

**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO”
DE MANABÍ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA EN MECÁNICA NAVAL**

TRABAJO DE TITULACIÓN
Prevía a la obtención del Título de

INGENIERO MECÁNICO NAVAL

TEMA:

**DISEÑO, CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA
INSTALACIÓN FRIGORÍFICA MÓVIL CON SIMULACIÓN
DE FALLOS EJECUTADOS A TRAVÉS DE UN
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PARA
REALIZAR ANÁLISIS DE ÍNDICES DE AVERÍAS.**

AUTORES:

**DELGADO MERO FERNANDO RAFAEL
LOOR PALMA HERMÓGENES HUMBERTO**

DIRECTOR:

Ing. Héctor Ortiz Moncayo, Mg.

Manta – Manabí – Ecuador

2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

CERTIFICO, que el presente trabajo de titulación, estudiantes de la carrera de Mecánica Naval, señores: **Delgado Mero Fernando Rafael y Loor Palma Humberto Hermógenes**, con el tema: **Diseño, cálculo y construcción de una instalación frigorífica móvil con simulación de fallos ejecutados a través de un control lógico programable para realizar análisis de índices de averías**, ha cumplido con todos los requerimientos establecidos en la elaboración y proceso de una tesis; por lo tanto, dejo constancia a usted señor decano y por su intermedio al Honorable Consejo de Facultad, para los fines de trámites pertinentes.

Ing. Héctor Ortiz Moncayo, Mg.
TUTOR DE TESIS

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

La responsabilidad por los hechos, opiniones, ideas e informaciones vertidas en esta tesis corresponden exclusivamente a los autores, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecerá a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

Delgado Mero Fernando Rafael
C.I. 131324573-8

Loor Palma Humberto Hermógenes
C.I. 131336444-8

TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN

Los miembros del Tribunal de Calificación aprueban (con mención honorífica y/o recomendación para su publicación el Trabajo de Titulación, sobre el tema: **Diseño, cálculo y construcción de una instalación frigorífica móvil con simulación de fallos ejecutados a través de un controlador lógico programable para realizar análisis de índices de averías**, de los estudiantes: **Delgado Mero Fernando Rafael y Loo Palma Humberto Hermógenes**, alumnos de la carrera de Ingeniería Mecánica Naval de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

Manta, octubre de 2015.

Para constancia firman:

Lcdo. Luis Eduardo Chávez

Miembro de Tribunal de Calificación

Ing. Luis Aragundi Cuadros

Miembro de Tribunal de Calificación

Ing. Carlos Delgado Menoscal

Miembro de Tribunal de Calificación

Lic. Dennis Napa

Secretaria de Carrera Mecánica Naval

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, especialmente a todos quienes conforman la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval.

A mi compañero Humberto, por su enorme paciencia y colaboración, por haber sido mi compañero en las largas y agotadoras jornadas de trabajo, y sobre todo por haberme brindado su sincera amistad a lo largo de este camino lleno de experiencias.

Al Ing. Héctor Ortiz Moncayo, más que director de tesis, mi amigo, por su guía y apoyo en el desarrollo de este proyecto, sin su paciencia y acertados consejos este trabajo no hubiese tenido un feliz término.

Al Ing. Freddy Barreiro, por brindarnos su cooperación y asesoría, en la elaboración de este proyecto, su experiencia y enseñanzas fueron invaluableles.

Y a todos los docentes y compañeros que tuve la bendición de conocer a lo largo de mis años de estudio en la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval, por brindarnos sus enseñanzas y consejos en mi constante formación estudiantil

Fernando Rafael Delgado Mero

AGRADECIMIENTO

Desde lo más profundo de mí ser agradezco a dios por regalarme fe y sabiduría, a mi padre, mi madre, a mis hermanos y a todo el personal académico y administrativo de la carrera de Ingeniería Mecánica Naval.

A mis compañeros y en especial al compañero Fernando Delgado, por su cooperación en este trabajo.

Se le agradece de manera especial al director de nuestra tesis, el Ing. Héctor Ortiz Moncayo, por su orientación y experiencia para la realización de este proyecto.

Agradezco de manera especial a mi hermana Patricia Loor Palma, por su incondicional apoyo moral y económico, ya que sin ella no hubiese sido posible culminar esta meta propuesta.

Sin dejar de agradecer al Ing. Freddy Barreiro por brindarme su amistad y asesoría, ya que su ayuda fue parte importante para este trabajo.

Por lo tanto le doy mis más sinceros agradecimientos, GRACIAS a todos aquellos que respaldaron mis estudios en todo momento. Bendiciones.

Humberto Hermógenes Loor Palma

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a dios, pilar fundamental en mi vida, ya que sin su amor y misericordia, no hubiese salido victorioso del momento más triste de mi vida.

A mi padre Fernando, por ser ejemplo y modelo de vida para mí, por enseñarme el valor del trabajo y del sacrificio, y por enseñarme que la educación es la única garantía de un futuro digno; TE AMO.

A mi madre Rosa, por su infinito e inagotable amor, por brindarme principios morales y enseñarme el valor de la humildad, y sobre todo por haber cuidado de mí en todo momento; TE AMO.

A mis hermanos Douglas y Alexis, por su ejemplo y motivación para poder superarme día a día, en busca del bienestar familiar.

A Laura, mi esposa y mejor amiga, por su apoyo, paciencia y comprensión, por brindarme fortaleza y motivación en momentos en los que quise desmayar, y por ser el complemento de mi diario vivir; TE AMO.

A Enrique, por ser más que un amigo, un hermano para mí, por sus innumerables consejos y por ser mi compañero de batallas a lo largo de esta larga carrera universitaria.

Fernando Rafael Delgado Mero

DEDICATORIA

Dedico desde lo más profundo de mi alma, con amor y humildad este trabajo basado en sacrificio, satisfacción y dedicación.

A dios, por concederme la vida, por regalarme salud, fe, perseverancia y todo lo necesario para alcanzar este maravilloso objetivo.

A mis padres, por haberme inculcados principios y valores fundamentales para hacer de mí una persona de bien desde mi infancia, por cuidar y proteger de mí en todo momento, y sobre todo por ofrecerme su amor incondicional.

A mis hermanos por ser ejemplo de superación y logros para mi vida.

A mis catedráticos, por ser la guía incondicional que de una u otra manera supieron ayudar a ampliar mis conocimientos, además de haberme brindado su apoyo profesional para alcanzar la deseada meta propuesta.

