

Facultad de Tecnología de la Industria

**Banco de ensayo de un circuito
frigorífico por compresión para
prácticas académicas en el
laboratorio de Plantas Térmicas
de la Facultad de Tecnología de la
Industria, en el Recinto
Universitario Pedro Arauz
Palacios, Universidad Nacional de
Ingeniería**

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Elaborado por:

Br. Kennett Gamaliel
Reyes Mendoza
Carnet: 2017-0716U

Br. Luis Alexander
Hernández Mayorga
Carnet: 2017-0446U

Br. Cristopher Saúl
Blandón Rostrán
Carnet: 2017-0088U

Tutor:

Ing. Mary Triny
Gutiérrez
Mendoza

04 de sept. de 2023
Managua, Nicaragua



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

REYES MENDOZA KENNETT GAMALIEL

Carné: **2017-0716U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA MECÁNICA**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los catorce días del mes de marzo del año dos mil veinte y dos.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velasco
Secretario de Facultad





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA hace constar que:

HERNÁNDEZ MAYORGA LUIS ALEXANDER

Carné: 2017-0446U Turno: Diurno Plan de Asignatura: 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA MECÁNICA**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los catorce días del mes de marzo del año dos mil veinte y dos.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Vela
Secretario de Facultad





Facultad de
Tecnología de
la Industria

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

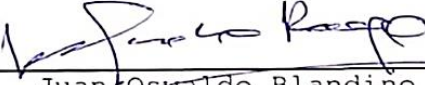
El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

BLANDON ROSTRAN CRISTOPHER SAUL

Carné: 2017-0088U Turno: Diurno Plan de Asignatura: 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA MECÁNICA**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los treinta días del mes de septiembre del año dos mil veinte y dos.

Atentamente,


Msc. Juan Oswaldo Blandino Rayo
Secretario de Facultad



(505) 2246 1653 - (505) 2248 6879
(505) 2251 8271 - (505) 2251 8270



Recinto Universitario Pedro Anzures Palacios
Costado Sur de Villa Progreso
Managua, Nicaragua



Facultad de
Tecnología de
la Industria



Managua, 25 de agosto 2023

MSc. Luis Alberto Chavarría Valverde
Decano
Facultad de Tecnología de la Industria

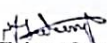
Su despacho

Aprovecho la oportunidad para saludarle cordialmente y exponer lo siguiente:

Por este medio hago constar que la monografía titulada **"Banco de ensayo de un circuito frigorífico por compresión para prácticas académicas en el laboratorio de Plantas Térmicas de la Facultad de Tecnología de la Industria, en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios, Universidad Nacional de Ingeniería"** de los Brs. Kenneth Gamaliel Reyes Mendoza, Luis Alexander Hernández Mayorga y Cristopher Saúl Blandón Rostrán han entregado el banco al departamento de Energética en buen funcionamiento.

Me suscribo, agradeciendo de antemano su atención.

Atentamente,


MSc. Mary Triny Gutiérrez Mendoza
Jefe del Departamento de Energética
Facultad de Tecnología de la Industria
mary.gutierrez@fti.uni.edu.ni

C.C: Máster Ing. Augusto César Palacios
Archivo MTGM/mtgm

Decano de Facultad de Electrotecnia y Computación



(505) 2240 1653 - (505) 2248 6879
(505) 2251 8271 - (505) 2251 8276



Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso
Managua, Nicaragua

Managua, 25 de agosto 2023

MSc. Luis Alberto Chavarría Valverde
Decano FTI
Sus manos

Estimado maestro Chavarría:

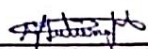
Reciba un cordial saludo de mi parte. El motivo de la presente es para hacer de su conocimiento que he revisado la monografía titulada: **"Banco de ensayo de un circuito frigorífico por compresión para prácticas académicas en el laboratorio de Plantas Térmicas de la Facultad de Tecnología de la Industria, en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios, Universidad Nacional de Ingeniería"**, la cual fue elaborada por los bachilleres.

Br. Kennett Gamaliel Reyes Mendoza,	Carnet: 2017-0716U
Br. Luis Alexander Hernandez Mayorga	Carnet: 2017-0446U
Br. Cristopher Saúl Blandón Rostrán	Carnet: 2017-0088U

No omito, manifestarle que el documento cumple con los requisitos técnicos y académicos establecidos por la facultad y nuestra Alma Mater, por lo cual le solicito la programación de defensa de la monografía antes mencionada.

Agradeciéndoles de antemano a la presente, le saludo deseándole éxito en sus funciones.

Atentamente,


MSc. Mary Triny Gutiérrez Mendoza.
Docente Titular FTI
Tutora



TEL: 2240 1653 / 2240 6072
TEL: 2251 8271 / 2251 8276



Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios
Cintado Sur de Vía Progreso
Managua, Nicaragua

Managua, 06 de septiembre de 2022

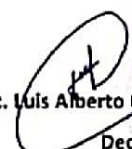
Brs. Cristopher Saúl Blandón Rostrán

Luis Alexander Hernández Mayorga

Kennett Gamaliel Reyes Mendoza

Por este medio hago constar que el protocolo de su trabajo monográfico titulado **Banco de ensayo de un circuito frigorífico por compresión para prácticas académicas en el laboratorio de Plantas Térmicas de la Facultad de Tecnología de la Industria, en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios, Universidad Nacional de Ingeniería, para obtener el título de Ingeniero Mecánico** y que contará con la **MSc. Mary Triny Gutlérrez Mendoza** como tutor, ha sido aprobado por esta Decanatura.

Cordialmente,



MSc. Luis Alberto Chavarría Valverde
Decano



C/c Archivo
LCHV/art



(505) 2240-1633 (505) 2240-8879
(505) 2251-8271 (505) 2251-8274



Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios
Carretero Sur de Villa Pologues
Managua, Nicaragua

AGRADECIMIENTO I

Agradezco de manera especial a mis queridos padres por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios incansables que han hecho posible mi educación y su misma culminación. Su aliento y confianza fueron y serán fundamentales para alcanzar mis objetivos.

A mi hermano, un ejemplo a seguir y a mi abuela Adilia, quien fue capaz de brindarme palabras de fe y aliento hasta en sus últimos días.

A mi amigo Marvin, que en paz descanse y a fieles compañeros de vida; Laysi, Manchas y Vin, a pesar de sus partidas y ausencia, su cariño y compañía dejaron huellas imborrables.

Br. Kennett Gamaliel Reyes Mendoza

AGRADECIMIENTO II

A Dios por las infinitas bendiciones que día con día veo reflejadas en mi vida, sin su voluntad no sería posible llegar a tan importante momento.

A María Santísima, por interceder ante de nuestro creador para cada una de mis plegarias.

A mis padres Juan y Alexia, por haberme formado, por mostrarme los verdaderos valores y brindarme el infinito apoyo día a día, siendo pilar fundamental de este mi más grande logro.

A mi abuela Martha Espinoza, quien ya no está en este mundo, pero es y será una de mis más grandes motivaciones de vida para poder lograr cada meta que me propongo.

A mis abuelos Alejandro, Julio y Amanda, demás familiares, amigos y mi novia Keyling, quienes colaboraron en este proceso brindándome los mejores consejos, las mejores palabras de aliento para finalmente lograr cumplir mis sueños.

A mis compañeros de tesis y amigos, Kennett y Cristopher, a quienes les agradezco acompañarme durante la carrera y elaboración de tesis, estando de manera incansable en cada momento de esta etapa culminante de carrera.

A nuestra tutora, Msc. Mary Triny Gutierrez, por estar siempre a disposición de cada inquietud que tuvieramos y brindarnos cada uno de sus conocimientos para la finalización de nuestro proyecto.

Br. Luis Alexander Hernández Mayorga

AGRADECIMIENTO III

Principalmente a Dios por acompañarme a cada instante y permitirme sobrellevar cada una de las dificultades que se presentaron a lo largo de la carrera.

A mis padres por estar para mí siempre que los necesité y ser la base principal de cada uno de los pasos que me han llevado a alcanzar esta meta.

A la Universidad Nacional de Ingeniería y cada uno de sus docentes que nos impartieron sus conocimientos para formarnos como ingenieros mecánicos.

A mis compañeros Luis y Kenneth por su arduo trabajo y dedicación para poder culminar con este trabajo monográfico.

Br. Cristopher Saúl Blandón Rostrán

DEDICATORIA I

A todos los maestros apasionados por la enseñanza y en especial, a nuestra tutora y demás docentes que nos acompañaron durante estos años.

A mis compañeros de tesis y a los demás amigos que he encontrado en la facultad.

Br. Kennett Gamaliel Reyes Mendoza

DEDICATORIA II

A Dios por su infinita bondad para conmigo, por brindarme salud, sabiduría, paciencia y la capacidad necesaria para poder afrontar cada reto académico y permitirme llegar hasta estas instancias.

A María Santísima por ser esa incesante intercesora de mis recurrentes suplicas ante Dios, nuestro señor.

A mis padres, Ing. Juan Hernández Alvarado e Ing. Alexia Mayorga Espinoza, por ser el más grande ejemplo de superación, lucha y motivación ante cada desafío que se presentó a lo largo de mi carrera y la vida.

A la memoria de mi querida abuela Martha Espinoza, a quien un día le prometí llegar a este momento y sé que desde los cielos se enorgullece de verme poder cumplir mi más grande anhelo.

A mis abuelos Alejandro, Julio y Amanda, demás familiares, amigos y mi novia Keyling, ya que han sido pilar fundamental durante mi proceso de formación como ingeniero y me brindaron la confianza y apoyo para poder lograr mi objetivo.

A manera especial, a mis compañeros de tesis Kennett Reyes y Cristopher Blandón, con quienes pude contar durante toda la carrera, siendo ellos el perfecto complemento para llevar a cabo la realización de este proyecto.

A nuestra tutora, Msc. Mary Triny Gutiérrez por guiarnos, apoyarnos e instruirnos a culminar la última etapa de nuestra carrera.

Br. Luis Alexander Hernández Mayorga

DEDICATORIA III

El presente trabajo monográfico se lo dedico primeramente a mis padres, Saúl Blandón y Ana Rostran, ya que sin su esfuerzo y apoyo incondicional no hubiera sido posible cumplir este sueño.

A mis hermanos y familiares que siempre me alentaron a esforzarme y dar lo mejor de mí en cada momento.

A la memoria de mi abuela Inés Zeledón, quien siempre me aconsejó a esforzarme por conseguir mis objetivos y aunque no está presente sé que desde el cielo debe estar orgullosa de verme culminar un logro tan importante en mi vida.

Br. Cristopher Saúl Blandón Rostran

RESUMEN

El presente trabajo monográfico se enfocó en la creación de un banco de ensayos diseñado para su implementación en clases prácticas y de laboratorios de las futuras generaciones de la Facultad de Tecnología de la Industria de la Universidad Nacional de Ingeniería. Para alcanzar este objetivo, se llevó a cabo un proyecto que involucró la instrumentación y adaptación de un refrigerador doméstico a nuevas condiciones de trabajo.

En este proceso, se realizó una evaluación técnica exhaustiva determinando la viabilidad de su uso en el banco de ensayos, posteriormente se llevó a cabo trabajos correctivos y de instalación para adecuar el equipo a una base móvil y se instaló un segundo dispositivo de expansión, en este caso, una válvula termostática, que, junto con el capilar, están encargados de gobernar el proceso de estrangulamiento en los ensayos realizados. Para garantizar un manejo adecuado, se incluyeron válvulas de restricción de flujo para el cambio de dispositivo y manómetros que permitieron el monitoreo en tiempo real de las variables relevantes. Además, se realizó la sustitución del refrigerante y del aceite lubricante por alternativas seguras y amigables con el ambiente.

Se desarrolló una propuesta de matrices de parámetros para el monitoreo de variables y análisis termodinámico del ciclo, el cual se considera opera en condiciones ideales. Las matrices se utilizarán en el contexto de las prácticas en conjunto con una guía de laboratorios que también se considera uno de los objetivos esenciales de esta investigación. Para garantizar el uso del banco de ensayos, se elaboró un manual de uso y se proporcionó un informe de los costos asociados para justificar la inversión total realizada en este proyecto.

Esta investigación culminó en la exitosa creación de un banco de ensayos versátil y eficiente que servirá como recurso para las clases prácticas y laboratorios de la Facultad de Tecnología de la Industria, contribuyendo al desarrollo académico y científico de las futuras generaciones de estudiantes de ingeniería en esta prestigiosa institución.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. OBJETIVOS	4
3.1. Objetivo general:.....	4
3.2. Objetivos específicos:	4
IV. MARCO TEÓRICO	5
4.1. Generalidades.....	5
4.1.1. Objetivo de la refrigeración.....	5
4.2. Ciclos termodinámicos	5
4.2.1. Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.....	5
4.2.2. Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor	6
4.3. Sistemas de refrigeración por compresión: Elementos principales	7
4.3.1. Compresor (tipo hermético).....	7
4.3.2. Condensador (de tubo liso)	7
4.3.3. Dispositivo de expansión: Tubo capilar	8
4.3.4. Dispositivo de expansión: Válvula de expansión termostática	8
4.3.5. Evaporador (de expansión seca o directa)	9
4.4. Sistema de refrigeración por compresión: Elementos de seguridad y control	10
4.4.1. Filtro deshidratador.....	10
4.4.2. Indicador de humedad y de líquido.....	10
4.4.3. Acumulador de succión o aspiración	11
4.4.4. Separador de aceite	11
4.4.5. Recipiente o separador de líquido	12

4.4.6. Válvulas de cierre manual	13
4.4.7. Controles de presión (presostatos).....	13
4.4.8. Termostato	13
4.5. Refrigerantes	14
4.6. Manejo de instalaciones: Herramientas de servicio	14
4.6.1. Analizador	14
4.6.2. Cilindro dosificador	14
4.6.3. Bomba de vacío	15
4.6.4. Detección de fugas: Principales métodos e instrumentos	15
4.6.5. Soldadura en refrigeración: El equipo de soldadura oxiacetilénica ...	16
4.6.6. Equipos de recuperación de refrigerante.....	16
V. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	17
5.1. Evaluación Técnica del Equipo	17
5.2. Desarme del Equipo.....	18
5.3. Sustitución Necesaria de Componentes	18
5.3.1. Tubo Capilar y Filtro Secador	18
5.3.2. Refrigerante R-12	19
5.3.2.1. Refrigerante Alternativo Freon™ 134a: Uso y Propiedades	19
5.3.2.2. Aceite Lubricante	20
5.4. Selección y Adquisición de Dispositivos de Control	21
5.4.1. Válvula de Expansión Termostática	21
5.4.2. Válvulas de Cierre Manual	22
5.4.3. Manómetros	22
5.5. Construcción de Estructura Soporte	22
5.6. Ensamblaje	23

5.7. Puesta en Marcha.....	25
5.8. Matrices de Parámetros	26
5.9. Análisis Termodinámico	27
5.9.1. Ensayo 1: Tubo Capilar	27
5.9.1.1. Estado 1:.....	27
5.9.1.2. Estado 2.....	27
5.9.1.3. Estado 3.....	27
5.9.1.4. Estado 4:.....	28
5.9.1.5. Flujo de Masa	28
5.9.1.6. Cálculo de la Tasa de Remoción de Calor.....	28
5.9.1.7. Cálculo de la Potencia Neta de Entrada al Compresor	28
5.9.1.8. Cálculo de la Tasa de Rechazo de Calor del Refrigerante al Ambiente.....	28
5.9.1.9. Cálculo del Coeficiente de Desempeño del Refrigerador	28
5.9.2. Ensayo 2: Válvula de Expansión Termostática	29
5.9.2.1. Estado 1:.....	29
5.9.2.2. Estado 2.....	29
5.9.2.3. Estado 3.....	29
5.9.2.4. Estado 4:.....	29
5.9.2.5. Flujo de Masa	30
5.9.2.6. Cálculo de la Tasa de Remoción de Calor.....	30
5.9.2.7. Cálculo de la Potencia Neta de Entrada al Compresor	30
5.9.2.8. Cálculo de la Tasa de Rechazo de Calor del Refrigerante al Ambiente.....	30
5.9.2.9. Cálculo del Coeficiente de Desempeño del Refrigerador	30
5.9.3. Comparación de Rendimiento	30

5.10. Guía de Laboratorio	31
5.11. Manual de Usuario	40
5.12. Presupuesto	45
5.12.1. Gastos de Mano de Obra	45
5.12.2. Gastos de Componentes	45
5.12.3. Gatos de Materiales y/o Consumibles	45
5.12.4. Gastos Varios	46
5.12.5. Inversión Total	46
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
VII. BIBLIOGRAFÍA	49
VIII. ANEXOS	51

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos Técnicos de Funcionamiento del Equipo.....	40
Tabla 2. Costos de Recursos de Personal	45
Tabla 3. Costo de Componentes Principales	45
Tabla 4. Costos de Materiales y/o Consumibles.....	46
Tabla 5. Resumen de Gastos Varios.....	46
Tabla 6. Resumen de Costes según su Categoría e Inversión Total.....	46

INDICE DE ANEXOS

Anexo I. Bitácora de Mantenimiento	51
Anexo II. Lectura de Amperaje	52
Anexo III. (a) Condensador desmontado, (b) Evaporador desmontado	53
Anexo IV. (1) Información química del sustituto, (2) Comparación de ciclos teóricos de CFC-12 y Freon™ 134 ^a	54
Anexo V. Propiedades físicas de Freon™ 134a	55
Anexo VI. Guía de Aplicación de Lubricantes de Refrigeración BVA	56
Anexo VII. Selección de Conjunto Cuerpo de Válvula y Elemento Termostático	57
Anexo VIII. Etiqueta Metálica.....	58
Anexo IX. C8, Conjunto de Orificio y Filtro de Malla.....	59
Anexo X. Esquema de Angular de Base Móvil	60
Anexo XI. Propuesta de Matriz de Parámetros.....	61
Anexo XII. Lectura de Manómetros (Ensayo 1)	62
Anexo XIII. Tabla A-12 de Presión R-134a Saturado	63
Anexo XIV. Tabla A-13 R-134a Sobrecalentado	64
Anexo XV. Tabla A-12 de Presión R-134a Saturado.....	65
Anexo XVI. Flujo de Masa (Ensayo 1).....	66
Anexo XVII. Matriz de Parámetros de Ensayo 1 (Tubo Capilar).....	67
Anexo XVIII. Lectura de Manómetros (Ensayo 2).....	68
Anexo XIX. Tabla A-12 de Presión R-134a Saturado (Ensayo 2).....	69
Anexo XX. Tabla A-13 R-134a Sobrecalentado	70
Anexo XXI. Tabla A-12 de Presión R-134a Saturado (Ensayo 2).....	71
Anexo XXII. Matriz de Parámetros de Ensayo 2 (VET)	72
Anexo XXIII. Superposición de Ciclos en Diagrama PH del Freon™ 134a	73
Anexo XXIV. Factura 1	74
Anexo XXV. Factura 2	75
Anexo XXVI. Factura 3	76
Anexo XXVII. Factura 4	77
Anexo XXVIII. Factura 5	78
Anexo XXIX. Factura 6	79

Anexo XXX. Factura 7	80
Anexo XXXI. Factura 8	81
Anexo XXXII. Factura 9	82
Anexo XXXIII. Factura 10	83
Anexo XXXIV. Plano de Base Móvil	84
Anexo XXXV. Adaptación e Instrumentación Final del Equipo	85

I. INTRODUCCIÓN

En el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería, la disciplina de energética y particularmente asignaturas como termodinámica y refrigeración, juegan un papel muy importante en la formación de un estudiante de dicha carrera. Estas materias se centran en el estudio del comportamiento de los sistemas de refrigeración, así como de los ciclos termodinámicos que los operan y desde un punto de vista didáctico, además de ofrecernos soluciones técnicas y teóricas, nos pueden proporcionar nuevos métodos de estudio y análisis.

Sin duda alguna, las habilidades desarrolladas por un estudiante a lo largo de todo su proceso formativo, son vitales para su inserción en un campo laboral, y es que la experiencia adquirida en cierta área, valida y fortalece las destrezas consolidadas en los estudios teóricos. Por ello, contar con una herramienta como lo es un banco de ensayo, facilitaría la comprensión de conceptos fundamentales de la termodinámica y de las diferentes variables que intervienen en el proceso de refrigeración, además, aportaría una fuente de inspiración y evidencias para futuras investigaciones.

Nuestro proyecto se llevará a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Plantas Térmicas de la Facultad de Tecnología de la Industria, ubicada en el Recinto Pedro Arauz Palacios. En dicho espacio, los estudiantes realizan prácticas de laboratorio con el fin de fortalecer el conocimiento teórico mediante el estudio de los equipos allí presentes, que, aunque no gozan de una investigación en particular, son empleados como instrumentos para el desarrollo de las prácticas.

El objetivo de esta investigación es la elaboración de un equipo de refrigeración mediante la adaptación de un refrigerador doméstico, a una instalación que; además de poseer los elementos principales del refrigerador, cuente con otro dispositivo de expansión como lo es la válvula de expansión termostática, elementos complementarios para que el ciclo de trabajo se efectúe con el mayor rendimiento posible e instrumentación que facilite el monitoreo, registro y control de las diferentes variables que intervienen en el proceso.

La habilitación de este equipo no solo beneficiaría a la comunidad estudiantil, también podrá ser aprovechado por cualquier docente que desee implementarlo como instrumento en sus horas de clase. Por tales razones, se proveerá un manual que facilite y asegure el conocimiento del equipo, así como sus respectivas guías de estudio, las cuales además de orientar a los involucrados en el desarrollo de las prácticas, pretenderán mostrar cómo la implementación de dos dispositivos de expansión distintos incide en el desempeño del sistema.

Ahora bien, tanto la evaluación del refrigerador a utilizar, así como la selección e instalación del segundo dispositivo de expansión y de los demás elementos que conformarán el banco, son de vital importancia para el alcance del objetivo global de la investigación. Por ende, se deberá garantizar el seguimiento y obediencia de un cronograma de ejecución, en el cual habrá una serie de actividades claramente definidas y calendarizadas que definirán el desarrollo de la misma.

De igual forma, este escrito aborda tanto el estudio e identificación de los principales elementos que posee el refrigerador implicado, como los diferentes elementos complementarios (de seguridad y control) que suelen estar presentes en las principales instalaciones que tienen como objetivo la refrigeración. En el posterior análisis y la entrega de resultados de la investigación, se evidenciará el proceso llevado a cabo para la construcción del banco y por supuesto, el manual y las pruebas de funcionamiento y de ensayo que serán más que significativas para el desarrollo y elaboración de las guías de laboratorio.

