



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“REDISEÑO Y RECONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN DE CONGELACIÓN Y
CONSERVACIÓN DEL LABORATORIO DEL ÁREA DE
ENERGÍA”**

**SISA LAGUA EDWIN DARÍO
HERNÁNDEZ PEREZ CRISTIAN DAVID**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROPUESTAS TECNOLÓGICAS**

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2017**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2016-05-03

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

SISA LAGUA EDWIN DARÍO

Titulado:

**“REDISEÑO Y RECONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
DE CONGELACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL LABORATORIO DEL ÁREA
DE ENERGÍA”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo
DIRECTOR

Ing. Nelson Santiago Chuquin Vasco
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2016-05-03

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

HERNÁNDEZ PEREZ CRISTIAN DAVID

Titulado:

**“REDISEÑO Y RECONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
DE CONGELACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL LABORATORIO DEL ÁREA
DE ENERGÍA”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo
DIRECTOR

Ing. Nelson Santiago Chuquin Vasco
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: SISA LAGUA EDWIN DARÍO

TRABAJO DE TITULACIÓN: **“REDISEÑO Y RECONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE CONGELACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL LABORATORIO DEL ÁREA DE ENERGÍA”**

Fecha de Examinación: 2017-08-15

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo DIRECTOR			
Ing. Nelson Santiago Chiquin Vasco MIEMBRO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Geovanny G. Novillo Andrade
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: HERNÁNDEZ PÉREZ CRISTIAN DAVID

TRABAJO DE TITULACIÓN: **“REDISEÑO Y RECONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE CONGELACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL LABORATORIO DEL ÁREA DE ENERGÍA”**

Fecha de Examinación: 2017-08-15

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Pablo Ernesto Montalvo Jaramillo DIRECTOR			
Ing. Nelson Santiago Chiquin Vasco MIEMBRO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Geovanny Novillo Andrade
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Sisa Laguna Edwin Darío

Hernández Pérez Cristian David

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Sisa Laguna Edwin Darío y Hernández Pérez Cristian David, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación

Sisa Laguna Edwin Darío

Hernández Pérez Cristian David

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Víctor y Esther que siempre han sido un ejemplo de cariño, afecto, amor y responsabilidad, que me cuidaron desde que era niño y aun ahora lo siguen haciendo, sin ustedes no sé qué hubiese sido de mí, esto es para ustedes. A mis hermanos Laura, William y Norma que siempre me apoyaron, me ayudaron y nunca me dejaron solo, para ti Paty que desde hace varios años nos cuidas desde el cielo y siempre estas pendientes de todos, cuídanos siempre. A mis sobrinas y mi sobrino que todos los días nos dibujan una sonrisa. Que todos sean unidos siempre.

Edwin Darío Sisa Laguna

AGRADECIMIENTO

Para ti Diosito porque siempre eres una fortaleza en mi vida, por la salud y las ganas de levantarme cada día a conquistar el mundo, gracias flaquito. Gracias Papis por todo, porque soy el reflejo de lo que son, han logrado que sea una buena persona y hombre de bien, aún recuerdo cuando me dejaron en la escuela, el día que estuvieron en mi defensa y sueño con el día que estarán en mi incorporación. Gracias ñañitos porque siempre me ayudan y a enseñan a mejorar cada día, son ejemplo de vida, gracias Paty porque siempre estás conmigo, nunca me dejas solo y me cuidas desde el cielo.

Agradezco a la Escuela de Ingeniería Mecánica por mi desarrollo profesional, de igual forma agradezco a los Ingenieros Ángel Jácome, Pablo Montalvo, Nelson Chuquin y Rodrigo Velásquez por la contribución y asesoramiento para el desarrollo de este tema. Agradezco a mis compañeros que constantemente me visitaban en el laboratorio, gracias muchachos y finalmente a una persona que siempre estuvo conmigo apoyándome de todas las formas posibles; con palabras de ánimo y afecto hizo que todos los días vaya a por ese título, gracias.

Edwin Darío Sisa Laguna

RESUMEN

El objetivo principal de esta propuesta tecnológica es el rediseño y reconstrucción de un sistema de refrigeración para procesos de congelación y conservación de un equipo perteneciente al laboratorio del área de energía. Se realiza el marco referencial para identificar la composición y función de los componentes del sistema de refrigeración. En primera instancia se efectúa un diagnóstico técnico para evaluar las condiciones iniciales del equipo, se rediseña los subsistemas de refrigeración considerando al agua embotellada como carga térmica, los subsistemas de adquisición de datos y eléctrico. Posterior al rediseño se realiza la fase de desmontaje del sistema removiendo casi en su totalidad los componentes, luego se realiza la reconstrucción de la cámara de refrigeración, de las líneas de succión y líquido, así como el montaje del panel eléctrico y de los sensores para adquirir sus datos conjuntamente con su placa y realizar el ensamble para la conformación del equipo. Para poner en marcha el sistema se realiza prueba de estanqueidad para garantizar la hermeticidad, posterior se realiza un proceso de vacío del sistema para la recarga del sistema con refrigerante R-404A especial para medianas y bajas temperaturas, y se calibra el termostato digital y presostato. Para la fase de experimentación del sistema se realiza para el proceso de congelación (-15°C) y conservación (2°C), con la utilización del intercambiador de calor y sin utilizar el mismo, así también cuando la cámara se encuentra con carga térmica o si se encuentra vacía, con estas consideración se obtiene la variación de la temperatura de la cámara en función del tiempo y se grafica el ciclo de refrigeración, obteniendo que la eficiencia frigorífica del sistema correspondiente a las condiciones de diseño es de 67,5% y la eficiencia frigorífica optima del sistema es de 71,74% cuando la cámara se encuentra con carga térmica y se utiliza el intercambiador de calor. Se recomienda una verificación del manual de operación para la realización de las prácticas de laboratorio correspondientes, así como de los manuales de mantenimiento y seguridad para precautelar la integridad del operador.

PALABRAS CLAVES: <SISTEMA DE REFRIGERACIÓN> <REFRIGERANTE > <CARGA TÉRMICA> <CICLO DE REFRIGERACION> <DIAGNÓSTICO TECNICO> <PROCESO> <EFICIENCIA FRIGORIFICA> <MANUALES>

SUMMARY

The main objective of the current technological proposal is the redesign and reconstruction of a refrigeration system for processes of freezing and conservation of equipment belonging to the energy area laboratory. The reference framework is carried out to identify the composition and operation of the refrigeration system components. As first stage, it makes a technical diagnosis to evaluate the initial conditions of the equipment, and then redesign the refrigeration system considering bottled water as the thermal load, after the system data acquisition and electric system. For the reconstruction stage, the system is dismantled to remove almost all the components, and reconstruct the refrigeration chamber, and the suction and liquid lines; as well as the electrical panel and the sensors to acquire data. Finally, it makes the assembling for the equipment conformation. In order to start up the system, a watertightness test is performed to guarantee the tightness. Afterwards, a vacuum process of the system is carried out to recharge the same refrigerant R-404A that is recommended for medium and low temperatures, the digital thermostat and pressure switch equipment are calibrated. For the experimentation phase of the system, it performs the freezing process (-15°C) and conservation (2°C), by using the heat exchanger and without using it, and also when the camera is under load thermal or if it is empty. With these considerations, the variation of the temperature of the chamber as a function of time is obtained and the refrigeration cycle is plotted; obtaining that the refrigeration efficiency of the system is according to the design conditions is 67.5% and the optimum refrigeration efficiency of the system is 71.74% when the camera is under thermal load and the heat exchanger is used. It recommends verifying the operating manual for carrying out the corresponding laboratory practices, as well as the maintenance manuals to prolong the life of the system and safety to protect the integrity of the operator.

KEYWORDS: <REFRIGERATION SYSTEM>, <REFRIGERANT>, <THERMAL LOAD>, <REFRIGERATION CYCLE>, <TECHNICAL DIAGNOSIS>, <PROCESS>, <REFRIGERATION EFFICIENCY>, <MANUALS>

CONTENIDO

RESUMEN

SUMMARY

1. INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación	2
1.3	Formulacion del problema	2
1.4	Objetivos	2
1.4.1	<i>Objetivo general</i>	2
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i>	2

2. MARCO REFERENCIAL DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN MECÁNICA.

2.1	Sistema de refrigeración.....	4
2.1.1	<i>Análisis conceptual</i>	4
2.1.1.1	<i>Refrigeración</i>	4
2.1.1.2	<i>Sistema de refrigeración</i>	4
2.1.1.3	<i>Ciclo de refrigeración</i>	5
2.1.1.4	<i>Refrigerantes</i>	5
2.1.2	<i>Refrigeración para congelación y conservación</i>	5
2.1.3	<i>Ciclo de refrigeración por compresión mecánica</i>	6
2.1.3.1	<i>Ciclo ideal de refrigeración por compresión mecánica</i>	8
2.1.3.2	<i>Ciclo real de refrigeración por compresión mecánica</i>	9
2.1.4	<i>Componentes básicos de un sistema de compresión mecánica</i>	11
2.1.4.1	<i>Unidad condensadora</i>	11
2.1.4.2	<i>Dispositivo de expansión</i>	13
2.1.4.3	<i>Evaporador</i>	14
2.1.5	<i>Componentes de regulación y control</i>	15
2.1.5.1	<i>Válvula de paso manual</i>	15
2.1.5.2	<i>Válvula solenoide</i>	15
2.1.5.3	<i>Intercambiador de calor</i>	16
2.1.5.4	<i>Acumulador de succión</i>	16
2.1.5.5	<i>Presostato de alta y baja</i>	17
2.1.5.6	<i>Manómetros</i>	17

2.1.5.7	<i>Sistema de descarchado</i>	18
2.1.5.8	<i>Filtro secador</i>	19
2.1.5.9	<i>Indicador líquido-humedad</i>	19
2.1.5.10	<i>Tubería de cobre</i>	20
2.1.6	<i>Parámetros principales de un ciclo de refrigeración</i>	21
2.1.6.1	<i>Trabajo de compresión</i>	22
2.1.6.2	<i>Calor de condensación</i>	22
2.1.6.3	<i>Efecto refrigerante</i>	22
2.1.6.4	<i>Coeficiente de funcionamiento</i>	22
2.1.6.5	<i>Potencia teórica que requiere el compresor</i>	23
2.1.6.6	<i>Eficiencia del ciclo de refrigeración</i>	23
2.1.6.7	<i>Flujo másico</i>	23
2.1.7	<i>Refrigerantes</i>	24
2.1.7.1	<i>Refrigerantes en la actualidad</i>	25
2.1.8	<i>Aceite lubricante</i>	26
2.2	<i>Automatización del sistema de refrigeración</i>	27
2.2.1	<i>Análisis conceptual</i>	27
2.2.1.1	<i>Automatización</i>	27
2.2.1.2	<i>Sensor</i>	27
2.2.1.3	<i>Señal analógica</i>	27
2.2.1.4	<i>Señal digital</i>	27
2.2.2	<i>Importancia de la automatización en instalaciones frigoríficas</i>	28
2.2.3	<i>Características de los sensores</i>	28
2.2.4	<i>Sensor para medir temperatura</i>	29
2.2.5	<i>Bus de comunicación 1-Wire</i>	29
2.2.6	<i>Sistema de adquisición de datos</i>	29
2.2.7	<i>Software Labview</i>	30

3 REDISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

3.1	<i>Análisis del estado técnico del sistema de refrigeración</i>	32
3.1.1	<i>Criterio para determinar el estado técnico</i>	32
3.1.2	<i>Formato para la evaluación de estado técnico</i>	32
3.1.3	<i>Composición del sistema de refrigeración, potencia y control previo a la reconstrucción</i>	34
3.2	<i>Diagnóstico técnico de los equipos y componentes del sistema de refrigeración</i>	37
3.2.1	<i>Diagnóstico del compresor</i>	37

3.2.2	<i>Diagnóstico del condensador.....</i>	38
3.2.3	<i>Diagnóstico del evaporador.....</i>	38
3.2.4	<i>Diagnóstico de los componentes del sistema.....</i>	39
3.2.5	<i>Diagnóstico de los elementos eléctricos del sistema de potencia y control.....</i>	40
3.2.6	<i>Diagnóstico de la cámara de refrigeración.....</i>	41
3.2.7	<i>Análisis del sistema de refrigeración previo al rediseño y consideraciones de mejoras.....</i>	41
3.2.8	<i>Análisis del sistema de refrigeración.....</i>	43
3.3.9	<i>Análisis del sistema de potencia y control.....</i>	43
3.3.10	<i>Análisis del sistema de adquisición de datos.....</i>	43
3.3	<i>Rediseño frigorífico.....</i>	44
3.3.1	<i>Ubicación de la cámara.....</i>	44
3.3.2	<i>Caracterización del producto.....</i>	44
3.3.3	<i>Tiempo de duración de la práctica.....</i>	44
3.3.4	<i>Condiciones de almacenamiento del producto.....</i>	45
3.3.5	<i>Flujo másico que ingresa a la cámara.....</i>	45
3.3.6	<i>Modelo para el calor específico del agua y hielo.....</i>	45
3.3.7	<i>Balace térmico.....</i>	46
3.3.7.1	<i>Ganancia de calor por transmisión.....</i>	46
3.3.7.2	<i>Ganancia de calor del producto.....</i>	49
3.3.7.3	<i>Carga interna debido al ingreso de persona.....</i>	53
3.3.7.4	<i>Carga por infiltración de aire.....</i>	53
3.3.7.5	<i>Carga del equipo.....</i>	54
3.3.7.6	<i>Cargas térmicas totales.....</i>	54
3.3.8	<i>Ciclo de refrigeración teórico.....</i>	55
3.3.8.1	<i>Parámetros del ciclo teórico de refrigeración.....</i>	57
3.3.9	<i>Ciclo de refrigeración real.....</i>	59
3.3.10	<i>Dimensionamiento de tuberías.....</i>	63
3.3.10.1	<i>Tubería de aspiración donde el refrigerante circula en forma de gas.....</i>	64
3.3.10.2	<i>Tubería de líquido.....</i>	65
3.3.10.3	<i>Cálculo de golpe de ariete.....</i>	65
3.3.10.4	<i>Cálculo del aislamiento de la tubería de baja presión.....</i>	66
3.4	<i>Rediseño del sistema de control y potencia.....</i>	69
3.4.1	<i>Diagrama de circuito de potencia.....</i>	70
3.4.2	<i>Diagrama del circuito de mando.....</i>	70
3.4.3	<i>Programación del relé programable Telemecanique.....</i>	71
3.5	<i>Diseño del sistema de adquisición de datos de temperatura.....</i>	73

3.5.1	<i>Sensor de temperatura DS18B20.</i>	73
3.5.2	<i>Diseño de placa de circuito para conexión de sensores.</i>	73
3.5.3	<i>Diseño del programa en Labview.</i>	73
3.6	Selección de equipos y accesorios para la instalación frigorífica	75
3.6.1	<i>Selección la unidad condensadora.</i>	75
3.6.2	<i>Selección de filtro secador.</i>	76
3.6.3	<i>Selección de manómetros de carga.</i>	76
3.6.4	<i>Selección de cañería de cobre.</i>	76
3.6.5	<i>Selección del aislante flexible.</i>	77
3.6.6	<i>Selección de elementos y componentes eléctricos.</i>	77
3.6.7	<i>Selección del sensor de temperatura.</i>	78
3.6.8	<i>Selección del Arduino.</i>	79
4	RECONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	
4.1	Simbología ASME para procesos.	82
4.2	Actividades previas a la fase de reconstrucción.	82
4.2.1	<i>Desmontaje de los accesorios que componen las líneas de alta y baja presión.</i>	83
4.2.2	<i>Elaboración de planos.</i>	88
4.2.3	<i>Requerimiento de material.</i>	88
4.3	Diagrama de proceso general para la reconstrucción.	89
4.4	Descripción de procesos y métodos para la reconstrucción de los elementos del sistema de refrigeración	90
4.4.1	<i>Cámara de refrigeración.</i>	90
4.4.2	<i>Reconstrucción de las líneas sistema de refrigeración.</i>	91
4.4.3	<i>Instalación del sistema de potencia y control.</i>	95
4.4.4	<i>Instalación del sistema para adquisición de datos.</i>	96
4.5	Ensamble del sistema de refrigeración.	97
4.5.1	<i>Ensamble de la unidad condensadora.</i>	97
4.5.2	<i>Ensamblaje de las líneas de alta y baja presión a la cámara.</i>	97
4.5.3	<i>Ensamblaje del tablero de control.</i>	98
4.5.3.1	<i>Elementos de potencia.</i>	99
4.5.3.2	<i>Elementos de mando.</i>	99
4.5.4	<i>Ensamble del sistema de adquisición de datos.</i>	100
4.5.4.1	<i>Ubicación de los sensores en el sistema de refrigeración</i>	101
4.6	Puesta en marcha del sistema de refrigeración.	101
4.6.1	<i>Prueba de estanqueidad.</i>	101

4.6.2	<i>Proceso de vacío</i>	103
4.6.3	<i>Recarga de refrigerante R-404A</i>	104
4.6.4	<i>Calibración de termostato digital</i>	106
4.6.5	<i>Calibración del presostato</i>	107
5.	ANÁLISIS ECONÓMICO	
5.1	Costos directos	110
5.2	Costos indirectos	113
5.3	Costos totales	114
6.	FASE DE EXPERIMENTACIÓN	
6.1	Procedimiento de experimentación	115
6.2	Pruebas del sistema de refrigeración en proceso de conservación	116
6.3	Pruebas del sistema de refrigeración en proceso de congelación	127
6.4	Análisis de resultados de la experimentación	138
7.	PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO, SEGURIDAD Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN	
7.2	Programación del mantenimiento del sistema de refrigeración.	141
7.2.1	<i>Niveles y codificación de equipos</i>	141
7.2.2	<i>Tareas de mantenimiento</i>	143
7.3	Manual de procedimientos del sistema de refrigeración	143
7.4	Manual de seguridad y prevención de riesgos del sistema de refrigeración.	143
7.5	Guías del laboratorio del sistema de refrigeración	144
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
8.1	Conclusiones	145
8.2	Recomendaciones	145

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-2	Procesos de un ciclo de compresión mecánica.....	7
Tabla 2-2	Propiedades físicas del refrigerante R-404A.....	26
Tabla 3-3	Eficiencia de equipos.....	32
Tabla 4-3	Ubicación de la cámara.....	44
Tabla 5-3	Características del agua embotellada.....	44
Tabla 6-3	Datos de diseño.....	45
Tabla 7-3	Espesor de las paredes, piso y techo de la cámara.....	47
Tabla 8-3	Cargas térmicas totales.....	54
Tabla 9-3	Estados del ciclo ideal.....	56
Tabla 10-3	Estados del ciclo real.....	61
Tabla 11-3	Tipos de tuberías del sistema.....	63
Tabla 12-3	Propiedades del aire a la presión de 1 atm.....	67
Tabla 13-3	Propiedades del refrigerante R-404A a temperatura media.....	68
Tabla 14-3	Variables de entradas y salidas del relé programable.....	71
Tabla 15-3	Unidad condensadora Tecumseh.....	75
Tabla 16-3	Filtro secador Danfoss.....	76
Tabla 17-3	Puente de manómetros de carga.....	76
Tabla 18-3	Tubería flexible de cobre tipo L.....	76
Tabla 19-3	Caño de aislante flexible.....	77
Tabla 20-3	Relé programable y módulo de expansión Telemecanique.....	77
Tabla 21-3	Portafusible y fusibles Camsco.....	78
Tabla 22-3	Luces piloto.....	78
Tabla 23-3	Sensor de temperatura DS18B20.....	79
Tabla 24-3	Arduino pro micro.....	79
Tabla 25-4	Simbología ASME para procesos.....	82
Tabla 26-4	Listado de elementos de elementos internos y externos del gabinete metálico.....	98
Tabla 27-4	Elementos de potencia instalados.....	99
Tabla 28-4	Elementos de mando instalados.....	100
Tabla 29-4	Listado de elementos de la adquisición de datos.....	101
Tabla 30-4	Parámetros programados en el termostato digital de congelación.....	106
Tabla 31-4	Parámetros programados en el termostato digital de conservación.....	107
Tabla 32-4	Calibración del presostato dual KP 15.....	108
Tabla 33-5	Costos de materiales para la reconstrucción de estructura.....	110
Tabla 34-5	Costos de materiales del sistema de refrigeración.....	110

Tabla 35-5	Costos de materiales del sistema eléctrico	111
Tabla 36-5	Costos de materiales para adquisición de datos	112
Tabla 37-5	Costo total de materiales	112
Tabla 38-5	Costos de mano de obra.....	113
Tabla 39-5	Costos de envíos y transporte	113
Tabla 40-5	Total de costos directos	113
Tabla 41-5	Total de costos indirectos	113
Tabla 42-5	Costo total del equipo.....	114
Tabla 43-6	Ubicación de los estados en el sistema de refrigeración	115
Tabla 44-6	Presiones del sistema sin carga térmica.....	117
Tabla 45-6	Estados del ciclo de refrigeración sin carga	117
Tabla 46-6	Presiones del sistema con carga térmica	119
Tabla 47-6	Estados del ciclo de refrigeración con carga térmica	120
Tabla 48-6	Presiones del sistema sin carga y usando el intercambiador de calor.....	122
Tabla 49-6	Estados del ciclo de refrigeración sin carga y usando el intercambiador	122
Tabla 50-6	Presiones del sistema con carga y usando el intercambiador de calor	125
Tabla 51-6	Estados del ciclo de refrigeración (carga) y usando el intercambiador	125
Tabla 52-6	Presiones del sistema con carga térmica	128
Tabla 53-6	Estados del ciclo de refrigeración con carga térmica	128
Tabla 54-6	Presiones del sistema (carga), uso de intercambiador de calor	130
Tabla 55-6	Estados del ciclo de refrigeración (carga) uso de intercambiador de calor	131
Tabla 56-6	Presiones del sistema sin carga térmica.....	133
Tabla 57-6	Estados del ciclo de refrigeración sin carga térmica	134
Tabla 58-6	Presiones del sistema (sin carga) y con intercambiador de calor	136
Tabla 59-6	Estados del ciclo de refrigeración (sin carga) con intercambiador de calor	136
Tabla 60-6	Resultados de la experimentación del sistema de refrigeración	138
Tabla 61-7	Formato de codificación de ubicación.....	142
Tabla 62-7	Codificación de los equipos y accesorios del sistema de refrigeración.....	142
Tabla 63-6	Codificación de los componentes del sistema eléctrico y de control.	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2	Sistema de refrigeración por compresión mecánica.....	7
Figura 2-2	Diagrama presión-entalpía	8
Figura 3-2	Ciclo de refrigeración ideal por compresión mecánica	8
Figura 4-2	Ciclo real de refrigeración por compresión mecánica.....	10
Figura 5-2	Unidad condensadora	11
Figura 6-2	Compresor hermético	12
Figura 7-2	Condensador.....	12
Figura 8-2	Recipiente líquido.....	13
Figura 9-2	Dispositivo de expansión.....	14
Figura 10-2	Evaporador	14
Figura 11-2	Válvula de paso manual	15
Figura 12-2	Válvula solenoide	15
Figura 13-2	Intercambiador de calor.....	16
Figura 14-2	Acumulador de succión	16
Figura 15-2	Presostato de alta y baja presión.....	17
Figura 16-2	Manómetros de alta y baja presión.....	18
Figura 17-2	Sistema de deshielo	19
Figura 18-2	Filtro secador.....	19
Figura 19-2	Indicador líquido-humedad	20
Figura 20-2	Tubería de cobre.....	21
Figura 21-2	Diagrama P-h del ciclo de refrigeración.....	21
Figura 22-3	Formato de hoja técnica	33
Figura 23-3	Cámara de congelación	34
Figura 24-3	Composición de las líneas del sistema de refrigeración.....	35
Figura 25-3	Elementos de potencia y control del gabinete metálico	35
Figura 26-3	Panel frontal del gabinete de la cámara de conservación	36
Figura 27-3	Elementos de potencia y control del gabinete de la cámara para conservación	36
Figura 28-3	Sistema de refrigeración previo al rediseño	42
Figura 29-3	Sistema de refrigeración rediseñado.....	42
Figura 30-3	Aislante térmico de la cámara	47
Figura 31-3	Abatimiento de calor	51
Figura 32-3	Gráfica circular de cargas térmicas totales	54
Figura 33-3	Diagrama presión-entalpía del refrigerante R-404A para ciclo teórico.....	57
Figura 34-3	Diagrama presión-entalpía del refrigerante R-404A para ciclo real.....	62

Figura 35-3	Aislante de la tubería de succión	66
Figura 36-3	Diagrama de potencia del gabinete metálico	70
Figura 37-3	Diagrama de potencia del gabinete metálico	71
Figura 38-3	Selección de módulos del fabricante en ZelioSoft 2	71
Figura 39-3	Esquema de programación del relé programable	72
Figura 40-3	Circuito de conexión de los sensores DS18B20	73
Figura 41-3	Panel frontal del programa en Labview	74
Figura 42-3	Diagrama de bloques para la adquisición de temperatura	75
Figura 43-3	Componentes instalados en el sistema de refrigeración	83
Figura 44-4	Desmontaje de unidad condensadora y presostato	84
Figura 45-4	Desmontaje de válvulas solenoide y de manómetro de alta presión	85
Figura 46-4	Desmontaje del bypass del filtro secador y visor líquido humedad	85
Figura 47-4	Desmontaje del bypass del intercambiador de calor	86
Figura 48-4	Desmontaje del manómetro y el visor de humedad	87
Figura 49-4	Desmontaje del acumulador de succión	88
Figura 50-4	Reconstrucción de la cámara de refrigeración	90
Figura 51-4	Plancha lateral del sistema	91
Figura 52-4	Ensamble de la línea de alta presión	92
Figura 53-4	Ensamble de la línea de baja presión	93
Figura 54-4	Instalación de los elementos del tablero de control	95
Figura 55-4	Instalación de los sensores DS18B20 en el sistema	96
Figura 56-4	Ensamble de la unidad condensadora	97
Figura 57-4	Ensamble de las líneas de alta y baja presión a la cámara	98
Figura 58-4	Elementos internos y externos del gabinete de control	98
Figura 59-4	Elementos de la adquisición de datos	100
Figura 60-4	Ubicación de los sensores en el sistema	101
Figura 61-4	Prueba de estanqueidad del sistema	102
Figura 62-4	Detección de fugas en el sistema	103
Figura 63-4	Proceso de vacío	104
Figura 64-4	Recarga de refrigerante	106
Figura 65-6	Temperatura de la cámara (vacía) vs tiempo	117
Figura 66-6	Diagrama del ciclo real de refrigeración sin carga térmica	118
Figura 67-6	Temperatura de la cámara (carga) vs tiempo	119
Figura 68-6	Diagrama del ciclo real de refrigeración con carga	120
Figura 69-6	Temperatura de la cámara (sin carga) vs tiempo	121
Figura 70-6	Diagrama del ciclo real del sistema (sin carga) con intercambiador de calor .	123
Figura 71-6	Temperatura del intercambiador de calor vs tiempo	124

Figura 72-6	Temperatura de la cámara (carga) vs tiempo	124
Figura 73-6	Diagrama del ciclo real del sistema (carga) con intercambiador de calor	126
Figura 74-6	Temperatura del intercambiador de calor vs tiempo	127
Figura 75-6	Temperatura de la cámara vs tiempo.....	127
Figura 76-6	Diagrama del ciclo real del sistema con carga térmica	129
Figura 77-6	Temperatura de la cámara (carga) vs tiempo	130
Figura 78-6	Diagrama del ciclo real del sistema (carga) uso de intercambiador de calor ..	131
Figura 79-6	Intercambiador de calor con carga térmica	132
Figura 80-6	Temperatura de la cámara vs tiempo.....	133
Figura 81-6	Diagrama del ciclo real del sistema sin carga térmica.....	134
Figura 82-6	Temperatura de la cámara vs tiempo.....	135
Figura 83-6	Diagrama del ciclo real de la cámara vacía	136
Figura 84-6	Temperatura del intercambiador de calor vs tiempo	137
Figura 85-7	Niveles jerárquicos	141

ABREVIACIONES

CFC	Clorofluorocarbonados
HFC	Hidrofluoracarbonados
HC	Hidrocarburo
AHRI	Air conditioning and refrigerating institute
REP	Alternative refrigerantes evaluation program
GWP	Global warning potencial
POE	Poliester
PET	Polietileno de Tereftalato
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASHRAE	American Society of Heating

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A	Ficha de estado técnico inicial de compresor
ANEXO B	Ficha de estado técnico inicial del condensador
ANEXO C	Ficha de estado técnico inicial del evaporador
ANEXO D	Ficha de estado técnico inicial de accesorios de tuberías
ANEXO E	Ficha de estado técnico del primer gabinete metálico
ANEXO F	Ficha de estado técnico del segundo gabinete metálico
ANEXO G	Ficha de estado técnico inicial de la cámara de refrigeración
ANEXO H	Propiedades termodinámicas del refrigerante R-404A
ANEXO I	Características y especificaciones de la unidad condensadora
ANEXO J	Características y especificaciones del filtro secador
ANEXO K	Características del relé programable y módulo de expansión Telemecanique
ANEXO L	Especificaciones del sensor de temperatura DS18B20
ANEXO M	Prácticas de laboratorio del sistema de refrigeración
ANEXO N	Manuales del sistema de refrigeración de congelación y conservación

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Desde un principio el hombre ha tenido la necesidad de conservar sus alimentos para su posterior consumo por lo que contaban con métodos empíricos y ortodoxos para este fin. El método de la congelación se convirtió en un arte y comenzó a desarrollarse a través de los griegos y romanos que incursionaron en este campo.

La refrigeración mecánica desde sus inicios se basa en la expansión de un fluido o en la evaporación de un líquido volátil, en 1834 Jacob Perkins (WHITMAN, y otros, 2000) desarrolla un sistema de refrigeración de ciclo cerrado utilizando la expansión y compresión de éter como refrigerante. En el siglo XIX se desarrollaron sistemas de refrigeración en EEUU, Australia e Inglaterra y en los años posteriores se realizan mejoras en sus diseños.

La Refrigeración en la actualidad es la forma de conservación de alimentos más importante y utilizada, pasando desde la doméstica hasta industrializada. El producto de la evolución de la refrigeración lo podemos apreciar de forma más común en nuestros hogares con el refrigerador. La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y la Facultad de Mecánica cuenta con el laboratorio del área de energía, que sirve para impartir la cátedra de refrigeración y se ha constituido en parte fundamental para la formación profesional del Ingeniero Mecánico.

El laboratorio está compuesto por varios equipos que han sido desarrollados por anteriores trabajos de titulación, entre ellos se encuentran dos equipos de refrigeración que son:

- Diseño y construcción de un sistema de refrigeración de conservación para laboratorio.
- Diseño, construcción y pruebas de un banco de refrigeración para laboratorio

El primer equipo alcanza una temperatura de congelación de -15°C , mientras que el segundo equipo alcanza una temperatura de conservación de 2°C , estos se encuentran distribuidos de forma incorrecta siendo su operación ineficiente por lo que no han sido utilizados durante años dando lugar a un deterioro de estos equipos, además debido a la falta de documentos como un manual de usuario no se pueden realizar el mantenimiento respectivo.

1.2 Formulación del problema

El laboratorio de energía de la Facultad de Mecánica cuenta con los equipos de conservación y congelación, los cuales se encuentran mal distribuidos siendo incomoda 2 su operación. Además, debido al paso del tiempo y a la falta de mantenimiento han quedado obsoletos y deteriorados; teniendo una baja eficiencia y dando lugar a la obtención de datos erróneos hasta quedar completamente averiados, los cuales deben estar completamente funcionales y operativos para impartir la cátedra de refrigeración

1.3 Justificación

Al finalizar el presente trabajo de titulación se dispondrá de un equipo que contará de un sistema de refrigeración de congelación y conservación reconstruido, funcional, de fácil operación, ergonómico con los estudiantes y docentes; facilitando la realización de las respectivas prácticas ya que contará con guías de laboratorio, manual de operación, mantenimiento, seguridad que permita realizar una correcta manipulación y las respectivas operaciones de mantenimiento de los equipos.

Así el nuevo equipo constituirá en un componente primordial para impartir la cátedra de refrigeración y contribuirá a la formación profesional del Ingeniero Mecánico puesto que la mayoría de las empresas del país cuentan con sistemas de refrigeración para preservar y alargar la vida de sus productos.

El presente trabajo de titulación servirá para posteriores investigaciones que puedan realizarse en el laboratorio de Energía o investigaciones realizadas por parte de la ESPOCH.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general:*

Rediseñar y reconstruir el sistema de refrigeración de congelación y conservación del laboratorio del área de energía.

1.4.2 *Objetivos específicos:*

Realizar un estudio bibliográfico sobre el sistema de refrigeración por compresión mecánica.

Rediseñar el sistema de refrigeración por compresión mecánica para congelación y conservación utilizando el refrigerante R-404A.

Reconstruir el sistema de refrigeración y evaluar de forma experimental el sistema realizado.

Elaborar guías de laboratorio y un manual de usuario para un mantenimiento preventivo.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN MECÁNICA.

En el presente capítulo se realiza el marco referencial del trabajo de titulación, se considera adecuado agruparlo en las áreas de refrigeración, potencia, control y adquisición de datos, dentro de cada una de estas categorías se desarrolla los diferentes acápite analizando publicaciones en libros y revistas que han contribuido de forma sustancial y es en donde se fundamenta el rediseño del sistema de refrigeración para congelación y conservación.

2.1 Sistema de refrigeración

Considerando la importancia de la refrigeración en la actualidad para congelar y conservar productos, es necesario realizar un análisis de los conceptos fundamentales para conocer el funcionamiento de un ciclo de refrigeración por compresión mecánica tanto real como ideal, empezando por cada uno de los componentes que lo conforman y los cambios que sufre el refrigerante al circular por el sistema para alcanzar las temperaturas deseadas en la cámara.

2.1.1 *Análisis conceptual.*

2.1.1.1 *Refrigeración.*

Luego de analizar los diferentes conceptos de refrigeración de autores como (PITA, 1991), (JUTGLAR, y otros, 2008), (MANCINI DI MECO, 2004) y (WHITMAN, y otros, 2000) en sus distintas redacciones, se concluye que la refrigeración se basa en quitar calor a cualquier sustancia a la que se desea mantener a una temperatura menor a la del medio que le rodea y durante el tiempo que sea necesario; es decir se trata de un proceso de enfriamiento aplicando la transferencia de calor por lo que es necesario poner en contacto la sustancia, directa o indirectamente.

2.1.1.2 *Sistema de refrigeración.*

“En un sistema de refrigeración, tanto por compresión como absorción, el enfriamiento se obtiene por la evaporación de un líquido. Por consiguiente, cualquier fluido al que se le pueda cambiar de estado de un líquido a un gas, puede servir como refrigerante.” (PITA, 1991)

Un sistema de refrigeración es un sistema que está constituido de equipos o elementos con el fin de remover el calor de una sustancia o un sólido y llevarla a una temperatura requerida para congelar o preservar a través de una sustancia llamada refrigerante. El sistema de refrigeración por compresión mecánica es el que más se utiliza y se caracteriza por la circulación continua de refrigerante a través de todo el sistema.

2.1.1.3 *Ciclo de refrigeración.*

Luego de analizar las conceptualizaciones que presentan en sus publicaciones autores como (ÇENGEL, y otros, 2012), (JUTGLAR, y otros, 2008) y (PITA, 1991) se dice que un ciclo de refrigeración es aquel en el que un líquido llamado refrigerante experimenta una serie de procesos o cambios de estado, el refrigerante se evapora a baja presión y una vez que absorbe calor se condensa; es decir es un proceso continuo de evaporación y condensación.

2.1.1.4 *Refrigerantes.*

Considerando la información dada sobre los refrigerantes por los diferentes autores (VILLANUEVA, 2004), (GONZALES SIERRA, 2012), podemos decir que un refrigerante es aquella sustancia que actúa como agente absorbiendo calor de un cuerpo, por lo que se constituye en el agente de trabajo del sistema de refrigeración ya que está continuamente vaporizándose (desprendiendo calor) y condensándose (absorbiendo calor).

2.1.2 *Refrigeración para congelación y conservación.*

A través de los años la refrigeración ha ido evolucionando tanto así que hoy en la actualidad existen diversas y variadas aplicaciones, con el desarrollo industrial la preservación de los alimentos es la aplicación más común de la refrigeración mecánica, la mayoría de los alimentos son elaborados en lugares lejanos y resulta muy importante su preservación al momento del transporte, almacenamiento y consumo, así las grandes empresas alimenticias conservan sus productos.

Las temperaturas para conservar los alimentos son muy variadas y dependen directamente del tipo de alimento y el tiempo que se va a preservar. Los productos alimenticios congelados como productos vivos (frutas y vegetales) o productos sin vida (carnes) deben ser consumidos inmediatamente luego de su descongelación, pero existen otros productos que se los puede congelar o preservar innumerables veces como el agua. (GONZALES SIERRA, 2012)

Los métodos más utilizados con el fin de alargar la vida de los productos son:

- Refrigeración para conservación
- Refrigeración para congelación.

La refrigeración para conservación se caracteriza por extraer el calor de los productos hasta llevarlo a temperaturas ligeramente superiores a los 0°C siendo óptimas para su almacenamiento aumentando el tiempo de vida de los mismos, en estas condiciones los microorganismos presentes en los diferentes productos disminuyen su acción, por lo que el tiempo de almacenamiento es limitado.

Si se trata de congelar un producto la refrigeración tiene como finalidad extraer el calor hasta llevarlos a temperaturas inferiores al punto de congelación, se debe aplicar suficiente frío para detener los procesos bacteriológicos que dañan los productos, esto permite su almacenaje durante mayor tiempo con respecto a los procesos de conservación.

Resulta necesario conocer la cantidad de agua que tienen los productos, y por ende su calor latente de congelación, así como la cantidad de calor a extraer con la finalidad de determinar la potencia necesaria en el sistema.

