superficies internas estén completamente libres de polvo y grasa. Esto incluye las paredes internas, retirada de estantes y compartimentos del aparato.



*Figura 28 Limpieza respectiva de la unidad refrigeradora*

*Fuente propia*

Con la limpieza completada, se procede a marcar la ubicación exacta donde se instalará el evaporador dentro de la refrigeradora. Este paso implica medir y trazar la posición en el compartimento interior, considerando las dimensiones y especificaciones del evaporador.

Posterior, se instala el evaporador en la posición designada. Este componente se fija firmemente utilizando tornillos de acero inoxidable (cuya finalidad es evitar que exista



oxidación y el mismo se esparza), asegurando que esté bien sujeto y nivelados. Se realizan las conexiones de las tuberías del evaporador al resto del sistema de refrigeración, asegurándose de que estén adecuadamente aisladas para minimizar las pérdidas térmicas.

Finalmente, se realiza una inspección general del compartimento interno para asegurarse de que la limpieza y la instalación del evaporador no haya afectado el hermetismo de la refrigeradora. Este enfoque meticuloso en la limpieza y colocación del evaporador garantiza no solo la eficiencia y efectividad del ciclo de refrigeración, sino también la durabilidad y seguridad del sistema en su totalidad.



*Figura 29 Ensamblado de unidad frigorífica y evaporador.*

*Fuente propia*

#### **4.2 Construcción de la mesa de soporte**

Una vez verificado que el análisis estructural confirma que la mesa puede soportar el peso de los elementos seleccionados, se procede a su elaboración. El primer paso es adquirir el material necesario, que consiste en una plancha de acero caliente de 1,2 x 0,6 m con un espesor de 0,003 m. Luego, utilizando una prensa, se flexiona la plancha en todos los lados hasta alcanzar una medida de 0,005 m.

Después de realizar este procedimiento en todos los lados de la plancha, se elabora el soporte correspondiente. Para ello, se utilizan siete tubos del mismo material y diámetro. Los

tubos son cortados y ensamblados según las especificaciones del diseño estructural, garantizando que el soporte proporcione la resistencia y estabilidad necesarias para la mesa.

Las medias de los tubos se distribuyen de la siguiente forma:

- 4 tubos con longitud de 0,90 m
- 2 tubos con longitud 0,60 m
- 1 tubo con longitud de 1,20 m

Los tubos correspondientes a 0,90 m son colocados como los soportes de la mesa respectivamente en cada esquina de la mesa. Los dos tubos de 0,60 m tienen la función de conectar las bases de manera perpendicular para brindar una mayor estabilidad evitando efecto de vibraciones provocados por los equipos a montar. El tubo con longitud 1,20 m cumple una función similar, con la diferencia que este va colocado de forma horizontal. Una vez se haya distribuido de manera correcta se realiza la unión de las bases mediante puntos de soldadura, concluyendo de tal forma la elaboración estructural.



*Figura 30 Construcción mesa de soporte*

*Fuente Propia.*

Al tener la forma estructural de la mesa de soporte, para que la misma sea presentable debe de pasar por un proceso de acabado. El primer punto de este es eliminar las respectivas rebabas y protuberancias como consecuencia del proceso de soldadura, para esto se lija las

partes con grandes y pequeñas rebabas de material, debido a que luego de esto se procede a aplicar una capa de pintura.



*Figura 31 Eliminación de rebabas mediante el uso de lija*

*Fuente propia*

Posterior a esto una vez las superficies posean una textura uniforme y lisa, se aplica la capa de pintura brillante, cuya función se basan en brindar una protección extra contra la oxidación presente en el ambiente por la humedad, además a esto ofrecer un mejor aspecto ante el aprecio de estudiantes y personas que realicen pruebas dentro de este sistema. Con esto concluye la construcción de la mesa de soporte, la cual está lista para ser usada.



*Figura 32 Resultado final de mesa de soporte*

*Fuente propia*

### 4.3 Marcado, colocación y ensamblaje de componentes de refrigeración

Para la correcta implementación de un ciclo de refrigeración en la mesa estructural previamente descrita, es esencial seguir un procedimiento detallado de marcado y colocación de los componentes. Este proceso asegura la funcionalidad óptima del sistema y la estabilidad de la estructura.

En primer lugar, se realiza el marcado de las ubicaciones exactas donde se instalarán los componentes que van fijos dentro de la mesa, siendo estos el compresor, condensador y su respectivo ventilador, receptor de líquido y las respectivas válvulas de cierre. Las posiciones deben estar distribuidas de manera que optimicen el flujo de refrigerante y faciliten el acceso para el mantenimiento. El marcado debe incluir agujeros para los pernos de fijación y canales para el paso de las tuberías.



*Figura 33 Proceso de marcado de elementos en mesa de soporte*

*Fuente propia*

Una vez completado el marcado, se procede a la colocación de los componentes. El compresor, siendo uno de los elementos más pesados y críticos del sistema, se monta primero. Se fija firmemente en la posición marcada utilizando pernos de alta resistencia, asegurando que esté nivelado para evitar vibraciones excesivas durante el funcionamiento. A continuación, se instalan el condensador, y el resto de los elementos mencionados, en sus respectivas

ubicaciones. Estos componentes deben estar alineados correctamente para garantizar un intercambio de calor eficiente.

Una vez se ubiquen los elementos de manera correcta, se procede a realizar las conexiones del equipo mediante el uso de tuberías según corresponda. Para esto se va a hacer uso de tuberías correspondientes a espesores de 1/4 de pulgada, para la parte de alta presión, para la parte de baja presión tubería de 3/8 de pulgada.

Las conexiones entre los elementos se la realizan mediante soldadura oxiacetilénica, usando el material de aporte, varillas de cobre con un aporte de un 5% de plata. Se conecta la parte correspondiente a alta presión uniando los elementos con las tuberías. Accesorios como los manómetros se les ubica en neplos a los cuales se les realiza un acampanado en sus extremos para facilitar la unión por rosca.



*Figura 34 Colocación de manómetros*

*Fuente propia*

Se une toda la parte de alta presión mediante el uso de soldadura hasta llegar a la válvula de cierre. Luego de este tramo se procede a unir el dispositivo de expansión (tubo capilar), para proceder a unir con el evaporador y la parte de baja presión mediante el uso de tubería de 3/8” de diámetro, ensamblando la tubería hasta la parte de succión del compresor, cerrando el ciclo.



*Figura 35 Soldadura oxiacetilénica en tuberías*

*Fuente propia*

#### **4.4 Configuración del termostato FULL GAUGE**

Para establecer el correcto funcionamiento del ciclo de refrigeración con respecto al evaporador se hace uso de un controlador. El mismo es un modelo FULL GAUGE, TC-900E, compuesto de dos sensores principales (uno perteneciente al ambiente del recinto y el otro fijado al evaporador para controlar el proceso de deshielo).

*Tabla 6 Requerimientos de congelación FULL GAUGE*

<b>Requerimientos de Congelación.</b>	<b>Valor.</b>
Rango de operación del equipo.	-15 a -5 °C
Temperatura mínima de apagado equipo.	-10 °C
Temperatura para entrada de compresor, después de haberse apagado por temperatura.	-8 °C
Alarma por alta de temperatura dentro de la cámara.	20 °C

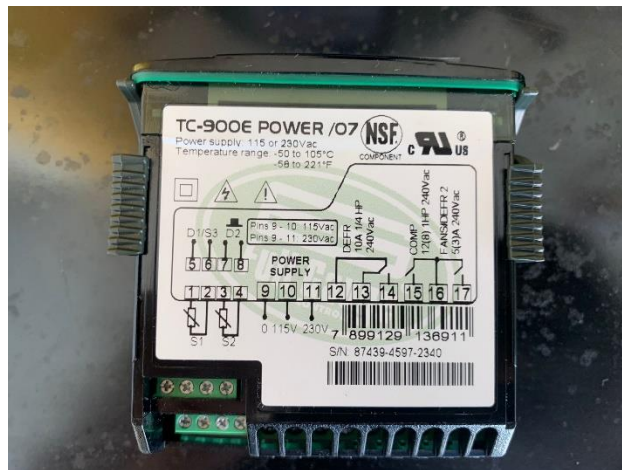
*Tabla 7 Requerimientos de deshielo FULL GAUGE.*

<b>Requerimientos de deshielo.</b>	<b>Valor.</b>
Duración máxima de deshielo.	30 minutos



Temperatura- evaporador para fin deshielo.	4 °C
Tiempo de drenaje.	20 minutos
Temperatura de evaporador para activación de ventiladores luego de drenaje.	-3 °C

Una vez se establece los parámetros, se realiza las conexiones respectivas tanto como la alimentación del controlador, conexión de sensores, conexión de controlador tanto del deshielo, encendido de compresor y ventilador correspondiente al evaporador todo esto en las respectivas entradas indicadas en la parte trasera del equipo.