II. JUSTIFICACIÓN

Es de vital importancia que los estudiantes tengan conocimientos sólidos en el campo de la refrigeración, una materia que representa un significativo campo de acción profesional para los Ingenieros Mecánicos.

Por esta razón, nace la necesidad de elaborar un nuevo banco de ensayos, que, a diferencia de los que existen en las instalaciones del laboratorio de Plantas Térmicas, será desarrollado a partir de un refrigerador doméstico (lo que reducirá considerablemente sus costos de fabricación) y estudiará tanto el comportamiento del sistema de refrigeración, como la implementación de dos dispositivos de expansión distintos, su rendimiento e incidencia en la optimización del desempeño del sistema.

De esta forma, se ofrece a nuestra alma mater, futuras generaciones de estudiantes aspirantes al grado de Ingeniero Mecánico y docentes de la Facultad de Tecnología de la Industria, un equipo de ensayo y demostración didácticamente estructurado, que pretenderá acompañar y apoyar de forma óptima la enseñanza al emplearse como herramienta de estudio en el desarrollo de prácticas académicas, tanto en las aulas de clases, como en las instalaciones del laboratorio de Plantas Térmicas.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general:

Construir un banco de ensayo de un circuito frigorífico por compresión para prácticas académicas en el laboratorio de Plantas Térmicas mediante la adaptación e instrumentación de un refrigerador doméstico.

3.2. Objetivos específicos:

- a) Examinar la condición de los componentes del refrigerador mediante valoración técnica determinando si pueden ser utilizados en la elaboración del banco.
- b) Seleccionar los elementos de seguridad y control que conformarán el banco según las necesidades y características de la instalación.
- c) Manufacturar la estructura de soporte para el posterior montaje de la instalación y la ejecución de pruebas de funcionamiento y de ensayo.
- d) Realizar las guías de laboratorio del banco de ensayo cumpliendo los requerimientos del manual ACAAI.
- e) Elaborar un manual de uso que facilite y asegure el manejo y conocimiento ideal de la instalación a los futuros involucrados en las prácticas académicas.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1. Generalidades

La refrigeración es una técnica que ha florecido con el transcurso del tiempo, el avance de la tecnología y de la civilización; y es que los progresos logrados en este campo son el resultado del trabajo en conjunto de técnicos, artesanos, ingenieros, hombres de ciencia y otros que han unido sus habilidades y conocimientos para posteriormente ser aplicados en el campo por aquellos que diseñan, fabrican, instalan y mantienen equipos de refrigeración. (Conesa, 2011)

De hecho, así como la mayoría de las ciencias y técnicas, la refrigeración ha surgido como una respuesta a las necesidades de la misma sociedad y sin duda alguna, contribuye a elevar el nivel de vida de los pueblos de todos los países.

4.1.1. Objetivo de la refrigeración

La refrigeración, tiene como propósito elaborar soluciones técnicas para generar temperaturas por debajo de la temperatura ambiente mediante la transferencia de energía de un medio (al que se le pretende retirar calor) a otro, aprovechando así, sus propiedades termodinámicas. La temperatura es el reflejo de la cantidad o nivel de energía que posee el medio, ya que el frío propiamente no existe, los cuerpos solo tienen más o menos energía térmica. Conesa (2011) nos dice que “enfriar corresponde a retirar energía (calor) y no debe pensarse en términos de «producir frío o agregar frío»” (p.37).

4.2. Ciclos termodinámicos

4.2.1. Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

El ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor es el utilizado en refrigeradores, sistemas de acondicionamiento de aire y bombas de calor. En la materia de Termodinámica, asimilamos que este ciclo surge al prescindir de semblantes asociados con el Ciclo Invertido de Carnot al evaporar por completo el fluido de trabajo antes de ser comprimido, y reemplazando la turbina con un dispositivo de estrangulamiento.

Çengel y Boles (2011), nos describe los cuatro procesos que rigen el ciclo de refrigeración por compresión de vapor:

- 1. Compresión isentrópica en un compresor:** el refrigerante entra al compresor como vapor saturado y se comprime isentrópicamente hasta la presión del condensador. La temperatura del refrigerante aumenta durante este proceso hasta un valor bastante superior al de la temperatura del medio circundante.
- 2. Rechazo de calor a presión constante en un condensador:** como resultado del rechazo de calor hacia los alrededores, el refrigerante entra en el condensador como vapor sobrecalentado y sale como líquido saturado, manteniendo así, la temperatura del refrigerante por encima de la temperatura de los alrededores.
- 3. Estrangulamiento en un dispositivo de expansión:** el refrigerante como líquido saturado y se estrangula hasta la presión del evaporador al pasarlo por un dispositivo de expansión (ya sea una válvula de expansión o un tubo capilar).
- 4. Absorción de calor a presión constante en un evaporador:** durante este proceso la temperatura del refrigerante desciende por debajo de la temperatura del espacio refrigerado, posteriormente, el refrigerante sale del evaporador como vapor saturado y vuelve a entrar al compresor, completando el ciclo.

4.2.2. Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor

De acuerdo con Çengel y Boles (2011), “Un ciclo real de refrigeración por compresión de vapor difiere de uno ideal en varios aspectos, principalmente, debido a las irreversibilidades que ocurren en varios componentes” (p.622), y es que, tanto la fricción del fluido de trabajo como la transferencia de calor hacia o desde los alrededores son sinónimo de irreversibilidad y pérdidas de carga.

4.3. Sistemas de refrigeración por compresión: Elementos principales

4.3.1. Compresor (tipo hermético)

Es la unidad motriz, se encarga de extraer el refrigerante gaseoso del evaporador, aumentar su presión y trasladarlo al condensador. Un compresor hermético está conformado por una carcasa envolvente de acero que alberga el conjunto motor-compresor ensamblado mediante resortes que amortiguan las cargas. Se caracterizan por ser refrigerados por el fluido de aspiración y el hecho de que sean herméticos, impide acceder a ellos al realizar cualquier tipo de mantenimiento. De acuerdo con Lijó (2006):

En su configuración exterior, lleva tres tubos soldados a la carcasa, de los cuales, uno posee un diámetro inferior respecto a los otros dos de mismo diámetro. El de menor diámetro se conecta a la descarga y la aspiración a cualquiera de los otros dos, generalmente, se hace al tubo que está al lado contrario de la placa de conexión eléctrico.

El tubo que no se conecta al circuito, se puede utilizar para que, después de instalar una conexión obús o una válvula de intervención, se aproveche para realizar operaciones tales como cargar refrigerante y aceite, y comprobar presión de aspiración o temperatura de evaporación. (p.46)

4.3.2. Condensador (de tubo liso)

El fluido refrigerante a la salida del compresor está en estado de vapor recalentado y es así como entra en el condensador. Este intercambiador de calor, cede calor a un agente condensante (en este caso aire) gracias a un efecto de renovación por gravedad. Es imprescindible garantizar una buena circulación de aire en el condensador, porque de lo contrario, la temperatura y presión de condensación será muy alta.

Lijó (2006), también describe al condensador como “el elemento de la instalación que se encarga de pasar el estado de vapor del fluido refrigerante a estado líquido” (p.2).

4.3.3. Dispositivo de expansión: Tubo capilar

El capilar, es otro dispositivo que se emplea para regular el flujo de refrigerante líquido desde el condensador hacia el evaporador. Según Stoecker (1958), “El líquido refrigerante entra al tubo capilar y, al pasar a través de él, pierde presión a causa de la fricción y de la aceleración del refrigerante, transformándose una parte en vapor” (p.119).

Morocho Cajamarca y Ruiz Jaramillo (2016), destaca su sencillez (al no poseer piezas móviles) y bajo costo de adquisición como una de sus principales ventajas frente a otros dispositivos, aunque, en otro orden de ideas, nos resalta lo siguiente:

Principales desventajas del capilar como dispositivo de expansión:

- Su rigidez no permite adaptar el caudal de refrigerante a las variaciones de carga térmica y de temperatura del medio.
- Es muy susceptible a bloquearse debido al reducido orificio que lo caracteriza.
- En ciclos donde la instalación no esté en funcionamiento, debido a la diferencia de presión entre el evaporador y el condensador, el refrigerante líquido podría inundar el evaporador y posteriormente al compresor.
- No controla ni regula por sí mismo la cantidad de refrigerante que ingresa al evaporador ante variaciones de temperatura provocadas por el ambiente o variaciones en la carga térmica.

4.3.4. Dispositivo de expansión: Válvula de expansión termostática

La VET asegura el sobrecalentamiento del refrigerante en la salida del evaporador al comparar, la temperatura del refrigerante en la salida del evaporador con la temperatura de entrada. Lijó (2006), describe que su funcionamiento queda determinado por tres presiones fundamentales que actúan sobre la membrana interior del dispositivo:

- **(Pb) Presión del bulbo:** actúa sobre la parte superior y tiende a abrir la válvula. El bulbo está unido a la parte superior de la válvula, mediante un tubo capilar soldado entre ambos.

- **(Pe) Presión de evaporación:** actúa sobre la parte inferior de la membrana y tiende a cerrarla. La presión del evaporador se comunica con la parte inferior de la membrana gracias a un orificio realizado en el interior del cuerpo de la válvula.
- **(Pr) Presión del resorte:** también actúa sobre la parte inferior de la membrana y tiende a cerrarla. Es la fuerza que actúa directamente sobre el vástago de la válvula.

Por lo que, en su funcionamiento, la presión del bulbo es equilibrada por la suma de la presión del resorte más la presión de evaporación:

$$P_b = P_r + P_e \quad \left[\begin{array}{l} \text{Cuando } P_b > P_r + P_e, \text{ la válvula se abre.} \\ \text{Cuando } P_b < P_r + P_e, \text{ la válvula se cierra.} \end{array} \right.$$

Según Morocho Cajamarca y Ruiz Jaramillo (2016), en comparación con el capilar, la VET es más cara y deben tomarse ciertas precauciones al realizar su instalación, también es recomendable instalar un recipiente o separador de líquido en la descarga del condensador por razones que abordaremos más adelante. En cuando a sus ventajas:

- Posee un excelente control de la capacidad frigorífica del evaporador al cumplir con la demanda exigida por el mismo.
- Optimiza el funcionamiento del evaporador al prevenir la falta de refrigerante en el mismo ante condiciones de carga mayores.
- Previene la entrada de líquido al compresor y al estar correctamente instalado y configurado asegura un mínimo recalentamiento bajo las condiciones de carga.

4.3.5. Evaporador (de expansión seca o directa)

Un evaporador es un intercambiador de calor que, como cualquier otro, debe estar hecho con un material que permita efectuar el mejor intercambio de calor posible. Se le considera de expansión directa cuando absorbe directamente el calor de la cámara o medio a refrigerar gracias a que está instalado en su interior.

En un evaporador seco, el fluido de trabajo entra expansionado (generalmente mediante una VET) a la presión y temperatura necesaria para que efectúe el enfriamiento del medio que lo rodea y, a la salida, debido a la constante transferencia de calor, se encuentra en estado de vapor. Esto debido a que la válvula de expansión termostática, además de alimentar fluido a la entrada, trabaja según el recalentamiento del vapor a la salida del evaporador. (Stoecker, 1958, pp.140,141)

4.4. Sistema de refrigeración por compresión: Elementos de seguridad y control

Una instalación podría trabajar con los elementos anteriormente citados, pero, evidentemente, necesita de otros elementos complementarios para que el ciclo de trabajo se pueda efectuar con el mayor rendimiento posible.

4.4.1. Filtro deshidratador

El empleo de un deshidratador o secador, es el medio efectivo para eliminar pequeñas cantidades de humedad que alteren el funcionamiento del sistema o dañen al compresor. Están constituidos por una envoltura rellena con un secante o agente de secado y provisto de un filtro adecuado en cada extremo. Se instalan en la línea de líquido de manera que el fluido de trabajo se filtre cada vez que circule por el sistema y debe ser reemplazado al instalar un compresor nuevo, cuando este obstruido o cuando hay humedad en el sistema que el deshidratador no ha sido capaz de retener.

En cuanto a su instalación, es fundamental acatar las instrucciones de los fabricantes ya que, por norma, deben instalarse en la dirección que se recomiende, y si es en sentido vertical descendente, se aumenta su rendimiento. (Lijó, 2006, p.16)

4.4.2. Indicador de humedad y de líquido

Permite observar la condición del fluido en el interior de una tubería. En su interior se encuentra un disco de material reactivo colorimétrico sensible a la humedad cuyo color seco es verde intenso y a medida que la humedad aumenta o es

superior a lo aceptable, palidece hasta tornarse amarillo revelando que el deshidratador debe ser cambiado o que, de otra forma, debe secarse el sistema.

De acuerdo con Puebla (2005), suele emplearse asociado a un filtro secador (ya sea posicionándolo antes, después o en ambos extremos), con el fin de diagnosticar el estado del secador en el filtro, supervisar el estado del fluido que se devuelve al compresor, así como medio para determinar si el sistema está adecuadamente cargado. La presencia de burbujas es indicadora de insuficiencia de carga, de subenfriamiento pobre o una restricción en la línea del líquido. (p.88)

4.4.3. Acumulador de succión o aspiración

Es un elemento que se instala en el lado de baja presión, antes del compresor. Su función es evitar daños en el compresor a causa de una inundación brusca de líquido al retener el exceso de la mezcla de aceite y refrigerante líquido para enviarla lentamente en una proporción segura para y hacia compresor. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014, p.305)

Debe estar equipado o bien con una fuente de calor para evaporar el refrigerante líquido o de un orificio calibrado o de retorno en el tubo de salida para regresar el fluido de trabajo poco a poco al compresor, donde la misma depresión originada por la aspiración facilita la evaporación del fluido. (Lijó, 2006, p.17)

4.4.4. Separador de aceite

Como su nombre indica, es un dispositivo empleado para separar el aceite lubricante del fluido refrigerante. Se instala en la descarga del compresor con el propósito de evitar, tanto la migración excesiva del aceite al resto del circuito de refrigeración, como dejar al compresor sin la lubricación necesaria. El hecho de que no es 100% eficaz, ayuda a que una pequeña cantidad de aceite circule por la instalación engrasando elementos del sistema que lo requieran.

Según Puebla (2005), el vapor caliente ingresa a la cámara en forma de régimen turbulento, pierde velocidad y descarga el aceite que se acumula en las paredes en el fondo del recipiente. Acto seguido, el vapor sigue su marcha hacia el

condensador a través de un tubo cuya aspiración dentro de la cámara está dispuesta para tomar el gas lo más seco posible.

El aceite se acumula en el fondo del separador hasta alcanzar un nivel tal que un regulador, abre el paso de retorno directamente al cárter del compresor (donde la presión sea menor que en la cámara del separador) por un tubo. El retorno puede generarse ya sea por una válvula accionada por flotante en el interior del separador de aceite o por una válvula manual o solenoide. (p. 91)

4.4.5. Recipiente o separador de líquido

El líquido que sale del condensador no va directamente al evaporador, sino que es almacenado en el recipiente (a excepción de cuando se utilizan tubos capilares). Este recipiente, mantiene una reserva de líquido para restituirlo según la demanda.

Según Lijó (2006), su capacidad varía con las características de la instalación y al ser un recipiente de alta presión, debe tener sus dispositivos de seguridad (para evitar que se alcancen presiones peligrosas) los cuales pueden ser válvulas de seguridad o tapones fusibles. En este último caso llevan en su interior un material fungible que cuando alcanza una alta temperatura determinada se funde y deja salir el fluido al exterior, también suelen llevar un visor para saber en cada momento su contenido. (pp.12-14)

Principales funciones del recipiente o separador de líquido:

- Almacenamiento del exceso de refrigerante que no está circulando en el sistema.
- Suministro en forma constante e ininterrumpida del refrigerante en estado líquido a la entrada de la válvula de expansión.
- Almacenamiento de toda la carga de refrigerante en caso de averías, tareas de mantenimiento o reparación del sistema.

4.4.6. Válvulas de cierre manual

Las válvulas manuales empleadas en la refrigeración, son utilizadas con frecuencia de modo que permitan aislar partes del sistema de refrigeración para reparaciones o mantenimiento. (Dossat, 1991, p.505)

4.4.7. Controles de presión (presostatos)

Son aparatos que, activados por presión, tienen la función de abrir o cerrar un circuito mediante uno o varios contactos normalmente ya sean abiertos o cerrados. De manera práctica, se puede decir que son unos interruptores eléctricos que funcionan por presión. Goríbar (1984), afirma que pueden ser:

- a. De alta presión:** se conectan a la descarga del compresor y su función es impedir que, en la zona de alta presión, se alcancen valores que afecten el rendimiento de la instalación o a la propia seguridad de las personas. Se regulan a una determinada presión y cuando la instalación alcanza este valor, el presostato para el compresor.
- b. De baja presión:** se conectan a la aspiración del compresor y su función es evitar que la presión (en la zona de baja) pueda caer por debajo de la presión atmosférica y evitar también que la presión descienda por debajo de lo normal del funcionamiento, ya que afectaría el rendimiento (de hecho, su regulación debe estar siempre por encima de la presión atmosférica).
- c. Combinados:** los presostatos de alta y baja pueden ser instalados formando un solo elemento llamado “presostato combinado”, en este, además de las escalas respectivas (de alta y baja presión) hay una tercera escala llamada “diferencial de presiones” que fija la diferencia entre la presión de arranque y de paro.

4.4.8. Termostato

El termostato funciona como un termómetro activador, el cual mide la temperatura y genera acciones para que se enfríe, se caliente o se pause la marcha de los diferentes equipos o sistemas en los que puede trabajar. Los termostatos de evaporador, son de reducido tamaño y poseen un botón de ajuste de temperatura a valores mayores o menores (ni siquiera se indica el valor de ellos). Se emplean

en frigoríficos domésticos con compresores herméticos de pequeña potencia. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014, p.305)

4.5. Refrigerantes

Existe una gran variedad de refrigerantes, sus características y propiedades físicas y químicas son muy diversas. Así que, al momento de escoger un refrigerante, es importante buscar que se adecúe al tipo de refrigerador que se pretende construir, así como la aplicación que se le dará al mismo, siempre teniendo en cuenta su toxicidad, seguridad e impacto ambiental. (Castro Gutiérrez et al., 2008)

4.6. Manejo de instalaciones: Herramientas de servicio

4.6.1. Analizador

Uno de los aparatos que más distingue el servicio de refrigeración es el analizador, también denominado puente o juego de manómetros. Se trata de una pieza de metal que cuenta con dos manómetros (de alta y baja presión), dos llaves o válvulas y tres conexiones; las dos válvulas abren o cierran permitiendo que las tres conexiones se intercomunicuen entre sí. En ocasiones, porta un visor o mirilla en la parte central. Según Lijó (2006), conectado a un circuito permite ejecutar operaciones como:

- Verificar o monitorear la presión de los sistemas de refrigeración.
- Cargar aceite lubricante al compresor.
- Cargar o descargar refrigerante.
- Ejecutar vacío total o a un determinado tramo de la instalación.

4.6.2. Cilindro dosificador

Es un recipiente cilíndrico rodeado a su vez por otro cilindro de plástico transparente y giratorio que posee grabadas las escalas (en gramos) de distintos fluidos refrigerantes y un nivel que indica la cantidad de fluido contenido. Es utilizado para la carga de refrigerante en pequeñas instalaciones como refrigeración doméstica, comercial, equipos autónomos de climatización y aire acondicionado automotriz. (Lijó, 2006, p.163)

4.6.3. Bomba de vacío

La bomba de vacío es un elemento indispensable para efectuar una operación tan importante como lo es evacuar debidamente un sistema de refrigeración. Mediante este útil, se logra eliminar el aire y la humedad en un sistema, ya sea después de realizar tareas de mantenimiento o en el caso de la puesta en marcha de una instalación nueva. Tanto el analizador, cilindro dosificador y la bomba de vacío, suelen ser parte de un equipo portátil muy utilizado en las instalaciones de pequeñas capacidades.

4.6.4. Detección de fugas: Principales métodos e instrumentos

De acuerdo con Lijó (2006), antes de proceder a la carga de fluido, se deben localizar y solucionar las fugas. Como hemos mencionado con antelación, algunos de los síntomas que indican que hay fugas en un punto del circuito son la aparición de aceite en el exterior del elemento o tramo de tubería, disminuciones de las presiones de trabajo y presencia de burbujas en el indicador.

Para la localización de las fugas se puede recurrir a ciertos métodos y tipos de detectores, entre los que cabe citar, los más importantes:

- **Agua jabonosa:** es el método más antiguo, consiste en formar agua jabonosa en un pequeño recipiente y a mano o con la ayuda de un pequeño pincel, se cubre el elemento o punto de la instalación a comprobar, ante la presencia de fugas se terminarán formando burbujas.
- **Lámpara alógena:** este aparato, consta de una botella de butano que calienta un filamento de cobre, y en un extremo tiene un tubo de goma que lo orientamos hacia los puntos que queramos comprobar. En caso de encontrar una fuga de fluido refrigerante, la llama de la botella que es de color azul (cuya intensidad del color es función de la cantidad de fluido que detecte) se torna verde.
- **Detector de fugas electrónico:** de acuerdo con Puebla (2005), es un instrumento muy sensible que permite localizar en el aire ambiental la presencia de moléculas de cloro, o flúor o hidrocarburos o amoníaco u otros

gases; no son universales y es necesario utilizar uno específico para cada tipo de refrigerante.

4.6.5. Soldadura en refrigeración: El equipo de soldadura oxiacetilénica

En los sistemas de refrigeración, existen dos tipos de unión, las uniones desmontables (roscadas) y las uniones no desmontables (soldadas). Las uniones soldadas se obtienen formando una mezcla de metales fundidos al dirigir una llama de gas que une las superficies adyacentes de dos metales. Además, se puede derretir una varilla de relleno en la mezcla para ayudar a que los dos metales se unan y formen una sola pieza. INATEC (2010), también nos dice que un equipo de Oxiacetileno está conformado por:

- Un cilindro para oxígeno y uno para acetileno.
- Reguladores (uno para acetileno y uno para oxígeno).
- Mangueras de gases.
- Válvulas antirretroceso y de control de gas.
- Soplete y boquilla para soldar.