Humberto Hermógenes Loor Palma

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	iii
TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
DEDICATORIA	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE TABLAS	xix
RESUMEN.....	xxi
SUMMARY	xxii
INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema.....	1
Formulación del problema	1
Hipótesis.....	2
Justificación.....	2
Objetivos	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	3
CAPÍTULO I.....	4
1. MARCO TEÓRICO	4
1.1 Principios Termodinámicos	4
1.1.1 Principios básicos de la refrigeración.....	4

1.1.2	Aplicaciones de la refrigeración.....	4
1.1.3	El calor	5
1.1.4	Presión	6
1.1.5	Temperatura.....	6
1.1.6	Transferencia de calor	7
1.1.6.1	Conducción	7
1.1.6.2	Convección	8
1.1.6.3	Radiación	9
1.1.7	Aislamiento térmico	9
1.1.8	Cambios de estado.....	9
1.1.9	Estados de los fluidos	10
1.1.10	Vapor saturado	11
1.1.11	Vapor sobrecalentado	11
1.1.12	Líquido saturado	11
1.1.13	Líquido Subenfriado.....	12
1.2	Ciclos de refrigeración	12
1.2.1	Ciclo invertido de Carnot	13
1.2.2	Ciclo ideal de Refrigeración por compresión de vapor	14
1.2.3	Ciclo real de Refrigeración por compresión de vapor.....	16
1.3	Necesidades térmicas de una cámara frigorífica.....	17
1.3.1	Transmisión de calor a través de paredes, suelo y techo de cámaras frigoríficas	17
1.3.2	Pérdidas de calor por carga de producto.....	17
1.3.3	Calor liberado por motores.....	18
1.3.4	Pérdidas de carga por renovación del aire y apertura de puerta	18
1.3.5	Calor total de refrigeración.....	19

1.4	Elementos de un sistema de refrigeración por compresión de vapor.....	19
1.4.1	Compresor	19
1.4.1.1	Tipos de compresores	20
1.4.2	Condensador	21
1.4.3	Evaporador	23
1.4.4	Dispositivo de expansión.....	24
1.4.5	Refrigerantes	25
1.4.5.1	Identificación y clasificación	25
1.4.5.2	Propiedades termodinámicas de los refrigerantes.....	26
1.4.5.3	Características físicas y químicas de los refrigerantes.....	27
1.4.6.	Dispositivos de regulación y control	27
1.4.6.1	Presostato	27
1.4.6.2	Termostato	28
1.4.6.3	Manómetro.....	28
1.4.6.4	Válvula Solenoide.....	29
1.4.6.5	Válvula reguladora de presión de evaporación.....	30
1.4.6.6	Válvula anti retorno (check)	30
1.4.6.7	Visor de líquido – humedad.....	30
1.4.6.8	Filtros desecantes.....	31
1.4.6.9	Tanque receptor de líquido refrigerante	31
1.4.6.10	Válvulas de paso	31
1.4.6.11	Tuberías	32
1.5	Elementos eléctricos.....	32
1.5.1	Breaker	33
1.5.2	Contactores	33
1.5.3	Controlador Lógico Programable (PLC)	33

1.5.3.1	Elementos de un controlador lógico programable (PLC)	34
1.5.3.2	Funcionamiento de un controlador lógico programable (PLC)	34
1.5.3.3	Tipos de controladores lógico programable (PLC).....	35
CAPÍTULO II		36
2.	DISEÑO Y CÁLCULO DEL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN	36
2.1	Introducción	36
2.2	Parámetros de dimensionamiento de las cámaras frigoríficas	36
2.3	Características de las cámaras frigoríficas	36
2.4	Dimensiones de cámaras frigoríficas	37
2.5	Selección de material y espesor del aislante a utilizar	37
2.6	Cálculo de cargas térmicas en cámara de congelación	39
2.6.1	Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en paredes, suelo y techo	39
2.6.1.2	Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en paredes laterales	41
2.6.1.3	Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en pared frontal	42
2.6.1.4	Carga total de calor por transmisión en paredes, suelo y techo	42
2.6.2	Cálculo de pérdidas de carga por producto	43
2.6.2.1	Cantidad de producto a congelar	44
2.6.2.2	Cálculo de pérdidas de carga por producto a congelar	44
2.6.3	Calor liberado por motores.....	45
2.6.4	Pérdidas de carga por renovación de aire y apertura de puerta	45
2.6.5	Calor total de refrigeración.....	46
2.6.6	Potencia nominal frigorífica.....	47
2.7	Calculo de cargas térmicas en cámara de conservación.....	47
2.7.1	Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en paredes, suelo y techo	48
2.7.1.1	Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en paredes laterales	48
2.7.1.2	Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en pared posterior	49

2.7.1.3	Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en pared frontal	49
2.7.1.4	Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en techo y suelo	50
2.7.1.5	Carga total de calor por transmisión en paredes, suelo y techo	50
2.7.2	Cálculo de pérdidas de carga por producto	51
2.7.2.1	Cantidad de producto a refrigerar	51
2.7.2.2	Cálculo de pérdidas de cargas por producto a refrigerar	52
2.7.3	Calor liberado por motor	52
2.7.4	Pérdidas de carga por renovación de aire y apertura de puerta	52
2.7.5	Calor total de refrigeración.....	53
2.7.6	Potencia nominal frigorífica	53
2.8	Cálculo y selección de refrigerante	53
2.8.1	Trazado de diagrama P-h para R-134A	53
2.8.2	Cálculo de entalpías en cada punto	54
2.8.3	Parámetros de ciclo de refrigeración	56
2.9	Selección de elementos de circuito de refrigeración.....	59
2.9.1	Unidad condensadora	59
2.9.1.1	Compresor.....	60
2.9.1.2	Condensador	60
2.9.1.3	Tanque recibidor de líquido.....	61
2.9.2	Selección de evaporadores	61
2.9.2.1	Selección de evaporador de cámara de congelación.....	61
2.9.2.2	Selección de evaporador de cámara de conservación.....	62
2.9.3	Selección de dispositivo de expansión	63
2.9.3.1	Válvula de expansión termostática	63
2.9.3.2	Tubo Capilar	64
2.9.4	Selección de diámetro tuberías	65

2.9.5	Selección de accesorios y dispositivos de control	66
2.9.5.1	Selección de válvulas solenoides	67
2.9.5.2	Selección de válvula reguladora de presión de evaporación	67
2.9.5.3	Selección de válvula de retención o anti retorno	67
2.9.5.4	Selección de válvulas de paso	68
2.9.5.5	Selección de filtros desecantes	68
2.9.5.6	Selección de manómetros	68
2.9.5.8	Selección de termostatos	69
2.9.6	Selección de componentes de circuito eléctrico	69
2.9.6.1	Selección de breaker principal	69
2.9.6.2	Selección de contactores	70
2.9.6.3	Selección de PLC	70
CAPÍTULO III		71
3.	MONTAJE Y CONSTRUCCIÓN	71
3.1	Introducción	71
3.2	Construcción de la estructura base	71
3.3	Montaje de la unidad condensadora	71
3.4	Montaje e instalación de evaporadores	72
3.4.1	Montaje de evaporador de cámara de conservación	72
3.4.2	Montaje de evaporador de cámara de congelación	73
3.5	Montaje de tuberías	73
3.6	Montaje de accesorios	76
3.6.1	Montaje de válvula de expansión termostática en cámara de congelación 76	
3.6.2	Montaje de tubo capilar en cámara de conservación	77
3.6.3	Montaje de válvula Solenoide	78