2.1.3 *Ciclo de refrigeración por compresión mecánica.*

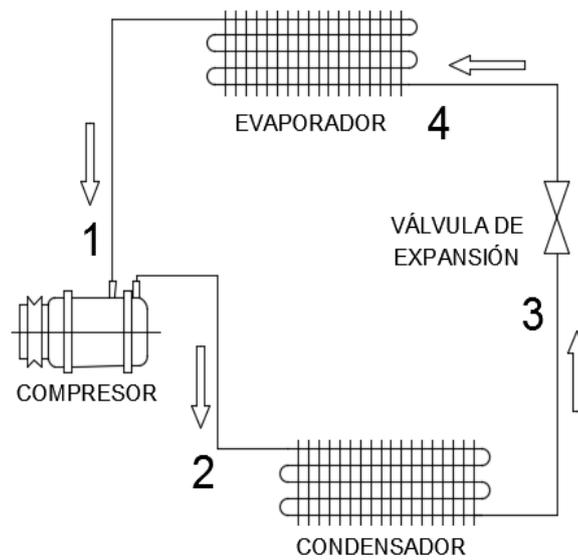
“Cualquier cambio de un estado de equilibrio a otro experimentado por un sistema se conoce como proceso, y la serie de estados por los que pasa un sistema durante este proceso es una trayectoria del proceso”, “Se dice que un sistema ha experimentado un ciclo si regresa a su estado inicial al final del proceso.” (ÇENGEL, y otros, 2012).

Se denomina refrigeración por compresión mecánica cuando se caracteriza por el uso de una unidad condensadora y el uso de un dispositivo de expansión.

Un sistema básico de refrigeración por compresión mecánica está compuesto por:

- Compresor
- Condensador
- Dispositivo de expansión
- Evaporador

Figura 1-2. Sistema de refrigeración por compresión mecánica



Fuente: Autores

El refrigerante al circular por los principales equipos y elementos del sistema de refrigeración da lugar a los procesos como se muestra a continuación en la tabla 1.

Tabla 1-2. Procesos de un ciclo de compresión mecánica

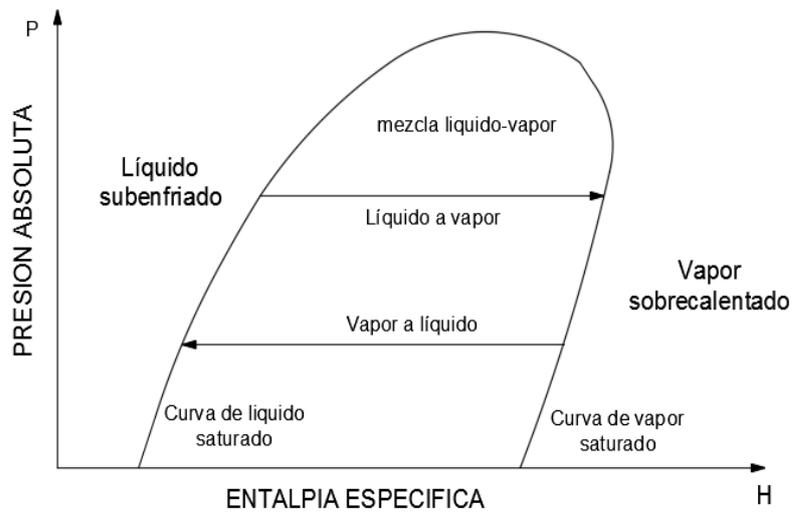
Línea	Proceso termodinámico	Parámetro termodinámico
1-2	Compresión	Entropía constante (S=C)
2-3	Condensación	Presión constante (P=C)
3-4	Expansión	Entalpía constante (H= C)
4-1	Evaporación	Presión constante (P=C)

Fuente: Autores

El diagrama presión-entalpía (p-h) se lo conoce también como el diagrama de Mollier se muestra en la figura 2, en donde se puede representar cualquier estado ideal y real del ciclo de refrigeración, siempre que se conozca dos propiedades intensivas e independientes.

Este diagrama está dividido en tres regiones separadas por las líneas de líquido saturado y vapor saturado, estas zonas son: la parte de líquido subenfriado, la mezcla líquido vapor y la zona de vapor sobrecalentado. Se dice que una propiedad es intensiva e independiente cuando no depende de la masa; su valor se puede obtener de forma directa sin la necesidad de cálculo previo, pudiendo ser un dato inicial para su ubicación en el diagrama.

Figura 2-2. Diagrama presión-entalpía



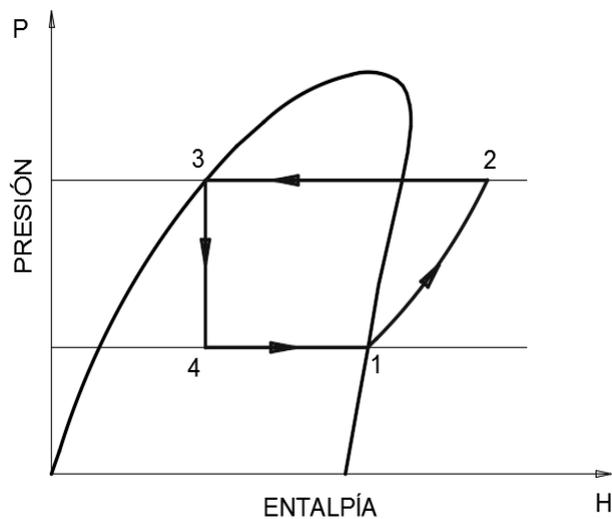
Fuente: Autores

2.1.3.1 Ciclo ideal de refrigeración por compresión mecánica.

En un ciclo ideal de refrigeración por compresión mecánica no se considera que existe fricción entre el refrigerante y las paredes internas de las tuberías, tampoco se considera la pérdida de energía en los equipos y accesorios cuando circula el refrigerante, por lo que no existe disminución en la presión y no existe intercambio de calor con el medio.

El refrigerante se encuentra en condiciones saturadas a la entrada del compresor ($X=1$) y a la salida del condensador ($X=0$) por lo que sus propiedades intensivas e independientes no sufren variaciones.

Figura 3-2. Ciclo de refrigeración ideal por compresión mecánica



Fuente: Autores

- *Proceso de compresión.* Es un proceso adiabático es decir que no existe transferencia de calor del refrigerante con el medio circundante, cuando el refrigerante ingresa al compresor en el estado 1 aumenta la presión de vaporización hasta llegar a la presión de condensación en el estado 2; debido a que se trata de un proceso adiabático no existe cambio en la entropía de los estados 1 y 2.
- *Proceso de condensación.* El proceso del estado 2 al estado 3 es isobárico y se realiza en el condensador, el calor absorbido por el refrigerante es cedido al aire que actúa como medio condensante, el vapor sobrecalentado es enfriado hasta su punto de saturación en el estado 3 en la curva de líquido saturado.
- *Proceso en el dispositivo de expansión.* El proceso se realiza en la válvula de expansión, el refrigerante ingresa a la válvula de expansión como líquido saturado en el estado 3 hasta el ingreso al evaporador, pasando de alta presión y temperatura de condensación a baja presión y temperatura de evaporación en el estado 4, donde el refrigerante se encontrará como mezcla de líquido y vapor. El refrigerante a la salida del dispositivo de expansión hierve debido a la caída de presión enfriando el refrigerante porque toma el calor latente de evaporación de la propia mezcla.
- *Proceso de evaporación.* Es un proceso isotérmico e isobárico es decir a temperatura y presión constante respectivamente entre el estado 4 y estado 1, la finalidad del evaporador es extraer el calor del medio a refrigerar a través de la evaporación del refrigerante, saturando la mezcla líquido vapor procedente del dispositivo de expansión en el estado 4 hasta el estado 1; cuando el refrigerante circula en el serpentín incrementa su entalpía. (PITA, 1991)

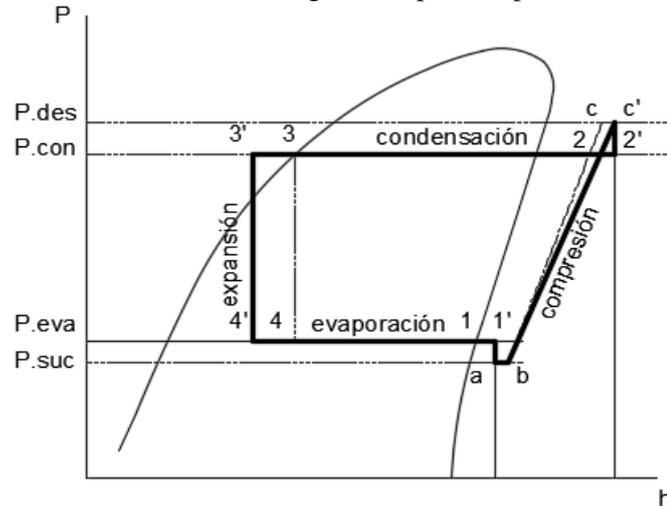
2.1.3.2 *Ciclo real de refrigeración por compresión mecánica.*

En un ciclo real de refrigeración por compresión mecánica se considera la caída de presión del refrigerante cuando circula por los equipos y accesorios debido a la fricción, las condiciones en los estados a la entrada del compresor y salida del condensador sufren una variación por lo que ya no se consideran saturadas.

Existe variación respecto al ciclo teórico, es así que el estado del punto 1 sufre tres variaciones, el refrigerante se vaporiza completamente en el evaporador y sigue absorbiendo calor pese a ser vapor saturado es decir continúa sobrecalentándose hasta el ingreso al compresor desplazándose al estado 1'. La segunda variación se refiere a la caída de presión debido a la fricción del vapor

en tuberías y accesorios por lo que el estado 1' cae al estado "a"; finalmente la tercera variación también se da en la temperatura y es debido al funcionamiento del compresor por la fricción de las partículas de refrigerante vapor debido a la turbulencia creada en el mismo, hay un desplazamiento del estado 1'' al "b". (VALENZUELA, 2010)

Figura 4-2. Ciclo real de refrigeración por compresión mecánica



Fuente: Autores

A través de este proceso el compresor eleva la presión del refrigerante, esta debe ser ligeramente mayor a la presión de condensación para conseguir que el vapor salga a través de la válvula de descarga, durante la apertura de dicha válvula, existe una caída de presión desplazando al punto en el estado "c" al 2'. (WHITMAN, y otros, 2000)

En el proceso de condensación, existe una caída de presión debido a la circulación del refrigerante por el serpentín del condensador, este cambia de estado llegando a líquido saturado, punto 3, el cual se puede subenfriar debido a la circulación por la tubería o mientras se encuentra almacenado en el tanque recipiente de la unidad condensadora, pasando del punto del estado 3 al 3'. (DOSSAT, 2001)

El proceso en el dispositivo de expansión es adiabático, es decir las entalpías en los estados 3' y 4' son las mismas, pero existe una disminución de la temperatura y presión de condensación hasta llegar a la presión y temperatura de evaporación.

Existe un dispositivo denominado intercambiador de calor succión-líquido, cuyo principio de funcionamiento se da en contraflujo donde el vapor frío proveniente del evaporador absorbe calor del líquido caliente que sale del tanque colector de la unidad condensadora, de esta manera se puede subenfriar el líquido y sobrecalentar el vapor.

“El calor se disminuye en el líquido en una cantidad que es igual a la cantidad de calor tomada por el vapor”. (DOSSAT, 2001)

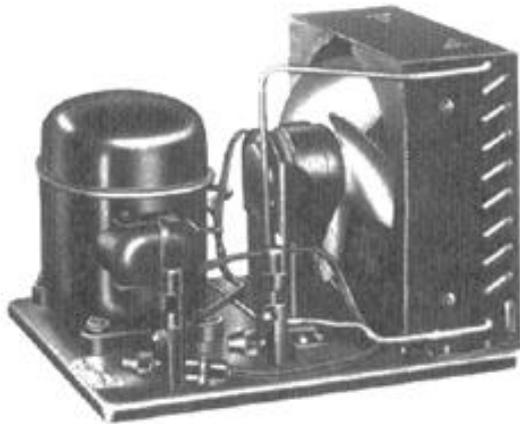
2.1.4 Componentes básicos de un sistema de compresión mecánica.

A continuación, se muestra los componentes básicos que conforman un sistema de refrigeración.

2.1.4.1 Unidad condensadora.

Se denomina así al equipo formado por el compresor, condensador y recipiente de líquido.

Figura 5-2. Unidad condensadora



Fuente: (WHITMAN, y otros, 2000)

- *Compresor.* Es fundamental en cualquier instalación frigorífica porque absorbe el vapor del refrigerante procedente del evaporador a baja presión, comprimiéndolo a través de la disminución de su volumen, aumentando la presión y temperatura en la descarga para que sea condensable.

El compresor que forma parte de la unidad condensadora existente en el sistema de refrigeración es uno de tipo hermético, estos se caracterizan por tener integrados el motor y el eje dentro de un recipiente cerrado con soldadura impidiendo las fugas y la accesibilidad al operador.

El motor del compresor hermético utiliza el refrigerante y el aceite lubricante para su enfriamiento, se debe tener en cuenta que a bajas temperaturas 0°F el refrigerante no es recomendable para enfriar estas unidades debido a la baja densidad del gas en la succión, es decir el vapor debe ser lo más denso posible. (PITA, 1991)

Figura 6-2. Compresor hermético



Fuente: (WHITMAN, y otros, 2000)

- *Condensador.* Es un intercambiador de calor cuya finalidad es remover calor del gas refrigerante evaporándolo hacia el exterior, puesto que el aire funciona como fluido refrigerante al circular de manera forzada a través de los ductos aleteados mediante un ventilador, por lo que el refrigerante sufre un cambio de fase de vapor a líquido saturado.

El condensador de la unidad cuenta con enfriamiento forzado, el aire fluye en forma cruzada a través de los tubos aleteados, las aletas son muy utilizadas por su bajo coeficiente de transferencia de calor en dirección del aire. (PITA, 1991)

Figura 7-2. Condensador



Fuente: (SHENZHEN RUIFUJIE TECHNOLOGY CO. LTDA.)

- *Recipiente de líquido.* Es un tanque reservorio horizontal o vertical que acumula y almacena el fluido refrigerante en estado líquido cuando no es utilizado en la operación de enfriamiento o almacena la carga total si el sistema no está en funcionamiento; este

recipiente suministra al evaporador la suficiente cantidad de fluido según se requiera.
(GONZALES SIERRA, 2012) (PITA, 1991)

El recipiente admite volúmenes adicionales de refrigerante que fueron producidos por variaciones en la carga y en el flujo, evitando que el evaporador quede sin refrigerante; para la implementación de nuevos accesorios en el sistema de refrigeración es necesario la presencia de un recipiente de líquido para evitar la pérdida de refrigerante, este recipiente acumulador se lo instala a continuación del condensador y tiene su conexión con la línea de líquido, este recipiente es de gran utilidad para la recarga del sistema.

Figura 8-2. Recipiente líquido



Fuente: (AREA COOLING SOLUTIONS)

2.1.4.2 *Dispositivo de expansión.*

El dispositivo de expansión es un dispositivo para el control de flujo, sirve para controlar el paso de gas refrigerante que entra al evaporador. El refrigerante ingresa a temperatura y presión de condensación en estado líquido y a la salida de éste dispositivo se encuentra como mezcla de líquido vapor a presión y temperatura de evaporación (ASHRAE, 2006), esto es debido a que la presión del refrigerante en estado líquido es reducida al atravesar el dispositivo de control de flujo o de expansión y la mantiene constante a la salida pese a las fluctuaciones que tiene el refrigerante a la entrada.

Su objetivo es regular la porción requerida de refrigerante para absorber la cantidad de calor necesario del medio a enfriar, este dispositivo suministra la cantidad de refrigerante que ingresa al evaporador porque es de vital importancia que éste siempre tenga líquido que pueda evaporar y además controlar el sobrecalentamiento del gas que sale al evaporador.

Figura 9-2. Dispositivo de expansión



Fuente: (DANFOSS, 2004)

2.1.4.3 *Evaporador.*

El evaporador es un equipo que básicamente funciona como un intercambiador de calor que se lo instala en el interior del espacio a ser refrigerado, donde la transferencia ocurre desde el espacio refrigerado o producto hacia el refrigerante vaporizante. El refrigerante llega al evaporador en forma de una mezcla líquido-vapor y cuando circula a través del serpentín hierve súbitamente porque absorbe el calor de la carga térmica proveniente del producto.

Se debe tener en cuenta que cuando el evaporador elimina calor del espacio refrigerado y comienza el descenso de temperatura de la cámara se elimina el calor sensible, mientras que cuando se extrae la humedad del espacio refrigerado se elimina el calor latente. (GONZALES SIERRA, 2012)

Figura 10-2. Evaporador



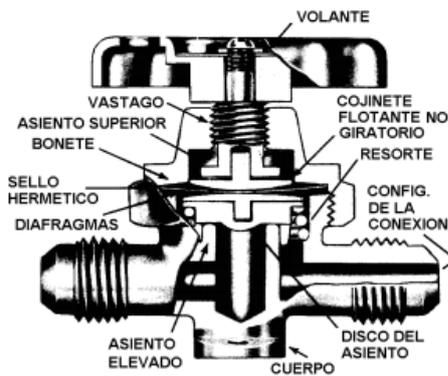
Fuente: (BOHN, 2016)

2.1.5 Componentes de regulación y control.

2.1.5.1 Válvula de paso manual.

Es un componente de accionamiento mecánico que mediante la apertura o cierre de sus componentes internos permite el paso de flujo de líquido a través de la tubería, pudiendo aislar ciertas secciones del sistema para operaciones de mantenimiento.

Figura 11-2. Válvula de paso manual

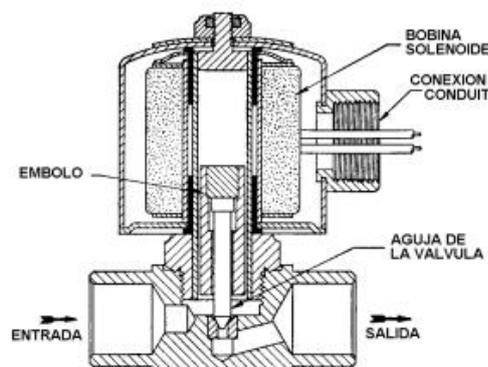


Fuente: (EMERSON CLIMATE, 2013)

2.1.5.2 Válvula solenoide.

Es un dispositivo de accionamiento electromagnético, cuya excitación de su bobina permite la apertura o cierre de sus componentes internos para la circulación de líquido en el sistema. En un sistema de refrigeración se ubica en la línea de líquido, y su función principal es cerrar completamente la válvula durante los periodos de paro del compresor evitando sobrecarga del evaporador con el refrigerante.

Figura 12-2. Válvula solenoide



Fuente: (EMERSON CLIMATE, 2013)

2.1.5.3 Intercambiador de calor.

Es un accesorio que se instala a contracorriente entre el líquido más caliente y el vapor frío de la aspiración como estrategia para subenfriar el líquido refrigerante evitando la formación de burbujas luego que sale del condensador, aprovecha el sobrecalentamiento de la tubería de aspiración para incrementar el efecto refrigerante. Este accesorio compensa la desventaja de sobrecalentar el vapor, es decir este se utiliza para incrementar la eficiencia del sistema. (GONZALES SIERRA, 2012)

Figura 13-2. Intercambiador de calor



Fuente: (DIRECT INDUSTRY)

2.1.5.4 Acumulador de succión.

Es un dispositivo que se instala en la línea de succión del compresor para evitar problemas de infiltración súbita de refrigerante líquido al compresor, es empleado en sistemas que tienen problemas por la presencia de refrigerante líquido en la mezcla de vapor y aceite. Este recipiente consta de dos tubos, el tubo de entrada que se conecta a la tubería que sale del evaporador, y el tubo de salida se conecta al ducto de aspiración del compresor, este acumulador sirve para retener un porcentaje de la carga total de refrigerante para controlar la turbulencia existente en el fluido.

Figura 14-2. Acumulador de succión



Fuente: (EMERSON CLIMATE, 2013)

2.1.5.5 Presostato de alta y baja.

Un presostato es un dispositivo que controla el adecuado funcionamiento del sistema de refrigeración protegiéndolo de súbitos cambios de presión del refrigerante, es decir funciona como dispositivo de seguridad para el sistema ante eventuales cambios de presión, consta de dos escalas que son la de ajuste principal (presión de conexión) y la de ajuste diferencial. Los presostatos pueden ser:

- Presostato de baja presión. Cuando la presión del sistema disminuye por debajo de la desconexión se abre el circuito apagando el compresor y cierra el circuito cuando la presión del sistema sube a condiciones normales de funcionamiento.
- Presostato de alta presión. Si la presión del sistema es mayor a la ajustada por el presostato de alta presión desconecta el compresor y conectándolo cuando la presión alcanza condiciones normales de funcionamiento.
- Presostato de alta y baja presión. Este presostato es la unión de un presostato de alta presión y un presostato de baja presión cuyos fuelles se encuentran conectados en la parte del compresor en la línea de alta presión, alta temperatura y en baja presión, baja temperatura.

Figura 15-2. Presostato de alta y baja presión



Fuente: (GIZ PROKLIMA, 2010)

2.1.5.6 Manómetros.

Los manómetros son instrumentos que indican los cambios de presión en la línea donde se encuentran instalados, a través de la variación de la presión mueve los elementos internos del manómetro visualizando en una escala gradual de presión del punto donde se encuentra instalado, como en el caso del tipo Bourdon (ORIEHUELA, Ernesto). Se debe tener en cuenta que un

adecuado rango de presión con la que debe contar un manómetro es aquel en donde la presión normal de funcionamiento donde se encuentra instalado, debe oscilar entre los dos cuartos de una división de la escala del manómetro.

Los manómetros para refrigeración están compuestos de hierro y cobre, el sistema consta de dos manómetros siendo característico uno de color rojo instalado en la parte de alta presión (línea de líquido), y uno de color azul instalado en la línea de baja presión (línea de succión). Los manómetros para refrigeración constan de dos escalas graduales sobre la caratula, la primera es la presión que se mide en Kg/cm² y psi, la presión vacuométrica se mide en cm Hg e in Hg y la segunda es la escala gradual de temperatura de saturación de los varios refrigerantes compatibles con el manómetro. Para la recarga de refrigerante en un sistema se dispone de un puente de manómetros de carga como el de la figura 16

Figura 16-2. Manómetros de alta y baja presión



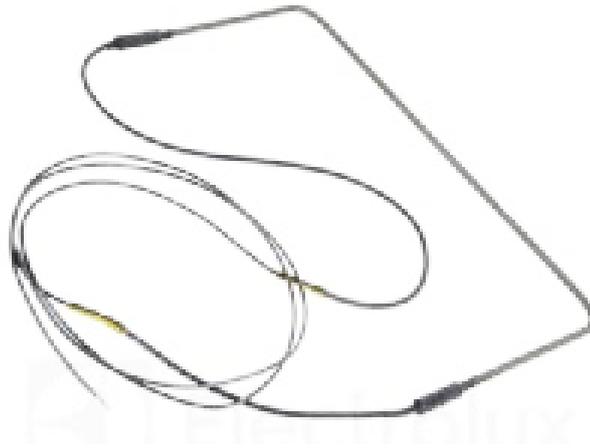
Fuente: (BEIJER, 2017)

2.1.5.7 Sistema de descarchado.

La escarcha son partículas de hielo que se forma cuando el aire forzado que atraviesa el evaporador se encuentra a una menor temperatura que la de la cámara, el cual se deposita sobre las tuberías. También se forma escarcha con la infiltración de aire caliente y humedad, así como la humedad de los productos a congelar o conservar.

La escarcha puede convertirse en un problema porque dificulta la transmisión de calor impidiendo el paso del aire a través del serpentín, lo que lleva a la formación de un aislante térmico. La escarcha prolonga el tiempo de funcionamiento del compresor y disminuya la producción frigorífica. Por eso se realiza periodos de descongelación o descarche en las paredes del evaporador (GONZALES SIERRA, 2012)

Figura 17-2. Sistema de deshielo



Fuente: (ELECTROLUX RECAMBIOS Y ACCESORIOS)

2.1.5.8 *Filtro secador.*

El filtro secador es un dispositivo que se ubica en la línea de líquido para retener los contaminantes como: polvo, suciedades, partículas restantes de solda, limaduras, humedad y ácidos que pueda tener el refrigerante cuando circula a través del sistema. La operación de filtrado se realiza a través de una serie de materiales que se encuentran en el interior del dispositivo. (WHITMAN, y otros, 2000) Se recomienda que los filtros secadores se instalen lo más cerca posible a la válvula de expansión para evitar acumulación de partículas que interfieran con su movimiento. Siempre que se realice una reparación de mantenimiento en el sistema obligatoriamente se debe cambiar el filtro, porque puede ingresar humedad a la instalación frigorífica.

Figura 18-2. Filtro secador



Fuente: (EMERSON CLIMATE, 2013)

2.1.5.9 *Indicador líquido-humedad.*

Es un accesorio fundamental en toda instalación frigorífica que se la coloca en la tubería de líquido. Las funciones principales del indicador son:

- Varios visores presentan una barra vertical ubicada en el centro del indicador denominado testigo, este presenta una sustancia que cambia de color con la ausencia o presencia de humedad en el sistema, es decir, si la tonalidad es de color verde indica la ausencia de humedad, y si presenta un color amarillo indica la presencia de humedad remanente en la instalación frigorífica. Si el sistema contiene humedad se procederá a cambiar el filtro secador donde se debe remover el refrigerante con proceso de vacío y barrido de nitrógeno para poder cambiar el filtro.
- Permite apreciar la carga del refrigerante en la instalación y a través de la mirilla se debe observar fluido 100% saturado (refrigerante en estado líquido), ya que la deficiente cantidad de refrigerante o una mezcla líquido - vapor produce burbujas.

Es recomendable colocar el indicador líquido humedad a continuación del filtro secador ya que permite detectar la obstrucción que experimenta el mismo a través de la presencia de burbujas.

Figura 19-2. Indicador líquido-humedad



Fuente: (GIZ PROKLIMA, 2010)

2.1.5.10 *Tubería de cobre.*

El metal que tiene las mejores propiedades y características para la elaboración de tubería de uso industrial o en la construcción es el cobre, esto se debe principalmente al reducido peso por metro lineal y al fácil proceso de fabricación ya que al ser confeccionada por extrusión se obtiene tubería de una sola pieza, no existe costura por lo tanto sus paredes interiores son lisas minimizando las pérdidas de carga por fricción en sus ductos.

Además, asegura la resistencia a elevadas presiones de forma uniforme con paredes delgadas, son totalmente herméticos a los gases y resistentes a la corrosión, además sus propiedades físicas y químicas son casi inalterables con el transcurso del tiempo.

La tubería de cobre es muy utilizada para la refrigeración, por su resistencia a la corrosión, maleabilidad, ductilidad, peso ligero y por su fácil instalación; comercialmente se las puede encontrar de cobre duro (rígido) en barras y de cobre blando (recocado) en rollos. Para instalaciones frigoríficas la tubería de cobre debe cumplir con las especificaciones que dictan las normas EN – 12735 – 1. (EL COBRE)

Figura 20-2. Tubería de cobre

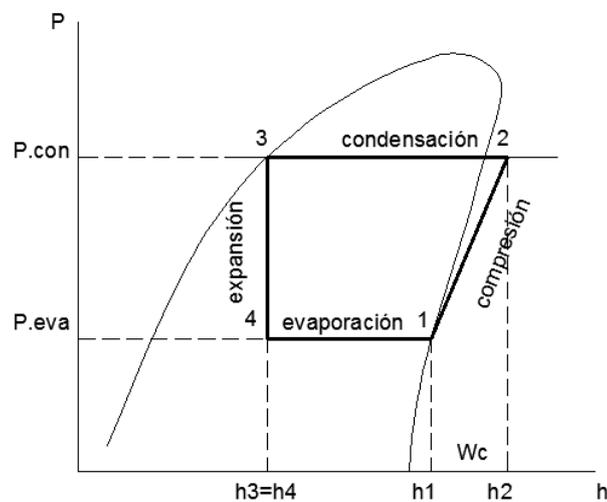


Fuente: (EL COBRE)

2.1.6 *Parámetros principales de un ciclo de refrigeración*

A continuación, se indican los principales parámetros a determinar para conocer la eficiencia del sistema de refrigeración, en la figura 21 se indica el diagrama presión entalpía para la fácil identificación de estos parámetros para el diseño.

Figura 21-2. Diagrama P-h del ciclo de refrigeración



Fuente: Autores

2.1.6.1 *Trabajo de compresión.*

Este está dado por:

$$W_C = h_2 - h_1 \quad (1)$$

Dónde:

W_C = Trabajo de compresión [KJ/Kg]

h_2 = Entalpía de vapor saturado [KJ/Kg]

h_1 = Entalpía de vapor sobrecalentado [KJ/Kg]

2.1.6.2 *Calor de condensación.*

Está determinado por:

$$q_{Cond} = h_2 - h_3 \quad (2)$$

Dónde:

q_{cond} = Calor de condensación [KJ/Kg]

h_2 = Entalpía de vapor saturado [KJ/Kg]

h_3 = Entalpía de líquido saturado [KJ/Kg]

2.1.6.3 *Efecto refrigerante*

$$q_0 = h_1 - h_3 \quad (3)$$

Dónde:

ER = Efecto refrigerante [KJ/Kg]

h_1 = Entalpía de vapor sobrecalentado [KJ/Kg]

h_3 = Entalpía de líquido saturado [KJ/Kg]

2.1.6.4 *Coeficiente de funcionamiento.*

Es la relación entre el efecto refrigerante y el trabajo de compresión.

$$COP_R = \frac{q_o}{W_c} \quad (4)$$

Dónde:

COP_r = Coeficiente de funcionamiento real

q_o = Efecto refrigerante [KJ/Kg].

W_c = Trabajo de compresión [KJ/Kg].

2.1.6.5 *Potencia teórica que requiere el compresor.*

$$P = W_c * \dot{m} \quad (5)$$

Dónde:

P = Potencia teórica [KW]

W_c = Trabajo de compresión [KJ/Kg]

m = Flujo másico [Kg/s]

2.1.6.6 *Eficiencia del ciclo de refrigeración.*

$$\eta_R = \frac{COP_R}{COP_i} \quad (6)$$

Dónde:

η_R = Eficiencia del ciclo de refrigeración.

COP_i = coeficiente de funcionamiento ideal

2.1.6.7 *Flujo másico.*

Es la cantidad de refrigerante que circula a través del sistema con la finalidad de producir una capacidad de refrigeración requerida

$$\dot{m} = \frac{Q}{q_o} \quad (7)$$

Dónde:

m = flujo másico de refrigerante [Kg/s]

Q = Capacidad frigorífica

q_0 = Efecto refrigerante

2.1.7 Refrigerantes.

El refrigerante es el elemento primordial en una instalación frigorífica, en un ciclo de refrigeración por compresión es el fluido de trabajo que sufre diferentes cambios de forma cíclica, vaporizándose de forma que absorbe calor a baja temperatura y presión, se condensa a alta presión y temperatura cediendo el calor absorbido. Un refrigerante para ser empleado en una instalación frigorífica debe cumplir con ciertas propiedades tanto físicas, químicas como termodinámicas para garantizar la seguridad durante su uso. El sistema de identificación de los refrigerantes ha sido estandarizado por ASHRAE.

Debido a las grandes desigualdades en las condiciones y necesidades de uso de los refrigerantes, no existe un refrigerante absoluto que sea adecuado para todas las aplicaciones, es por eso que no existe un refrigerante ideal, se considera un refrigerante óptimo si se aproxima a cumplir y satisfacer las expectativas en determinada aplicación ya sea para media o baja temperatura.

Como los refrigerantes sintéticos están conformados por la mezcla de elementos químicos, existen algunos refrigerantes que están totalmente prohibidos ya que resultan tóxicos y nocivos para el medio ambiente, como los que están compuestos por clorofluorocarbonados que tienen efectos negativos sobre la capa de ozono.

Refrigerante ideal sería aquel que pueda cumplir los siguientes parámetros: (RAMIREZ, y otros, 2008)

- Presión de vaporización superior a la presión atmosférica impidiendo que ingrese aire y humedad al sistema a través de una fuga.
- Temperatura y presión de condensación baja para reducir su tamaño del condensador.
- Alto calor latente de vaporización, la cantidad de refrigerante existente en el sistema es inversamente proporcional a su calor latente de vaporización; es decir para minimizar la cantidad de refrigerante en el sistema su calor latente de vaporización debe ser elevado.
- Baja relación de compresión para incrementar su eficiencia volumétrica.

- Punto de ebullición, a la presión atmosférica suficientemente bajo con respecto a las condiciones de funcionamiento deseadas.
- Temperatura crítica elevada para impedir que el refrigerante alcance luego de la compresión ya que el refrigerante no se condensará aun si se le extrae calor.
- Compatibilidad entre el aceite lubricante y el refrigerante.

2.1.7.1 *Refrigerantes en la actualidad.*

Los principales requerimientos con que debe cumplir un refrigerante es que sean de bajo impacto en la capa de ozono, bajo impacto sobre el calentamiento global, precio accesible y disponibilidad en el mercado.

Con el gran impacto sobre la capa de ozono y las consecuencias que traen sobre el planeta aparece el protocolo de Montreal, donde se desveló que los refrigerantes CFC eran sustancias que contribuían al deterioro de la misma porque eran nocivos y en general muy dañinos como resultado de todos estos factores se decretó su eliminación en 1987. “Como una alternativa a los refrigerantes que iban desapareciendo se propusieron los HFC de mucho menos deterioro de la capa de ozono, pero con gran efecto en el calentamiento global” (BOTERO, 2015). El protocolo de Kioto se realizó por el impacto del calentamiento global y los gases de efecto invernadero; el cual tenía la visión de que los refrigerantes HFC sean refrigerantes más ecológicos, pero aun así resultaron potenciales para el calentamiento global considerándolos como refrigerantes en transición.

En la actualidad están reapareciendo los refrigerantes naturales que no tienen ningún impacto negativo sobre el calentamiento global ni sobre la capa de ozono como el amoníaco, el dióxido de carbono o los refrigerantes HC, pero cabe recalcar que estos refrigerantes son tóxicos e inflamables. Es muy importantes la participación de las empresas dedicadas a la producción de equipos de refrigeración afiliados a la AHRI, con el programa REP para continuar con la búsqueda los refrigerantes adecuados y minimizar el GWP. (BOTERO, 2015)

El refrigerante R-404A es de la familia de los HFC que está compuesto por los refrigerantes R-125, R134A, y R143A y su comercialización es considerable, este refrigerante fue el sustituto del R-502 R22, este es ideal para aplicaciones comerciales o de uso industrial. El refrigerante R-404A es el más apto para cámaras de media y baja temperatura aproximadamente entre -60°C y 7.5°C, se encuentra clasificado dentro del A1 grupo L1 es decir, de alta seguridad y baja toxicidad.

(GONZALES SIERRA, 2012). A continuación, se muestra las propiedades físicas del Refrigerante R-404A.

Tabla 2-2. Propiedades físicas del refrigerante R-404A

Propiedad	Valor	Unidad
Peso molecular	97,61	g/mol
Temperatura ebullición a (1,013 bar)	-46,45	°C
Deslizamiento temperatura de ebullición (a 1,013 bar)	0,7	K
Temperatura crítica	72,07	°C
Presión crítica	37,31	bar abs
Densidad crítica	484	Kg/m ³
Densidad del líquido (25 °C)	1048	Kg/m ³
Densidad del líquido (-25 °C)	1236	Kg/m ³
Densidad del vapor saturado (a 1,013 bar)	5,41	Kg/m ³
Presión del vapor (25 °C)	12,42	bar abs
Presión del vapor (-25 °C)	2,49	bar abs
Calor latente de vaporización (a 1,013 bar)	200	KJ/kg
Calor específico del líquido (25 °C) (1,013 bar)	1,64	KJ/Kg*K
Calor específico del vapor (25 °C) (1,013 bar)	0,88	KJ/Kg*K
Conductibilidad térmica del líquido (25 °C)	0,064	W/m*K
Calor específico del líquido (25 °C) (1,013 bar)	1,64	KJ/Kg*K
Conductibilidad térmica del vapor (1,013 bar)	0,0143	W/m*K
Límite de inflamabilidad (25 °C)	Ninguno	% vol
Toxicidad (AEL)	1000	Ppm
PCA (GWP)	3922	-

Fuente: (REFECOL REFRIGERANTES ECOLOGICOS S.A)

2.1.8 *Aceite lubricante.*

El aceite lubricante es una sustancia localizado en el cárter del compresor y lubrica las partes móviles del compresor para disminuir el desgaste y el aumento de la temperatura del compresor y el sistema. A más de su capacidad de lubricación realiza un sello de las camisas de los cilindros y mitiga el ruido. Las propiedades más importantes que debe tener un aceite lubricante son: (DOSSAT, 2001)

- Estabilidad térmica
- Estabilidad química
- Bajo punto de fluidez
- Bajo contenido parafínico
- Baja viscosidad

En la ficha técnica del compresor se indica el tipo de aceite adecuado para el correcto funcionamiento y si se debe añadir más aceite se agrega otro de la misma marca, en el caso del

refrigerante R-404A requiere de un aceite lubricante del tipo poliéster (POE) que precisamente fueron creados para ser utilizados con los refrigerantes libre de color y que tienen eficientes propiedades de lubricación, estabilidad, seguridad y anticorrosión. La miscibilidad de aceite y refrigerante son indispensables para un mantenimiento mínimo del sistema.

2.2 Automatización del sistema de refrigeración

2.2.1 *Análisis conceptual*

Se muestra las principales conceptualizaciones sobre la automatización en los sistemas de refrigeración con una facultad de autonomía es decir minimizando la intervención humana.

2.2.1.1 *Automatización.*

Es el conjunto de procedimientos y tareas para la ejecución de acciones en la realización de procesos industriales sin intervención del hombre, es decir con una facultad de autonomía.

2.2.1.2 *Sensor.*

Es el elemento capaz de captar la información de magnitudes físicas o químicas de cómo se está desempeñando la máquina o proceso, para que a través de una variable eléctrica tome las acciones correspondientes. Estas magnitudes físicas pueden ser fuerza, presión o temperatura entre otras.

2.2.1.3 *Señal analógica.*

Señal analógica son variables eléctricas que varían infinitamente en el tiempo de forma suave es decir de forma analogía y es de ahí donde toma su nombre; pueden tomar valores distintos dentro de un rango a una variable física. Las señales varían ininterrumpidamente en un rango desde un límite inferior y un límite superior, y en su mayoría las magnitudes presentes en la naturaleza tienen una señal analógica. (MIYARA, 2004)

2.2.1.4 *Señal digital.*

Es la variación de señal que se mantiene constante durante un tiempo y cambia de igual manera a otro valor que sea constante, es decir pueden adoptar valores discretos que cambian de forma alternada al transcurrir el tiempo. (MIYARA, 2004)

2.2.2 *Importancia de la automatización en instalaciones frigoríficas.*

La automatización está relacionada directamente con el desarrollo y el crecimiento de las empresas en la actualidad, las industrias implementan tecnologías idóneas e invierten en asesorías adecuadas para competir con las nuevas exigencias en el mercado aumentando su producción.