4.6.6. Equipos de recuperación de refrigerante

Este equipo, básicamente se trata de una unidad condensadora equipada con un compresor (hermético o libre de aceite), ventilador/es de gran caudal y filtros con el fin de atrapar impurezas a la entrada de la unidad. Según Puebla (2005), es una herramienta imprescindible de todo taller que preste servicio a equipos de refrigeración y aire acondicionado pues a partir de la publicación del Decreto 3.228 es obligatorio recuperar todo refrigerante que afecte la capa de ozono.

Por razones de seguridad, es conveniente que disponga de un circuito que interrumpa el funcionamiento del equipo cuando el sensor de llenado del cilindro de recuperación indica que ha alcanzado el límite máximo de llenado seguro. En cuanto a los cilindros de recuperación de refrigerante, deberán ser del tipo reutilizable y preferiblemente deberán contar con sensor de límite de llenado para evitar que se sobrepase el límite de seguridad inadvertidamente. (p.124)

V. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Evaluación Técnica del Equipo

En función de optimizar recursos y aprovechar instalaciones infrautilizadas, se ha decidido considerar la reutilización de un equipo de refrigeración del que conocemos, ha sido previamente asignado al almacenamiento de reactivos químicos y posteriormente ha permanecido en desuso durante un prolongado período de tiempo. Esto ofrece una oportunidad valiosa para explorar su potencial adaptación en la creación del banco de ensayos, en aras de evitar la subutilización de recursos.

La viabilidad de emplear este equipo para esta investigación, requería una evaluación técnica minuciosa, dado que su estado operativo y funcional eran inciertos. Ante la falta de certeza sobre si este se encontraba en condiciones óptimas, resultaba imperativo llevar a cabo un análisis para determinar su idoneidad en el nuevo contexto de aplicación. Esta evaluación técnica no solo permitió establecer la viabilidad de su reutilización, sino que también, es una garantía sobre la integridad de los procedimientos experimentales a los que se someterá en el futuro.

En este sentido, se ha establecido una bitácora de mantenimiento que contempla tanto acciones preventivas como correctivas. Esta herramienta ofrece un registro sistemático y detallado de las intervenciones de mantenimiento realizadas en el equipo a lo largo del tiempo y se adapta a las particularidades del equipo en cuestión y a las recomendaciones surgidas de la evaluación técnica. De esta manera, cada acción llevada a cabo, ya sea en respuesta a observaciones específicas o como medida preventiva, queda debidamente documentada y posteriormente (en el mantenimiento correctivo) solucionada.

Entre los hallazgos más importantes, el equipo se encontró sin carga de refrigerante, posiblemente debido a una fuga identificada que debió ser significativa a largo plazo. Consultar Anexo I para la información detallada de los demás hallazgos.

5.2. Desarme del Equipo

El desarme del equipo se ha llevado a cabo siguiendo el siguiente protocolo:

- En primer lugar, el desmontaje se centró en el compresor. Se identificaron las conexiones de succión y descarga de tuberías. El sistema de arranque, ubicado en un costado del compresor fue desconectado, y se procedió al corte de ambas tuberías con un cortador de tubos desconectando así el compresor. Posteriormente, los seguros de fijación del compresor fueron retirados y el compresor fue extraído de su posición original.
- El proceso continuó con el condensador, donde se realizó un corte estratégico en la succión y descarga asegurando suficiente espacio para la instalación futura de las nuevas tuberías. Una vez realizados los cortes, se procedió al desmontaje, retirando la tornillería de sujeción y extrayendo el condensador de su ubicación original (ver “a” de Anexo III).
- Para el desarme del evaporador, se inició retirando las tapas interiores que resguardan el difusor de aire frío. Luego, se desconectaron todos los comandos eléctricos presentes. En la parte posterior del refrigerador, se liberó el seguro que sujetaba la tubería alimentadora del evaporador, la cual fue cortada para facilitar su extracción. Finalmente, el evaporador completo fue retirado por la parte frontal del equipo (ver “b” de Anexo III).

El resto de componentes permanecieron en su lugar debido a que serían reutilizados y su desmontaje no era necesario para el correctivo y las modificaciones posteriores.

5.3. Sustitución Necesaria de Componentes

5.3.1. Tubo Capilar y Filtro Secador

La selección del capilar para el equipo se basó en la decisión de mantener las especificaciones del capilar original que fue reemplazado con el propósito de mantener la variante predeterminada del equipo, lo que permitió una comparación más precisa entre los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

Dado que se instala un segundo dispositivo de expansión en el sistema, se adquirió un filtro bidireccional con dos descargas, las cuales se destinan a la alimentación de las líneas correspondientes de los dispositivos de expansión, garantizando un flujo de fluido controlado y eficiente durante ambos ensayos.

Por su puesto, las líneas han sido equipadas con sus respectivas válvulas de cierre, lo que permitió dirigir el flujo de trabajo hacia la sección específica del banco de ensayos correspondiente, asegurando así la flexibilidad y versatilidad necesaria para llevar a cabo una ambas pruebas (Ver figura 1. P&ID del Refrigerador Doméstico).

5.3.2. Refrigerante R-12

En un estudio basado en la aplicación de refrigerantes alternativos, Villamil y Piamba (2005), afirman que, durante muchos años, el compuesto más prevalente en la refrigeración fue el diclorodifluorometano (R-12), acompañado por otras dos variedades de CFC (clorofluorocarbonos), el R-11 y el R-22. Estos compuestos constituyeron los principales elementos empleados en los sistemas de enfriamiento hasta que, en 1974, investigadores de la Universidad de California plantearon la posibilidad de que los CFC pudiesen desempeñar un papel fundamental en el deterioro de la capa de ozono y en contribución al calentamiento global.

Para el año 1987, con la ratificación del Protocolo de Montreal, se estableció la prohibición del uso y producción de algunas sustancias, incluyendo estos clorofluorocarbonos. Además de definirse plazos para la eliminación de estas sustancias, desde la firma del protocolo hasta la actualidad, una alternativa predominante ha sido el HFC-134a.

5.3.2.1. Refrigerante Alternativo Freon™ 134a: Uso y Propiedades

La compañía Chemours ratifica en su plataforma web que las propiedades termodinámicas y físicas de su producto Freon™ 134a, junto con su baja toxicidad, lo convierten en una alternativa muy eficiente y segura para el antes mencionado CFC-12 en muchos segmentos de la industria de la refrigeración,

sobre todo en aire acondicionado para automóviles, electrodomésticos, pequeños equipos estacionarios, enfriadores industriales y/o comerciales, etc.

En el Anexo IV se muestran las propiedades químicas del refrigerante sustituto seleccionado y una comparación de los ciclos teóricos del CFC-12 y Freon™ 134a (consultar Anexo V para sus propiedades físicas).

5.3.2.2. Aceite Lubricante

La elección del lubricante para ser utilizado con el refrigerante alternativo Freon™ 134a está respaldada por recomendaciones precisas de su fabricante. Estas recomendaciones derivan de exhaustivas pruebas de estabilidad del gas en presencia de distintos aceites refrigerantes y diversos metales. La compañía Chemours, ha señalado que los lubricantes de polialquilenglicol (PAG) y éster de poliol (POE) son los más adecuados para garantizar la óptima integridad y desempeño del sistema luego de que estas pruebas indicaran que las soluciones Freon™ 134a/PAG y Freon™ 134a/POE tienen una estabilidad química aceptable.

Basándonos en esta información, se ha consultado el catálogo de productos de la reconocida marca BVA Oils, cuya experiencia en lubricantes es ampliamente reconocida. En línea con estas recomendaciones, el lubricante PAG seleccionado, es el aceite sintético Serie BVA PRO PAG de grado de viscosidad ISO 100, emerge como la elección idónea para reemplazar el R-12 con el R-134a. La elección de este lubricante no solo asegura la compatibilidad con el refrigerante y una lubricación óptima de los componentes, sino que también refleja una decisión basada en datos sólidos y asesoramiento experto, lo que respalda la confiabilidad y eficacia del sistema en la conversión del R-134a.

En el Anexo VI se evidencia la guía de aplicación proporcionada por el proveedor del lubricante seleccionado, donde en base al cambio de CFC-12 a HFC 134a y la aplicación del refrigerante, se recomienda el tipo de aceite a implementar.

5.4. Selección y Adquisición de Dispositivos de Control

5.4.1. Válvula de Expansión Termostática

La elección de la válvula de expansión es respaldada por criterios técnicos sólidos. Optamos por la reconocida marca Parker Sporlan, que se adapta perfectamente a compresores con una capacidad de hasta 1HP. En congruencia con las recomendaciones técnicas, hemos seleccionado la válvula de expansión que corresponde a capacidades inferiores a 1HP, considerando la óptima operación del compresor.

El modelo elegido es Parker Sporlan 30136-221 C8F- JW, ya que su conjunto de características se ajusta de manera más cercana y adecuada a las necesidades del compresor y el refrigerante en uso. En el Anexo VII se evidencia la selección de la misma mediante el boletín de productos y soluciones del fabricante donde, además, se hace mención a la inclusión de una etiqueta de metal junto con la válvula que representa un recurso fundamental para guiar de manera precisa el proceso de selección del orificio calibrador. La etiqueta proporciona el número de parte específico, el tipo de orificio calibrador y las capacidades nominales asociadas (ver Anexo VIII).

Destaca especialmente la importancia del tipo de orificio, ya que este componente es determinante en el control del flujo del refrigerante y, por lo tanto, en la regulación efectiva del sistema. La información suministrada en la etiqueta no solo facilita la correcta selección inicial del orificio, sino que también contribuye a la optimización del rendimiento del sistema en su conjunto, asegurando una operación eficiente y confiable.

Asimismo, es relevante mencionar que a todas las válvulas del tipo seleccionado se les añade un conector ODF, este desempeña un papel crucial al proporcionar una conexión sólida y segura en el sistema de refrigeración. Al unir la válvula con otras partes del sistema, el conector ODF garantiza la integridad del circuito de refrigerante, evitando fugas y asegurando una transferencia de calor eficiente. Su diseño y calidad contribuyen a la estabilidad operativa del sistema, al tiempo que simplifican las labores de instalación y mantenimiento (ver Anexo IX).

5.4.2. Válvulas de Cierre Manual

Las válvulas de cierre manual se seleccionaron de acuerdo a la medida original del diámetro de las tuberías, en este caso es de $\frac{1}{4}$ ".

5.4.3. Manómetros

Se seleccionó un juego de manómetros de la marca QE QUALITY Modelo QM-336. El conjunto incluye cuerpos fabricados en latón forjado resistente, conjunto de manijas de válvulas de metal tamaño completo, doble escala de presión (PSIG y kg/cm²) y mangueras con resistencia de ruptura de 2500 psi y presión máxima de trabajo de 500 psi.

5.5. Construcción de Estructura Soporte

Lo primero que se debe establecer es la base que soportará la estructura, la cual estará hecha de angulares de hierro y rodos que se encargarán de brindar la movilidad que se requiere en el equipo.

Se realizan los cálculos del estudio de resistencia con el objetivo de determinar cuanta carga soportará la base móvil. (Consultar Anexo X).

$$W = 50.9 \text{ lbs} * 4.448 = 226.4145 \text{ N} = 0.2264 \text{ KN}$$

$$l = 0.82 \text{ m}$$

$$L \text{ total} = 1.12 \text{ m}$$

Mediante análisis estático conocemos que existe una carga distribuida en la base, la cual calculamos:

$$Q = q \times l$$

Sabemos que la carga puntual Q corresponde al peso de la refrigeradora el cual tiene un valor de $Q = 0.2264 \text{ KN}$. Entonces

$$q = Q/l = (0.2264 \text{ KN})/(0.82 \text{ m}) = 0.2760 \text{ KN/m}$$

Los apoyos en ambos extremos de la base son rodos, por ende, existe únicamente una reacción en el eje Y para ambos extremos. (Beer Johnston, Estática, 2010, p.161) El valor de cada reacción es:

$$\sum MA = 0$$

$$0.2264 \text{ KN} (0.41) - RBY(1.12) = 0$$

$$RBY = (0.2264 \text{ KN}(0.41\text{m}))/((1.12\text{m})) = 0.0828 \text{ KN}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$RAY + RBY - Q = 0$$

$$RAY = 0.2264 \text{ KN} - 0.0828 \text{ KN} = 0.1436 \text{ KN}$$

La base móvil se creó por medio de angulares, los cuales inicialmente se cortan conforme a las dimensiones originales de la refrigeradora. Tomando en cuenta que el compresor debe ubicarse de manera más externa con el objetivo de crear las nuevas conexiones y puedan apreciarse de mejor forma. La base tiene 112 cm de largo, 54 cm de ancho y 3 cm de alto. (Consultar Anexo XXXIV).

Una vez realizado el corte de los angulares a su medida y escuadra se procedió a realizar las uniones por medio de soldadura, utilizando 6011 de 3/32". Se escogió uniones soldadas en lugar de empernar para darle mejor estabilidad a la base y más solidez.

A la base se le añadieron 4 rodos, uno en cada esquina para asegurar que se tenga movilidad, se fijaron por medio de soldadura. Para darle una vida útil más larga a la base móvil se le aplicaron dos capas de pintura anticorrosiva negra la cual cubrirá de óxido el material.

5.6. Ensamblaje

Una vez completada la construcción de la base móvil, se procede a la ubicación del equipo en su posición designada. Esto se logra elevando el cuerpo de la nevera y asegurándose de que encaje perfectamente dentro de las medidas previstas. Una vez que se ha determinado el emplazamiento final del equipo, se procede a la fijación del compresor. Este componente cuenta con orificios en los extremos de su base, los cuales se utilizan para asegurarlo mediante el proceso de empernado, garantizando así su ubicación segura y estable.

Para continuar con la instalación, se procedió a la incorporación del capilar y la adaptación de la VET mediante una conexión soldada en forma de "u" que permite la descarga de refrigerante de ambos dispositivos directamente al evaporador.

La justificación detrás de la ubicación del bulbo de la válvula de expansión termostática en proximidad a la salida del evaporador se basa en optimizar el control del proceso de expansión y, por lo tanto, mejorar la eficiencia del sistema. Colocar el bulbo cerca de la salida del evaporador permite que la válvula de expansión termostática responda de manera más sensible a las condiciones de temperatura en esa ubicación crítica, lo que a su vez contribuye a una regulación más precisa del flujo de refrigerante y, en última instancia, a un rendimiento más eficiente del equipo en el banco de ensayos.

Los manómetros se posicionaron en su base y se aseguraron mediante pernos para garantizar su estabilidad durante las operaciones. Estos manómetros se conectaron a las tuberías de succión y descarga del sistema. Para crear esta conexión, se utilizaron aproximadamente cinco pies de tubería de cobre. Luego, se soldaron los manómetros a las conexiones con tuercas flare, asegurando una unión hermética y segura.

Continuando con el proceso, se realizó el cambio de aceite, para ello se ubicó el compresor en posición horizontal colocando un recipiente debajo del caño u orificio de succión para recoger el aceite que originalmente contenía el compresor (fue evidente la escasa cantidad de aceite en su interior).

Otro recipiente plástico se llenó con el aceite nuevo y se procedió a cargar el aceite nuevo. Para ello se conectó una bomba de vacío a la válvula de servicio del compresor y una manguera al caño de succión que, gracias al vacío generado, al sumergir la punta libre de la manguera en el recipiente con el nuevo aceite se logró la carga del mismo.

El siguiente paso involucró someter el compresor a un proceso de vacío para eliminar cualquier rastro de humedad presente en el sistema. Para esto, se utilizó una bomba de vacío rotativa de dos paletas, impulsada por un motor eléctrico

monofásico de 220 V. La bomba se conectó a la toma de servicios de los manómetros y se abrieron las llaves correspondientes. La bomba permaneció en funcionamiento y conectada al banco de ensayos durante aproximadamente treinta minutos, esperando a que ambas lecturas de presión alcanzaran el valor de cero. Una vez logrado esto, se cerraron ambas llaves y se retiró la bomba.

Posteriormente, se determinó la ubicación de las válvulas de cierre manual para regular el flujo de refrigerante en la válvula de expansión y en el tubo capilar. Estas válvulas se colocaron en los extremos inferiores del equipo por cuestiones de conveniencia. Finalmente, se fijaron mediante soldadura el filtro de dos puntas, donde cada salida fue conectada a su dispositivo de expansión, dando por concluido el ensamblaje del equipo.

Para llevar a cabo las pruebas de funcionamiento, se procedió a cargar el equipo con refrigerante 134a. Para este proceso, se conectó la manguera de servicio a la toma de servicios de los manómetros y se conectó al recipiente de refrigerante. Con el equipo marcha, se abrió la llave de baja para permitir que el refrigerante ingresara al sistema en la cantidad necesaria y adecuada. Una vez alcanzado el nivel requerido, se cerró la llave de baja y se retiraron la manguera y el recipiente de refrigerante. (Ver Anexo XXXV).

5.7. Puesta en Marcha

Los resultados finales del funcionamiento del sistema utilizando cualquiera de los dos dispositivos de expansión se evidencian luego de realizar dos distintas pruebas en parámetros de tiempo transcurrido desde cero minutos hasta treinta minutos desde el encendido del equipo, en ese momento se recolectan los primeros valores. Posteriormente, se da paso al refrigerante hacia el otro dispositivo de expansión cerrando y abriendo gradualmente las válvulas de restricción de flujo manualmente y treinta minutos después, se registran los valores de presión finales.

En ambos ensayos se monitorean y recolectan valores de presión leídos mediante el juego de manómetros instalados. Para facilitar este procedimiento, se

establecieron matrices de parámetros como herramientas base para la recolección y el análisis de datos.

5.8. Matrices de Parámetros

La estructura de las matrices está compuesta por varias secciones clave para gestionar de manera efectiva la información relacionada con la actividad a la que está destinada. A continuación, se proporciona información adicional para asegurar la correcta aplicación de esta herramienta:

- En primer lugar, se introduce información general que describe el propósito de la matriz.
- A continuación, se dedica una sección específica a los parámetros iniciales del ciclo de refrigeración, incluyendo el nombre del equipo, una lista de verificación para la selección del dispositivo de expansión destinado al ensayo, así como las lecturas de presión en los manómetros y el flujo de masa involucrado en el proceso.
- Posteriormente, se encuentran tablas independientes para ingresar los valores de presión, temperatura, entalpía y entropía. Estos valores se determinan haciendo uso de tablas de propiedades termodinámicas del refrigerante R-134^a e interpolando entre valores si es necesario.
- Una vez que se han completado los parámetros termodinámicos, se procede a realizar los cálculos correspondientes para el análisis termodinámico del ciclo de refrigeración.
- En la parte final de la matriz, se incluyen dos gráficos cruciales para la representación visual de los resultados. A la izquierda, se presenta un esquema ilustrativo del ciclo de refrigeración, lo que permite una comprensión visual clara de su funcionamiento. A la derecha, se muestra un diagrama TS (temperatura-entropía) que proporciona información adicional sobre el comportamiento termodinámico del sistema.

Esta estructura organizada facilita la recopilación, análisis y presentación de datos esenciales para el estudio y optimización de sistemas de refrigeración. Consultar Anexo XI para visualizar la matriz propuesta.

5.9. Análisis Termodinámico

Con base en Çengel y Boles (2011), se establece que 1 psi equivale a 6.894757 kPa, por lo que para el análisis se tiene que las presiones leídas en los manómetros (ver Anexo XII) equivalen a:

$$P_1 = 16 \text{ psi} = 110.32 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 195 \text{ psi} = 1344.48 \text{ kPa} \cong 1.34 \text{ Mpa}$$

Ahora, mediante las tablas del refrigerante 134a, se procede a determinar los valores de temperatura, entalpía y entropía en los cuatro estados del ciclo haciendo uso de la matriz de parámetros hasta completar el análisis.

5.9.1. Ensayo 1: Tubo Capilar

5.9.1.1. Estado 1:

En base a datos de la Tabla de presión “A-12” (ver Anexo XIII) de Çengel y Boles (2011), determinamos las propiedades del 134^a saturado en este estado, obteniendo que:

$$P_1 = 110.32 \text{ kPa}$$

$$T_1 = -24.28^\circ\text{C}$$

$$h_1 = h_{g \text{ a } 110.32 \text{ kPa}} = 235.74 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = s_{g \text{ a } 110.32 \text{ kPa}} = 0.94975 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

5.9.1.2. Estado 2

Aproximando el valor de la presión de alta al más cercano en la tabla de 134a sobrecalentado (ver Anexo XIV) del autor anteriormente citado y tratándose de un proceso isoentrópico, tenemos que:

$$P_2 = 1344.48 \text{ kPa} = 1.34 \text{ MPa} \cong 1.40 \text{ MPa} (T_{\text{sat}} = 52.40^\circ\text{C})$$

$$h_2 = h_{g \text{ a } 1.40 \text{ MPa}} = 289.14 \text{ kJ/kg}$$

$$s_2 = s_1 = 0.94975 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

5.9.1.3. Estado 3

Para este proceso isobárico, regresamos a la Tabla “A-12” (ver Anexo XIII), donde para el 134a como líquido saturado tenemos que:

$$P_3 = P_2 \cong 1.40 \text{ MPa} (T_{\text{sat}} = 52.40^\circ\text{C})$$

$$h_3 = h_{f \text{ a } 1.40 \text{ MPa}} = 127.22 \text{ kJ/kg}$$

$$s_2 = s_1 = 0.45315 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

5.9.1.4. Estado 4:

Debido al proceso isoentálpico generado en el dispositivo de expansión en este estado, resulta que:

$$h_4 = h_3 = 127.22 \text{ kJ/kg}$$

5.9.1.5. Flujo de Masa

Para obtener el valor de flujo másico nos auxiliamos de la tabla de datos técnicos del compresor Embraco 4.5K9 de 1/6hp, en la cual aproximamos a los valores más cercanos de temperatura de condensación y evaporación. Escogiendo para una temperatura de condensación de 55 °C y una temperatura de evaporación de -25°C (ver Anexo XVI).

$$\dot{m} = 2.88 \text{ kg/h} = 8 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

5.9.1.6. Cálculo de la Tasa de Remoción de Calor

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_4) = (8 \times 10^{-4} \text{ kg/s})(235.74 - 127.22) \text{ kJ/kg} = 0.0868 \text{ Kw}$$

5.9.1.7. Cálculo de la Potencia Neta de Entrada al Compresor

$$\dot{W}_{\text{ent}} = \dot{m}(h_2 - h_1) = (8 \times 10^{-4} \text{ kg/s})(289.14 - 235.74) \text{ kJ/kg} = 0.0427 \text{ Kw}$$

5.9.1.8. Cálculo de la Tasa de Rechazo de Calor del Refrigerante al Ambiente

$$\dot{Q}_H = \dot{m}(h_2 - h_3) = (8 \times 10^{-4} \text{ kg/s})(289.14 - 127.22) \text{ kJ/kg} = 0.1295 \text{ Kw}$$

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W}_{\text{ent}} = (0.0868 + 0.0427) \text{ kW} = 0.1295 \text{ Kw}$$

5.9.1.9. Cálculo del Coeficiente de Desempeño del Refrigerador

$$\text{COP}_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{\text{ent}}} = \frac{0.0868 \text{ Kw}}{0.0427 \text{ Kw}} = 2.0326$$

Para este caso, el refrigerador elimina 2.0326 unidades de energía térmica del espacio refrigerado por cada unidad de energía eléctrica consumida (ver Anexo XVII) para la apreciación final de la matriz de parámetros correspondiente para la implementación del capilar como dispositivo de gobierno del estrangulamiento).