*Figura 36 Esquema de conexión FULL GAUGE*

*Fuente propia*

Al haberse indicado toda la configuración dentro del controlador, el mismo queda operativo para ser el encargado de que los parámetros de trabajo se cumplan como se indica.

Para la construcción del circuito correspondiente, el termostato va a estar enfocado al control del equipo, pasando sus conexiones por protecciones eléctricas y contactores, los mismos que son alimentados por la parte de fuerza del equipo. Obteniendo como resultado final el circuito correspondiente al control y la fuerza del equipo de refrigeración.

## 4.5 Pruebas realizadas

### 4.5.1. Prueba #1

Una vez se haya cargado el equipo de refrigerante, se procede a verificar las uniones del equipo y energizarlo. Al momento del encendido, el sistema funciona con normalidad durante un par de minutos aproximadamente; posterior a esto las presiones empiezan a descender, por lo cual se asume que hay una fuga. Para corroborar las fugas se procede a realizar una mezcla de agua con detergente y con ayuda de un paño se procede a ubicar la mezcla en todos los tramos de tubería, especialmente en las uniones de accesorios. Una vez realizado esto se afirma que hay fugas; luego de esto uno de los acoples de manómetros presenta dicha fuga en mayor proporción ocasionando la pérdida en casi su totalidad del refrigerante.



*Figura 37 Verificación de fugas en cañerías*

*Fuente propia.*

Para solucionar este inconveniente, se realiza un cambio de las uniones de los manómetros, reemplazando las uniones roscables por soldaduras directa en los acoples, para lograr un sellado y hermetismo total.



#### 4.5.2. Prueba #2

Una vez se haya soldados los acoples correspondientes a los manómetros, el equipo vuelve a cargarse con el refrigerante para su posterior encendido. El equipo muestra condiciones de trabajo normales, en donde tanto la parte de alta presión como de baja, cumple con las temperaturas de trabajo correctas dentro de los parámetros pertenecientes a un ciclo por compresión del refrigerante R134a. Dentro de la cámara se coloca un termómetro para verificar el descenso gradual de temperatura con respecto al tiempo, donde los primeros 15 minutos se experimenta un descenso de temperatura de 10 grados (27 °C inicial hacia 17 °C).



*Figura 38 Temperatura al paso de 15 minutos de encendido*

*Fuente: Propia*

Se continua con el funcionamiento y el descenso de temperatura de manera regular. Al cabo de 40 minutos aproximadamente desde la última medición realizada (55 minutos desde el encendido del sistema), el equipo alcanza una temperatura de congelación correspondiente a -10 °C



*Figura 39 Temperatura al paso de 55 minutos de encendido*

*Fuente: Propia*

Si se desea alcanzar temperaturas más bajas, el equipo debe de mantenerse encendido un mínimo de 90 minutos, a su vez la puerta hermética que sella la nevera, mantenerla cerrada lo más posible, debido a que la temperatura experimenta un aumento considerable cada vez que esta se abre. Concluyendo la prueba y verificando el correcto funcionamiento del equipo.

#### **4.6 Elaboración de guía metodológica basado en prueba de laboratorio**

##### ***Introducción***

La refrigeración por compresión es una técnica fundamental en ingeniería térmica y climatización, ampliamente utilizada en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Esta guía de estudio tiene como objetivo ayudar a los estudiantes a comprender los principios y componentes de este sistema mediante el uso de un banco de pruebas de refrigeración por compresión. Un banco de pruebas de este tipo es una herramienta educativa que permite a los estudiantes experimentar de forma práctica los conceptos teóricos aprendidos en clase.

Un banco de pruebas de refrigeración por compresión es un aparato de laboratorio que replica un sistema de refrigeración completo a menor escala. Incluye todos los componentes clave de un sistema de refrigeración, como el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador. Además, cuenta con sensores y medidores que permiten monitorear y analizar en tiempo real el desempeño del sistema.

##### **Objetivos**

**1. Comprender los principios básicos:**

- Explicar los fundamentos del ciclo de compresión de vapor y sus componentes principales, como el compresor, el evaporador, el condensador y el dispositivo de expansión.
- Describir los procesos termodinámicos involucrados en cada etapa del ciclo de refrigeración.

**2. Identificar y describir los componentes del sistema:**

- Detallar la función y operación de cada componente del sistema de frío por compresión de vapor.
- Proporcionar esquemas y diagramas que ilustren la disposición y conexión de los componentes en el banco de prueba.

**3. Configurar y operar el banco de prueba:**

- Instruir sobre los pasos necesarios para la correcta configuración del banco de prueba, incluyendo el montaje y calibración de los equipos.
- Guiar en la operación del banco de prueba, asegurando el uso adecuado de los instrumentos de medición y control.

**4. Realizar mediciones y recolectar datos:**

- Enseñar métodos precisos para medir variables clave como temperatura, presión y flujo de refrigerante en diferentes puntos del ciclo.
- Explicar cómo registrar y analizar los datos recolectados para evaluar el rendimiento del sistema.

**5. Analizar el rendimiento del sistema:**

- Presentar técnicas para calcular la eficiencia del ciclo de refrigeración, incluyendo el coeficiente de rendimiento (COP).

- Proveer ejemplos de análisis de rendimiento bajo diferentes condiciones de operación y carga térmica.

**6. Diagnosticar y resolver problemas:**

- Identificar síntomas comunes de fallos en el sistema y los posibles causantes de dichos problemas.
- Ofrecer procedimientos sistemáticos para diagnosticar y solucionar problemas operativos en el banco de prueba.

**7. Facilitar el aprendizaje colaborativo:**

- Diseñar actividades prácticas que promuevan el trabajo en equipo y el intercambio de conocimientos entre los estudiantes.
- Sugerir proyectos grupales que permitan a los estudiantes aplicar los conceptos aprendidos y desarrollar habilidades de colaboración.

**8. Evaluar el conocimiento adquirido:**

- Proponer métodos de evaluación para medir el entendimiento de los estudiantes sobre el sistema de frío por compresión de vapor y el uso del banco de prueba.
- Incluir cuestionarios, ejercicios prácticos y proyectos finales para evaluar tanto el conocimiento teórico como las habilidades prácticas.

***Importancia del banco de prueba en la pedagogía***

Los estudiantes pueden ver y manipular directamente los componentes del sistema de refrigeración, lo que facilita la comprensión de cómo funciona cada parte y su interacción en el ciclo completo. Además, esta plataforma permite aplicar conceptos teóricos en un entorno práctico, ayudando a reforzar lo aprendido en clase. Es importante porque los estudiantes también adquieren habilidades prácticas esenciales para su futura carrera, como el manejo de herramientas y equipos específicos del campo de la refrigeración. También pueden recoger datos reales sobre el rendimiento del sistema, como la temperatura y presión, y aprender a

analizarlos e interpretarlos. Y no solo eso, sino que fomenta la experimentación y el ensayo de nuevas ideas en un entorno controlado, lo que promueve la innovación y el pensamiento crítico.

### ***Conceptos básicos a tener en cuenta para la utilización del banco de pruebas***

Para maximizar el aprendizaje y la comprensión en las prácticas con un banco de prueba de refrigeración por compresión, es esencial tener claros algunos conceptos claves. Estos conceptos no solo facilitan la realización de las prácticas, sino que también aseguran una base sólida de conocimiento para los estudiantes.

#### **1. Compresor:**

- **Función:** Aumenta la presión del refrigerante, lo que incrementa su temperatura.
- **Importancia:** Es el corazón del sistema de refrigeración, impulsando el ciclo de refrigeración.

#### **2. Condensador:**

- **Función:** Libera el calor del refrigerante al ambiente, convirtiendo el gas caliente en líquido.
- **Importancia:** Permite que el refrigerante se enfríe y se condense para continuar el ciclo.

#### **3. Evaporador:**

- **Función:** Absorbe el calor del espacio a enfriar, evaporando el refrigerante.
- **Importancia:** Es el componente donde se produce el enfriamiento del área o del objeto deseado.

#### **4. Válvula de Expansión:**

- **Función:** Reduce la presión del refrigerante líquido, disminuyendo su temperatura.
- **Importancia:** Prepara el refrigerante para absorber calor en el evaporador.

## 5. Ciclo de Refrigeración:

- **Descripción:** Proceso cíclico que incluye compresión, condensación, expansión y evaporación.
- **Importancia:** Comprender este ciclo es fundamental para diagnosticar y solucionar problemas en el sistema.

## 6. Refrigerante:

- **Función:** Fluido que circula por el sistema de refrigeración, absorbiendo y liberando calor.
- **Importancia:** Seleccionar el refrigerante adecuado es crucial para la eficiencia y la seguridad del sistema.