3.6.4	Montaje de Regulador de presión de evaporación	78
3.6.5	Montaje de la válvula anti retorno	79
3.6.6	Montaje de manómetros	79
3.6.7	Montaje de termostatos (FULL GAUGE)	80
3.7	Conexiones eléctricas	81
3.8	Programación del PLC	81
3.8.1	Programación de simulación de averías frigoríficas	82
CAPÍTULO IV		84
4.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y SIMULACIÓN DE FALLOS EN EL SISTEMA	84
4.1	Introducción	84
4.2	Procedimientos para puesta en marcha del equipo	84
4.2.1	Detección de fugas	84
4.2.2	Vacío en el sistema	85
4.2.3	Carga de refrigerante	86
4.2.4	Puesta en marcha y verificación de funcionamiento	88
4.3	Calibración, ajuste y programación de elementos de instalación frigorífica	89
4.3.1	Calibración – Ajuste de válvula reguladora de presión de evaporación	89
4.3.2	Calibración de válvula reguladora de presión de evaporación	90
4.3.3	Calibración – programación de termostato en cámara de congelación ..	91
4.3.5	Calibración de presostato dual	92
4.4	Prueba de funcionamiento simultáneo de cámaras frigoríficas con carga térmica	92
4.4.1	Desarrollo de prueba de funcionamiento	93
4.4.2	Resultados de prueba de funcionamiento	95
4.5	Simulación de averías en el sistema	96

4.5.1	Avería 1 - Restricción de refrigerante líquido hacia el dispositivo de expansión	97
4.5.1.1	Desarrollo de simulación de falla	97
4.5.1.2	Resultados de simulación de falla.....	97
4.5.2	Avería 2 – Condensación deficiente.....	98
4.5.2.1	Desarrollo de simulación de falla	98
4.5.2.2	Resultado de simulación de falla	98
4.5.3	Avería 3 – Falta de vaporización de refrigerante	99
4.5.3.2	Resultado de simulación de falla	100
4.5.4	Avería 4 – Fallo en Arranque de compresor	101
4.5.4.1	Desarrollo de simulación de falla	101
4.5.4.2	Resultado de simulación de falla	101
4.6	Comprobación de hipótesis	102
CAPITULO V		103
5.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	103
5.1	Introducción	103
5.2	Costos directos	103
5.2.1	Equipos y materiales	103
5.2.2	Mano de obra directa	106
5.3	Costos indirectos	107
5.4	Total de costo de fabricación	107
CONCLUSIONES		108
RECOMENDACIONES		109
BIBLIOGRAFÍA		110
ANEXOS		112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cambios de estado de una sustancia.....	10
Figura 2: Diagrama P – h	11
Figura 3: Ciclo de refrigeración por compresión de vapor	12
Figura 4: Ciclo invertido de Carnot	13
Figura 5: Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor	14
Figura 6: Diagrama P – h de ciclo ideal de refrigeración	14
Figura 7: Vista en corte de compresión hermético.....	21
Figura 8: Proceso de condensación	22
Figura 9: Condensador de tubos y aleta	23
Figura 10: Proceso de evaporación dentro de evaporador	23
Figura 11: Manómetros de baja y alta tensión	29
Figura 12: Estructura de un PLC.....	34
Figura 13: Diagrama P-h de ciclo de refrigeración.....	54
Figura 14: Ubicación de Unidad Condensadora	72
Figura 15: Montaje de evaporador dentro de cámara de conservación.....	72
Figura 16: Ubicación de evaporador dentro de cámara de congelación	73
Figura 17: Circuito de refrigeración.....	74
Figura 18: Delimitación de recorrido de líneas de tuberías y fijación de accesorios	75
Figura 19: Unión de tuberías con soldadura de plata al 5%.....	76
Figura 20: Montaje de bulbo de VET en tubería de succión.....	77
Figura 21: Montaje de tubo capilar de cámara de conservación	77
Figura 22: Válvula Solenoide instalada en línea de líquido.....	78
Figura 23: Montaje de regulador de presión de evaporación	78
Figura 24: Montaje de válvula anti retorno (check).....	79
Figura 25: Montaje de manómetro	79
Figura 26: Ubicación de sonda de termostato dentro de cámara de congelación .	80
Figura 27: Instalación frigorífica móvil	80
Figura 28: Diagrama para programación de PLC	82
Figura 29: Simulación de diagrama de averías frigoríficas a través del ZELIO SOFT	83

Figura 30: Corrección de soldadura en junta soldable que presentó fuga.....	85
Figura 31: Proceso de vacío en sistema	86
Figura 32: Carga de refrigerante en sistema	87
Figura 33: Asesoría técnica por parte de Ing. Arguello	89
Figura 34: Ajuste de recalentamiento de válvula de expansión termostática	90
Figura 35: Calibración de válvula reguladora de presión de evaporación	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Renovación de aire diario por las aperturas de puertas para las condiciones normales de explotación en cámaras negativas y cámaras por encima de 0°	18
Tabla 2: Calor del aire (kJ/m ³) para el aire exterior que penetra en la cámara fría	19
Tabla 3: Clasificación y nombre de los refrigerantes.....	26
Tabla 4: Características de la cámara de congelación.....	37
Tabla 5: Características de la cámara de conservación.....	37
Tabla 6: Dimensiones de la cámara de congelación	37
Tabla 7: Dimensiones de la cámara de conservación.....	37
Tabla 8: Propiedades del poliuretano expandido	38
Tabla 9: Características de cerramiento en cámara de congelación.....	40
Tabla 10: Propiedades del vidrio transparente	42
Tabla 11: Propiedades de la carne de res	43
Tabla 12: Características de cerramiento en cámara de conservación.....	48
Tabla 13: Unidad Condensadora seleccionada	59
Tabla 14: Características del compresor	60
Tabla 15: Características del condensador.....	60
Tabla 16: Características del recibidor de líquido.....	61
Tabla 17: Características de evaporador de cámara de congelación.....	62
Tabla 18: Características de evaporador de cámara de conservación	62
Tabla 19: Características de válvula de expansión seleccionada.....	64
Tabla 20: Catálogo para selección de tubo capilar.....	65
Tabla 21: Características de tubo capilar seleccionado.....	65
Tabla 22: Características de presostato dual	68
Tabla 23: Rangos de operación de Unidad condensadora	69
Tabla 24: Características de disyuntor electromagnético.....	69
Tabla 25: Características de contactor	70
Tabla 26: Características de PLC	70
Tabla 27: Dimensiones de la estructura metálica.....	71
Tabla 28: Lista de entradas asignadas para el PLC.....	81
Tabla 29: Lista de salidas asignadas para el PLC	82