5.9.2. Ensayo 2: Válvula de Expansión Termostática

De igual forma que en el primer ensayo, convirtiendo de psi a kPa las presiones leídas en los manómetros (ver Anexo XVIII) tenemos que:

$$P_1 = 16 \text{ psi} = 110.32 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 195 \text{ psi} = 1344.48 \text{ kPa} \cong 1.34 \text{ Mpa}$$

5.9.2.1. Estado 1:

Una vez más, basándose en datos de la Tabla de presión “A-12” (ver Anexo XIX) de Çengel y Boles (2011), determinamos las propiedades del 134^a saturado en este estado, obteniendo que:

$$P_1 = 31 \text{ psi} = 213.74 \text{ kPa}$$

$$T_1 = -24.28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$h_1 = h_{g \text{ a } 213.74 \text{ kPa}} = 245.43 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = s_{g \text{ a } 213.74 \text{ kPa}} = 0.93665 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

5.9.2.2. Estado 2

Aproximando el valor de la presión de alta al más cercano en la tabla de 134a sobrecalentado (ver Anexo XX) y tratándose de un proceso isoentrópico, tenemos que:

$$P_2 = 195 \text{ psi} = 1344.48 \text{ kPa} \cong 1.20 \text{ Mpa} (T_{\text{sat}} = 46.29 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$h_2 = h_{g \text{ a } 1.20 \text{ MPa}} = 288.8 \text{ kJ/kg}$$

$$s_2 = s_1 = 0.93665 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

5.9.2.3. Estado 3

De la Tabla “A-12” (ver Anexo XXI) determinamos que, para este proceso isobárico, tenemos que:

$$P_3 = P_2 = 1344.48 \text{ kPa} \cong 1.20 \text{ Mpa} (T_{\text{sat}} = 46.29 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$h_3 = h_{g \text{ a } 1.20 \text{ MPa}} = 117.77 \text{ kJ/kg}$$

$$s_3 = s_{g \text{ a } 1.20 \text{ MPa}} = 0.42441 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

5.9.2.4. Estado 4:

Debido al proceso isoentálpico generado en el dispositivo de expansión en este estado, resulta que:

$$h_4 = h_3 = 117.77 \text{ kJ/kg}$$

5.9.2.5. Flujo de Masa

Al igual que en primer ensayo, para obtener el valor de flujo masico nos auxiliamos de la tabla de datos técnicos del compresor Embraco 4.5K9 de 1/6hp, aproximando a los valores más cercanos de temperatura de condensación y evaporación. Escogiendo para una temperatura de condensación de 45 °C y una temperatura de evaporación de -10°C (ver Anexo XVI).

$$\dot{m} = 7.03 \text{ kg/h} = 1.95 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

5.9.2.6. Cálculo de la Tasa de Remoción de Calor

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_4) = (1.95 \times 10^{-3} \text{ kg/s})(245.43 - 117.77) \text{ kJ/kg} = 0.2493 \text{ Kw}$$

5.9.2.7. Cálculo de la Potencia Neta de Entrada al Compresor

$$\dot{W}_{ent} = \dot{m}(h_2 - h_1) = (1.95 \times 10^{-3} \text{ kg/s})(288.8 - 245.43) \text{ kJ/kg} = 0.0847 \text{ Kw}$$

5.9.2.8. Cálculo de la Tasa de Rechazo de Calor del Refrigerante al Ambiente

$$\dot{Q}_H = \dot{m}(h_2 - h_3) = (1.95 \times 10^{-3} \text{ kg/s})(288.8 - 117.77) \text{ kJ/kg} = 0.334 \text{ Kw}$$

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W}_{ent} = (0.2493 + 0.0847) \text{ kW} = 0.334 \text{ Kw}$$

5.9.2.9. Cálculo del Coeficiente de Desempeño del Refrigerador

$$\text{COP}_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{ent}} = \frac{0.2493 \text{ kW}}{0.0847 \text{ kW}} = 2.9431$$

Para este caso, el refrigerador elimina 2.9431 unidades de energía térmica del espacio refrigerado por cada unidad de energía eléctrica consumida (ver Anexo XXII) para la apreciación final de la matriz de parámetros correspondiente para la implementación de la VET como dispositivo de gobierno del estrangulamiento).

5.9.3. Comparación de Rendimiento

Los resultados de los dos ensayos realizados proporcionaron valiosa información sobre el desempeño del sistema de refrigeración bajo diferentes condiciones de estrangulación. En el primer ensayo, donde la estrangulación del fluido de trabajo del refrigerador estaba gobernada por el capilar, se observó que el equipo operó en un rango de presión entre 16 y 195 psi. Durante este ensayo, el sistema logró

eliminar 2.0326 unidades de energía térmica del espacio refrigerado por cada unidad de energía eléctrica consumida, lo que indica una eficiencia razonable.

Sin embargo, en el segundo ensayo, al implementar la válvula de expansión termostática (VET), se observaron variaciones significativas en las presiones de operación, que oscilaron entre 31 y 175 psi. Aunque este ensayo resultó en una eficiencia aparentemente superior, con un mayor coeficiente de rendimiento (COP), se evidenciaron algunas consecuencias negativas. El aumento considerable en la presión de baja y la disminución en la presión de alta, al utilizar la VET, llevó a que el refrigerador solo pudiera mantener una temperatura fresca y, solo al cargar más refrigerante se pudo observar que este congelara, pero, esta alteración generó un sobre esfuerzo en el compresor y aumentó el consumo de energía eléctrica.

A pesar de que la VET parecía ser más eficiente en términos de COP, se determinó que no era la elección óptima debido a que el refrigerador no operaba de manera normal bajo estas condiciones. El aumento en el consumo de refrigerante y la necesidad de cargarlo en exceso podrían llevar a daños en el compresor y generando un mayor consumo de energía eléctrica. Por lo tanto, se recomienda el uso del capilar, que es el dispositivo habitual en este tipo de sistemas de refrigeración, ya que proporciona un rendimiento más estable y predecible, minimizando el riesgo de daños en el equipo y garantizando un funcionamiento eficiente a largo plazo.

5.10. Guía de Laboratorio

GUIA PRÁCTICA CONJUNTA

BANCO DE ENSAYOS UTILIZANDO TUBO CAPILAR VS VET

Objetivo General:

Aplicar los conocimientos teóricos en temáticas de refrigeración a través del uso del banco de ensayos.

Objetivos Específicos:

1. Utilizar el manual de uso para poner en marcha y manipular el equipo.
2. Identificar los componentes del equipo y los procesos que llevan a cabo.
3. Realizar las mediciones de presión del banco de ensayos.
4. Obtener mediante los datos de presión los cálculos de todos los procesos del ciclo para determinar la eficiencia del sistema.
5. Completar cuadro comparativo de resultados finales para determinar el dispositivo de expansión más eficiente.

METAS

Los estudiantes podrán reforzar los conocimientos brindados en asignaturas como termodinámica I y II, transferencia de calor, plantas térmicas y refrigeración y aire acondicionado.

Contenidos Principales:

- Mediciones de presión y temperatura.
- Cálculo de trabajo y ganancias de calor.
- Cálculo de eficiencia del sistema.

Organización de los Equipos de Trabajo

- Se deberán conformar grupos de no más de cinco personas.

Medidas de Seguridad

- Llevar a cabo únicamente las asignaciones que el docente oriente.
- No utilizar ningún equipo de trabajo de cual desconozca su funcionamiento.
- Trabajar en orden, cuidado y limpieza
- Apoyarse en todo momento en el manual de uso del dispositivo.
- Una vez finalizada dicha práctica acudir con la persona a cargo.

Material a Utilizar

- Multímetro.
- Amperímetro.
- Juego de manómetros .

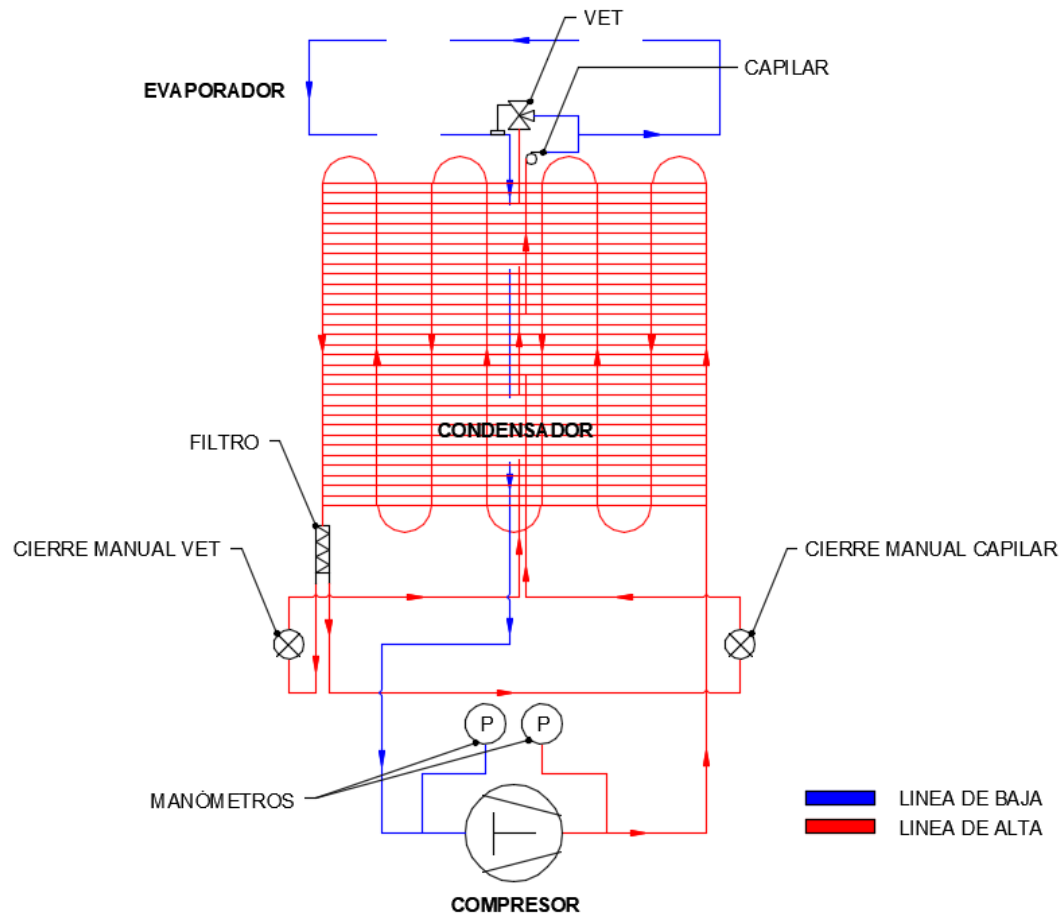
- Gas refrigerante R134a,
- Termómetros.
- Alicates.
- Mangueras de manómetros.
- Tablas termodinámicas.
- Matriz de parámetros.

MARCO TEÓRICO

Componentes Principales del Ciclo de Refrigeración

De los conocimientos brindados en asignaturas anteriores conocemos que el ciclo de refrigeración se compone de 4 elementos fundamentales: compresor, condensador, válvula de expansión o tubo capilar y evaporador. A continuación, se evidencia una ilustración más precisa sobre la composición de este equipo:

Figura 1. P&ID del Refrigerador Doméstico

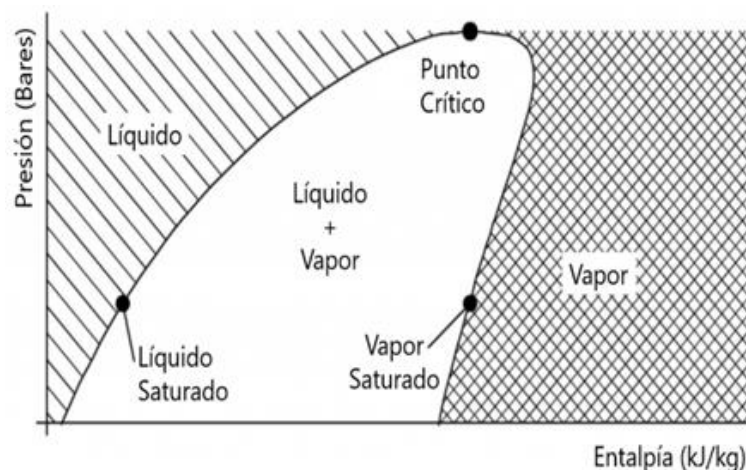


- **Compresor:** Es hermético e isentrópico, es decir no hay transferencia de calor en su proceso. Aumenta la presión del refrigerante.
- **Condensador:** Tiene un proceso a presión constante, por lo tanto, su presión y temperatura se mantienen. Recibe el gas refrigerante del compresor a altas presiones, la sustancia cambia a estado líquido.
- **Tubo capilar:** Tiene como función la de mantener la presión controlada que viene del condensador hacia el evaporador.
- **Evaporador:** También de proceso de presión constante y es el que absorbe la energía térmica del ambiente que posteriormente será enfriada.

Diagramas Termodinámicos

Diagrama Mollier: Es el diagrama en el cual se grafica presión y entalpía, utilizado para sistemas frigoríficos. Consiste en un sistema de 2 dimensiones teniendo los valores de presión en el eje x y los valores de entalpía en el eje y, permite determinar las propiedades termodinámicas más importantes del fluido en los procesos de cambio de estado por debajo del punto crítico.

Figura 2. Diagrama de Mollier

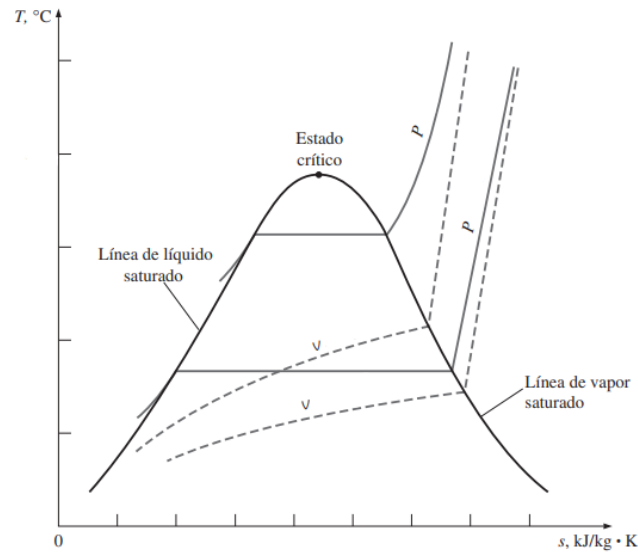


Fuente: tomado de *Diagrama de Mollier*. por Keyter Technologies, S. L. (s.f.).
<https://www.keyter.com/es/diagrama-de-mollier/>

Diagrama T-S: Es comúnmente utilizado para analizar los cambios existentes en un sistema de refrigeración en cuestión de temperatura y entropía. Es de gran

apoyo ayudando a visualizar las transferencias de calor durante el ciclo. Teniendo en el eje X la variable temperatura y en el eje Y la variable entropía.

Figura 3. Diagrama T-S



Fuente: adaptado de *Termodinámica (7a. Ed.). McGraw-Hill.* (p.340), por Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011).

Fases del Gas en el Ciclo

- Líquido saturado: Es aquel que está a punto de vaporizarse.
- Mezcla: Cuando la sustancia se encuentra dividida en un porcentaje de líquido y otro de gas.
- Vapor saturado: Vapor a una temperatura superior a su punto de vaporización a la presión absoluta donde se mide la temperatura.
- Vapor sobrecalentado: Se crea por el sobrecalentamiento del vapor saturado o húmedo para alcanzar un punto mayor al de saturación.
- Flujo másico: Es una forma alternativa de medir caudal basada en la medida de la velocidad a la que la masa de una sustancia pasa a través de una superficie dada. Puede ser obtenido mediante un medidor de flujo o de ficha técnica de compresores.
- Trabajo mecánico del compresor: Puede definirse como el producto de una fuerza y distancia sobre la cual la fuerza actúa en un objeto. La compresión

se produce como resultado de la fuerza que mueve el pistón. Por lo tanto, la energía se transfiere del pistón al gas. Esta transferencia de energía es un trabajo en el sentido termodinámico de la palabra.

- Ganancia de calor en condensador: Calor que es liberado por la masa de un gas que se encuentra en su punto de ebullición al condensarse en un fluido.
- Ganancia de calor en evaporador: Cantidad de energía térmica necesaria para convertir una sustancia líquida a vapor.
- COP: Calor extraído del depósito frío $Q_{\text{frío}}$ (es decir, dentro de un refrigerador) dividido por el trabajo “W” realizado para eliminar el calor (es decir, el trabajo realizado por el compresor).

Proceso Experimental

Puesto en marcha el equipo de manera correcta se procederá a realizar las mediciones de las presiones que brindará la lectura en manómetro. En primera instancia se utilizará únicamente el tubo capilar. Teniendo como objetivo principal llegar a una comparación de resultados respecto al uso de únicamente la VET en un mismo equipo.

Se adjunta propuesta de matriz de parámetros a utilizarse durante ambos ensayos, esto con el objetivo de establecer un patrón de control para cada estado del ciclo en cada caso. Dicha matriz será rellenada por cada grupo plasmando en ella los resultados obtenidos. (Ver Anexo XI).

Para el Tubo Capilar:

- Antes de encender, asegurarse que la válvula de cierre manual del tubo capilar esté abierta. De no estarlo, abrirla.
- Una vez encendido, tomar nota de las presiones de baja y de alta que marca en los manómetros del equipo.
- De tablas termodinámicas determinar el valor de entropía, entalpía y temperaturas en cada uno de los estados del ciclo y justificar el estado en el que se encuentra.

- De ficha técnica de compresor determinar flujo másico aproximado al que trabaja el sistema.
- Determinar los valores de trabajo, calor cedido y ganado en evaporador y condensador.
- Determinar el COP.

Para la Válvula de Expansión Termostática:

- Cerrar la válvula del tubo capilar.
- Abrir inmediatamente la válvula de cierre de la VET.
- Identificar y detallar las diferencias en el proceso respecto al de tubo capilar.
- De los datos que arroja el manómetro determinar las presiones de alta y baja.
- De tablas termodinámicas definir los valores de entropía, entalpía y temperaturas en cada uno de los estados del ciclo.
- Determinar el flujo másico del sistema mediante ficha técnica de compresor.
- Calcular los valores de trabajo, calor cedido y ganado en evaporador y condensador.
- Definir el COP del equipo.
- Indicar que dispositivo de expansión hace más eficiente el banco de ensayos mediante los valores estimados en ambos.

Indicaciones para la Realización del Informe: el informe debe cumplir con la estructura recomendada a continuación:

- a. Introducción: su contenido debe ser los aspectos teóricos que han sido abordados en la clase teórica y reforzados con el texto.
- b. Antecedente
- c. Justificación: mención a quién le resultará útil los resultados del ensayo del laboratorio.
- d. Objetivos generales y específicos, (los establecidos para la práctica).

- e. Marco teórico: criterios teóricos y conceptuales para el ensayo del laboratorio correspondiente.
- f. Materiales, métodos y equipos a utilizar en el ensayo del laboratorio.
- g. Memoria de cálculo y gráficos (matrices de parámetros).
- h. Resultados: deben ser redactados en el orden de los objetivos específicos (estos deben ser respuestas a los objetivos específicos).
- i. Conclusiones: deben de expresarse las interpretaciones teóricas basadas en el marco teórico que se realizan de los diferentes resultados con el objetivo de obtener las conclusiones que dan respuestas al objetivo general.
- j. Recomendaciones: deben estar orientadas a dar respuestas a lo expresado en la justificación (introducción) del ensayo o trabajo de laboratorio.
- k. Bibliografía.
- l. Anexos.

Importante:

- De cada una de las actividades realizadas elaborar conclusiones desde el punto de vista teórico y fundamentada en los objetivos trazados para la práctica, justificar el por qué los resultados teóricos algunas veces no coinciden con los prácticos, es importante tener siempre presente los objetivos de la práctica.
- Se debe entregar una copia de los datos levantados durante el ensayo de laboratorio con los nombres de los miembros del grupo, grupo de clase, año, fecha.
- El informe debe ser entregado como máximo ocho días después de realizada la práctica. Al no cumplir esta disposición será motivo de pérdidas porcentual de puntos por cada día de retraso, sin excepciones.
- El profesor se reserva el derecho a citar al grupo o a alguno de sus miembros para hacer una exposición y defensa del informe de laboratorio

para poner la nota definitiva, de acuerdo a la disposición y asimilación de los objetivos observado durante la práctica y el análisis del informe.

BIBLIOGRAFÍA

- Buenaño Sánchez, L. E., & Esparza Montero, M. R. (2010). *Diseño y Construcción de un Sistema de Refrigeración de Conservación para Laboratorio* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Dirección de Bibliotecas y Recursos para el Aprendizaje e Investigación. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/394>
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). *Termodinámica* (7a. Ed.). McGraw-Hill.
- Conesa, J. A. (2011). *Sistema de refrigeración por compresión*. Experimentación en Ingeniería Química III. Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/17271>
- Dossat, R. J. (1991). *Principios de refrigeración*. Compañía Editorial Continental.
- GUIA #1 Medicion Tecnica. Laboratorio de Electronica*. Universidad Nacional de Ingeniería. Departamento de energética. (s.f.).