## 7. Presión y Temperatura:

- **Descripción:** Variables críticas que determinan el estado del refrigerante en cada etapa del ciclo.
- **Importancia:** Monitorizar y controlar estos parámetros asegura el correcto funcionamiento del sistema.

## 8. Coeficiente de Rendimiento (COP):

- **Descripción:** Relación entre la cantidad de calor removido y la energía consumida.
- **Importancia:** Indicador clave de la eficiencia del sistema de refrigeración.

### *Conceptos básicos de seguridad*

#### **Equipo de Protección Personal (EPP):**

- **Usar gafas de seguridad:** Protegen los ojos de posibles salpicaduras de refrigerante o partículas sueltas. Las gafas de seguridad son esenciales para prevenir lesiones oculares durante la manipulación del sistema.

- **Guantes de protección:** Evitan el contacto directo con superficies calientes o frías y con productos químicos. Los guantes adecuados proporcionan una barrera protectora contra posibles quemaduras y exposición a sustancias peligrosas.
- **Ropa de trabajo adecuada:** Utilizar ropa resistente que cubra brazos y piernas, así como calzado de seguridad. Esta vestimenta protege el cuerpo de posibles lesiones y asegura un entorno de trabajo más seguro.

#### **Conocimiento del Equipo:**

- **Familiarización con el banco de prueba:** Antes de comenzar, es fundamental entender el funcionamiento de todos los componentes del banco de prueba. Una comprensión clara del equipo garantiza una operación segura y eficiente.

#### **Inspección previa:**

- **Revisión de conexiones:** Verificar que todas las conexiones y juntas estén bien ajustadas y no haya fugas.
- **Comprobación de componentes:** Asegurarse de que todos los componentes estén en buen estado y funcionando correctamente. Revisar el estado y la funcionalidad de cada parte del sistema evita fallos inesperados y mantiene la seguridad operativa.

#### ***Preguntas de Comprobación***

##### **1. ¿Qué es la refrigeración por compresión de vapor?**

El proceso de refrigeración por compresión consiste en extraer calor de un espacio con una temperatura baja y liberarlo en otro espacio con una temperatura más alta. Esto se logra mediante el uso de varios componentes clave: un compresor, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador. Este método, que funciona en un ciclo cerrado, se basa en los principios fundamentales de la termodinámica.

##### **2. ¿Cuáles son los componentes principales de un sistema de refrigeración por compresión de vapor?**

- **Compresor:** Aumenta la presión del refrigerante y lo envía al condensador.
- **Condensador:** Libera el calor del refrigerante al ambiente, cambiándolo de gas a líquido.
- **Válvula de expansión:** Reduce la presión del refrigerante líquido, enfriándolo antes de entrar al evaporador.
- **Evaporador:** Absorbe el calor del espacio a enfriar, cambiando el refrigerante de líquido a gas.

### 3. Explica el ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

El refrigerante es comprimido por el compresor, aumentando su presión y temperatura. Luego, pasa al condensador, donde libera calor y se condensa en un líquido de alta presión. Este líquido pasa a través de la válvula de expansión, donde su presión disminuye drásticamente, lo que provoca una caída en su temperatura. Finalmente, el refrigerante entra en el evaporador, donde absorbe calor del espacio a enfriar, completando el ciclo.

### 4. Explica el concepto de entalpía y su relevancia en el ciclo de refrigeración.

La entalpía es una medida de la energía total en un sistema termodinámico. En el ciclo de refrigeración, la entalpía se utiliza para calcular el rendimiento y la eficiencia del sistema, ya que mide el intercambio de calor en los componentes del ciclo.

### 5. Describe el proceso de expansión y su impacto en la temperatura y presión del refrigerante.

En la válvula de expansión, el refrigerante líquido de alta presión se expande, reduciendo su presión y temperatura. Este proceso prepara el refrigerante para entrar al evaporador donde absorberá calor de la fuente fría y se evaporará.



## Ejercicios

### Ejercicio 1 Cálculo de flujo másico.

Calcule el flujo másico que circula por las tuberías del ciclo de refrigeración, haciendo uso de la velocidad del flujo, temperatura, presión y densidad en el punto de evaporación.

$$\dot{m} = \rho * A * v$$

#### Datos

- Densidad en punto de evaporación ( $\rho$ ) = 4,9 kg/m<sup>3</sup>.
- Área sección transversal tubería en evaporador (A)= 3/8 pulgada

Para el valor del área se necesita transformar de pulgadas a metros, por lo cual, se procede a esto como primer punto, conociendo que 1 in= 0,0254 m, se obtiene el siguiente resultado:

$$D = \frac{3}{8} \text{ in} * 0,0254 = 0,009525 \text{ m}$$

Posterior a esto, se calcula el área de la sección transversal de la siguiente forma:

$$A = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$A = \pi * \left(\frac{0,009525 \text{ m}}{2}\right)^2$$

$$A = \pi * (0,0047625 \text{ m})^2$$

$$A = 0,0000713 \text{ m}^2$$

- Velocidad de refrigerante= 7 m/s.

$$\dot{m} = 4,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,0000713 \text{ m}^2 * \frac{7\text{m}}{\text{s}}$$

$$\dot{m} = 0,00245 \text{ kg/s}$$

### Ejercicio 2 Trabajo realizado por el compresor.

Calcule el trabajo realizado por el compresor usando los datos de entalpía en la succión y descarga del compresor.

$$W_c = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$$

### Datos

- Flujo másico ( $\dot{m}$ ) = 0.00245 kg/s
- Entalpía en descarga del compresor ( $h_2$ ) = 450,030 kJ/kg
- Entalpía en succión del compresor ( $h_1$ ) = 396,838 kJ/kg

$$W_c = 0,00245 \text{ kg/s} \cdot (450,030 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 396,838 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$W_c = 0,00245 \text{ kg/s} \cdot (53,192 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$W_c = 0,1303 \text{ kW} = 130,3 \text{ W}$$

### **Ejercicio 3 Análisis del ciclo de refrigeración.**

Usando los datos de temperatura y presión, encuentre las entalpías de trabajo, además de esto, dibuje el diagrama de ciclo de refrigerante R134a en un diagrama P-H (Presión-Entalpía), Indica los puntos clave del ciclo (**succión y descarga compresor, entrada y salida evaporador, entrada y salida condensador**).

#### **Consideraciones:**

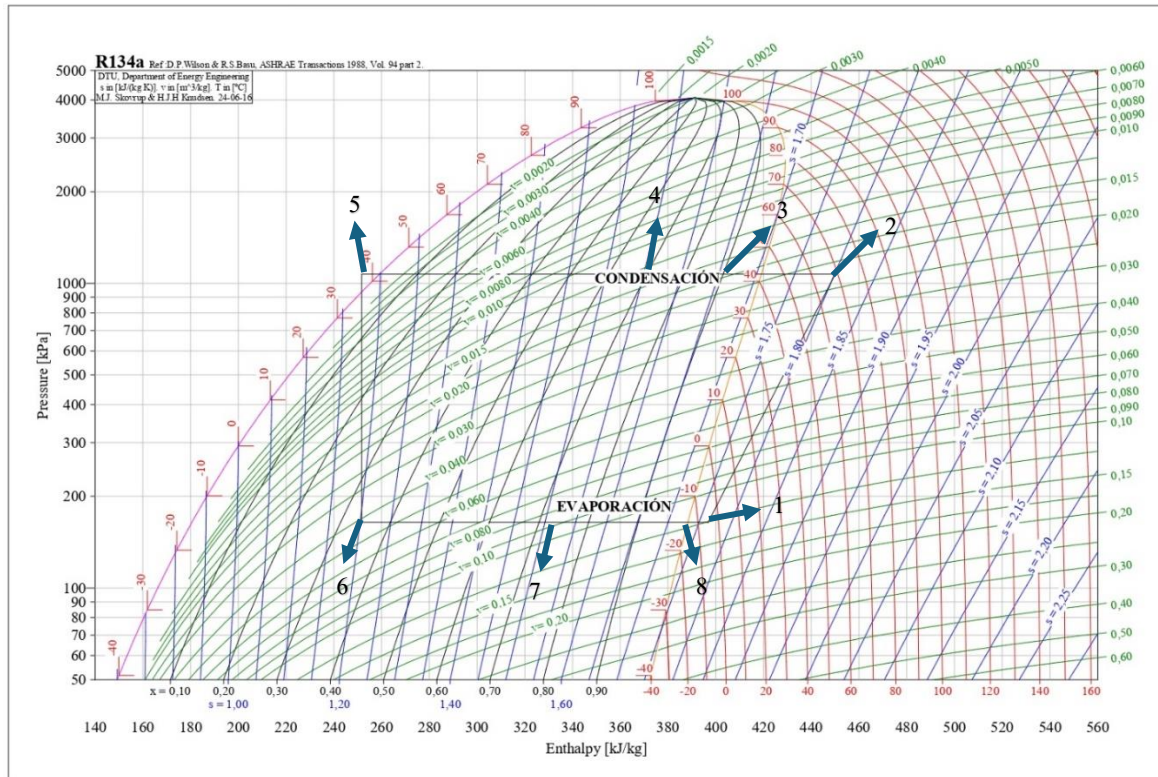
- Al ser tramos de tuberías cortos, las caídas de presiones son ínfimas, por lo tanto, se desprecian.