Tabla 30: Tabla de parámetros de full gague MT-512Rí – Cámara congelación .	91
Tabla 31: Tabla de parámetros de full gague MT-511Rí - Cámara conservación	92
Tabla 32: Rangos de presión calibrador en presostato dual	92
Tabla 33: Datos iniciales para prueba de funcionamiento	93
Tabla 34: Datos de presiones y temperaturas de prueba de funcionamiento	94
Tabla 35: Equipos y dispositivos de control de sistema de refrigeración	103
Tabla 36: Materiales para construcción de cámara de congelación	104
Tabla 37: Materiales para construcción de cámara de conservación	104
Tabla 38: Elementos de circuito eléctrico	105
Tabla 39: Materiales para construcción de estructura metálica	105
Tabla 40: Total de costo de equipos y materiales	105
Tabla 41: Diseño y construcción de sistema de refrigeración.....	106
Tabla 42: Construcción de estructura metálica	106
Tabla 43: Construcción de cámaras frigorífica	106
Tabla 44: Total de mano de obra directa.....	106
Tabla 45: Total de costos directos.....	106
Tabla 46: Asesoramiento técnico	107
Tabla 47: Misceláneos.....	107
Tabla 48: Total de costos indirectos.....	107
Tabla 49: Total de costo de fabricación	107

RESUMEN

El propósito de este estudio consiste en el diseño y construcción de una instalación frigorífica móvil, que permita brindar conocimientos prácticos sobre detección de fallas y averías en un sistema de refrigeración real. Este estudio está estructurado por cuatro capítulos: el capítulo I donde se conoce el marco teórico, en el capítulo II se esboza el diseño térmico, el capítulo III donde se detalla la construcción y el montaje de los componentes que forman parte del sistema de refrigeración; y se concluye con el capítulo IV donde se describen las pruebas de funcionamiento y la simulación de fallas en la instalación frigorífica móvil.

El equipo funciona mediante un sistema de refrigeración mecánica, cuyos componentes principales son: una unidad condensadora de 3/4 HP, dos evaporadores a distintas temperaturas: el primer evaporador se instaló en un módulo que servirá como “cámara de congelación”, el segundo evaporador se instaló en un módulo que servirá como “cámara de conservación”; los mismos que operan con sus respectivos dispositivos de expansión, y accesorios de regulación y control.

El funcionamiento simultáneo de ambas cámaras frigoríficas, se logró mediante la instalación de una válvula reguladora de presión de evaporación en la succión de la cámara de conservación y una válvula anti retorno en la succión de la cámara de congelación. Parte importante de este proyecto es la simulación de diferentes averías frigoríficas, las mismas que se realizaron por medio de la instalación y programación de un PLC. Una vez construido el equipo se realizó una prueba de funcionamiento donde se constató que el desempeño del mismo es el adecuado y se efectuaron cuatro tipos de averías frigoríficas tales como: restricción de refrigerante hacia el dispositivo de expansión, condensación deficiente, falta de vaporización de refrigerante y fallo en arranque de compresor, que permitieron analizar los efectos negativos de las mismas en el funcionamiento del sistema.

SUMMARY

The purpose of this study involves the design and construction of a mobile refrigeration system that allows providing expertise on failure detection and breakdowns real cooling system.

This study is structured in four chapters: chapter I for the theoretical framework known, chapter II describes the thermal design, chapter III where the construction and installation of the components forming part of the cooling system is detailed; and it concludes with chapter IV where performance testing and fault simulation in mobile refrigeration system are described.

The machine is operated by a mechanical refrigeration system, whose main components are: a condensing unit 3/4 HP, two evaporators at different temperatures: the first evaporator is installed in a module that will serve as a "freezing chamber", the second evaporator, it was installed in a module that will serve as "conservation chamber"; the same operating with their respective expansion devices and accessories for regulation and control.

The simultaneous operation of both cold storage rooms, was achieved by installing a pressure regulating valve of evaporation in the suction chamber conservation and a check valve in the suction of the freezing chamber. An important part of this project is the simulation of different refrigeration breakdowns, the same as those performed by the installation and programming of a PLC. Once they built the equipment a test run was conducted where it was found that the performance of it is the appropriate and four types of refrigerating breakdowns were carried out, just as: restriction of refrigerant to the expansion device, deficient condensation, failure of vaporization of refrigerant, and compressor startup failure, which allowed analyzing the negative effects on the system performance.

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

Manta como el principal Puerto Pesquero del Ecuador, obtiene la mayor parte de sus ingresos económicos a través de la actividad pesquera. En el mercado laboral mantense existen numerosas empresas dedicadas al procesamiento, conservación y comercialización de pesca blanca y atún, esto representa cuantiosas plazas de trabajo para la población, proporcionando a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica Naval, la oportunidad para poner en práctica sus conocimientos y demostrar sus habilidades y destrezas como futuros profesionales.

Plazas de trabajo que requieren como capacidades indispensables, conocimientos concretos de almacenamiento y congelación de productos perecibles, además de sólidos conocimientos prácticos y teóricos sobre los componentes y el funcionamiento de una instalación frigorífica, así mismo, capacidades sobre localización de fallos y averías en un sistema de refrigeración.

Por esta razón, es importante para los futuros profesionales, adquirir conocimientos sobre cálculo y construcción de cámaras frigoríficas, para de esta forma desempeñarse adecuadamente en el campo laboral; en virtud a ello, se plantea generar un entrenamiento sobre los temas anteriormente detallados, en base a la construcción de un sistema frigorífico que permita simular fallas y averías a través de un plc; y así analizar las consecuencias negativas de las mismas.

Formulación del problema

¿Cómo simular fallos en el sistema de la instalación frigorífica móvil para analizar índices de averías?

Hipótesis

¿A través de un PLC instalado en el sistema de refrigeración se logra simular fallos para realizar análisis de índices de averías?

Justificación

El siguiente trabajo de graduación surge de la necesidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos en las aulas universitarias, entre ellos el cálculo de cargas térmicas, trazado de ciclos termodinámicos y selección de equipos mecánicos, para la elaboración y construcción de una instalación frigorífica.

Con este proyecto se busca utilizar y consolidar los conocimientos obtenidos mediante la construcción de una instalación frigorífica móvil que permita realizar la simulación de distintas averías, para de esta forma obtener un entrenamiento práctico sobre los componentes y el funcionamiento de una instalación frigorífica, además de adquirir destrezas y habilidades en lo concerniente a identificación de fallas y averías en un sistema de refrigeración.

Este estudio es factible, porque se cuenta con el talento humano, recursos económicos de los investigadores y las facilidades que proporciona la carrera de Ingeniería en Mecánica Naval, para la construcción del equipo y realización de pruebas de funcionamiento necesarias para establecer las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar, calcular y construir, una Instalación frigorífica móvil con un simulador de fallos accionados por medio de un PLC.