En la industria alimenticia la refrigeración tiene un papel muy importante para la preservación y transporte de los alimentos, es por eso que sus instalaciones cuentan con el control, gestión y monitorización de sus procesos para reducir el deterioro natural de los productos. La monitorización del óptimo funcionamiento de las instalaciones frigoríficas se constituye para verificar el buen funcionamiento de los sistemas de refrigeración y asegurar una buena cadena de frío para que la vida útil de los productos sea la más alargada posible hasta llegar al consumo.

2.2.3 *Características de los sensores.*

Los sensores deben tener una relación de proporcionalidad entre la magnitud de la salida y entrada, sin embargo, esto no sucede y es por esto que todos los sensores tienen una familia de curvas que representan esta relación entre la magnitud de salida y entrada entre elementos del mismo tipo. Las principales características de los sensores se clasifican en características estáticas y dinámicas, las primeras son aquellas en donde el sensor se encuentra ubicado en régimen permanente o experimenta cambios muy lentos en la variable de medida y la segunda es aquella en donde el sensor se encuentra en régimen transitorio es decir da una respuesta temporal ante estímulos estándar.

Las características estáticas son:

- Rango de medida. Es el rango de valores que una magnitud puede tomar a través de una medición es decir tiene un máximo y mínimo con sus respectivas tolerancias.
- Precisión. Es la diferencia entre el valor de la magnitud medida y un valor obtenida a través de un sensor patrón.
- Resolución. Es la capacidad del sensor de detectar el mínimo cambio en la señal de entrada que puede ser detectado a la señal de salida.
- Sensibilidad. Es la relación entre la señal de salida y un cambio en la señal de entrada.

Las características dinámicas son:

- Velocidad de respuesta. Es la capacidad de los sensores de que la señal de salida actúe sin algún retraso a las variaciones ocurridas en la señal de entrada.
- Estabilidad. Son cambios a las prestaciones del sensor, es decir este parámetro indica la desviación en la salida con respecto a un valor teórico.

2.2.4 *Sensor para medir temperatura.*

La temperatura es el parámetro físico más común para ser medido, y con mayor razón en un sistema de refrigeración en el que es un dato muy importante a la hora de preservar lo que se está refrigerando, por lo que es de vital importancia que un banco didáctico en el que se muestra el funcionamiento de un sistema de refrigeración cuente con este dispositivo para poder apreciar el comportamiento y la variación de la temperatura en el tiempo. Los sensores según el tipo de señal eléctrica que generan son: analógicos o digitales

Los sensores analógicos emiten este tipo de señal de forma continua la misma que puede ser voltaje o corriente eléctrica, mientras que los sensores digitales emiten una señal que adopta valores discretos que cambian de forma alternada al transcurrir el tiempo (MIYARA, 2004)

2.2.5 *Bus de comunicación 1-Wire.*

Este bus de comunicación es desarrollado por la empresa Dallas Semiconductor, la principal característica de este tipo de comunicación es que envía y recibe información a través de un solo cable, siendo muy utilizado para trabajar con Arduino. Esta comunicación está conformada por un maestro y varios esclavos donde cada esclavo tiene una única dirección dada por el fabricante. (CAMPUSSEIGT, y otros, 2009)

2.2.6 *Sistema de adquisición de datos.*

Un sistema de adquisición de datos es la combinación entre un software y uno o varios hardware, en el que mediante una correcta comunicación entre los dos permite la toma de señales de diferentes magnitudes físicas, para posteriormente convertirlas en datos que puedan ser procesados para su respectiva interpretación, generalmente un sistema de adquisición de datos forma parte de un sistema de control esto permite determinar el comportamiento de los equipos y las acciones que se deben tomar para llegar a obtener las especificaciones deseadas.

2.2.7 *Software Labview..*

Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench- Banco de Trabajo de Ingeniería de Instrumentación Virtual de Laboratorio) es un software desarrollado por National Instruments con una interface de programación grafica con funciones específicas y bibliotecas que están integradas en el mismo programa, estas permiten realizar la adquisición de datos de cualquier proceso, control de instrumentos y los datos adquiridos los representa a través de visualizadores grafico o indicadores numérico. Es software utiliza la unión de bloques gráficos evitando las líneas de comandos tradicionales, su programación netamente es grafica por esto es de mayor compresión.

CAPÍTULO III

3. REDISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

En el presente capítulo se realiza un diagnóstico técnico inicial de todos los componentes del sistema de refrigeración, del sistema de control y del sistema para adquisición de datos, el diagnóstico será de gran ayuda para realizar un análisis de los sistemas considerando su función específica que cumplen dentro de la instalación frigorífica.

Al analizar sus sistemas se determina las deficiencias que presenta su diseño actual y se plantea un rediseño propuesto fundamentado en la aplicación de conocimientos teóricos de refrigeración por compresión mecánica dados de su capítulo respectivo y considerando recomendaciones a través de la experiencia.

Se realiza un rediseño frigorífico determinando la carga total a enfriar (correspondiente al agua embotellada), y las cargas térmicas propias de la cámara, por infiltración de aire y por equipos, la carga de transmisión es la misma de la tesis de (RAMIREZ, y otros, 2008) debido a que se utiliza la cámara ya existente.

Se realiza un rediseño de las tuberías de succión y de líquido; aislamiento de la tubería de baja presión, un rediseño del panel de control eléctrico y del sistema para adquirir los datos del equipo mediante los sensores a través del software Labview. Finalmente se seleccionarán los equipos para la nueva instalación.

3.1 Análisis del estado técnico del sistema de refrigeración

Los equipos a causa del trabajo prolongado o por la falta de uso llegan a deteriorarse lo que conlleva a un bajo rendimiento, deficiente producción, pérdidas económicas e incluso puede implicar la seguridad del operador. El estado técnico es el conjunto de condiciones operativas de la máquina o equipo en el momento que se realiza una revisión o inspección, con la finalidad de realizar las acciones correctivas necesarias para restituir el sistema a las condiciones iniciales de diseño.

Para esto se realiza una inspección con el fin de conocer las condiciones operativas que se detallan en las fichas de estado técnico, el diagnóstico técnico presenta información importante de cómo se ha llevado el mantenimiento en el sistema hasta el momento o si existen tareas de mantenimiento.

3.1.1 *Criterio para determinar el estado técnico.*

Luego de realizar una revisión técnica se determina la eficiencia realizando una comparación con la que poseía en su estado inicial. El estado técnico de los equipos se los evalúa de acuerdo a la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 3-3. Eficiencia de equipos

Estado técnico	Valoración (%)
Bueno	90-100
Regular	75-89
Malo	50-74
Muy malo	menos 50

Fuente: (MOROCHO, 2009)

Para determinar el estado técnico se aplica la siguiente metodología:

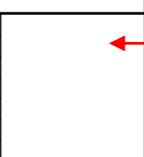
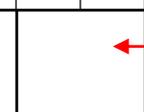
- A los aspectos evaluados como buenos se los multiplica por un factor de 1; los aspectos regulares se los multiplicara por un factor de 0,8; los aspectos malos se los multiplica por un factor de 0,6; y los aspectos muy malos se los multiplica por un factor de 0,4.
- Se obtiene la media aritmética de los aspectos evaluados anteriormente, es decir; se realiza una sumatoria de todos los productos y se los divide para el número de aspectos considerados.
- Finalmente, ese valor se multiplica por 100% y se verifica en la tabla 3 dentro de que rango corresponde la evaluación del equipo.

3.1.2 *Formato para la evaluación de estado técnico.*

Para determinar la situación actual nos ayudaremos del formato del estado técnico que permitirá un análisis de los sistemas.

El formato de hoja técnica es un formato para determinar el estado técnico de los componentes evaluados, en este formato se debe detallar las condiciones en las que se encuentra en el instante que se realiza una evaluación ya sea técnica o visual, de todos los componentes de un equipo o accesorios del sistema; todo esto previo a ejecutar alguna acción correctiva. En la siguiente figura se puede visualizar las partes de una ficha de estado técnico.

Figura 22-3. Formato de hoja técnica

Encabezado		 ESPOCH FACULTAD DE MECANICA LABORATORIO DE ENERGIA				
ESTADO TÉCNICO						
Datos generales		Equipo:	Código:			
		Marca:	Volteje nominal			
		Modelo:	Frecuencia			
		Serie:	Refrigerante:			
		Motor:	Desplazamiento:			
		Peso:	Tipo de aceite:			
		Capacidad:	Año de instalación:			
EVALUACIÓN DEL EQUIPO						
Componentes a evaluar	No.	Denominación	Bueno	Regular	Malo	Muy malo
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
Operación	7					
	8					
	9					
	10					
Observación			OPERACIÓN:			
			Bueno:			
			Regular:			
			Malo:			
			Muy malo:			
OBSERVACION			CONCLUSION			

Fuente: Autores

A continuación, se indica la descripción de las principales partes del formato de hoja técnica.

- Encabezado. se localiza en la parte superior del formato, se encuentra el nombre de la institución y de la facultad a la que pertenece el equipo o accesorios con sus respectivos logos, además se encuentra el laboratorio donde se localiza el activo y el nombre del documento.
- Datos generales. En esta sección del formato se encuentra la información primordial de cada equipo o sistema como nombre, datos de placa (marca, modelo, número de serie), parámetros eléctricos, capacidad, peso etc. Además, indica en la parte superior la fecha en la que se realiza la evaluación de los equipos y la foto del equipo está a continuación de los datos.
- Componentes a evaluar. Se encuentra a continuación de los datos generales, en esta parte del formato se ubican todas las partes de los componentes del equipo o del sistema que se desea valorar. En esta zona hay dos columnas, en la primera se encuentra el número del elemento, la segunda corresponde a la denominación del elemento a evaluar.

- Evaluación del estado. Se encuentra a continuación de los componentes a evaluar, en estas cuatro columnas se tiene las posibles evaluaciones del activo que son bueno, regular, malo y muy malo; dependiendo de la condición del equipo se marca con una “X”.
- Operación. En esta parte del formato se realizan las operaciones matemáticas mencionadas anteriormente para poder determinar el estado técnico del equipo.
- Estado técnico. En esta sección se observa los resultados luego de realizar los respectivos cálculos que se detallan en la sección “operación”.
- Observaciones y conclusiones. Es la parte final del formato, donde se anotan las observaciones que se realicen durante la evaluación para llegar a las conclusiones finales que permita tomar acciones referentes para cada equipo.

3.1.3 Composición del sistema de refrigeración, potencia y control previo a la reconstrucción.

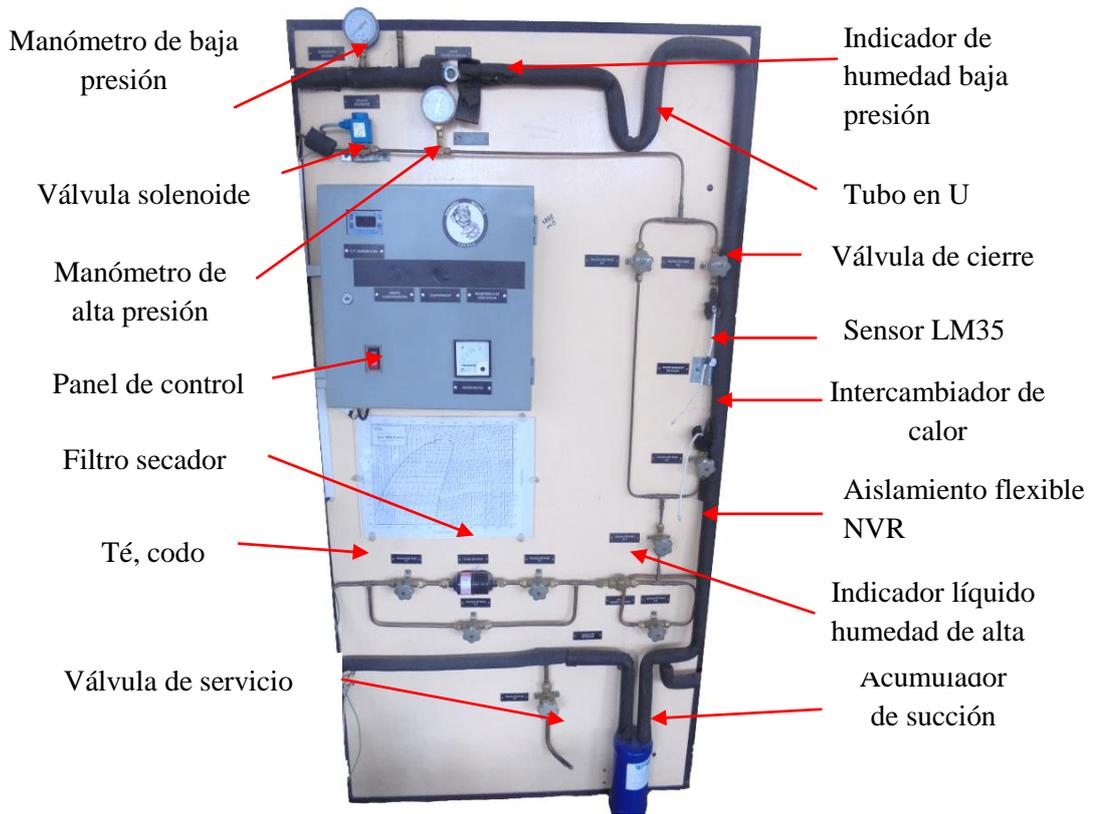
A continuación, en la figura 23 se muestra la cámara de congelación y la unidad condensadora con todos sus elementos que lo componen, en la figura 24 muestra cómo se encuentran los componentes del sistema de refrigeración dispuestos sobre la plancha lateral previos al rediseño, se distingue claramente tanto la tubería de baja presión recubierta por el aislante flexible tipo NVR y la tubería de alta presión la que se encuentra sin recubrimiento. Al visualizar cómo se encuentran instalados los componentes será de gran ayuda al momento de realizar el diagnóstico técnico inicial para una rápida identificación.

Figura 23-3. Cámara de congelación



Fuente: Autores

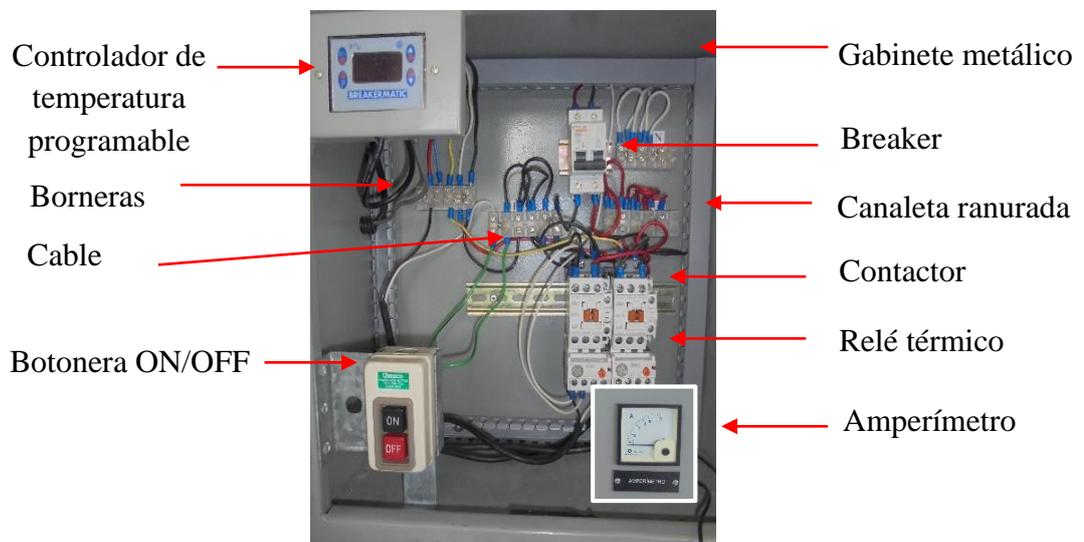
Figura 24-3. Composición de las líneas del sistema de refrigeración



Fuente: Autores

En la figura 25 se visualiza el gabinete metálico que en primera instancia controlaba el sistema de refrigeración para congelar el producto, posteriormente fue modificado cuando se unió la cámara de conservación controlando únicamente la unidad condensadora y el sistema de deshielo de la cámara original.

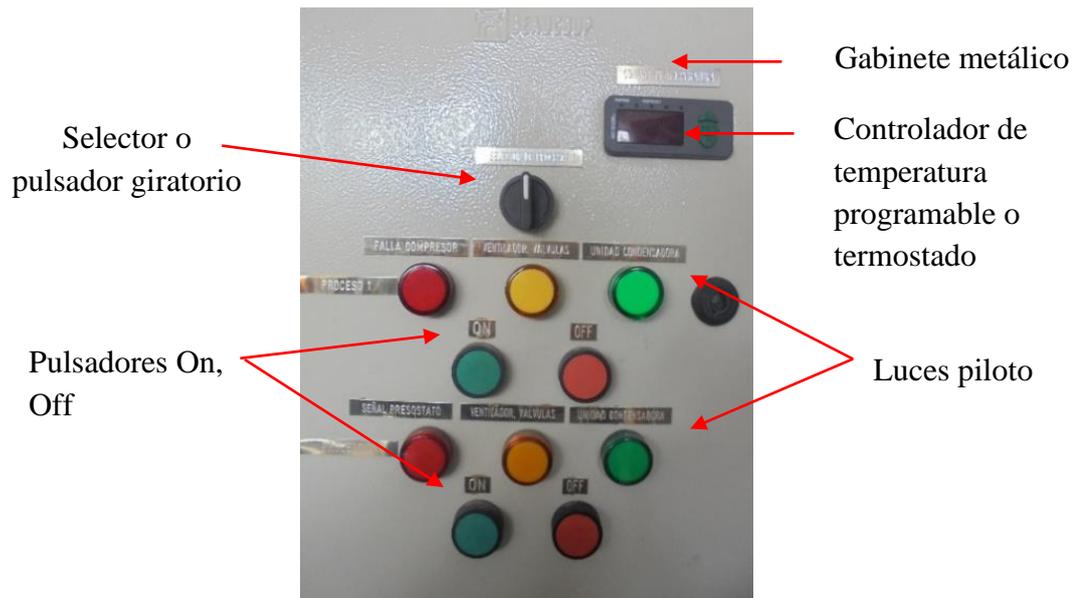
Figura 25-3. Elementos de potencia y control del gabinete metálico



Fuente: Autores

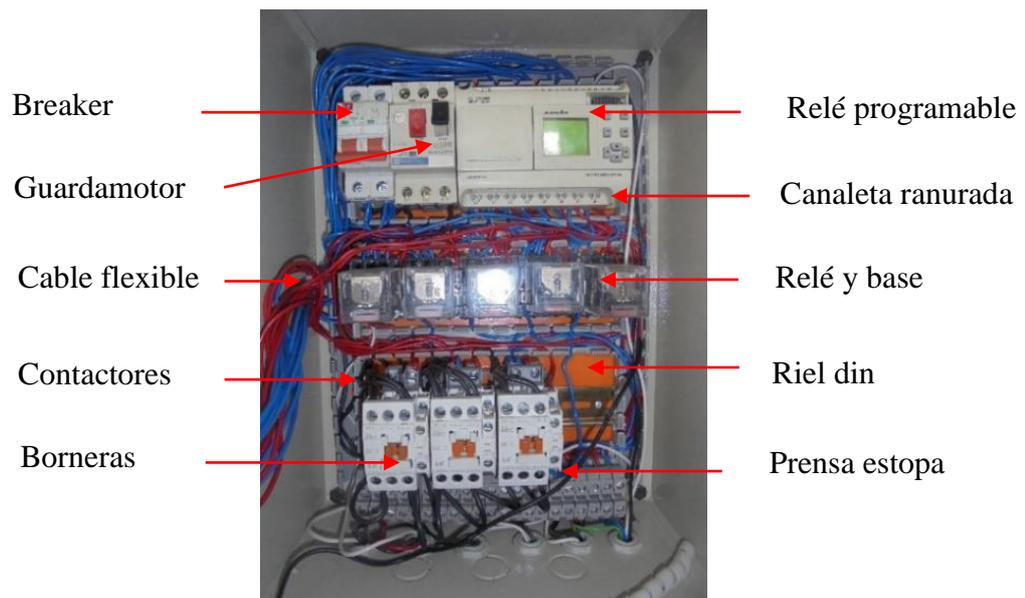
En la figura 26 se muestra la parte frontal del gabinete metálico y en la figura 27 se muestra los elementos de potencia y control correspondiente a la cámara de conservación, donde un relé programable o PLC controla el funcionamiento que activará los relés y contactores para congelar o conservar el producto. Es por eso que se distinguen dos procesos; el primero para la cámara de congelación y el segundo proceso para el funcionamiento de conservación a más de su funcionamiento en simultáneo de las cámaras.

Figura 26-3. Panel frontal del gabinete de la cámara de conservación



Fuente: Autores

Figura 27-3. Elementos de potencia y control del gabinete de la cámara para conservación



Fuente: Autores

3.2 Diagnóstico técnico de los equipos y componentes del sistema de refrigeración

A continuación, se indica los resultados del diagnóstico técnico de cada equipo o componente del sistema.

3.2.1 Diagnóstico del compresor.

Para el diagnóstico del compresor se consideraron varios aspectos que se detallan en el anexo A. Al realizar la evaluación de estado técnico se determinó que:

- La carcasa no presenta golpes; la placa y sus numeraciones se encuentran intactas a pesar de existir deterioro en su pintura.
- En las conexiones de las tuberías de succión y descarga no se encuentran fugas, pero tienen residuos por desprendimiento de aislante que deben ser removidos.
- El compresor está correctamente sujeto a la base de la unidad por lo que no podrían presentarse vibraciones.
- Todos los componentes del compresor se encontraron cubiertos de polvo por lo que se debe limpiar y remover cualquier suciedad de la superficie
- Se verificó el funcionamiento del compresor hermético, se comprobó continuidad y resistencia del bobinado, al medir la resistencia de trabajo su valor es de aproximadamente de 10 ohmios considerado un valor muy bajo, razón por la cual existe el problema de sobre intensidad de corriente, la resistencia del bobinado de arranque es de 40 ohmios; como todo el consumo se lleva la bobina de trabajo el compresor se protege a través de la activación del klixón haciendo que el compresor no encienda.

Como se puede ver hay un desequilibrio entre la resistencia de los dos bobinados teniendo en cuenta que en circunstancias normales su resistencia no diferiría notablemente, concluyendo así que su bobinado está corto circuitado y hay que cambiar el compresor.

El compresor está valorado en un 78%, es decir que la condición del compresor es buena sin embargo el motor es el componente de mayor incidencia y primordial, se trata de un compresor de tipo hermético, por lo que si éste no tiene un adecuado funcionamiento queda completamente inservible.

3.2.2 Diagnóstico del condensador.

Para la evaluación de condensador se consideró los aspectos que se detallan en anexo B, donde su estado es bueno correspondiente a un 82,5% y sus resultados fueron los siguientes:

- La carcasa muestra algunas ralladuras con desprendimiento de pintura que puede corregirse.
- En la tubería de succión y descarga, se encontró residuos de aislante flexible y cinchos de plástico que se deben remover.
- El condensador se encuentra bien sujeto y su protección en muy buen estado.
- El ventilador funciona correctamente y su fijación a la unidad condensadora es firme debido a su nula manipulación.
- Al verificar el estado interno del compresor se encontró presencia de óxido en la tubería, cualquier partícula extraña presenta un enorme problema para cualquier instalación frigorífica.
- La tubería aleteada presenta golpes ya que su protección se encuentra doblada y debe rectificarse, se encontró residuos de óxido debido a la humedad presente en el sistema.
- Todos los componentes se encuentran recubierto de polvo y deben ser removidos en su totalidad.

El estado del condensador es aproximadamente bueno, sin embargo la presencia de óxido en el sistema representa un gran problema, toda instalación debe estar libre de humedad, partículas extrañas y oxido para que funcione de manera óptima; ante la circunstancia se propone un cambio de condensador y debido al estado del compresor se propone un cambio de toda la unidad condensadora para el sistema de refrigeración.

3.2.3 Diagnóstico del evaporador.

Al momento de evaluar la condición del evaporador se determinó que el estado técnico es bueno correspondiente a una valoración de 96,66% como muestra el anexo C donde se determinó aspectos como:

- La carcasa se encuentra en buen estado.
- En las conexiones de la tubería de succión y descarga se deben remover los residuos de aislante flexible de NVR y cinchos plásticos de la superficie, no se encontraron fugas.
- El evaporador está bien sujeto a la cámara conjuntamente con la bandeja de drenaje.
- El serpentín no presenta golpes o abolladuras.
- Los motoventiladores funcionan correctamente.
- El evaporador debe estar libre de cualquier suciedad por lo que debe limpiarse.

El estado del evaporador es bueno con el correcto funcionamiento de los ventiladores y libre de partículas extraña, está listo para reutilizarse en el nuevo sistema de refrigeración.

3.2.4 *Diagnóstico de los componentes del sistema.*

Para conocer el estado técnico de las válvulas de cierre manual se evalúan de forma individual, se realizó un diagnóstico de las válvulas de cierre manual. Los demás componentes del sistema de refrigeración se encontraron en un estado regular de un 87,27% sin embargo los elementos se inspeccionaron de forma individual en el anexo D y están detallados a continuación:

- La válvula solenoide instalada en el lado de alta presión se encuentran en bueno estado y su cierre es hermético.
- En el acumulador de succión deben retirarse residuos de refrigerante o aceite lubricante que pueda presentarse en su tubo en U.
- El estado del presostato de alta y baja presión es bueno, solo se debe remover para la instalación en el nuevo sistema, sus contactos se encuentran en buen estado.
- Los indicadores líquido-humedad tanto en el lado de alta como el lado de baja presión se encuentran funcionales indicando al momento humedad del sistema en alta presión.
- El sistema de descarchado en el evaporador se encuentra operativo y su tubería no se encuentra abollada.

- Los manómetros de alta y baja presión se encuentran funcionales y su estado es bueno solo necesitan calibrarse.
- En el intercambiador de calor se debe remover el aislante flexible de su superficie y corregir su superficie.
- A la salida del recibidor líquido a través de prueba de fugas se encontró agrietamiento por donde se escapó refrigerante, mientras que en tramos del sistema de tuberías no presentó fisuras.
- El filtro secador se encuentra deteriorado, siempre que se realice una reconstrucción y una nueva configuración de las líneas hay que cambiarlo por uno nuevo.

El estado inicial de la tubería de cobre del sistema se encuentra regular pero ya que realizará otra configuración al momento de rediseñar y reconstruir debe ser cambiada por una nueva.

3.2.5 Diagnóstico de los elementos eléctricos del sistema de potencia y control.

Para el diagnóstico inicial se consideró los dos paneles de control, el primero controla la cámara para congelación evaluada en un 92,73% que corresponde a un estado bueno como se puede ver en el anexo E donde se encontró las siguientes observaciones:

- El amperímetro, breaker, contactores, relés térmicos, borneras, cables, y el sensor de temperatura se encuentran funcionales y su estado es bueno, para el nuevo sistema se realizará una nueva conexión se requiere un cableado nuevo.
- El controlador de temperatura o termostato se encuentra funcional, aunque su recubrimiento se encuentra deteriorado.
- El panel de control no se encuentra correctamente fijado y contiene perforaciones, ya que cuando fue instalada la cámara para conservación se desmontaron las luces piloto y se modificó el primer panel de control.

El panel de control que controla la segunda cámara para conservación evaluada en 83,64% correspondiente a un estado regular como se indica en el anexo G determinándose lo siguiente:

- El plc o relé programable está deteriorado por lo que debe cambiarse.

- Elementos como breaker, el controlador de temperatura, contactores, borneras, botoneras y selectores están funcionando correctamente; pero algunos de las luces pilotos están inservibles y deben cambiarse.
- La sujeción a la caja metálica de todos los elementos se encuentra firme, así como la caja metálica a la plancha lateral de madera.

3.2.6 *Diagnóstico de la cámara de refrigeración.*

La cámara de refrigeración para congelación esta evaluado en 86,5% correspondiente a un estado regular como se indica en el anexo G y a través de su evaluación se determinó:

- El recubrimiento de la cámara está deteriorado ya que existe desprendimiento de pintura en varias zonas y necesita removerse para un nuevo recubrimiento.
- Los sensores de temperatura localizados en la pared de la cámara se deben reubicarlos si es el caso.
- En las paredes interiores de acero galvanizado se encuentran residuos que deben limpiarse para una mejor presentación.

3.2.7 *Análisis del sistema de refrigeración previo al rediseño y consideraciones de mejoras.*

El rediseño y puesta en marcha del sistema de refrigeración para congelación y conservación tiene como finalidad servir como aporte educativo para los estudiantes de la Facultad de Mecánica, y se desarrolla a partir de un sistema de refrigeración existente en el laboratorio de energía, compuesto por varios subsistemas como el de refrigeración, potencia, control y el de adquisición de datos para su correcto funcionamiento. El sistema de refrigeración instalado presenta problemas en los sistemas que lo conforman ya que no se encontraba operativo durante un tiempo considerable, presentando inconvenientes en el funcionamiento de equipos lo que desencadeno en su avería, desde su instalación no contaban con los respectivos manuales de uso, mantenimiento y de seguridad.

Se propone un nuevo sistema de refrigeración compacto, donde las tuberías de alta, baja presión y demás accesorios se encontrarán dispuestas sobre la pared lateral de la cámara, la unidad condensadora se dispondrá en la parte inferior de la base de la cámara, el nuevo tablero de control

junto con el sistema eléctrico y con el sistema de adquisición de datos ubicados en el centro del sistema para mayor ergonomía, operación y visualización, con estas consideración el espacio que ocupa en el laboratorio será reducido al que se encontraba instalado. El nuevo sistema de refrigeración rediseñado dispondrá de manuales de operación, mantenimiento y de seguridad para una prolongada vida útil en el laboratorio, y así asegurar su correcta operación, a más de la seguridad del operario y las personas que se encuentren manipulando el sistema.

Figura 28-3. Sistema de refrigeración previo al rediseño



Fuente: Autores

Figura 29-3. Sistema de refrigeración rediseñado



Fuente: Autores

3.2.8 *Análisis del sistema de refrigeración.*

El sistema de refrigeración consta con una cámara de congelación diseñada hasta alcanzar la temperatura de -15°C con aislamiento de poliuretano expandido de 6 cm entre las paredes de acero galvanizado.

Existe una deficiente disposición de los componentes instalados en el sistema, cuando se instaló la primera cámara de refrigeración no disponía de un acumulador de succión para evitar el retorno de líquido al compresor, pero se disponía de un intercambiador de calor instalado en forma de bypass el mismo que sobrecalienta el gas e impide el retorno de líquido. Una vez que se instaló la segunda cámara de refrigeración se colocó el acumulador y una válvula reguladora de presión. El sistema antes del rediseño cuenta con una plancha de madera donde se encuentra montada la tubería y accesorios, la tubería de líquido tiene una combinación de tubería de 1/4 y 3/8 in donde se recomienda manejar un solo diámetro, en la tubería de succión se encontró una Te mal instalada para el golpe de ariete, esta debe instalarse junto a la válvula solenoide por su cierre súbito.

En cuanto al diseño ergonómico en la actualidad es deficiente, el nuevo diseño que se plantea contempla la reinstalación de la plancha a ser colocada sobre la parte lateral de la cámara y la readecuación de la unidad condensadora para contribuir a su ergonomía.

3.2.9 *Análisis del sistema de potencia y control.*

Los paneles de control que se encuentran instalados funcionan en simultáneo, el primer gabinete metálico controla el funcionamiento de la unidad condensadora y el descongelamiento de la primera cámara, el segundo gabinete controla la segunda cámara y el funcionamiento de los demás componentes de la instalación. Debido al funcionamiento en simultaneo de los gabinetes resulta incómoda su operación por lo tanto en el diseño actual se propone un solo gabinete donde contenga todos los elementos de potencia, control y se muestran los dos procesos de congelación y conservación de la cámara.

3.2.10 *Análisis del sistema de adquisición de datos.*

Para adquirir los datos de temperatura se utilizó el sensor de circuito integrado LM35 donde el voltaje de salida es proporcional a la temperatura en grados centígrados, para esta adquisición de datos se utilizó arduino para la visualización del cambio de temperatura; al momento de encontrar el equipo todos los sensores estaban averiados e incompletos y no se encontró su tarjeta. Al rediseñarlo se propone la utilización de sensores de temperatura DS18B20 conectados desde un

circuito con arduino pro micro para visualizar la variación de la temperatura en función del tiempo a través del software Labview, hasta que la temperatura de la cámara descienda su temperatura.

3.3 Rediseño frigorífico

3.3.1 Ubicación de la cámara.

La cámara de refrigeración para congelación y conservación se encuentra ubicada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Facultad de Mecánica. En la tabla 4 se muestran características del lugar donde se encuentra ubicada.

Tabla 4-3. Ubicación de la cámara

País	Ecuador
Provincia	Chimborazo
Ciudad	Riobamba
Lugar ubicación	Laboratorio de Energía
Altitud	2750 m.s.n.m.
Presión atmosférica	69994 Pa (525 mm hg)
Humedad relativa	50,70 %
Temperatura de bulbo seco	23 °C

Fuente: Autores

3.3.2 Caracterización del producto.

El producto que se va a conservar o congelar es agua embotellada la cual será la mayor carga a remover al momento de seleccionar el motor del compresor. El producto para el diseño del sistema son botellas de 500 ml con una masa total de 6,05 kg incluido el peso de las botellas.

Tabla 5-3. Características del agua embotellada

Botellas	
Masa	0,06 Kg
Agua	
Volumen	6 litros
Densidad	998,33 Kg/m ³
Masa	5,99 Kg

Fuente: Autores

3.3.3 Tiempo de duración de la práctica.

El tiempo de duración de la práctica se lo identifica como tiempo de jornada el cual se considera de 3,5 horas que son adecuadas para la ejecución de la práctica.

$$t_j = 3,5 \text{ h} = 12600 \text{ s}$$

3.3.4 Condiciones de almacenamiento del producto.

Los datos preliminares para el rediseño se muestran a continuación en la tabla 6

Tabla 6-3. Datos de diseño

Características	Símbolo	Valor	Unidad
Tiempo de jornada	Tj	3,5	horas
Temperatura ambiente	Ta	23	°C
Temperatura inicial del producto	Tia	18,5	°C
Temperatura de congelación del producto	Tca	0	°C
Temperatura final por debajo del punto de congelación del producto.	Tf	-15	°C
Temperatura final de conservación del producto.	Tfc	2	°C
Humedad relativa en la cámara.	Hr	90	%

Fuente: Autores

3.3.5 Flujo másico que ingresa a la cámara.

Se determina la cantidad de agua y de PET pertenecientes al agua embotellada que ingresa a la cámara para congelar o conservar.

$$\dot{m}_{agua} = \frac{m}{t_j} \quad (8)$$

$$\dot{m}_{agua} = \frac{5,99 \text{ Kg}}{3,5 \text{ h}} = 1,711 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{PET} = \frac{0,06 \text{ Kg}}{3,5 \text{ h}} = 0,017 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{total} = \dot{m}_{agua} + \dot{m}_{PET} = 1,711 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} + 0,017 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{total} = 1,728 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

3.3.6 Modelo para el calor específico del agua y el hielo.

Se indica el modelo matemático del calor específico para agua y hielo en función de la temperatura entre 0 y 150 °C donde se toma la temperatura del agua a la temperatura ambiente.

Calor específico para el agua

$$C_w = 4,1289 - 9,0864 \times 10^{-5} * T_{ia} + 5,4731 \times 10^{-6} * T_{ia}^2 \quad (9)$$

Calor específico para hielo

$$C_{ic} = 2,0623 + 6,0769 \times 10^{-3} * T_{ia} \quad (10)$$

Dónde:

C_w = Calor específico del agua [KJ/kg. °K].

C_{ic} = calor específico del hielo [KJ/kg. °K].

T_{ia} = temperatura inicial del agua [°C].

$$C_w = 4,1289 - 9,0864 \times 10^{-5} * T_{ia} + 5,4731 \times 10^{-6} * T_{ia}^2$$

$$C_w = 4,1289 - 9,0864 \times 10^{-5} * (18,5) + 5,4731 \times 10^{-6} * (18,5)^2$$

$$C_w = 4,129 \frac{KJ}{Kg * K}$$

$$C_{ic} = 2,0623 + 6,0769 \times 10^{-3} * T_{ia}$$

$$C_{ic} = 2,0623 + 6,0769 \times 10^{-3} * (18,5)$$

$$C_{ic} = 2,175 \frac{KJ}{Kg * K}$$

3.3.7 *Balance térmico.*

3.3.7.1 *Ganancia de calor por transmisión*

Esta ganancia de calor se da a través de las paredes, piso, techo y se reduce con un eficaz espesor de aislante entre las planchas de acero galvanizado

$$Q_{trans} = U * A * \Delta T \quad (11)$$

Dónde:

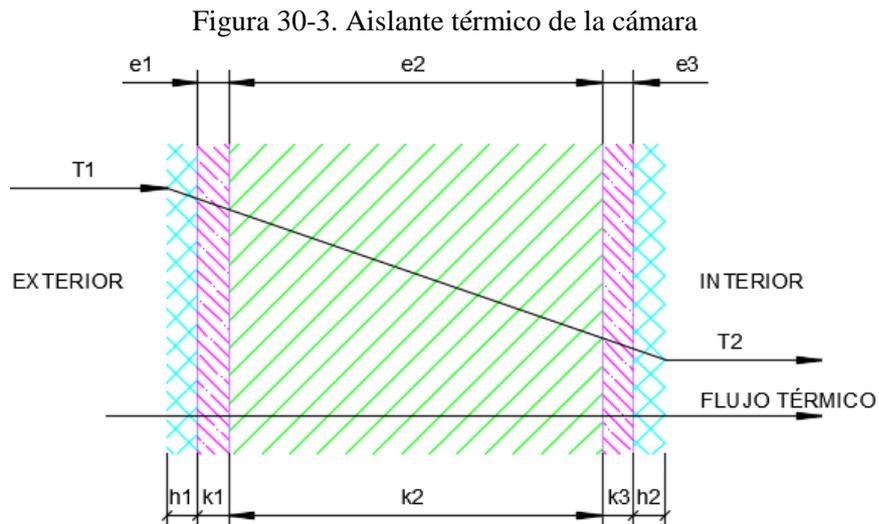
Q_{trans} = carga térmica por transmisión [KJ/h].

