



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ”**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA NAVAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL**  
**TÍTULO DE: INGENIERO EN MECÁNICA NAVAL**

**TEMA:**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA SOSTENIBLE PARA LA RECUPERACIÓN DE**  
**REFRIGERANTES EN EL TALLER DE REFRIGERACIÓN DE LA CARRERA DE**  
**INGENIERÍA MARÍTIMA DE LA “UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE**  
**MANABÍ”**

**AUTOR:**

**Pico Felli Adrián Andrés**

**TUTOR:**

**Ing. Xavier Guillen García**

**MANTA-MANABI-ECUADOR**

**2025 (2)**

	<b>NOMBRE DEL DOCUMENTO:</b>	<b>CÓDIGO: PAT-01-F-010</b>
	<b>CERTIFICADO DE TUTOR(A)</b>	
	<b>PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO</b>	<b>REVISIÓN: 2</b>

## Certificación De Tutor

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido y revisado el trabajo de titulación bajo la autoría del estudiante PICO FELLI ADRIAN ANDRES legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval, período académico 2025(2), cumpliendo el total de 320 horas, bajo la opción de titulación de proyecto técnico, cuyo tema del proyecto es “DESARROLLO DE UN SISTEMA SOSTENIBLE PARA LA RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES EN EL TALLER DE REFRIGERACIÓN DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MARÍTIMA DE LA “UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ””.

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, 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, 30 de enero de 2026.

Lo certifico,



Ing. Xavier Guillen García  
**Docente Tutor**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Se declara que el siguiente trabajo de titulación de modalidad “Proyecto Técnico” se desarrolló con base a la elaboración de la DESARROLLO DE UN SISTEMA SOSTENIBLE PARA LA RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES EN EL TALLER DE REFRIGERACIÓN DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MARÍTIMA DE LA “UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ siendo de nuestra absoluta autoría. Las definiciones y concepciones tomadas de los diferentes autores se encuentran correctamente citadas, respetando los derechos de propiedad intelectual con las respectivas citas que están incluidas en la bibliografía. El análisis de los resultados, conclusiones y recomendaciones que se narran son responsabilidad de los autores.

Por consiguiente, el autor es responsable por el contenido, fiabilidad y alcance científico del proyecto de grado que se menciona.

Manta, 30 de enero de 2026.



---

Pico Felli Adrián Andrés

**Autor**



---

Ing. Xavier Guillen García

**Tutor**

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a todas las personas que, de una u otra manera, aportaron con su apoyo, conocimientos, orientación y motivación para que este proyecto pudiera desarrollarse y culminarse con éxito. A quienes brindaron su tiempo, experiencia y palabras de aliento a lo largo de este proceso, incluso en los momentos de mayor dificultad. Su colaboración, ya sea directa o indirecta, fue fundamental para la realización de este trabajo y para el logro de los objetivos propuestos.

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento muy especial a mis profesores, quienes con su guía, paciencia y valiosos conocimientos aportaron de manera significativa a mi formación académica y al desarrollo de este trabajo. A mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y sacrificio constante, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y brindarme la fortaleza necesaria para seguir adelante. Y a mis amigos, por su compañía sincera, palabras de aliento y apoyo permanente, que me dieron la fuerza para no rendirme a lo largo de este largo y exigente camino. A todos ellos, mi más profundo y sincero agradecimiento, ya que sin su respaldo este logro no habría sido posible.

## Resumen

La presente tesis tiene como propósito la construcción de un sistema de recuperación de refrigerantes destinado al taller de refrigeración de la carrera de Ingeniería Marítima de la ULEAM, con el objetivo de optimizar el manejo técnico y ambiental de los gases utilizados en los procesos de mantenimiento. Esta propuesta surge ante la necesidad de fortalecer las prácticas internas del taller y alinearlas con la normativa ambiental vigente en el Ecuador, particularmente en lo referente al control y gestión de sustancias que contribuyen al deterioro de la capa de ozono y al calentamiento global. El desarrollo del proyecto contempló un diagnóstico inicial sobre el manejo actual de los refrigerantes, seguido de la selección de componentes adecuados, el diseño técnico del sistema y su posterior construcción e implementación. El equipo fue diseñado para recuperar refrigerantes como R-134a, R-404A y R-410A, ampliamente utilizados en sectores como el pesquero y el agroindustrial, que representan áreas de gran relevancia productiva en la región. Como resultado, se obtuvo un sistema funcional, eficiente y de bajo costo, capaz de recuperar y almacenar el refrigerante para su posterior reutilización, reduciendo así las emisiones al ambiente y promoviendo un uso más responsable de estos fluidos. Finalmente, este trabajo no solo fortalece la formación práctica de los estudiantes, sino que también busca convertirse en una referencia técnica que impulse la adopción de prácticas sostenibles en otros talleres del sector.

**Palabras clave:** refrigerantes, recuperación, normativa ambiental, taller de refrigeración, sostenibilidad.

## **Abstract**

This thesis aims to construct a refrigerant recovery system for the refrigeration workshop of the Maritime Engineering program at ULEAM, with the objective of optimizing the technical and environmental management of the gases used in maintenance processes. The project arises from the need to strengthen the workshop's internal practices and align them with current environmental regulations in Ecuador, particularly those related to the control and management of substances that contribute to ozone layer depletion and global warming. Its development included an initial assessment of existing refrigerant handling practices, followed by the selection of appropriate components, the technical design of the system, and its subsequent construction and implementation. The equipment was designed to recover refrigerants such as R-134a, R-404A, and R-410A, which are widely used in the fishing and agro-industrial sectors, both of significant importance in the region. As a result, a functional, efficient, and low-cost system was achieved, capable of recovering and storing refrigerant for later reuse, thereby reducing environmental emissions and promoting more responsible management of these fluids. Ultimately, this work not only enhances students' practical training but also seeks to serve as a technical reference that encourages the adoption of sustainable practices in other refrigeration workshops within the sector.

**Keywords:** refrigerants, recovery, environmental regulations, refrigeration workshop, sustainability.

## Tabla de contenidos

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	2
Dedicatoria.....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
Resumen .....	5
Abstract.....	6
Tabla de contenidos.....	7
Índice de figuras.....	10
CAPÍTULO I.....	12
1.1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.2 Antecedentes .....	13
1.3 Justificación Del Proyecto .....	14
1.4 Planteamiento Del Problema.....	16
1.5 Objetivos .....	17
1.5.1 Objetivo General: .....	17
1.5.2 Objetivos específicos: .....	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	19
2.1 Generalidades.....	19
2.2 Fundamentación .....	20
2.3 Fundamentación Legal.....	22
2.4 Conceptos Técnicos Fundamentales.....	24

2.4.1 Ciclo De Refrigeración Por Compresión De Vapor .....	24
2.4.2 Refrigerantes .....	26
2.4.2.1 Clasificación De Los Refrigerantes .....	27
2.4.2.2 Refrigerantes Utilizados En El Taller De Refrigeración .....	27
2.4.2.3 Recuperación de refrigerantes .....	28
2.4.2.4 Importancia De La Recuperación En Talleres De Refrigeración .....	29
2.4.3 Impacto Ambiental De Los Refrigerantes .....	29
2.4.4 Sistemas De Recuperación De Refrigerantes .....	30
2.5 Normativa Técnica y Ambiental aplicable a los refrigerantes .....	32
2.6 Implicaciones Normativas y Recomendaciones.....	34
<b>CAPÍTULO III: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA .....</b>	<b>35</b>
3.1 Tipo Y Enfoque De La Investigación.....	35
3.2 Diagnóstico Del Manejo Actual De Refrigerantes En El Taller .....	35
3.3 Metodología De Diseño Del Sistema De Recuperación.....	36
3.4 Descripción Del Sistema De Recuperación De Refrigerantes .....	37
3.5 Componentes Principales Del Sistema de Recuperación de Refrigerante....	37
3.6 Construcción del equipo; proceso constructivo .....	42
3.6.1 Diseño de la estructura metálica.....	43
3.6.2 Selección del material.....	44
3.6.3 Proceso constructivo del equipo.....	45
3.6.4 Construcción de la estructura base del equipo .....	46
3.6.5 Montaje del filtro secador .....	48

3.6.6 Pruebas de funcionamiento .....	52
3.7 Recepción del refrigerante .....	54
3.7.1 Prueba de recuperación de refrigerante.....	54
3.8 Limpieza del refrigerante.....	54
3.9 Succión y Descargado.....	55
3.10 Separación de aceite del refrigerante.....	55
3.11 Condensación del refrigerante.....	56
3.12 Almacenamiento del Refrigerante .....	56
3.13 Esquema Final del Equipo .....	57
3.14 Seguridad operativa del sistema .....	58
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>60</b>
4.1 Prueba de Operación y Funcionamiento del Equipo .....	60
4.1.2 Prueba de funcionamiento.....	60
4.2 Resultados de la prueba de funcionamiento a diferentes cargas .....	64
Tabla 1: Recuperación de refrigerante a diferentes cargas. ....	64
4.3 Recuperación del refrigerante .....	66
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>69</b>
Conclusiones .....	69
Recomendaciones.....	70
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>75</b>

## Índice de figuras

Figura 1.....	38
Figura 2.....	39
Figura 3.....	39
Figura 4.....	40
Figura 5.....	41
Figura 6.....	42
Figura 7.....	43
Figura 8.....	44
Figura 9.....	45
Figura 10.....	47
Figura 11.....	47
Figura 12.....	48
Figura 13.....	49
Figura 14.....	50
Figura 15.....	51
Figura 16.....	52
Figura 17.....	53
Figura 18.....	53
Figura 19.....	57
Figura 20.....	61

Figura 21 .....	62
Figura 22 .....	63
Figura 23 .....	65
Figura 24 .....	65
Figura 25 .....	66
Figura 26 .....	66
Figura 27 .....	67
Figura 28 .....	68

# CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUCCIÓN

La refrigeración es un componente esencial en múltiples sectores industriales, incluyendo el ámbito naval, donde su uso es vital para la conservación de víveres, insumos y equipos sensibles a la temperatura. Sin embargo, el uso inadecuado de gases refrigerantes puede generar impactos ambientales significativos, debido a que muchos de estos compuestos poseen alto potencial de calentamiento global (GWP) y, en algunos casos, potencial de agotamiento de la capa de ozono (ODP). Frente a esta problemática, Ecuador ha implementado normativas como el Reglamento Técnico Ambiental MA-VG-RT-001-2023 y ha asumido compromisos internacionales, entre ellos el Protocolo de Montreal y la Enmienda de Kigali, los cuales regulan el uso, la recuperación y la disposición final de las sustancias refrigerantes. (Montreal, 2023)

En este contexto, la carrera de Ingeniería Marítima de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí cuenta con un taller de refrigeración destinado a la formación técnica de estudiantes, pero actualmente no dispone de un sistema adecuado para la recuperación de refrigerantes. Esta situación genera riesgos tanto ambientales como económicos, y limita la incorporación de buenas prácticas en el proceso formativo de futuros ingenieros.

Este proyecto plantea el desarrollo de un sistema sostenible para la recuperación de refrigerantes, orientado a mejorar la gestión ambiental del taller universitario, disminuir las emisiones contaminantes y aprovechar de manera más eficiente estos gases. Para ello, se analizó el manejo actual de los refrigerantes, se diseñó y construyó un sistema funcional, y se evaluó su desempeño técnico en condiciones reales de operación.

Los resultados obtenidos demostraran que es posible implementar soluciones prácticas, seguras y sostenibles en entornos educativos, generando beneficios formativos, ambientales y económicos. Este sistema no solo contribuye al cumplimiento de la normativa vigente, sino que también promueve una cultura de responsabilidad técnica y ambiental entre los estudiantes de ingeniería marítima, preparándolos para enfrentar los desafíos actuales del sector industrial y marítimo.

## **1.2 Antecedentes**

En los últimos años, el uso de refrigerantes ha sido regulado a nivel internacional debido a su impacto en la capa de ozono y su contribución al calentamiento global. Instrumentos como el Protocolo de Montreal (1987) y la Enmienda de Kigali (2016) establecieron compromisos para la reducción progresiva de sustancias como los CFC, HCFC y algunos HFC, con el propósito de proteger el medio ambiente.

En el caso de Ecuador, estos compromisos se han incorporado mediante normativas como el Reglamento Técnico Ambiental MA-VG-RT-001-2023, el cual define lineamientos para la gestión adecuada de refrigerantes, incluyendo su recuperación, reciclaje y disposición final. No obstante, a nivel local aún existen dificultades para aplicar estas medidas de forma efectiva, especialmente en espacios de formación técnica, donde se prioriza la práctica, pero se carece de infraestructura adecuada para una gestión ambiental responsable.

Diversos estudios técnicos han demostrado que la recuperación de refrigerantes no solo reduce las emisiones contaminantes, sino que también representa un ahorro económico considerable, al permitir la reutilización de gases que, de otro modo, serían liberados o descartados. Esto resulta especialmente importante en un contexto donde el

costo de los refrigerantes sigue en aumento, y su disponibilidad está sujeta a restricciones comerciales y ambientales.

En el ámbito educativo, la incorporación de tecnologías limpias en los talleres universitarios resulta cada vez más necesaria. La carrera de Ingeniería Marítima de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí dispone de un taller de refrigeración destinado a la formación práctica de los estudiantes; sin embargo, actualmente no cuenta con un sistema de recuperación de refrigerantes. Esta situación limita la aplicación de buenas prácticas ambientales, el manejo técnico adecuado de estas sustancias y el cumplimiento de la normativa vigente.

Ante este escenario, surge la necesidad de desarrollar e implementar un sistema sostenible de recuperación de refrigerantes como una solución técnica y formativa. Su aplicación permitirá reducir el impacto ambiental del taller y, al mismo tiempo, fortalecer la formación académica y profesional de los futuros ingenieros. Además, la propuesta podrá servir como un modelo replicable en otros espacios de formación técnica a nivel nacional.

### **1.3 Justificación Del Proyecto**

El desarrollo de un sistema sostenible para la recuperación de refrigerantes en el taller de refrigeración de la carrera de Ingeniería Marítima de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí responde a la necesidad urgente de alinear la formación técnica con las exigencias normativas y ambientales vigentes en el Ecuador. La emisión descontrolada de gases refrigerantes durante procesos de mantenimiento o desecho de equipos es una práctica frecuente en talleres que carecen de infraestructura adecuada, lo que contribuye de forma directa al deterioro de la capa de ozono y al aumento del calentamiento global. (Agency, 2020)

Normativas nacionales como el Reglamento Técnico Ambiental MA-VG-RT-001-2023, emitido por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, establecen claramente los lineamientos que deben seguirse para la manipulación, recuperación, reciclaje y disposición final de sustancias refrigerantes. Además, la Ley Orgánica del Ambiente y los compromisos adquiridos por Ecuador ante el Protocolo de Montreal y sus enmiendas refuerzan la necesidad de adoptar tecnologías más limpias y eficientes para el uso de estos compuestos.

Desde el ámbito institucional, la implementación de un sistema sostenible de recuperación de refrigerantes constituye una mejora importante en la infraestructura del taller y en la calidad del aprendizaje práctico dentro de la universidad. Esto permitirá que los estudiantes se formen bajo criterios técnicos actualizados y con una visión ambientalmente responsable, fortaleciendo su perfil profesional y su capacidad para proponer soluciones sostenibles en el ejercicio de su carrera.