#### **Respuesta**

En base a los datos recopilados mediante la prueba realizada, se extrae las presiones de trabajo y las respectivas temperaturas. Apoyado de la tabla de presión-temperatura del R134a, se extrae las entalpías de trabajo, obteniendo los siguientes valores:

1. Succión del compresor:  $T = -5^\circ\text{C}$ ,  $P = 137,895 \text{ KPa}$ ,  $H = 396,838 \text{ KJ/Kg}$
2. Descarga del compresor:  $T = 62^\circ\text{C}$ ,  $P = 1034 \text{ KPa}$ ,  $H = 450,030 \text{ kJ/kg}$
3. Entrada del condensador:  $T = 42^\circ\text{C}$ ,  $P = 1034 \text{ KPa}$ ,  $H = 450,030 \text{ KJ/Kg}$
4. Condensador:  $T = 42^\circ\text{C}$ ,  $P = 1034 \text{ KPa}$ ,  $H = 415,26 \text{ KJ/Kg}$

5. Salida del condensador:  $T = 37^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 1034\text{KPa}$ ,  $H = 251,697\text{KJ/Kg}$
6. Entrada del evaporador:  $T = -15^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 137,895\text{KPa}$ ,  $H = 388,45\text{KJ/Kg}$
7. Evaporador:  $T = -15^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 137,895\text{KPa}$ ,  $H = 321\text{KJ/Kg}$
8. Salida del evaporador.  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 137,895\text{KPa}$ ,  $H = 396,838\text{KJ/Kg}$



#### Ejercicio 4 Calor rechazado por el condensador.

Calcula el calor rechazado por el condensador usando los datos de entalpía en la entrada y salida del condensador.

$$Q_C = \dot{m} \cdot (h_3 - h_5)$$

#### Datos

- Flujo másico ( $\dot{m}$ ) = 0,00245 kg/s
- Entalpía en entrada del condensador ( $h_3$ ) = 450,030 kJ/kg
- Entalpía en salida del condensador ( $h_5$ ) = 251,697 kJ/kg

$$Q_C = 0.00245 \text{ kg/s} \cdot \left( 450,030 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 251,697 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$Q_c = 0.00245 \text{ kg/s} \cdot (198.333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$Q_c = 0.4868 \text{ kW} = 486.8 \text{ W}$$

### Ejercicio 5 Cálculo de la capacidad de calor extraído.

Verifica la capacidad de enfriamiento del sistema usando los datos de entalpía en la entrada y salida del evaporador.

$$Q_e = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4)$$

#### Datos

- Flujo másico ( $\dot{m}$ ) = 0.00245 kg/s
- Entalpía en entrada del evaporador ( $h_4$ ) = 388,45 kJ/kg
- Entalpía en salida del evaporador ( $h_1$ ) = 396,838 kJ/kg

$$Q_e = 0,00245 \text{ kg/s} \cdot (396,838 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 388,45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$Q_e = 0,00245 \text{ kg/s} \cdot (8.388 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$Q_e = 0.0206 \text{ kW} = 20.6 \text{ W}$$

### Ejercicio 5 Cálculo del Coeficiente de Rendimiento de Enfriamiento (COP).

Verifica el coeficiente de rendimiento de enfriamiento usando la capacidad de enfriamiento y el trabajo del compresor.

$$COP = \frac{Q_e}{W_c}$$

#### Datos:

- Capacidad de enfriamiento del compresor ( $Q_e$ ) = 0.484 kW
- Trabajo del compresor ( $W_c$ ) = 0.130 kW

$$COP = \frac{0.484 \text{ kW}}{0.130 \text{ kW}}$$

$$COP = 3,71$$

### Ejercicio 6 Cálculo del Ratio de Eficiencia Energética (EER).

Calcula el EER usando la capacidad de enfriamiento y el poder del sistema.

$$COP = \frac{Q_e}{P} \times 3.412$$

#### Datos:

- Capacidad de enfriamiento ( $Q_e$ ) = 484 W
- Poder (P) = 0.119 kW

$$COP = \frac{484 \text{ W}}{0.119 \text{ kW}} \times 3.412$$

$$COP = 4067.23 \times 3.412$$

$$COP = 13.86 \text{ BTU} / \text{W} * \text{H}$$

### Ejercicio 7 Cálculo del Volumen de la Cámara Frigorífica.

Calcula el volumen de la cámara frigorífica usando las dimensiones proporcionadas.

$$V = \text{Altura} \times \text{Ancho} \times \text{Profundidad}$$

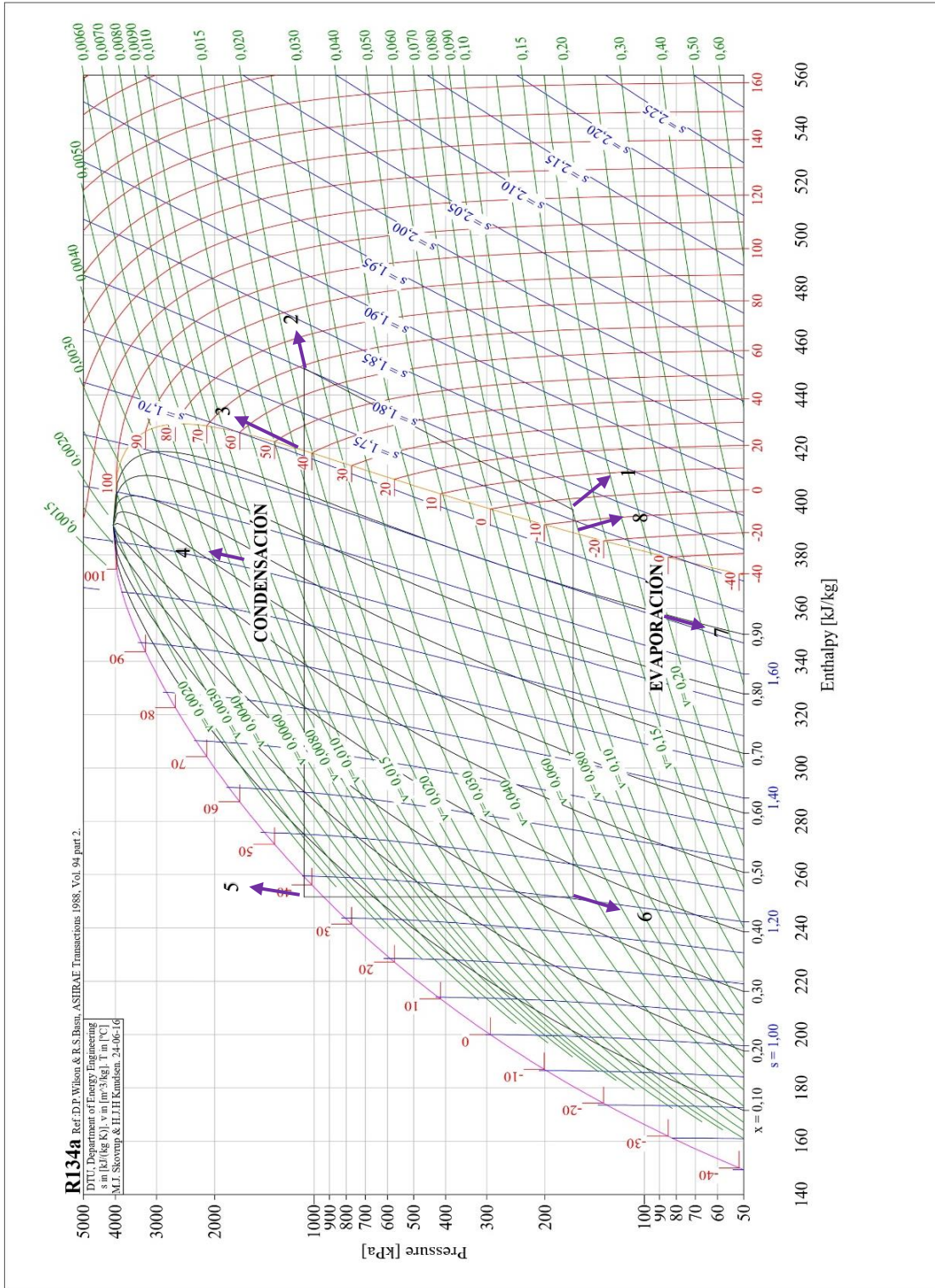
#### Datos:

- Altura = 1.30 m
- Ancho = 0.62 m
- Profundidad = 0.69 m

$$V = 1.30 \text{ m} \times 0.62 \text{ m} \times 0.69 \text{ m}$$

$$V = 0,55614 \text{ m}^3$$

## Gráfico correspondiente al ciclo de trabajo



## ***Conclusiones***

- La guía de estudio para el banco de prueba en un sistema de frío por compresión de vapor ha brindado una comprensión práctica y completa de los principios básicos de la refrigeración. Con la identificación y selección precisa de componentes clave, como el compresor, evaporador, condensador y el dispositivo de expansión, garantiza el correcto funcionamiento, por ende, que los estudiantes obtengan conocimientos detallados sobre cada parte del sistema y cómo funciona.
- El diseño cuidadoso y la configuración del banco de prueba han permitido una integración segura y eficiente de todos los elementos, haciendo más fácil la operación y recolección precisa de datos críticos para evaluar el funcionamiento del sistema.
- Esta guía de estudio brinda a los estudiantes un acercamiento práctico que los prepara para enfrentar futuros desafíos técnicos y operativos en el campo de la refrigeración por compresión de vapor.

## 4.7 Análisis de costos

El análisis de costos se define como el proceso de identificación y cuantificación de los recursos necesarios para ejecutar un proyecto, determinando tanto la cantidad de recursos requeridos como los gastos previstos asociados. En el desarrollo de este proyecto, se evalúan los gastos incurridos desde la fase de diseño hasta la culminación de la construcción y montaje del proyecto. A continuación, se presentan las tablas detalladas que especifican los costos directos e indirectos relacionados con el proyecto.

### 4.7.1. Costos directos

Son costos que intervienen directamente en la construcción, diseño, transporte y mano de obra del proyecto.

*Tabla 8 Costos Materiales para la construcción del sistema de refrigeración*

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	V. Unitario	V. Total
1	COMPRESOR SIKELAN 1/3 HP R-134A M-BT/T 110 //SIKELAN /// ORIGINAL R	Unidad	1	\$ 103,00	\$ 103,00
2	CONDENSADOR UNIDAD DE 1/3 -3/8 /// COLTECH /// CB-83	Unidad	1	\$ 42,00	\$ 42,00
3	MOTOR VENTILADO 18W 1550 rpm 110V (Base +Aspa plast 10") /// ELCO /// N-18-30-1268	Unidad	1	\$ 25,00	\$ 25,00
4	EVAPORADOR TIPO CUÑA B/T BAJA SILUETA 110V (1V X 250 MM) C/R /// MEGATHERM /// HEJPLUS-10	Unidad	1	\$ 165,00	\$ 165,00
5	TUBERÍA CAPILAR 0.049" X PIE /// QUALITY /// 0.049	Pie	5	\$ 0,54	\$ 2,70
6	RECIBIDOR LIQUIDO 1.5 LITROS /// ELGIN /// TQ1500M	Unidad	1	\$ 39,50	\$ 39,50
7	VISOR LIQUIDO SOLDABLE 1/4 /// SANHUA /// SYJ06H11	Unidad	2	\$ 11,00	\$ 22,00
8	FILTRO SECADOR SOLDABLE 1/4 2.0 TR SDML-032A /// SMARTCOOL /// SDML-032A	Unidad	1	\$ 4,00	\$ 4,00
9	PRESOSTATO DUAL ALTA Y BAJA RESET AUTOM. KP-15 CONEXIÓN ROSA /// SANHUA /// PS15AAAL-S51	Unidad	1	\$ 50,00	\$ 50,00
10	MANÓMETRO ALTA R-22 2-134A R-401A R-404A(ROJO) 2-3/4 /// COLTECH ///GR410H-80	Unidad	2	\$ 5,00	\$ 10,00



11	MANÓMETRO BAJO R-22 2-134A R-401A R-404A(AZUL) 2-3/4 /// COLTECH ///GR410L-80	Unidad	2	\$ 5,00	\$ 10,00
12	SENSOR ROSCA TUBERÍA AGUA CALIENTE /// FULL GAUGE /// SB28	Unidad	1	\$ 15,00	\$ 15,00
13	CONTROLADOR REFRIGERADOR 1 SONDA 110V/220V /// FULL GAUGE ///MT-512E 2HP	Unidad	1	\$ 24,00	\$ 24,00
14	CONTROLADOR REFRIGERACIÓN DESHIELO ELECT 2 SONDAS 110V/220V FULLGAUGE /// TC900E-POWER	Unidad	1	\$ 36,00	\$ 36,00
15	VALVULA SELENOIDE 0.8 TR SOLD 1/4 EVR-2 /// SANHUA /// MDF-A03-2H001	Unidad	1	\$ 18,00	\$ 18,00
16	BOBINA P/ VÁLVULA SELENOIDE 110V /// SANHUA /// MQ-A0311A-0001	Unidad	1	\$ 18,00	\$ 18,00
17	TUBERIA COBRE TIPO L 0D 3/8 X PIE /// ACR COPPER /// 3/8P	Pie	6	\$ 1,25	\$ 7,50
18	TUBERIA COBRE TIPO L 0D 1/4 X PIE /// ACR COPPER ///1/4P	Pie	10	\$ 0,75	\$ 7,50
19	REFRIGERANTE POTE R-134A /820GR/ REFRIGERANT /R-134A	Unidad	1	\$ 8,00	\$ 8,00
20	CAÑO AISLANTE 3/8 X1/2 X2 METROS /// COOLTECH /// IT13-010 / C1BR H 010	Unidad	1	\$ 1,40	\$ 1,40
21	VÁLVULA DE CARGA 1/4 /// QUALITY /// QAV-4B	Unidad	1	\$ 0,75	\$ 0,75
22	VÁLVULA DE PASO TIPO BOLA 1/4 SOLD/// SANHUA ///SB02-319	Unidad	1	\$ 20,00	\$ 20,00
23	VÁLVULA DE PASO TIPO BOLA 3/8 SOLD/// SANHUA ///SBV03-319	Unidad	1	\$ 18,00	\$ 18,00
				<b>IVA</b>	15% \$ 97,10
				<b>TOTAL</b>	\$ 744,45

*Tabla 9 Costos Materiales de Construcción para panel eléctrico*

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	V. Unitario	V. Total
1	CONTACTOR 18A 1NA+1NC 120V MC-18B LS	Unidad	2	\$ 21,00	\$ 42,00
2	LUZ PILOTO VERDE 22MM 12-450V MULTIMOL LED CNC	Unidad	1	\$ 1,70	\$ 1,70
3	LUZ PILOTO ROJO 22MM 12-450V MULTIMOL LED CNC	Unidad	1	\$ 1,70	\$ 1,70
4	CABLE 14 AWG THHN FLEXIBLE	Metro	10	\$ 0,43	\$ 4,30

5	CABLE 18 AWG THHN FLEXIBLE	Metro	10	\$ 0,19	\$ 1,89
6	TABLERO POLIÉSTER 20X20X16 CM BIS/PLÁSTICA P/GRIS EN-AG-2030 HI-BOX	Unidad	1	\$ 34,00	\$ 34,00
7	SELECTOR 2 POSICIONES 22MM PLÁSTICO SKOS-ED21 CAMSCO	Unidad	2	\$ 2,15	\$ 4,30
8	TERMINAL PUNTERA 14-12AWG AZUL CAMSCO CE02510	Unidad	4	\$ 2,48	\$ 9,92
9	BREAKER PRIEL 20A 2P 10KA L.S.	Unidad	2	\$ 14,00	\$ 28,00
			<b>IVA</b>	15%	\$ 19,17
			<b>TOTAL</b>		\$ 146,98

*Tabla 10 Costos Estructura Cámara frigorífica y Mesa Estructural*

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	V. Unitario	V. Total
1	EMPAQUE DE COMPRESIÓN DE PERFIL JR02328 12 METROS	Unidad	1	\$ 10,00	\$ 10,00
2	CARCASA REFRIGERADOR GLOBAL RG10AF 120X48X48	Unidad	1	\$ 20,00	\$ 20,00
3	PERFILES DE METAL	Metros	6	\$ 5,00	\$ 30,00
4	MEDIA PLANCHA DE METAL GALVANIZADO 2"	Unidad	1	\$ 40,00	\$ 40,00
5	ESPUMA DE POLIURETANO 750 ML	Unidad	1	\$ 8,00	\$ 8,00
			<b>IVA</b>	15%	\$ 16,20
			<b>TOTAL</b>		\$ 124,20