U = coeficiente global de transferencia de calor [$W/m^2 \cdot ^\circ K$].

A = Superficie exterior de sección [m^2].

ΔT = diferencia de temperatura del aire exterior y espacio refrigerado [$^\circ K$].

La cámara está formada por planchas de acero galvanizado y poliuretano expandido como aislante térmico, como se indica en la figura 30, sus magnitudes se pueden apreciar en la tabla 7 y se indican los coeficientes de transferencia de calor con conducción.



Fuente: Autores

Tabla 7-3. Espesor de las paredes, piso y techo de la cámara

Material	Espesor	Longitud (mm)	Conductividad térmica ($W/m \cdot K$)
Plancha de acero	e 1	0,9	14,9
Poliuretano expandido	e 2	60	0,0175
Plancha de acero	e 3	0,9	14,9

Fuente: (RAMIREZ, y otros, 2008)

En (RAMIREZ, y otros, 2008) el coeficiente de transferencia por convección exterior es:

$$h_e = 9,37 \frac{W}{m \cdot K}$$

Coeficiente de transferencia por convección interior

$$h_e = 16,37 \frac{W}{m \cdot K}$$

El coeficiente global de transferencia de calor de la cámara según (RAMIREZ, y otros, 2008) es:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{1}{h_i}}$$

$$U = 0,278 \frac{W}{m^2 * K}$$

Cuando el producto se congela alcanza la temperatura de -15°C , se considera que el área lateral es A_1 , área frontal es A_3 , área superior A_5 .

Carga de transmisión de las paredes frontal y posterior:

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

$$Q_a = U * A_1 * (T_a - T_f)$$

$$Q_a = 0,278 \frac{W}{m^2 * K} * 1,104 m^2 * (296,16 K - 258,15 K)$$

$$Q_a = Q_b = 11,666 W$$

Carga de transmisión de las paredes frontal y posterior:

$$Q_c = U * A_3 * (T_a - T_f)$$

$$Q_c = 0,278 \frac{W}{m^2 * K} * 1,38 m^2 * (296,16 K - 258,15 K)$$

$$Q_c = Q_d = 14,582 W$$

Carga de transmisión de las paredes superior e inferior:

$$Q_e = U * A_5 * (T_a - T_f)$$

$$Q_e = 0,278 \frac{W}{m^2 * K} * 1,8 m^2 * (296,16 K - 258,15 K)$$

$$Q_e = Q_f = 19,020 W$$

Carga de transmisión cuando la cámara alcanza una temperatura final de -15°C

$$Q_{trans} = \sum_1^f Q_i = Q_a + Q_b + \dots + Q_n$$

$$Q_{trans} = 90,53 \text{ W} = 0,0905 \text{ KW}$$

$$Q_{trans} = 325,93 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

La mayor carga térmica a enfriar es cuando alcanza la temperatura de -15°C, que la carga térmica dada por la temperatura de conservación de 2°C.

3.3.8.2 *Ganancia de calor del producto.*

Se considera como producto a las frutas, vegetales, carnes y a cualquier sustancia que desprenda calor dependiendo de su naturaleza, el producto se encuentra a una temperatura diferente al ambiente donde se encuentra inmerso hasta la temperatura final de congelación o conservación, producto depende de la presión y temperatura para la extracción de calor en la cámara.

$$Q_{p1} = m * C_w * \Delta T \quad (12)$$

Dónde:

Q_{p1} = carga del producto [KJ/h]

m = masa del producto [Kg]

C_w = calor específico del producto [KJ/Kg*K]

ΔT = diferencia de temperatura de congelación del producto y temperatura final de congelación o conservación. [K]

$$Q_{p2} = m * H_{if} \quad (13)$$

Dónde:

Q_{p2} = carga del producto [KJ/h]

m = masa de producto [Kg/h]

H_{if} = Calor latente de fusión [KJ/Kg]

$$Qp3 = m * Cic * \Delta T$$

Dónde:

Qp3 = carga del producto [KJ/h]

m = masa del producto [Kg/h]

Cic = calor específico del producto

ΔT = diferencia de temperatura de congelación del producto y temperatura final de congelación o conservación. [°K]

Ganancia de calor del producto hasta una temperatura de -15°C. En primera instancia se analizará la ganancia de calor del agua hasta la temperatura final y luego la del PET, considerando que la mayor carga a remover es cuando alcanza la temperatura de congelación, por ende, la carga correspondiente a la de conservación será inferior. El calor sensible del agua donde se remueve el calor para enfriar ligeramente por encima del punto de congelación a la temperatura de 0°C sin cambio de estado.

$$Qp1 = m_{agua} * Cw * \Delta T$$

$$Qp1 = m_{agua} * Cw * (Tia - Tca)$$

$$Qp1 = \left(1,711 \frac{Kg}{h}\right) \left(4,129 \frac{KJ}{Kg * K}\right) (291,65 K - 273,15 K)$$

$$Qp1 = 130,733 \frac{KJ}{h}$$

El calor latente de fusión del agua donde la cantidad de calor que se remueve para que el agua pase a su punto de congelación, donde existe un cambio de estado de líquido a sólido.

$$Qp2 = m_{agua} * Hif$$

$$Qp2 = 1,711 \frac{Kg}{h} * 333,6 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Qp2 = 570,931 \frac{KJ}{h}$$

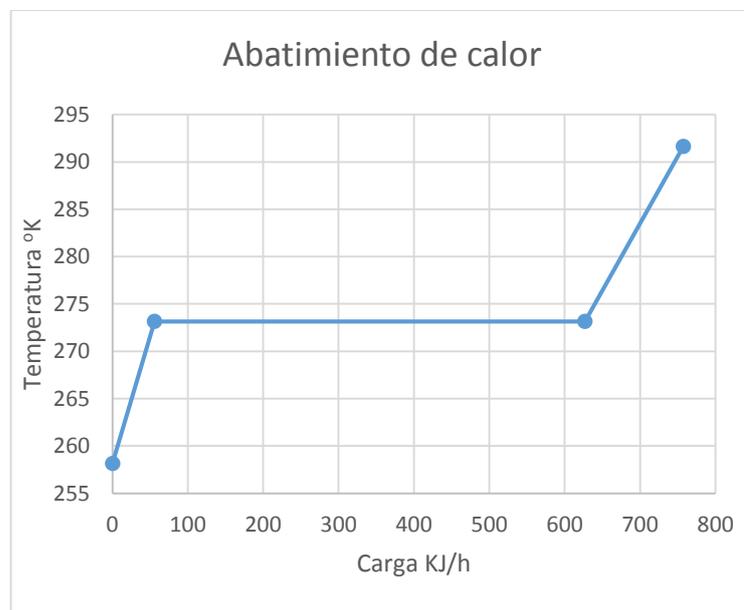
El calor sensible del agua, donde se remueve el calor para llevarla hasta la temperatura de congelación de -15°C.

$$Qp3 = m_{agua} * C_{ic} * (T_{ca} - T_f)$$

$$Qp3 = \left(1,711 \frac{Kg}{h}\right) \left(2,175 \frac{KJ}{Kg * K}\right) (273,15 K - 258,15 K)$$

$$Qp3 = 55,828 \frac{KJ}{h}$$

Figura 31-3. Abatimiento de calor



Fuente: Autores

Para el cálculo de la carga del PET se debe tener en cuenta que no existe un cambio de fase.

$$Qp4 = m_{pet} * C_{pet} * \Delta T$$

$$Qp4 = m_{pet} * C_{pet} * (T_{ia} - T_f)$$

$$Qp4 = \left(0,017 \frac{Kg}{h}\right) \left(1,3 \frac{KJ}{kg * °K}\right) (291,65 K - 258,15 K)$$

$$Qp4 = 0,747 \frac{KJ}{h}$$

La carga de producto total para congelación es:

$$Q_{pt} = Q_{pr1} + Q_{pr2} + Q_{pr3} + Q_{pr4}$$

$$Q_{pt} = 130,733 \frac{KJ}{h} + 570,931 \frac{KJ}{Kg} + 55,828 \frac{KJ}{h} + 0,747 \frac{KJ}{h}$$

$$\mathbf{Q_{pt} = 758,257 \frac{KJ}{h}}$$

El calor sensible del agua, donde se remueve el calor hasta la temperatura de conservación de hasta 2°C sin cambio de estado, de la misma forma se calcula la carga del PET.

$$Q_{ps1} = m_{agua} * C_w * \Delta T$$

$$Q_{ps1} = m_{agua} * C_w * (T_{ia} - T_{fc})$$

$$Q_{ps1} = \left(1,711 \frac{Kg}{h}\right) \left(4,129 \frac{KJ}{Kg * K}\right) (291,65 K - 275,15 K)$$

$$Q_{ps1} = 116,567 \frac{KJ}{h}$$

$$Q_{ps2} = m_{pet} * C_p * (T_{ia} - T_{fc})$$

$$Q_{ps2} = \left(0,01711 \frac{Kg}{h}\right) \left(4,129 \frac{KJ}{Kg * K}\right) (291,65 K - 275,15 K)$$

$$Q_{ps2} = 1,168 \frac{KJ}{h}$$

La carga de producto total para conservación es:

$$Q_{pt} = Q_{pr1} + Q_{pr2}$$

$$\mathbf{Q_{pt} = 117,78 \frac{KJ}{h}}$$

Como era de esperarse la carga del producto a remover es mayor para congelar que para conservar, es por esto que para su rediseño se utilizará su valor de congelación.

3.3.8.3 Carga interna debido al ingreso de persona.

Por naturaleza el ser humano desprende calor al ambiente sin embargo, en cámaras de dimensiones considerables el desprendimiento de calor depende de la actividad que realice la persona, en nuestro caso la cámara no es de un tamaño considerable para que ingresen personas.

$$Q_{pr} = 272 - 6 * t \quad (14)$$

Dónde:

Q_4 = carga interna por persona

t = temperatura de la cámara [°C].

$$Q_{pr} = 272 - 6 * t = 0 \text{ KJ/h}$$

3.3.8.4 Carga por infiltración de aire.

El calor generado por el ingreso de aire al espacio refrigerado de aire se conoce como carga por infiltración, esta carga se calcula en consideración a la renovación en un lapso de 24 horas de funcionamiento, entalpías y aires del exterior e interior de la cámara.

$$Q_i = n * V_i * (h_e * \rho_e - h_i * \rho_i) \quad (15)$$

Dónde:

Q_i = carga debido a la infiltración de aire [KJ/kg].

n = número de renovaciones de aire diarias

V_i = volumen interior de la cámara [m^3].

h_e = entalpía del aire exterior [KJ/kg].

h_i = entalpía del aire interior [KJ/Kg].

ρ_e = densidad exterior del aire [Kg/m^3].

ρ_i = densidad interior del aire [Kg/m^3].

$$Q_i = n * V_i * (h_e * \rho_e - h_i * \rho_i)$$

$$Q_i = 3 * 1,62m^3 \left(75,4325 \frac{KJ}{kg} * 1,192 \frac{Kg}{m^3} - \left(-12,763 \frac{KJ}{kg} * 1,36 \frac{Kg}{m^3} \right) \right)$$

$$Q_i = 521,36 \frac{KJ}{h}$$

3.3.8.5 Carga del equipo.

Los equipos al ser accionados emplean energía para su funcionamiento lo que provoca una energía calorífica. El cálculo se considera para los motores de los ventiladores con unas 24 horas de funcionamiento, donde se considera el 5% de las cargas antes mencionadas.

$$Q_e = 0,05 * (Q_{trans} + Q_{pt} + Q_{pr} + Q_i) \quad (16)$$

$$Q_e = 1327,093 \frac{KJ}{h}$$

3.3.8.6 Cargas térmicas totales.

En la tabla 8 se muestran la recopilación de todas las cargas antes calculadas, se debe tener en cuenta que cargas como la de transmisión y de producto fueron consideradas para el tiempo jornada de 3,5 horas, y las cargas como la de infiltración y de equipo se consideraron para un tiempo de 24 horas, como se puede visualizar en el gráfico circular la carga de producto es la más influyente con un 65% de la carga total.

Tabla 8-3. Cargas térmicas totales

Tipo de carga térmica		Jornada	Diaria (24 horas)	Unidad
Carga de transmisión.	Q _{trans}	325,93	7822,325	KJ/h
Carga del producto.	Q _{pt}	758,257	18198,175	
Carga por infiltración de aire	Q _i	-	521,362	
Carga del equipo	Q _e	-	1327,093	
Total			27868,955	

Fuente: Autores

Figura 32-3. Gráfica circular de cargas térmicas totales



Fuente: Autores

La carga total para 24 horas es de 27868,955 KJ/h, se considera dos horas de descongelamiento y un 10% por diversas circunstancias o errores que se puedan presentar.

$$Q_{total} = \frac{Q_{tot}}{22} + 0,1 * Q_{tot}$$

$$Q_{total} = \frac{27868,955 \text{ KJ/h}}{22} + 0,1 * 27868,955 \text{ KJ/h}$$

$$Q_{total} = 1266,77 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} + 126,67 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

$$Q_{total} = 1393,44 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

$$\mathbf{Q_{total} = 0,387 \text{ KW}}$$

3.3.9 Ciclo de refrigeración teórico.

Para seleccionar la temperatura de evaporación se considera la humedad relativa para el almacenaje de los productos, para un 90% de humedad se utiliza una diferencia de temperatura entre el evaporador y el espacio refrigerado de 10°F.

$$T_{ev} = T_r - DT \tag{17}$$

Dónde:

T_{ev} = temperatura de evaporación del refrigerante [°F].

T_r = temperatura del espacio refrigerado [°F].

DT = diferencia de temperatura entre el evaporador y el espacio refrigerado [°F].

$$T_{ev} = T_r - DT$$

$$T_{ev} = 5 \text{ °F} - 10 \text{ °F}$$

$$T_{ev} = -5 \text{ °F} = -20,556 \text{ °C}$$

Temperatura de condensación es la diferencia de temperatura entre la medida del medio ambiente y un incremento considerado ente 10 y 15°C.

$$T_{con} = T_m + \Delta T \tag{18}$$

Dónde:

T_{con} = temperatura de condensación del refrigerante [°F].

T_m = temperatura del medio ambiente [°F].

ΔT = incremento de temperatura [°F].

$$T_{con} = T_m + \Delta T$$

$$T_{con} = 23^\circ\text{C} + 15^\circ\text{C}$$

$$T_{con} = 38^\circ\text{C} = 100,4^\circ\text{F}$$

Utilizando la tabla de propiedades termofísicas del refrigerante R-404A mostrada en el anexo H se determina la presión de evaporación, presión de condensación, entalpía y entropía de los estados que sufre el refrigerante, se puede ver en la siguiente tabla correspondientes a los estados en los diferentes puntos.

Tabla 9-3. Estados del ciclo ideal

Punto de estado 1			
Temperatura de evaporación	Tev1	-20,556	°C
Presión de evaporación	Pev1	0,294	MPa
Entalpía	h1	354,848	KJ/Kg
Entropía	s1	1,619	KJ/KgK
Punto de estado 2			
Temperatura de condensación	T2	38	°C
Presión de condensación	Pcon2	1,729	Mpa
Entalpía	h2	387	KJ/Kg
Entropía	s2	1,619	KJ/KgK
Punto de estado 3			
Temperatura de condensación	T3	38	°C
Presión de condensación	Pcon3	1,729	Mpa
Entalpía	h3	256,873	KJ/Kg
Entropía	s3	1,191	KJ/KgK
Punto de estado 4			
Temperatura de evaporación	T4	-20,556	°C
Presión de evaporación	Pev4	0,294	Mpa
Entalpía	h4	256,873	KJ/Kg
Entropía	s4	1,22	KJ/KgK
Calidad	X	48	%

Fuente: Autores

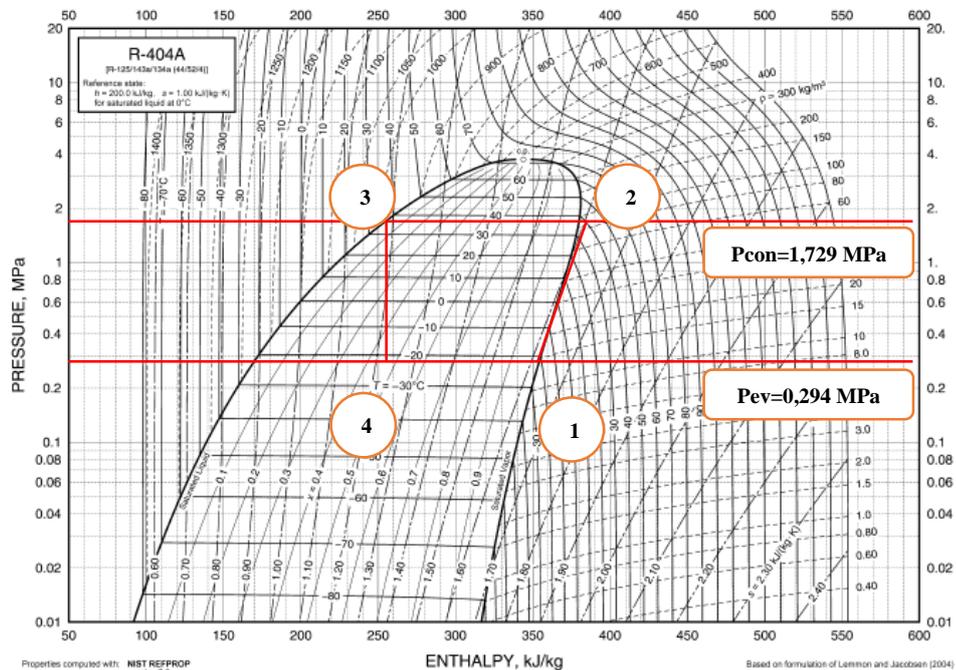
Obtenido los puntos de estado se proceden a ubicar en la gráfica presión-entalpía del refrigerante R-404A, el punto de estado 1 se ubica con la presión y temperatura de evaporación del refrigerante en la intersección de las curvas isobáricas e isotérmicas.

El punto de estado 2 se ubica siguiendo la línea isentrópica partiendo desde el punto 1 hasta intersectar a la presión de condensación en la línea de las isobáricas.

El punto de estado 3 se localiza siguiendo las líneas a presión constante partiendo del punto de estado 2 hasta la línea de líquido saturado en la campana del diagrama.

Para el punto de estado 4 se sigue la línea isoentálpica partiendo del punto de estado 3 hasta la línea correspondiente a la presión de evaporación.

Figura 33-3. Diagrama presión-entalpía del refrigerante R-404A para ciclo teórico



Fuente: Autores

3.3.9.1 Parámetros del ciclo teórico de refrigeración.

Flujo másico del refrigerante:

$$\dot{m} = \frac{Q}{q_0}$$

$$\dot{m} = \frac{0,387 \text{ KW}}{97,975 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}}$$

$$\dot{m} = 0,237 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

Trabajo de compresión:

$$Wc = h_2 - h_1$$

$$Wc = (387 - 354,848) \frac{KJ}{kg}$$

$$Wc = 32,152 \frac{KJ}{kg}$$

Calor cedido del refrigerante al aire:

$$q_{cond} = h_2 - h_3$$

$$q_{cond} = (387 - 256,873) \frac{KJ}{kg}$$

$$q_{cond} = 130,22 \frac{KJ}{kg}$$

Efecto refrigerante:

$$q_o = h_1 - h_4$$

$$q_o = (354,848 - 256,873) \frac{KJ}{kg}$$

$$q_o = 97,98 \frac{KJ}{kg}$$

Potencia teórica:

$$P = \dot{m} * Wc$$

$$P = 0,236 \frac{Kg}{min} * 32,15 \frac{KJ}{kg}$$

$$P = 0,127 KW = 127 W$$

Coefficiente de performance teórico:

$$COPr = \frac{qo}{Wc}$$

$$COPr = \frac{97,98 \frac{KJ}{kg}}{32,152 \frac{KJ}{kg}} > 1$$

$$COPr = 3,037 > 1$$

Coeficiente de performance del ciclo de Carnot:

$$COPc = \frac{Tev}{Tcon - Tev}$$

$$COPc = \frac{-20,556 \text{ °C}}{38 - (-20,556 \text{ °C})}$$

$$COPc = \frac{252,594 K}{(311,15 - 252,594)K}$$

$$COPc = 4,313$$

Eficiencia teórica del ciclo de refrigeración:

$$\eta r = \frac{COPr}{COPc}$$

$$\eta r = \frac{3,237}{4,313}$$

$$\eta r = 0,751$$

Se obtiene una eficiencia frigorífica teórica de 75,1%

3.3.10 Ciclo de refrigeración real.

Para el cálculo del ciclo real se toma en cuenta el ciclo ideal del sistema. El punto 1 del ciclo real se considera el mismo que el punto del ciclo ideal.

$$T_1 = Tev = -20,556 \text{ °C}$$

$$Pev1 = 0,294 \text{ MPa}$$

Se considera un incremento en la temperatura de 10°F por lo que las propiedades del punto 1' como vapor recalentado.

$$\Delta T = 10^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = T_1' - T_1$$

$$T_1' = 10^\circ\text{F} - 5,0008^\circ\text{F} = 4,999^\circ\text{F} = -15^\circ\text{C}$$

$$\mathbf{P_1 = P_1' = 0,294 MPa}$$

Para el punto "a" se asume cambio de presión de 4 psi o 0,02758 MPa

$$\Delta P = 0,0276 MPa$$

$$\Delta P = P_1' - P_a$$

$$P_a = (0,294 - 0,0276) MPa$$

$$P_a = 0,2664 MPa$$

$$T_a = -20,556^\circ\text{C}$$

Se considera un incremento en la temperatura de 10°F entre la temperatura de los puntos "a" y "b" a la temperatura de evaporación.

$$\Delta T = 10^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = T_b - T_a$$

$$T_b = T_a + \Delta T$$

$$T_b = (-5 + 10)^\circ\text{F}$$

$$\mathbf{T_b = -15,008^\circ\text{C}}$$

$$\mathbf{P_b = 0,26642 MPa}$$

Para el punto "c" se asume cambio de presión de 6 psi o 0,04137 MPa

$$\mathbf{P_2 = P_2' = 1,729 MPa}$$

$$\Delta P = 0,04137 \text{ MPa}$$

$$\Delta P = P_c - P_2$$

$$P_c = (0,04137 + 1,729) \text{ MPa}$$

$$P_c = 1,77037 \text{ MPa}$$

$$T_c = 46^\circ\text{C}$$

Para el punto c' se asume una eficiencia isentropica 0,80

$$h_{c'} = h_b + \frac{h_c - h_b}{\eta}$$

$$h_{c'} = 365 + \frac{401 - 365}{0,8}$$

$$h_{c'} = 405 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

El punto 3 real se localiza con la temperatura y presión de condensación que se encuentra en la zona de líquido saturado, y el punto de estado 4 se localiza con la temperatura de evaporación a entalpía constante. Los valores de presión de 4psi, 6 psi, la variación de temperatura de 10°F entre a, b y la eficiencia isentropica de 0,8 son recomendaciones que se toman de (MALAVÉ, 2004). En la tabla se resumen los parámetros de los estados correspondiente al ciclo real de refrigeración.

Tabla 10-3. Estados del ciclo real

Punto de estado 1'			
Temperatura de evaporación	T1'	-15	°C
Presión de evaporación	P1'	0,294	MPa
Entalpía	h1'	360	KJ/Kg
Entropía	s1'	1,63	KJ/KgK
Punto de estado a			
Temperatura en el punto	Ta	-20,556	°C
Presión en el punto	Pa	0,2664	MPa
Entalpía	Ha	360	KJ/Kg
Entropía	Sa	1,64	KJ/KgK
Punto de estado b			
Temperatura en el punto	Tb	-15,008	°C
Presión en el punto	Pb	0,26642	MPa
Entalpía	Hb	365	KJ/Kg
Entropía	Sb	1,65	KJ/KgK

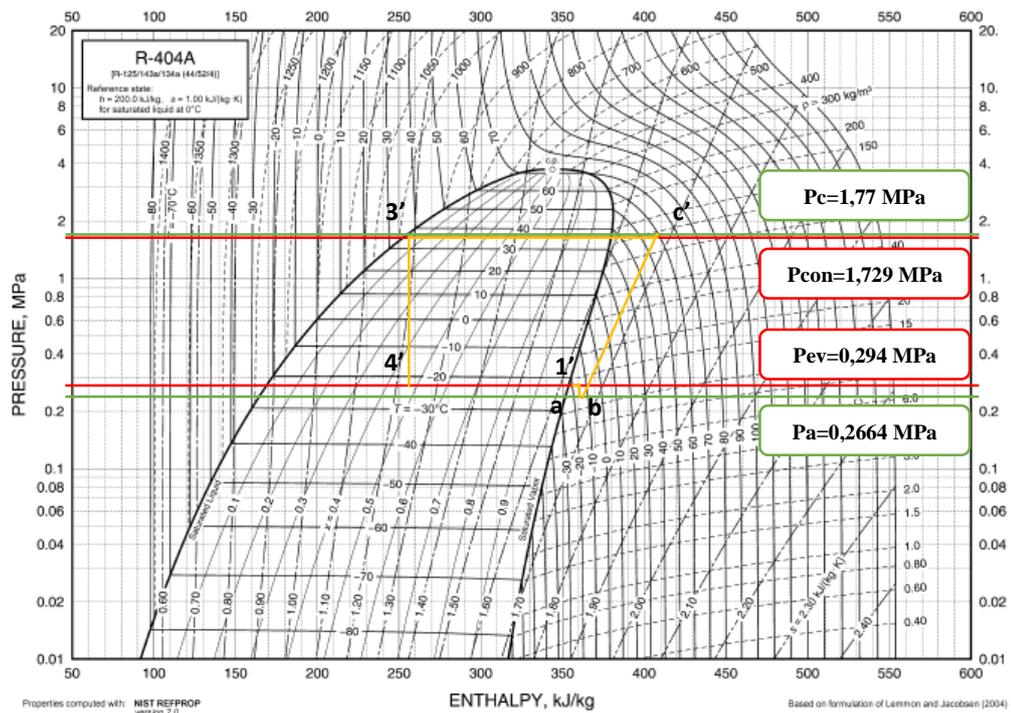
Fuente: Autores

Tabla 10-3 (continuación) Estados del ciclo real

Punto de estado c			
Temperatura de evaporación	Tc	56	°C
Presión de evaporación	Pc	1,77037	MPa
Entalpía	Hc	401	KJ/Kg
Entropía	Sc	1,65	KJ/KgK
Punto de estado c'			
Presión en el punto	Pc'	1,77037	MPa
Temperatura en el punto	Tc'	65	°C
Entalpía	Hc'	405	KJ/Kg
Entropía	Sc'	1,68	KJ/KgK
Punto de estado 2'			
Presión en el punto	P2'	1,729	MPa
Temperatura en el punto	T2'	62	°C
Entalpía	H2'	415	KJ/kg
Entropía	S'	1,69	KJ/kgK
Punto de estado 3'			
Temperatura de condensación	T3'	38	°C
Presión de condensación	P3'	1,729	Mpa
Entalpía	h3'	256,873	KJ/Kg
Entropía	s3'	1,191	KJ/KgK
Punto de estado 4'			
Temperatura de evaporación	T4'	-20,556	°C
Presión de evaporación	P4'	0,294	Mpa
Entalpía	h4'	256,87	KJ/Kg
Entropía	s4'	1,22	KJ/KgK
Calidad	X'	48	%

Fuente: Autores

Figura 34-3. Diagrama presión-entalpía del refrigerante R-404A para ciclo real



Fuente: Autores

$$COP = \frac{h_b - h_4}{h_{c'} - h_b}$$

$$COP = \frac{365 - 256,87}{405 - 365}$$

$$COP = 2,7$$

$$COP_c = 4,310$$

Eficiencia teórica del ciclo de refrigeración:

$$\eta_r = \frac{COP}{COP_c}$$

$$\eta_r = \frac{2,7}{4,313}$$

$$\eta_r = 62,7\%$$

Se obtiene una eficiencia frigorífica de 62,7%

Flujo másico real del refrigerante:

$$\dot{m} = \frac{Q}{h_b - h_4} = \frac{0,387 \text{ KW}}{361 - 257 \frac{KJ}{kg}}$$

$$\dot{m} = 0,22 \frac{Kg}{min}$$

3.3.11 Dimensionamiento de tuberías.

Hay que diferenciar los diferentes tipos de tuberías donde circula el refrigerante en estado líquido (condensador, válvula de expansión y evaporador) y la de gas (aspiración y descarga).

Tabla 11-3. Tipos de tuberías del sistema

Tubería	Equipos que conecta	Refrigerante	Temperatura
Aspiración	Evaporador-compresor	vapor	frio
Descarga (presión)	Compresor-condensador	vapor	caliente
Líquido	Condensador-válvula de expansión- evaporador	líquido	ambiente

Fuente: Autores

Se debe tener en cuenta que un mal diseño de tuberías afecta directamente con la obstrucción de los principales componentes del sistema, fallas del compresor y en la eficiencia del sistema.

3.3.11.1 Tubería de aspiración donde el refrigerante circula en forma de gas

$$\dot{V}g = \frac{\dot{m}}{A_g * \rho_g} \quad (19)$$

Dónde:

$\dot{V}g$ = Caudal volumétrico del gas [m/s]

\dot{m} = Flujo másico del refrigerante [Kg/h]

A_g = área de la tubería donde circula el refrigerante como gas [m²]

ρ_g = densidad del refrigerante como gas [kg/m³]

Para el cálculo de la tubería según (COPELAND, 1999) muestra recomendaciones sobre la velocidad como:

- Velocidad mínima horizontal recomendada de refrigerante 700 Ft/min (3,6 m/s)
- Velocidad mínima vertical recomendada de refrigerante 1500 Ft/min (7,6 m/s)
- Velocidad máxima recomendada del refrigerante 3000ft/min (15,2 m/s)

$$\dot{V}g = \frac{\dot{m}}{A_g * \rho_g}$$

$$A_g = \frac{13,4 \frac{Kg}{h}}{7,6 \frac{m}{s} * 15,014 \frac{Kg}{m^3} * 3600s}$$

$$A_g = 3,262 \times 10^{-5} m^2$$

$$D_g = \sqrt{\frac{4 * A_g}{\pi}}$$

$$D_g = 6,44 \times 10^{-3} m = 0,26 \text{ in}$$

La tubería que se selecciona para la succión es la de 3/8 de pulgada, sin embargo se utilizará la tubería de 1/2 pulgada porque la conexión de succión de la unidad condensadora a seleccionar es de 1/2 pulgada; razón por la cual se aumenta de diámetro y su velocidad de circulación del gas disminuye.

3.3.11.2 Tubería de líquido

$$\dot{V}l = \frac{\dot{m}}{Al * \rho l} \quad (20)$$

Dónde:

$\dot{V}l$ = caudal volumétrico del líquido [m/s]

Al = área de la tubería donde circula el refrigerante como líquido [m²]

ρl = densidad del refrigerante como líquido [kg/m³]

Se debe considerar que la velocidad máxima del refrigerante se recomienda de 300 ft/min.

$$\dot{V}l = \frac{\dot{m}}{Al * \rho l}$$

$$Al = \frac{13,14 \frac{Kg}{h}}{1,5 \frac{m}{s} * 977,604 \frac{Kg}{m^3} * 3600s}$$

$$Al = 2,49x10^{-6}m^2$$

$$Dl = \sqrt{\frac{4 * Al}{\pi}}$$

$$Dl = \sqrt{\frac{4 * 2,49x10^{-6}m^2}{\pi}}$$

$$Dl = 1,78x10^{-3}m = 0,071 in$$

El diámetro de tubería de líquido seleccionada es de 1/4 de pulgada para la instalación.

3.3.11.3 Cálculo de golpe de ariete.

El golpe de ariete es uno de los principales problemas en las tuberías de instalaciones frigoríficas el cierre de la válvula solenoide genera un aumento de presión y podría traer cavitación en el sistema. A continuación se indica como calcular el aumento de presión considerando que el tiempo de cierre de la válvula solenoide es de 0,02 s (DANFOSS ENGINEERING TOMORROW, 2017).

$$Pe = \frac{L * \rho l * Vl}{tv} \quad (21)$$

Donde:

Pe= aumento de presión [MPa]

L=longitud de tubería de líquido [m]

ρl = densidad del refrigerante como líquido [kg/m³]

Vl= velocidad del refrigerante [m/s²]

tv= tiempo de cierre de la válvula solenoide [s]

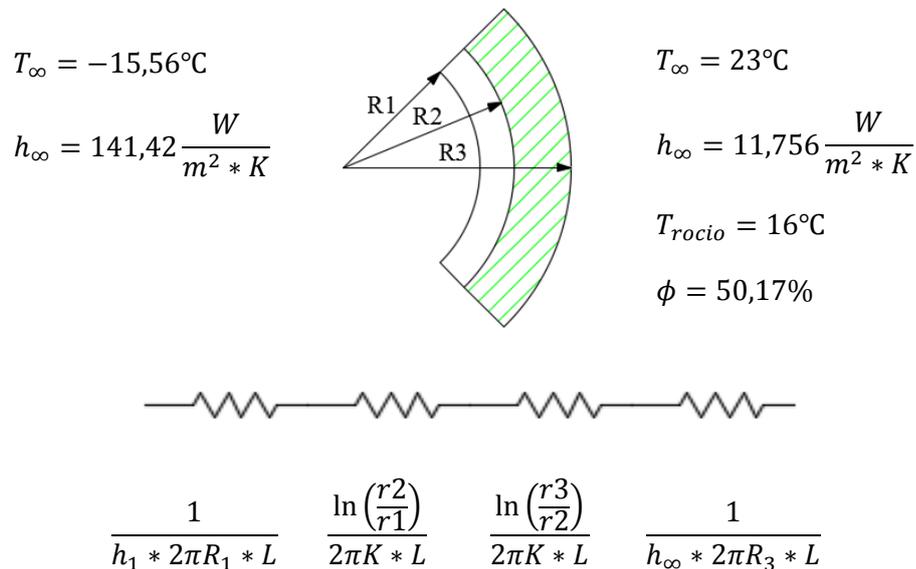
$$P = \frac{3m * 977,604 \frac{kg}{m^3} * 1,5 \frac{m}{s}}{0,02 s}$$

$$P = 0,22 MPa$$

Este incremento de presión no supera a la presión de condensación de 1,729 MPa correspondiente a la tubería de líquido por lo que no se tendrá inconvenientes con el golpe de ariete.

3.3.11.4 Cálculo del aislamiento de la tubería de baja presión

Figura 35-3. Aislante de la tubería de succión



Coefficiente de convección del aire.

Existe transferencia de calor por convección por parte de la tubería al estar en el medio, las propiedades del aire a la temperatura ambiente del medio de 23,01 °C.

Tabla 12-3. Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Propiedad		Valor	Unidad
Densidad	P	1,286	Kg/m ³
Calor específico	Cp	1006	J/Kg*K
Conductividad térmica	K	0,02373	W/m*K
Difusividad térmica	A	1,85E-05	m ² /s ²
Viscosidad dinámica	M	1,83E-05	Kg/m*s
Viscosidad cinemática	V	1,35E-05	m ² /s
Numero de Prandtl	Pr	0,736	Pr

Fuente: (ÇENGEL, y otros, 2012)

Numero de Gr

$$Gr = \frac{d^3 * g * \beta * \Delta t}{\nu^2} \quad (22)$$

$$Gr = 28075,89$$

Numero de Nusselt

$$Nu = 0,525(Gr * Pr)^{\frac{1}{4}} \quad (23)$$

$$Nu = 6,243$$

$$\alpha = \frac{Nu * K}{d} \quad (24)$$

$$\alpha = 9,412 \frac{W}{m^2 * K}$$

Coefficiente de convección entre el refrigerante y la tubería.

Las propiedades del refrigerante a -18,06°C, correspondientes a la temperatura promedio entre la temperatura final y la temperatura de evaporación, las mismas que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 13-3. Propiedades del refrigerante R-404A a temperatura media

Propiedad		Valor	Unidad
Densidad	P	15,091	Kg/m ³
Calor específico	Cp	888,33	J/Kg*K
Conductividad térmica	K	0,0112	W/m*K
Viscosidad dinámica	M	10,059	Kg/m*s
Viscosidad cinemática	V	0,666	m ² /s

Fuente: (ASHRAE, 2006)

Numero de Prandtl

$$Pr = \frac{Cp * \mu}{K} \quad (25)$$

$$Pr = 800317,066$$

Numero de Nusselt

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) * Re * Pr}{1,07 + \left(12,7 * \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} * \left(f^{\frac{2}{3}} - 1\right)\right)} \quad (26)$$

$$Nu = 199,98$$

$$\alpha = \frac{Nu * K}{d} = 141,414 \frac{W}{m^2 * K}$$

Calor transmitido por unidad de longitud de tubería

$$\frac{Q}{L} = \alpha * 2 * \pi * (ta - trocio) \quad (27)$$

$$\frac{Q}{L} = 670,61 \frac{W}{m}$$

El espesor mínimo de aislamiento de tubería es:

$$\frac{Q}{L} = \frac{T_{\text{medio}} - T_{\text{refrigerante}}}{\frac{1}{h_1 * 2\pi R_1 * L} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi K_{cu} * L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi K_{ais} * L} + \frac{1}{h_{\infty} * 2\pi r_3 * L}} \quad (28)$$

$$670,25 = \frac{23,01 - (-15,556)}{\frac{1}{141,414 * 2\pi * 0,007895} + \frac{\ln\left(\frac{0,007935}{0,007895}\right)}{2\pi * 52} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{0,007935}\right)}{2\pi * 0,032} + \frac{1}{9,412 * 2\pi r_3}}$$

$$670,25 = \frac{311,56}{0,1425 + 0,0000155 + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{0,007935}\right)}{0,201} + \frac{1}{59,106 * r_3}}$$

$$670,25 = \frac{311,56}{0,1425 + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{0,007935}\right)}{0,201} + \frac{0,017}{r_3}}$$

$$670,25 = \frac{311,56}{0,1425 + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{0,007935}\right)}{0,201} + \frac{0,017}{r_3}}$$

$$0,1425 + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{0,007935}\right)}{0,201} + \frac{0,017}{r_3} - 0,464 = 0$$

$$\frac{\ln(126,024 * r_3)}{0,201} + \frac{0,017}{r_3} - 0,322 = 0$$

$$r_3 = 0,00799m = 0,315 \text{ in}$$

$$r_3 = 0,315 \text{ in}$$

Se selecciona un aislante de 3/8 de pulgadas, pero debido a la ausencia de este espesor en el mercado se optó por seleccionar un recubrimiento aislante de 1/2 de pulgada.