En el plano social y ambiental, el proyecto contribuirá a reducir la huella ecológica del taller, evitando la liberación de gases con alto potencial de calentamiento global y fomentando la reutilización de refrigerantes que, de otro modo, serían desechados. Desde el punto de vista económico, la recuperación y reutilización de estos refrigerantes disminuirá la necesidad de adquirir nuevos insumos, generando ahorros financieros a largo plazo. Finalmente, este proyecto puede servir como un modelo replicable en otros talleres e instituciones técnicas del país, fomentando una cultura de sostenibilidad, cumplimiento normativo y eficiencia operativa. Por ello, la realización de esta propuesta es relevante no solo para la universidad, sino también para la sociedad en general, al contribuir a los objetivos nacionales de desarrollo sostenible y protección del medio ambiente.

## 1.4 Planteamiento Del Problema

En el contexto actual de transición hacia tecnologías ambientalmente responsables, el manejo inadecuado de los refrigerantes representa una amenaza significativa para el medio ambiente. Muchos de los gases refrigerantes usados comúnmente en el mantenimiento de equipos de refrigeración —como el R-134a, R-404A o R-22— poseen un alto potencial de calentamiento global (GWP) y, en algunos casos, también un potencial de agotamiento de la capa de ozono (ODP), lo que los convierte en sustancias reguladas a nivel nacional e internacional. (Agency, Refrigerant management and recovery practices., 2020)

En el taller de refrigeración de la carrera de Ingeniería Marítima de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, no se cuenta actualmente con un sistema adecuado para la recuperación sostenible de refrigerantes durante los procesos de carga, mantenimiento o reparación de equipos. Esto genera el riesgo de emisiones no controladas de gases, incumplimiento de la normativa ambiental vigente en el Ecuador —como el Reglamento Técnico Ambiental MA-VG-RT-001-2023— y la pérdida económica asociada al desperdicio de refrigerantes que podrían ser reutilizados.

Adicionalmente, Ecuador ha adoptado compromisos internacionales relacionados con la reducción de emisiones de gases contaminantes, entre ellos el Protocolo de Montreal y las Enmiendas de Kigali, que promueven la sustitución progresiva de los refrigerantes con alto GWP. No obstante, la implementación de tecnologías sostenibles en instituciones educativas y talleres de formación técnica sigue siendo limitada, tanto por falta de recursos como por la ausencia de una cultura de gestión ambiental integral.

Esta situación no solo evidencia una limitación en la formación técnica práctica de los estudiantes, sino que también representa una oportunidad para impulsar mejoras mediante el diseño e implementación de soluciones sostenibles. En este sentido, se plantea la necesidad de desarrollar un sistema sostenible de recuperación de refrigerantes que permita cumplir con los requisitos técnicos y ambientales vigentes y, además, pueda servir como un modelo replicable para otros entornos académicos y técnicos de la región.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General:**

- Desarrollar un sistema sostenible para la recuperación de refrigerantes en el taller de refrigeración de la carrera de Ingeniería Marítima de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, con el fin de optimizar su gestión técnica y ambiental conforme a la normativa vigente en el Ecuador.

### **1.5.2 Objetivos específicos:**

- Diagnosticar el manejo actual de los refrigerantes en el taller de refrigeración de la carrera, identificando prácticas, equipos y deficiencias técnicas.
- Diseñar un sistema de recuperación de refrigerantes, que permita la recuperación, minimizando el impacto ambiental y las pérdidas económicas.
- Construir e implementar el sistema propuesto con materiales adecuados, que aseguren su funcionalidad, seguridad y sostenibilidad.

- Evaluar el funcionamiento del sistema en condiciones reales de trabajo, verificando su eficiencia en la recuperación de gases y cumplimiento con la normativa ambiental.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Generalidades

El desarrollo de los sistemas de refrigeración y el uso de sustancias refrigerantes tiene una historia estrechamente vinculada a la evolución tecnológica y a la protección del medio ambiente. A lo largo del siglo XX, los refrigerantes sintéticos como los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbónos (HCFC) se popularizaron debido a su eficiencia y estabilidad química, convirtiéndose en compuestos ampliamente utilizados en sistemas de refrigeración doméstica, industrial y naval. Sin embargo, estudios realizados desde la década de 1970 demostraron que estas sustancias contribuían al agotamiento de la capa de ozono, lo que generó preocupación internacional. (United Nations Environment Programme, 1987)

En 1987, la comunidad mundial dio un paso decisivo mediante la firma del **Protocolo de Montreal**, tratado internacional que estableció la eliminación progresiva de los CFC y la regulación de los HCFC. A mediados de los años 90, comenzó la transición hacia refrigerantes alternativos como los hidrofluorocarbonos (HFC), que, si bien no dañaban la capa de ozono, presentaban un elevado **potencial de calentamiento global (GWP)**. Esto motivó la creación de nuevas políticas globales, como la **Enmienda de Kigali (2016)**, cuyo objetivo es reducir paulatinamente el uso de HFC a nivel mundial. ((UNDP), 2019)

En Ecuador, la incorporación de estos compromisos internacionales impulsó el desarrollo de normativas ambientales específicas para el manejo de refrigerantes. Durante las últimas décadas, el país ha fortalecido sus regulaciones mediante la implementación del **Reglamento Técnico Ambiental MA-VG-RT-001-2023**, que

establece directrices claras para la manipulación, recuperación, reciclaje y disposición final de estas sustancias. Asimismo, políticas como la **Responsabilidad Extendida del Productor (REP)** refuerzan la obligación de gestionar adecuadamente los residuos y sustancias peligrosas vinculadas a procesos industriales y técnicos. (Stoecker & Jones, 1982)

En el ámbito educativo, especialmente en talleres técnicos y de formación superior, la práctica de recuperación de refrigerantes ha tenido una incorporación más lenta. Históricamente, las actividades de mantenimiento se centraban en el funcionamiento de los equipos, sin considerar la gestión ambiental de los gases utilizados. Con el avance de las regulaciones nacionales e internacionales, surgió la necesidad de actualizar los procesos y dotar a los talleres con tecnologías que permitan realizar prácticas responsables y alineadas con los estándares actuales.

En este contexto, la Facultad de Ingeniería Marítima de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí mantiene un taller de refrigeración orientado a la formación práctica de estudiantes. No obstante, dicho taller carecía históricamente de un sistema formal para la recuperación de refrigerantes, limitando la aplicación de buenas prácticas ambientales y técnicas contemporáneas. Esta situación evidencia la importancia de desarrollar sistemas sostenibles que permitan modernizar los procesos académicos, reducir el impacto ambiental y formar profesionales capaces de enfrentar los desafíos tecnológicos y ecológicos del sector industrial y marítimo moderno.

## **2.2 Fundamentación**

La fundamentación del presente proyecto se sustenta en la necesidad de implementar prácticas técnicas y ambientales adecuadas en el manejo de refrigerantes

dentro del taller de refrigeración de la Facultad de Ingeniería Marítima de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí. La evolución normativa nacional e internacional en materia ambiental exige que las instituciones académicas adopten sistemas que garanticen la manipulación responsable de sustancias con alto impacto ecológico, tales como los gases refrigerantes empleados en procesos de mantenimiento y reparación de equipos.

Desde un **enfoque técnico**, el uso de refrigerantes es indispensable en los sistemas de refrigeración para el funcionamiento de equipos industriales, comerciales y navales. Sin embargo, la ausencia de un sistema de recuperación en el taller limita la eficiencia operativa, incrementa el riesgo de fugas y restringe la posibilidad de reutilizar estos gases, lo que afecta tanto el aprendizaje como la sostenibilidad del proceso. La implementación de un sistema de recuperación permite mejorar la calidad del mantenimiento, reducir pérdidas y optimizar los recursos disponibles.

Desde una **perspectiva ambiental**, los refrigerantes como el R-134a, R-404A o R-22 poseen un alto potencial de calentamiento global (GWP) y, en algunos casos, un potencial de agotamiento de la capa de ozono (ODP). Su liberación al ambiente contribuye al cambio climático y al deterioro atmosférico. En este sentido, la propuesta se fundamenta en los principios del desarrollo sostenible, promoviendo una gestión responsable y minimizando los impactos ambientales negativos.

En el ámbito **legal y normativo**, el proyecto responde a lineamientos del Reglamento Técnico Ambiental MA-VG-RT-001-2023, así como a los compromisos adquiridos por el Ecuador mediante el Protocolo de Montreal y la Enmienda de Kigali. Estas normativas exigen la recuperación, reciclaje y adecuada disposición final de los refrigerantes, prohibiendo su liberación deliberada al ambiente. Por tanto, la

implementación del sistema contribuye al cumplimiento obligatorio de la ley y fortalece la cultura de responsabilidad institucional. (Çengel & Boles, 2015)

Desde el **enfoque académico**, la propuesta contribuye significativamente a la formación integral de los estudiantes, permitiendo que desarrollen competencias técnicas alineadas con las necesidades actuales de la industria marítima y de refrigeración. Contar con un sistema sostenible de recuperación fortalece la práctica formativa, promueve el aprendizaje de tecnologías limpias y mejora la calidad del proceso educativo.

Finalmente, desde una **perspectiva social y económica**, la recuperación de refrigerantes reduce los costos asociados a la compra de nuevos gases y disminuye el desperdicio de recursos, promoviendo un uso eficiente y responsable. Además, al formar profesionales capacitados en prácticas sostenibles, se contribuye al fortalecimiento del sector industrial regional y al cumplimiento de metas ambientales nacionales.

En conjunto, esta fundamentación establece que el proyecto es técnica, ambiental, académica, legal y socialmente pertinente, justificando plenamente su desarrollo e implementación.

### **2.3 Fundamentación Legal**

La ejecución de este proyecto se encuentra respaldada por el marco jurídico ambiental vigente en Ecuador, el cual establece obligaciones claras para el manejo adecuado de sustancias químicas peligrosas, entre ellas los refrigerantes utilizados en sistemas de refrigeración. La **Constitución de la República del Ecuador (2008)** reconoce el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y obliga al Estado y a

las instituciones a aplicar los principios de prevención y precaución para evitar la contaminación, lo que justifica la implementación de mecanismos que impidan la liberación de gases con alto potencial de calentamiento global.

En concordancia con estos principios, la **Ley Orgánica del Ambiente** y el **Código Orgánico del Ambiente (COA)** regulan el manejo, almacenamiento y control de sustancias químicas, y establecen la responsabilidad de prevenir y mitigar impactos negativos en el aire, el agua y el suelo. Estas normativas obligan a gestionar los refrigerantes de forma segura, evitando su liberación y asegurando procesos de recuperación, reciclaje y disposición final adecuados.

El marco legal ecuatoriano incorpora también los compromisos internacionales asumidos por el país, especialmente el **Protocolo de Montreal** y la **Enmienda de Kigali**, que establecen la reducción progresiva de sustancias que agotan la capa de ozono y de refrigerantes con alto potencial de calentamiento global. Estas obligaciones se traducen internamente en el **Reglamento Técnico Ambiental MA-VG-RT-001-2023**, que constituye la norma más específica sobre refrigerantes en Ecuador. Este reglamento establece directrices para la manipulación, recuperación y almacenamiento de estos compuestos, e impone a talleres y centros de servicio la obligación de contar con procesos que eviten fugas y emisiones contaminantes.

Asimismo, la política de **Responsabilidad Extendida del Productor (REP)** y diversas normas técnicas como la **INEN 2266** refuerzan la obligación de un manejo seguro, señalando requisitos para el almacenamiento, identificación y manipulación de sustancias peligrosas. En conjunto, estas normativas justifican técnicamente la necesidad de desarrollar un sistema sostenible de recuperación de refrigerantes en el

taller universitario, garantizando el cumplimiento legal, la protección ambiental y la correcta formación técnica de los estudiantes.

## **2.4 Conceptos Técnicos Fundamentales**

La refrigeración mecánica constituye un proceso termodinámico mediante el cual se extrae calor de un espacio o sustancia a una temperatura determinada y se transfiere hacia otro medio a mayor temperatura, empleando para ello energía mecánica. Este principio es ampliamente utilizado en aplicaciones domésticas, comerciales, industriales y navales, siendo esencial para la conservación de productos, el control de procesos térmicos y el funcionamiento seguro de diversos sistemas.

En los sistemas de refrigeración por compresión de vapor, el proceso se basa en la circulación de un fluido refrigerante que cambia de estado físico al absorber y liberar calor. El refrigerante actúa como medio de transferencia térmica, aprovechando sus propiedades termodinámicas para captar calor en el evaporador y cederlo en el condensador, cerrando así un ciclo continuo. (ASHRAE, 2018)

### **2.4.1 Ciclo De Refrigeración Por Compresión De Vapor**

El ciclo de refrigeración por compresión de vapor es el proceso más utilizado en los sistemas de refrigeración modernos, tanto en aplicaciones domésticas como industriales y navales, debido a su alta eficiencia y confiabilidad. Este ciclo se basa en la circulación continua de un refrigerante a través de distintos componentes, donde el fluido experimenta cambios de presión, temperatura y estado físico, permitiendo la transferencia de calor desde un medio a baja temperatura hacia otro a mayor temperatura. (Çengel & Boles, 2015)

**Compresión:** en esta etapa, el refrigerante ingresa al compresor en estado gaseoso y a baja presión, procedente del evaporador. El compresor tiene la función de aumentar la presión y la temperatura del refrigerante mediante trabajo mecánico. Este incremento de presión es necesario para que el refrigerante pueda liberar el calor absorbido en etapas posteriores.

Durante la compresión, el volumen específico del gas disminuye, mientras que su energía interna aumenta, preparándolo para el proceso de condensación. El compresor es considerado el “corazón” del sistema, ya que garantiza la circulación continua del refrigerante a lo largo del ciclo.

**Condensación:** una vez comprimido, el refrigerante en estado gaseoso y a alta presión ingresa al condensador. En este componente, el refrigerante cede el calor que transporta hacia el ambiente o hacia un medio de enfriamiento externo, como aire o agua.

Como resultado de esta transferencia de calor, el refrigerante cambia de estado gaseoso a líquido, manteniéndose a alta presión. El proceso de condensación es esencial para eliminar el calor absorbido durante la evaporación y el generado durante la compresión, asegurando la eficiencia del ciclo de refrigeración.

**Expansión:** el refrigerante líquido a alta presión pasa luego por el dispositivo de expansión, el cual puede ser una válvula de expansión termostática, un tubo capilar u otro elemento similar. En esta etapa, el refrigerante experimenta una disminución brusca de presión, lo que provoca una reducción significativa de su temperatura.

Durante la expansión, el refrigerante se convierte en una mezcla de líquido y vapor a baja presión, preparándose para absorber calor en el evaporador. Este proceso se realiza

sin intercambio de calor con el entorno, siendo principalmente una transformación de energía interna del fluido.

**Evaporación:** en la etapa de evaporación, el refrigerante a baja presión ingresa al evaporador, donde absorbe calor del espacio o sustancia que se desea enfriar. Al absorber este calor, el refrigerante cambia completamente de estado líquido a gaseoso. Este proceso es el responsable directo del efecto de enfriamiento del sistema, ya que extrae calor del ambiente refrigerado. Al finalizar la evaporación, el refrigerante retorna al compresor en estado gaseoso y a baja presión, reiniciando el ciclo de manera continua.