*Tabla 11 Costos de Envíos y Transporte*

Denominación	Descripción	V. Total
Envío Materiales de refrigeración	Mega Frio Quito- Mega Frio Manta-Taller	\$ 5,00
Envío Materiales Eléctrico	Donde lo compramos-Taller	\$ 5,00
Envío de la carcasa de nevera	Taller de Refrigeración Ávila-Taller	\$ 5,00
Transporte material estructural para mesa	Metal hierro -Taller	\$ 5,00
Transporte Equipo	Taller-Universidad Laica Eloy Alfaro	\$ 10,00
Transporte de diversas cotizaciones	Diversos Lugares-Taller	\$ 30,00
	<b>TOTAL</b>	\$ 60,00

*Tabla 12 Mano de obra*

<b>Denominación</b>	<b>Descripción</b>	<b>V. Total</b>
Técnico de Refrigeración	Conexión del sistema de refrigeración	\$ 100,00
Técnico Eléctrico	Conexiones Eléctricas	\$ 50,00
Soldador	Construcción de Estructura	\$ 50,00
	<b>Total</b>	\$ 200,00

*Tabla 13 Total costos directos*

<b>Denominación</b>	<b>V. Total</b>
Gastos Materiales de refrigeración	\$ 744,45
Gastos Materiales Eléctricos	\$ 146,98
Gastos Materiales Extras	\$ 74,50
Gatos Cámara y estructura	\$ 124,20
Gastos de Envío y Transporte	\$ 60,00
Gastos de Mano de Obra	\$ 200,00
<b>Total</b>	\$ 1.350,13

#### **4.7.2. Costos Indirectos**

Se consideran como costos indirectos los dados por: ingeniería del proyecto (del 10 al 15% del costo directo del proyecto), imprevistos y utilidades

*Tabla 14 Costos Indirectos*

<b>Denominación</b>	<b>V. Total</b>
Costos por ingeniería	\$ 135,01
Costos por imprevistos	\$ 50,00
Utilidades	\$ -
<b>Total</b>	\$ 185,01

#### **4.7.3. Costo Total**

Finalmente, el costo total por el diseño y construcción del equipo se observa en:

*Tabla 15 Costo total*

<b>Denominación</b>	<b>V. Total</b>
Costos Directos	\$ 1.350,13
Costos Indirectos	\$ 185,01
<b>Total</b>	\$ 1.535,15

El costo total del Equipo es de \$ 1535,15 (mil quinientos treinta y cinco dólares americanos con 15/100).

## CONCLUSIONES

El desarrollo y construcción de un sistema de refrigeración por compresión con fines educativos ha dado importantes resultados. Aquí están las conclusiones del proyecto:

- Mediante la revisión de literatura especializada y la consulta a expertos en campo de la refrigeración, se identificó los componentes esenciales para la construcción de un sistema de refrigeración por compresión de vapor. Se seleccionaron estos componentes mediante el uso de software especializado como Genetron Properties y Coolpack, para tener una mejor precisión a la hora de seleccionar estos componentes.
- El diseño del ciclo de refrigeración abarcó tanto los aspectos mecánicos de refrigeración como los eléctricos de poder y control. La selección y el dimensionamiento adecuados garantiza que cumplan con las especificaciones técnicas requeridas en los softwares anteriormente mencionados. También se construyó un sistema eléctrico, que incluía cableado, controles y dispositivos de protección, lo que garantiza su funcionamiento seguro.
- La elaboración siguió un proceso de construcción planificado y documentado. Esto permitió la combinación óptima de los componentes seleccionados, lo que garantizó que el sistema cumpliera con las pautas establecidas. Las pruebas validaron el funcionamiento correcto del sistema, así como demostró que los cálculos de selección de componentes estuvieron correctos.
- Se creó una guía de estudios detallado que integra el ciclo de refrigeración por compresión de vapor en la enseñanza de la refrigeración dentro de la ULEAM. Esta guía metodológica con objetivos de aprendizaje y actividades prácticas necesarias para facilitar la comprensión tanto teórica como práctica a los estudiantes.

## RECOMENDACIONES

- **Fomento de la investigación y la innovación:**

El avance de la refrigeración depende en gran medida de la investigación y la innovación. Es fundamental fomentar la participación de los estudiantes en iniciativas de investigación, ya que tiene el potencial de generar descubrimientos y avances tecnológicos innovadores. Para fomentar la creatividad y el ingenio en el campo de la refrigeración, se recomienda implementar iniciativas de investigación que permitan a los estudiantes explorar y desarrollar proyectos innovadores. Estos programas se pueden mejorar incorporando concursos y ferias científicas, que alentarán aún más a los estudiantes a mostrar sus ideas y descubrimientos. Para garantizar el éxito de estos proyectos, es fundamental proporcionar a los estudiantes los recursos y el apoyo técnico necesarios que les permitan hacer realidad sus ideas.

- **Optimización del ciclo de refrigeración con tecnologías verdes:**

No se puede subestimar la importancia de la sostenibilidad y la eficiencia energética en la ingeniería de refrigeración. Es cada vez más importante adoptar tecnologías verdes para minimizar el impacto ambiental y promover prácticas responsables.

Tomando medidas, realizando investigaciones exhaustivas y adoptando tecnologías de refrigeración respetuosas con el medio ambiente, incluidos refrigerantes naturales y sistemas de recuperación de energía. Implementar estrategias de diseño y operativas que prioricen la eficiencia energética y reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero.

- **Evaluación y mejora continua del proyecto:**

La mejora continua garantiza que el proyecto siga siendo relevante y eficaz a lo largo del tiempo. La evaluación periódica ayuda a identificar áreas de mejora y adaptar el proyecto a nuevas necesidades y desafíos. Establecer un sistema de evaluación periódica del ciclo de refrigeración y el plan de estudios asociado.

## REFERENCIAS

- Arenas, F. C. (2020). *Transferencia de calor: ( ed.)*. Córdoba, Argentina,: Jorge Sarmiento Editor - Universitas. Obtenido de *Transferencia de calor: ( ed.)*: [tps://elibro.net/es/ereader/uleam/174535?page=12](https://elibro.net/es/ereader/uleam/174535?page=12).
- Balboa, J. (2014). *elibro.net: Manual de Instalaciones Frigoríficas*. Obtenido de elibro.net: <https://elibro.net/es/ereader/uleam/43043>
- Balboa, J. (2014). *Manual de instalaciones frigoríficas: (4 ed.)*.: . Barcelona, Spain: Cano Pina. Obtenido de Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/uleam/43043?page=141>.
- Barbosa Saldaña, J., & Gutierrez Torres , S. (2016). *Termodinamica Para Ingenieros*. Obtenido de eLibro Uleam: <https://elibro.net/es/ereader/uleam/40432?page=232>
- ÇENGEL, Y. A., & BOLES, M. A. (2015). *TERMODINÁMICA Octava Edición*. CDMX, México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. .
- García, M. (2022). *elibro.net: Organización y ejecución del montaje de instalaci9ones frigorificas IMAR108*. Obtenido de elibro.net: <https://elibro.net/es/ereader/uleam/221040?page=181>
- Gonzalez Sierra, C. (2019). *Refrigeracion Industrial (2da Edición)*. Obtenido de eLibro: <https://elibro.net/es/ereader/uleam/167792>
- González, S. (2015). *elibro.net: UFO413: organización y ejecución del montaje de instalaciones frigoríficas: montaje instalaciones frigoríficas(MF0114\_2)*. Obtenido de elibro.net: <https://elibro.net/es/ereader/uleam/43114>
- Kreith, F. M. (2012). *Principios de transferencia de calor: (7 ed.)*. México, D.F.: Cengage Learning. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/uleam/93216?>
- Moran, M. J. ( 2010.). *\*Fundamentals of engineering thermodynamics\* (7th ed.)*. . John Wiley & Sons.

MPCEIP. (2021). *Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca: BUENAS PRÁCTICAS EN LOS PROCESOS DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO* . Obtenido de Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca: <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/06/Manual-refrigeracion-y-aire-acondicionado.pdf>

Pérez Rodríguez, M. D. (2012). *Electricidad industrial: (2 ed.)*. Málaga: Editorial ICB. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/ulead/113120?page=128>.

Sierra, G. (2020). *elibro.net: Montaje de instalaciones frigoríficas MF0114*. Obtenido de elibro.net: <https://elibro.net/es/ereader/ulead/167804?page=86>.