3.4 Rediseño del sistema de control y potencia

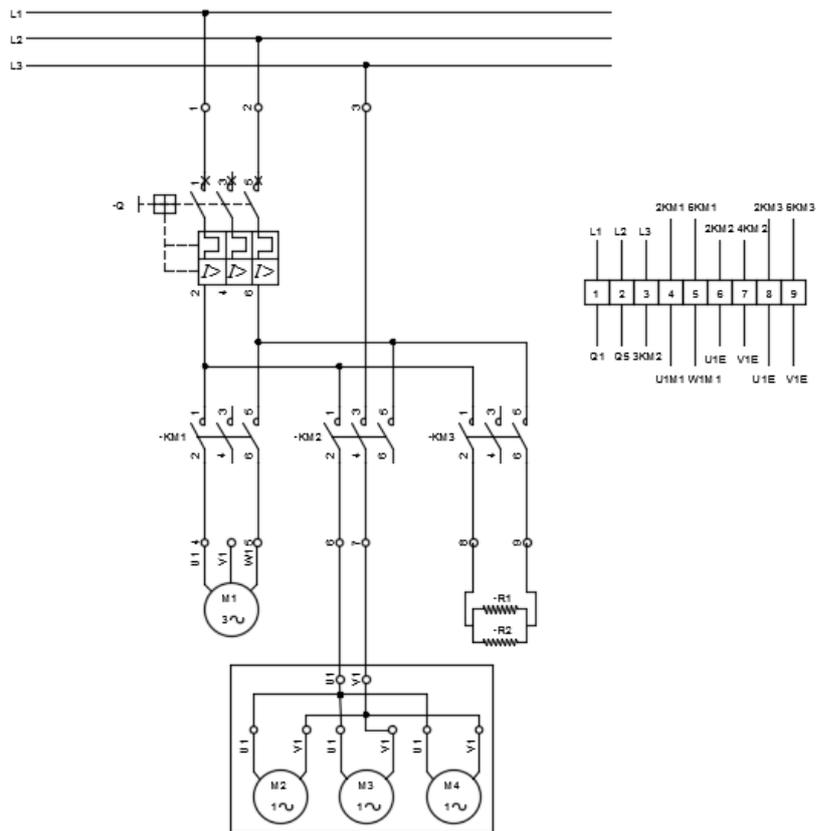
Los tableros de control son gabinetes metálicos en forma rectangular en cuyo interior se instalan los diferentes equipos necesarios para la protección, maniobra, control, medición, comunicación, conexión y señalización que faciliten el correcto funcionamiento de los equipos de un proceso industrial automatizado.

El tablero utilizado en este caso tiene las siguientes dimensiones: 400x300x200mm, en su interior alberga los diferentes dispositivos encargados del control de todo el sistema de refrigeración para congelación y conservación, el espacio interior del tablero ha sido diseñado estratégicamente aprovechando toda su capacidad para que pueda alojar los dispositivos de potencia y control. El tablero de control se ubica sobre la plancha lateral triplex, a una altura apropiada que facilite las maniobras que debe realizar el estudiante de forma ergonómica.

3.4.1 Diagrama de circuito de potencia.

El diagrama de potencia del gabinete realizado para el funcionamiento del sistema se muestra a continuación, donde controla la conexión del motor del compresor, los motores de los ventiladores del evaporador y la resistencia para el deshielo en los tiempos de parada del compresor.

Figura 36-3. Diagrama de potencia del gabinete metálico

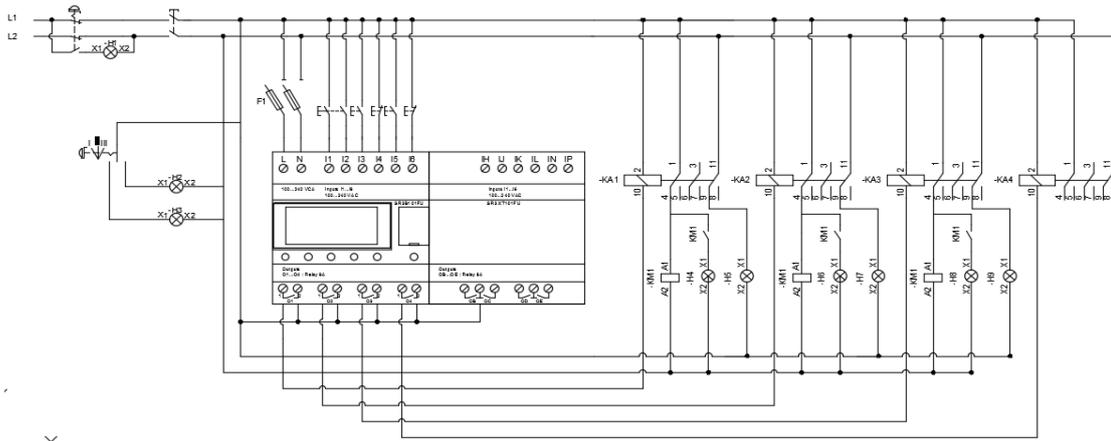


Fuente: Autores

3.4.2 Diagrama del circuito de mando.

En la figura 37 se muestra el diagrama de conexión del relé programable, conjuntamente con las botoneras y luces piloto.

Figura 37-3. Diagrama de potencia del gabinete metálico

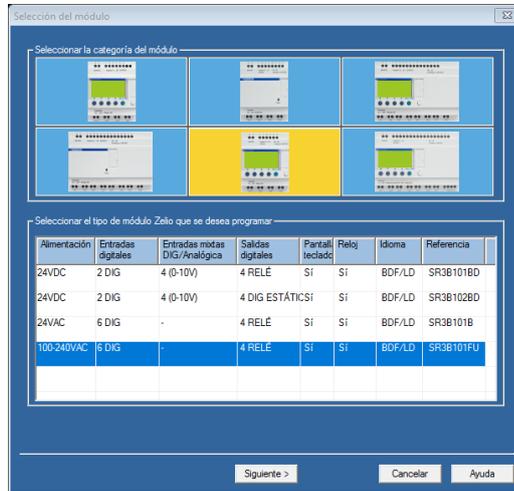


Fuente: Autores

3.4.3 Programación del relé programable Telemecanique.

Para la programación del relé se utiliza el programa ZelioSoft 2 en su versión 4.6, se seleccionan el módulo Telemecanique SR3b101FU y la ampliación SR3XT101FU, el lenguaje Ladder que se utiliza para la programación del módulo.

Figura 38-3. Selección de módulos del fabricante en ZelioSoft 2



Fuente: Software ZelioSoft 2 v4.6

En la tabla 14 se muestra la asignación de variables de entrada y salida.

Tabla 14-3. Variables de entradas y salidas del relé programable

Entrada/salida	Denominación
I1	Selector proceso 1
I2	Selector proceso 2

Fuente: Autores

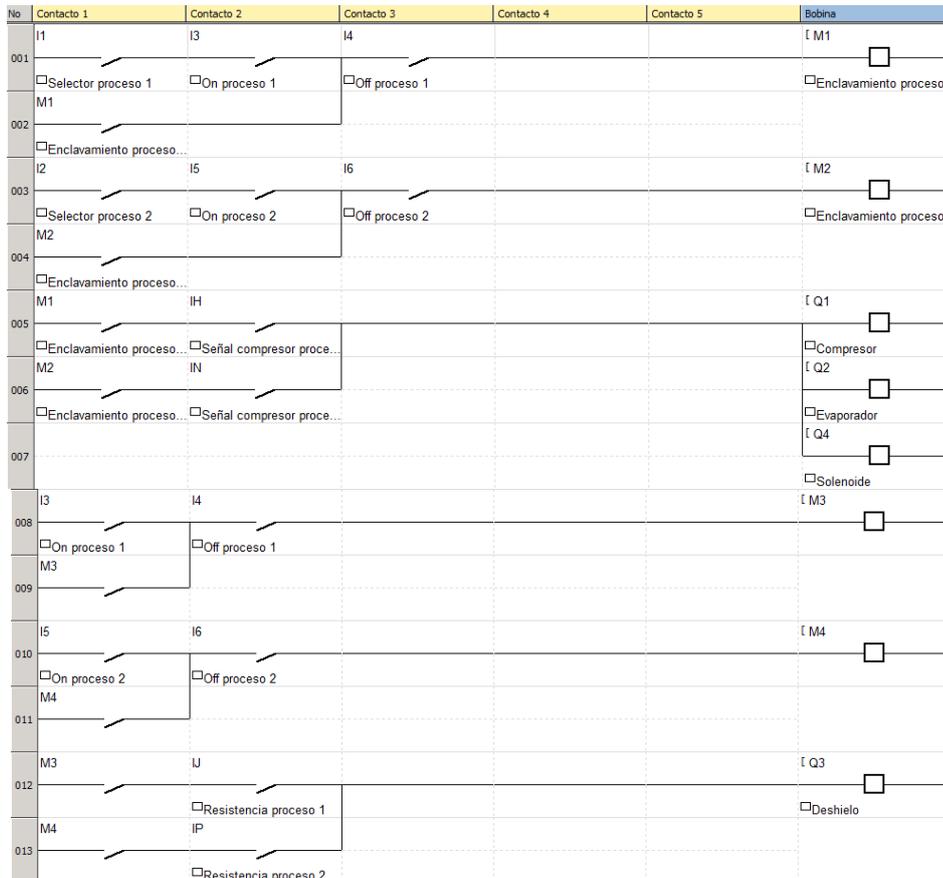
Tabla 14-3 (Continuación) Variables de entradas y salidas del relé programable

Entrada/salida	Denominación
I3	Botonera On proceso 1
I4	Botonera Off proceso 1
I5	Botonera On proceso 2
I6	Botonera Off proceso 2
IH	Compresor procesos 1
IJ	Resistencia proceso 1
IK	Señal del presostato de alta
IL	Señal del presostato de baja
IN	Compresor proceso 2
IP	Resistencia procesos 2
Q1	Compresor
Q2	Evaporador
Q3	Deshielo
Q4	Válvula solenoide

Fuente: Autores

Esquema de programación se indica en la siguiente figura; para transferirlo a su módulo se tendrá que instalar el cable SR2USB01 al pc y reconocer el puerto en el programa.

Figura 39-3. Esquema de programación del relé programable



Fuente: Autores

3.5 Diseño del sistema de adquisición de datos de temperatura

Posterior al rediseño frigorífico y eléctrico se procede a la realización del diseño del sistema de adquisición de datos de temperatura

3.5.1 Sensor de temperatura DS18B20.

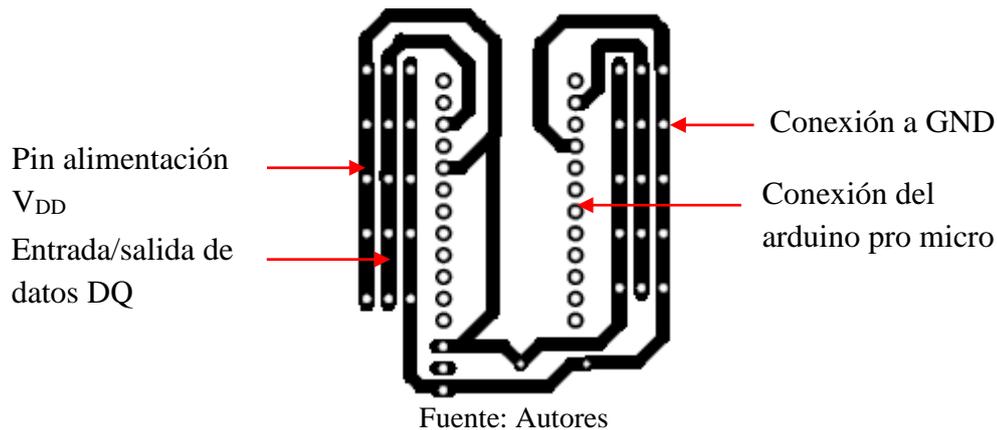
Para adquirir datos de temperatura se utiliza el sensor DS18B20 que es un sensor de temperatura digital que utiliza protocolo de comunicación one-wire, este protocolo es un bus que permite la comunicación serial entre un maestro y varios esclavos, el sensor necesita un pin para el envío de datos. Cada sensor DS18B20 tiene una dirección única de 64 bits dada por el fabricante lo que hace que varios sensores puedan conectarse en el mismo bus one-wire.

El sensor consta de tres pines que son: alimentación (V_{DD}), entrada y salida de datos (DQ), tierra (GND) y son de color rojo, amarillo y negro respectivamente. Para alimentar el pin de datos del sensor se lo hace en “modo paracito” donde el pin de alimentación debe estar conectado a GND

3.5.2 Diseño de placa de circuito para conexión de sensores.

El diseño de la placa se realizó con la finalidad de conectar el arduino pro micro y los 10 sensores de temperatura DS18B20 requeridos para el registro de datos.

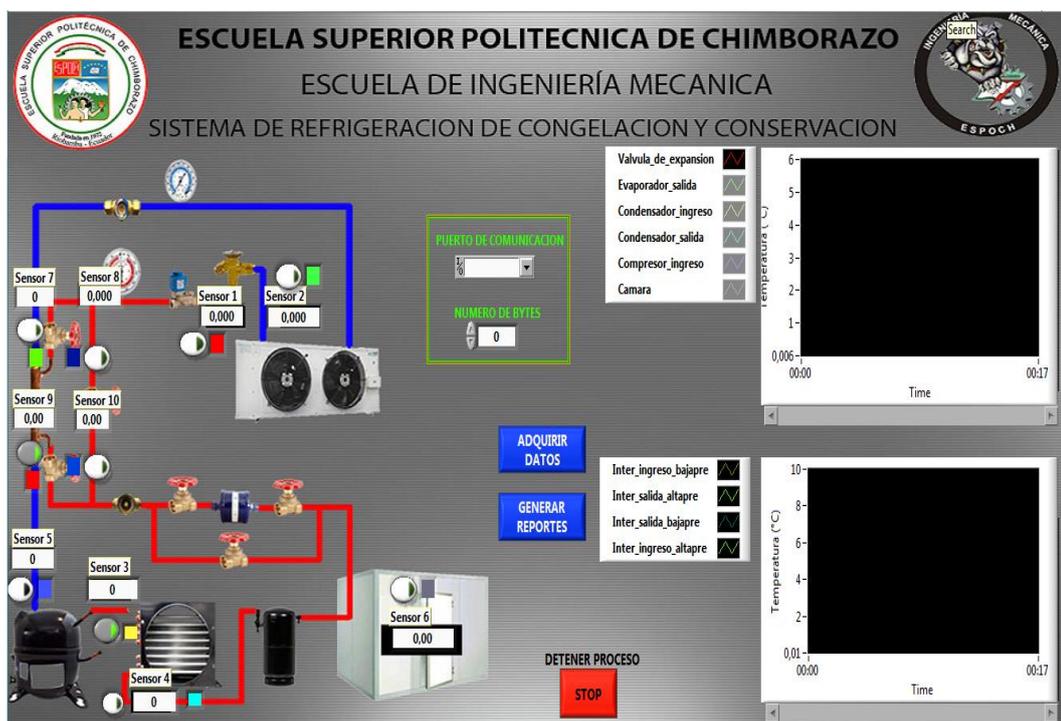
Figura 40-3. Circuito de conexión de los sensores DS18B20



3.5.3 Diseño del programa en Labview.

A través del software Labview se consigue un monitoreo constante de las temperaturas en ciertos puntos antes y después de cada equipo principal del sistema, donde los sensores de temperatura envían los datos a través de arduino pro micro y el software los interpreta.

Figura 41-3. Panel frontal del programa en Labview

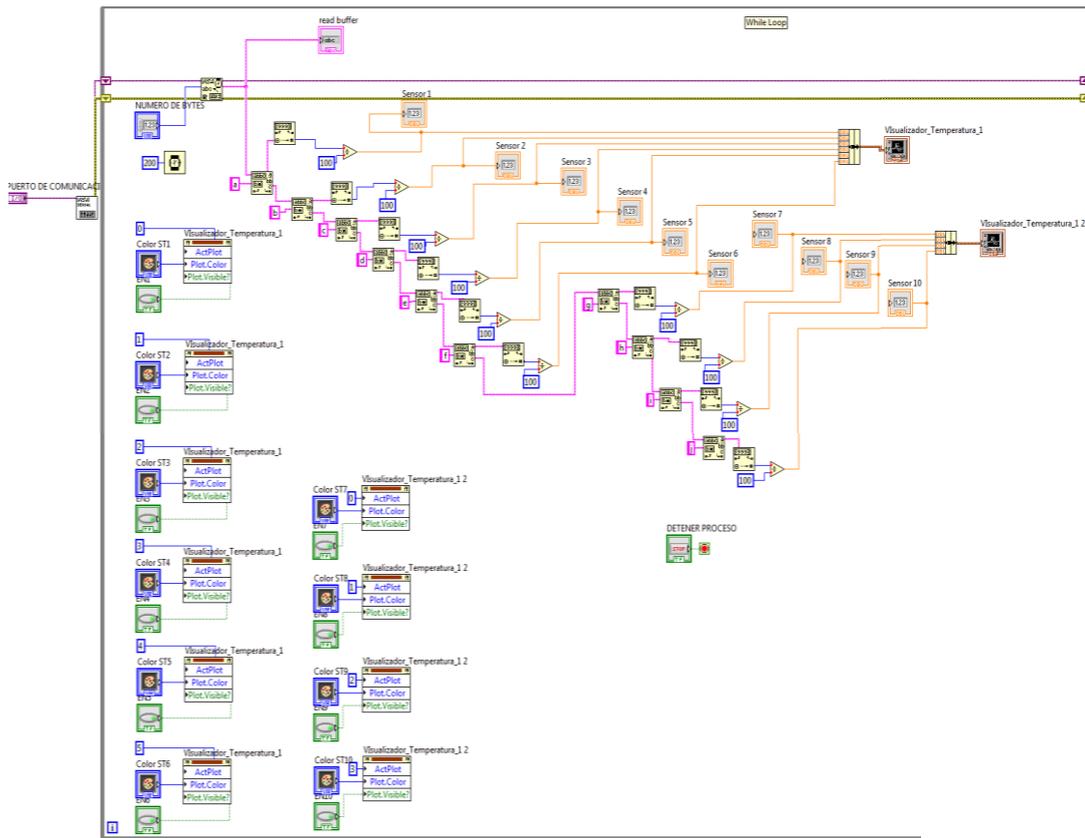


Fuente: Autores

- Selección del puerto de comunicación
- Ingreso de numero de bytes
- Botón para generar datos a Excel
- Botón para adquirir datos
- Botón para detener proceso de adquisición
- Sistema de refrigeración
- Intercambiador de calor
- Cámara de refrigeración
- Indicador del sensor de temperatura en el punto
- Botón para activar visibilidad del sensor en gráfica
- Botón para cambiar el color del sensor en gráfica
- Gráfica para temperatura vs tiempo del sistema de refrigeración
- Gráfica para temperatura vs tiempo en el intercambiador de calor

A través del programa Arduino se reconoce las direcciones de cada sensor instalado en el sistema para posteriormente indicarlos en el programa, y se verifica la adecuada conexión de placa y sensores, si detecta un valor fuera del rango es decir de -127°C quiere decir que alguna conexión está mal soldada o no está bien conectada. El diagrama de bloques para la adquisición de datos de temperatura es el siguiente.

Figura 42-3. Diagrama de bloques para la adquisición de temperatura



Fuente: Autores

3.6 Selección de equipos y accesorios para la instalación frigorífica

3.6.1 Selección de la unidad condensadora.

Para poner en funcionamiento el sistema de refrigeración se requiere una unidad condensadora de 1 Hp de potencia para refrigerante R-404A. Recordemos que la potencia del motor está directamente relación con la carga térmica a enfriar, las características se muestran a continuación: (Anexo I)

Tabla 15-3. Unidad condensadora Tecumseh

Características o Componentes	Equipo
Marca: TECUMSEH Modelo: UTY2446ZEST Diámetro del conducto de aspiración: 3/8 in Diámetro de conducto de salida de líquido: 1/2 in Refrigerante: R-404 A Locked rotor amps (LRA): 42 Rated load amps (RLA 60 Hz): 6,07	

Fuente: (TECUMSEH, 2017)

3.6.2 Selección del filtro secador.

El filtro secador protegerá el sistema y se encuentra instalado en la tubería de líquido. Las características del filtro secador se muestran a continuación y para su ficha técnica ver Anexo J.

Tabla 16-3. Filtro secador Danfoss

Características o Componentes	Equipo
Marca: DANFOSS Modelo: DML 032 Número: 023Z5035 Conexión: ¼ in Rango de Temperatura: 24 a 52 °C	

Fuente: (DANFOSS, 2017)

3.6.3 Selección de manómetros de carga.

Para recargar de refrigerante el sistema se seleccionó el manómetro de carga con las siguientes características:

Tabla 17-3. Puente de manómetros de carga

Características o Componentes	Equipo
Marca: QE QUALITY Modelo: QH4-36RBY Conexión: ¼ in Manómetro de alta y baja presión	

Fuente: (QE QUALITY, 2017)

3.6.4 Selección de cañería de cobre.

Para seleccionar la tubería de cobre previamente se determinó el diámetro para las líneas de succión y de líquido.

Tabla 18-3. Tubería flexible de cobre tipo L

Características o Componentes	Equipo
Material: cobre Tipo: L Diámetro de la tubería: 1/4 in para la línea de líquido Diámetro de la tubería: 1/2 in para la línea de succión	

Fuente: (ACEROS INDUSTRIALES, 2016)

3.6.5 Selección del aislante flexible.

Para seleccionar el aislante flexible se determinó previamente el espesor necesario. Las características del caño flexible son:

Tabla 19-3. Caño de aislante flexible

Características o Componentes	Equipo
Conductividad térmica :0,33W/mK Rango de temperatura: -50 a 110 °C Tamaño: 2x0,013mm	

Fuente: (ISOVER)

3.6.6 Selección de elementos y componentes eléctricos.

Para el funcionamiento del panel de control se seleccionó el relé programable Telemecanique y su módulo de expansión todas las especificaciones de estos se muestran en el anexo k para satisfacer las necesidades en conexión de entradas, las principales características se indican en la siguiente tabla.

Tabla 20-3. Relé programable y módulo de expansión Telemecanique

Nombre	Características o Componentes	Equipo
PLC o relé programable	Marca: TELEMECANIQUE Modelo: SR3B101FU Voltaje: 100 – 240 V Número de Entradas: 6 Número de Salidas: 4 Líneas de programación: 120 ladder	
Extensión	Marca: TELEMECANIQUE Modelo: SR3XT101FU Voltaje: 100 – 240 V Número de entradas: 6 Número de salidas: 4 Líneas de programación: 120 ladder	

Fuente: (SCHNEIDER ELECTRIC, 2017)

Para proteger el relé programable se utilizó un portafusible y fusibles que se muestran a continuación el cual se encuentra instalado al ingreso del PLC

Tabla 21-3. Portafusible y fusibles Camsco

Características o Componentes	Equipo
Marca: CAMSCO Modelo: RT14-32A Intensidad: 32 A Frecuencia: 60 Hz Voltaje: 500V Frecuencia: 60 Hz	

Fuente: (CAMSCO)

Se utilizan indicadores luminosos, la luz verde indica que la unidad condensadora se encuentra en funcionamiento, la luz roja indica que los ventiladores del evaporador están operando, y la luz de color amarillo indica que el sistema se encuentra en proceso de deshielo.

A continuación, se detalla las características de estas luces piloto

Tabla 22-3. Luces piloto

Nombre	Características o Componentes	Equipo
Luz piloto	Luz piloto verde y azul Marca: Camsco Tipo: AD 16 22D/S Voltaje: 120 – 240 V AC Luz piloto amarilla y roja Marca: SASSINS Tipo: AD 22-22DS Voltaje: 120 – 240 V AC Frecuencia: 60 Hz Marca: SASSINS Tipo: AD 16 22D/S	

Fuente: (CAMSCOINTERNACIONAL)

Se seleccionaron además ciertos elementos que no se detallan como pulsadores, pulsadores giratorios, pines de conexión, botón de paro de emergencia, contactos normalmente abiertos y cerrados, cable flexible No 14 y No 16 entre otros para las conexiones.

3.6.7 Selección del sensor de temperatura.

Para adquirir los datos de temperatura se selecciona el sensor del tipo termómetro digital DS18B20 para su comunicación con placa arduino y conectado a través de una placa, las especificaciones técnicas de este sensor se las encuentra en el anexo L y las principales características se muestran a continuación.

Tabla 23-3. Sensor de temperatura DS18B20

Características o Componentes	Equipo
Rango de temperatura: -55 °C a 125°C Resolución: 9 a 12 bits Exactitud: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ entre -10 °C a 85 °C Voltaje de pines a tierra: -0,5V a 6V Voltaje de alimentación: min 3 max 5,5 V	

Fuente: (PATAGONIATEC)

3.6.8 Selección del Arduino.

Para poder comunicar los sensores de temperatura con el software Labview se selecciona la placa arduino cuyas características más importantes se muestran a continuación.

Tabla 24-3. Arduino pro micro

Características o Componentes	Equipo
12 Pines digitales I/O Tensión de entrada 5-12V ATmega 32U4 funcionando a 5V/16MHz Conector micro-USB para la programación 12 salidas/entradas digitales de las cuales 5 pueden ser PWM. Dimensiones: 3.31cm X 1.78 c	

Fuente: (PATAGONIATEC)

CAPÍTULO IV

4. RECONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

En el presente capítulo se muestra la reconstrucción del sistema de refrigeración, la parte eléctrica y los elementos para adquirir los datos, estas actividades se realizan una vez que se ha rediseñado el sistema y se ha seleccionado los elementos para el adecuado funcionamiento.

En primera instancia se observa el proceso de desmontaje de los elementos dispuestos sobre la plancha lateral, para la reconstrucción del nuevo sistema se muestra el proceso para la instalación de equipos y accesorios que forman el sistema, el montaje del gabinete metálico y los elementos para la adquisición de datos. Se indica la puesta en marcha del equipo desde la recarga de refrigerante hasta la calibración de sus dispositivos.

4.1 Simbología ASME para procesos.

Para las actividades de procesos se utiliza la norma ASME para las actividades de reconstrucción, cuya simbología se muestra a continuación:

Tabla 25-4. Simbología ASME para procesos

Símbolo	Significado
	Origen
	Operación
	Inspección
	Transporte
	Demora
	Almacenamiento
	Almacenamiento temporal
	Decisión
	Líneas de flujo
	Operación y origen
	Actividades combinadas:

Fuente: (ASME)

4.2 Actividades previas a la fase de reconstrucción.

Se indica el desmontaje de las líneas de alta, baja presión con todos sus componentes, el presostato y la unidad condensadora, las actividades se muestran a continuación.

4.2.1 *Desmontaje de los accesorios que componen las líneas de alta y baja presión.*

Figura 43-3. Componentes instalados en el sistema de refrigeración



Fuente: Autores

Procedimiento:

- Cortar la tubería en la unión de las cámaras de congelación y conservación.
- Inspeccionar y remover los nombres de los componentes dispuestos sobre la plancha lateral removiéndolos sus tornillos.
- Remover el aislante de espuma flexible de la tubería de baja presión.
- Inspeccionar si los accesorios instalados en la tubería de baja presión tienen residuos de aislante flexible.
- Remover el vidrio y el diagrama de presión-entalpía del refrigerante R-404A.
- Almacenar temporalmente los nombres de los componentes, vidrios, diagrama presión-entalpía.

Indicador:

Equipos y herramientas utilizadas: cortador de tubo de cobre, destornillador, estilete

Figura 44-4. Desmontaje de unidad condensadora y presostato



Fuente: Autores

Procedimiento:

- Remover la conexión de la tuerca reforzada con el mango de unión de rosca, en la línea de líquido.
- Cortar la tubería de cobre en el ingreso al compresor.
- Remover los pernos de sujeción de la base de la cámara y desmontar la unidad condensadora.
- Inspeccionar los agujeros de fijación de la unidad condensadora a la cámara.
- Remover las conexiones del presostato; la tuerca reforzada al ingreso del compresor, desmontar la unidad condensadora y el presostato.
- Inspeccionar el roscado de las tuercas reforzadas y remover los residuos de sellador y de teflón.
- Almacenar temporalmente las tuercas reforzadas y los pernos de sujeción.

Indicador:

Equipos y herramientas utilizadas: juego de llaves, llave inglesa, cortador de tubo de cobre, destornillador.

Figura 45-4. Desmontaje de válvulas solenoide y de manómetro de alta presión



Fuente: Autores

Procedimiento:

- Remover los tornillos de la base de la válvula solenoide dispuesto sobre la pared lateral.
- Remover la válvula solenoide y el manómetro de alta presión.
- Inspeccionar las uniones de rosca y eliminar cualquier residuo de sellador y teflón.
- Inspeccionar el funcionamiento de la válvula solenoide.
- Almacenar temporalmente tornillos, tuercas reforzadas, la válvula solenoide y manómetro de alta presión.

Indicador:

Equipos y herramientas utilizadas: juego de llaves, llave inglesa, cortador de tubo de cobre, destornillador.

Figura 46-4. Desmontaje del bypass del filtro secador y visor líquido humedad



Fuente: Autores

Procedimiento:

- Aflojar la conexión de rosca de las válvulas y cortar secciones de la tubería.
- Remover el filtro secador, el visor de líquido/humedad, válvulas de cierre.
- Inspeccionar el roscado y las tuercas reforzadas para eliminar algún residuo de sellador y de teflón.
- Almacenar temporalmente válvulas y el visor indicador.

Indicador:

Equipos y herramientas utilizadas: juego de llaves, llave inglesa, cortador de tubo de cobre, destornillador.

Figura 47-4. Desmontaje del bypass del intercambiador de calor



Fuente: Autores

Procedimiento:

- Remover los tornillos de la base de las válvulas de la plancha lateral.
- Aflojar la conexión de las válvulas en el intercambiador de calor y el bypass de la tubería de líquido.
- Remover e inspeccionar el intercambiador de calor y las válvulas de conexión.
- Inspeccionar el roscado de las tuercas reforzadas y eliminar residuos donde pueden encontrarse sellador y teflón.



Almacenar temporalmente las tuercas reforzadas, las válvulas de cierre y el intercambiador de calor.

Indicador:

Equipos y herramientas utilizadas: juego de llaves, llave inglesa, cortador de tubo de cobre, destornillador.

Figura 48-4. Desmontaje del manómetro y el visor de humedad



Fuente: Autores

Procedimiento:



Aflojar la conexión de rosca de la salida de la cámara.



Cortar la tubería, separar el manómetro y visor de humedad de la tubería de baja presión.



Inspeccionar el roscado de la salida de la cámara y eliminar cualquier residuo de sellador y teflón.



Almacenar temporalmente la tuerca reforzada, visor de humedad y manómetro de baja presión

Indicador:

Equipos y herramientas utilizadas: juego de llaves, llave inglesa, cortador de tubo de cobre.

Figura 49-4. Desmontaje del acumulador de succión



Fuente: Autores

Procedimiento:

- Remover los tornillos de la base del acumulador de succión y la válvula manual que se encuentra sobre la pared lateral.
- Remover el acumulador de succión, la válvula manual y la tuerca reforzada.
- ▽ Almacenar temporalmente el acumulador de succión, válvula manual.

Indicador:

Equipos y herramientas utilizadas: juego de llaves y cortador de tubo de cobre.

4.2.2 *Elaboración de planos.*

Posterior a la realización del rediseño y el desmontaje de los elementos del sistema se realizan los planos donde se detalla su nueva configuración de acuerdo a los nuevos criterios para una adecuada ergonomía y operación, los planos se adjuntan en los anexos.

4.2.3 *Requerimiento de material.*

Luego de haber realizado un diagnóstico inicial y determinar los elementos del sistema inservibles, se cotizan los equipos o componentes a adquirir para su recambio, a través de los planos se determinan la cantidad de material o equipos para la nueva configuración de las líneas

de alta y baja presión. Se verifica el material eléctrico, de refrigeración y de adquisición de datos para evitar cualquier error en la adquisición del material.

4.3 Diagrama de proceso general para la reconstrucción.

Se muestra la secuencia para la reconstrucción del sistema de refrigeración como se puede ver a continuación:

- Desmontaje de los accesorios del sistema de refrigeración dispuestos sobre la plancha lateral.
- Determinación del estado de los componentes del sistema para identificar su funcionalidad.
- Elaboración de los planos del nuevo sistema para la reconstrucción
- Adquisición e inspección de nuevos elementos de refrigeración para la reconstrucción del sistema.
- Desmontaje del sistema eléctrico dispuesto sobre el gabinete metálico e inspección de contactores y relés comprobando continuidad y voltaje.
- Elaboración e inspección del nuevo sistema de potencia y control.
- Inspección y adecuación de la cámara de refrigeración.
- Adecuación de la plancha lateral donde se dispondrá la tubería y accesorios.
- Reconstrucción de las líneas y fijación de la tubería sobre la plancha lateral con todas las válvulas, manómetros de alta y baja presión, filtro, visores etc.
- Inspección de fugas en las líneas del sistema de refrigeración.
- Ejecución del proceso de vacío del sistema para la nueva recarga
- Recarga del refrigerante y calibración de los equipos para su funcionamiento óptimo.
- Conexión eléctrica de los equipos al nuevo gabinete metálico y comprobación de su correcto funcionamiento.

- Inspección y verificación del funcionamiento de todos los elementos del sistema de refrigeración.
- Instalación de los sensores en la cámara, tuberías de entrada y salida en los principales componentes de la instalación.
- Verificación del correcto funcionamiento de los sensores conjuntamente con el arduino y el software Labview.
- Señalización de seguridad de la cámara de refrigeración y de su sistema

4.4 Descripción de procesos y métodos para la reconstrucción de los elementos del sistema de refrigeración.

4.4.1 Cámara de refrigeración.

La cámara de refrigeración se encuentra construida con planchas de acero galvanizado y poliuretano expandido como aislante; con el paso del tiempo la cámara se ha visto deteriorada en su pintura y su base debe adecuarse para la instalación del nuevo sistema.

Figura 50-4. Reconstrucción de la cámara de refrigeración



Fuente: Autores

Procedimiento:

- Inspección del estado de la cámara de refrigeración y su base metálica.

- Adecuar y fijar la base donde se apoyará la unidad condensadora con soldadura de arco eléctrico.
- Inspeccionar las soldaduras y cualquier imperfección que pueda existir.
- Recubrir con masilla plástica las imperfecciones de la superficie de la cámara.
- Eliminar con lijas los excesos de masilla que puedan existir sobre su superficie.
- Recubrir la superficie con pintura e inspeccionar el acabado superficial de la cámara y su base metálica.

Indicadores:

- Equipos y herramientas utilizadas: flexómetro, lápiz, soldadora de arco eléctrico, amoladora, taladro
- Material utilizado: 2 electrodos E - 6011
- Consumos adicionales: disco de corte, lijas No. 180, 220, 400 y 800, broca 3/8'' para acero.

4.4.2 Reconstrucción de las líneas sistema de refrigeración.

Figura 51-4. Plancha lateral del sistema



Fuente: Autores

Procedimiento:

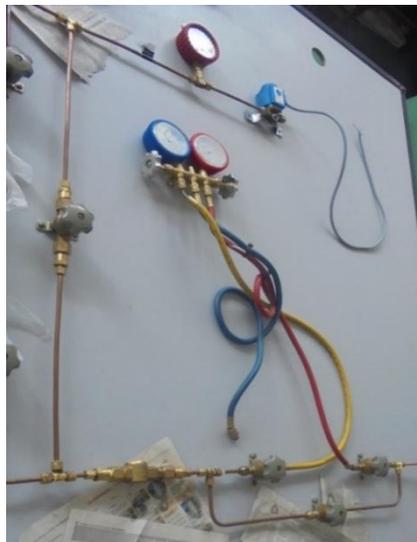
- Recortar según las medidas requeridas la plancha triplex.
- Recubrir la superficie de la plancha con una capa de pintura color gris.

- Inspeccionar el acabado superficial del recubrimiento de pintura.
- Perforar con una broca de copa los sitios donde se conectan las líneas de alta y baja presión con las conexiones de la cámara.
- Cortar el ángulo de acero en “L” y soldar sus esquinas para adecuar el contorno de la plancha.
- Almacenar temporalmente la plancha triplex.
- Transportar al lugar donde se encuentra la cámara.

Indicadores:

- Equipos y herramientas utilizadas: flexómetro, lápiz, soldadora de arco eléctrico, amoladora, taladro, compresor y pistola para pintar
- Material utilizado: plancha de madera triplex, ángulo de acero, pintura, electrodo E 6011.
- Consumos adicionales: disco de corte, lijas No. 400 y 800, broca 3/8” para acero.

Figura 52-4. Ensamble de la línea de alta presión



Fuente: Autores

Procedimiento:

- Desenrollar y cortar la tubería de cobre flexible de 1/4 in según las medidas establecidas para la tubería de líquido.

- Doblar las secciones de tubería en un ángulo de 90 grados para las secciones.
- Limpiar las rebabas del corte con el escariador y realizar el abocardado.
- Para las válvulas de cierre, colocar teflón y sellador sobre las rocas y con las llaves dar el apriete adecuado, para instalar el visor líquido-humedad colocar y apretar los acoples de reducción, de la misma forma para instalar la válvula de cierre de 1/8 in.
- Para colocar las Te se coloca los anillos de 1/4 in sobre los extremos de la tubería, para que con el apriete se realice el sello, así unir las distintas secciones de tubería en el lado de alta presión; de la misma manera se acopla la válvula solenoide y manómetro de alta presión.
- Perforar agujeros de 1/8 in, fijar e inspeccionar la línea con sus componentes con pernos sobre las válvulas de cierre a la tabla triplex.
- Realizar perforaciones en la plancha lateral para que se puedan acoplar las líneas a la cámara, a través de la tuerca reforzada.

Indicadores:

- Equipos y herramientas utilizadas: flexómetro, lápiz, cortadora de cobre, dobladora, abocardador, taladro, juego de llaves, destornillador plano.
- Material utilizado: tubería de cobre flexible de 1/4.
- Consumos adicionales: teflón, sellador permatex, broca de 1/8 in para madera.