#### **2.4.2 Refrigerantes**

Los refrigerantes son sustancias químicas utilizadas en los sistemas de refrigeración para absorber calor de un medio a baja temperatura y liberarlo en otro a mayor temperatura, permitiendo así el funcionamiento del ciclo de refrigeración. La selección de un refrigerante adecuado depende de diversos factores técnicos, tales como su comportamiento termodinámico, compatibilidad con los materiales del sistema, seguridad operativa y, de manera cada vez más relevante, su impacto ambiental. (M., 2008)

Históricamente, los sistemas de refrigeración emplearon refrigerantes como los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), los cuales presentaban excelentes propiedades térmicas, pero un alto potencial de agotamiento de la capa de ozono (ODP). Como consecuencia de su impacto ambiental, estas sustancias fueron reguladas y eliminadas progresivamente a partir de la implementación del Protocolo de Montreal. Posteriormente, se introdujeron los hidrofluorocarbonos (HFC), que, si bien no afectan la capa de ozono, poseen un elevado potencial de calentamiento

global (GWP), lo que ha motivado nuevas regulaciones internacionales, como la Enmienda de Kigali.

#### **2.4.2.1 Clasificación De Los Refrigerantes**

Los refrigerantes pueden clasificarse según su composición química en:

- CFC (Clorofluorocarbonos): Sustancias actualmente prohibidas por su alto ODP.
- HCFC (Hidroclorofluorocarbonos): Refrigerantes en proceso de eliminación progresiva, como el R-22.
- HFC (Hidrofluorocarbonos): Refrigerantes sin ODP, pero con alto GWP, ampliamente utilizados en la actualidad.
- Refrigerantes naturales: Incluyen sustancias como el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e hidrocarburos, caracterizados por un bajo impacto ambiental, pero con mayores exigencias de seguridad.

#### **2.4.2.2 Refrigerantes Utilizados En El Taller De Refrigeración**

En el taller de refrigeración de la Facultad de Ingeniería Marítima se utilizan principalmente refrigerantes del tipo HFC, entre los que destacan el R-134a, R-404A y R-410A, debido a su disponibilidad comercial y amplio uso en sistemas de refrigeración comercial e industrial.

El R-134a es comúnmente empleado en sistemas de refrigeración de media temperatura y aplicaciones automotrices. Presenta un ODP nulo, pero un GWP considerable, lo que exige una gestión controlada durante su manipulación.

El R-404A es una mezcla de HFC utilizada principalmente en sistemas de baja temperatura, como cámaras de congelación. Si bien no daña la capa de ozono, su alto

GWP lo convierte en uno de los refrigerantes más regulados, haciendo indispensable su recuperación y reutilización.

El R-410A, utilizado en sistemas de aire acondicionado y refrigeración de alta presión, posee un GWP elevado y opera a presiones significativamente mayores que otros refrigerantes.

#### **2.4.2.3 Recuperación de refrigerantes**

La recuperación de refrigerantes es el proceso mediante el cual el gas refrigerante es extraído de un sistema de refrigeración y almacenado de manera segura en un cilindro adecuado, con el objetivo de ser reutilizado, reciclado o dispuesto correctamente. Este procedimiento se realiza utilizando equipos diseñados para operar bajo condiciones de presión controlada, evitando fugas y emisiones contaminantes.

Existen dos métodos principales de recuperación:

- Recuperación activa, que utiliza un compresor para extraer el refrigerante del sistema.
- Recuperación pasiva, que se basa en diferencias de presión y temperatura sin el uso de un compresor.

La recuperación activa es la más utilizada en talleres profesionales debido a su mayor eficiencia, rapidez y capacidad para manejar diferentes tipos de refrigerantes. (Environmental Protection Agency., 2020)

#### **2.4.2.4 Importancia De La Recuperación En Talleres De Refrigeración**

En los talleres de refrigeración, especialmente en entornos educativos, la recuperación de refrigerantes representa una práctica fundamental para garantizar la seguridad operativa, el cumplimiento normativo y la sostenibilidad ambiental. La ausencia de un sistema de recuperación incrementa el riesgo de emisiones no controladas, exposición del personal a sustancias peligrosas y desperdicio de recursos económicos.

La implementación de sistemas de recuperación permite:

- Reducir la liberación de gases con alto GWP.
- Optimizar el uso de refrigerantes mediante su reutilización.
- Cumplir con la normativa ambiental vigente.
- Fomentar buenas prácticas técnicas en la formación de futuros profesionales.

En el contexto de la ingeniería mecánica naval, estas prácticas adquieren especial relevancia debido a la necesidad de operar sistemas de refrigeración de manera eficiente y responsable en entornos cerrados y sensibles, como embarcaciones, cámaras frigoríficas y talleres especializado.

#### **2.4.3 Impacto Ambiental De Los Refrigerantes**

La evaluación de los refrigerantes se realiza principalmente mediante dos indicadores: el Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (ODP) y el Potencial de Calentamiento Global (GWP). Aunque los refrigerantes HFC no generan afectaciones directas sobre la capa de ozono, su liberación a la atmósfera incrementa de manera considerable el efecto invernadero, contribuyendo significativamente al cambio climático.

Por esta razón, las normativas ambientales nacionales e internacionales exigen la recuperación, reciclaje y adecuada disposición de los refrigerantes, prohibiendo su liberación deliberada durante actividades de mantenimiento o reparación. La correcta gestión de estos gases constituye una responsabilidad técnica y ambiental para talleres de refrigeración y centros de formación académica. (Shaping Tomorrow's Global Built Environment Today, 2019)

#### **2.4.4 Sistemas De Recuperación De Refrigerantes**

Los sistemas de recuperación de refrigerantes son equipos diseñados para extraer de manera segura el gas refrigerante contenido en un sistema de refrigeración y almacenarlo en cilindros apropiados, evitando su liberación al ambiente. Estos sistemas son fundamentales para el cumplimiento de la normativa ambiental y para la aplicación de prácticas sostenibles en talleres de refrigeración. (E., 2020)

La recuperación se realiza generalmente antes de llevar a cabo trabajos de mantenimiento, reparación o desmantelamiento de equipos, y permite la reutilización del refrigerante, reduciendo costos y emisiones contaminantes.

#### ***Tipos De Sistemas De Recuperación***

Los sistemas de recuperación de refrigerantes se clasifican principalmente en:

- **Sistemas de recuperación pasiva:** Funcionan mediante diferencias de presión y temperatura, sin el uso de un compresor. Son de bajo costo, pero presentan una eficiencia limitada y requieren mayor tiempo de operación.
- **Sistemas de recuperación activa:** Incorporan un compresor que permite extraer el refrigerante de forma más rápida y eficiente, incluso en condiciones de baja

presión. Son los más utilizados en talleres profesionales debido a su mayor seguridad y rendimiento.

### ***Componentes Principales De Un Sistema De Recuperación***

Un sistema de recuperación de refrigerantes está conformado por varios elementos esenciales, entre los cuales se incluyen:

- Compresor de recuperación
- Condensador
- Filtros secadores
- Válvulas de control
- Manómetros de alta y baja presión
- Cilindros de almacenamiento certificados

Cada uno de estos componentes debe ser seleccionado considerando el tipo de refrigerante a recuperar, las presiones de trabajo y las condiciones de operación, garantizando la seguridad del sistema y del personal.

### ***Importancia de los sistemas de recuperación en talleres educativos***

En los talleres de formación técnica y universitaria, la implementación de sistemas de recuperación de refrigerantes cumple un rol fundamental tanto desde el punto de vista ambiental como académico. Estos sistemas permiten que los estudiantes adquieran conocimientos prácticos sobre el manejo responsable de refrigerantes, el cumplimiento normativo y la aplicación de tecnologías sostenibles.

Además, la presencia de un sistema de recuperación contribuye a reducir el impacto ambiental del taller, mejora la seguridad operativa y fortalece la cultura de

responsabilidad técnica, aspectos esenciales en la formación de ingenieros mecánicos navales capaces de enfrentar los desafíos actuales del sector industrial y marítimo

## **2.5 Normativa Técnica y Ambiental aplicable a los refrigerantes**

El manejo de los refrigerantes utilizados en sistemas de refrigeración se encuentra regulado por un conjunto de normativas técnicas y ambientales, tanto a nivel internacional como nacional, cuyo objetivo principal es prevenir la contaminación atmosférica, proteger la capa de ozono y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El cumplimiento de estas normativas es obligatorio para talleres de refrigeración, instituciones educativas y centros de servicio técnico que manipulan este tipo de sustancias.

### ***Normativa Internacional***

En el ámbito internacional, la regulación del uso de refrigerantes ha sido impulsada por acuerdos multilaterales enfocados en la protección de la atmósfera. Uno de los más relevantes es el Protocolo de Montreal, adoptado en 1987, el cual estableció un cronograma para la reducción y eliminación progresiva de sustancias que afectan la capa de ozono. Este tratado marcó un precedente en la gestión ambiental global y sentó las bases para el control y la transición hacia alternativas más seguras dentro del sector de la refrigeración (UNEP, 1989).

Posteriormente, la Enmienda de Kigali, adoptada en 2016, amplió el alcance del Protocolo de Montreal al incluir la reducción progresiva de los hidrofluorocarbonos (HFC), debido a su alto potencial de calentamiento global (GWP). Esta enmienda establece compromisos específicos para los países firmantes, incluyendo Ecuador,

orientados a la recuperación, control y reducción del uso de refrigerantes con alto impacto climático.

Asimismo, organizaciones técnicas internacionales como la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) han desarrollado normas y guías técnicas que regulan la clasificación de refrigerantes, los requisitos de seguridad, los métodos de recuperación y las buenas prácticas en la manipulación de estos gases. Estas normas sirven como referencia técnica para el diseño y operación de sistemas de refrigeración y recuperación.

### ***Normativa Nacional Ecuatoriana***

En el Ecuador, el marco normativo relacionado con el manejo de refrigerantes se encuentra respaldado por la Constitución de la República, que reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y establece la obligación de prevenir y mitigar la contaminación ambiental. (Ecuador, 2023)

El Código Orgánico del Ambiente (COA) y la Ley Orgánica del Ambiente regulan la gestión de sustancias químicas peligrosas, estableciendo responsabilidades para las personas naturales y jurídicas que manipulan este tipo de compuestos. Estas normas prohíben la liberación de contaminantes al ambiente y exigen la implementación de mecanismos de control y prevención.

De manera específica, el Reglamento Técnico Ambiental MA-VG-RT-001-2023, emitido por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, establece los lineamientos técnicos para la importación, uso, recuperación, reciclaje, almacenamiento y disposición final de refrigerantes en el país. Este reglamento obliga a

los talleres de refrigeración a contar con procedimientos y equipos que eviten fugas y emisiones no controladas de gases refrigerantes.

Adicionalmente, la normativa de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) refuerza la obligación de gestionar adecuadamente los refrigerantes y sus envases, promoviendo prácticas de recuperación y reutilización. Normas técnicas complementarias, como la INEN 2266, establecen requisitos para el almacenamiento, etiquetado y manipulación segura de sustancias peligrosas, aplicables también a los refrigerantes.

## **2.6 Implicaciones Normativas y Recomendaciones**

La aplicación de la normativa técnica y ambiental en el taller de refrigeración de la Facultad de Ingeniería Marítima implica la adopción de prácticas que garanticen la recuperación segura de los refrigerantes utilizados durante los procesos de mantenimiento y reparación. La ausencia de un sistema de recuperación no solo representa un riesgo ambiental, sino que también constituye un incumplimiento de las disposiciones legales vigentes.

La implementación de un sistema sostenible de recuperación de refrigerantes permite al taller universitario cumplir con las exigencias normativas, reducir su impacto ambiental y fortalecer la formación técnica de los estudiantes, quienes adquieren competencias alineadas con los estándares actuales de la industria. De esta manera, el proyecto no solo responde a una necesidad técnica, sino que también contribuye al cumplimiento legal y a la responsabilidad ambiental institucional.

# **CAPÍTULO III: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA**

## **3.1 Tipo Y Enfoque De La Investigación**

El presente trabajo de titulación se desarrolla bajo un enfoque de investigación aplicada, debido a que busca resolver un problema técnico real mediante el diseño e implementación de una solución práctica: un sistema sostenible para la recuperación de refrigerantes en el taller de refrigeración de la carrera de Ingeniería Marítima de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

La investigación tiene un alcance descriptivo y experimental, ya que inicialmente se describe el estado actual del manejo de refrigerantes en el taller y posteriormente se diseña, construye y evalúa un sistema de recuperación bajo condiciones reales de operación. Asimismo, se adopta un enfoque cuantitativo, al analizar variables técnicas como presión, cantidad de refrigerante recuperado y eficiencia del sistema.

El método de trabajo se estructura en las siguientes etapas: diagnóstico del sistema existente, diseño técnico del sistema de recuperación, construcción e implementación, y evaluación de resultados. (Tecumseh Products Company, 2020)

## **3.2 Diagnóstico Del Manejo Actual De Refrigerantes En El Taller**

Como primera etapa del proyecto, se realizó un diagnóstico del manejo actual de los refrigerantes en el taller de refrigeración de la Facultad de Ingeniería Marítima. Este diagnóstico permitió identificar las prácticas utilizadas durante los procesos de mantenimiento, reparación y carga de equipos de refrigeración.

Se determinó que el taller trabaja principalmente con refrigerantes del tipo HFC, como R-134a, R-404A y R-410A, empleados en prácticas académicas relacionadas con sistemas de refrigeración comercial e industrial. Sin embargo, se constató la ausencia de un sistema específico para la recuperación de refrigerantes, lo que genera riesgos ambientales, pérdidas económicas y limita la aplicación de buenas prácticas técnicas.

Durante las actividades de mantenimiento, el refrigerante es liberado parcial o totalmente del sistema, sin un proceso controlado de recuperación y almacenamiento. Esta situación contraviene la normativa ambiental vigente y no permite a los estudiantes adquirir competencias adecuadas en gestión responsable de refrigerantes.

### **3.3 Metodología De Diseño Del Sistema De Recuperación**

El diseño del sistema de recuperación de refrigerantes se realizó considerando criterios técnicos, ambientales, económicos y de seguridad. Para ello, se siguió una metodología de diseño secuencial que incluyó:

- Identificación de los refrigerantes a recuperar y sus características de presión y temperatura.
- Determinación de la capacidad requerida del sistema.
- Selección de los componentes principales.
- Elaboración del esquema general del sistema.
- Evaluación de seguridad y compatibilidad de materiales.

El sistema fue diseñado para operar de manera flexible, permitiendo la recuperación de diferentes tipos de refrigerantes utilizados en el taller, sin comprometer la seguridad ni la eficiencia del proceso.

### **3.4 Descripción Del Sistema De Recuperación De Refrigerantes**

El sistema de recuperación propuesto corresponde a un sistema de recuperación activa, el cual utiliza un compresor para extraer el refrigerante del sistema intervenido y transferirlo hacia un cilindro de almacenamiento certificado.

El proceso general de funcionamiento es el siguiente:

- El refrigerante es aspirado desde el sistema de refrigeración a través de una línea de baja presión.
- El compresor de recuperación eleva la presión del refrigerante.
- El gas pasa por un condensador donde se reduce su temperatura.
- Finalmente, el refrigerante es almacenado en un cilindro adecuado para su reutilización o disposición controlada.

Este diseño permite una recuperación eficiente, segura y acorde con las exigencias normativas.