Objetivos específicos

- Calcular las cargas térmicas del sistema de refrigeración con el que funcionará la instalación frigorífica móvil.
- Construir la instalación frigorífica móvil de acuerdo parámetros seleccionados en el estudio.
- Comprobar el desempeño de la instalación frigorífica móvil en base a una prueba de funcionamiento inicial, a fin de verificar los rangos de operación del equipo.
- Simular fallas y averías en la instalación frigorífica móvil, a través de la instalación y programación de un PLC.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Principios Termodinámicos

Para entender de mejor manera el presente estudio, es necesario conocer los siguientes principios termodinámicos:

1.1.1 Principios básicos de la refrigeración

Es preciso saber el concepto de refrigeración para comprender sus principios; (Enríquez, 2003, p. 117) define la refrigeración como “el proceso de mover el calor de un área donde es indeseable a otra donde el calor no es objetable. De acuerdo a la segunda ley de la termodinámica, el calor siempre fluye de un material que tiene una temperatura alta a un material que tiene una temperatura baja”.

De esta manera, se deduce que el “frio” o “enfriamiento” es un término que se utiliza para referirse a la ausencia parcial o total de calor, conceptualizando esto se define la refrigeración como la acción de extraer calor de un espacio que se encuentra a una cierta temperatura, hacia un lugar que se encuentra a una temperatura mayor a la del espacio a refrigerar, ya que como regla principal el calor fluye siempre del lado más caliente, al lado más frio.

Para producir este efecto de “enfriamiento” se utiliza una sustancia llamada “refrigerante”, que al evaporarse permite transportar el calor extraído del objeto o espacio a refrigerar, hacia un lugar donde no produzca ningún efecto negativo.

1.1.2 Aplicaciones de la refrigeración

Para un mejor entendimiento, los autores (Sanz & Sanz, 2014, p.53) agrupan la refrigeración en las siguientes categorías:

- a) **Refrigeración doméstica:** Se refiere a la refrigeración aplicada a aparatos domésticos tales como refrigeradores y congeladores.
- b) **Refrigeración comercial:** Esta sección hace énfasis al ensamblaje de unidades frigoríficas del tipo vitrina, que sirven para la exhibición de productos perecibles, que necesitan de refrigeración, usualmente se encuentran en restaurantes, pastelerías, heladerías y carnicerías etc.
- c) **Refrigeración industrial:** Se refiere a circuitos frigoríficos de gran tamaño, de tipo industriales, entre las más utilizadas encuentran: fábricas de hielo, plantas empacadoras y procesadoras de alimentos (carne, pescado y pollo) etc.
- d) **Refrigeración marina y de transporte:** Usualmente hace referencia a la refrigeración aplicada a todo tipo de embarcaciones que trabajen en alta mar y que necesiten de la preservación y congelación del producto de sus faenas de pesca, evitando el deterioro de los mismos, para llegar a puerto con sus productos frescos. La refrigeración aplicada al transporte se limita a contenedores de carga que movilicen productos perecibles.
- e) **Acondicionamiento de aire:** Su aplicación más utilizada es la climatización, que es el mantenimiento de un cierto grado de temperatura en un espacio confinado, controlando además la humedad y la circulación del aire dentro del mismo.

1.1.3 El calor

Para (Rolle, 2006, p.91) el calor es la “Energía en transmisión a través de la frontera de un sistema, que no se puede identificar con una fuerza mecánica que actúa a lo largo de una distancia”.

Por tanto, se define el calor como la cantidad de energía que se transfiere de un sistema (objeto) a otro, dicha transferencia de energía se logra si dichos sistemas u objetos tienen una diferencia de temperatura, ya que esta energía en transferencia siempre se mueve del lado más caliente hasta el lado más frío.

Indica (Erazo, 1997) que “la producción de calor es el resultado de la aplicación de una fuerza a un cuerpo y la energía consumida se transforma en energía que actúa en el interior del cuerpo aumentando su velocidad y distancia molecular”.

1.1.4 Presión

Menciona (Erazo, 1997) que la presión es “la fuerza ejercida uniformemente sobre una superficie, por tanto se calcula dividiendo la fuerza total aplicada sobre la superficie total en la cual actúa”.

Sus unidades de medidas en el sistema S.I. es el Kilogramo sobre centímetro cuadrado, o en su abreviación kg/cm^2 , así mismo en el Sistema inglés, se mide en Libras sobre pulgadas cuadrada, o su abreviación Lb/pulg^2 .

1.1.5 Temperatura

La temperatura se puede definir como la propiedad o magnitud física que nos permite saber la cantidad de energía que posee un cuerpo, objeto o ambiente, en forma de calor, por esta razón la temperatura está íntimamente relacionada con la sensación de calor o frío, porque lógicamente, a mayor temperatura, mayor será la sensación de calor, y a menor temperatura, sentiremos frío.

Si se toma como referencia los sistemas de medidas métrico e inglés, se observa que para el primero se utiliza la escala “Centígrado” y para el segundo se utiliza la escala “Fahrenheit”.

De acuerdo (Erazo, 1997) “Las escalas absolutas son la escala Kelvin y la escala Rankine. Se les denomina absolutas porque ellas parten del cero absoluto, donde se dice que hay ausencia total de calor, inmovilidad molecular y una presión nula”.

1.1.6 Transferencia de calor

La transferencia o transmisión de calor, es energía en movimiento, que se produce siempre de un entorno u objeto que se encuentra a una alta temperatura hacia otro entorno u objeto a menor temperatura, cambiando energía interna entre ambos, rigiéndose bajo la Primera Ley de la Termodinámica.

Los autores Andrés, et al., (2008) mencionan que hay tres tipos principales de transferencia de calor:

- Conducción
- Convección
- Radiación

1.1.6.1 Conducción

Para (Chejne, 2007)“En el caso de la conducción, el flujo de calor está regido por la ley de Fourier, la cual establece que cuando se alcanza el estado estacionario, se encuentra que el flujo de calor por unidad de área es directamente proporcional, a la disminución de la temperatura que se da en la dirección del flujo de calor”.

Como regla principal para que haya transferencia de calor por conducción, tienen que existir dos objetos en contacto que se encuentren a diferentes temperaturas ya que este tipo de transferencia de calor se da por el contacto molecular entre dos puntos; en el mismo existe un choque de moléculas, que a su vez intercambian energía en forma de calor, unas a otras, pasando del punto más caliente al más frío.

$$Q = -k A \Delta T \text{ (Ec. 1.1)}$$

Dónde:

Q: Flujo convectivo en *W*

k: Conductividad térmica en *W/m°K*

A: Área de contacto fluido y sólido en *m²*

ΔT: Gradiente del campo de temperatura en el interior del material en *°C*

1.1.6.2 Convección

Este tipo de transferencia de calor se la realiza por medio del movimiento macroscópico de un fluido sea aire o agua, en contacto con una superficie sólida como una barra de metal, cuando este fluido se calienta por el contacto que tuvo al transportarse alrededor de la superficie de metal a alta temperatura, se mueve fuera de la zona caliente, transportando consigo la energía en forma de calor.