Figura 53-4. Ensamble de la línea de baja presión



Fuente: Autores

Procedimiento:

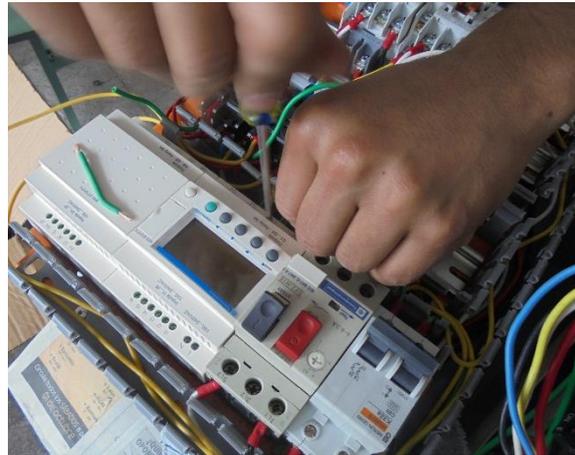
- Desenrollar y cortar la tubería de cobre flexible de 1/2 in y cortar de las medidas establecidas en los planos.
- Doblar las secciones de tubería necesaria para formar el sifón correspondiente a la tubería de baja presión.
- Para instalar el intercambiador de calor, limpiar las rebabas del corte con el escariador y realizar el abocardado en los extremos de la tubería de 1/2 in, unir al acople de rosca para fijar con la línea de alta y baja presión.
- Colocar teflón sobre las roscas de un neplo de unión de cobre de 1/2 x1/2 in para unir el intercambiador de calor con la sección de tubería de baja presión que contiene al sifón y el acumulador de succión.
- Para instalar el manómetro de baja presión, soldar una te al tramo de la tubería, colocar teflón y sellador para instalar el manómetro.
- Para instalar el visor de humedad a través del acople respectivo, colocar el manómetro en la tubería de baja presión, colocar teflón y sellador permatex para ajustar a la sección del manómetro y del sifón.
- Para instalar el acumulador de succión ubicado en la parte inferior de la plancha triplex, soldar codos de 90 grados a secciones de tubería que va hacia el compresor y la que viene del intercambiador de calor.
- Fijar la línea de baja presión con sus componentes con pernos sobre las válvulas de cierre a la tabla triplex.
- Colocar aislante de 1/2x1/2 in para recubrir la tubería de baja presión, seccionándolo en la parte del intercambiador de calor
- Unir la línea de baja presión al compresor, realizando el apriete necesario de la tuerca reforzada.

Indicadores:

- Equipos y herramientas utilizadas: flexómetro, lápiz, cortadora de cobre, dobladora, abocardador, taladro, juego de llaves, llave inglesa, destornilladores, antorcha para soldador.
- Material utilizado: tubería de cobre flexible de 1/2 in, aislante 1/2x1/2 in, tanque de gas butano.
- Consumos adicionales: teflón, sellador permatax, broca de 1/8in para madera.

4.4.3 *Instalación del sistema de potencia y control.*

Figura 54-4. Instalación de los elementos del tablero de control.



Fuente: Autores

- Inspeccionar el funcionamiento de los termostatos digitales
- Perforar la parte frontal del tablero de control con el sacabocado y asegurar las luces piloto, selector giratorio, botoneras y los termostatos digitales.
- Asegurar las canaletas y el rioldin al gabinete metálico donde se colocan los elementos de potencia y control.
- Conectar los elementos del panel con del cable flexible 16 AWG de acuerdo al diagrama de potencia y control
- Comprobar con el multímetro las conexiones de todos los elementos dispuestos en el gabinete.

- Conectar la unidad condensadora, válvula solenoide, los ventiladores del evaporador al gabinete metálico.
- Señalizar con nombres la parte frontal del tablero de control.

Indicadores:

- Equipos y herramientas utilizadas: flexómetro, sacabocados, remachadora, destornilladores, multímetro, remachadora de electricista, estilete.
- Material utilizado: cable flexible, terminales U y punteras, canaleta ranurada, prensa estopa
- Consumos adicionales: remaches, cinchos de plástico, cinta adhesiva

4.4.4 *Instalación del sistema para adquisición de datos.*

Figura 55-4. Instalación de los sensores DS18B20 en el sistema



Fuente: Autores

Procedimiento:

- Colocar el sensor en el punto donde se desea obtener la temperatura de medida y asegurarlos con cinchos plásticos.
- Cubrir con aislante los sensores para que estos no detecten los valores de temperatura ambiente.
- Colocar borneras en los pines de alimentación, salida y GND del sensor y cubrirlos con silicona para evitar que se desprenda la unión.

- Colocar la placa de baquelita sobre la plancha triplex y conectar los sensores.

Indicadores:

- Equipos y herramientas utilizadas: pistola de silicona, caudín de lápiz, estilete
- Material utilizado: estaño, baquelita, borneras, pasta de soldar y cable.
- Consumos adicionales: cinchos de plástico y silicona.

4.5 Ensamble del sistema de refrigeración.

4.5.1 *Ensamble de la unidad condensadora.*

La unidad condensadora se monta sobre la estructura con pernos M10x60. Para conectar la tubería de succión y descarga se fija a través de las tuercas reforzadas a las válvulas rotolock de la unidad condensadora en el ingreso al compresor y salida del recipiente de líquido. Para mitigar la vibración producida por la unidad condensadora se procedió a colocar empaques entre la unidad y la estructura metálica de la cámara.

Figura 56-4. Ensamble de la unidad condensadora.



Fuente: Autores

4.5.2 *Ensamblaje de las líneas de alta y baja presión a la cámara.*

Se une las líneas de alta y baja presión a través de acoples y tuercas reforzadas a la salida del evaporador, y a la entrada de la válvula de expansión, se utiliza soldadura de plata para unir la tubería de baja presión con la tubería de succión que ingresa al compresor.

Figura 57-4. Ensamble de las líneas de alta y baja presión a la cámara

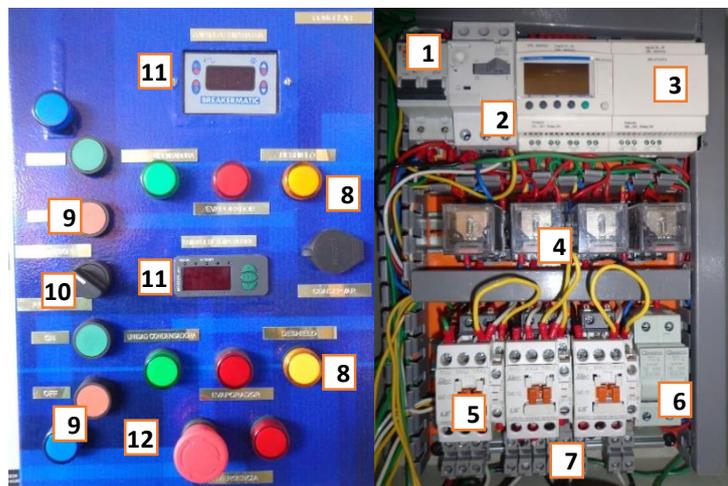


Fuente: Autores

4.5.3 Ensamblaje del tablero de control.

Para facilitar la comprensión de todo el tablero de control, se identifica en la figura 58 los elementos que se encuentran instalados en el interior del gabinete metálico y sobre el panel frontal del mismo y en la tabla 26 se enlista dichos elementos, panel se divide en dos partes la del proceso de conservación y la de congelación.

Figura 58-4. Elementos internos y externos del gabinete de control



Fuente: Autores

Tabla 26-4. Listado de elementos de elementos internos y externos del gabinete metálico

No.	Componente
1	Disyuntor o breaker
2	Guardamotor
3	Relé programable Zelio

Fuente: Autores

Tabla 26-4 (continuacion) Listado de elementos de elementos internos y externos del gabinete metálico

No.	Componente
4	Relé y base
5	Contactador
6	Portafusible, fusibles
7	Borneras
8	Luces piloto
9	Pulsadores on, off
10	Selector o pulsador giratorio
11	Controlador de temperatura programable
12	Pulsador de emergencia.

Fuente: Autores

4.5.3.1 Elementos de potencia.

Los elementos de potencia son dispositivos mecánicos o electromecánicos encargados del control de los equipos que consumen una cantidad elevada de corriente, estos no tienen contacto directo con los usuarios que opera la máquina, son de vital importancia para un correcto funcionamiento del equipo.

Tabla 27-4. Elementos de potencia instalados

Disyuntor automático (Breaker)	Es un accesorio que interrumpe el circuito eléctrico cuando la intensidad de corriente que circula es muy elevada	
Fusibles	Dispositivo que tiene un filamento especial con la finalidad de que se funda cuando la intensidad de corriente que circula a través es elevada. Se encuentra protegiendo al relé programable	
Contactador	Dispositivo electromecánico que interrumpe o establece el paso de corriente hacia el receptor de la instalación en el circuito de potencia tan pronto como se energice la bobina interna.	

Fuente: Autores

4.5.3.2 Elementos de mando.

Los elementos de mando o control son mecanismos apropiados que permiten interactuar con el operario para que pueda controlar los diferentes elementos. Los elementos que se muestran son necesarios en todo circuito eléctrico ya que evitan que el usuario esté en contacto con los

elementos que consumen elevadas cantidades de corriente evitando así posibles daños eléctricos y algún daño a la integridad del operador.

Tabla 28-4. Elementos de mando instalados

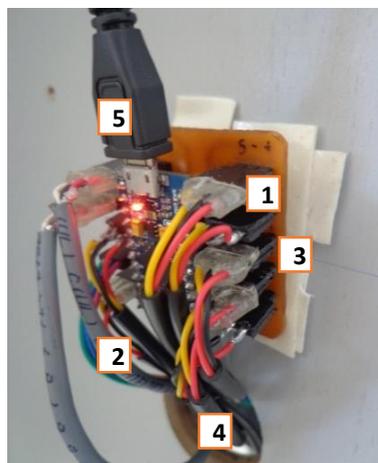
Relé	Un dispositivo electromagnético que funciona como un interruptor accionado por un electroimán y por la energización de su bobina.	
Selector	Es un dispositivo cuya finalidad al ser accionado a una determinada posición sirve para que se establezca una conexión con el circuito que gobierna la posición..	
Pulsadores	Es utilizado para realizar una determinada función, al ser accionado manualmente permite el paso de corriente eléctrica hacia el equipo que este controlando	
Pulsador de emergencia	Es un elemento para prevenir situaciones que puedan ser peligrosas. Se deberá presionarlo para evitar daños humanos y de la máquina en caso de emergencia.	
Luz indicadora	Es un accesorio luminoso el cual se encarga de indicar que equipo o accesorio se encuentra prendido o que está en funcionamiento	

Fuente: Autores

4.5.4 *Ensamble del sistema de adquisición de datos.*

En la figura 59 se identifica los elementos que componen la adquisición de datos, y en la tabla 29 se enlista los elementos que lo componen.

Figura 59-4. Elementos de la adquisición de datos



Fuente: Autores

Tabla 29-4. Listado de elementos de la adquisición de datos

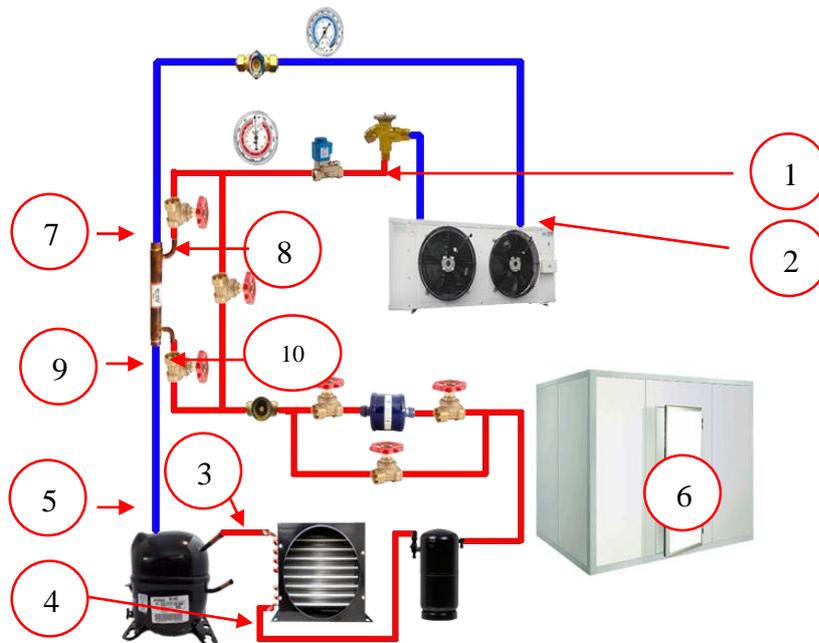
No.	Componente
1	Placa de circuito eléctrico
2	Pro Micro
3	Borneras de conexión
4	Sensor de temperatura
5	Cable de conexión usb

Fuente: Autores

4.5.4.1 *Ubicación de los sensores en el sistema de refrigeración*

En la siguiente figura se visualiza donde se encuentran ubicados los sensores, lo que permitirá identificar el punto donde se adquiere la temperatura en la fase experimental.

Figura 60-4. Ubicación de los sensores en el sistema



Fuente: Autores

4.6 Puesta en marcha del sistema de refrigeración

4.6.1 *Prueba de estanqueidad.*

Realizar prueba de estanqueidad en el sistema resulta de necesaria, ya que una fuga de refrigerante representa un gran impacto ambiental y la reducción de la capacidad frigorífica del sistema; a través de una fuga existe el ingreso de humedad a la instalación la cual es la principal amenaza a

eliminar por la diversidad de problemas que atrae. La prueba de estanqueidad se realizó en las líneas de alta y baja presión, el procedimiento para realizar la prueba se muestra a continuación:

- Conectar la alimentación eléctrica de la válvula solenoide.
- Conectar el juego de manómetros a las válvulas donde se encuentra el filtro secador, así también conectar el compresor a la línea de alta presión.
- Verificar si los manómetros se encuentran calibrados y sus llaves de paso se encuentran cerradas
- Abrir todas las válvulas manuales de modo que no exista ningún tramo de tubería despresurizado.
- Abrir la válvula del compresor, presurizar el sistema y verificar las presiones del sistema en la parte de alta y baja presión a través de los manómetros ya que se deben igualar las presiones.
- Las primeras fugas serán detectables a través del oído; estas fugas principalmente se presentan en los acoples de manguera a las tuberías del sistema. Una vez detectadas las primeras fugas se procede a colocar una solución jabonosa sobre las uniones.

Figura 61-4. Prueba de estanqueidad del sistema



Fuente: Autores

Si la presión disminuye notablemente se deberá inspeccionar donde se encuentra la fuga colocando más solución jabonosa; una vez que se detecte dar apriete a la unión para sellar y crear hermeticidad en el sistema como se muestra en la figura.

Figura 62-4. Detección de fugas en el sistema



Fuente: Autores

4.6.2 *Proceso de vacío.*

Previo a la realización del proceso de vacío debe encontrarse instalado el puente de manómetros de carga, la manguera de alta presión del puente de manómetros debe ir a la conexión luego del recipiente de líquido en la unidad condensadora, la manguera de baja presión se conectada a una vía de la válvula rotolock; así también previamente debe instalarse el presostato a una vía de las válvulas rotolock de la unidad condensadora en succión y descarga. El proceso de vacío se indica a continuación:

- Conectar la manguera amarilla del puente de manómetros a la bomba de vacío.
- Conectar la válvula solenoide a la alimentación eléctrica, verificar si las válvulas manuales del sistema y las válvulas del puente de manómetros se encuentran totalmente abiertas.
- Encender la bomba de vacío y verificar el vacío en los manómetros de baja presión hasta alcanzar 20 in de Hg.
- Esperar el tiempo correspondiente hasta que se efectúe el proceso de vacío que dependerá del tamaño del sistema, de la calidad del vaciado realizado por la bomba y la humedad del ambiente, el vacío en el sistema se efectuó en un tiempo aproximado de 25 minutos.

- Verificar la calidad del vacío en el visor líquido humedad ubicado en la parte de alta presión, el vástago debe tener la tonalidad de color verde indicando que no existe humedad en el sistema, si existiese humedad el vástago del visor tomará una tonalidad de color amarillo.
- Se procede a cerrar las llaves del puente de manómetros y apagar la bomba de vacío.
- Esperar alrededor de 40 minutos y verificar si el vacío se mantiene, si el vacío es adecuado o si existe una mínima disminución de presión de vacío se procederá a la recarga de refrigerante R-404A, en caso de que el vacío no se mantenga significa que existe una fuga en el sistema la cual deberá ser detectada a través de la solución jabonosa.

Figura 63-4. Proceso de vacío



Fuente: Autores

4.6.3 *Recarga de refrigerante R-404A.*

Para recargar el sistema se debe conocer la cantidad exacta de refrigerante que ingresa al sistema, en primera instancia para arrancar el equipo se recarga una cantidad igual al 80% del volumen del recipiente de líquido de la unidad condensadora como se indica a continuación.

$$Precrg = 0,8 * V$$

$$Precrg = 0,8 * 2,1 \text{ litros} = 1,68 \text{ kg}$$

Inicialmente se introduce al sistema una cantidad de 1,68 kg de refrigerante R-404A, para esto se ocupa cuatro latas de refrigerante DuPont suva de 425 gramos en forma de gas. El procedimiento para recargar refrigerante es la siguiente:

- Una vez realizado el proceso de vacío asegúrese que la válvula solenoide se encuentre conectada a la alimentación eléctrica, mientras que las válvulas manuales no se hayan manipulado.
- Se procede a conectar a través de una válvula la lata de refrigerante de 425 gramos a la manguera amarilla del puente de manómetros.
- Abrir lentamente la conexión de la manguera amarilla del puente de manómetros con la finalidad de sacar el aire para que este no se introduzca al sistema.
- Abrir lentamente las llaves de alta presión del puente de manómetros para introducir refrigerante en forma líquida, se debe a invertir la lata, así el refrigerante se introducirá en el recipiente de líquido de la unidad condensadora que debe encontrarse apagada; introducir cuatro latas de refrigerante de 425 g de esta forma.
- Se procede a introducir refrigerante en forma de gas; para esto la unidad condensadora deberá iniciar su funcionamiento, inmediatamente se deberá abrir la llave del puente de manómetros de baja presión.
- Colocar la lata de refrigerante sobre la balanza para visualizar la cantidad de refrigerante que ingresa al sistema.
- Una vez acabada la lata de refrigerante se procederá a cambiarla y de igual manera a eliminar el aire existente en la manguera amarilla del puente de manómetros de carga.
- Para determinar si la cantidad de refrigerante a introducir es la adecuada se verifica en el visor de líquido que circule en forma continua y no existan burbujas, verificar la intensidad de corriente de la bobina de trabajo de la unidad condensadora sea la misma del dato de placa.
- La cantidad de refrigerante que se introdujo en el sistema es de 1700 gramos en forma líquida y 1275 gramos en forma de gas.

Figura 64-4. Recarga de refrigerante



Fuente: Autores

4.6.4 Calibración de termostato digital.

Para acceder a las funciones técnicas del termostato digital remitirse al manual de operación en la parte correspondiente a la calibración de este termostato.

Tabla 30-4. Parámetros programados en el termostato digital de congelación

Referencia	Función	Descripción	Valor
Set point	Set point	Temperatura de congelación donde se apagará el compresor	-15
-	LIS	Cargar lista de parámetros programados	0
-	CAL	Ajusta el valor de temperatura leído por la sonda un valor de 0,4°C	0
Protección del compresor	Cdp	Retardo al arranque del compresor	0
	CPP	Estado del compresor en caso de falla del sensor	Off
	CtP	Tipo de protección del compresor	Br
Regulación de la temperatura de cámara	diF	Diferencial de temperatura	7
	Dro	Unidad de temperatura	°C
	LSE	Temperatura más baja que puede fijarse	-15
	HSE	Temperatura más alta a la que puede fijarse	10
Alarma	HAL	Temperatura por encima para activar la alarma.	5
	LAL	Temperatura por debajo para activar la alarma	-18
	PAO	Tiempo que no se activará la alarma luego del encendido.	60

Fuente: Autores

Tabla 30-4. (Continuación) Parámetros programados en el termostato digital de congelación

Referencia	Función	Descripción	Valor
Protector de voltaje	UAL	Límite de alto voltaje	236
	UbA	Límite de bajo voltaje	190
	dIU	Diferencial de voltaje	80
Deshielo	dIT	Intervalo entre ciclos de deshielo	1
	Ddt	Tiempo de duración del ciclo de deshielo	8
	otL	Retardo al encendido de máquina	2
	Ddd	Tiempo de drenaje	2
	dAo	Tiempo que no se activara la alarma luego del deshielo.	30
	ddF	Congelar la pantalla durante el deshielo.	Off

Fuente: Autores

El set point para el controlador programable de temperatura para conservación es de 2°C, las funciones técnicas de muestran a continuación, para manipular este instrumento remitirse al manual de operación a su parte correspondiente.

Tabla 31-4. Parámetros programados en el termostato digital de conservación

Función	Parámetro	Valor
F01	Código de acceso	123
F02	Corrimiento de indicación (offset)	0
F03	Mínimo setpoint permitido al usuario	0
F04	Máximo setpoint permitido al usuario	8
F05	Diferencial de control	4
F06	Retardo para reconectar la salida de refrigeración	0
F07	Tiempo de refrigeración	210
F08	Tiempo de deshielo	10
F10	Indicación de temperatura trabada durante el deshielo	0
F11	Retardo en la energización del instrumento	0
F12	Tiempo adicional al final del primer ciclo	0
F13	Situación del compresor con el sensor dañado	0

Fuente: Autores

4.6.5 Calibración del presostato. El presostato con el que se dispone es de tipo dual de tres pines donde se tiene una salida para señal de alarma por baja presión de succión, este equipo es el encargado de brindar seguridad al usuario y a todo el sistema, los rangos de operación del sistema son:

Tabla 32-4. Calibración del presostato dual KP 15

	Variables	Característica	Valor (psig)
Baja presión	Cut out	Presión de succión más baja a la que el compresor se apaga	5
	Diferencia de presión (diff)	Diferencia entre el cut in y cut out	8
Alta presión	Cut out	Presión excesiva que debe apagar el compresor	350
	Diferencia de presión (diff)	Viene ajustado por el fabricante	58

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el análisis económico del sistema de refrigeración para congelación y conservación, se considerará costos directos y costos indirectos hasta que el equipo quede operativo en su totalidad.

5.1 Costos directos

Costos directos son los gastos que influyen directamente en la construcción del sistema de refrigeración como materiales, equipos o herramientas, mano de obra y transporte.

Tabla 33-5. Costos de materiales para la reconstrucción de estructura

Item	Descripción	Cantidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
1	Lijas No. 180, 220, 400 y 800	6	0,6	3,60
2	Papel periódico	1	2	2,00
3	Masquin	2	0,6	1,20
4	Pintura negra	1	4	4,00
5	Pintura blanca	1	4	4,00
6	Pintura gris	1	4	4,00
7	Masilla plastica automotriz	1	5	5,00
8	Cinta adhesiva negra	1	0,5	0,50
9	Tiñer	1	2,5	2,50
10	Plancha Triplex	1	50	50,00
11	Perfil en "L" 1 in e 2mm	1	9	9,00
12	Perno y tuerca de 1/4 in	11	0,25	2,75
Subtotal				88,55
IVA				12,40
Total				100,95

Fuente: Autores

Tabla 34-5. Costos de materiales del sistema de refrigeración

Item	Descripción	Cantidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
1	U. condensadora Tecumseh 1Hp R-404A 220V	1	565,00	565,00
2	Filtro secador 1/4 2.0 TRL dml-03 Danfoss	1	6,00	6,00
3	Manómetro de carga R-404A Quality Qm	1	42,00	42,00
4	Lata de refrigerante suva R-404 ^a	5	7,00	35,00
5	Tubería de cobre 1/4 in odx pie Nacobre	20	0,75	15,00
6	Tubería de cobre 1/2 in odx pie Nacobre	24	1,68	40,32

Fuente: Autores

Tabla 34-5. (Continuación) Costos de materiales del sistema de refrigeración

Item	Descripción	Cantidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
7	Tubería de cobre 3/8 in odx pie Nacobre	20	1,25	25,00
8	Juego de protectores para manómetro	1	5,00	5,00
9	Caño aislante Armaflex 1/2x1/2 2 metros	3	1,80	5,40
10	Tuerca bronce reforzada 1/4 Quality	4	0,60	2,40
11	Tuerca bronce reforzada 1/2 Quality	4	1,20	4,80
12	Union bronce rosca 1/2X1/2 Quality	2	1,50	3,00
13	Codo de 90 1/2 in soldable	2	1,00	2,00
14	Válvula de carga 1/4 Quality qav	4	1,00	4,00
15	Te cobre 3/8 Quality	2	1,00	2,00
16	Tuerca cónica 1/4 in b-41	2	0,40	0,80
17	Unión cónica 1/4 in b-42	1	0,40	0,40
18	Anillo 1/4 in b-60	5	0,20	1,00
19	Tuerca 1/4 in b-61	2	0,8	1,60
20	Tee 1/4 in b-64	4	1,15	4,60
21	Acople hembra-macho 1/4x1/4 b-66	5	0,85	4,25
22	Alargue 3/8x1/4 in b-120	4	1	4,00
23	Econoválvula para lata Dupont	1	5,00	5,00
24	Aceite sintético POE 1 litro ISO 32	1	23,40	23,40
25	Dobladora de tubo palanca 1/4 3/8	1	10,00	10,00
26	Boquilla antorcha GAS MAP quality QTB-3	1	30,00	30,00
27	Fundente de plata 4 onz Quality qfx-4	1	3,00	3,00
28	Cilindro de gas map 14,1 onz Whortington	1	10,00	10,00
29	Soldadura de plata 5% argenta 5% Ag	3	1,50	4,50
30	Sellador Permatex	1	1,32	1,32
31	Teflón cinta	1	0,44	0,44
Subtotal				861,23
IVA				120,57
Total				981,80

Fuente: Autores

Tabla 35-5. Costos de materiales del sistema eléctrico

Item	Descripción	Cantidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
1	Plc Zelio Schneider SR3101FU 100/240VAC	1	165,60	165,60
2	Extension SR3 XT101FU 6E/4S	1	84,00	84,00
3	Cable SR2USB01	1	108,38	108,38
4	Sensor de temperatura Fullgauge SB-41	1	8,00	8,00
5	Gabinete metálico 400x300x200 mm/ip	1	29,08	29,08
6	Luz 22 mm led csc azul 220V	3	1,61	4,83
7	Luz 22 mm led csc verde 220V	1	1,45	1,45
8	Luz 22 mm led roja 220 V	1	1,35	1,35

Fuente: Autores

Tabla 35-5. (Continuación) Costos de materiales del sistema eléctrico

Item	Descripción	Cantidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
9	Cable flexible 14 AWG blanco	2m	0,21	0,42
10	Cable flexible 14 AWG negro	3m	0,21	0,63
11	Cable flexible 16 AWG amarillo	6m	0,17	1,00
12	Cable flexible 16 AWG verde	7m	0,17	1,17
13	Terminal pin rojo 22 18 U	190	0,13	24,70
14	Terminal macho 1/4 rojo U	10	0,11	1,10
15	Terminal puntera simple 16 14 rojo U	25	0,10	2,50
16	Pulsador de emergencia LMB ES5 Camsco	1	3,13	3,13
18	Contacto auxiliar lateral ls	1	2,47	2,47
19	Canaleta c/t 25x25 mm x 2 m gris ranurado	1	5,15	5,15
20	Riel din longitud 1 m	1	2,19	2,19
21	Pulsador 22 mm plast hongo 40 mm	1	1,75	1,75
22	Prensa estopa pg 21 hueco 28 30 mm	2	0,80	1,60
23	Prensa estopa pg 29 hueco 36 24 mm	1	1,18	1,18
24	Remachadora multiuso electricista stanley	1	5,38	5,38
25	Guardamotor	1	58	58
26	Multímetro digital tipo gancho	1	16,67	16,67
Subtotal				539,66
IVA				75,55
Total				615,21

Fuente: Autores

Tabla 36-5. Costos de materiales para adquisición de datos

Item	Descripción	Cantidad	Costo Unitario [USD]	Costo total [USD]
1	Arduino Promicro	1	10,00	10,30
2	Baquelita 20x30 cm	1	3,07	3,07
3	Spandin plug	1	0,35	0,35
4	Sensor de temperatura	10	6,14	61,40
Subtotal				16,12
IVA				10,66
Total				86,77

Fuente: Autores

Tabla 37-5. Costo total de materiales

Denominación	Costo total [USD]
Costo del material para sistema de refrigeración	981,80
Costo de material para reconstrucción estructural.	100,95
Costo del material eléctrico.	615,21
Costo de materiales para adquisición de datos.	86,77
Total	1.784,73

Fuente: Autores

Tabla 38-5. Costos de mano de obra

Operador	Salario/hora	H. de trabajo	Total [USD]
Técnico de refrigeración	15	16	240
Mecánico	20	2	40
Soldador	10	5	50
Técnico electrónico	15	18	270
Total			600

Fuente: Autores

Tabla 39-5. Costos de envíos y transporte

Item	Denominación	Descripción	Total [USD]
1	Envió plc Zelio SR3101FU	Mercurio Automatización	20
		Latacunga-Riobamba	
2	Transporte Unidad condensadora	Megafrio S.A.	20
		Ambato-Riobamba	
3	Transporte demás actividades	-	75
Total			115

Fuente: Autores

Tabla 40-5.Total de costos directos

Denominación	Total [USD]
Costo de Materiales	1.718,62
Costo de transporte y envió	115
Costo de mano de obra	600
Total	2.433,62

Fuente: Autores

5.2 Costos indirectos

Costos por ingeniería considera el 15% del costo directo y para los costos imprevistos se consideró un 5% del banco de refrigeración.

Tabla 41-5.Total de costos indirectos

Denominación	Valor [USD]
Costo por ingeniería	257,79
Costo imprevistos	85,93
Utilidad	0
Total	343,72

Fuente: Autores

5.3 Costos totales

Tabla 42-5. Costo total del equipo

Denominación	Valor [USD]
Costos directos	2.434,62
Costos indirectos	304,72
Total	2.777,34

Fuente: Autores

El consto total sistema de refrigeración reconstruido es de \$ 2.777,34 (dos mil setecientos setenta y siete con 34 /100).

CAPÍTULO VI

6. FASE DE EXPERIMENTACIÓN

Una vez que el sistema de refrigeración se ha reconstruido y ha sido calibrado se procede a realizar la fase de experimentación, se realizan pruebas cuando la cámara se encuentre con agua embotellada (carga térmica) y cuando ésta se encuentre completamente vacía, hasta llegar a las temperaturas de -15°C (proceso de congelación) y 2°C (proceso de conservación); estas pruebas se realizan con el uso del intercambiador de calor y de la misma manera sin el uso de éste. A continuación, se indica el punto de estados y donde se tomará los datos.

Tabla 43-6. Ubicación de los estados en el sistema de refrigeración

Estado	Ubicación	No. Sensor
1	Ingreso al compresor	-
e	Salida del evaporador	2
1'	Ingreso al compresor	5
a	Compresor (interno)	-
b	Compresor (interno)	-
2'	Ingreso al condensador	3
3	Salida del condensador	4
c'	Salida del compresor	-
3'	Ingreso a la válvula de expansión	1
4'	Ingreso al evaporador	-

Fuente: Autores

6.1 Procedimiento de experimentación

El procedimiento que se utiliza para la experimentación es el siguiente:

1. Abrir las válvulas 1, 3 y 2 en caso de encontrarse cerradas.
2. Si no se desea hacer experimentación con el intercambiador de calor, verificar si las válvulas de paso 4 y 6 están cerradas en la parte del intercambiador, la válvula 5 debe encontrarse abierta, caso contrario manipular las válvulas antes mencionadas
3. Introducir carga térmica (agua embotellada) o con la cámara vacía. Conectar la alimentación eléctrica de 220V.

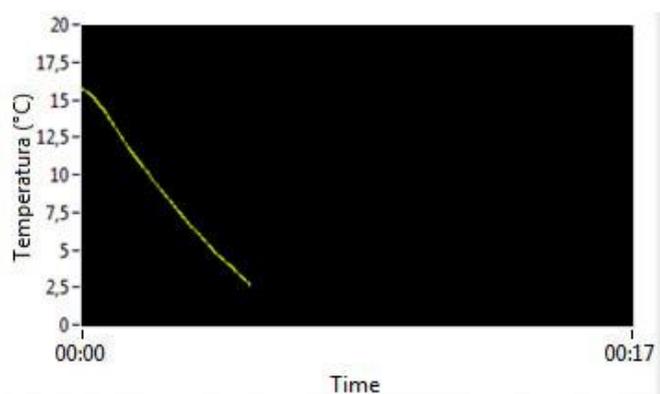
4. Activar el breaker y el guardamotor para energizar el tablero eléctrico.
5. Asegurarse que el relé programable se encuentre en modo ON.
7. Escoger el proceso a realizar, proceso 1 congelar, proceso 2 conservar, inmediatamente se energizará la sección del proceso en el tablero.
8. Conectar el Pro micro a la conexión usb de la computadora
9. Identificar en que puerto COM se ha instalado el dispositivo “adafruit circuit playground”
10. Abrir el programa “fragmentacion_puerto_serial” de Labview.
11. En el puerto de comunicación en la pantalla principal ubicar el com respectivo para que el programa identifique a la pro micro, en caso de no indicar hacer clic en refresh.
12. En número de bytes introducir el valor de 800.
13. Introducir el valor de 2000 en “outtime” del puerto serial.
14. Activar el modo visual de los puntos requeridos, y cambiar el color del sensor en el punto si se requiere una mejor visualización.
15. Ejecutar el programa, inmediatamente detectará la temperatura ambiente cada sensor.
16. Presionar el botón on del tablero eléctrico para que el sistema entre en funcionamiento, dependiendo del proceso que se está realizando.
17. Adquirir los datos para la interpretación del ciclo de refrigeración del sistema.
18. Exportar los datos a Excel si se desea.

6.2 Pruebas del sistema de refrigeración en proceso de conservación

6.2.1 *Experimentación sin carga térmica.*

Funcionamiento del sistema de refrigeración con la cámara vacía, sin utilizar el intercambiador de calor hasta que la temperatura del interior de la cámara llegue a 2°C.

Figura 65-6. Temperatura de la cámara (vacía) vs tiempo



Fuente: Autores

En la figura se puede visualizar la variación de la temperatura en función del tiempo en el interior de la cámara, donde tarda un tiempo de 8 minutos y 10 segundos hasta llegar a la temperatura de 2°C, 2 minutos y 38 segundos en el tiempo de apagado debido al diferencial de temperatura, 2 minutos 49 segundos hasta descender nuevamente a 2°C.

Tabla 44-6. Presiones del sistema sin carga térmica

No.	Presión	Presión manométrica (MPa)	Presión absoluta (MPa)
1	Alta presión	1,55	1,62
2	Baja presión	0,22	0,29
3	Baja presión(ingreso al evaporador)	0,25	0,32

Fuente Autores

Para determinar las temperaturas de condensación y condensación remitirse al anexo H

$$P_{con} = 1,62 \text{ MPa}; P_{ev} = 0,29 \text{ MPa}$$

$$T_{con} = 34,984 \text{ }^\circ\text{C}; T_{ev} = -21,715 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tabla 45-6. Estados del ciclo de refrigeración sin carga

Estado	Presión absoluta (MPa)	Temperatura (°C)	Entalpía (KJ/kg)	Entropía (KJ/kg°K)	Calidad
1	0,29	-21,715	353,63	1,618	-
e	0,29	-6,5	366	1,675	-
1'	0,29	0,18	371	1,69	-
a	0,262	-1,5	371	1,71	-
b	0,262	4	376	1,72	-

Fuente: Autores

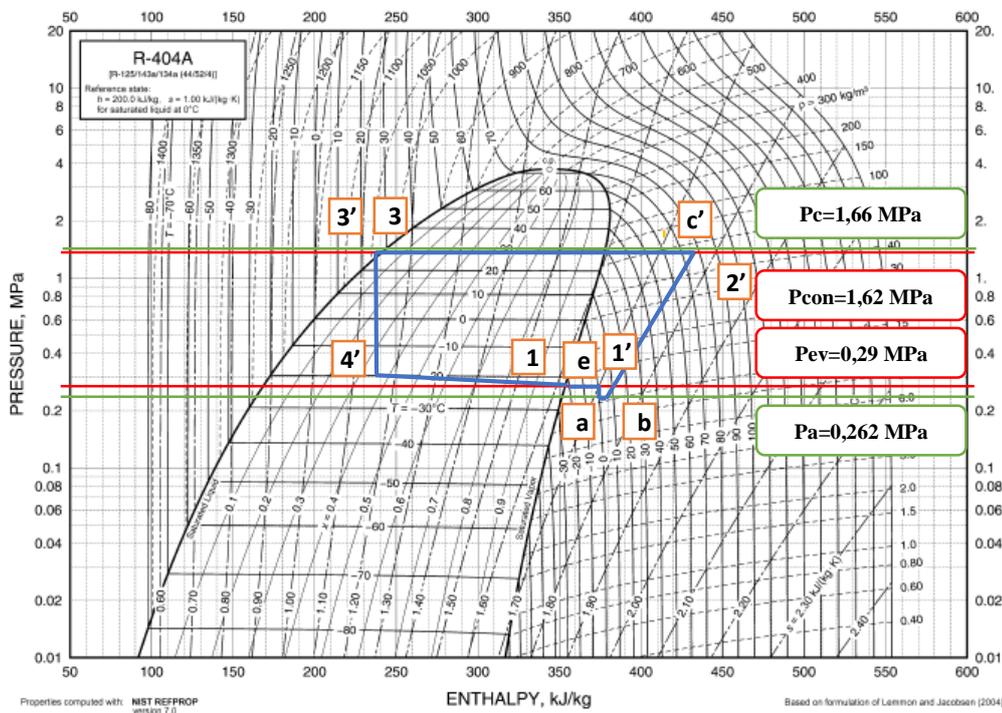
Tabla 45-6 (continuación). Estados del ciclo de refrigeración sin carga

2'	1,62	77,62	432	1,745	-
3	1,62	32,75	242	1,55	
c'	1,66	76,62	432	1,745	-
3'	1,62	26,31	238	1,13	-
4'	0,32	-19,06	238	1,16	0,35

Fuente: Autores

Para dibujar el ciclo de refrigeración en el diagrama presión vs entalpía del refrigerante R-404A se toma los valores registrados en la tabla anterior y los valores de presión registrados en la tabla.