5.11. Manual de Usuario

Tabla 1. Datos Técnicos de Funcionamiento del Equipo

Marca	WESTINGHOUSE
Modelo	O2M 197 S
Serie	81423-C94
Voltaje	115 V
Frecuencia	60 Hz
Fases	1
Amperaje	2.5 A
Presión de Baja (Recomendada)	15 - 25 (psi)
Presión de Alta (Recomendada)	≤ 200 (psi)

Instrucciones importantes de Seguridad: para reducir riesgos de incendio, choque eléctrico o lesiones menores:

- Conecte a un contacto de pared de conexión a tierra de 3 terminales.
- No quite la terminal de conexión a tierra
- Desconecte el suministro de energía antes de darle servicio.
- No use un cable eléctrico de extensión.
- Vuelva a colocar todos los componentes y paneles antes de ponerlo a funcionar.
- Use un limpiador no inflamable.
- Mantenga los materiales y vapores inflamables, tales como gasolina, alejados del equipo.
- Si el cordón de alimentación es dañado, éste debe ser reemplazado por el fabricante o su agente de servicio o por personal calificado.

Requisitos de ubicación del equipo:

- Para una adecuada ventilación del equipo, deje un espacio de 1" a cada lado y por encima. Si instala el refrigerador próximo a una pared fija, deje como mínimo 2" a cada lado para la correcta apertura del mono puerta.
- No instale el equipo cerca de una ubicación en la que la temperatura puede bajar de los 55°F (13°C).

Sobre el cuidado del refrigerador:

- Tanto la sección del refrigerador como la del congelador se descongelan automáticamente. No obstante, limpie ambas secciones más o menos una vez al mes para evitar la acumulación de olores.
- No use productos de limpieza abrasivos o ásperos, como aerosoles para ventanas, productos de limpieza para fregar, líquidos inflamables, ceras para limpieza, detergentes concentrados, blanqueadores o productos de limpieza que contengan productos derivados del petróleo en las partes de plástico, en el interior y en los revestimientos o juntas de la puerta. No use toallas de papel, estropajos para fregar u otros utensilios de limpieza ásperos.
- Desenchufe o desconecte el suministro de energía.
- Lave a mano, enjuague y seque todas las partes desmontables y las superficies interiores meticulosamente. Use una esponja limpia o un paño liso y un detergente suave en agua tibia.
- Lave las superficies externas metálicas pintadas y de acero inoxidable con una esponja limpia o un paño liso y detergente suave con agua tibia.
- No es necesaria una limpieza rutinaria del condensador en ambientes de funcionamiento normal en el hogar. Si el ambiente es particularmente grasoso o polvoriento, o si hay bastante tránsito de mascotas en el hogar, el condensador deberá limpiarse cada dos o tres meses para asegurar la máxima eficacia.
- Enchufe o reconecte el suministro de energía.

Sobre el uso de los dispositivos de control:**Válvula de Expansión Termostática:**

- La función es disminuir la temperatura y presión del refrigerante, proporcionar líquido a baja presión al evaporador, y conservar un sobrecalentamiento regular a la salida del evaporador.
- Cuando se decida operar mediante la válvula de expansión termostática se debe asegurar el cierre del tubo capilar, luego de abrir el paso de refrigerante de nuestra válvula.

- Es recomendable cargar más refrigerante cuando se utiliza la válvula de expansión termostática. Esto debido a que esta demanda un mayor consumo para mantener estable las presiones.

Tubo Capilar:

- Su objetivo es mantener la presión del flujo refrigerante en control, por el hecho de que se encuentra entre el condensador y evaporador.
- Cuando se decida operar mediante el tubo capilar deberemos asegurarnos de cerrar el funcionamiento de la válvula de expansión y luego de abrir el paso de refrigerante del tubo capilar.

Juego de Manómetros:

- Los manómetros tienen un mecanismo muy sensible que consiste en dos discos ondulados generalmente en latón o acero inoxidable que se unen para crear una cápsula circular. Los más mínimos cambios de presión hacen que la cápsula se expanda o se contraiga; un mecanismo de piñón transmite este movimiento al indicador.
- La escala debe leerse así: desde el cero, se mide la presión atmosférica; mientras que, de cero hacia abajo, se controlan tanto el vacío como las variaciones que estén por debajo de la presión atmosférica
- Los manómetros de refrigeración incorporan mangueras de distintos colores que cumplen propósitos diversos. La de color rojo, por ejemplo, se encarga de conectar con la válvula, a fin de facilitar la descarga del compresor. La azul asocia la válvula de absorción del compresor con el manómetro de baja presión; y la amarilla es la más versátil, ya que es capaz de medir y gestionar controles muy precisos.
- El manómetro de refrigeración solo debe ser usado teniendo en cuenta parámetros específicos por parte de personal capacitado, responsable y que tenga en cuenta todas las medidas de seguridad, en caso de incidencias. Es necesario que cumplan con todos los pasos para llevar a cabo una lectura, sin apresurarse y respetando los tiempos, el orden de la planta y la cadena de producción en general.

Carga de Refrigerante:

En un costado de la parte posterior del equipo hay una etiqueta donde se muestra información sobre el refrigerador, esta incluye información sobre la carga del refrigerador, amperajes y otro tipo de datos. De igual forma, es recomendable agregar el refrigerante poco a poco hasta llegar a una presión de 6 y 12 psi por el lado de baja presión.

El primer paso que tenemos que realizar para cargar de gas refrigerante en el refrigerador es conectar el juego de manómetro. Con respecto a la ubicación de las mangueras van conectadas de la siguiente manera:

- La manguera amarilla: conocida como válvula de servicio va conectada a la botella de refrigerante. En este caso usaremos un pequeño adaptador para conectar la manguera al cilindro
- La manguera azul: va conectada al lado de baja presión, en este caso del lado del compresor y debe estar cerrada y el refrigerador apagado.
- La manguera roja: va conectada al lado de alta presión, pero en esta prueba no la vamos a utilizar.

Antes de cargar refrigerante necesitamos purgar la manguera de servicio. Esta técnica consiste en dejar escapar un poco de refrigerante. Para hacer esto se afloja el conector del manómetro de servicio color amarillo por unos dos segundos y luego se ajusta, luego se procede de la siguiente manera:

- Con el compresor apagado, se abre la llave del manómetro de baja presión en este caso llave de color azul y entrará refrigerante hasta que ya no entre más (esto se evidencia porque la aguja de baja llega hasta el final de la escala de presión).
- Luego de hacer esto el siguiente paso es cerrar la llave de baja y encender el refrigerador. No taráremos como la aguja de baja regresará hasta menos de cero (0 psi).
- Lo siguiente es poco a poco se abre la llave de baja por lapsos de tiempo de unos veinte segundos, hasta llegar entre los seis (6) y doce (12) psi.

- Algo muy importante en este punto es que conforme se vaya enfriando el refrigerador la presión irá disminuyendo (recordemos que, a baja temperatura, baja presión).
- Después de haber ingresado el refrigerante y este se mantuvo entre seis (6) y doce (12) psi, entonces se retira la manguera de baja cerrando primero la llave.
- Luego desconecte la manguera amarilla junto con el adaptador del cilindro de gas. Deje encendido el refrigerador.
- Una última prueba es que con la ayuda de un amperímetro se mide el amperaje de presentar los parámetros que indica el fabricante. El amperaje recomendado será no mayor a los 2.5 A.

5.12. Presupuesto

En lo que a costes se refiere, se presenta un desglose completo del presupuesto destinado para el desarrollo y finiquito de este proyecto. Los rubros se han categorizado en cuatro grupos que se detallan en tablas individuales permitiendo una comprensión de cómo se han distribuido los recursos del proyecto.

5.12.1. Gastos de Mano de Obra

Estos rubros (Ver Tabla 2) hacen referencia a la inversión en asesoramiento técnico para la evaluación inicial, el posterior mantenimiento correctivo y la adaptación a nuevas condiciones de trabajo del equipo.

Tabla 2. Costos de Recursos de Personal

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	DENOMINACIÓN	FUNCIÓN	TOTAL
1	EVALUACIÓN TÉCNICA	TÉCNICO	EJECUTOR	C\$400.00
2	MANO DE OBRA (CORRECTIVO E INSTALACIONES)	TÉCNICO	EJECUTOR	C\$1,800.00
Total				C\$2,200.00

5.12.2. Gastos de Componentes

Esta sección abarca los dispositivos esenciales para el funcionamiento eficiente del sistema, esto incluye dispositivos de control, dispositivos de gobierno del estrangulamiento, etc.

Tabla 3. Costo de Componentes Principales

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB TOTAL	TOTAL
1	VALVULA ACCESO FITTING 1/4 CON SACA CENTRO SMARTELECTRIC	2	\$0.97	\$1.95	C\$81.00
2	TUBO CAPILAR 0.031X0.051	1	C\$84.62	C\$84.62	C\$97.31
3	QM-336 JUEGO DE MANOMETROS R-12,R-22,R502	1	C\$1,163.46	C\$1,163.46	C\$1,337.98
4	QDX-410A FILTRO 15 GRAMOS BI DIRECCIONAL	1	C\$51.80	C\$51.80	C\$59.57
5	VALVULA DE EXPAN/SPORLAN R134A / R-401a 3x4	1	C\$1,656.17	C\$1,656.17	C\$1,904.60
6	HT-04 VALVULA DE CIERRE MANUAL ROSCABLE 1/4"	2	C\$183.07	C\$366.14	C\$421.06
Total					C\$3,901.52

5.12.3. Gatos de Materiales y/o Consumibles

Esta categoría de gastos abarca una amplia gama de elementos necesarios para llevar a cabo las distintas etapas del proyecto, desde componentes secundarios hasta suministros consumibles.

Tabla 4. Costos de Materiales y/o Consumibles

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB TOTAL	TOTAL
1	FUNDENTE PARA SOLDAR TLF4/QFX-4-1/2BOTE 4 ONZZ	1	C\$100.06	C\$100.06	C\$115.07
2	TUBO COBRE FLEXIBLE 1/4 PIE IUSA	6	\$0.48	\$2.90	C\$120.62
3	VARILLA DE PLATA 5% HARRIS	2	\$2.48	\$4.96	C\$206.28
4	ACEITE PAG ISO 100 ENVASE PLASTICO 80Z BVA	2	\$6.23	\$12.46	C\$518.54
5	REFRIGERANTE FREON 134A 1KGCHEMOUR3-DUPONT	1	\$13.48	\$13.48	C\$561.08
6	LB SOLDADURA 6011 #/32	1	C\$130.00	C\$130.00	C\$130.00
7	DISCO DE CORTE FINO 4 1/2	2	C\$30.00	C\$60.00	C\$60.00
8	DISCO DE DESBASTE 4 1/2	1	C\$40.00	C\$40.00	C\$40.00
9	ANGULARES 1 1/4X1/8	2	C\$600.00	C\$1,200.00	C\$1,200.00
10	RODOS 3"	4	C\$110.00	C\$440.00	C\$440.00
11	MAPP GAS 400G COOLNAPP	1	\$10.06	\$10.06	C\$11.57
12	TUBO DE COBRE 1/4 FLEXIBLE.250X0.030 (5)	5	C\$24.58	C\$122.90	C\$141.34
13	C-00 ORIFICIO INTERCAMBIABLE Y FILTRO DE MALLA R40	1	C\$608.70	C\$608.70	C\$700.01
14	PERNOS 1/4X3/4"	10	C\$3.00	C\$30.00	C\$30.00
15	PERNOS 1/4X1/2"	4	C\$5.00	C\$20.00	C\$20.00
16	ARANDELAS 1/4"	4	C\$1.00	C\$4.00	C\$4.00
17	TEE SOLSABLE 1/4 (2)	2	C\$16.09	C\$32.18	C\$37.01
18	TUBO DE COBRE 1/4 FLEXIBLE.250X0.030 (5)	5	C\$24.58	C\$122.90	C\$141.34
19	FILTRO 2 PUNTOS	1	C\$100.00	C\$100.00	C\$100.00
Total					C\$4,576.85

5.12.4. Gastos Varios

Para este apartado solo se tiene un solo gasto, este fue para el traslado del equipo a las instalaciones del Recinto Pedro Arauz Palacios.

Tabla 5. Resumen de Gastos Varios

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	TOTAL
1	TRANSPORTE	C\$300.00	C\$300.00
Total			C\$300.00

5.12.5. Inversión Total

Finalmente, en la "Tabla 5" se engloban los gastos totales por categoría para una inversión total de diez mil novecientos setenta y ocho córdobas con treinta y seis centavos. Todos estos gastos se han anexado al final del documento.

Tabla 6. Resumen de Costes según su Categoría e Inversión Total

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TOTAL
1	MANO DE OBRA	C\$2,200.00
2	COMPONENTES	C\$3,901.52
3	MATERIALES Y/O CONSUMIBLES	C\$4,576.85
4	VARIOS	C\$300.00
Total		C\$10,978.36

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el desarrollo de la presente investigación titulada “Banco de ensayo de un circuito frigorífico por compresión para prácticas académicas en el laboratorio de Plantas Térmicas de la Facultad de Tecnología de la Industria, en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios, Universidad Nacional de Ingeniería”, se busca enriquecer los conocimientos en el campo de la energética. Como resultado de este trabajo, se pueden destacar las siguientes conclusiones:

- Se realizó un exhaustivo diagnóstico técnico de la refrigeradora Westinghouse O2M197-S Serie: 81423-C94, lo que permitió evaluar la viabilidad de utilizar este equipo como punto de partida para la creación del banco de ensayo.
- Se llevó a cabo una selección minuciosa de los componentes, materiales e insumos esenciales necesarios para la ejecución exitosa de este proyecto.
- Durante la etapa de montaje del banco de ensayo, se priorizó la adaptación de un segundo dispositivo de expansión, en este caso, la válvula de expansión termostática.
- Se desarrolló un manual de uso conciso que servirá como referencia fundamental para el manejo seguro y adecuado del equipo.
- Se elaboró una guía integral de laboratorio destinada al banco de ensayo, que se centra en analizar la influencia de los dispositivos de expansión en el rendimiento del sistema de refrigeración. Tanto la guía como las matrices propuestas pueden ser adaptadas y empleadas en asignaturas relacionadas con la termodinámica y la energética.

Como recomendaciones para fomentar una mejora continua en la temática de nuestro proyecto y para proporcionar a los estudiantes las mejores herramientas de estudio, se sugiere considerar lo siguiente:

- a. Implementación de un Medidor Coriolis: se recomienda la incorporación de un medidor Coriolis en el banco de ensayos. Esto permitirá una medición precisa y exacta del flujo de masa en el sistema, mejorando así la precisión de los experimentos y análisis realizados.

- b. Plan de Mantenimiento Preventivo: es aconsejable establecer un plan de mantenimiento preventivo para el equipo. Esto garantizará una vida útil más prolongada y un funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo. Un mantenimiento regular ayudará a prevenir problemas futuros y a mantener el banco de ensayos en condiciones ideales de operación.
- c. Inspección Rigurosa Antes de su Uso: se recomienda llevar a cabo una revisión detenida y periódica del equipo, especialmente antes de su utilización en cada experimento o práctica. Esto ayudará a identificar posibles problemas o irregularidades antes de que afecten el proceso de enseñanza.
- d. Ambiente Adecuado: ubicar el equipo en un entorno libre de humedad y polvo es esencial para prevenir la corrosión y el deterioro. Mantener el banco de ensayos en un lugar seco y limpio contribuirá a su durabilidad y buen estado de funcionamiento.
- e. Operación dentro de Límites Especificados: es fundamental que el compresor no opere más allá de las presiones y amperaje indicados en el manual de uso. El cumplimiento de estas especificaciones garantiza un funcionamiento seguro y eficiente del equipo, al mismo tiempo que protege su integridad.

La implementación de estas recomendaciones contribuirá a mantener el banco de ensayos en condiciones óptimas y asegurará que continúe siendo una valiosa herramienta educativa para las generaciones futuras de estudiantes.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Buenaño Sánchez, L. E., & Esparza Montero, M. R. (2010). *Diseño y Construcción de un Sistema de Refrigeración de Conservación para Laboratorio* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Dirección de Bibliotecas y Recursos para el Aprendizaje e Investigación. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/394>
- BVA, Inc. (s.f.). *Lubricants for Refrigeration & Air Conditioning*. BVA Oils. <http://bvaoils.com/wp/products/refrigeration-lubricants/>
- Castro Gutiérrez, J., Hernández Zapata, S., & Álvarez Macías, C. (2008). La refrigeración en la enseñanza de la física. *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(1), 879–887. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3700029>
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). *Termodinámica* (7a. Ed.). McGraw-Hill.
- Conesa, J. A. (2011). *Sistema de refrigeración por compresión*. Experimentación en Ingeniería Química III. Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/17271>
- Dossat, R. J. (1991). *Principios de refrigeración*. Compañía Editorial Continental.
- Enciclopedia. (s.f.). *Técnicas de Investigación* - Concepto, tipos y ejemplos. Concepto. <https://concepto.de/tecnicas-de-investigacion/>
- Goribar, E. H. (1984). *Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración*. Editotial Limusa.
- Hernández Sampieri, R., Hernández Collado, C., & & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. Ed.). McGraw-Hill.
- Instituto Nacional Tecnológico. (2010). *Manual para el Participante: Soldadura Oxiacetileno en Refrigeración*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/278492722/Manual-de-Soldadura-Oxiacetileno-en-Refrigeracion#download>

- Keyter Technologies, S. L. (s.f.). *Diagrama de Mollier*.
<https://www.keyter.com/es/diagrama-de-mollier/>
- Lijó, J. M. F. (2006). *Manual de Refrigeración*. Editorial Reverté.
- Mora Guerra, D. (2021). Sadi Carnot. *Prisma Tecnológico*, 12(1), 82–85.
<https://doi.org/10.33412/pri.v12.1.2984>
- Morocho Cajamarca, I. M., & Ruiz Jaramillo, B. A. (2016). *Instrumentación de un Refrigerador Doméstico para la toma de datos de presión y temperatura* [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana.
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13154>
- Parker Hannifin Corporation. (2012). *Válvula de Expansión Termostática C8, Productos y Soluciones Personalizadas Boletín 10-10-9*. Sporlan Division.
<https://sporlanonline.com/wp-content/uploads/2012/11/10-10-9.pdf>
- Puebla, J. A. (2005). *Manual de buenas prácticas en Refrigeración* (1a. Ed.). Fundación Fondo Venezolano de Reconversión Industrial y Tecnológica [FONDOIN].
- Sanz del Castillo, F., & Sanz del Castillo, D. (2014). *Control de Refrigeración*. Universidad Nacional de Educación a Distancia [UNED].
- Stoecker, W. F. (1958). *Refrigeración y Aire Acondicionado* (J. S. Domínguez, Trad.). McGraw-Hill.
- Chemours. (s.f.). *Refrigerante Freon™ 134a (R-134a)*. Freon™.
<https://www.freon.com/es/products/refrigerants/r134a>
- Villamil Salcedo, H. M. y Piamba Tulcán, O. E. (2005). *Estudio y aplicación de ciclos de refrigeración -Refrigerantes alternativos-*. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, (3), 28-33.

VIII. ANEXOS

Anexo I. Bitácora de Mantenimiento

BITÁCORA DE MANTENIMIENTO			
RECIBIDO		FECHA Y HORA 10 / 10 / 2022 08:00	
ENTREGA		FECHA Y HORA 16 / 03 / 2023	
DATOS DEL EQUIPO			
EQUIPO / MARCA	MODEL / SERIAL / R	OBSERVACIONES	
Equipo: Refrigerador Marca: WESTINGHOUSE	Modelo: 02M197-S Serial No: 81423-C94 Refrigerante: R-12	Amperaje: 2.5 A Presión de Baja Inicial: 140 psi Presión de Alta Inicial: 275 psi	
MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
			OBSERVACIONES
Inspección visual interior	☒ Si	☐ No	
Inspección visual exterior	☒ Si	☐ No	
Inspección de cable de poder	☒ Si	☐ No	
Prueba de funcionamiento	☒ Si	☐ No	Amperaje: 1.5 A
MP / HALLAZGOS			
PARTES / COMPONENTES	Línea de Succión	☒ Ok	OBSERVACIONES
	Compresor	☒ Ok	
	Línea de Descarga	☐ Ok	
	Condensador	☒ Ok	
	Evaporador	☒ Ok	
	Filtro Secador	☐ Ok	
	Tubo Capilar	☐ Ok	
	Termostato	☒ Ok	
	Refrigerante	☐ Ok	
	Aceite	☐ Ok	
	Mono puerta	☒ Ok	
	Gavetas	☒ Ok	
	Luz Interior	☒ Ok	
			Identificación de fuga leve en tubería debido a óxido
			Reemplazo requerido
			Reemplazo requerido
			Sin carga
			Bajo nivel
MANTENIMIENTO CORRECTIVO			
- Reemplazo de tubería con oxido por tubería de cobre nueva - Reemplazo de filtro deshidratador - Reemplazo de tubo capilar - Sustitución de gas refrigerante: R-12 a R-134a			
NOMBRE Y FIRMA DEL SUPERVISOR		NOMBRE Y FIRMA DEL EJECUTOR	

Anexo II. Lectura de Amperaje



Nota: lectura de amperaje registrada en bitácora de mantenimiento correspondiente a la evaluación técnica del equipo.