Según Andrés, et al., (2008) “la transferencia de calor por convección, tiene lugar mediante el movimiento de partículas de un fluido (líquido o gas) y por tanto, ocurre con un transporte de materia”. (p.317)

Menciona (Chejne, 2007) que en el caso de la transferencia de calor por convección, la ley que rige dicho comportamiento es la Ley de Enfriamiento de Newton.

$$Q = A \cdot h \cdot (T_p - T_f) \quad \text{(Ec. 1.2)}$$

Dónde:

Q: Flujo convectivo en *W*

A: Área de contacto fluido y sólido en *m²*

h: Coeficiente pelicular o coeficiente convectivo en *W/m°K*

Tf: Temperatura del fluido en *°C*

Tp: Temperatura de la pared o superficie en *°C*

1.1.6.3 Radiación

Todo cuerpo por naturaleza tiene la capacidad de emitir calor, en diferentes magnitudes; la transferencia de calor por radiación se basa en este principio, ya que a diferencia de la conducción o la convección, la radiación no necesita del contacto de un cuerpo con otro, o del movimiento de un fluido para poder transportar calor, debido a que los rayos caloríficos que producen los cuerpos, viajan en línea recta a través del espacio, son absorbidos fácilmente por los distintos cuerpos que se encuentran a una temperatura inferior. Un ejemplo claro de este principio es el calor que recibimos en forma de radiación por parte del sol.

1.1.7 Aislamiento térmico

Un aislante térmico es cualquier material que ayude a reducir parcialmente la velocidad de transferencia de calor desde el interior de un espacio hacia el exterior del mismo, lo que ayuda a que se minimicen las pérdidas de calor en espacios fríos, y ganancias de calor en espacios calurosos.

Estos materiales deben aislar el calor por sus tres métodos de transferencia: conducción, convección y radiación. Lo que hace a estos materiales ideales para evitar los llamados “puentes térmicos”, es su bajo valor de conductividad térmica, que es la cantidad de calor que se transmite a través de dicho material, (esto en el caso de pérdidas de calor por conducción).

Obviamente hay materiales que tienen un mejor desempeño como aislante térmico que otros, como por ejemplo el corcho, el poliéster y la fibra de vidrio, los mismos que son usualmente utilizados en la refrigeración.

1.1.8 Cambios de estado

Sagardoy & Mandolesi, (2004, p.18) “La materia se presenta en tres estados diferentes: sólidos, líquidos y gaseosos, cada uno tiene propiedades definidas”.

Para explicar estos cambios, se toma como referencia al agua. El estado líquido de este elemento es el agua, presente en mares, ríos etc. En su forma sólida es el hielo, y en su forma gaseosa es el vapor.

Si se le adiciona o se le quita calor a cualquiera de estos tres tipos de estados, su forma va a cambiar, ya que adquiriendo calor, las partículas de las mismas irán ganando energía y se moverán más rápidamente, de la misma forma, si dicha sustancia en determinado estado comienza a ceder calor, transferirá energía hacia sus alrededores, de tal manera que harán que dicha sustancia cambie de estado.

Es así que se denomina cambio de estado a la transformación que tiene la materia sin que se altere su composición química.



Figura 1: Cambios de estado de una sustancia
Fuente: personal.biada.org

Los distintos cambios de fase o estado que se ven en la figura 1 son los siguientes:

- **Fusión:** Paso del estado sólido a líquido
- **Solidificación:** Es el cambio contrario, es decir de líquido a sólido.
- **Evaporación:** Cambio de estado líquido a gaseoso.
- **Condensación:** Es el cambio de una sustancia gaseosa a líquida.
- **Sublimación:** Se refiere al cambio directo de una sustancia de su estado sólido al gaseoso, sin necesidad que transite por su estado líquido.

1.1.9 Estados de los fluidos

El comportamiento de cada sustancia o fluido depende directamente de su temperatura y presión, es así que a partir de las lecturas de estas magnitudes, se puede determinar en qué estado se puede encontrar un fluido.

Para el buen entendimiento de los ciclos de refrigeración se tiene que entender principalmente los puntos que se muestran en la figura 2.

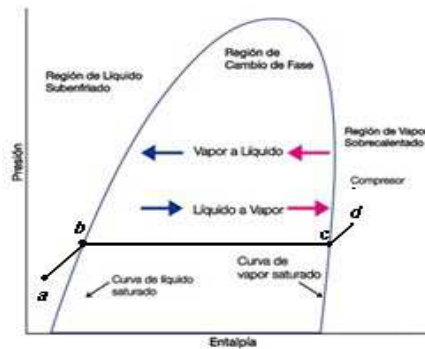


Figura 2: Diagrama P – h
Fuente: www.mundohvacr.com.mx

En la figura 2 se observan tres zonas: la curva de líquido, en la que se encuentra el líquido saturado y el Subenfriado; la curva de vapor, en la que se encuentra el vapor saturado y el vapor sobrecalentado; y la zona de mezcla, donde está el líquido y vapor.

1.1.10 Vapor saturado

Si un gas comienza a ceder calor y por ende disminuye su temperatura hasta el punto c (figura 2), en el que está próximo a condensarse cierto porcentaje de ese vapor, sin que haya la necesidad de agregarle una gran cantidad de energía, se puede decir que dicho gas es un vapor saturado

1.1.11 Vapor sobrecalentado

El principio de sobrecalentamiento de cualquier sustancia nos indica que cualquier cantidad de calor suministrada después del punto c (figura 2), aumentará la temperatura del vapor por encima de la temperatura de saturación, convirtiéndolo en vapor sobrecalentado.

1.1.12 Líquido saturado

Cuando un fluido ha absorbido calor hasta el punto b (figura 2), donde comienza con facilidad a convertirse en vapor, se le denomina líquido saturado.

1.1.13 Líquido Subenfriado

El subenfriamiento de un líquido se logra reduciendo la temperatura de éste, hasta que dicho líquido tenga una temperatura menor a su punto de saturación.

1.2 Ciclos de refrigeración

Para Whitman & Johson, (2006, p.24) la refrigeración “Es el proceso de extraer calor de un lugar donde no se desea que exista y transferir dicho calor a un lugar donde su existencia no tiene importancia”.

Este fenómeno no se lograría sin la aplicación de los llamados ciclos de refrigeración, que son sistemas cerrados, que utilizan sustancias llamadas refrigerantes, para efectos de extracción y remoción de calor de un lugar a otro. Este proceso se logra mediante la evaporación y la condensación de dicha sustancia, que cambia de estado a medida que transita por el circuito frigorífico, absorbiendo cargas térmicas.

Estos ciclos de refrigeración pueden trabajar por dos métodos, ya sea por medio de la compresión mecánica como se observa en la figura 3, o por medio de la absorción de líquidos.