Figura 66-6. Diagrama del ciclo real de refrigeración sin carga térmica



Fuente: Autores

Para conocer la eficiencia del ciclo de refrigeración se procede a encontrar el coeficiente de performance o de funcionamiento.

$$COP_C = \frac{T_{ev}}{T_{con} - T_{ev}} = \frac{251,435}{308,13 - 251,435}$$

$$COP_C = 4,434$$

$$COP = \frac{h_b - h_4}{h_{c'} - h_b} = \frac{376 - 238}{432 - 376}$$

$$COP = 32,46$$

$$\eta_r = \frac{COP_r}{COP_c}$$

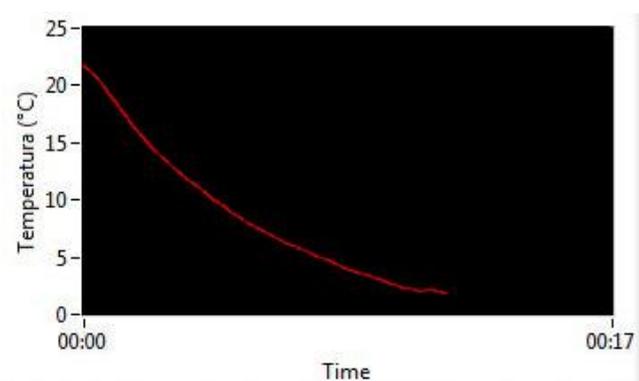
$$\eta_r = \frac{2,46}{4,43} = 0,555$$

$$\eta_r = 55,57\%$$

6.2.2 Experimentación con carga térmica.

Funcionamiento del sistema de refrigeración con agua embotellada en el interior de la cámara, sin utilizar el intercambiador de calor hasta que la temperatura de la cámara llegue a 2°C

Figura 67-6. Temperatura de la cámara (carga) vs tiempo



Fuente: Autores

En los primeros minutos la variación de la temperatura al transcurrir el tiempo es notablemente decreciente, sin embargo, cerca de 2°C tiende a estabilizarse, para llegar a la temperatura de conservación se requiere un tiempo de 11 minutos y 30 segundos, el tiempo en que tarda en encenderse nuevamente es de 2 minutos y 9 segundos debido al diferencial del termostado, finalmente hasta que regrese a la temperatura de 2°C tarda 3 minutos y 30 segundos.

Tabla 46-6. Presiones del sistema con carga térmica

No.	Presión	Presión manométrica (MPa)	Presión absoluta (MPa)
1	Alta presión	1,69	1,76
2	Baja presión	0,2	0,27
3	Baja presión(ingreso al evaporador)	0,23	0,3

Fuente Autores

$$P_{con} = 1,76 \text{ MPa} ; P_{ev} = 0,27 \text{ MPa}$$

$$T_{con} = 38,37 \text{ }^\circ\text{C} ; T_{ev} = -22,95 \text{ }^\circ\text{C}$$

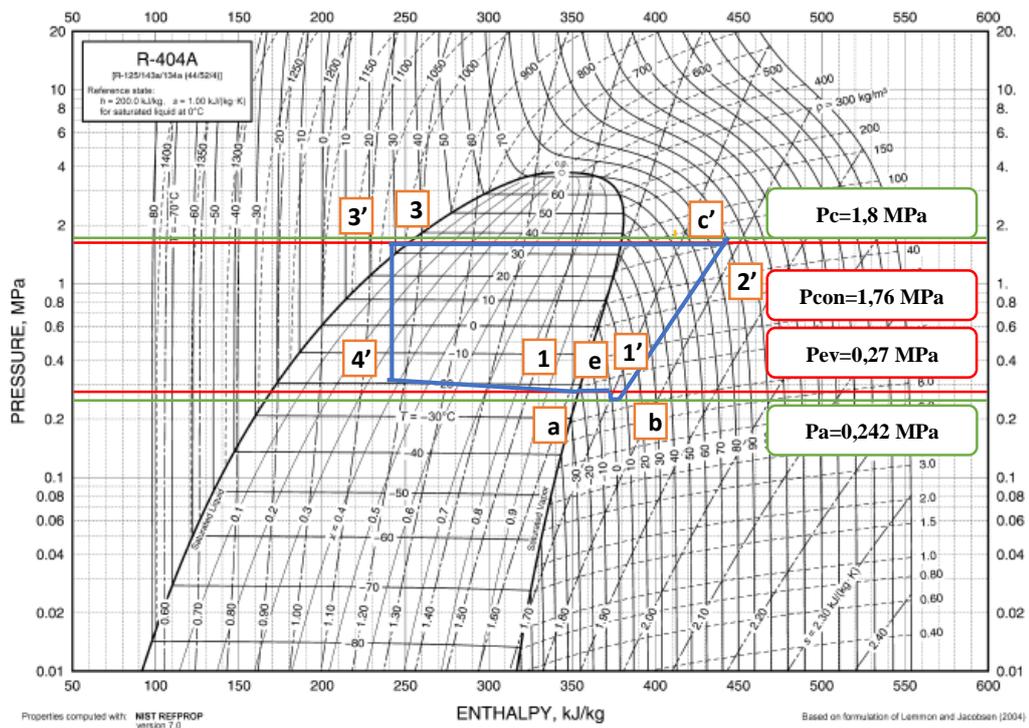
Tabla 47-6. Estados del ciclo de refrigeración con carga térmica

Estado	Presión absoluta (MPa)	Temperatura (°C)	Entalpía (KJ/kg)	Entropía (KJ/kg°K)	Calidad
1	0,27	-22,95	352,94	1,6189	-
e	0,27	-9,87	365	1,66	-
1'	0,27	-0,5	373	1,7	-
a	0,242	0	373	1,71	-
b	0,242	5,5	380	1,73	-
2'	1,76	89,25	440	1,78	-
3	1,76	35,81	250	1,2	-
c'	1,8	88	440	1,775	-
3'	1,76	28,56	240	1,14	-
4'	0,3	-20	240	1,17	0,32

Fuente: Autores

Para dibujar el ciclo de refrigeración real en el diagrama presión vs entalpía se toma los valores.

Figura 68-6. Diagrama del ciclo real de refrigeración con carga



Fuente: Autores

A continuación, se determina el coeficiente de performance o de funcionamientos para esta experimentación

$$COP_c = \frac{T_{ev}}{T_{con} - T_{ev}} = \frac{250,2}{311,52 - 250,2}$$

$$COP_c = 4,08$$

$$COP = \frac{h_b - h_4}{h_{c'} - h_b}$$

$$COP = \frac{380 - 240}{440 - 380}$$

$$COP = 2,33$$

$$\eta_r = \frac{COP_r}{COP_c}$$

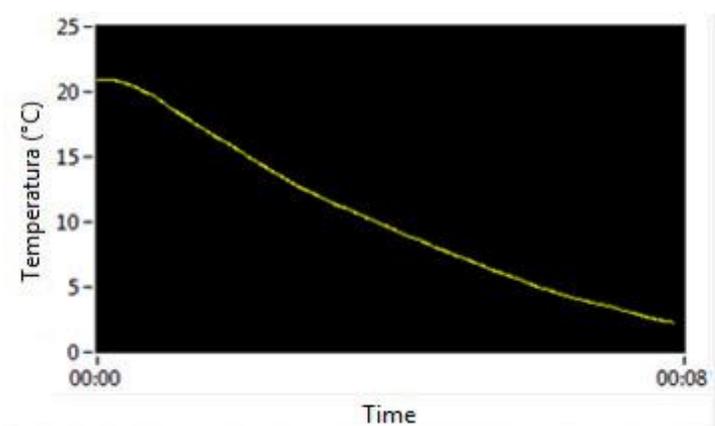
$$\eta_r = 57,19\%$$

Se obtiene una eficiencia frigorífica de 57,19% para la experimentación con carga térmica y cuando no se utiliza en intercambiador de calor

6.2.3 Experimentación sin carga con intercambiador de calor.

Para esta experimentación se la efectúa con la cámara vacía y utilizando el intercambiador de calor hasta que la temperatura de la cámara llegue a 2°C

Figura 69-6. Temperatura de la cámara (sin carga) vs tiempo



Fuente: Autores

La curva que representa la variación de la temperatura en función del tiempo no es muy pronunciada inicialmente, se visualiza que para llegar a la temperatura de conservación desde la temperatura ambiente, se requiere un tiempo de 7 minutos y 10 segundos, el tiempo que tarde en el reencendido debido al diferencial de temperatura es de 1 minuto y 43 segundos, una vez que se reenciende el equipo tarda 1 minuto y 49 segundos hasta llegar nuevamente a la temperatura de 2°C.

Tabla 48-6. Presiones del sistema sin carga y usando el intercambiador de calor

No.	Presión	Presión manométrica (MPa)	Presión absoluta (MPa)
1	Alta presión	1,69	1,83
2	Baja presión	0,2	0,29
3	Baja presión(ingreso al evaporador)	0,23	0,32

Fuente: Autores

Las presiones de condensación y evaporación se indican a continuación:

$$P_{con} = 1,83 \text{ MPa}; P_{ev} = 0,29 \text{ MPa}$$

$$T_{con} = 40,3 \text{ }^{\circ}\text{C}; T_{ev} = -21,08 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

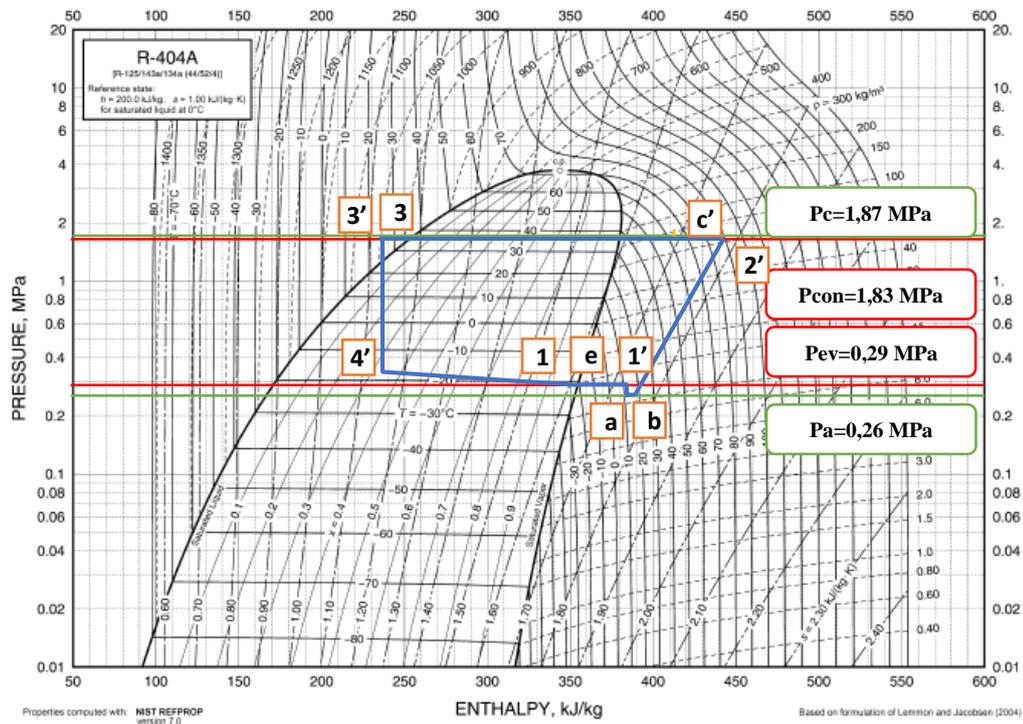
Tabla 49-6. Estados del ciclo de refrigeración sin carga y usando el intercambiador

Estado	Presión absoluta (MPa)	Temperatura (°C)	Entalpía (KJ/kg)	Entropía (KJ/kg°K)	Calidad
1	0,29	-21,715	353,63	1,618	-
e	0,29	-8,93	368	1,66	-
1'	0,29	12,83	382	1,72	-
a	0,26	11,7	382	1,74	-
b	0,26	17,2	388	1,75	-
2'	1,83	88,81	441	1,775	-
3	1,83	37,56	235	1,18	
c'	1,87	87	441	1,77	-
3'	1,83	24,81	236	1,14	-
4'	0,32	-0,18	236	1,137	0,44

Fuente: Autores

Se procede a dibujar el ciclo de refrigeración en el diagrama presión vs entalpía correspondiente al refrigerante R-404A.

Figura 70-6. Diagrama del ciclo real del sistema (sin carga) con intercambiador de calor



Fuente: Autores

$$COP_c = \frac{T_{ev}}{T_{con} - T_{ev}} = \frac{252,07}{313,45 - 252,07}$$

$$COP_c = 4,10$$

$$COP = \frac{h_b - h_4}{h_{c'} - h_b} = \frac{388 - 236}{441 - 388}$$

$$COP = 2,868$$

$$\eta_r = \frac{COP_r}{COP_c}$$

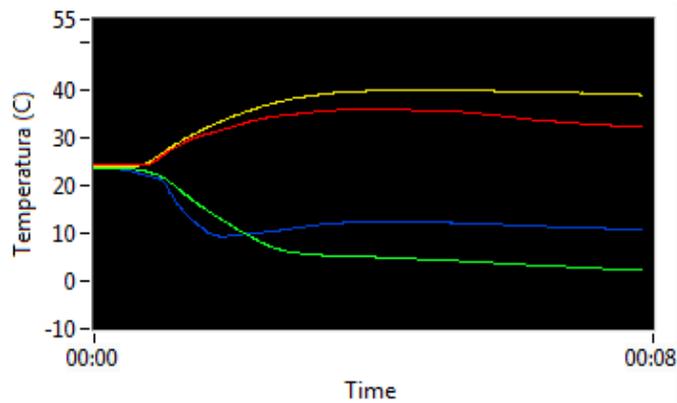
$$\eta_r = \frac{2,868}{4,10} = 0,6995$$

$$\eta_r = 69,95\%$$

Se obtiene una eficiencia frigorífica de 69,95%

En la figura se muestra la variación de la temperatura en el intercambiador de calor para su ingreso y salida en el lado de alta y baja presión.

Figura 71-6. Temperatura del intercambiador de calor vs tiempo



Fuente: Autores

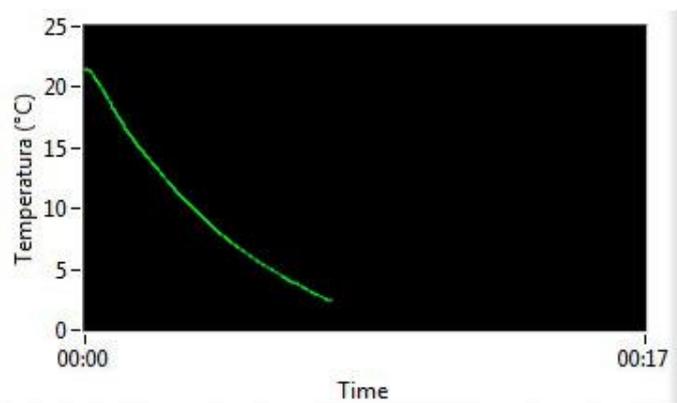
- Ingreso al intercambiador de calor en baja presión-verde
- Salida del intercambiador de calor en alta presión-rojo
- Salida del intercambiador de calor en baja presión-azul
- Ingreso al intercambiador de calor en alta presión-amarillo

En la figura se puede ver la variación típica de un intercambiador de flujo cruzado, donde los primeros minutos son despreciables porque desciende su temperatura desde el ambiente. Existe una ganancia de entalpía en el recalentamiento de 12 KJ/Kg y una ganancia en efecto refrigerante de 2 KJ/Kg

6.2.4 Experimentación con carga térmica e intercambiador de calor.

Para esta experimentación se la realiza con agua embotellada en el interior de la cámara, utilizando el intercambiador de calor hasta que la temperatura de la cámara llegue a 2°C.

Figura 72-6. Temperatura de la cámara (carga) vs tiempo



Fuente: Autores

Se requiere un tiempo de 7 minutos y 14 segundos para llegar desde la temperatura de conservación con el uso del intercambiador de calor, el tiempo de reposo de la unidad condensadora es de 1 minuto 35 segundos debido al diferencial de temperatura y de 2 minutos y 58 segundos hasta descender a la temperatura de conservación.

Tabla 50-6. Presiones del sistema con carga y usando el intercambiador de calor

No.	Presión	Presión manométrica (MPa)	Presión absoluta (MPa)
1	Alta presión	1,76	1,83
2	Baja presión	0,21	0,28
3	Baja presión(ingreso al evaporador)	0,23	0,3

Fuente: Autores

$$P_{con} = 1,83 \text{ MPa}; P_{ev} = 0,28 \text{ MPa}$$

$$T_{con} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}; T_{ev} = -21,99 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Una vez adquirido los datos de temperatura y con las presiones leídas por los manómetros del sistema dados en la tabla anterior se procede a establecer los estados del ciclo y determinar cada una de sus magnitudes.

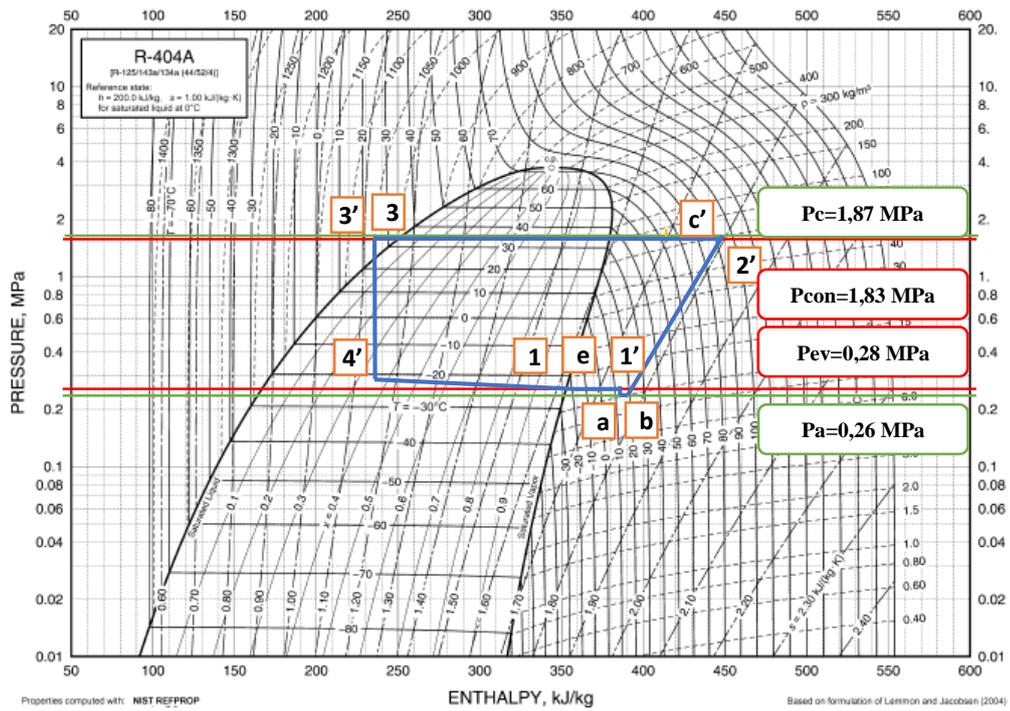
Tabla 51-6. Estados del ciclo de refrigeración (carga) y usando el intercambiador

Estado	Presión absoluta (MPa)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Entalpía (KJ/kg)	Entropía (KJ/kg $^{\circ}\text{K}$)	Calidad
1	0,28	-21,99	353,48	1,6182	-
e	0,28	-10,2	368	1,67	-
1'	0,28	12,12	386	1,73	-
a	0,26	13,12	386	1,74	-
b	0,26	18,12	391	1,76	-
2'	1,83	93,06	444	1,78	-
3	1,83	37,56	255	1,13	
c'	1,87	92	444	1,77	-
3'	1,83	24,81	237	1,12	-
4'	0,3	-20	237	1,15	0,43

Fuente: Autores

Para graficar el ciclo de refrigeración de esta experimentación se utiliza los valores determinados por la anterior tabla

Figura 73-6. Diagrama del ciclo real del sistema (carga) con intercambiador de calor



Fuente: Autores

$$COP_c = \frac{T_{ev}}{T_{con} - T_{ev}} = \frac{251,16}{313,15 - 251,16}$$

$$COP_c = 4,05$$

$$COP = \frac{h_b - h_4}{h_{c'} - h_b} = \frac{391 - 237}{444 - 391}$$

$$COP = 2.905$$

$$\eta_r = \frac{COP_r}{COP_c}$$

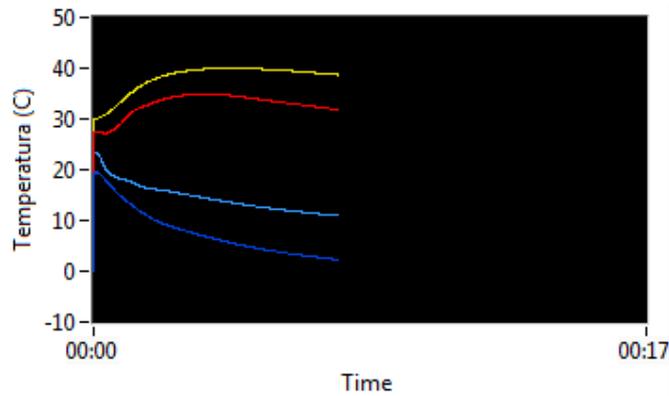
$$\eta_r = \frac{2,905}{4,05} = 0,7174$$

$$\eta_r = 71,74\%$$

Se obtiene una eficiencia frigorífica de 71,74%

A continuación, se puede visualizar la variación en las temperaturas en el ingreso y salida del intercambiador de calor

Figura 74-6. Temperatura del intercambiador de calor vs tiempo



Fuente: Autores

- Ingreso al intercambiador de calor en baja presión-azul
- Salida del intercambiador de calor en alta presión-rojo
- Salida del intercambiador de calor en baja presión-celeste
- Ingreso al intercambiador de calor en alta presión-amarillo

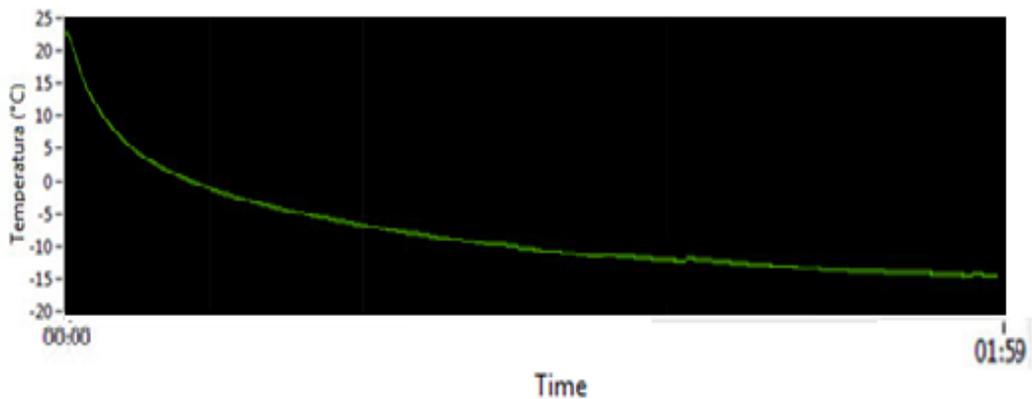
Existe una ganancia de entalpía en el recalentamiento de 11 KJ/Kg y una ganancia en efecto refrigerante de 3 KJ/Kg, debido al uso del intercambiador de calor

6.3 Pruebas del sistema de refrigeración en el proceso de congelación

6.3.1 Experimentación con carga térmica.

Funcionamiento del sistema de refrigeración con agua embotellada en la cámara, sin utilizar el intercambiador de calor, hasta que la temperatura de la cámara llegue a -15°C para este proceso de congelación.

Figura 75-6. Temperatura de la cámara vs tiempo



Fuente: Autores

En la figura se puede observar que existe un descenso de temperatura considerable alrededor de los 40 minutos y conforme transcurre el tiempo el descenso de temperatura llega a estabilizarse, finalmente alcanzando la temperatura de set point de -15° necesitando un tiempo de 1 hora con 40 minutos para poder enfriar 12 botellas de agua de 500 ml hasta la temperatura de -15°C y un tiempo de 8 minutos y 43 segundos en el periodo de paro del sistema debido al diferencial de temperatura.

Tabla 52-6. Presiones del sistema con carga térmica

No.	Presión	Presión manométrica (MPa)	Presión absoluta (MPa)
1	Alta presión	1,48	1,55
2	Baja presión	0,131	0,2
3	Baja presión(ingreso al evaporador)	0,144	0,21

Fuente: Autores

Presiones de condensación y evaporación de esta experimentación con las respectivas temperaturas son:

$$P_{con} = 1,55 \text{ MPa} ; P_{ev} = 0,2 \text{ MPa}$$

$$T_{con} = 33,57 \text{ }^{\circ}\text{C} ; T_{ev} = -31,13 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

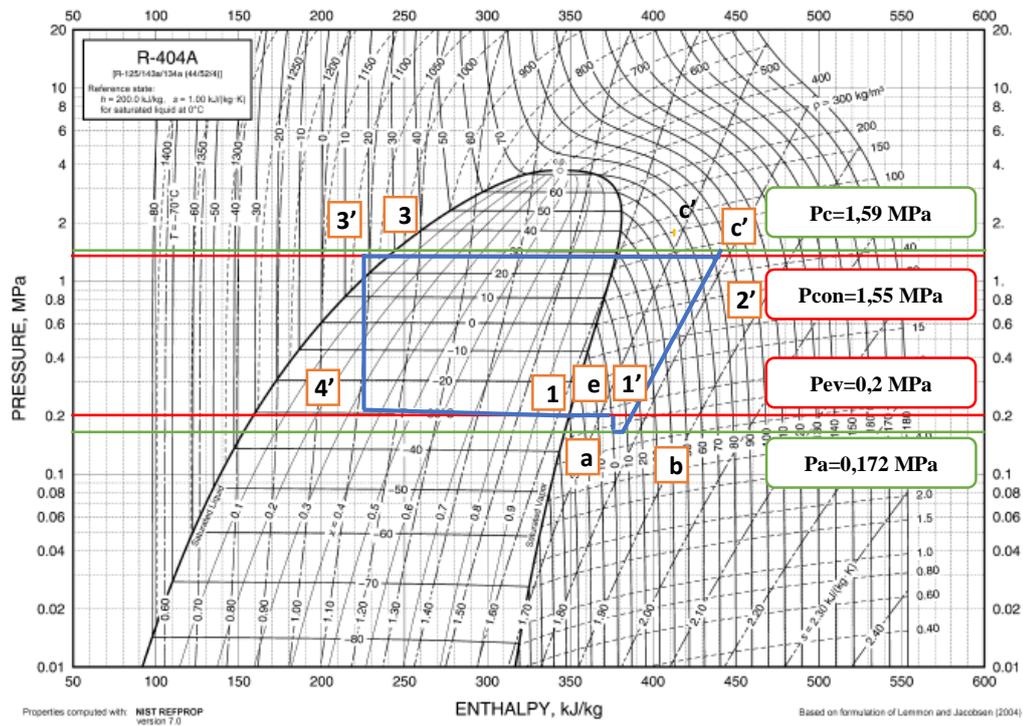
Una vez adquirido los datos de temperatura y con las presiones leídas por los manómetros del sistema se procede a establecer los estados del ciclo

Tabla 53-6. Estados del ciclo de refrigeración con carga térmica

Estado	Presión absoluta (MPa)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Entalpía (KJ/kg)	Entropía (KJ/kg $^{\circ}\text{K}$)	Calidad
1	0,2	-31,13	350	1,62	-
e	0,2	-16,14	362	1,68	-
1'	0,2	-1,43	375	1,73	-
a	0,172	-2	375	1,74	-
b	0,172	4	381	1,76	-
2'	1,55	85,25	442	1,785	-
3	1,55	29,5	244	1,15	-
c'	1,59	96	442	1,78	-
3'	1,55	18,62	227	1,09	-
4'	0,21	-29,96	227	1,11	0,32

Fuente: Autores

Figura 76-6. Diagrama del ciclo real del sistema con carga térmica



Fuente: Autores

El coeficiente de performance o de funcionamiento es:

$$COP_C = \frac{T_{ev}}{T_{con} - T_{ev}}$$

$$COP_C = \frac{242,02}{306,72 - 242,02}$$

$$COP_C = 3,74$$

$$COP = \frac{h_b - h_4}{h_{c'} - h_b}$$

$$COP = \frac{381 - 227}{442 - 381}$$

$$COP = 2,524$$

$$\eta_r = \frac{COP_r}{COP_C}$$

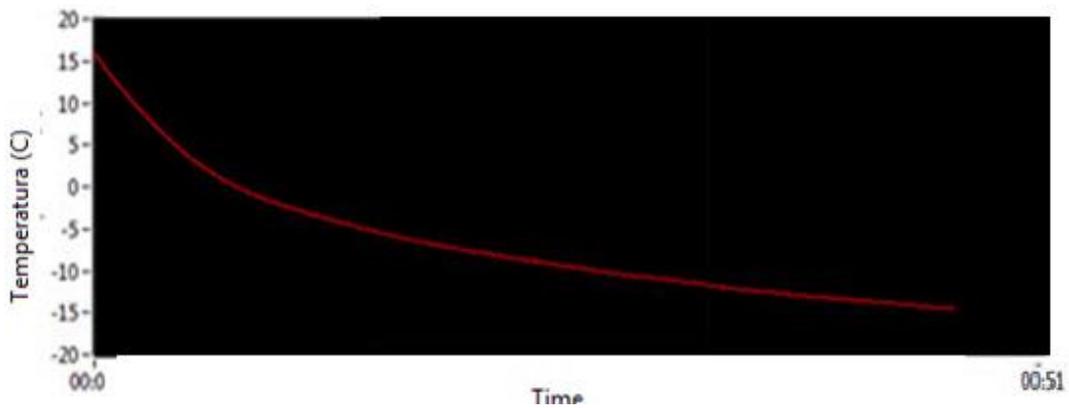
$$\eta_r = 67,5\%$$

Se obtiene una eficiencia frigorífica teórica de 67,5%

6.3.2 Experimentación con carga térmica e intercambiador de calor.

Funcionamiento del sistema de refrigeración con agua embotellada en el interior de la cámara, uso del intercambiador de calor, hasta que la temperatura de la cámara llegue a la temperatura de -15°C

Figura 77-6. Temperatura de la cámara (carga) vs tiempo



Fuente: Autores

Se visualiza que para llegar a la temperatura de congelación se requiere un tiempo de 49 minutos y 32 segundos hasta llegar a la temperatura de -15°C sin utilizar el intercambiador de calor, el tiempo de parada del sistema es de 7 minutos y 2 segundos, y el de reencendido debido al diferencial de temperatura es de 9 minutos con 34 segundos

Las presiones marcadas por los manómetros de alta y baja instalados sobre las líneas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 54-6. Presiones del sistema (carga), uso de intercambiador de calor

No.	Tipo de presión	Presión manométrica (MPa)	Presión absoluta (MPa)
1	Alta presión	1,31	1,38
2	Baja presión	0,117	0,187
3	Baja presión(ingreso al evaporador)	0,128	0,198

Fuente: Autores

Presiones de condensación y evaporación de esta experimentación con las respectivas temperaturas son:

$$P_{con} = 1,38 \text{ MPa} ; P_{ev} = 0,187 \text{ MPa}$$

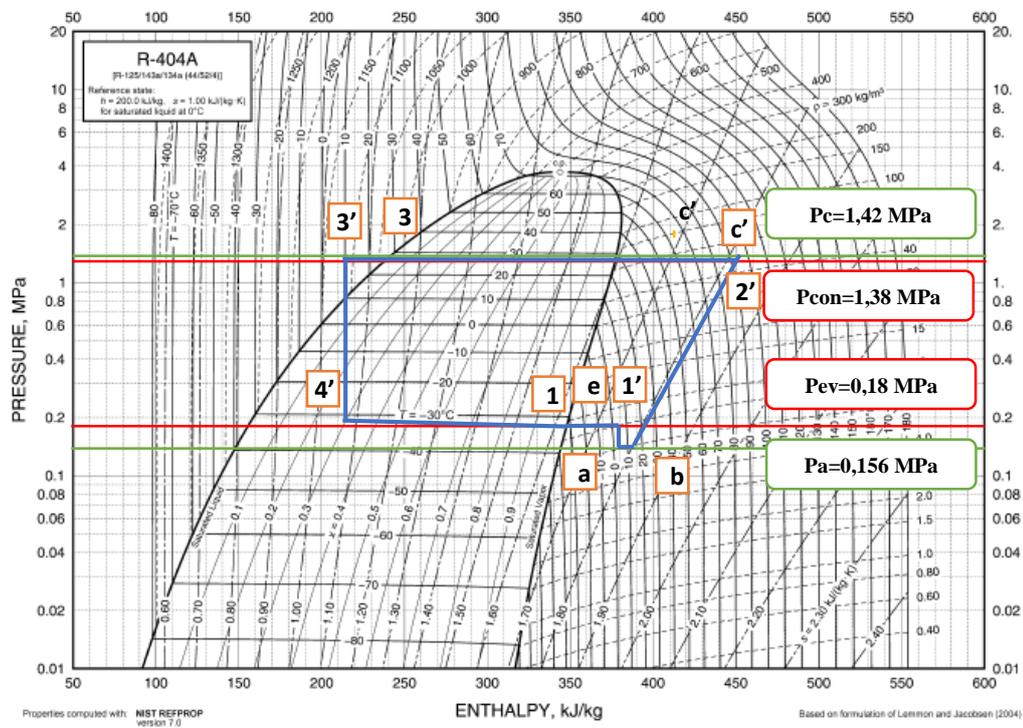
$$T_{con} = 28,61 \text{ }^\circ\text{C} ; T_{ev} = -32,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tabla 55-6. Estados del ciclo de refrigeración (carga) uso de intercambiador de calor

Estado	Presión absoluta (MPa)	Temperatura (°C)	Entalpía (KJ/kg)	Entropía (KJ/kg°K)	Calidad
1	0,187	-32,1	347,65	1,626	-
e	0,187	-22,31	351	1,65	-
1'	0,187	6,18	385	1,75	-
a	0,156	4	385	1,77	-
b	0,156	9	390	1,8	-
2'	1,38	92,68	450	1,82	-
3	1,38	26,62	241,65	1,142	-
c'	1,42	91	450	1,81	-
3'	1,38	10,31	222	1,05	-
4'	0,198	-31	222	1,08	0,3

Fuente: Autores

Figura 78-6. Diagrama del ciclo real del sistema (carga) uso de intercambiador de calor



Fuente: Autores

El coeficiente de performance es de:

$$COP_c = \frac{T_{ev}}{T_{con} - T_{ev}} = \frac{241,05}{301,76 - 241,02}$$

$$COP_c = 3,97$$

$$COP = \frac{h_b - h_4}{h_{cr} - h_b} = \frac{390 - 222}{450 - 390}$$

$$COP = 2,8$$

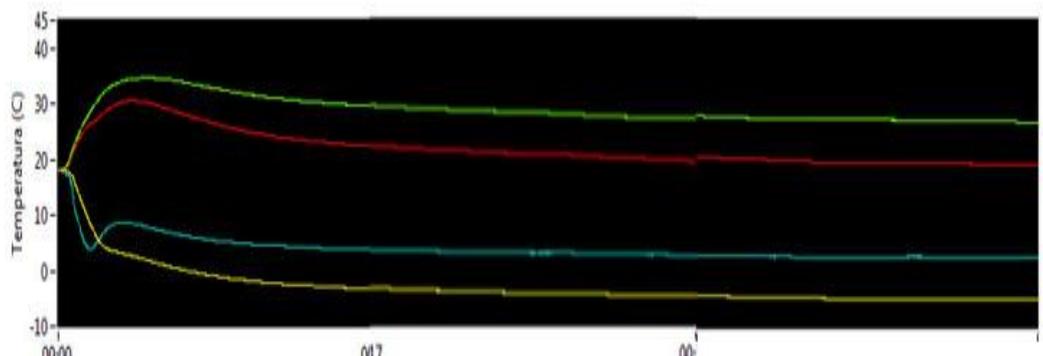
$$\eta_r = \frac{COP_r}{COP_c} = \frac{2,8}{3,97} = 0,705$$

$$\eta_r = 70,53\%$$

Se obtiene una eficiencia frigorífica de 70,53% en esta experimentación, cuando se utiliza el intercambiador de calor y la cámara se encuentra con agua embotellada (carga térmica) en su interior.

La variación de temperaturas del intercambiador en ésta experimentación se puede visualizar en siguiente figura.

Figura 79-6. Intercambiador de calor con carga térmica



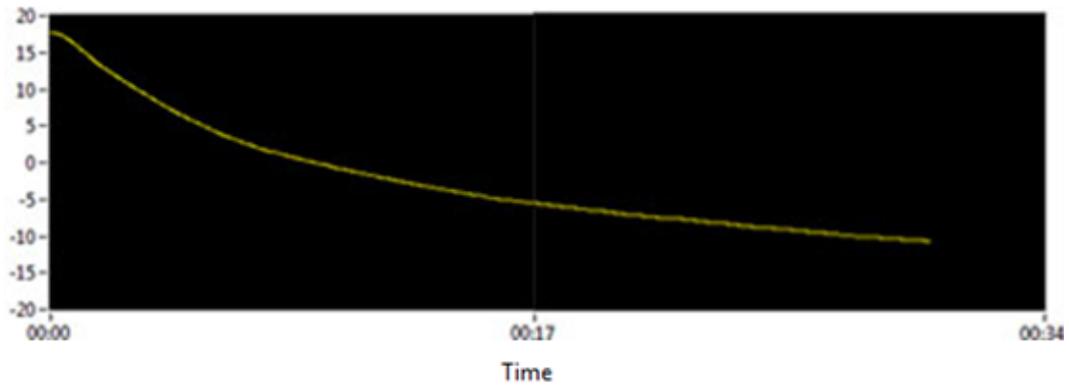
Fuente: Autores

- Ingreso al intercambiador de calor en baja presión-amarillo
- Salida del intercambiador de calor en alta presión-rojo
- Salida del intercambiador de calor en baja presión-celeste
- Ingreso al intercambiador de calor en alta presión-verde

Se observa el comportamiento típico del intercambiador de calor de flujo cruzado, por la acción de este se tiene un aumento en el efecto refrigerante de 5 KJ/kg y el sistema tiene una ganancia en recalentamiento de 10 KJ/Kg

6.3.3 Experimentación sin carga térmica. Para esta experimentación se la efectúa con la cámara vacía y sin utilizar el intercambiador de calor, hasta que la temperatura llegue a -15°C para el proceso de congelación.