Anexo III. (a) Condensador desmontado, (b) Evaporador desmontado

(a)



(b)



Anexo IV. (1) Información química del sustituto, (2) Comparación de ciclos teóricos de CFC-12 y Freon™ 134^a

(1)

Chemical Name	1,1,1,2-tetrafluoroethane
Molecular Formula	CH ₂ FCF ₃
CAS Registry Number	811-97-2
Molecular Weight	102.0
Chemical Structure	$ \begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ \text{F} - \text{C} - \text{C} - \text{H} \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{H} \end{array} $

(2)

	CFC-12	Freon™ 134a
Capacity (as % CFC-12)	100	99.7
Coefficient of Performance (COP)	3.55	3.43
Compressor		
Exit Temperature, °C (°F)	86.8 (188.2)	83.1 (181.5)
Exit Pressure, kPa (psia)	1349 (195.6)	1473 (213.7)
Compression Ratio	4.1	4.7

Fuente: tomado de *Freon™ 134a Refrigerant (R-134a) Properties, Uses, Storage, and Handling* (pp.4,5), por The Chemours Company. (s.f.). Refrigerante Freon™ 134a (R-134a). Freon™. <https://www.freon.com/es/products/refrigerants/r134a>

Anexo V. Propiedades físicas de Freon™ 134a

Physical Property	Unit	Freon™ 134a
Chemical Name	—	Ethane, 1,1,1,2-Tetrafluoro
Chemical Formula	—	CH ₂ FCF ₃
Molecular Weight	g/mol	102.03
Boiling Point at 1 atm (101.3 kPa or 1.013 bar)	°C	-26.1
	°F	-14.9
Freezing Point	°C	-103.3
	°F	213.9
Critical Temperature	°C	101.1
	°F	213.9
Critical Pressure	kPa psia	4060
		588.9
Critical Volume	m ³ /kg	1.94 x 10 ⁻³
	ft ³ /lb	0.031
Critical Density	kg/m ³	515.3
	lb/ft ³	32.17
Density (Liquid) at 25 °C (77 °F)	kg/m ³	1,206
	lb/ft ³	75.28
Density (Saturated Vapor) at Boiling Point	kg/m ³	5.25
	lb/ft ³	0.328
Heat Capacity (Liquid) at 25 °C (77 °F)	kJ/kg·K	1.44
	Btu/lb·(°F)	0.339
Heat Capacity (Vapor at Constant Pressure) at 25 °C (77 °F) (1 atm) (101.3 kPa or 1.013 bar)	kJ/kg·K	0.852
	Btu/lb·(°F)	0.204
Vapor Pressure at 25 °C (77 °F)	kPa	666.1
	bar	6.661
	psia	96.61
Heat of Vaporization at Normal Boiling Point	kJ/kg	217.2
	Btu/lb	93.4
Thermal Conductivity at 25 °C (77 °F) Liquid	W/m·K	0.0824
	Btu/hr·ft·(°F)	0.0478
Vapor at 1 atm (101.3 kPa or 1.013 bar)	W/m·K	0.0145
	Btu/hr·ft·(°F)	0.00836
Viscosity at 25 °C (77 °F) Liquid	MPa·S (cP)	0.202
Vapor at 1 atm (101.3 kPa or 1.013 bar)	MPa·S (cP)	0.012
Solubility of Freon™ 134a in Water at 25 °C (77 °F) and 1 atm (101.3 kPa or 1.013 bar)	wt%	0.15
Solubility of Water in Freon™ 134a at 25 °C (77 °F)	wt%	0.11
Flammability Limits in Air at 1 atm (101.3 kPa or 1.013 bar)	vol %	None
Auto- Ignition Temperature	°C	770
	°F	1,418
Ozone Depletion Potential (ODP)	—	0
Halocarbon Global Warming Potential (HGWP) (For CFC- 11, HGWP = 1)	—	0.28
Global Warming Potential (GWP) (100 yr ITH) (GWP For CO ₂ , GWP = 1)	—	1,200
TSCA Inventory Status	—	Reported/Included
Toxicity AEL* (8- and 12- hr TWA)	ppm (v/v)	1,000

Fuente: tomado de *Freon™ 134a Refrigerant (R-134a) Properties, Uses, Storage, and Handling* (p.6), por The Chemours Company. (s.f.). Refrigerante Freon™ 134a (R-134a). Freon™. <https://www.freon.com/es/products/refrigerants/r134a>

Anexo VI. Guía de Aplicación de Lubricantes de Refrigeración BVA

ASHRAE #	Trade Name	Replaces	Application	Recommended Lubricant
R-22	R-22		Low and Medium Temperature Refrigeration and Air-Conditioning	MO: BVA 3, 4, & 5 AB: ALKYL 150, 200ca & 300 POE: BVA 14-320 Series
R-123	R-123	R-11	Centrifugal Chillers	MO: BVA 3, 4, & 5, TR300 & TR2200 AB: ALKYL 150, 200ca & 300
R-124	R-124	R-114	Medium Temperature Industrial Refrigeration & Air-Conditioning; High Ambient	AB: ALKYL 150, 200ca & 300
R-134A	R-134A	R-12	Retrofits and New Equipment Medium & High Temperature Commercial Refrigeration, Chillers & Appliances. Automotive A/C	POE: RPOE Series PAGS: BVA RPAG Series (Auto) POE: BVA Auto 100
R-236fa	R-236fa	R-114	Medium Temperature Centrifugal Chillers	POE: RPOE Series
R-401A	MP-39	R-12	Retrofit Low & Medium Temperature Commercial DX Refrigeration	AB: ALKYL 150, 200ca & 300 MO: BVA 3, 4, & 5
R-401B	MP-66	R-12	Retrofit Low & Medium Temperature Commercial DX & Transport Refrigeration	AB: ALKYL 150, 200ca & 300 MO: BVA 3, 4, & 5
R-402A	HP-80	R-22, R-502	Low & Medium Temperature Commercial DX Refrigeration (Service Ref)	AB: ALKYL 150, 200ca & 300 POE: RPOE 22 – 32
R-402B	HP-81	R-22, R-502	Low & Medium Temperature Service Refrigerant for Ice Machines	AB: ALKYL 150, 200ca & 300 POE: RPOE Series
R-403A	69S	R-22, R-502	Retrofit – Low & Medium Temperature Commercial Refrigeration	AB: ALKYL 150, 200ca & 300 POE: RPOE Series
R-404A	HP 62, FX 70, R-404A	R-12	New Equipment Low & Medium Temperature Commercial & Industrial Refrigeration	POE: RPOE 22 – 68

Fuente: adaptado de *BVA Oils, Application Guide* (p.9), por BVA, Inc. (s.f.).
 Lubricants for Refrigeration & Air Conditioning. BVA Oils.
<http://bvaoils.com/wp/products/refrigeration-lubricants/>

Anexo VII. Selección de Conjunto Cuerpo de Válvula y Elemento Termostático

Refrigerante	Conexiones			Longitud del Tubo Capilar cm	Rango de Temperatura de Evaporador °C	MOP psi / °C	Válvula Modelo	Número de ítem
	Entrada	Salida	Equilibrador					
R407C	3/8" SAE	1/2" SAE	1/4" SAE	150	-40°C a +15°C	-	C8EF-NW	30136-202
			Interno	150	-40°C a +15°C	100 psi / +17°C	C8EF-NX100	30136-203
		1/2" ODF	1/4" ODF	150	-40°C a +15°C	-	C8F-NW	30136-223
						100 psi / +17°C	C8F-NX100	30136-224
			Interno	150	-40°C to +15°C	-	C8EF-NW	30136-216
						100 psi / +17°C	C8F-NX100	30136-217
			Interno	150	-40°C to +15°C	-	C8F-NW	30136-237
						100 psi / +17°C	C8F-NX100	30136-238
R134a R401A	3/8" SAE	1/2" SAE	1/4" SAE	150	-40°C a +15°C	-	C8EF-JW	30136-200
			Interno	150	-40°C a +15°C	60 psi / +17°C	C8EF-JX60	30136-201
		1/2" ODF	1/4" ODF	150	-40°C a +15°C	-	C8F-JW	30136-221
						60 psi / +17°C	C8F-JX60	30136-222
			Interno	150	-40°C a +15°C	-	C8ES-JW	30136-214
						60 psi / +17°C	C8ES-JX60	30136-215
			Interno	150	-40°C to +15°C	-	C8S-JW	30136-235
						60 psi / +17°C	C8S-JX60	30136-236
R404A R402A R402B R502 R507	3/8" SAE	1/2" SAE	1/4" SAE	150	-40°C a +10°C	-	C8EF-SW	30136-204
					-40°C a +10°C	110 psi / +12°C	C8EF-SX110	30136-205
			Interno	150	-40°C a +10°C	35 psi / -17°C	C8EF-SX35	30136-206
					-40°C a -18°C	-	C8F-SW	30136-225
		1/2" ODF	1/4" ODF	150	-40°C a +10°C	110 psi / +12°C	C8F-JX110	30136-226
					-40°C a +10°C	35 psi / -17°C	C8F-SX35	30136-227
			Interno	150	-40°C a -18°C	-	C8ES-SW	30136-218
					-40°C a +10°C	110 psi / +12°C	C8ES-SX110	30136-219
			Interno	150	-40°C a +10°C	35 psi / -17°C	C8ES-SX35	30136-220
					-40°C a -18°C	-	C8S-SW	30136-239
			Interno	150	-40°C a +10°C	110 psi / +12°C	C8S-SX110	30136-240
					-40°C a +10°C	35 psi / -17°C	C8S-SX35	30136-241
R22	3/8" SAE	1/2" SAE	1/4" SAE	150	-40°C a +15°C	-	C8EF-VW	30136-242
			Interno	150	-40°C a +15°C	100 psi / +17°C	C8EF-VX100	30136-248
		1/2" ODF	1/4" ODF	150	-40°C a +15°C	-	C8F-VW	30136-245
						100 psi / +17°C	C8F-VX100	30136-251
			Interno	150	-40°C a +15°C	-	C8ES-VW	30136-244
						100 psi / +17°C	C8ES-VX100	30136-250
			Interno	150	-40°C a +15°C	-	C8S-VW	30136-247
						100 psi / +17°C	C8S-VX100	30136-253

Fuente: tomado de *Válvula de Expansión Termostática C8, Productos y Soluciones Personalizadas Boletín 10-10-9* (p.4), por Parker Hannifin Corporation. (2012). Sporlan Division. <https://sporlanonline.com/wp-content/uploads/2012/11/10-10-9.pdf>

Anexo VIII. Etiqueta Metálica



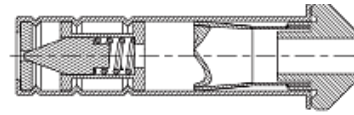
Nota: la etiqueta de la VET seleccionada nos dice que le corresponde un orificio tipo C-00.

Anexo IX. C8, Conjunto de Orificio y Filtro de Malla

Conjunto de Orificio y Filtro de Malla
Capacidades Nominales, TR¹

Número de Partes	Orificio Tipo	Capacidades Nominales, TR ¹			
		R407C	R134a	R404A	R22
506032	C-0X	0.16	0.13	0.12	0.16
506033	C-00	0.34	0.28	0.22	0.31
506034	C-01	0.68	0.46	0.40	0.65
506035	C-02	1.08	0.74	0.60	1.00
506036	C-03	1.48	1.22	1.11	1.39
506037	C-04	2.56	1.99	1.79	2.39
506038	C-05	3.21	2.45	2.19	2.99
506039	C-06	4.27	2.70	2.33	3.98

¹ La capacidad nominal está basada en las siguientes condiciones:
 Temperatura de Evaporador, $T_e = 5^\circ\text{C}$
 Temperatura de Condensación = $T_c = +32^\circ\text{C}$
 Temperatura del refrigerante entrando a la válvula, $T_1 = +28^\circ\text{C}$



■ El número del orificio está estampado en el orificio, Ej. C-0X



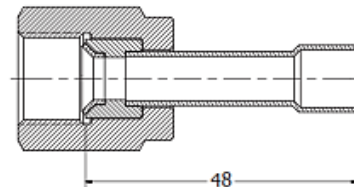
■ Una etiqueta de metal es suplida con cada orificio individual y debe ser fijada al tubo capilar al momento de instalar el orificio en el cuerpo de la válvula.

Adaptador ODF Soldar de Entrada

Todas las válvulas de Expansión Termostáticas C8 vienen con un conector 3/8" SAE Roscar en la entrada. Adaptadores soldables están disponibles en los Distribuidores Parker / Sporlan.

Los adaptadores soldables para la conexión de entrada permiten instalar fácilmente la VET C8 y tener acceso al conjunto orificio & filtro de malla. Los Adaptadores soldables de Parker / Sporlan han sido diseñados para utilizarse con el filtro de malla "flare".

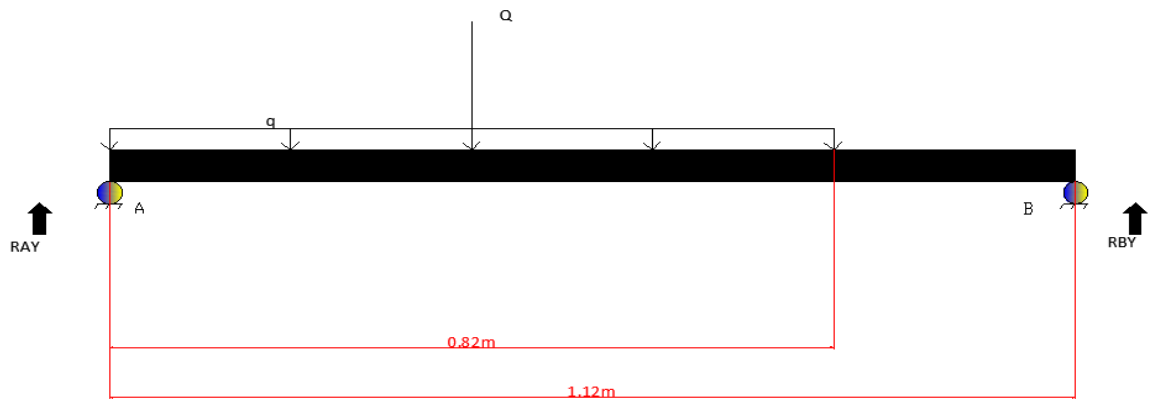
Artículo	Descripción
A-6M	Adaptador Soldable de Entrada 3/8" SAE a 6mm ODF
A-10M	Adaptador Soldable de Entrada 3/8" SAE a 10mm ODF
A-2	Adaptador Soldable de Entrada 3/8" SAE a 1/4" ODF
A-3	Adaptador Soldable de Entrada 3/8" SAE a 3/8" ODF



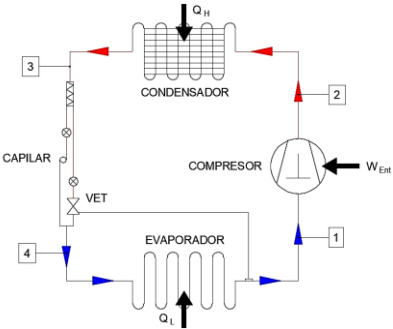
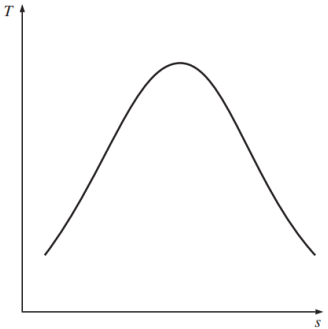
Todas las dimensiones están en milímetros (mm).

Fuente: tomado de *Válvula de Expansión Termostática C8, Productos y Soluciones Personalizadas Boletín 10-10-9* (p.5), por Parker Hannifin Corporation. (2012). Sporlan Division. <https://sporlanonline.com/wp-content/uploads/2012/11/10-10-9.pdf>

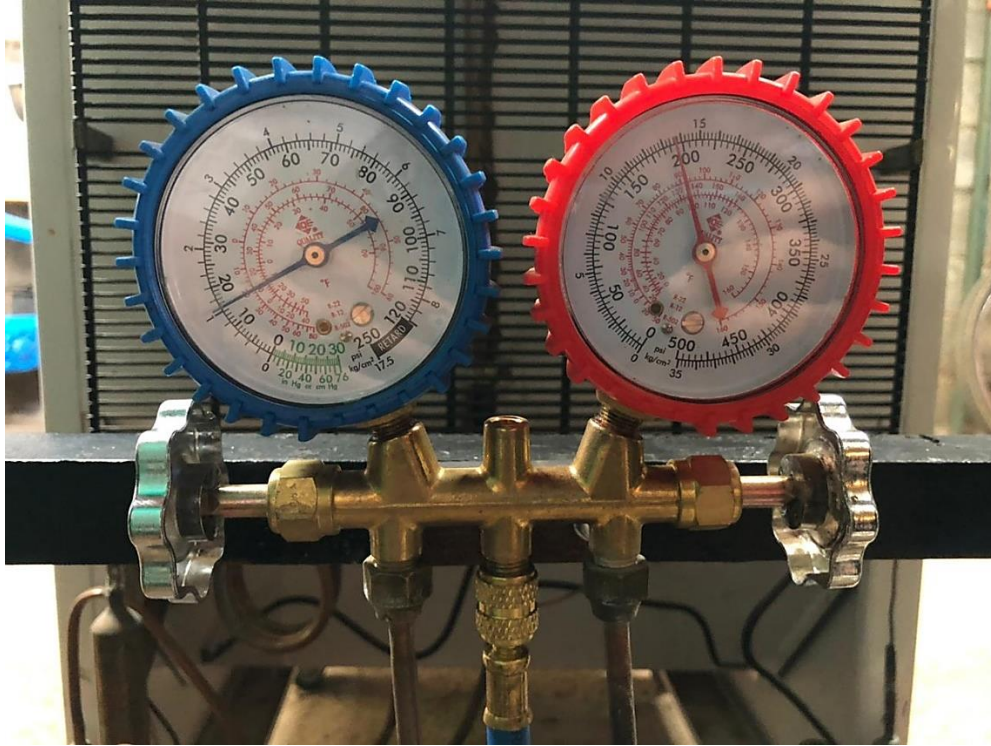
Anexo X. Esquema de Angular de Base Móvil



Anexo XI. Propuesta de Matriz de Parámetros

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA	
Carrera:		Materia:	
Grupo:		Ubicación:	
Docente:		Fecha:	
PARÁMETROS OPERATIVOS INICIALES			
Unidad de Refrigeración:			
Dispositivo de Expansión: ☐ Capilar ☐ VET			
Lectura en Manómetro de Baja:		psi	KPa
Lectura en Manómetro de Alta:		psi	kPa
Flujo de Masa:		kg/h	kg/s
PARÁMETROS TERMODINÁMICOS			
ESTADO 1 TABLA A-12		ESTADO 2 TABLA A-13	
Refrigerante 134a saturado (Tabla de Presión)		Refrigerante 134a sobrecalentado	
	Entalpía Kj/kg	Entropía kJ/kg.K	
Pres.sat., P _{sat} kPa	Temp.sat., T _{sat} °C	Vap sat., h _g	Vap sat., s _g
ESTADO 3 TABLA A-12		ESTADO 4 TABLA A-12	
Refrigerante 134a saturado (Tabla de Presión)		Refrigerante 134a saturado (Tabla de Presión)	
	Entalpía Kj/kg	Entropía kJ/kg.K	
Pres.sat., P _{sat} kPa	Temp.sat., T _{sat} °C	Pres.sat., P _{sat} kPa	Temp.sat., T _{sat} °C
CÁLCULOS			
			

Anexo XII. Lectura de Manómetros (Ensayo 1)



Nota: 16 psi para la presión de baja (manómetro azul) y 195 psi para la presión de alta (manómetro rojo)

Anexo XIII. Tabla A-12 de Presión R-134a Saturado

TABLA A-12

Refrigerante 134a saturado. Tabla de presión

Pres., <i>P</i> kPa	Temp. sat., <i>T</i> _{sat} °C	Volumen específico, <i>m</i> ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., <i>v</i> _f	Vapor sat., <i>v</i> _g	Líqu. sat., <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Vapor sat., <i>u</i> _g	Líqu. sat., <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Vapor sat., <i>h</i> _g	Líqu. sat., <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Vapor sat., <i>s</i> _g
60	-36.95	0.0007098	0.31121	3.798	205.32	209.12	3.841	223.95	227.79	0.01634	0.94807	0.96441
70	-33.87	0.0007144	0.26929	7.680	203.20	210.88	7.730	222.00	229.73	0.03267	0.92775	0.96042
80	-31.13	0.0007185	0.23753	11.15	201.30	212.46	11.21	220.25	231.46	0.04711	0.90999	0.95710
90	-28.65	0.0007223	0.21263	14.31	199.57	213.88	14.37	218.65	233.02	0.06008	0.89419	0.95427
100	-26.37	0.0007259	0.19254	17.21	197.98	215.19	17.28	217.16	234.44	0.07188	0.87995	0.95183
120	-22.32	0.0007324	0.16212	22.40	195.11	217.51	22.49	214.48	236.97	0.09275	0.85503	0.94779
140	-18.77	0.0007383	0.14014	26.98	192.57	219.54	27.08	212.08	239.16	0.11087	0.83368	0.94456
160	-15.60	0.0007437	0.12348	31.09	190.27	221.35	31.21	209.90	241.11	0.12693	0.81496	0.94190
180	-12.73	0.0007487	0.11041	34.83	188.16	222.99	34.97	207.90	242.86	0.14139	0.79826	0.93965
200	-10.09	0.0007533	0.099867	38.28	186.21	224.48	38.43	206.03	244.46	0.15457	0.78316	0.93773
240	-5.38	0.0007620	0.083897	44.48	182.67	227.14	44.66	202.62	247.28	0.17794	0.75664	0.93458
280	-1.25	0.0007699	0.072352	49.97	179.50	229.46	50.18	199.54	249.72	0.19829	0.73381	0.93210
320	2.46	0.0007772	0.063604	54.92	176.61	231.52	55.16	196.71	251.88	0.21637	0.71369	0.93006
360	5.82	0.0007841	0.056738	59.44	173.94	233.38	59.72	194.08	253.81	0.23270	0.69566	0.92836
400	8.91	0.0007907	0.051201	63.62	171.45	235.07	63.94	191.62	255.55	0.24761	0.67929	0.92691
450	12.46	0.0007985	0.045619	68.45	168.54	237.00	68.81	188.71	257.53	0.26465	0.66069	0.92535
500	15.71	0.0008059	0.041118	72.93	165.82	238.75	73.33	185.98	259.30	0.28023	0.64377	0.92400
550	18.73	0.0008130	0.037408	77.10	163.25	240.35	77.54	183.38	260.92	0.29461	0.62821	0.92282
600	21.55	0.0008199	0.034295	81.02	160.81	241.83	81.51	180.90	262.40	0.30799	0.61378	0.92177
650	24.20	0.0008266	0.031646	84.72	158.48	243.20	85.26	178.51	263.77	0.32051	0.60030	0.92081

Fuente: tomado de *Termodinámica (7a. Ed.). McGraw-Hill.* (p.928), por Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011).