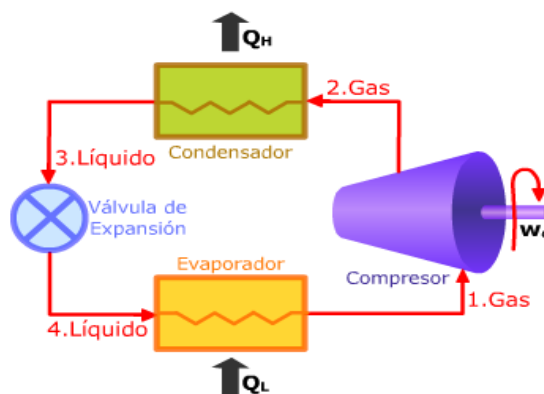


Figura 3: Ciclo de refrigeración por compresión de vapor
Fuente: www.si3ea.gov.co

1.2.1 Ciclo invertido de Carnot

Acerca del ciclo invertido de Carnot menciona Barreiro & Sandoval, (2006, p.195) “Es el basamento termodinámico de los ciclos de refrigeración por compresión de vapor de uso industrial. Consta de dos procesos isotérmicos, a temperatura constante y dos procesos isotrópicos”.

Se estima al ciclo invertido de Carnot, como el ciclo de refrigeración más eficiente, pero solo sirve para efectos de comparación con los demás ciclos de refrigeración, ya que en los puntos 2-3 y 4-1 que se muestran en la figura 4, existen problemas de presencia de humedad en la compresión y expansión respectivamente.

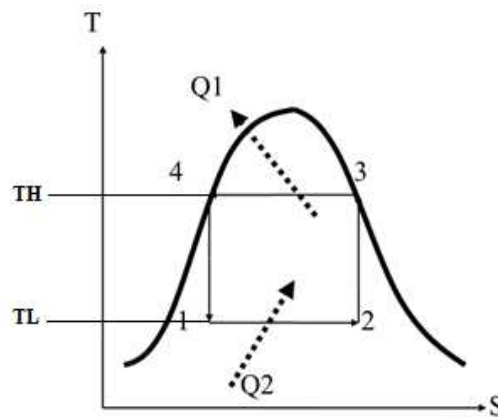


Figura 4: Ciclo invertido de Carnot
Fuente: www.textoscientificos.com

De acuerdo con la figura 4, el ciclo se compone de cuatro procesos, los procesos 1-2 y 3-4 se los realiza isotérmicamente, mientras que los procesos 2-3 y 4-1 se los realiza isotrópicamente; en el punto 1, el refrigerante se halla en forma de líquido y vapor, aquí se produce una absorción de calor, por medio de la evaporación de dicha sustancia, dando lugar al proceso 1-2, en el punto 2-3, se produce la compresión mecánica, elevando la temperatura de la sustancia desde T_L hasta T_H , luego en el punto 3-4 se produce un rechazo de calor al medio ambiente por medio de la condensación del fluido, y finalmente en el punto 4-1 se realiza la expansión del fluido, disminuyendo su presión y su temperatura, para así repetir nuevamente el ciclo.

1.2.2 Ciclo ideal de Refrigeración por compresión de vapor

Tal y como se puede observar, la figura 5 esboza los componentes que conforman el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor:

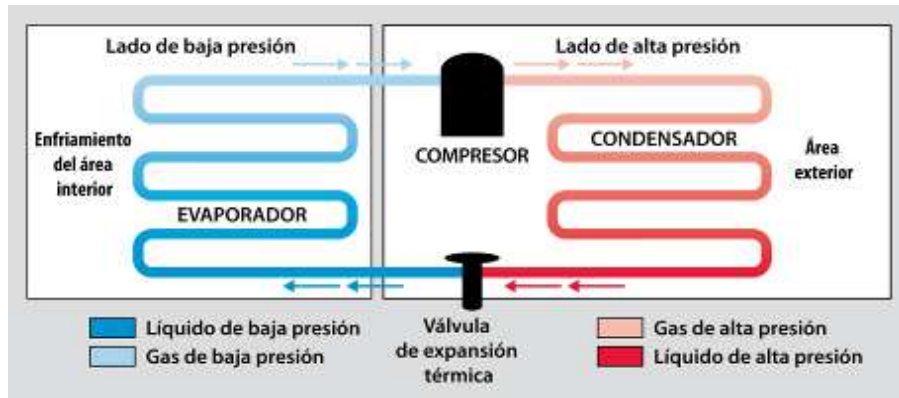


Figura 5: Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor
Fuente: www.epatest.com

Comparando el ciclo inverso de Carnot con el ciclo ideal por compresión de vapor, se observa que este último consta con algunas modificaciones, ya que en primer lugar, el refrigerante tiene que evaporarse completamente antes de la entrada del compresor, para que la compresión se realice exitosamente, además de utilizar un dispositivo de expansión para realizar el correcto estrangulamiento del refrigerante antes de entrar al evaporador, para así aprovechar al máximo los beneficios del ciclo.

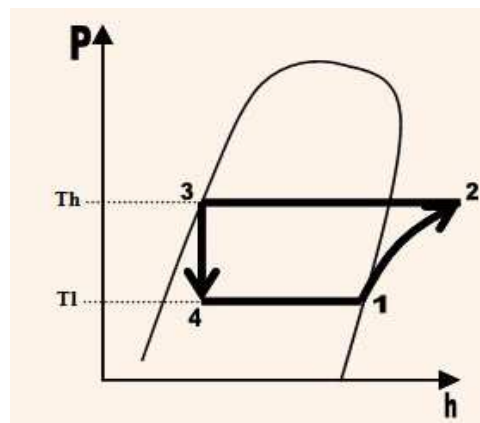


Figura 6: Diagrama P – h de ciclo ideal de refrigeración
Fuente: www.unet.edu.ve

De acuerdo a la figura 6 este ciclo consta de 4 procesos:

- **Proceso de Compresión:** Este proceso se lo realiza entre los puntos 1-2, aquí se realizan dos acciones, primero el compresor succiona los gases provenientes del evaporador, los mismos que están a baja presión y temperatura, producto de la absorción de calor que realiza el evaporador, luego por medio de la acción mecánica del compresor, se adiciona un trabajo mecánico, lo que significa una adición de calor al vapor refrigerante que eleva la presión y la temperatura del mismo, producto de esto, del compresor sale hacia el condensador, un vapor cargado de presión, con una temperatura de saturación suficientemente superior a la temperatura del medio a enfriar.
- **Proceso de Condensación:** Este proceso se lleva a cabo en el intercambiador de calor llamado “condensador”, aquí ingresa el refrigerante en forma de vapor a alta presión y temperatura que expulsa el compresor, donde a medida que transita por el mismo, va cediendo el calor absorbido por el refrigerante y lo transporta al medio ambiente o medio de condensación, pasando del estado gaseoso al estado líquido, transformándose en un líquido saturado, manteniendo su presión constante, en la figura 6, este proceso se realiza entre los puntos 2-3.
- **Proceso de Expansión:** lo que sucede en este proceso básicamente es lo siguiente, el líquido refrigerante que sale del condensador ingresa al llamado dispositivo de expansión, que tiene un área relativamente pequeña, al salir del mismo, el refrigerante ha reducido drásticamente su temperatura y presión, y se ha “expandido”, este proceso es isoentálpico, ya que no hay un intercambio de calor ni una adición de trabajo, todo esto se lo lleva a cabo entre los puntos 3-4.
- **Proceso de evaporación:** en este proceso existe una absorción de calor, la cual se realiza cuando la mezcla de refrigerante que sale del dispositivo de expansión a baja presión y temperatura, ingresa al serpentín del evaporador, aquí el evaporador absorbe el calor del espacio a refrigerar, y

lo transfiere al refrigerante que circula por el serpentín, ya que a medida que se transita por este intercambiador de calor se va transformando en un vapor a baja presión y alta temperatura, todo esto realizado entre los puntos 4-1.