Figura 80-6. Temperatura de la cámara vs tiempo



Fuente: Autores

En la figura se puede visualizar la variación de la temperatura en el interior de la cámara en función del tiempo, donde se puede ver que se demora un tiempo de 42 minutos y 26 segundos hasta llegar a la temperatura de congelación -15°C , el tiempo de parada del sistema es de 9 minutos y 9 segundos por el diferencial de temperatura; y en el reencendido del sistema se requiere un tiempo de 7 minutos y 24 segundos.

Las presiones marcadas por los manómetros son:

Tabla 56-6. Presiones del sistema sin carga térmica

No.	Presión	Presión manométrica (MPa)	Presión absoluta (MPa)
1	Alta presión	1,34	1,42
2	Baja presión	0,13	0,2
3	Baja presión(salida de evaporador)	0,15	0,22

Fuente: Autores

La presión y temperatura de condensación y evaporación correspondientes para esta experimentación son:

$$P_{con} = 1,42 \text{ MPa} ; P_{ev} = 0,2 \text{ MPa}$$

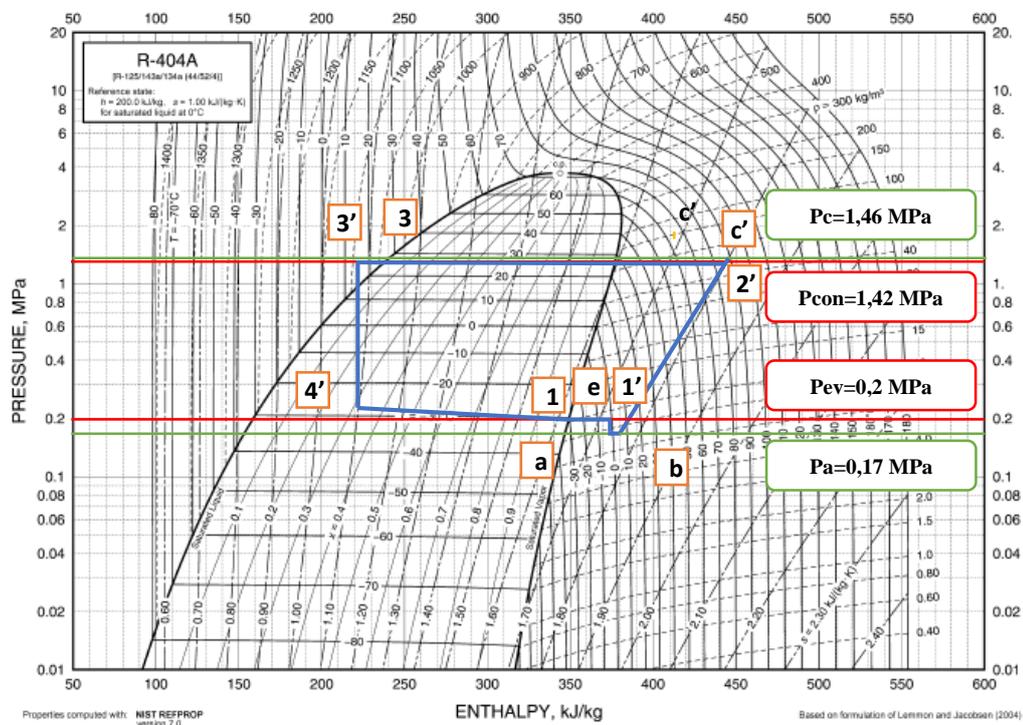
$$T_{con} = 30,12 \text{ } ^\circ\text{C} ; T_{ev} = -30,45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabla 57-6. Estados del ciclo de refrigeración sin carga térmica

Estado	Presión absoluta (MPa)	Temperatura (°C)	Entalpía (KJ/kg)	Entropía (KJ/kg°K)	Calidad
1	0,2	-30,45	348,61	1,6248	-
e	0,2	-21,56	357	1,67	-
1'	0,2	-2,75	374	1,72	-
a	0,17	-15	374	1,73	-
b	0,17	-5	380	1,75	-
2'	1,42	90,63	445	1,8	-
3	1,42	27,68	240	1,15	-
c'	1,46	89,63	445,5	1,795	-
3'	1,42	16,5	221	1,07	-
4'	0,22	-28	221	1,1	0,31

Fuente: Autores

Figura 81-6. Diagrama del ciclo real del sistema sin carga térmica



Fuente: Autores

El coeficiente de performance o funcionamiento es:

$$COP_c = \frac{T_{ev}}{T_{con} - T_{ev}} = \frac{242,69}{303,27 - 242,69}$$

$$COP_c = 4$$

$$COP = \frac{h_b - h_4}{h_{cr} - h_b} = \frac{380 - 221}{445 - 380}$$

$$COP = 2,446$$

$$\eta_r = \frac{COP_r}{COP_c}$$

$$\eta_r = \frac{2,446}{4} = 0,6115$$

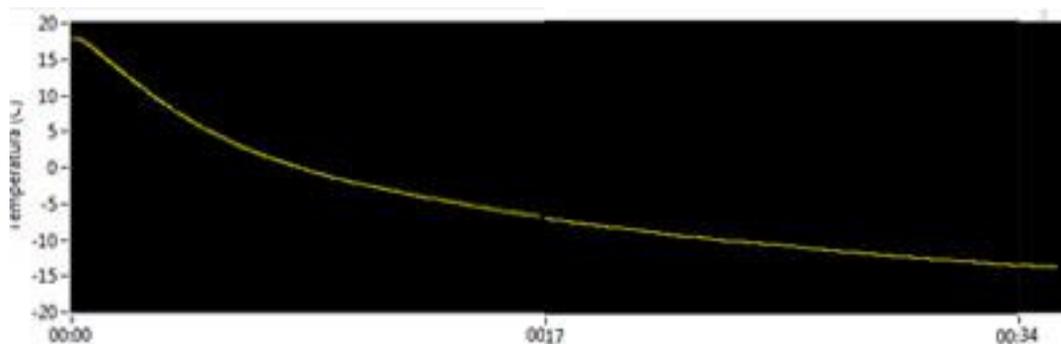
$$\eta_r = 61,15\%$$

Se obtiene una eficiencia frigorífica de 61,15 %.

6.3.4 Experimentación sin carga térmica e intercambiador de calor.

Para esta experimentación se la realiza sin carga en el interior de la cámara, utilizando el intercambiador de calor hasta que la temperatura de la cámara llegue a la temperatura para el proceso de congelación de -15°C

Figura 82-6. Temperatura de la cámara vs tiempo



Fuente: Autores

Se puede ver que para descender desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de congelación de -15°C con el uso del intercambiador de calor se requiere un tiempo de 34 minutos y 36 segundos, un tiempo de 7 minutos y 48 segundos en el tiempo de parada.

Tabla 58-6. Presiones del sistema (sin carga) y con intercambiador de calor

No.	Tipo de presión	Presión manométrica	Presión absoluta
1	Alta presión	1,44	1,51
2	Baja presión	0,12	0,19
3	Baja presión salida evaporador	0,14	0,2

$$P_{con} = 1,51 \text{ MPa} ; P_{ev} = 0,19 \text{ MPa}$$

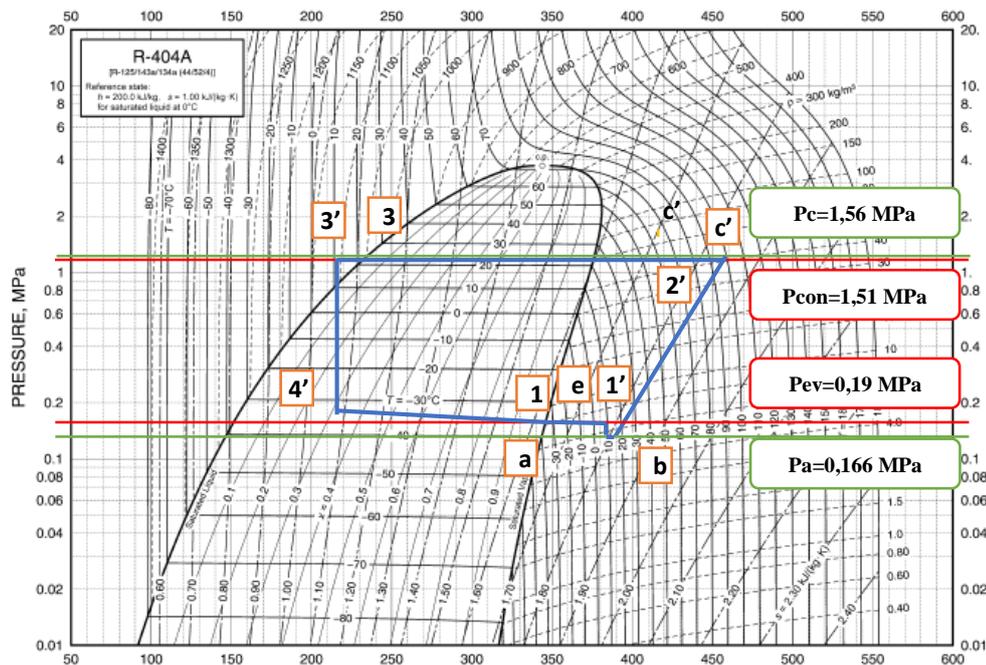
$$T_{con} = 32,16 \text{ } ^\circ\text{C} ; T_{ev} = -31,71 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabla 59-6. Estados del ciclo de refrigeración (sin carga) con intercambiador de calor

Estado	Presión absoluta	Temperatura (°C)	Entalpía (KJ/kg)	Entropía (KJ/kg°K)	Calidad
1	0,19	-31,71	347,88	1,626	-
e	0,19	-22,31	356	1,66	-
1'	0,19	8,5	380	1,76	-
a	0,166	-10	380	1,77	-
b	0,166	0	385	1,79	-
2'	1,51	96	451	1,83	-
3	1,51	29,68	247,22	1,16	-
c'	1,56	94	451	1,82	-
3'	1,51	12	220	1,06	-
4'	0,2	-30	220	1,085	0,31

Fuente: Autores

Figura 83-6. Diagrama del ciclo real de la cámara vacía



Fuente: Autores

El coeficiente de performance se obtiene de la siguiente forma.

$$COP_c = \frac{T_{ev}}{T_{con} - T_{ev}} = \frac{241,44}{305,31 - 241,44}$$

$$COP_c = 3,78$$

$$COP = \frac{h_b - h_4}{h_{c'} - h_b}$$

$$COP = \frac{385 - 220}{451 - 385}$$

$$COP = 2,5$$

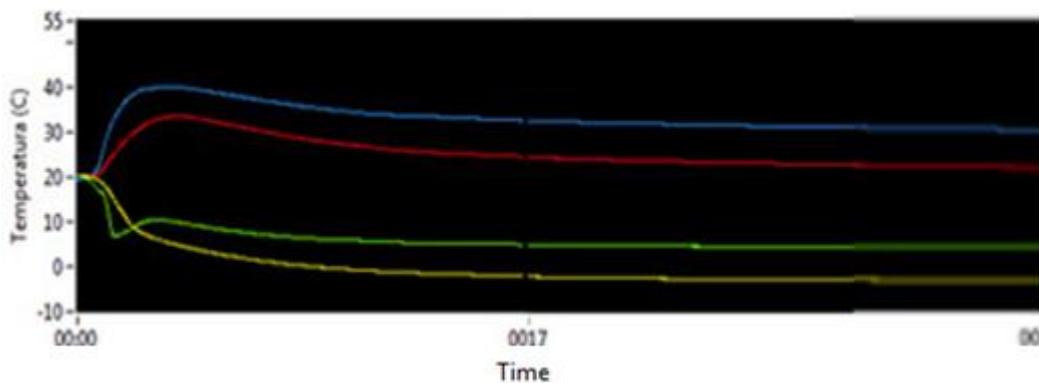
$$\eta_r = \frac{COP_r}{COP_c}$$

$$\eta_r = \frac{2,5}{3,78} = 0,66$$

$$\eta_r = 66,13\%$$

Se obtiene una eficiencia frigorífica de 66,13%

Figura 84-6. Temperatura del intercambiador de calor vs tiempo



Fuente: Autores

- Ingreso al intercambiador de calor en baja presión-amarillo
- Salida del intercambiador de calor en alta presión-rojo
- Salida del intercambiador de calor en baja presión-verde
- Ingreso al intercambiador de calor en alta presión-celeste

Se tiene una ganancia en recalentamiento de 5KJ/Kg y una ganancia en el efecto refrigerante de 1 KJ/Kg.

En la siguiente tabla se puede ver los resultados finales de la experimentación realizada con la cámara vacía y con agua embotellada, con el uso del intercambiador de calor y sin este en proceso de conservación y congelación.

Tabla 60-6. Resultados de la experimentación del sistema de refrigeración

Proceso	Temperatura	Carga térmica	Intercambiador de calor	Rendimiento (%)	Tiempo
Conservación	2°C	Sin carga	Sin uso	55,57	5'10
		Agua embotellada	Sin uso	57,19	11'30
		Sin carga	Con uso	69,95	8'2
		Agua embotellada	Con uso	71,74	7'14
Congelación	-15°C	Agua embotellada	Sin uso	67,5	1h40'15
		Agua embotellada	Con uso	70,52	49'32
		Sin carga	Sin uso	61,15	42'26
		Sin carga	Con uso	66,13	34'36

Fuente: Autores

6.4 Análisis de resultados de la experimentación

El rendimiento del sistema de refrigeración cuando se diseñó para alcanzar la temperatura de -15°C en forma ideal es de 75%, de forma real de 62% y en forma experimental sin utilizar el intercambiador de calor y con agua embotellada en el interior de la cámara (misma que se utilizó para el diseño), se encontró que su rendimiento es del 67,5% que es próximo a los valores encontrados en el diseño.

El rendimiento del sistema de refrigeración cuando la cámara se encuentra con las 12 botellas de agua de 500 ml es más eficiente que cuando se encuentra vacía. En el proceso de conservación cuando no se utiliza el intercambiador de calor se encontró que el rendimiento con carga térmica (agua embotellada) es del 57,19% y cuando está vacía es del 55,57%, existiendo un aumento en el rendimiento del sistema de 1,62%; cuando se utiliza el intercambiador de calor el rendimiento de la cámara con carga térmica es de 71,74% y cuando está vacía es de 69,95% existiendo un aumento de la eficiencia del sistema de 1,79% en este caso.

En el proceso de congelación (-15°C) cuando no se utiliza el intercambiador el rendimiento del sistema con agua embotella es de 67,5% y cuando está vacía es de 61,15% existiendo un aumento

en el rendimiento de 6,35% cuando existe carga térmica en la cámara y cuando se usa el intercambiador de calor el rendimiento es del 61,15%(sin carga térmica) y de 70,52%(agua embotellada) existiendo un aumento en el rendimiento del 4,39% en este caso.

Cuando se utiliza el intercambiador el rendimiento del sistema de refrigeración es mayor, en conservación con el uso del intercambiador de calor sin carga térmica el rendimiento aumenta 14,38%, cuando se encuentra agua embotellada en la cámara existe un aumento en el rendimiento de 14,55% con el uso del intercambiador. En el proceso de congelación cuando se encuentra agua embotellada en la cámara y se utiliza el intercambiador de calor existe un aumento de 4,24% en la eficiencia del sistema, si no existe carga térmica en la cámara con el uso del intercambiador de calor existe un aumento de 4,98% en el rendimiento del sistema. Es por eso que cuando se utiliza el intercambiador de calor demora el menos tiempo en llegar a la temperatura seteada en el termostato digital en ambos procesos.

La temperatura desciende desde el ambiente hasta la temperatura seteada por el termostato digital, la curva que describe esta variación en función del tiempo es pronunciada en los primeros minutos, conforme el tiempo sigue transcurriendo la curva tiende a estabilizarse, lo que quiere decir que toma más tiempo en reducir un grado en su temperatura hasta en tramos final que en el inicio de la experimentación, hasta llegar a la temperatura seteada por el termostato digital.

Cuando se utiliza el intercambiador de calor se obtiene una ganancia en el efecto refrigerante y el recalentamiento, comparándolos con la carga térmica y sin ella.

CAPÍTULO VII

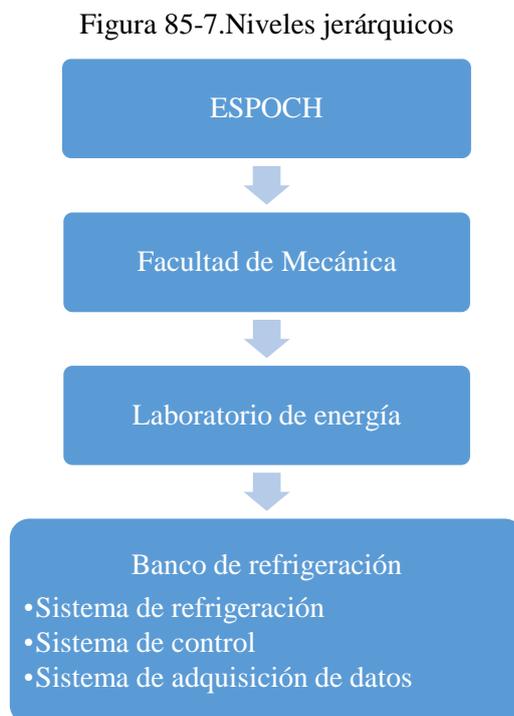
7 PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO, SEGURIDAD Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

7.2 Programación del mantenimiento del sistema de refrigeración.

7.2.1 Niveles y codificación de equipos.

Como primer paso previo a la codificación se debe realizar una lista de los equipos, elementos y partes de las máquinas y sistemas existentes en el lugar donde se planifica implementar una programación de mantenimiento. Una codificación es asignada de forma jerárquica descendente existiendo una relación de dependencia entre los distintos niveles. Los niveles jerárquicos según la norma ISO 14224 se considera como industria, categoría de empresa, instalaciones, planta, sección o sistemas, equipo o unidad, subunidad, componentes y partes.

Para realizar la codificación de los equipos y partes del sistema de refrigeración existente en el laboratorio de energía se considera la siguiente estructura arbórea de la figura 85 donde se ilustra la relación de dependencia de los niveles considerados para la codificación de los elementos que constituyen el sistema.



Fuente: Autores

Se realiza una lista de equipos, elementos y partes que constituyen el sistema de refrigeración en el laboratorio de energía; debido a la existencia de varios elementos del mismo tipo se procede a una codificación alfanumérica donde las letras representan la ubicación del equipo y los elementos redundantes están asignados con un número correlativo que será de gran ayuda al momento de registrar su mantenimiento en las fichas respectivas. En la tabla 61 se aprecia el formato de codificación; en este caso se consideró clasificar los diferentes elementos dentro de los sistemas de refrigeración, de control, y de adquisición de datos en las tablas 62, 63 y 64 respectivamente.

Tabla 61-7. Formato de codificación de ubicación

Codificación	
E	Epoch
M	Facultad Mecánica
L	Laboratorio Energía
B	Banco de refrigeración
R	Sistema de Refrigeración
C	Sistema Control
A	Sistema de adquisición de datos

Fuente: Autores

Tabla 62-7. Codificación de los equipos y accesorios del sistema de refrigeración

Sistema de refrigeración	
Cámara	E M L C C
Compresor	E M L C SR CP
Condensador	E M L C SR CD
Evaporador	E M L C SR EV
Intercambiador de calor	E M L C SR IC
Acumulador de succión	E M L C SR AS
Recipiente de líquido	E M L SR RL
Sistema de descarche	E M L SR SD
Válvula de expansión	E M L C SR VE
Válvula solenoide	E M L C SR VS
Válvula de paso ¼	E M L C SR VPA
Válvula de paso 3/8	E M L C SR VPB
Válvula de descarga	E M L C SR VD
Visor líquido – humedad	E M L C SR LH
Filtro secador	E M L C SR FS
Sistema de descarche	E M L SR SD
Presostato de alta y baja	E M L C SR P
Manómetro de alta	E M L C SR MA
Manómetro de baja	E M L C SR MB
Sistema de descarche	E M L SR SD

Fuente: Autores

Tabla 63-6. Codificación de los componentes del sistema eléctrico y de control.

Sistema eléctrico – control	
Controlador programable de temperatura	E M L C SE CT
Pulsadores on/off	E M L C SE O
Luces piloto	E M L C SE LP
Relé programable Zelio	E M L C SE RZ
Contactador	E M L C SE CO
Relé	E M L C SE RE
Base de relé	E M L C SE BR
Breaker	E M L C SE BE

Fuente: Autores

7.2.2 Tareas de mantenimiento.

El mantenimiento del sistema de refrigeración asegura la continua operación del equipo y minimizando el riesgo de fallo, para las tareas de mantenimiento indica el tiempo requerido y la frecuencia será mensual y semestral, ya que como el equipo es para fines educativos no necesita una programación de tareas semanales, las tareas se muestran en el manual de mantenimiento.

7.3 Manual de procedimientos del sistema de refrigeración.

Todos los manuales corresponden a documentos que cada banco de pruebas del laboratorio debe tener, por esto se plantea realizar manuales para un adecuado registro y operación del sistema. Al final del manual se muestran fichas resúmenes donde se indica las partes del sistema de refrigeración, componentes, operación y seguridad del equipo. En el manual de procedimientos se muestra detalladamente los componentes del sistema de refrigeración y su ubicación, el diagrama de procesos para indicar el funcionamiento y puesta en marcha del sistema. Los procedimientos de mantenimiento a realizarse dependerán exclusivamente de las tareas de mantenimiento en los equipos que componen el sistema. Toda la información antes mencionada se indica en el anexo N en la sección respectiva.

7.4 Manual de seguridad y prevención de riesgos del sistema de refrigeración.

Se recomienda poner en práctica las recomendaciones mencionadas, el documento denominado “manual de seguridad” tiene como propósito principal informar a los usuarios sobre los diferentes riesgos y precauciones con el manejo del refrigerante R-404A así como la manipulación del sistema de refrigeración tomando las recomendaciones de la norma ISO 5149 denominada “Sistemas de refrigeración mecánicos usados para enfriamiento y calefacción, requisitos de seguridad” recomienda un conjunto de acciones y medidas preventivas con la finalidad de crear

un ambiente con actitudes positivas que impulsen la seguridad para evitar o minimizar los diferentes riesgos tanto para los equipos como para el personal, constituyendo así una herramienta fundamental en el ámbito de la refrigeración. El manual de seguridad se muestra en el anexo N en su parte respectiva.

7.5 Guías del laboratorio del sistema de refrigeración.

Se realizaron cinco guías de laboratorio para realizar pruebas en el sistema de refrigeración las cuales se adjuntan en el anexo M, la primera guía de laboratorio tiene como finalidad realizar un estudio del ciclo de refrigeración.

CAPÍTULO VIII

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Se realizó un estudio bibliográfico para conocer las partes constitutivas de un sistema de refrigeración, el funcionamiento de cada uno de los equipos y accesorios en la instalación frigorífica para un adecuado proceso de refrigeración, así como de ciclo de compresión mecánica.

Se rediseño cada uno los sistemas que componen el banco de pruebas, el sistema de refrigeración en sí, el sistema eléctrico y el sistema de adquisición de datos, donde se conservaron ciertos elementos que sirvieron para la constitución del nuevo.

El equipo se encontró en una disposición inadecuada ocupando un espacio considerado en el laboratorio, por lo que fue necesario realizar un rediseño y una reconstrucción para tener dentro del mismo equipo los dos procesos, tanto el de congelación como el de conservación, mejorando la funcionalidad, facilitando la operatividad, mejorando considerablemente su ergonomía, y así ser apto para la realización de las correspondientes prácticas de laboratorio.

Se evaluó de forma experimental el banco de pruebas donde se analizaron los datos en el inciso correspondiente utilizando 12 botellas de agua de 500 ml como carga térmica y en ciertas experimentaciones no se utiliza carga alguna, el intercambiador de calor se utilizó para los dos procesos tanto el de congelación como el de conservación.

El equipo reconstruido permite a los estudiantes apreciar la diferencia que existe entre la refrigeración para congelación de la de conservación, en donde influyen muchos parámetros para obtener los resultados finales.

Siempre que se realice alguna experimentación con el intercambiador de calor este resulta más eficiente que, si se realizase con las mismas condiciones de operación, pero sin el uso del intercambiador.

Se determinó que el sistema de refrigeración es más eficiente cuando se encuentra con carga térmica y se utiliza el intercambiador de calor, por otro parte el sistema menos eficiente es aquel que se realiza sin carga térmica y sin el uso del intercambiador de calor.

El tiempo que tarda en encenderse por el diferencial de temperatura una vez apagado por la temperatura seteada es muy baja, razón por lo que existe ganancia de calor por transmisión en la cámara, el aislante de poliuretano puede encontrarse deteriorado.

En el presente documento se deja los correspondientes manuales de operación, mantenimiento y seguridad con el fin de que sean aplicados para evitar accidentes y cualquier tipo de eventualidad desfavorable en la utilización del equipo para la realización de las prácticas.

Prestar mucha atención a la información que proporcionan los fabricantes de los equipos a la hora de realizar el montaje, la manipulación o el mantenimiento para evitar dañar los equipos.

La cantidad de refrigerante que se carga en el sistema es de vital importancia debido a que un exceso o una falta considerable pueden producir daños al sistema.

8.2 Recomendaciones

Para garantizar que no existan fugas en las tuberías y en los accesorios del sistema de refrigeración se puede hacer de dos maneras, introduciendo aire a presión mediante un compresor o también realizar un vaciado del sistema con una bomba de vacío.

Si se emplea un compresor para verificar las fugas es necesario disponer de una unidad de mantenimiento FRL para evitar que ingrese al sistema la humedad del medio ambiente.

Para garantizar la hermeticidad del sistema de refrigeración es necesario dejar 25 minutos o más el proceso de vacío, observando que las presiones de los manómetros no tengan ninguna variación.

Las tuberías de cobre empleadas en la reconstrucción del equipo deben ser cortadas con un cortador de tubos evitando el arco de sierra por su generación de limallas, que pueden quedar en el interior de la tubería y al no ser retiradas producen daños en los equipos y accesorios.

En las uniones roscadas para tener una mejor junta se debe emplear teflón industrial y permatex con un adecuado apriete entre las partes a unir.

A la hora de realizar la carga de refrigerante utilizar los elementos adecuados con la finalidad de realizar una buena recarga. Utilizar una balanza, la válvula de carga, un manifold que permita controlar el ingreso de refrigerante y evitar introducir refrigerante líquido al compresor.

Al realizar las conexiones eléctricas del tablero de control evitar energizar las luces indicadoras con tensión que proviene de las bobinas de los contactores debido a que estas generan una tensión residual misma que se aprecia en un parpadeo en los indicadores luminosos y al verificar las tensiones con un multímetro estas tienen serias variaciones mismas que pueden afectar a los demás componentes eléctricos.

En el tablero de control utilizar los dispositivos eléctricos de protección adecuados para evitar que sus accesorios se dañen por posibles caídas o excesos de tensión. El guardamotor debe ser seleccionado para que sea capaz de soportar las intensidades de corriente utilizadas por los equipos.

Evitar en lo posible la manipulación de las tuberías, principalmente aquellas que se encuentran dobladas ya que al ser de cobre es fácil alterar su geometría pudiendo producir grietas dando lugar a la fuga de refrigerante.

Verificar la cantidad de voltaje a suministrar a los equipos, porque si el voltaje es inferior el equipo puede funcionar, pero no en óptimas condiciones disminuyendo considerablemente el tiempo de vida útil, y si la tensión es mayor a la que puede soportar el equipo se estropea totalmente quedando inservible y provocando daños colaterales a los demás equipos o un accidente de trabajo con posibles daños irreversibles.

La primera parte de carga de refrigerante se lo debe hacer en forma de líquido para lo que es necesario invertir el recipiente del refrigerante. No se debe introducir un refrigerante diferente al R 404 A.

Al momento de completar la carga de refrigerante asegurarse de hacerlo de la forma correcta y de abrir la válvula adecuada en el manifold porque caso contrario la presión del sistema se introduce en el recipiente de refrigerante y este puede explotar causando lesiones graves en los operadores.

En el proceso de congelación como de refrigeración se debe realizar el descarche del evaporador ya que al existir aire al interior de la cámara esta se condensa en la tubería del evaporador, por lo que debe ser eliminada mediante el proceso de deshielo.

En la conformación de las líneas de alta y baja presión del sistema de refrigeración utilizar tubería de cobre para refrigeración esta debe estar limpia y no debe contener grasas, aceites o cualquier otro tipo de sustancia que afecten al sistema.

Dentro del sistema de refrigeración, en la parte del filtro deshidratador debe existir un bypass para facilitar su mantenimiento o reemplazo en caso de ser necesario.

En las lecturas realizadas en los manómetros evitar el error de paralaje para obtener una adecuada toma de datos.

Si la unidad condensadora no está acoplada en el sistema de refrigeración, ésta no debe ser encendida con la finalidad de verificar su funcionamiento porque se terminará estropeándola.

En la prueba de vaciado utilizar un vacuómetro que permita monitorear el proceso de vacío para evitar llegar a un vacío no deseado.

Leer y poner en práctica lo indicado en los diferentes manuales de mantenimiento y seguridad referentes a refrigeración y a riesgos eléctricos.

BIBLIOGRAFÍA

ACEROS INDUSTRIALES. *Tubería flexible tipo L.* [En línea] 2016. [Consulta: 12 de Noviembre de 2016.] Disponible en: http://www.acerosindustriales.com.co/sitio/images/stories/pdfs/Tablas/3_TUBERIA_DE_COBRE_C12200.pdf.

AREA COOLING SOLUTIONS. *Recipiente de líquido.* [En línea] [Consulta: 4 de Abril de 2016.] Disponible en: <http://www.area.es/producto/recipiente-de-liquido-area/0-5-litros>.

ASHRAE, Hand book. *Refrigeration.* Atlanta, 2006. pp. 44.5.

ASME. *Organizacion.* [En línea] [Consulta: 12 de Octubre de 2016.] Disponible en: <https://www.asme.org/>.

BEIJER. *Manómetro de carga.* [En línea] 2017. [Consulta: 1 de Junio de 2016.] Disponible en: http://www.beijer.es/media/attachment/file/c/a/catalogo_beijer_2015-2016.pdf.

BOHN. *Evaporador.* [En línea] Enero de 2016. [Consulta: 20 de Abril de 2016.] Disponible en: <http://www.bohn.com.mx/archivospdf/BCT-001-CT-1-Catalogo-Condensado%20Bohn-Tecnico.pdf>.

BOTERO, Camilo. *Refrigerantes una luz al final del tunel? Refrinoticias al Aire.* [En línea] Octubre de 2015. [Consulta: 10 de Junio de 2016.] Disponible en: https://issuu.com/refrinoticias/docs/refrinoticias_al_aire_mexico_usa_la?e=1189869/30706744. ISBN 1870-1337.

CAMPUSSEIGT, Ivan & GONZALEZ, Guillermo. *Manómetro de alta presión.* [En línea] 2009. [Consulta: 22 de Junio de 2016.] Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/24421918/Protocolo-1-Wire>.

CAMSCO. *Luces indicadoras.* [En línea] [Consulta: 1 de Diciembre de 2016.] Disponible en: <https://www.camSCO.com.tw/spa/fuse-link-base/P39.html>.

CAMSCOINTERNACIONAL. *Botoneros de paro.* [En línea] [Consulta: 27 de Noviembre de 2016.] Disponible en: http://www.camSCOinternational.com/productos/lampara_piloto.html.

ÇENGEL, Yunus A. & BOLES, Michael A. *Termodinámica.* 7ma ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2012. pp. 15, 610, 860.

COPELAND. *Refrigeration Manual Part 4 – System Desing.* 1999. pp. 9-18.

DANFOSS. *Daispositivo de expansión.* [En línea] 2004. [Consulta: 12 de Abril de 2016.] Disponible en: <http://www.gruposertec.com.ar/catalogos/danfoss.pdf>.

DANFOSS. *Filtro secador deshidratador.* [En línea] 2017. [Consulta: 10 de Noviembre de 2016.] Disponible en: <http://products.danfoss.com/productdetail/refrigeration/filter-driers-and-sight-glasses/dml-filter-driers-hfc-optimized/dml-eliminator-flare-connections/023z5035/#/>.

DANFOSS ENGINEERING TOMORROW. *Como evitar el fallo de componentes en sistema de refrigeración industrial.* [En línea] 2017. [Consulta: 2 de Octubre de 2016.] Disponible en: <http://danfoss.ipapercms.dk/refrigerationandairconditioning/RA/DanfossIndustrialRefrigeration/AvoidingComponentFailureinIndustrialRefrigerationSystem/?Page=2>.

DIRECT INDUSTRY. *Intercambiador de calor.* [En línea] [Consulta: 4 de Mayo de 2016.] Disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/danfoss-refrigeration-air-conditioning/product-35691-1298693.html>.

DOSSAT, Roy. *Principios de Refrigeración.* México: Continental, 2001. pp. 154, 156, 459.

EL COBRE. *Manual del tubo y accesorios de cobre.* [En línea] [Consulta: 5 de Junio de 2016.] Disponible en: http://elcobre.com/sites/default/files/publication_files/manual-tubo-cobre.pdf.

ELECTROLUX RECAMBIOS Y ACCESORIOS. *Sistema de deshielo.* [En línea] [Consulta: 2 de Junio de 2016.] Disponible en: <http://recambios.electrolux.es/product/2031851013/Resistencia+de+descongelaci%C3%B3n+para+frigor%C3%ADfico+%2F+congelador>.

EMERSON CLIMATE. *Manual Técnico de Refrigeración y Aire Acondicionado.* [En línea] 2013. [Consulta: 1 de Mayo de 2016.] Disponible en: <http://www.emersonclimate.com/es-LA/Resources/Documents/Emerson-ManualTecnico2013.pdf>.

GIZ PROKLIMA. *Buenas Practicas de Refrigeración., presostato dual.* [En línea] 2010. [Consulta: 16 de Mayo de 2016.] Disponible en: <https://www.giz.de/expertise/downloads/giz2011-es-buenas-practicas-de-refrigeracion.pdf>.

GONZALES SIERRA, Carlos. *Refrigeracion Industrial: Montaje y Mantenimiento de Instalaciones Frigoríficas.* 1a ed. Barcelona: Técnica, 2012. pp. 23, 32, 47, 64, 117, 146, 161, 166, 188.

ISOVER. *Aislante flexible ntc.* [En línea] [Consulta: 6 de Octubre de 2016.] Disponible en: <https://www.isover.es/productos/tuberias-armaflex-af>.

JUTGLAR, Luis & MIRANDA, Ángel L. *Técnicas de refrigeración.* 1a ed. Barcelona: Marcombo S.A., 2008. pp. 11, 22, 127, 128, 143.

MALAVÉ, José. *Proyecto de cámara para refrigeracion de limones de exportación.* (tesis). (Ingeniería): Escuela Superior Politecnica del Litoral. Guayaquil. [En línea] 29 de Enero de 2016. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/4445/6965.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MANCINI DI MECO, Pietro. *Refrigeración comercial, doméstica, industrial y aire acondicionado.* 1a ed. México: Trillas S.A., 2004. pp. 22, 45, 128, 134.

MIYARA, Federico. *Fceia materiales.* [En línea] 2004. [Consulta: 15 de Junio de 2016.] Disponible en: <http://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/da-ad.pdf>. B09.01.

MOROCHO, M. *Administración del mantenimiento.* Riobamba, 2009. pp15.

PATAGONIATEC. *Arduino y sensor.* [En línea] [Consulta: 4 de Diciembre de 2016.] Disponible en: <http://saber.patagoniatec.com/arduino-pro-micro-atmega32u4-arduino-argentina-ptec-leonardo/>.

PITA, Edward G. *Principios y Sistemas de Refrigeración.* 1a ed. México: Limusa, 1991. pp. 15, 28, 70, 72, 73, 74, 77, 101, 128, 135, 137, 158, 209, 272.

QE QUALITY. *Manómetros de carga.* [En línea] 2017. [Consulta: 10 de Noviembre de 2017.] Disponible en: http://es.qequality.com/categories/201/HERRAMIENTAS/products/155/JUEGOS_DE_COLECTOR.aspx.

RAMIREZ, Darío & ZUÑIGA, Milton. *Diseño, construcción y pruebas de un banco de refrigeración para laboratorio.* (tesis). (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. 2008. pp. 47, 48, 65.

REFECOL REFRIGERANTES ECOLOGICOS S.A. *Refrigerantes.* [En línea] [Consulta: 12 de Junio de 2016.] Disponible en: <http://www.refecol.com.ec/wp-content/uploads/2014/06/FichaTecnica-R404A.pdf>.

SCHNEIDER ELECTRIC. *Reles programables electric.* [En línea] 2017. [Consulta: 22 de Enero de 2017.] Disponible en: www.schneider-electric.com/en/product/download.../SR3B101FU.

SHENZHEN RUIFUJIE TECHNOLOGY CO. LTDA. *Condensador.* [En línea] [Consulta: 1 de Abril de 2016.] Disponible en: <http://spanish.refrigerationdevice.com/sale-4334204-refrigeration-air-cooled-condenser-for-cold-storage-fna-fnf-series.html>.

TECUMSEH. *Unidad condensadora.* [En línea] 2017. [Consulta: 5 de Noviembre de 2016.] Disponible en: <http://www.tecumseh.com/es/South-America/Products/Condensing-Units/UTY2446ZEST?fromsearch=1>.

VALENZUELA, Ramiro. *Apuntes de refrigeración.* Riobamba: 2010.

VILLANUEVA, Rafael. *Refrigerantes para aire acondicionando y refrigeración.* Alicante: Club Universitario, 2004. pp. 15.

WHITMAN, William C. & JOHNSON, William M. *Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado Tomo I.* 1st ed. Madrid : Paraninfo Thomson Learning, 2000. pp. 23, 36, 41, 46.

WHITMAN, William C. & JOHNSON, William M. *Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado Tomo II.* 1st ed. Madrid : Paraninfo Thomson Learning, 2000. pp. 3, 100.

ANEXOS