### **3.5 Componentes Principales Del Sistema de Recuperación de Refrigerante**

Un sistema de recuperación de refrigerantes está compuesto por diversos elementos que trabajan de manera integrada para garantizar la extracción segura, eficiente y controlada del refrigerante desde un sistema de refrigeración hacia un recipiente de almacenamiento. La correcta selección y funcionamiento de estos componentes es fundamental para cumplir con la normativa ambiental vigente y asegurar la seguridad del operador.

A continuación, se describen los principales componentes del sistema de recuperación:

## Compresor de recuperación

El compresor de recuperación es el componente principal del sistema y tiene la función de aspirar el refrigerante desde el equipo de refrigeración intervenido y elevar su presión para facilitar su transporte y almacenamiento. Este compresor está diseñado específicamente para operar con distintos tipos de refrigerantes y soportar condiciones variables de presión y temperatura.

Su utilización permite una recuperación activa, rápida y eficiente, incluso cuando el sistema presenta bajas presiones, reduciendo el tiempo de operación y minimizando el riesgo de fugas. Además, contribuye a evitar la liberación directa de gases refrigerantes al ambiente, cumpliendo con las exigencias ambientales y de seguridad.

### Figura 1

*Compresor Hermético Tecumseh CAJ9510T de 3/4CV*



*Imagen de un compresor hermético Tecumseh CAJ9510T. Tomada de (Frigopack Inc., 2020)*

## Condensador

El condensador tiene la función de disipar el calor generado durante el proceso de compresión del refrigerante. En este componente, el refrigerante a alta presión y temperatura cede calor al ambiente, permitiendo su cambio de estado de gas a líquido. La correcta disipación de calor en el condensador es esencial para garantizar la

eficiencia del sistema de recuperación, ya que facilita el almacenamiento del refrigerante en estado líquido, optimizando el espacio dentro del cilindro de recuperación y reduciendo el riesgo de sobrepresión.

### **Figura 2**

*Condensador con rejillas protectoras*



*Imagen del condensador de la Recuperadora de Refrigerante. Elaborado por el Autor.*

### **Filtros secadores**

Los filtros secadores cumplen la función de eliminar la humedad, partículas sólidas e impurezas presentes en el refrigerante recuperado. La presencia de humedad puede provocar la formación de ácidos, corrosión interna y daños en los componentes del sistema, por lo que su eliminación es fundamental.

Estos elementos contribuyen a mejorar la calidad del refrigerante recuperado, permitiendo su reutilización segura y prolongando la vida útil del sistema de recuperación y de los equipos de refrigeración en los que se vuelva a utilizar el gas.

### **Figura 3**

*Filtro secador de línea de líquido de ½''*



*Imagen de un filtro secador de línea de líquido de 1/2". Imagen tomada de (Smart Electric S.A.S, 2016)*

### **Válvulas de control**

Las válvulas de control regulan el flujo y la dirección del refrigerante dentro del sistema de recuperación. Permiten iniciar, detener o desviar el paso del refrigerante según las condiciones de operación requeridas.

Estas válvulas son esenciales para garantizar un proceso de recuperación seguro, ya que permiten controlar las presiones del sistema, evitar retornos no deseados y aislar componentes durante tareas de mantenimiento o emergencia.

### **Figura 4**

*Válvula de refrigeración Rotalock*



*Imagen de una válvula de refrigeración Rotalock. Imagen tomada de (Refrigeración Gomez, 2017)*

## Manómetros de alta y baja presión

Los manómetros de alta y baja presión permiten monitorear en tiempo real las condiciones de presión del sistema durante el proceso de recuperación. Estos instrumentos proporcionan información esencial para verificar que el sistema opere dentro de los rangos seguros establecidos para cada tipo de refrigerante.

El uso adecuado de los manómetros ayuda a prevenir sobrepresiones, detectar obstrucciones o fugas, y asegurar una recuperación eficiente y controlada, protegiendo tanto al operador como al equipo.

### Figura 5

*Manómetros de alta y baja presión*



*Imagen de manómetros de alta y baja presión. Imagen tomada de (Revista Cero Grados, 2013)*

## Cilindro de recuperación

El cilindro de recuperación es el recipiente destinado al almacenamiento seguro del refrigerante recuperado. Debe ser un cilindro certificado, diseñado para soportar las presiones del refrigerante y compatible con el tipo de gas a recuperar.

Estos cilindros cuentan con válvulas de seguridad y sistemas de identificación que permiten un manejo adecuado del refrigerante, evitando mezclas indebidas y

garantizando su correcta reutilización, reciclaje o disposición final conforme a la normativa ambiental vigente.

**Figura 6**

*Cilindro de recuperación de refrigerante.*

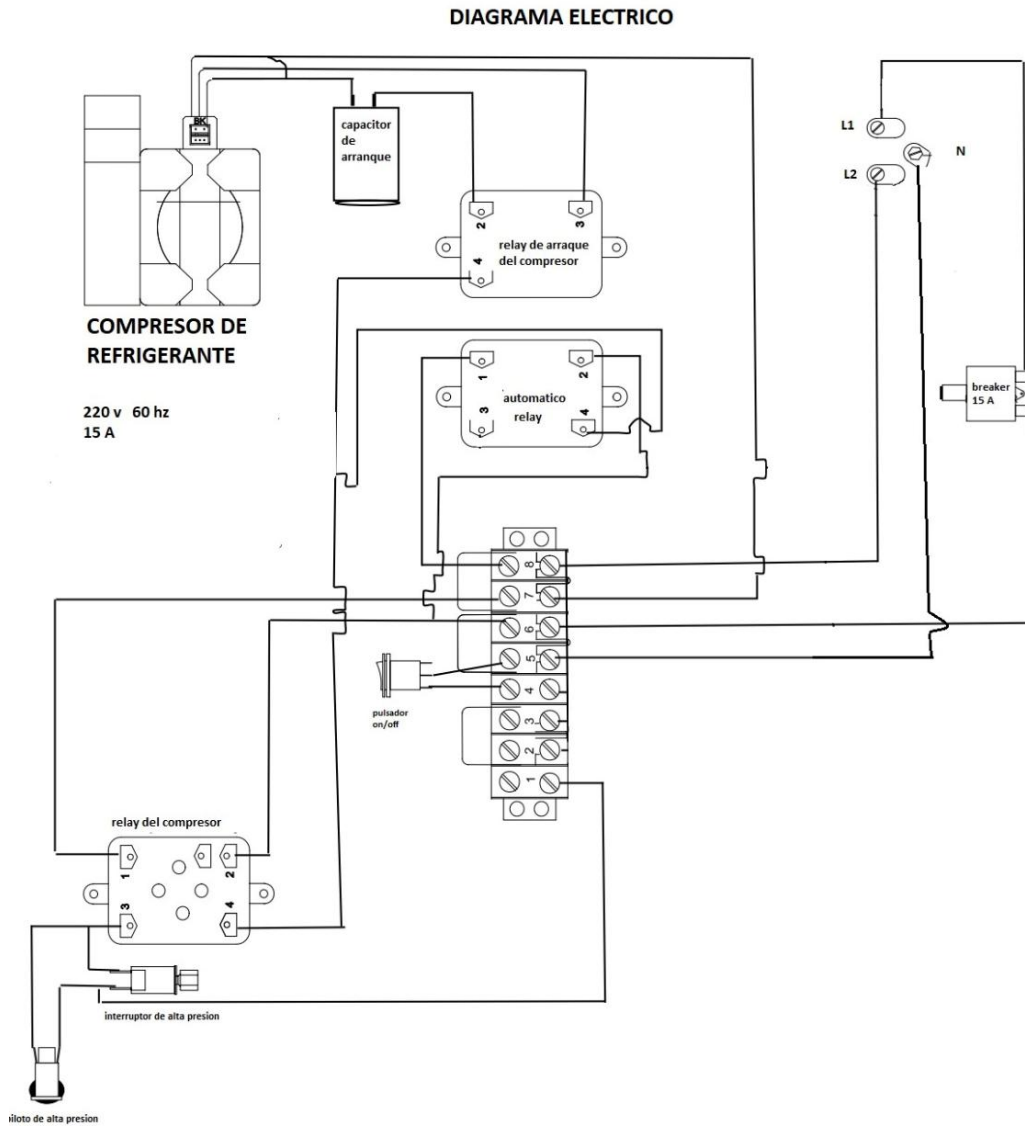


*Imagen de un cilindro de refrigerante. (Copper group Inc., 2020)*

**3.6 Construcción del equipo; proceso constructivo**

Como resultado del análisis comparativo de las distintas configuraciones existentes de los sistemas de recuperación de refrigerante, así como de la evaluación de los requerimientos operativos y funcionales asociados, se desarrolló un diseño conceptual inicial del equipo recuperador, el cual se presenta en la Figura 7. En dicha representación se detallan los componentes principales del sistema.

**Figura 7**  
*Diagrama eléctrico de la recuperadora.*



*Imagen del diagrama eléctrico de la recuperadora de refrigerante. Elaborada por el autor.*

### 3.6.1 Diseño de la estructura metálica

Mediante el uso del software SolidWorks se desarrolló el diseño y se establecieron las dimensiones de la estructura de soporte destinada a alojar los distintos componentes del equipo recuperador de refrigerante. Dicha estructura incorpora ruedas en la parte

inferior, lo que permite un desplazamiento sencillo y contribuye a un transporte seguro y eficiente del equipo durante su operación por parte de los usuarios. }

### **Figura 8**

*Imagen de la estructura metálica.*



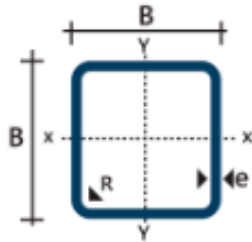
*Imagen de la estructura metálica modelada en 3D. Elaborada por el autor*

### **3.6.2 Selección del material**

Para la fabricación de la estructura del soporte base se empleó acero estructural en perfil de tubo cuadrado de  $25 \times 25 \times 3$  mm, el cual cumple con las normas de fabricación NTE INEN 2415 y ASTM A366. La selección de este material se fundamentó en sus favorables propiedades mecánicas, entre las que destacan su elevada resistencia, adecuada ductilidad y buena capacidad de soldadura, características que garantizan la estabilidad y durabilidad de la estructura.

**Figura 9**  
 Imagen de las dimensiones del tubo cuadrado.

**NOMENCLATURA**



$\bar{A}$  = Área de la selección transversal del tubo, cm<sup>2</sup>  
 $I$  = Momento de inercia de la sección, cm<sup>4</sup>  
 $W$  = Módulo resistente de la sección, cm<sup>3</sup>  
 $i$  = Radio de giro de la sección cm

Designaciones			Área	Peso	Propiedades Estáticas		
					Eje x-x = y-y		
					Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
B	B	e	A	P	I	W	i
pulg.	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
1/2	12	0,90	0,38	0,30	0,08	0,13	0,45
5/8	15	0,9	0,49	0,39	0,19	0,21	0,56
3/4	20	0,75	0,56	0,45	0,4	0,34	0,78
		0,9	0,67	0,53	0,48	0,41	0,77
		1,1	0,8	0,64	0,54	0,47	0,77
1	25	1,5	1,05	0,84	0,65	0,58	0,74
		2,00	1,34	1,15	0,69	0,69	0,72
		0,75	0,71	0,56	0,82	0,55	0,99
		0,9	0,85	0,67	1	0,67	0,97
1	25	1,1	1,02	0,81	1,12	0,76	0,97
		1,5	1,35	1,08	1,39	0,97	0,95
		2,00	1,74	1,47	1,48	1,18	0,92

*Dimensiones de las dimensiones del tubo cuadrado. Tomada de Metalhierro*

**3.6.3 Proceso constructivo del equipo**

En primer lugar, se realizó la medición y el corte de los perfiles estructurales conforme al diseño previamente establecido. Durante esta etapa se llevó a cabo el ensamblaje de la estructura principal del equipo, para lo cual se utilizaron herramientas de medición y corte de alta precisión. Esto permitió obtener dimensiones exactas en cada pieza, evitando inconvenientes durante el proceso constructivo y asegurando un correcto acoplamiento de los elementos.

Posteriormente, se procedió a la soldadura de los perfiles estructurales con el fin de consolidar la estructura principal. Para este proceso se empleó una soldadora de arco eléctrico, utilizando electrodos tipo E6011, los cuales se caracterizan por su alta capacidad de penetración, versatilidad para soldar en distintas posiciones y la generación de un arco estable y fácil de controlar. Asimismo, estos electrodos son adecuados para la unión de materiales con presencia de impurezas superficiales, garantizando uniones de elevada resistencia mecánica y una adecuada durabilidad de la estructura ensamblada.

### **3.6.4 Construcción de la estructura base del equipo**

Una vez concluida la fabricación de la estructura, se procedió a la perforación de los orificios necesarios para la fijación de los distintos componentes del sistema. Posteriormente, se realizó la instalación de la manija y las ruedas, lo que permitió facilitar el desplazamiento y la maniobrabilidad del equipo durante su uso.

A continuación, se llevó a cabo la soldadura del cilindro de recuperación con capacidad de 239 litros a la estructura metálica, asegurando su correcta alineación y estabilidad.

Seguidamente, se efectuó el montaje y la fijación de los principales elementos del sistema. El compresor, el condensador y el electroventilador fueron instalados en la parte inferior de la estructura mediante pernos de sujeción. Previo a la instalación del compresor, se realizó una inspección visual detallada para verificar la ausencia de grietas o daños estructurales. Este componente fue fijado utilizando pernos tipo M8, con el fin de reducir vibraciones y prevenir posibles fallas durante su operación.

Posteriormente, el condensador fue ubicado en la parte posterior de la estructura y fijado a los ángulos del bastidor mediante pernos, garantizando un funcionamiento

adecuado y contribuyendo a la disminución de vibraciones. Finalmente, el tanque recuperador y el separador de aceite fueron montados sobre el tablero de madera intermedio y asegurados mediante pernos de sujeción, asegurando una correcta distribución del peso y una adecuada estabilidad del conjunto.

**Figura 10**

*Imagen de la recuperadora de refrigerante.*



*Imagen de la recuperadora de refrigerante. Elaborada por el autor*

**Figura 11**

*Imagen de la recuperadora de refrigerante*



*Imagen de la recuperadora de refrigerante. Elaborada por el autor*

### **3.6.5 Montaje del filtro secador**

Una vez instalados los componentes principales del sistema, se procedió a la instalación de las líneas de alta y baja presión. Para ello, se realizó inicialmente el corte de la tubería de cobre necesaria para efectuar las conexiones entre los distintos puertos de los componentes que requieren unión mediante soldadura.

Posteriormente, las tuberías de cobre fueron dobladas con el fin de adaptarlas al espacio disponible y a las diferentes disposiciones de los elementos del sistema, garantizando un adecuado trazado de las líneas y evitando esfuerzos innecesarios en las conexiones.

A continuación, se llevó a cabo la soldadura oxiacetilénica de los tramos de tubería de cobre en los extremos de succión y descarga del compresor, del condensador y de las válvulas de servicio. Para este proceso se empleó una soldadora oxiacetilénica junto con varilla de aporte de cobre al 5 %, lo que permitió realizar uniones firmes entre las entradas y salidas de los componentes mediante tubería de cobre flexible.

Esta técnica de soldadura fue aplicada en elementos como el compresor, el condensador, las válvulas de paso y el separador de aceite, obteniéndose uniones con elevada resistencia mecánica, buena ductilidad y adecuada tenacidad. Estas características permiten que las conexiones soporten impactos y vibraciones durante la operación del equipo, sin comprometer su integridad estructural.