*ANEXO A Propiedades del Refrigerante R134A.*

<b>Propiedades físicas</b>	<b>Unidades</b>	<b>R134a</b>
Peso molecular	(g/mol)	102.03
Punto de ebullición (a 1.013 bar)	(°C)	-26.2
Punto de congelación	(°C)	-103.3
Temperatura crítica	(°C)	101.1
Presión crítica	(bar abs)	40.67
Densidad crítica	(Kg/m <sup>3</sup> )	515.3
Densidad (líquido) a 25°C	(Kg/m <sup>3</sup> )	1206
Densidad (vapor saturado) en punto de ebullición	(Kg/m <sup>3</sup> )	5.25
Presión de vapor (25°C)	(bar abs)	6657
Presión de vapor (0°C)	(bar abs)	2.92
Viscosidad del líquido	(cP)	0.202
Presión superficial (25°C)	(mN/m)	8.09
Solubilidad del R134a en agua (%)	(wt%)	0.15
Capacidad volumétrica refrig. (-25°C)	(Kg/m <sup>3</sup> )	1192.11
Inflamabilidad		No
Potencial de agotamiento del ozono		0
Potencial de calentamiento global		1200

*ANEXO B Presiones y temperaturas de trabajo de R134A.*

Temp. (°C)	Presión Absoluta (bar)		Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )		Entalpía (kJ/Kg)		Entropía (kJ/Kg.K)	
	Burbuja	Rocío	Burbuja	Rocío	Burbuja	Rocío	Burbuja	Rocío
-40	0.51	0.51	1413.94	2.76	149.45	375.65	0.8008	1.7710
-35	0.66	0.66	1399.95	3.50	155.53	378.93	0.8266	1.7646
-30	0.84	0.84	1385.72	4.39	161.67	382.20	0.8521	1.7590
-25	1.06	1.06	1371.24	5.45	167.88	385.45	0.8773	1.7540
-20	1.32	1.32	1356.46	6.71	174.16	388.69	0.9023	1.7497
-15	1.63	1.63	1341.36	8.19	180.51	391.90	0.9270	1.7458
-10	2.00	2.00	1325.92	9.92	186.93	395.07	0.9515	1.7425
-5	2.42	2.42	1310.10	11.92	193.43	398.20	0.9759	1.7395
0	2.92	2.92	1293.86	14.23	200.00	401.28	1.0000	1.7369
5	3.49	3.49	1277.17	16.89	206.65	404.30	1.0240	1.7346
10	4.14	4.14	1259.99	19.93	213.38	407.25	1.0478	1.7325
15	4.88	4.88	1242.27	23.40	220.20	410.13	1.0714	1.7306
20	5.71	5.71	1223.96	27.34	227.11	412.92	1.0950	1.7288
25	6.65	6.65	1205.00	31.81	234.11	415.62	1.1184	1.7272
30	7.70	7.70	1185.33	36.88	241.21	418.20	1.1417	1.7256
35	8.88	8.88	1164.89	42.61	248.42	420.67	1.1650	1.7240
40	10.18	10.18	1143.58	49.08	255.74	423.01	1.1882	1.7223
45	11.62	11.62	1121.32	56.40	263.19	425.20	1.2114	1.7206
50	13.20	13.20	1197.98	64.66	270.77	427.23	1.2346	1.7187

ANEXO C Propiedades del aire a 1 atm de presión.

Propiedades del aire a 1 atm de presión

Temp. T, °C	Densidad $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico $c_p$ J/kg · K	Conductividad térmica k, W/m · K	Difusividad térmica $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s	Viscosidad dinámica $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-5}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-5}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-4}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-4}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-4}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-4}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-4}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-4}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-4}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-4}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-4}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-4}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-4}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-4}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-4}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-4}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-4}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-4}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-4}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-4}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-4}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-4}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-4}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-4}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-4}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-4}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-4}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-4}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-4}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	$6.871 \times 10^{-4}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	$7.892 \times 10^{-4}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	$8.951 \times 10^{-4}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	$1.004 \times 10^{-3}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	$1.117 \times 10^{-3}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	$1.352 \times 10^{-3}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	$1.598 \times 10^{-3}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	$1.855 \times 10^{-3}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	$2.122 \times 10^{-3}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	$2.398 \times 10^{-3}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	$3.908 \times 10^{-3}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	$5.664 \times 10^{-3}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

### 压缩机技术参数 / COMPRESSOR TECHNICAL DATA

#### R134a 低背压压缩机 电压110-120V-50/60Hz 普效款 R134a LBP 110-120V-50/60Hz OE

产品系列 Model Serial	压缩机 Model	电压 V/Hz	排量 cm <sup>3</sup>	制冷量 / Cooling Capacity ASHRAE												启动器 Starting Device	启动电容 Starting capacitor (uF)	运行电容 Running capacitor (uF)	冷却方式 Cooling	UL/E Certificate											
				-35°C (-31°F)		-30°C (-22°F)		-25°C (-13°F)		测试工况 Test Conditions: -23.3°C (10°F)		-20°C (-4°F)		-15°C (3°F)							-10°C (10°F)		-5°C (23°F)		DPC(32F)						
		W		Btu/h		W		Btu/h		W		Btu/h		W		Btu/h		W		Btu/h		W		Btu/h							
L	QD3H11G	1/12	2.5	30	102	38	130	50	171	65	222	59	0.90	1.10	3.76	81	276	102	348	127	433	159	543	198	676	RSIR	/	/	ST	UL/ETL	
	QD3H11G	1/10	3.0	34	116	44	150	58	198	75	256	68	1.10	1.10	3.76	94	321	117	399	147	502	183	624	229	781	RSIR	/	/	ST	UL	
	QD3H11G	1/9	3.5	41	140	53	181	69	235	96	307	69	1.30	1.30	4.45	113	386	141	481	176	601	220	751	275	938	RSIR	/	/	ST	UL	
	ADW43T6	1/6	4.3	59	201	77	263	100	341	130	444	100	1.40	1.30	4.44	163	556	203	693	254	867	317	1082	397	1355	RSIR	/	/	ST	UL	
ML	ADW43T6	1/8	4.3	59	201	77	263	100	341	130	444	100	1.40	1.30	4.44	163	556	203	693	254	867	317	1082	397	1355	RSIR	/	/	ST	UL	
	ADW5T6	1/5	5.1	68	232	89	304	115	392	150	512	115	1.50	1.30	4.45	188	641	234	798	293	1000	366	1249	458	1665	RSIR	/	/	ST	UL	
	ADW5T6	1/4	5.7	73	249	95	324	123	420	160	546	123	1.60	1.30	4.44	200	682	250	853	313	1068	391	1334	488	1665	RSIR	/	/	ST	UL	
	ADW6T6	1/4+	6.6	89	304	115	392	150	512	195	665	145	2.20	1.35	4.59	244	831	305	1041	381	1300	476	1624	595	2030	RSIR	/	/	ST	UL	
MX	ADW7T6	1/3-	7.7	100	341	130	444	169	577	220	751	165	2.40	1.35	4.55	275	938	344	1174	430	1467	537	1832	671	2289	RSIR	/	/	ST	UL	
	ADW8T6	1/3	8.6	109	372	142	485	185	631	240	819	178	2.60	1.35	4.80	300	1024	375	1280	469	1600	586	1999	732	2498	RSIR	/	/	ST	UL	
	ADW8T6	1/3	8.6	109	372	142	485	185	631	240	819	178	3.30	1.35	4.80	325	1109	406	1385	509	1733	635	2167	794	2709	CSIR	90-99	/	F	ETL	
	ADW110T6	1/3	9.1	118	403	154	525	200	682	260	887	193	3.30	1.35	4.80	325	1109	406	1385	509	1733	635	2167	794	2709	CSIR	90-99	/	F	ETL	
MQ	ADW9T6	1/3	11.0	141	481	183	624	239	815	310	1058	230	3.80	1.35	4.60	388	1324	484	1651	605	2064	757	2583	946	3228	CSIR	90-99	/	F	ETL	
	ADW128T6	1/2-	12.8	166	566	216	737	281	959	365	1245	270	4.30	1.35	4.61	456	1556	570	1945	713	2433	891	3040	1114	3801	CSIR	90-99	/	F	ETL	
	ADW142T6	1/2	14.2	183	624	238	812	309	1054	402	1372	298	4.60	1.35	4.90	503	1716	628	2143	785	2678	981	3347	1227	4187	CSIR	90-99	15	F	ETL	
	ADW153T6	1/2+	15.3	205	699	266	908	346	1181	450	1535	334	4.80	1.35	4.80	563	1921	703	2399	879	2999	1099	3750	1373	4685	CSIR	90-99	15	F	ETL	



ANEXO E Catálogo "ANFRIGAL" evaporadores.