Anexo XIV. Tabla A-13 R-134a Sobrecalentado

TABLA A-13

Refrigerante 134a sobrecalentado (*conclusión*)

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
	$P = 1.20 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 46.29 \text{ °C})$				$P = 1.40 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 52.40 \text{ °C})$				$P = 1.60 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 57.88 \text{ °C})$			
Sat.	0.016715	253.81	273.87	0.9130	0.014107	256.37	276.12	0.9105	0.012123	258.47	277.86	0.9078
50	0.017201	257.63	278.27	0.9267								
60	0.018404	267.56	289.64	0.9614	0.015005	264.46	285.47	0.9389	0.012372	260.89	280.69	0.9163
70	0.019502	277.21	300.61	0.9938	0.016060	274.62	297.10	0.9733	0.013430	271.76	293.25	0.9535
80	0.020529	286.75	311.39	1.0248	0.017023	284.51	308.34	1.0056	0.014362	282.09	305.07	0.9875
90	0.021506	296.26	322.07	1.0546	0.017923	294.28	319.37	1.0364	0.015215	292.17	316.52	1.0194
100	0.022442	305.80	332.73	1.0836	0.018778	304.01	330.30	1.0661	0.016014	302.14	327.76	1.0500
110	0.023348	315.38	343.40	1.1118	0.019597	313.76	341.19	1.0949	0.016773	312.07	338.91	1.0795
120	0.024228	325.03	354.11	1.1394	0.020388	323.55	352.09	1.1230	0.017500	322.02	350.02	1.1081
130	0.025086	334.77	364.88	1.1664	0.021155	333.41	363.02	1.1504	0.018201	332.00	361.12	1.1360
140	0.025927	344.61	375.72	1.1930	0.021904	343.34	374.01	1.1773	0.018882	342.05	372.26	1.1632
150	0.026753	354.56	386.66	1.2192	0.022636	353.37	385.07	1.2038	0.019545	352.17	383.44	1.1900
160	0.027566	364.61	397.69	1.2449	0.023355	363.51	396.20	1.2298	0.020194	362.38	394.69	1.2163
170	0.028367	374.78	408.82	1.2703	0.024061	373.75	407.43	1.2554	0.020830	372.69	406.02	1.2421
180	0.029158	385.08	420.07	1.2954	0.024757	384.10	418.76	1.2807	0.021456	383.11	417.44	1.2676

Fuente: tomado de *Termodinámica (7a. Ed.). McGraw-Hill.* (p.930), por Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011).

Anexo XV. Tabla A-12 de Presión R-134a Saturado

TABLA A-12

Refrigerante 134a saturado. Tabla de presión

Pres., <i>P</i> kPa	Temp. sat., <i>T</i> _{sat} °C	Volumen específico, <i>m</i> ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., <i>v</i> _f	Vapor sat., <i>v</i> _g	Líqu. sat., <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Vapor sat., <i>u</i> _g	Líqu. sat., <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Vapor sat., <i>h</i> _g	Líqu. sat., <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Vapor sat., <i>s</i> _g
450	12.46	0.0007985	0.045619	68.45	168.54	237.00	68.81	188.71	257.53	0.26465	0.66069	0.92535
500	15.71	0.0008059	0.041118	72.93	165.82	238.75	73.33	185.98	259.30	0.28023	0.64377	0.92400
550	18.73	0.0008130	0.037408	77.10	163.25	240.35	77.54	183.38	260.92	0.29461	0.62821	0.92282
600	21.55	0.0008199	0.034295	81.02	160.81	241.83	81.51	180.90	262.40	0.30799	0.61378	0.92177
650	24.20	0.0008266	0.031646	84.72	158.48	243.20	85.26	178.51	263.77	0.32051	0.60030	0.92081
700	26.69	0.0008331	0.029361	88.24	156.24	244.48	88.82	176.21	265.03	0.33230	0.58763	0.91994
750	29.06	0.0008395	0.027371	91.59	154.08	245.67	92.22	173.98	266.20	0.34345	0.57567	0.91912
800	31.31	0.0008458	0.025621	94.79	152.00	246.79	95.47	171.82	267.29	0.35404	0.56431	0.91835
850	33.45	0.0008520	0.024069	97.87	149.98	247.85	98.60	169.71	268.31	0.36413	0.55349	0.91762
900	35.51	0.0008580	0.022683	100.83	148.01	248.85	101.61	167.66	269.26	0.37377	0.54315	0.91692
950	37.48	0.0008641	0.021438	103.69	146.10	249.79	104.51	165.64	270.15	0.38301	0.53323	0.91624
1000	39.37	0.0008700	0.020313	106.45	144.23	250.68	107.32	163.67	270.99	0.39189	0.52368	0.91558
1200	46.29	0.0008934	0.016715	116.70	137.11	253.81	117.77	156.10	273.87	0.42441	0.48863	0.91303
1400	52.40	0.0009166	0.014107	125.94	130.43	256.37	127.22	148.90	276.12	0.45315	0.45734	0.91050
1600	57.88	0.0009400	0.012123	134.43	124.04	258.47	135.93	141.93	277.86	0.47911	0.42873	0.90784
1800	62.87	0.0009639	0.010559	142.33	117.83	260.17	144.07	135.11	279.17	0.50294	0.40204	0.90498
2000	67.45	0.0009886	0.009288	149.78	111.73	261.51	151.76	128.33	280.09	0.52509	0.37675	0.90184
2500	77.54	0.0010566	0.006936	166.99	96.47	263.45	169.63	111.16	280.79	0.57531	0.31695	0.89226
3000	86.16	0.0011406	0.005275	183.04	80.22	263.26	186.46	92.63	279.09	0.62118	0.25776	0.87894

Fuente: tomado de *Termodinámica (7a. Ed.). McGraw-Hill.* (p.928), por Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011).

Anexo XVI. Flujo de Masa (Ensayo 1)

embraco	DATOS TÉCNICOS DEL COMPRESOR
----------------	-------------------------------------

D - PERFORMANCE - DATOS CHECK POINT

CONDICIONES DE PRUEBA: @115V60Hz			ASHRAELBP32 Estática		Temperatura de evaporación -23.3°C (-9.94°F) (Temp. de condensación 54.4°C (129.92°F))			
Capacidad de refrigeración +/- 5%			Consumo de potencia +/- 5%	Consumo de corriente +/- 5%	Flujo de masa +/- 5%	RANGO DE EFICIENCIA +/- 7%		
[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
570	144	167	134	1.92	3.24	4.25	1.07	1.25

E - PERFORMANCE - CURVAS

CONDICIONES DE PRUEBA: @115V60Hz			ASHRAE32 Estática		(Temp. de condensación 49°C (+113°F))			
Temperatura de evaporación	Capacidad de refrigeración +/- 5%			Consumo de potencia +/- 5%	Consumo de corriente +/- 5%	Flujo de masa +/- 5%	RANGO DE EFICIENCIA +/- 7%	
°C (°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]
-35 (-31)	303	76	89	92	1.67	1.71	3.28	0.83
-30 (-22)	423	106	124	106	1.73	2.39	4.00	1.01
-25 (-13)	576	145	169	122	1.81	3.27	4.74	1.19
-20 (-4)	762	192	223	139	1.90	4.34	5.50	1.39
-15 (+5)	979	247	287	156	2.00	5.59	6.28	1.58
-10 (+14)	1227	309	359	173	2.11	7.03	7.09	1.79

CONDICIONES DE PRUEBA: @115V60Hz			ASHRAE32 Estática		(Temp. de condensación 59°C (+131°F))			
Temperatura de evaporación	Capacidad de refrigeración +/- 5%			Consumo de potencia +/- 5%	Consumo de corriente +/- 5%	Flujo de masa +/- 5%	RANGO DE EFICIENCIA +/- 7%	
°C (°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]
-35 (-31)	238	60	70	89	1.65	1.35	2.69	0.68
-30 (-22)	356	90	104	104	1.72	2.02	3.42	0.86
-25 (-13)	507	128	149	122	1.81	2.88	4.13	1.04
-20 (-4)	689	174	202	142	1.92	3.92	4.83	1.22
-15 (+5)	902	227	264	163	2.05	5.15	5.51	1.39
-10 (+14)	1144	288	335	185	2.19	6.55	6.19	1.56

Fuente: adaptado de *Compresor Embraco 1/6 HP.* por Fogel de Nicaragua S.A.

<https://fogel.com.ni/producto/compresor-embraco-1-6hp/>

Anexo XVII. Matriz de Parámetros de Ensayo 1 (Tubo Capilar)

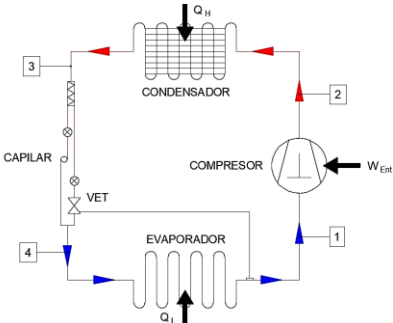
		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA	
Carrera:	Ingeniería Mecánica	Materia:	Refrigeración y A/C
Grupo:	XTX-MEC	Ubicación:	Laboratorio de Plantas Térmicas
Docente:	Mary Triny Gutiérrez Mendoza	Fecha:	Día, (00) de (mes) del (año)

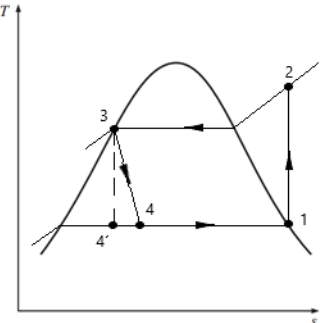
PARÁMETROS OPERATIVOS INICIALES			
Unidad de Refrigeración: Refrigerador Doméstico			
Dispositivo de Expansión: ☒ Capilar ☐ VET			
Lectura en Manómetro de Baja:	16 psi	110.32 KPa	0.110 MPa
Lectura en Manómetro de Alta:	195 psi	1344.48 kPa	1.344 MPa
Flujo de Masa:	2.88 kg/h		8x10 ⁻⁴ kg/s

PARÁMETROS TERMODINÁMICOS			
ESTADO 1		ESTADO 2	
TABLA A-12		TABLA A-13	
Refrigerante 134a saturado (Tabla de Presión)		Refrigerante 134a sobrecalentado	
Pres.sat., P _{sat} kPa	Temp.sat., T _{sat} °C	Pres.sat., P _{sat} kPa	Temp., T °C
Vap sat., h _g	Vap sat., s _g	h kJ/kg	s kJ/kg.K
100	-26.37	234.44	0.95183
110.32	-24.28	235.74	0.94975
120	-22.32	236.97	0.94779

ESTADO 3		ESTADO 4	
TABLA A-12		TABLA A-12	
Refrigerante 134a saturado (Tabla de Presión)		Refrigerante 134a saturado (Tabla de Presión)	
Pres.sat., P _{sat} kPa	Temp.sat., T _{sat} °C	Pres.sat., P _{sat} kPa	Temp.sat., T _{sat} °C
Vap sat., h _g	Vap sat., s _g	Pres.sat., P _{sat} kPa	Temp.sat., T _{sat} °C
1200	46.29	117.77	0.42441
P ₂	T ₂	127.22	0.45315
1600	57.88	135.93	0.47911

CÁLCULOS	
Calor Eliminado del Espacio Refrigerado $[\dot{Q}_L] = (\dot{m})(h_1 - h_4) = (8 \times 10^{-4} \text{ kg/s})(235.74 - 127.22) \text{ kJ/kg} = 0.0868 \text{ kW}$ Entrada de Trabajo Neto $[\dot{W}_{\text{neto}}] = (\dot{m})(h_2 - h_1) = (8 \times 10^{-4} \text{ kg/s})(289.14 - 235.74) \text{ kJ/kg} = 0.0427 \text{ kW}$ Calor Rechazado al Ambiente $[\dot{Q}_H] = (\dot{m})(h_2 - h_3) = (8 \times 10^{-4} \text{ kg/s})(289.14 - 127.22) \text{ kJ/kg} = 0.1295 \text{ kW}$ Coeficiente de Desempeño $[\text{COP}_R] = \dot{Q}_L / \dot{W}_{\text{ent}} = 0.0868 \text{ kW} / 0.0427 \text{ kW} = 2.0326$	





Anexo XVIII. Lectura de Manómetros (Ensayo 2)



Nota: 31 psi para la presión de baja (manómetro azul) y 175 psi para la presión de alta (manómetro rojo)

Anexo XIX. Tabla A-12 de Presión R-134a Saturado (Ensayo 2)

TABLA A-12

Refrigerante 134a saturado. Tabla de presión

Pres., <i>P</i> kPa	Temp. sat., <i>T</i> _{sat} °C	Volumen específico, <i>m</i> ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., <i>v</i> _f	Vapor sat., <i>v</i> _g	Líqu. sat., <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Vapor sat., <i>u</i> _g	Líqu. sat., <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Vapor sat., <i>h</i> _g	Líqu. sat., <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Vapor sat., <i>s</i> _g
60	-36.95	0.0007098	0.31121	3.798	205.32	209.12	3.841	223.95	227.79	0.01634	0.94807	0.96441
70	-33.87	0.0007144	0.26929	7.680	203.20	210.88	7.730	222.00	229.73	0.03267	0.92775	0.96042
80	-31.13	0.0007185	0.23753	11.15	201.30	212.46	11.21	220.25	231.46	0.04711	0.90999	0.95710
90	-28.65	0.0007223	0.21263	14.31	199.57	213.88	14.37	218.65	233.02	0.06008	0.89419	0.95427
100	-26.37	0.0007259	0.19254	17.21	197.98	215.19	17.28	217.16	234.44	0.07188	0.87995	0.95183
120	-22.32	0.0007324	0.16212	22.40	195.11	217.51	22.49	214.48	236.97	0.09275	0.85503	0.94779
140	-18.77	0.0007383	0.14014	26.98	192.57	219.54	27.08	212.08	239.16	0.11087	0.83368	0.94456
160	-15.60	0.0007437	0.12348	31.09	190.27	221.35	31.21	209.90	241.11	0.12693	0.81496	0.94190
180	-12.73	0.0007487	0.11041	34.83	188.16	222.99	34.97	207.90	242.86	0.14139	0.79826	0.93965
200	-10.09	0.0007533	0.099867	38.28	186.21	224.48	38.43	206.03	244.46	0.15457	0.78316	0.93773
240	-5.38	0.0007620	0.083897	44.48	182.67	227.14	44.66	202.62	247.28	0.17794	0.75664	0.93458
280	-1.25	0.0007699	0.072352	49.97	179.50	229.46	50.18	199.54	249.72	0.19829	0.73381	0.93210
320	2.46	0.0007772	0.063604	54.92	176.61	231.52	55.16	196.71	251.88	0.21637	0.71369	0.93006
360	5.82	0.0007841	0.056738	59.44	173.94	233.38	59.72	194.08	253.81	0.23270	0.69566	0.92836
400	8.91	0.0007907	0.051201	63.62	171.45	235.07	63.94	191.62	255.55	0.24761	0.67929	0.92691

Fuente: tomado de *Termodinámica (7a. Ed.). McGraw-Hill.* (p.928), por Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011).

Anexo XX. Tabla A-13 R-134a Sobrecalentado

TABLA A-13

Refrigerante 134a sobrecalentado (*conclusión*)

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$P = 1.20 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 46.29 \text{ °C})$					$P = 1.40 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 52.40 \text{ °C})$				$P = 1.60 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 57.88 \text{ °C})$			
Sat.	0.016715	253.81	273.87	0.9130	0.014107	256.37	276.12	0.9105	0.012123	258.47	277.86	0.9078
50	0.017201	257.63	278.27	0.9267								
60	0.018404	267.56	289.64	0.9614	0.015005	264.46	285.47	0.9389	0.012372	260.89	280.69	0.9163
70	0.019502	277.21	300.61	0.9938	0.016060	274.62	297.10	0.9733	0.013430	271.76	293.25	0.9535
80	0.020529	286.75	311.39	1.0248	0.017023	284.51	308.34	1.0056	0.014362	282.09	305.07	0.9875
90	0.021506	296.26	322.07	1.0546	0.017923	294.28	319.37	1.0364	0.015215	292.17	316.52	1.0194
100	0.022442	305.80	332.73	1.0836	0.018778	304.01	330.30	1.0661	0.016014	302.14	327.76	1.0500
110	0.023348	315.38	343.40	1.1118	0.019597	313.76	341.19	1.0949	0.016773	312.07	338.91	1.0795
120	0.024228	325.03	354.11	1.1394	0.020388	323.55	352.09	1.1230	0.017500	322.02	350.02	1.1081
130	0.025086	334.77	364.88	1.1664	0.021155	333.41	363.02	1.1504	0.018201	332.00	361.12	1.1360
140	0.025927	344.61	375.72	1.1930	0.021904	343.34	374.01	1.1773	0.018882	342.05	372.26	1.1632
150	0.026753	354.56	386.66	1.2192	0.022636	353.37	385.07	1.2038	0.019545	352.17	383.44	1.1900
160	0.027566	364.61	397.69	1.2449	0.023355	363.51	396.20	1.2298	0.020194	362.38	394.69	1.2163
170	0.028367	374.78	408.82	1.2703	0.024061	373.75	407.43	1.2554	0.020830	372.69	406.02	1.2421
180	0.029158	385.08	420.07	1.2954	0.024757	384.10	418.76	1.2807	0.021456	383.11	417.44	1.2676

Fuente: tomado de *Termodinámica (7a. Ed.). McGraw-Hill.* (p.930), por Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011).

Anexo XXI. Tabla A-12 de Presión R-134a Saturado (Ensayo 2)

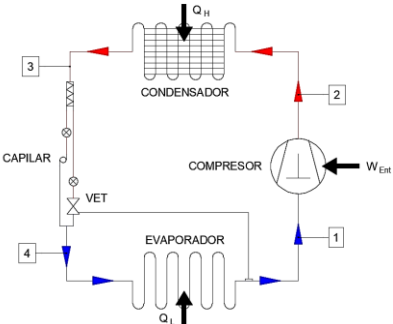
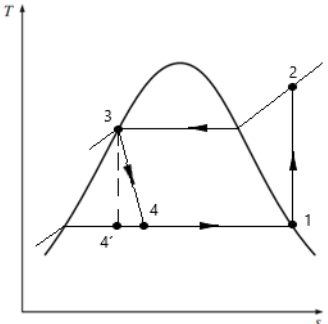
TABLA A-12

Refrigerante 134a saturado. Tabla de presión

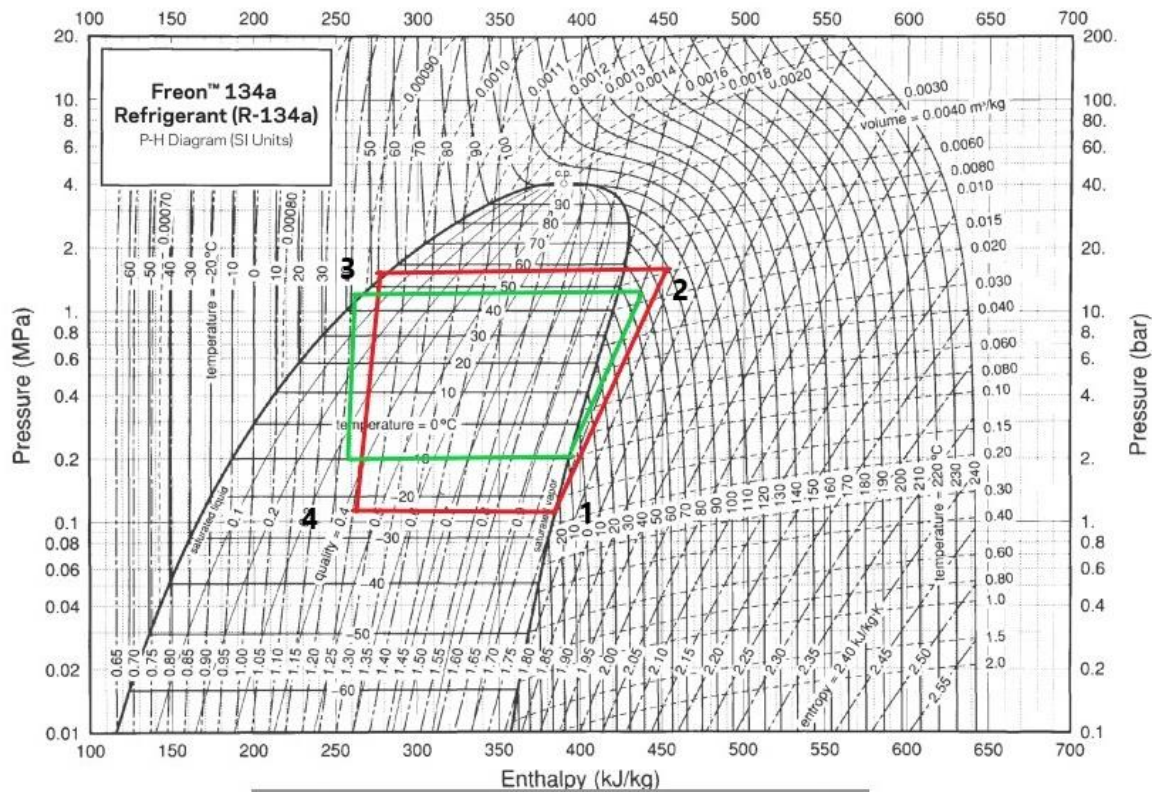
Pres., <i>P</i> kPa	Temp. sat., <i>T</i> _{sat} °C	Volumen específico, <i>m</i> ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., <i>v</i> _f	Vapor sat., <i>v</i> _g	Líqu. sat., <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Vapor sat., <i>u</i> _g	Líqu. sat., <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Vapor sat., <i>h</i> _g	Líqu. sat., <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Vapor sat., <i>s</i> _g
450	12.46	0.0007985	0.045619	68.45	168.54	237.00	68.81	188.71	257.53	0.26465	0.66069	0.92535
500	15.71	0.0008059	0.041118	72.93	165.82	238.75	73.33	185.98	259.30	0.28023	0.64377	0.92400
550	18.73	0.0008130	0.037408	77.10	163.25	240.35	77.54	183.38	260.92	0.29461	0.62821	0.92282
600	21.55	0.0008199	0.034295	81.02	160.81	241.83	81.51	180.90	262.40	0.30799	0.61378	0.92177
650	24.20	0.0008266	0.031646	84.72	158.48	243.20	85.26	178.51	263.77	0.32051	0.60030	0.92081
700	26.69	0.0008331	0.029361	88.24	156.24	244.48	88.82	176.21	265.03	0.33230	0.58763	0.91994
750	29.06	0.0008395	0.027371	91.59	154.08	245.67	92.22	173.98	266.20	0.34345	0.57567	0.91912
800	31.31	0.0008458	0.025621	94.79	152.00	246.79	95.47	171.82	267.29	0.35404	0.56431	0.91835
850	33.45	0.0008520	0.024069	97.87	149.98	247.85	98.60	169.71	268.31	0.36413	0.55349	0.91762
900	35.51	0.0008580	0.022683	100.83	148.01	248.85	101.61	167.66	269.26	0.37377	0.54315	0.91692
950	37.48	0.0008641	0.021438	103.69	146.10	249.79	104.51	165.64	270.15	0.38301	0.53323	0.91624
1000	39.37	0.0008700	0.020313	106.45	144.23	250.68	107.32	163.67	270.99	0.39189	0.52368	0.91558
1200	46.29	0.0008934	0.016715	116.70	137.11	253.81	117.77	156.10	273.87	0.42441	0.48863	0.91303
1400	52.40	0.0009166	0.014107	125.94	130.43	256.37	127.22	148.90	276.12	0.45315	0.45734	0.91050
1600	57.88	0.0009400	0.012123	134.43	124.04	258.47	135.93	141.93	277.86	0.47911	0.42873	0.90784
1800	62.87	0.0009639	0.010559	142.33	117.83	260.17	144.07	135.11	279.17	0.50294	0.40204	0.90498
2000	67.45	0.0009886	0.009288	149.78	111.73	261.51	151.76	128.33	280.09	0.52509	0.37675	0.90184
2500	77.54	0.0010566	0.006936	166.99	96.47	263.45	169.63	111.16	280.79	0.57531	0.31695	0.89226
3000	86.16	0.0011406	0.005275	183.04	80.22	263.26	186.46	92.63	279.09	0.62118	0.25776	0.87894

Fuente: tomado de *Termodinámica (7a. Ed.). McGraw-Hill.* (p.928), por Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011).