#### **Figura 12**

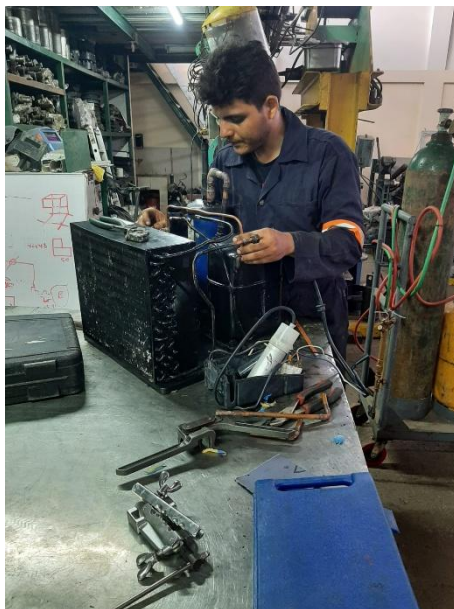
*Imagen de la conexión de la recuperadora de refrigerante*



*Conexión de las cañerías de la recuperadora de refrigerante. Elaborada por el autor*

**Figura 13**

*Doblado de las tuberías de cobre.*



*Elaborada por el autor*

Posteriormente, se realizó el acampanado de los extremos de las tuberías que requerían uniones roscadas mediante tuercas , garantizando un correcto sellado y una conexión segura entre los distintos componentes del sistema.

Una vez finalizada la conformación de las tuberías, se procedió a la instalación definitiva de los componentes principales del equipo sobre la estructura, cuidando su correcta ubicación y alineación. Esta disposición precisa facilitó las conexiones posteriores entre los elementos del sistema. Para dichas conexiones se emplearon tuberías de cobre de distintos diámetros, correspondientes a las líneas de baja y alta presión, de acuerdo con los requerimientos operativos de cada componente.

Finalmente, se llevó a cabo la instalación eléctrica del sistema, incorporando los componentes necesarios para el accionamiento y control de los distintos elementos del equipo recuperador que requieren alimentación eléctrica. Durante esta etapa se consideró la ubicación específica de cada componente eléctrico en función de su función dentro del sistema. Asimismo, se estableció un orden de encendido que permite la correcta puesta en marcha del equipo, el cual será gestionado directamente por el operario.

**Figura 14**

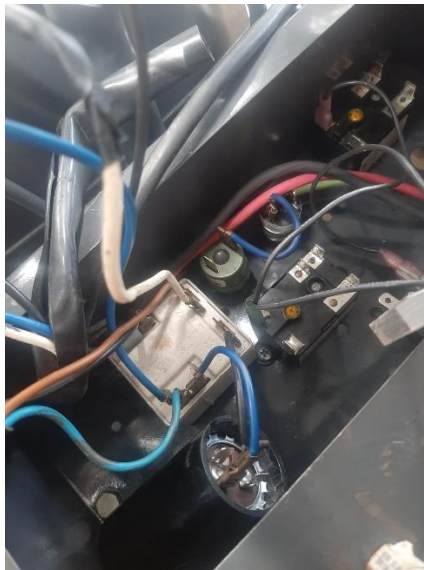
*Conexión eléctrica de la recuperadora de refrigerante*



*Conexión eléctrica. Elaborada por el autor.*

**Figura 15**

*Conexión eléctrica de la recuperadora de refrigerante*



*Conexión eléctrica de la recuperadora de refrigerante. Elaborada por el autor*

Una vez concluido el montaje mecánico y eléctrico del equipo, se procedió a la etapa de acabado superficial, que incluyó la limpieza de todas las partes destinadas a ser pintadas. Esta limpieza permitió eliminar residuos, grasas e impurezas, garantizando una adecuada adherencia de los recubrimientos posteriores.

## **Figura 16**

*Parte del montaje eléctrica de la recuperadora de refrigerante.*



*Conexión eléctrica de la recuperadora de refrigerante. Elaborado por el autor*

Posteriormente, se aplicó una capa de imprimación (priming) sobre la superficie del equipo, con el objetivo de sellar el material base y mejorar la adherencia de la pintura final. Una vez completado el recubrimiento total, se aplicó un fondo de color gris al equipo recuperador de refrigerante, logrando un acabado uniforme y estéticamente adecuado. Este tratamiento contribuye a incrementar la durabilidad del equipo y su resistencia frente a factores ambientales y condiciones de uso.

Finalmente, se aplicó la capa final de pintura y se procedió a la colocación de la señalética correspondiente, la cual permite identificar claramente los componentes, advertencias y condiciones de operación, contribuyendo a un uso seguro y adecuado del equipo.

### **3.6.6 Pruebas de funcionamiento**

Una vez concluida la construcción del equipo, se realizaron pruebas de funcionamiento con el propósito de verificar que el sistema de recuperación opere de

manera adecuada y cumpla con las especificaciones y requisitos previamente establecidos. Estas pruebas resultan fundamentales para confirmar la eficiencia, seguridad y fiabilidad del equipo, asegurando su correcto desempeño antes de ser puesto en servicio.

**Figura 17**

*Parte del ensamble de la recuperadora de refrigerante.*



*Ensamble de la recuperadora de refrigerante. Elaborada por el autor*

**Figura 18**

*Aplicación de pintura a partes de la recuperadora.*



### **3.7 Recepción del refrigerante**

Durante la fase inicial de operación, el refrigerante es admitido al sistema de recuperación a través de la válvula de servicio, desde donde es conducido hacia la válvula de entrada, la cual cumple la función de regular el paso del refrigerante hacia el equipo. Al energizar el circuito de control mediante el accionamiento del interruptor principal, se habilita el funcionamiento integral del sistema, permitiendo la circulación del refrigerante a lo largo del circuito interno.

#### **3.7.1 Prueba de recuperación de refrigerante**

Para la ejecución de esta prueba se realizó la recuperación de refrigerante desde una botella con capacidad de 24 lb. El objetivo principal fue cuantificar y analizar tanto la cantidad de refrigerante extraído como el tiempo necesario para completar el proceso de recuperación.

Durante el ensayo se efectuaron cargas de refrigerante en distintas cantidades, iniciando con 100 g y aumentando progresivamente en incrementos de 50 g por cada carga, hasta alcanzar una carga total de 450 g del sistema. A partir de los datos obtenidos, se determinó el tiempo promedio de recuperación, la cantidad promedio recuperada y el rendimiento del equipo, lo que permitió evaluar de manera objetiva su desempeño durante la operación.

### **3.8 Limpieza del refrigerante**

Durante la segunda etapa del proceso de recuperación, el refrigerante, una vez descargado desde el condensador, es dirigido a través de un filtro secador instalado en la línea de conducción. Este componente cumple una función crítica dentro del sistema, ya

que permite la remoción de humedad residual y la absorción de compuestos ácidos e impurezas arrastradas desde el equipo de origen, contribuyendo a la protección de los elementos mecánicos y al correcto desempeño del sistema recuperador.

El puerto de entrada del filtro secador se encuentra conectado a la salida del condensador, mientras que su puerto de descarga se acopla al reservorio o cilindro de recuperación, garantizando que el refrigerante almacenado cumpla con condiciones adecuadas de calidad y seguridad para su posterior manejo o reutilización.

### **3.9 Succión y Descargado**

En la tercera etapa del proceso de recuperación, el compresor se encarga de succionar el refrigerante y elevar su presión para conducirlo hacia el cilindro de recuperación. El funcionamiento del compresor se inicia al accionar el interruptor principal del equipo y se detiene automáticamente cuando el presostato de baja presión envía la señal de corte, una vez que la presión en dicha línea desciende por debajo de 0 psi, evitando así condiciones de operación inadecuadas.

El puerto de descarga del compresor se conecta al puerto de entrada del separador de aceite, permitiendo la separación del lubricante arrastrado durante el proceso de compresión. Por su parte, el puerto de servicio se enlaza con la línea de retorno de aceite del separador, asegurando la correcta recirculación del lubricante hacia el compresor y contribuyendo al funcionamiento continuo y seguro del sistema.

### **3.10 Separación de aceite del refrigerante**

En esta etapa del sistema se dispone un separador de aceite en la línea de descarga del compresor, cuya función es retener el aceite arrastrado por el refrigerante durante el proceso de compresión. La presencia de aceite en el condensador puede

generar efectos negativos en el funcionamiento del sistema, como la disminución de la eficiencia del intercambio térmico debido a la formación de una película sobre las superficies internas, así como la posible obstrucción de tuberías y componentes, lo que deriva en una restricción del flujo de refrigerante.

El aceite separado es conducido nuevamente hacia el compresor a través de una válvula de paso conectada al puerto de servicio, mientras que el puerto de descarga del separador se enlaza con el puerto de entrada del condensador, garantizando la continuidad del proceso y el correcto desempeño del sistema.

### **3.11 Condensación del refrigerante**

En la quinta etapa del proceso, el refrigerante sale del separador de aceite y se dirige al condensador. En este componente, y con la ayuda de un electroventilador, el refrigerante que se encuentra a alta presión y temperatura libera calor hacia el ambiente. Como consecuencia de este intercambio térmico, el refrigerante se condensa y pasa del estado gaseoso al líquido. Durante esta etapa se produce una disminución considerable de la temperatura y, aunque la presión se mantiene relativamente alta dentro del condensador, esta es menor en comparación con la registrada a la salida del compresor.

Respecto a las conexiones del sistema, el puerto de entrada del condensador se conecta al puerto de salida del separador de aceite, mientras que el puerto de salida del condensador se enlaza con el puerto de entrada del tanque o cilindro de recuperación.

### **3.12 Almacenamiento del Refrigerante**

En esta etapa final, el refrigerante que sale del condensador es conducido hacia el tanque de recuperación, donde ingresa en estado líquido. Dicho tanque cumple la función de almacenar temporalmente el refrigerante recuperado y facilita

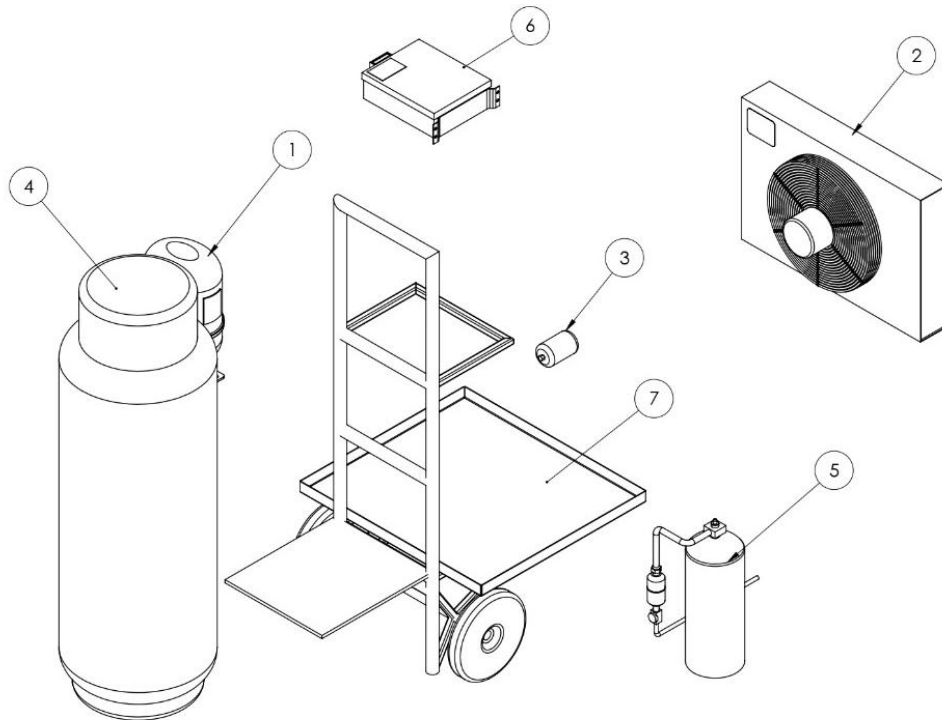
su manejo durante el proceso de carga. Mediante una válvula de paso, el refrigerante es dirigido hacia el equipo a través del conjunto de manómetros instalados en el panel de control, lo que permite supervisar las condiciones de operación durante el proceso.

### **3.13 Esquema Final del Equipo**

- 1) Compresor
- 2) Condensador
- 3) Filtro secador
- 4) Botella acumuladora de refrigerante
- 5) Acumulador de succión
- 6) Tablero eléctrico
- 7) Estructura general de soporte

### **Figura 19**

*Vista explosionada de la recuperadora de refrigerante.*



*Imagen de la vista explosionada de la recuperadora de refrigerante. Elaborada por el autor.*

### **3.14 Seguridad operativa del sistema**

La seguridad operativa del sistema fue un criterio fundamental durante el diseño.

Se consideraron aspectos como:

- Presiones máximas de operación, en baja (succión) 65Psi, en alta (descarga) de 220-300Psi, en reposo (apagado) 150-155Psi
- Uso de cilindros certificados.
- Válvulas de alivio y control.
- Protección del operador frente a fugas.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, el sistema permite reducir la liberación de gases con alto potencial de calentamiento global, promover la reutilización de refrigerantes y disminuir la demanda de nuevos insumos. Además, su diseño de bajo costo lo hace viable para su implementación en entornos educativos y talleres técnicos.



## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 4.1 Prueba de Operación y Funcionamiento del Equipo

#### 4.1.2 Prueba de funcionamiento

La fórmula de la capacidad de flujo de masa del compresor que está diseñado para R-22 es:

$$\dot{m} = Q / (h_1 - h_4)$$

Donde

$\dot{m}$  = flujo de masa

$Q$  = capacidad de refrigeración en Watios

$h_1$  = entalpia de entrada en Kj/kg

$h_4$  = entalpia de salida en Kj/kg

De acuerdo con el catálogo del compresor el modelo CAJ9510T trabajando a 60 Hz y R22 y un consumo de 10.32 A en funcionamiento se selecciona:

- Temperatura de condensación de 40°
- Temperatura de evaporación de 0°
- Capacidad de refrigeración  $Q = 2910 \text{ w}$  o  $2,91 \text{ kw}$

**Figura 20**  
*Datos técnicos del compresor CAJ9510T*

60 Hz R22											
4   T condensation	5   T évaporation	(°C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
40	1   P frigorifique	(W)	1059	1306	1614	1985	2416	2910	3465	4082	4760
	2   P absorbée	(W)	763	837	932	949	1007	1067	1128	1191	1255
	3   I absorbée	(A)	7.19	7.87	8.53	9.16	9.75	10.32	10.86	11.36	11.84
50	1   P frigorifique	(W)	788	1014	1294	1627	2015	2457	2963	3503	4107
	2   P absorbée	(W)	715	800	886	972	1060	1148	1238	1328	1419
	3   I absorbée	(A)	6.71	7.56	8.4	9.23	10.06	10.88	11.69	12.5	13.3
55	1   P frigorifique	(W)	645	862	1129	1446	1814	2232	2700	3218	3787
	2   P absorbée	(W)	685	785	886	988	1090	1192	1295	1399	1503
	3   I absorbée	(A)	6.48	7.4	8.34	9.27	10.21	11.16	12.11	13.07	14.02
60	1   P frigorifique	(W)	497	706	962	1264	1612	2007	2449	2937	3471
	2   P absorbée	(W)	653	769	885	1001	1118	1234	1351	1468	1585
	3   I absorbée	(A)	6.25	7.25	8.28	9.32	10.37	11.44	12.53	13.63	14.75

1 = refrigerating capacity    2 = watt input    3 = current    4 = condensing temperature    5 = evaporating temperature

*Datos técnicos de compresor CAJ9510T. Tomada de (Frigopack Inc., 2020)*

**Figura 21**

Tabla de temperatura y presión de los refrigerantes R11, R12 y R22

TEMPERATURA		R11	R12	R22
°F	°C			
-40	-40		11	0,5
-35	-37,22		8,4	2,6
-30	-34,45		5,5	4,9
-25	-31,67		2,3	7,4
-20	-28,89	27	0,6	10,1
-15	-26,11	26,5	2,4	13,2
-10	-23,33	26	4,5	16,5
-5	-20,55	25,4	6,7	20,1
0	-17,78	24,7	9,2	24
5	-15	23,9	11,8	28,2
10	-12,22	23,1	14,6	32,8
15	-9,45	22,1	17,7	37,7
20	-6,67	21,1	21	43
25	-3,89	19,9	24,6	48,8
30	-1,11	18,6	28,5	54,9
35	1,67	17,2	32,6	61,5
40	4,45	15,6	37	68,5
45	7,23	13,9	41,7	76
50	10	12	46,7	84
55	12,78	10	52	92,6
60	15,56	7,8	57,7	102
65	18,3	5,4	63,8	111
70	21,11	2,8	70,2	121
75	23,89	0	77	132
80	26,67	1,5	84,2	144
85	29,45	3,2	91,8	156
90	32,22	4,9	99,8	168
95	35	6,8	108	182
100	37,78	8,8	117	196
105	40,56	10,9	127	211

Imagen de la tabla de temperatura y presión de los Refrigerantes R11, R12 y R22. Tomada de (TORRINGTON, 2025)

Empleando la tabla de temperatura / presión del R-22

A 40° tiene 211 psig

A 1,67° tiene 61,5 psig

Transformando de psig a bar

Se obtiene

$$211 \text{ psig} = 14,54 \text{ bar}$$

$$61,5 \text{ psig} = 4,24 \text{ bar}$$

Utilizando el diagrama de Mollier para el r22 presión / entalpia:

$h_1$ : Entalpía del vapor a la entrada saturado [kJ/kg].

$h_4$ : Entalpía del líquido a la salida del condensador [kJ/kg].

**Figura 22**

Diagrama de Mollier para el R22

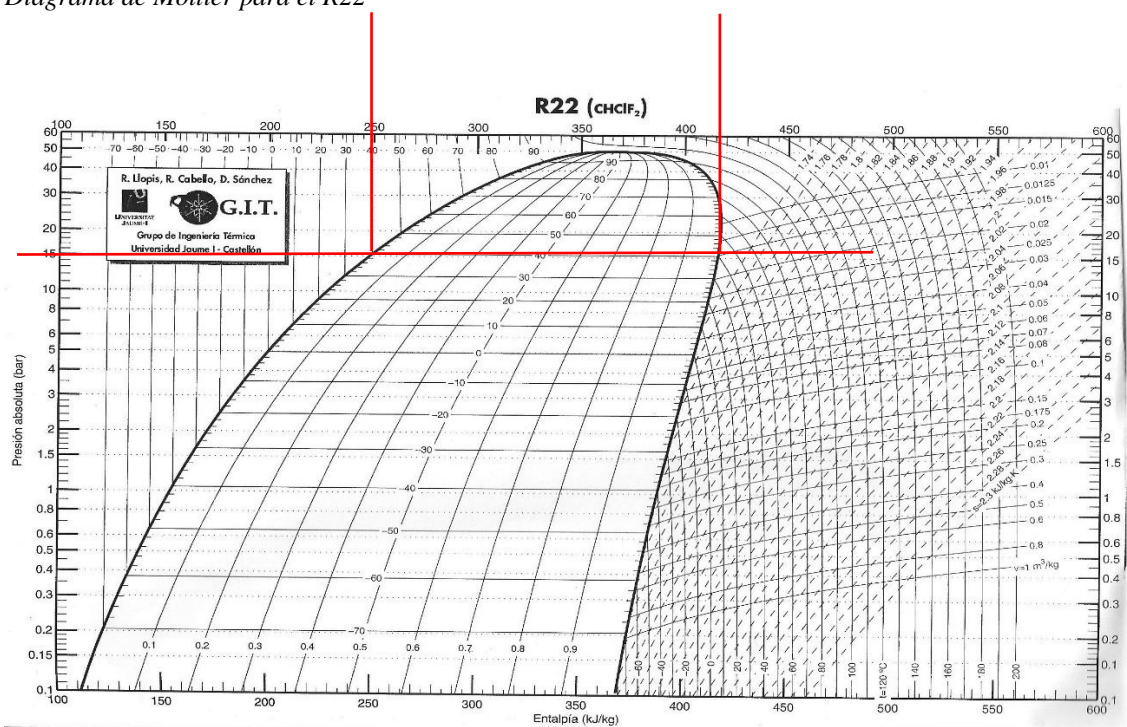


Diagrama de Mollier para el R22. Tomada de (Çengel & Boles, 2015)

$$\dot{m} = Q / (h_1 - h_4)$$

$$\dot{m} = (2,91 \text{ kJ/s}) / (416 \text{ kJ/kg} - 215 \text{ kJ/kg})$$

$$\dot{m} = 0.014 \text{ kg/s} = 0.014 * 3600 = 52.11 \text{ kg/h}$$

$t=m/m'$  donde m es la masa de refrigerante a recuperar

$$t=11\text{kg}/52.11\text{kg/s}$$

$$t=0.21\text{h}=0.21\text{h} \cdot 60\text{m/h}$$

$$t=12.66 \text{ minutos}$$

Para la prueba de utilizo una bombona de refrigerante de 24lb, por lo tanto, se demorará en recuperar el refrigerante 13 minutos.

#### 4.2 Resultados de la prueba de funcionamiento a diferentes cargas

**Tabla 1: Recuperación de refrigerante a diferentes cargas.**

CARGA		RECUPERACIÓN			
Refrigerante (lb)	Peso Inicial Tanque (lb)	Peso Final Tanque (lb)	Recuperado (lb)	Eficiencia de recuperación (%)	Tiempo (min)
1.2	27,6	26.4	1	83%	1,28
1.3	26.4	25.1	1.2	92%	1,26
1.4	25.1	23.7	1.3	93%	1,35

En la tabla presentada se evidencia que la eficiencia de recuperación se mantiene en un rango aproximado del 83 % al 93 % para las distintas cargas evaluadas. De manera general, se observa una tendencia de mejora en la eficiencia a medida que aumenta la cantidad de refrigerante, alcanzando valores cercanos al 93 % en la carga de 1,4 lb. Este comportamiento sugiere que el equipo presenta un desempeño más estable y eficiente cuando opera con cargas mayores, posiblemente asociado a una mayor estabilidad del proceso de recuperación

**Figura 23**  
*Peso inicial del cilindro.*



*Peso inicial antes del proceso de recuperación. Elaborado por el autor*

**Figura 24**  
*Peso inicial del cilindro*



*Peso inicial antes del proceso de recuperación. Elaborado por el autor*

### **Figura 25**

*Peso final después del proceso de recuperación.*



*Peso final después del proceso de recuperación. Elaborado por el autor*

### **Figura 26**

*Peso final después del proceso de recuperación.*



*Peso final después del proceso de recuperación. Elaborado por el autor*

## **4.3 Recuperación del refrigerante**

En primer lugar, asegúrese de que el equipo recuperador se encuentre apagado. Posteriormente, conéctelo a la red eléctrica de 220 V AC, verificando que la alimentación sea estable y adecuada para su operación.

A continuación, conecte la manguera de color amarillo desde el conjunto de manómetros del equipo recuperador hasta la válvula de servicio correspondiente, procurando que la conexión quede correctamente ajustada para evitar fugas durante el proceso.

**Figura 27**

*Conexión de la manguera de válvula de entrada*



*Elaborado por el autor*

Una vez realizadas las conexiones iniciales, abra los manómetros de alta y baja presión ubicados en el panel de control del equipo, y verifique las presiones del sistema de aire acondicionado del vehículo antes de iniciar el proceso de recuperación.

Seguidamente, purgue la manguera durante unos breves segundos con el fin de eliminar aire u otros contaminantes presentes en la línea.

A continuación, abra la válvula N.º 3 del equipo recuperador de refrigerante.

Posteriormente, inicie el proceso de recuperación accionando el interruptor de encendido del panel de control, colocándolo en la posición ON.

Durante la operación, el equipo recuperará el refrigerante y lo almacenará en el tanque interno o en el cilindro de recuperación extraíble, siempre que la válvula N.º 7 del cilindro se encuentre abierta junto con la válvula N.º 3 del equipo.

Verifique que tanto el manómetro de alta presión como el de baja presión indiquen un valor de 0 psi, lo cual confirmará que el proceso de recuperación ha finalizado. Una vez alcanzada esta condición, cierre los manómetros de alta y baja presión.

Tras transcurrir unos breves segundos luego del cierre de los manómetros, el equipo se detendrá automáticamente y se encenderá la luz piloto, indicando el fin del proceso de recuperación.

Finalmente, cierre la válvula de servicio y proceda a desconectar las mangueras del sistema. Para concluir, accione el interruptor de encendido y colóquelo en la posición de apagado del compresor.

### **Figura 28**

*Prueba del sistema de recuperación de refrigerante*



*Prueba del sistema de refrigeración. Elaborado por el autor.*

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Conclusiones

- Tras la inspección realizada en el taller de refrigeración de la carrera de Ingeniería Marítima, se evidenció que este no dispone de un equipo recuperador de refrigerante ni de una normativa específica para el manejo seguro de sistemas de refrigeración que emplean refrigerantes tipo HFC. No obstante, el taller cuenta con la ventaja de disponer de varios equipos operativos, los cuales pueden ser utilizados para la capacitación práctica de los estudiantes y para fomentar una cultura de manejo responsable de refrigerantes HFC, orientada a la protección del medio ambiente.
- El equipo recuperador construido incorpora un filtro secador, cuya función es eliminar la humedad y la acidez presentes en el refrigerante, así como un separador de aceite que evita que el aceite arrastrado por el refrigerante HFC recuperado ingrese al cilindro de almacenamiento, previniendo su contaminación. De esta manera, se reduce el impacto ambiental y se genera un ahorro significativo al permitir la reutilización del refrigerante recuperado.
- Para la fabricación de la estructura base del equipo se empleó el proceso de soldadura por arco eléctrico, el cual garantiza uniones robustas y de alta resistencia mecánica. De forma complementaria, se utilizó soldadura autógena con varilla de plata en las uniones de las tuberías correspondientes a las líneas de alta y baja presión, logrando conexiones herméticas y seguras.

- La verificación del funcionamiento del equipo, realizada mediante la prueba de recuperación, arrojó un flujo másico 52,11 kg/h y una eficiencia del 89 %. Estos resultados demuestran que el equipo recuperador constituye una herramienta estratégica para el desarrollo de las clases teóricas y prácticas en el taller de refrigeración, fortaleciendo el proceso de enseñanza–aprendizaje.

### **Recomendaciones**

- A partir del desarrollo del presente trabajo, se considera conveniente plantear mejoras futuras al equipo recuperador, orientadas a ampliar sus funciones hacia la regeneración o reciclaje del refrigerante. Esto podría lograrse mediante la incorporación de etapas adicionales de filtrado, lo que permitiría mejorar la calidad del refrigerante recuperado y ampliar su aprovechamiento.
- Asimismo, se destaca la importancia de establecer convenios de cooperación interinstitucional con el Instituto Técnico Luis Arboleda Martínez, ya que esta colaboración permitiría a los estudiantes acceder a laboratorios y bancos de prueba más completos, fortaleciendo su formación práctica. Además, considerando que dicha institución dispone de un regenerador de refrigerante, esta alianza facilitaría un manejo responsable del refrigerante HFC una vez que el tanque de almacenamiento de 239 litros del equipo recuperador alcance su capacidad máxima.
- Por otra parte, se considera necesario continuar optimizando el sistema de recuperación mediante la incorporación de filtros adicionales, como filtros de piedra y de papel, que permitan una limpieza más eficiente del refrigerante HFC recuperado, asegurando su utilidad y confiabilidad en aplicaciones posteriores.

- Finalmente, se concluye que resulta fundamental diseñar e implementar un plan de manejo responsable de los refrigerantes HFC utilizados en las prácticas de refrigeración del taller. Dicho plan debería contemplar su correcto envasado, transporte y posterior regeneración o disposición final, según corresponda, en coordinación con el Instituto Técnico Luis Arboleda Martínez como entidad competente en la provincia.

## BIBLIOGRAFÍA

- (UNDP), U. N. (01 de Enero de 2019). *Kigali Amendment to the Montreal Protocol – phase-down of HFCs*. Obtenido de [https://www.undp.org/chemicals-waste/conventions/kigali-amendment?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.undp.org/chemicals-waste/conventions/kigali-amendment?utm_source=chatgpt.com)
- (UNEP), U. N. (1989). *Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*. Obtenido de <https://ozone.unep.org/>
- Agency, E. P. (2020). Obtenido de Refrigerant management and recovery practices.: <https://www.epa.gov/section608>
- Agency, E. P. (15 de Febrero de 2020). *Section 608 Refrigerant Management Regulations*. Obtenido de <https://www.epa.gov/section608>
- ASHRAE. (2018). *Refrigeration. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. Obtenido de <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook>
- Çengel, Y., & Boles, M. (2015). *Thermodynamics: An Engineering Approach (8th ed.)*. McGraw-Hill.
- Copper group Inc. (26 de Diciembre de 2020). *Cilindro de recuperación*. Obtenido de <https://esa.coppergroupint.com/producto/cilindro-de-recuperacion-worthington-50lbs/>
- E., S. (29 de Enero de 2020). *Recuperación, reciclado y regeneración de refrigerantes*. Obtenido de ACR Latinoamérica: <https://revistaacr.com/>
- Ecuador, A. N. (2023). *Registro Oficial No. 257*. Obtenido de Normativa ambiental y disposiciones del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.

- Environmental Protection Agency. (2020). *Refrigerant recovery requirements*.
- Frigopack Inc. (15 de Enero de 2020). *quipos de frio, compresores y componentes para una refrigeración industrial sostenible*. Obtenido de <https://www.frigopack.com/articulo/4358/compresor-hermetico-tecumseh-caj9510t-de-3-4cv.html>
- Inverprimos SAS. (29 de abril de 2021). *Equipos y repuestos para la industria de la Refrigeración, Aire Acondicionado, Ventilación y Línea Blanca*. Obtenido de [https://iprpartesyrepuestos.com/producto/condensadoras/?srsltid=AfmBOoq2DIIt-QMQkyU0BvbGaJF\\_dsCTxx3dwBjm-u2cOvATLGXq\\_N5OW](https://iprpartesyrepuestos.com/producto/condensadoras/?srsltid=AfmBOoq2DIIt-QMQkyU0BvbGaJF_dsCTxx3dwBjm-u2cOvATLGXq_N5OW)
- M., C. J. (2008). *The next generation of refrigerants*. *International Journal of Refrigeration*.
- Montreal, P. d. (03 de 03 de 2023). *El Reglamento Técnico Ambiental MA-VG-RT-001-2023*. Obtenido de [https://ambiente.gob.do/wp/wp-admin/admin-ajax.php?juwpfisadmin=false&action=wpfd&task=file.download&wpfd\\_categoria\\_id=707&wpfd\\_file\\_id=46187&token=&preview=1](https://ambiente.gob.do/wp/wp-admin/admin-ajax.php?juwpfisadmin=false&action=wpfd&task=file.download&wpfd_categoria_id=707&wpfd_file_id=46187&token=&preview=1)
- Programme, U. N. (1987). *Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*. Obtenido de <https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol>
- Refrigeración Gomez. (30 de Octubre de 2017). *Válvula de refrigeración Rotalock*. Obtenido de <https://www.refrigeraciongomez.com/productos/valvula-de-refrigeracion-rotalock/>
- Revista Cero Grados. (13 de Agosto de 2013). *Manómetro, ¿Cómo funciona?* Obtenido de <https://0grados.com/manometro/>

Shaping Tomorrow's Global Built Environment Today. (29 de Abril de 2019).