**“ LA CALIDAD ES DIFERENTE ”**



**“ NUESTRA FUERZA ES LA PASIÓN ”**



**INDICE**

**EVAPORADORES, RESISTENCIAS Y CONDENSADORES**

• Evaporadores comerciales e industriales LUVE	1-36
• Evaporadores estáticos para cámara y muebles	37-39
• Resistencias y calefactores aleteados	40-49
• Intercambiadores de placas, placas eutécticas y especiales	50-59
• Evaporadores multitubulares	60-61
• Cables calefactores	62

**Condensadores**

Condensadores Intercambiadores

5

Datos y precios actualizados en: [www.grupodisco.com](http://www.grupodisco.com)

ANEXO G Tabla de dimensionamiento capilar TECUMESH

Dimensionamento de Tubo Capilar							
Fluido Refrigerante	Capacidade (Btu/h)	Temperatura de Evaporação					
		-23,3°C		-3,9°C		7,2°C	
		Diâmetro (polegada)	Comprimento (metro)	Diâmetro (polegada)	Comprimento (metro)	Diâmetro (polegada)	Comprimento (metro)
R134a	500	0,028	5,18	0,028	5,18	0,028	5,18
	750	0,028	2,13	0,028	2,13	0,028	2,13
	1000	0,031	1,98	0,031	1,98	0,031	1,98
	1250	0,040	5,34	0,040	5,34	0,040	5,34
	1500	0,040	3,66	0,040	3,66	0,040	3,66
	2000	0,040	1,98	0,040	1,98	0,040	1,98
	3000	0,052	3,51	0,052	3,51	0,052	3,51
	4000	0,052	1,83	0,052	1,83	0,052	1,83
	6000	0,064	2,44	0,064	2,44	0,064	2,44
	8000	0,064	1,37	0,064	1,37	0,064	1,37
	10000	0,064	3,81	0,064	3,81	0,064	3,81
	12000	0,064	2,44	0,064	2,44	0,064	2,44
R404A R507	500	0,028	3,51	0,028	3,81	0,028	3,96
	750	0,028	1,52	0,028	1,52	0,028	1,68
	1000	0,031	1,37	0,031	1,52	0,031	1,52
	1250	0,040	3,66	0,040	3,96	0,040	4,12
	1500	0,040	2,44	0,040	2,59	0,040	2,74
	2000	0,040	1,37	0,040	1,37	0,040	1,52
	3000	0,052	2,44	0,052	2,59	0,052	2,74
	4000	0,064	4,12	0,052	1,37	0,052	1,37
	6000	0,064	1,68	0,064	1,83	0,064	1,98
	8000	0,064	4,12	0,052	1,37	0,052	1,37
	10000	0,064	2,59	0,064	2,74	0,064	2,90
	12000	0,064	1,68	0,064	1,83	0,064	1,98
R22	750	0,028	4,57	0,028	4,27	0,028	4,12
	1000	0,028	2,44	0,028	2,29	0,028	2,13
	1250	0,028	1,52	0,028	1,37	0,028	1,37
	1500	0,031	1,83	0,031	1,68	0,031	1,52
	2000	0,040	3,96	0,040	3,81	0,040	3,66
	3000	0,040	1,68	0,040	1,52	0,040	1,52
	4000	0,052	3,96	0,052	3,66	0,052	3,51
	6000	0,052	1,68	0,052	1,52	0,052	1,52
	8000	0,064	2,74	0,064	2,59	0,064	2,59
	10000	0,064	1,68	0,064	1,68	0,064	1,52
	12000	0,064	1,22	0,052	1,52	0,052	1,52

## ANEXO H Propiedades del estudio estructural de la mesa de soporte.

### Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\USUARIO\Desktop)

### Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m <sup>2</sup>





## Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<b>Nombre:</b> Acero inoxidable (ferrítico) <b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal <b>Criterio de error predeterminado:</b> Tensión de von Mises máx. <b>Límite elástico:</b> 1,72339e+08 N/m <sup>2</sup> <b>Límite de tracción:</b> 5,13613e+08 N/m <sup>2</sup> <b>Módulo elástico:</b> 2e+11 N/m <sup>2</sup> <b>Coefficiente de Poisson:</b> 0,28 <b>Densidad:</b> 7.800 kg/m <sup>3</sup> <b>Módulo cortante:</b> 7,7e+10 N/m <sup>2</sup> <b>Coefficiente de dilatación térmica:</b> 1,1e-05 /Kelvin	Sólido 1(Línea de partición3)(Mesa Baque)
Datos de curva:N/A		

## Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Suelo		<b>Entidades:</b> 4 cara(s) <b>Tipo:</b> Geometría fija		
<b>Fuerzas resultantes</b>				
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
Fuerza de reacción(N)	0,000165507	177	-0,001315	177
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Compresor		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 92 N
Accesorios		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 50 N
Condensador		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 35 N

### Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	14,1062 mm
Tamaño mínimo del elemento	14,1062 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

### Información de malla - Detalles

Número total de nodos	126185
Número total de elementos	77599
Cociente máximo de aspecto	3,599
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,8
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

### Fuerzas resultantes

#### Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,000165507	177	-0,001315	177

#### Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

#### Fuerzas de cuerpo libre

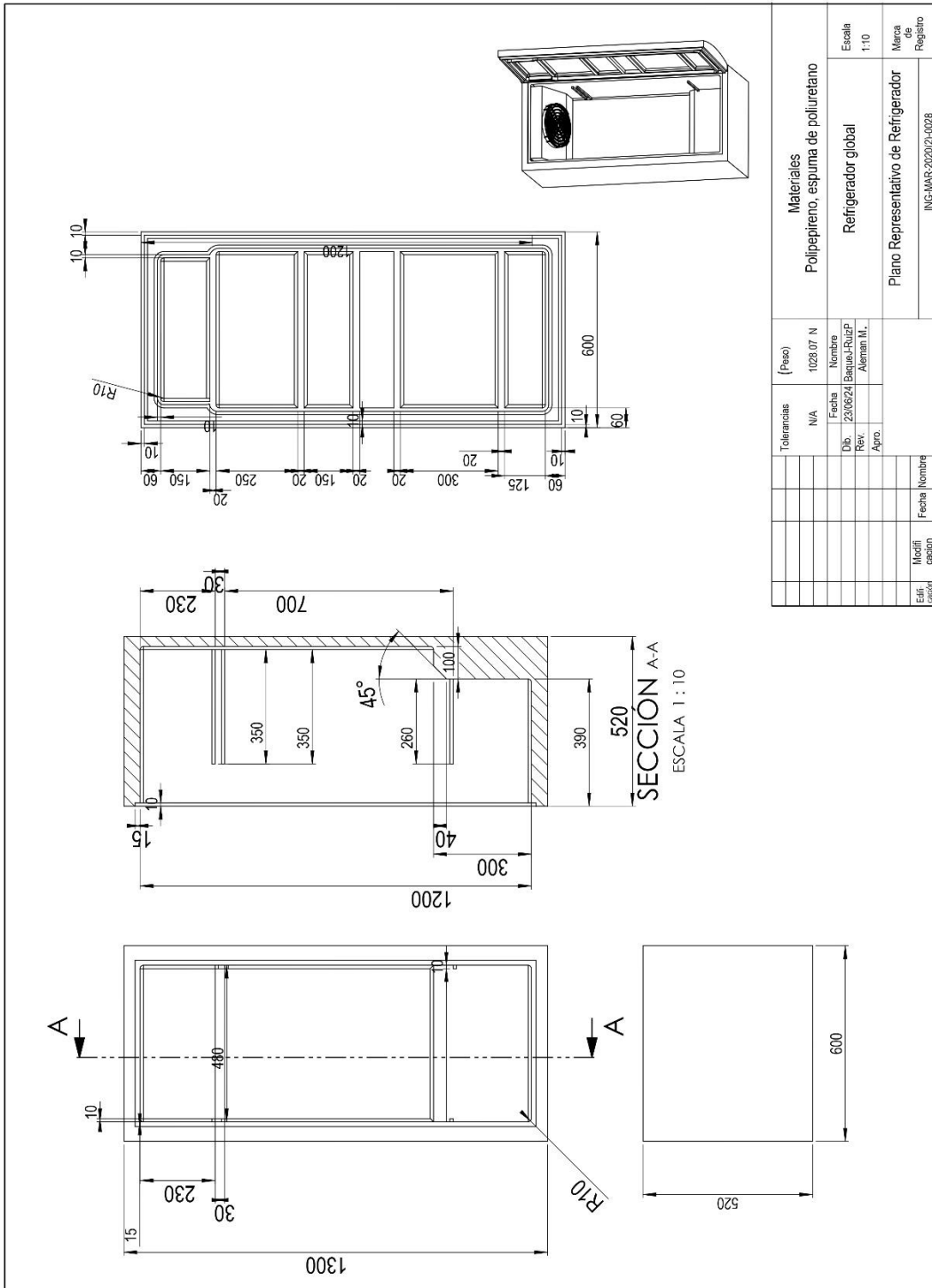
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,136614	-0,0424402	-0,353692	0,381526

#### Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33



# ANEXO J Plano representativo refrigerador.



# ANEXO K Diagrama de poder.