Anexo XXII. Matriz de Parámetros de Ensayo 2 (VET)

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA	
Carrera:	Ingeniería Mecánica	Materia:	Refrigeración y A/C
Grupo:	XTX-MEC	Ubicación:	Laboratorio de Plantas Térmicas
Docente:	Mary Triny Gutiérrez Mendoza	Fecha:	Día, (00) de (mes) del (año)
PARÁMETROS OPERATIVOS INICIALES			
Unidad de Refrigeración: Refrigerador Doméstico Dispositivo de Expansión: ☐ Capilar ☒ VET Lectura en Manómetro de Baja: 31 psi 213.74 KPa 0.2137 MPa Lectura en Manómetro de Alta: 175 psi 1206.58 kPa 1.2066 MPa Flujo de Masa: 7.03 kg/h 1.95x10 ⁻³ kg/s			
PARÁMETROS TERMODINÁMICOS			
ESTADO 1 TABLA A-12		ESTADO 2 TABLA A-13	
Refrigerante 134a saturado (Tabla de Presión)		Refrigerante 134a sobrecalentado	
	Entalpía KJ/kg	Entropía kJ/kg.K	
Pres.sat., P _{sat} kPa	Temp.sat., T _{sat} °C	Vap sat., h _g	Vap sat., s _g
200	-10.09	244.46	0.93773
213.74	-8.47	245.43	0.93665
240	-5.38	247.28	0.93458
		P = 1.20 Mpa (T _{sat} = 46.29 °C) 278.27 0.9267 1200 46.29 288.8 s ₁ 289.64 0.9614	
ESTADO 3 TABLA A-12		ESTADO 4 TABLA A-12	
Refrigerante 134a saturado (Tabla de Presión)		Refrigerante 134a saturado (Tabla de Presión)	
	Entalpía KJ/kg	Entropía kJ/kg.K	
Pres.sat., P _{sat} kPa	Temp.sat., T _{sat} °C	Pres.sat., P _{sat} kPa	Temp.sat., T _{sat} °C
1000	39.37	107.32	0.39189
P ₂	T ₂	117.77	0.42441
1400	52.4	127.22	0.45315
		P ₁ T ₁ h ₃	
CÁLCULOS			
Calor Eliminado del Espacio Refrigerado $\dot{Q}_L = (\dot{m})(h_1 - h_4) = (1.95 \times 10^{-3} \text{ kg/s})(245.43 - 117.77) \text{ kJ/kg} = 0.2493 \text{ kW}$ Entrada de Trabajo Neto $\dot{W}_{\text{neto}} = (\dot{m})(h_2 - h_1) = (1.95 \times 10^{-3} \text{ kg/s})(288.8 - 245.43) \text{ kJ/kg} = 0.0847 \text{ kW}$ Calor Rechazado al Ambiente $\dot{Q}_H = (\dot{m})(h_2 - h_3) = (1.95 \times 10^{-3} \text{ kg/s})(288.8 - 117.77) \text{ kJ/kg} = 0.334 \text{ kW}$ Coeficiente de Desempeño $\text{COP}_R = \dot{Q}_L / \dot{W}_{\text{ent}} = 0.2493 \text{ kW} / 0.0847 \text{ kW} = 2.9431$			
			

Anexo XXIII. Superposición de Ciclos en Diagrama PH del Freon™ 134a



Nota: Tubo Capilar (Rojo) vs Válvula de Expansión Termostática (Verde)

Anexo XXIV. Factura 1

12/12/2022 14:03:08

FRI-AIRE
Haciendo las fronteras del frío Internacional

Clima Global, S. A.
Barrio San Luis, del puente Larreynaga 1^a etapa
1 1/2 c. al Norte 427413
Teléfono: 2298-5555
RUC: J0310000211876

FACTURA SERIE "A"
No. 0373236

FECHA: 12 diciembre, 2022
CLIENTE: 001 - LUIS ALEXANDER HERNANDEZ
DIRECCION:

RUC: Roberto Ramirez
VENDEDOR: CONTADO
CONDICIONES DE PAGO:

CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL
2	SVX1/4	001 VALVULA ACCESO FITTING 1/4 CON SACA CENTRO SMARTELECTRIC	\$0.972	\$1.946

CLIMA GLOBAL, S.A.
CANCELADO
CONTADO

CLIMA GLOBAL, S.A.
Entregado en Managua
Telf: +505 2298 - 5555

SON: DOS CON 24/100 DOLARES

NOTA: En compresores y accesorios eléctricos no hay garantía. Fria Aire se reserva el derecho de aceptar devoluciones de cualquier tipo. Toda devolución admitida por Fria Aire, tendrá un cargo del 10% del producto a devolver. La garantía en equipos de aire acondicionado y refrigeración implica el cambio de la pieza dañada, en ningún momento se hará cambio del equipo completo, ni se asumirá responsabilidad en el costo de la mano de obra y otros gastos conexos.

BLANCO: CLIENTE/ AMARILLO: RODRIGA/ ROSADO: CAJA/ CELESTE: CONTABILIDAD

SUBTOTAL \$ 1.95
IVA 15% \$ 0.29
TOT \$ 2.24
TOT C\$ C\$20.96
TASA \$6.19+0

ESTAMOS GRANDES CONTRIBUYENTES
ESTAMOS EXENTOS DE RETENCION

FORMULARIOS FINANCIEROS S.A. RUC No. J23700009195011 No. 2807164 38 M. CEL No. 3053871 A. 3053303 943032 AMP/32323234-8237 AZ/31234-4237 D.T. 1514-94-2232

FORMULARIOS FINANCIEROS S.A. RUC No. J23700009195011 No. 2807164 38 M. CEL No. 3053871 A. 3053303 943032 AMP/32323234-8237 AZ/31234-4237 D.T. 1514-94-2232

1	Refrigeración Total S.A.	Factura	A-00118778
	Tienda Managua		CONTADO
	Centro Comercial Campo Pista Juan Pablo II		
	Managua, 14 de agosto		12/12/2022
	Intercambiantes S.A.		
	2007, 2004, 2003		
	RUC 1000000000000000000		RFP# 120180
	RUT DGI - SFC 04X02309 2019/4		
	LONG # 16740000 NORMA 11821		

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
STUC-0010	TUDO CAVILAR O OBTACOS	1	24.02	24.02
SWAF-0100	QM-335 JUEGO DE ANOMETROS R-12, R-22, R502	1	1,165.46	1,165.46
FFLU-0010	FUNDENTE PARA SOLDAR TLF4/DF4-1/16OTE 4 ONZ	1	100.04	100.04
FFSE-0010	QD-4104 FILTRO 15 GRAMOS BI DIRECCIONAL	1	51.60	51.60

ORIGINAL
PUNTO FRIO
REFRIGERACION TOTAL, S.A.

ORIGINAL
PUNTO FRIO
REFRIGERACION TOTAL, S.A.

ORIGINAL
PUNTO FRIO
REFRIGERACION TOTAL, S.A.

Se solicitan Devoluciones Hasta 30 Dias después de Compra PRESENTANDO FACTURA ORIGINAL por desperfecto de fabrica en cualquier de nuestros productos	SUS TOTAL	Q2	1,339.14
LA FACTURA ES BENEFICIO DE TODOS "EFECTIVA"	DESCUENTO	Q3	0.00
	IMPUESTO	Q3	204.94
	TOTAL	Q3	1,609.93

Anexo XXVI. Factura 3

12/12/2022 14:03:13

FACTURA SERIE "A"
No. 0373237

FRIO AIRE
Trazando las fronteras del frío Internacional

Clima Global, S.A.
Barrio San Luis, del puente Larreynaga 10355555555
1 1/2 c. al Norte 427412
Telefono: 2298-5555
RUC: J0310000211876

FECHA: 12 diciembre, 2022
CLIENTE: 001 - LUIS ALEXANDER HERNANDEZ
DIRECCION:

RUC: Roberto Ramirez
VENDEDOR: CONTADO
CONDICIONES DE PAGO:

CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL
6	322392	001 TUBO COBRE FLEXIBLE 1/4 PUE IUSA	\$0.489	\$2.898
2	5620F1	001 VARILLA DE PLATA 5% HARRIS	\$2.478	\$4.956
2	EVAPF100C	001 ACEITE PAG ISO 100 ENVASE PLASTICO 803 EVA	\$6.229	\$12.458
1	D11666155	001 REFRIGERANTE FREON 134A 1KG CHEMOURE3-DUPONT	\$13.460	\$13.460

CLIMA GLOBAL, S.A.
CANCELADO
CONTADO

CLIMA GLOBAL, S.A.
Entregado en Managua
Tel: +505 2298 - 5555

VEINTI Y OCHO CON 06/100 DOLARES

NOTA: En compresores y accesorios eléctricos no hay garantía. Frio Aire se reserva el derecho de aceptar devoluciones de cualquier tipo. Toda devolución admitida por Frio Aire, tendrá un cargo del 10% del producto a devolver. La garantía en equipos de aire acondicionado y refrigeración implica el cambio de la pieza dañada, en ningún momento se hará cambio del equipo completo, ni se asumirá responsabilidad en el costo de la mano de obra y otros gastos conexos.

SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES
ESTAMOS EXENTOS DE RETENCION

TOTAL \$ 33.772
IVA 15% \$ 5.07
TOT \$ 38.84
TOT Cs \$ 1,406.53
TASA 36 1940

FORMALIZADO STANDARD S.A. RUC No. 22310000018601 No. 2607154 30 M. DEL No. 365321 A. 265500 940222 AMP950504-021 AC741234-022 Q. 1:15964-022

FORMALIZADO STANDARD S.A. TEL 2266 3417 - FAX 2266 5038 - No. 2607154

[illegible]

Anexo XXVIII. Factura 5



FERRETERIA

Contado ☐

Crédito ☐

Proforma ☐

Ofreciéndole la más amplia gama en artículos de Ferretería en general, Electricidad, Fontanería, Albañilería, Zinc, Clavos, Serruchos, Martillos, Tubos PVC, Alambre, Cemento, con los mejores precios del mercado para ustedes.

DÍA	MES	AÑO
05	02	23.

FACTURA

Cliente: _____ RUC: _____

Dirección: _____ Lic. Com. _____

[illegible]

NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES
GRACIAS POR SU COMPRA • LES ESPERAMOS DE NUEVO

TOTAL C\$ (15,640)

JEHOVÁ ES MI PASTOR; NADA ME FALTARÁ. EN LUGARES DE DELICADOS PASTOS
ME HARÁ DESCANSAR; JUNTO A AGUAS DE REPOSO ME PASTOREARÁ. SALMO 23:1-2
¡...QUE DIOS TE BENDIGA Y DERRAME BENDICIONES EN TU VIDA Y TU CASA.!

Recibí Conforme

Entregué Conforme

Anexo XXIX. Factura 6

1	Refrigeracion Total S.A. Tienda Managua Centro Comercial Ocampo Rista Juan Pablo II Managua, Nicaragua info@puntofrio.com (505) 2004-0488 RUC: J0310000226210 AUT: DIGI ASFO 04/0098/08/2015/4	Factura	A-001251/41 CONTADO
RUC 999999999999999999 LUIS HERNANDEZ			17/02/2025 REF# 124855 VICTOR BERRIOS

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
589CR-OTF-JW	OTF-JW VALVULA DE EXPANSION R134A 1/4" R-401a 2x4	1	1,656.17	1,656.17
SVLCR-0001	HT-04 VALVULA DE CIERRE MANUAL ROSCABLE 1/4"	2	183.07	366.14







Se Aceptan Devoluciones Hasta 30 Dias despues de Compra PRESENTANDO FACTURA ORIGINAL por desperfecto de fabrica en cualquiera de nuestros productos. LA FACTURA ES BENEFICIO DE TODOS "EQUILAZA"	SUB TOTAL C\$ 2,022.31 DESCUENTO C\$ 200.00 15% IMPUESTO C\$ 270.01 TOTAL C\$ 2,092.39
---	---

Anexo XXX. Factura 7

FACTURA

FRIO AIRE
Trazando las fronteras del frío Internacional

Clima Global, S. A.
Barrio San Luis, del puente Larreyngaga 1c. abajo VERAR
1 1/2 c. al Norte 425114
Telefono: 2298-5555
RUC: J0310000211876

10/02/2023 14:43:41

FACTURA SERIE "A"
No. 0379894

FECHA: 20 febrero, 2023
CLIENTE: 001 - LUIS HERNANDEZ
DIRECCION:

RUC: Roberto Ramirez
VENDEDOR: CONTADO
CONDICIONES DE PAGO:

CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	CHABEL	001 NAPP GAS 400G COOLMAPP	910.056	910.056

CLIMA GLOBAL, S.A.
Entregado en Managua
Telf: +505 2298 - 5555

CLIMA GLOBAL, S.A.
CANCELADO
CONTADO

SON: CINCE CON 57/100 DOLARES

SUBTOTAL \$ 10.06
IVA 15% \$ 1.51
TOT \$ 11.57

NOTA: En compresores y accesorios eléctricos no hay garantía. Frio Aire se reserva el derecho de aceptar devoluciones de cualquier tipo. Toda devolución admitida por Frio Aire, tendrá un cargo del 10% del producto a devolver. La garantía en equipos de aire acondicionado y refrigeración implica el cambio de la pieza dañada, en ningún momento se hará cambio del equipo completo, ni se asumirá responsabilidad en el costo de la mano de obra y otros gastos conexos.

SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES
ESTAMOS EXENTOS DE RETENCION

BLANCO: CLIENTE/ AMARILLO: BODEGA/ ROSADO: CAJA/ CELESTE: CONTABILIDAD

Anexo XXXI. Factura 8

1		Refrigeracion Total S.A.	Factura	A-00124596
		Tienda Managua		CONTADO
		Centro Comercial Ocampo Pista Juan Pablo II		
		Managua, Nicaragua		11/03/2023
		Info@puntofrio.com		
		(505) 2224-2453		
		RUC: J0310000220210		REF# 126310
		AUT. DGI ASFC 04/0023/08/2015/4		VICTOR BERRIOS
RUC				
9999999999999999				
LUIS ALEXANDER HERNANDEZ				

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
ETUB-00101M	TUBO DE COBRE 1/4 FLEXIBLE 250X.030	5	24.56	122.90
5SPOR-C-00	C-00 ORIFICIO INTERCAMBIABLE Y FILTRO DE MALLA R40	1	608.70	608.70







Se Aceptan Devoluciones Hasta 30 Dias despues de Compra PRESENTANDO FACTURA ORIGINAL por desperfecto de fabrica en cualquiera de nuestros productos. LA FACTURA ES BENEFICIO DE TODOS "EXJUALA"	<table border="0"> <tr> <td>SUB TOTAL</td> <td>C\$</td> <td>731.60</td> </tr> <tr> <td>DESCUENTO</td> <td>C\$</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>15% IMPUESTO</td> <td>C\$</td> <td>109.74</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>C\$</td> <td>841.34</td> </tr> </table>	SUB TOTAL	C\$	731.60	DESCUENTO	C\$	0.00	15% IMPUESTO	C\$	109.74	TOTAL	C\$	841.34
SUB TOTAL	C\$	731.60											
DESCUENTO	C\$	0.00											
15% IMPUESTO	C\$	109.74											
TOTAL	C\$	841.34											

Anexo XXXII. Factura 9

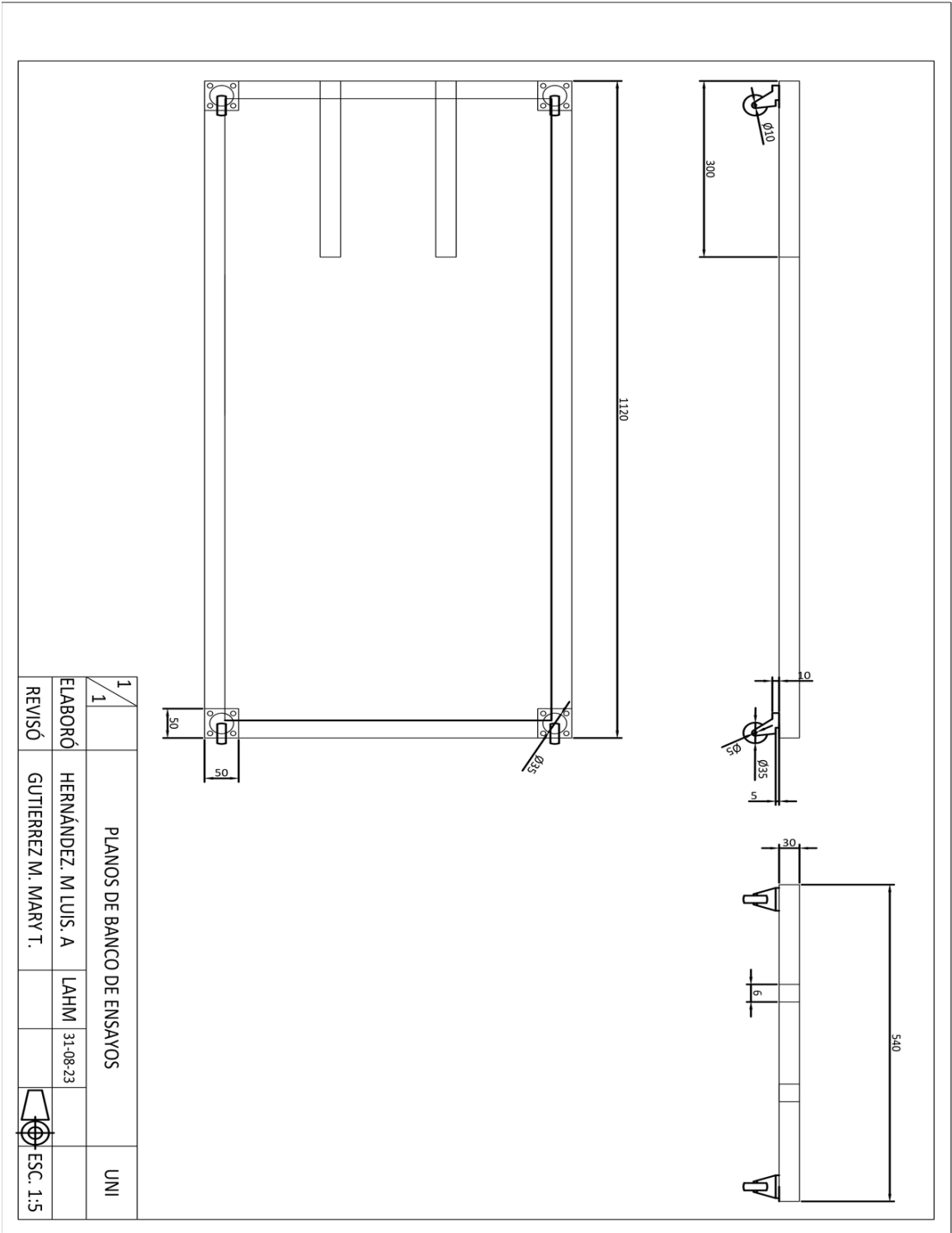
[illegible]

1 RUC 999999999999999999 JUAN CARLOS CHAVEZ	Refrigeracion Total S.A. Tienda Managua Centro Comercial Ocampo Plaza Juan Pablo II Managua, Nicaragua info@puntofrio.com (505) 2224-2453 RUC J0310900226210 AUT. DGI ASFC 04-0093/08/2015/4	Factura A-00124750 CONTADO 14/03/2023 REF# 126454 VICTOR BERRIOS
--	---	--

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
5TES-0020	TEE SOLDABLE 1/4	2	16.09	32.17
5TUB-0010MX	TUBO DE COBRE 1/4 FLEXIBLE.250X.030	5	24.58	122.90

Se Aceptan Devoluciones Hasta 30 Dias despues de Compra PRESENTANDO FACTURA ORIGINAL por desperfecto de fabrica en cualquiera de nuestros productos. LA FACTURA ES BENEFICIO DE TODOS "EXIJALA"	<table border="0"> <tr> <td>SUB TOTAL</td> <td>CF</td> <td>155.07</td> </tr> <tr> <td>DESCUENTO</td> <td>CF</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>15% IANUESTO</td> <td>CF</td> <td>23.27</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>CF</td> <td>178.34</td> </tr> </table>	SUB TOTAL	CF	155.07	DESCUENTO	CF	0.00	15% IANUESTO	CF	23.27	TOTAL	CF	178.34
SUB TOTAL	CF	155.07											
DESCUENTO	CF	0.00											
15% IANUESTO	CF	23.27											
TOTAL	CF	178.34											

Anexo XXXIV. Plano de Base Móvil



Anexo XXXV. Adaptación e Instrumentación Final del Equipo