*Designation and Safety Classification of Refrigerants*. Obtenido de <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/standards-addenda>

Smart Electric S.A.S. (20 de Junio de 2016). *FILTROS SECADORES DE LÍNEA DE*

*LÍQUIDO - SAE (pulg.) 1/2 FLARE*. Obtenido de <https://smartelectricusa.com/es-int/products/refrigeration-products-liquid-line-filter-driers-1-2-flare>

Stoecker, W., & Jones, J. (1982). *Refrigeration and Air Conditioning*. McGraw-Hill.

Tecumseh Products Company. (2020). *Tecumseh Products Company*. Obtenido de

Refrigeration compressor application guide.: <https://www.tecumseh.com/>

United Nations Environment Programme. (1987). *Montreal Protocol on Substances that*

*Deplete the Ozone Layer*. Obtenido de <https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol>

# ANEXOS

## TABLA DE REFRIGERANTES; TEMPERATURA VS PRESIÓN

TEMPERATURA		R11	R12	R22	R113	R114	R123
°F	°C						
-40	-40		11	0,5			
-35	-37,22		8,4	2,6			
-30	-34,45		5,5	4,9			
-25	-31,67		2,3	7,4			
-20	-28,89	27	0,6	10,1	29,1	22,9	27,8
-15	-26,11	26,5	2,4	13,2	28,9	21,8	27,4
-10	-23,33	26	4,5	16,5	28,7	20,6	26,9
-5	-20,55	25,4	6,7	20,1	28,5	19,3	26,4
0	-17,78	24,7	9,2	24	28,2	17,8	25,9
5	-15	23,9	11,8	28,2	27,9	16,2	25,2
10	-12,22	23,1	14,6	32,8	27,6	14,4	24,5
15	-9,45	22,1	17,7	37,7	27,2	12,4	23,8
20	-6,67	21,1	21	43	26,8	10,2	22,8
25	-3,89	19,9	24,6	48,8	26,3	7,8	21,8
30	-1,11	18,6	28,5	54,9	25,8	5,2	20,7
35	1,67	17,2	32,6	61,5	25,2	2,3	19,5
40	4,45	15,6	37	68,5	24,5	0,4	18,1
45	7,23	13,9	41,7	76	23,8	2	16,6
50	10	12	46,7	84	22,9	3,8	14,9
55	12,78	10	52	92,6	22,2	5,8	13
60	15,56	7,8	57,7	102	21	7,9	11,2
65	18,3	5,4	63,8	111	19,9	10,1	8,9
70	21,11	2,8	70,2	121	18,7	12,6	6,5
75	23,89	0	77	132	17,3	15,2	4,1
80	26,67	1,5	84,2	144	15,9	18	1,2
85	29,45	3,2	91,8	156	14,3	20,9	0,9
90	32,22	4,9	99,8	168	12,5	24,1	2,5
95	35	6,8	108	182	10,6	27,5	4,3
100	37,78	8,8	117	196	8,6	31,2	6,1
105	40,56	10,9	127	211	6,4	35	8,1
110	43,33	13,2	136	226	4	39,1	10,3
115	46,11	15,6	147	243	1,4	43,4	12,6
120	48,89	18,2	158	260	0,7	48	15,1
125	51,67	21	169	278	2,2	52,8	17,8
130	54,45	24	181	297	3,7	58	20,6
135	57,22	27,1	194	317	5,4	63,4	23,6
140	60	30,4	207	337	7,2	69,1	26,8
145	62,78	34	220	359	9,2	75,1	30,2
150	65,56	37,7	234	382	11,2	81,4	33,9

# ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL COMPRESOR DE LA RECUPERADORA

Compresseur / Compressor  
Code tension / Voltage code : A

## CAJ9510T

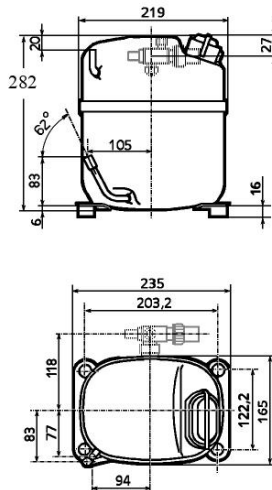
Froid commercial et industriel positif (MHP)  
Commercial & industrial applications (MHBP)

100-115 V / 50-60 Hz - 1~

R22

N° 234ET-A - ind d

Conditions <i>Conditions</i>	fréquence <i>frequency</i>	Prod frigorifique nominale / <i>nominal refrigerating capacity</i>			Puis. sonore <i>Sound level</i>
		Watts	Kcal/h	BTU/h	
Standard	50 Hz	2509	2158	8556	ISO 3745 / ISO 3743-1
Standard	60 Hz	2948	2535	10053	
Cecomaf	50 Hz	2238			66 dBA
Cecomaf	60 Hz	2634			



**Cylindrée / Displacement :** 18.3 cm<sup>3</sup>  
**Poids net / Net weight :** 22.2 Kg  
**Charge en huile / Oil charge :** 887 cm<sup>3</sup>  
**Type d'huile / Oil type :** Alkylbenzène /  
**Détente / Expansion device :** Capillaire/Détendeur  
*Capillary/Exp<sup>o</sup> valve*  
**Refroidissement / Cooling :** Ventilé / *Forced*

**Résistance à 20° C / Windings resistances at 20° C**  
 Phase princ. / *Main Winding :* 0.5 Ohms  
 aux. / *Auxiliary Winding :* 2.6 Ohms

**Intensité / Current**  
 nom. / *Rated current RLA :* 11.6 / 12.3 A  
 max. / *Max current :* 15 / 16 A  
 dém. / *Start current LRA :* 62 / 64 A

**Ap. Electrique / Electrical equipment :** CSR

**Protecteur / Overload :** CRA38009  
 Temporisation / *Time check :* 2.8s - 5.2s / 53 A  
 T° ouverture / *Opening temp. :* 135° C  
 fermeture / *Closing temp. :* 61° C  
 Option / *optional :* GA3PJU00

**Relais potentiel / Potential relay :** RVA2C\*\*  
 enclenchement / *Pick up :* 140/153V  
 déclenchement / *Drop out :* 40/90V  
 Option / *optional :* 3ARR3\*3AL\*

**Condensateur dém. / Start capacitor :** 250 µF / 160 V  
**Condensateur Perm. / Run capacitor :** 30 µF / 400 V

\*A partir de Juin 1998, la désignation du protecteur peut être :  
 From June 1998, the overload protector designation can be :  
 CRA38009

Pour conduites Ø ext / *For tubing O.D.*

Aspiration <i>Suction</i>	Refolement <i>Discharge</i>	Charge <i>Process</i>
15.9 (5/8")	7.9 (5/16")	6.35 (1/4")

Les caractéristiques données dans cette fiche technique peuvent évoluer sans avis préalable, avec les améliorations que 'TECUMSEH EUROPE' entend toujours apporter à sa production.  
 'TECUMSEH EUROPE' in a constant endeavour to improve its products reserves the right to change any information contained in this leaflet without prior warning.



L'UNITE  
HERMETIQUE



Tecumseh

<b>CAJ9510T</b>	<b>Tension A : 100V 1~ 50 Hz / 115V 1~ 60 Hz</b>	<b>R22</b>	<b>N°234ET-A</b>	<b>Ind d</b>
-----------------	--	------------	------------------	--------------

Les performances sont données dans les **conditions Standard TE** :  
 Surchauffe : 11°K  
 Sous refroidissement : 8.3°K

The performance data are in **Standard TE conditions** :  
 Superheat : 11°K  
 Subcooling : 8.3°K

### 50 Hz R22

4   T condensation	5   T évaporation	(°C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
<b>40</b>	1   P frigorifique	(W)	884	1091	1352	1668	2039	2464	2944	3479	4068
	2   P absorbée	(W)	646	686	728	772	817	864	912	962	1014
	3   I absorbée	(A)	8.22	8.63	9.03	9.42	9.8	10.17	10.53	10.88	11.21
<b>50</b>	1   P frigorifique	(W)	658	847	1083	1368	1701	2081	2509	2985	3509
	2   P absorbée	(W)	590	656	723	791	860	930	1001	1073	1146
	3   I absorbée	(A)	7.68	8.28	8.89	9.49	10.11	10.72	11.34	11.96	12.58
<b>55</b>	1   P frigorifique	(W)	538	720	946	1216	1531	1890	2294	2743	3236
	2   P absorbée	(W)	565	644	724	804	885	966	1048	1130	1214
	3   I absorbée	(A)	7.42	8.11	8.82	9.54	10.26	11	11.74	12.5	13.27
<b>60</b>	1   P frigorifique	(W)	414	589	805	1062	1361	1700	2081	2503	2966
	2   P absorbée	(W)	540	631	723	815	908	1000	1093	1186	1280
	3   I absorbée	(A)	7.16	7.95	8.75	9.58	10.42	11.28	12.15	13.04	13.95

### 60 Hz R22

4   T condensation	5   T évaporation	(°C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
<b>40</b>	1   P frigorifique	(W)	1059	1306	1614	1985	2416	2910	3465	4082	4760
	2   P absorbée	(W)	783	837	892	949	1007	1067	1128	1191	1255
	3   I absorbée	(A)	7.19	7.87	8.53	9.16	9.75	10.32	10.86	11.36	11.84
<b>50</b>	1   P frigorifique	(W)	788	1014	1294	1627	2015	2457	2953	3503	4107
	2   P absorbée	(W)	715	800	886	972	1060	1148	1238	1328	1419
	3   I absorbée	(A)	6.71	7.56	8.4	9.23	10.06	10.88	11.69	12.5	13.3
<b>55</b>	1   P frigorifique	(W)	645	862	1129	1446	1814	2232	2700	3218	3787
	2   P absorbée	(W)	685	785	886	988	1090	1192	1295	1399	1503
	3   I absorbée	(A)	6.48	7.4	8.34	9.27	10.21	11.16	12.11	13.07	14.02
<b>60</b>	1   P frigorifique	(W)	497	706	962	1264	1612	2007	2449	2937	3471
	2   P absorbée	(W)	653	769	885	1001	1118	1234	1351	1468	1585
	3   I absorbée	(A)	6.25	7.25	8.28	9.32	10.37	11.44	12.53	13.63	14.75

1 = refrigerating capacity    2 = watt input    3 = current    4 = condensing temperature    5 = evaporating temperature

Nota : Les caractéristiques données dans cette fiche technique peuvent évoluer sans avis préalable, avec les améliorations que "TECUMSEH EUROPE" entend toujours apporter à sa production.

Note : "TECUMSEH EUROPE", in a constant endeavour to improve its products reserves the right to change any information contained in this leaflet without prior warning.

**TABLA DE TEMPERATURA, PROPIEDADES DE SATURACION DEL R22**

Temp °C	Pressure [kPa]	Volume [m <sup>3</sup> /kg]		Density [kg/m <sup>3</sup> ]		Enthalpy [kJ/kg]			Entropy [kJ/K-kg]		Temp °C
		Liquid v <sub>f</sub>	Vapour v <sub>g</sub>	Liquid d <sub>f</sub>	Vapour d <sub>g</sub>	Liquid H <sub>f</sub>	Latent H <sub>fg</sub>	Vapour H <sub>g</sub>	Liquid S <sub>f</sub>	Vapour S <sub>g</sub>	
8	640.9	0.0008	0.0368	1254.0	27.150	209.5	198.4	407.9	1.034	1.739	8
9	660.7	0.0008	0.0358	1250.0	27.970	210.7	197.5	408.2	1.038	1.738	9
10	680.9	0.0008	0.0347	1247.0	28.820	211.9	196.7	408.6	1.042	1.737	10
11	701.7	0.0008	0.0337	1243.0	29.690	213.1	195.8	408.9	1.046	1.735	11
12	722.9	0.0008	0.0327	1239.0	30.570	214.3	194.9	409.2	1.051	1.734	12
13	744.5	0.0008	0.0318	1236.0	31.480	215.5	194.0	409.5	1.055	1.733	13
14	766.7	0.0008	0.0309	1232.0	32.410	216.7	193.2	409.9	1.059	1.732	14
15	789.3	0.0008	0.0300	1229.0	33.360	217.9	192.3	410.2	1.063	1.730	15
16	812.4	0.0008	0.0291	1225.0	34.340	219.1	191.4	410.5	1.067	1.729	16
17	836.1	0.0008	0.0283	1221.0	35.340	220.4	190.4	410.8	1.071	1.728	17
18	860.2	0.0008	0.0275	1217.0	36.360	221.6	189.5	411.1	1.076	1.726	18
19	884.8	0.0008	0.0267	1214.0	37.410	222.8	188.6	411.4	1.080	1.725	19
20	910.0	0.0008	0.0260	1210.0	38.480	224.1	187.6	411.7	1.084	1.724	20
21	935.7	0.0008	0.0253	1206.0	39.570	225.3	186.6	411.9	1.088	1.722	21
22	961.9	0.0008	0.0246	1202.0	40.700	226.5	185.7	412.2	1.092	1.721	22
23	988.7	0.0008	0.0239	1198.0	41.850	227.8	184.7	412.5	1.096	1.720	23
24	1016.0	0.0008	0.0232	1195.0	43.030	229.0	183.8	412.8	1.100	1.719	24
25	1044.0	0.0008	0.0226	1191.0	44.230	230.3	182.7	413.0	1.105	1.717	25
26	1072.0	0.0008	0.0220	1187.0	45.470	231.5	181.8	413.3	1.109	1.716	26
27	1101.0	0.0009	0.0214	1183.0	46.730	232.8	180.7	413.5	1.113	1.715	27
28	1131.0	0.0009	0.0208	1179.0	48.020	234.1	179.7	413.8	1.117	1.714	28
29	1161.0	0.0009	0.0203	1175.0	49.350	235.3	178.7	414.0	1.121	1.712	29
30	1192.0	0.0009	0.0197	1171.0	50.700	236.6	177.7	414.3	1.125	1.711	30
31	1223.0	0.0009	0.0192	1167.0	52.090	237.9	176.6	414.5	1.129	1.710	31
32	1255.0	0.0009	0.0187	1163.0	53.520	239.2	175.5	414.7	1.133	1.709	32
33	1288.0	0.0009	0.0182	1158.0	54.970	240.5	174.4	414.9	1.138	1.707	33
34	1321.0	0.0009	0.0177	1154.0	56.460	241.8	173.3	415.1	1.142	1.706	34
35	1355.0	0.0009	0.0172	1150.0	57.990	243.1	172.2	415.3	1.146	1.705	35
36	1389.0	0.0009	0.0168	1146.0	59.550	244.4	171.1	415.5	1.150	1.704	36
37	1424.0	0.0009	0.0164	1142.0	61.150	245.7	170.0	415.7	1.154	1.702	37
38	1460.0	0.0009	0.0159	1137.0	62.790	247.0	168.9	415.9	1.158	1.701	38
39	1497.0	0.0009	0.0155	1133.0	64.470	248.3	167.8	416.1	1.162	1.700	39
40	1534.0	0.0009	0.0151	1129.0	66.190	249.6	166.6	416.2	1.166	1.698	40
41	1571.0	0.0009	0.0147	1124.0	67.960	251.0	165.4	416.4	1.171	1.697	41
42	1610.0	0.0009	0.0143	1120.0	69.760	252.3	164.3	416.6	1.175	1.696	42
43	1649.0	0.0009	0.0140	1115.0	71.610	253.7	163.0	416.7	1.179	1.695	43
44	1689.0	0.0009	0.0136	1111.0	73.510	255.0	161.8	416.8	1.183	1.693	44
45	1729.0	0.0009	0.0133	1106.0	75.460	256.4	160.6	417.0	1.187	1.692	45
46	1770.0	0.0009	0.0129	1101.0	77.450	257.7	159.4	417.1	1.191	1.691	46
47	1812.0	0.0009	0.0126	1097.0	79.500	259.1	158.1	417.2	1.196	1.689	47
48	1855.0	0.0009	0.0123	1092.0	81.590	260.5	156.8	417.3	1.200	1.688	48
49	1899.0	0.0009	0.0119	1087.0	83.740	261.9	155.5	417.4	1.204	1.687	49
50	1943.0	0.0009	0.0116	1082.0	85.950	263.2	154.2	417.4	1.208	1.685	50
51	1988.0	0.0009	0.0113	1077.0	88.220	264.6	152.9	417.5	1.212	1.684	51
52	2033.0	0.0009	0.0110	1072.0	90.540	266.0	151.6	417.6	1.216	1.682	52
53	2080.0	0.0009	0.0108	1067.0	92.930	267.5	150.1	417.6	1.221	1.681	53
54	2127.0	0.0009	0.0105	1062.0	95.380	268.9	148.7	417.6	1.225	1.680	54
55	2175.0	0.0010	0.0102	1057.0	97.900	270.3	147.4	417.7	1.229	1.678	55
56	2224.0	0.0010	0.0100	1052.0	100.500	271.8	145.9	417.7	1.233	1.677	56
57	2274.0	0.0010	0.0097	1047.0	103.100	273.2	144.5	417.7	1.238	1.675	57
58	2324.0	0.0010	0.0094	1041.0	105.900	274.7	142.9	417.6	1.242	1.674	58
59	2375.0	0.0010	0.0092	1036.0	108.700	276.1	141.5	417.6	1.246	1.672	59
60	2427.0	0.0010	0.0090	1030.0	111.600	277.6	139.9	417.5	1.250	1.670	60
61	2480.0	0.0010	0.0087	1025.0	114.600	279.1	138.4	417.5	1.255	1.669	61

# GUÍA RÁPIDA PARA LA REVISIÓN DE SAO y HFC

## GUÍA RÁPIDA PARA LA REVISIÓN DE SAO y HFC (actualizado junio 2023)

### Las sustancias mas comunes que agotan la capa de ozono (SAO)

NOMBRE/GRUPO	Nombre químico	Fórmula	# ASHRAE solo para refrigerantes	Grupo de seguridad ASHRAE1	# CAS <sup>2</sup>	# NU <sup>3</sup>	Código arancelario desde el 01/09/2023	Código arancelario hasta el 31/08/2023
<b>Anexo A, Grupo I (CFC)</b>								
CFC-11	Triclorofluorometano	CFC1 <sub>3</sub>	R-11	A1	75-69-4	1017	2903.77	2903.77
CFC-12	Diclorodifluorometano	CFC <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	R-12	A1	75-71-8	1028	2903.77	2903.77
CFC-113	Triclorotrifluoroetano	C <sub>2</sub> F <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	R-113	A1	76-13-1	---	2903.77	2903.77
CFC-114	Diclorotetrafluoroetano	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	R-114	A1	76-14-2	1958	2903.77	2903.77
CFC-115	Cloropentafluoroetano	CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	R-115	A1	76-15-3	1020	2903.77	2903.77
<b>Anexo A, Grupo II (Halones)</b>								
Halon-1211	Bromoclorodifluorometano	CF <sub>2</sub> BrCl	R-12B1	---	353-59-3	1974	2903.76	2903.76
Halon-1301	Bromotrifluorometano	CF <sub>3</sub> Br	R-13B1	A1	75-63-8	1009	2903.76	2903.76
Halon-2402	Dibromotetrafluoroetano	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Br <sub>2</sub>	---	---	124-73-2	---	2903.76	2903.76
<b>Anexo B, Grupo I (Otros CFC) (lista no exhaustiva)</b>								
CFC-13	Clorotrifluorometano	CF <sub>3</sub> Cl	R-13	A1	75-72-9	1022	2309.77	2309.77
<b>Anexo B, Grupo II</b>								
Tetraclorometano o tetracloruro de carbono	CCl <sub>4</sub>	---	---	---	56-23-5	1864	2903.14	2903.14
<b>Anexo B, Grupo III</b>								
1,1,1 - tricloroetano o metilcloroformo	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	---	---	---	71-55-6	2831	2903.19	2903.19
<b>Anexo C, Grupo I (HCFC) (lista no exhaustiva)</b>								
HCHC-22	Clorodifluorometano	CHF <sub>2</sub> Cl	R-22	A1	75-45-6	1018	2903.71	2903.71
HCFC-123	2,2-dicloro-1,1,1-trifluoroetano	C <sub>2</sub> HF <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub>	R-123	B1	306-83-2	---	2903.72	2903.72
HCFC-124	2-cloro-1,1,1,2-tetrafluoroetano	C <sub>2</sub> HF <sub>4</sub> Cl	R-124	A1	2837-89-0	1021	2903.79	2903.79
HCFC-141b	1,1-dicloro-1-fluoroetano	CH <sub>2</sub> CFCl <sub>2</sub>	R-141b	---	1717-00-6	---	2903.73	2903.73
HCFC-142b	1-cloro-1,1-difluoroetano	CH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> Cl	R-142b	A2	75-68-3	2517	2903.74	2903.74
HCFC-225ca	3,3-Dicloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropano	C <sub>3</sub> HFCl <sub>2</sub>	---	---	422-56-0	---	2903.75	2903.75
<b>Anexo C, Grupo II (HBFC) (lista no exhaustiva)</b>								
HBFC-22B1	Bromodifluorometano	CHF <sub>2</sub> Br	---	---	1511-62-2	---	2903.79	2903.79
<b>Anexo C, Grupo III</b>								
Bromoclorometano	CH <sub>2</sub> BrCl	---	---	---	74-97-5	1887	2903.79	2903.79
<b>Anexo E, Grupo I</b>								
Bromuro de metilo (Bromometano)	CH <sub>3</sub> Br	---	---	---	74-83-9	1062	2903.61	2903.39
<b>Algunas mezclas refrigerantes que contienen SAO (lista no exhaustiva)</b>								
R-500 [R-12=73.8%; R-152a=26.2%]			R-500	A1	**	2602	3827.11	3824.71
R-502 [R-22=48.8%; R-115=51.2%]			R-502	A1	**	1973	3827.11	3824.71
R-401A [R-22=53.0%; R-152a=13.0%; R-124=34.0%]			R-401A	A1	**	---	3827.32	3824.74
R-406A [R-22=55.0%; R-600a=4.0%; R-142b=41.0%]			R-406A	A2	**	---	3827.32	3824.74
R-408A [R-125=7.0%; R-143a=46.0%; R-22=47.0%]			R-408A	A1	**	---	3827.31	3824.74
R-409A [R-22=60.0%; R-124=25.0%; R-142b=15.0%]			R-409A	A1	**	---	3827.32	3824.74
R-415B [R-22=25.0%; R-152a=75.0%]			R-415B	A2	**	---	3827.31	3824.74
R-418A [R-290=1.5%; R-22=96.0%; R-152a=2.5%]			R-418A	A2	**	---	3827.31	3824.74

### Algunas sustancias que no agotan la capa de ozono<sup>4</sup>

NOMBRE/GRUPO	Nombre químico	Fórmula	# ASHRAE solo para refrigerantes	Grupo de seguridad ASHRAE1	# CAS <sup>2</sup>	# NU <sup>3</sup>	Código arancelario desde el 01/09/2023	Código arancelario hasta el 31/08/2023
<b>Anexo F (Hidrofluorocarbonos o HFC) (lista no exhaustiva)</b>								
HFC-23	Trifluorometano	CHF <sub>3</sub>	R-23	A1	75-46-7	1984	2903.41	2903.39.20
HFC-32	Difluorometano	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	R-32	A2L	75-10-5	3252	2903.42	2903.39.21
HFC-125	Pentafluoroetano	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	R-125	A1	354-33-6	3220	2903.44	2903.39.26
HFC-134a	1,1,1,2-tetrafluoroetano	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	R-134a	A1	811-97-2	3159	2903.45	2903.39.25
HFC-152a	1,1-difluoroetano	CHF <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	R-152a	A2	75-37-6	1030	2903.43	2903.39.23
HFC-143a	1,1,1-trifluoroetano	CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	R-143a	A2L	420-46-2	2035	2903.44	2903.39.24
HFC-245fa	1,1,1,3,3-pentafluoropropano	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	R-245fa	B1	460-73-1	---	2903.47	2903.39.90

### Mezclas de HFC (lista no exhaustiva)

R-404A [R-125=44.0%; R-143a=52.0%; R-134a=4.0%]	✓	R-404A	A1	**	3337	3827.61	3824.78
R-407A [R-32=20.0%; R-125=40.0%; R-134a=40.0%]	✓	R-407A	A1	**	3338	3827.63	3824.78
R-407C [R-32=23.0%; R-125=25.0%; R-134a=52.0%]	✓	R-407C	A1	**	3340	3827.64	3824.78
R-410A [R-32=50.0%; R-125=50.0%]	✓	R-410A	A1	**	---	3827.63	3824.78
R-507 [R-125=50.0%; R-143a=50.0%]	✓	R-507	A1	**	---	3827.61	3824.78
R-508B [R-23=46.0%; R-116=54.0%]	✓	R-508B	A1	**	---	3827.51	3824.78

### Compuestos orgánicos insaturados (lista no exhaustiva)

HFO-1234yf	✓	2,3,3,3-tetrafluoro-1-propeno	CF <sub>3</sub> CF=CH <sub>2</sub> O	R-1234yf	A2L	754-12-1	---	2903.51	2903.39
HFO-1234ze(E)	✓	trans-1,3,3,3-tetrafluoro-1-propeno	CF <sub>3</sub> CH=CHF	R-1234ze(E)	A2L	29118-24-9	---	2903.51	2903.39
HFO-1336mzz(Z)	✓	cis-1,1,1,4,4,4-hexafluoro-2-buteno	CF <sub>3</sub> CH=CHCF <sub>3</sub> T	R-1336mzz(Z)	A1	407-60-3	---	2903.51	2903.39

### Refrigerantes libres de halógenos (lista no exhaustiva)

Amoníaco	✓	NH <sub>3</sub>	R-717	B2L	7664-41-7	1005	2814.10	2814.10
Dióxido de carbono	✓	CO <sub>2</sub>	R-744	A1	124-38-9	1013	2811.21	2811.21
Butano	✓	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	R-600	A3	106-97-8	1011	2901.10*	2901.10*
Isobutano	✓	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	R-600a	A3	75-28-5	1969	2901.10*	2901.10*
Propano	✓	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	R-290	A3	74-98-6	1978	2711.12	2711.12

\* El Código SA se aplica únicamente si la concentración de butano o de isobutano es mayor a 95%. De lo contrario la sustancia debe ser clasificada en la provisión específico de la Subpartida 2711.1300 para 'Butanos'.

#### 1- Grupos de seguridad según norma ASHRAE 34-2022 (ASHRAE: American Society for Heating Refrigeration & Air-conditioning Engineers):

A1	Baja toxicidad y no inflamable	B1	Alta toxicidad y no inflamable
A2L	Baja toxicidad y baja inflamabilidad	B2L	Alta toxicidad y baja inflamabilidad
A2	Baja toxicidad e inflamabilidad	B2	Alta toxicidad e inflamabilidad
A3	Baja toxicidad y alta inflamabilidad	B3	Alta toxicidad y alta inflamabilidad

2 - # CAS: Número del Chemical Abstract Service / \*\* En las mezclas se usa el número CAS correspondiente a cada uno de sus componentes.

3 - #NU: Número Naciones Unidas para mercancías peligrosas en el transporte / Cuando no tiene asignado código se emplea el código "1078" correspondiente a "gas refrigerante, N.E.P." ("N.E.P.": no especificado en otra parte).

4 - Algunos de estos códigos arancelarios pueden usarse para ingresar SAO bajo una falsa declaración ante la aduana.

🚫 Importación    📄 Licencia y cuota de importación    📄 Licencia (a partir de 2024 cuota de importación)    🟢 Sin medidas de control por el PM

### Nombres comerciales de los refrigerantes más usados (lista no exhaustiva)

ANTON - ARCTON - ASAHIFRON - ASAHIKLIN - COOLCRAFT - FORANE - FREON - GENETRON - GLOBAL - ISCEON - NECTON - OPTEON - SOLKANE - SUVA - FLORON - SOLSTICE

**Pictogramas de riesgo asociados con las SAO y HFC**

**Clase 2:** Gases comprimidos, licuados o disueltos a presión

Gases de baja presión

Gases inflamables    Gases tóxicos

**Clase 6:** Sustancias tóxicas o infecciosas

Sustancias tóxicas

**Clase 9:** Otros riesgos

### Principales países productores de SAO y HFC

Fuente: Sitio web de la Secretaría del Ozono según información oficial de las Partes en el Protocolo de Montreal (países que informaron producción positiva en el trienio 2019-2021)

Sustancias	Países productores
CFC, halones, HBFC	---
Tetracloruro de carbono	Alemania, Bélgica, China, España, Japón, Países Bajos
1,1,1-Tricloroetano	España
HCFC	Alemania, Argentina, China, EE.UU., Federación Rusa, Francia, India, Japón, México, Países Bajos, República de Corea, Rep. Democrática Popular de Corea, Venezuela
Bromoclorometano	Israel
Bromuro de metilo	EE.UU.
HFC	Alemania, China, Francia, India, Japón, Países Bajos, Rep. Democrática Popular de Corea, EE.UU. (EE.UU. aún no informa oficialmente sus datos de producción de HFC (03/04/23) pero por otras fuentes se conoce que es productor)

### Productos y equipos que contienen SAO o HFC

Tipo	Código arancelario
Equipos de aire acondicionado (formando un solo cuerpo o del tipo "split-system")	8415.10
Partes de equipos de aire acondicionado	8415.90
Refrigeradores, congeladores, otras máquinas para producir frío / Bombas de calor	84.18

## GUÍA RÁPIDA PARA LA REVISIÓN DE SAO y HFC