1.2.3 Ciclo real de Refrigeración por compresión de vapor

Las condiciones termodinámicas que se muestran en el ciclo ideal de refrigeración, son difíciles de realizar en condiciones normales, ya que debido a caídas de presiones, en los tubos que conducen el refrigerante a lo largo del circuito frigorífico, son imposibles de cumplir.

Asimismo en comparación con el ciclo ideal, el ciclo real cuenta con un sobrecalentamiento a la entrada del compresor (en la tubería de succión), esto hace que a la entrada del compresor ingrese vapor sobrecalentando y no vapor saturado como sucedía en el ciclo ideal, este sobrecalentamiento se da porque la temperatura del ambiente donde se condensa el refrigerante es superior a la temperatura del fluido refrigerante.

En el ciclo real las pérdidas de calor y de presión que suceden en las tuberías que transportan el refrigerante en ciertos puntos del circuito, son muy frecuentes, como por ejemplo a la entrada del condensador, aquí el refrigerante ingresa a una temperatura menor a la que se encuentra al término de la compresión, y a medida que se transporta por la tubería de descarga se genera una pérdida de calor, es por esto que en el ciclo real el proceso de condensación no es adiabático ni tampoco isobárico. En el ciclo ideal se debe obtener a la salida del condensador un líquido saturado, y esto no se da por las razones antes expuestas, ya que en el ciclo real, lo que se obtiene es un líquido comprimido.

En comparación con el ciclo ideal, el ciclo real cuenta con un subenfriamiento del líquido refrigerante, en el tramo de tubería que une al condensador con el dispositivo de expansión, aquí se produce una cesión de calor que hace que la

temperatura del fluido refrigerante se reduzca, lo que genera que a la entrada del dispositivo de expansión, el líquido se encuentre a una temperatura menor de la que se encontraba a la salida del condensador. Resultado de este subenfriamiento la mezcla de líquido y vapor a la salida del dispositivo de expansión, es de menor calidad, lo que hace a este proceso más realista.

1.3 Necesidades térmicas de una cámara frigorífica

Menciona Ramirez, (2000, p.66) “para optimizar las dimensiones características y térmicas de una instalación frigorífica en general, es necesario considerar los siguientes factores: flujo de calor a través de los cerramientos, entrada de aire exterior a la cámara, calor liberado por la iluminación interior, calor liberado por las personas, calor de los ventiladores del evaporador”.

1.3.1 Transmisión de calor a través de paredes, suelo y techo de cámaras frigoríficas

Ramirez (2000,p.97) “La cantidad de calor por pérdida a través de las paredes, suelo y techo depende de tres factores: aislamiento empleado, superficie total exterior de la cámara y diferencia de temperatura entre la del ambiente exterior y la que debe obtenerse en su interior”.

1.3.2 Pérdidas de calor por carga de producto

Ramirez (2000, p. 72) manifiesta que “la carga calorífica por refrigeración de los productos dentro de una cámara frigorífica puede dividirse, a su vez, en distintos sumandos según sea el caso: refrigeración, congelación y calor de respiración de los alimentos y calor del embalaje”.

Por tanto, se deduce que las pérdidas de carga por producto se definen como la cantidad de calor que se debe extraer del producto que entra a la cámara frigorífica, así como del embalaje del mismo, todo esto para reducir la temperatura del producto hasta el punto que se lo desee conservar o congelar .

1.3.3 Calor liberado por motores

Ramirez (2000) menciona que “en el interior de una cámara frigorífica existen aportaciones de calor debido al funcionamiento de los ventiladores del evaporador, así mismo cualquier máquina que realice un trabajo dentro de una cámara frigorífica desprenderá calor”.

1.3.4 Pérdidas de carga por renovación del aire y apertura de puerta

“La aireación de una cámara fría es necesaria. En muchos casos la aireación se efectúa por las repetidas aperturas de las puertas; cuando esta no es suficiente puede preverse la utilización de sistemas de ventilación complementarios. Estos son necesarios para mantener los alimentos en estado fresco y las cámaras frías de baja temperatura para evitar depresiones”. (Ramirez, 2000, p.101)

En la tabla 1, se observan los valores normalmente empleados para la evaluación de n/d (tasa de renovación de aire por día) para cámaras negativas y cámaras por encima de 0°C en función del volumen de las mismas:

Tabla 1: Renovación de aire diario por las aperturas de puertas para las condiciones normales de explotación en cámaras negativas y cámaras por encima de 0°

Volumen de la cámara (m³)	Renovación de aire diario n/d		Volumen de la cámara (m³)	Renovación de aire diario n/d		Volumen de la cámara (m³)	Renovación de aire diario n/d		Volumen de la cámara (m³)	Renovación de aire diario n/d	
	-	+		-	+		+	-		-	+
2.5	52	70	20	16,5	22	100	6,8	9	600	2,5	3,2
3,0	47	63	25	14,5	19,5	150	5,4	7	800	2,1	2,8
4,0	40	53	30	13,0	17,5	200	4,6	6	1.000	1,9	2,4
5,0	35	47	40	11,5	15,0	250	4,1	5,3	1.500	1,5	1,95
5	28	38	50	10,0	13,0	300	3,7	4,8	2.000	1,3	1,65
5	24	32	60	9,0	12,0	400	3,1	4,1	2.500	1,1	1,45
5,0	19	26	80	7,7	10,0	500	2,8	3,6	3.000	1,05	1,30

Fuente: (Ramirez, 2000, p.69)

Elaborado por: Delgado Mero Fernando – Loo Palma Humberto

En la tabla 2 se observan los valores del calor del aire en kJ/m³ que penetra en la cámara para distintas condiciones de temperatura y humedad relativa.

Tabla 2: Calor del aire (kJ/m³) para el aire exterior que penetra en la cámara fría

$t_i \backslash t_e$	+ 5 °C		+ 10 °C		+ 15 °C		+ 20 °C		+ 25 °C		+ 30 °C		+ 35 °C		+ 40 °C	
	70% H.R	80% H.R	70% H.R	80% H.R	70% H.R	80% H.R	50% H.R	60% H.R	50% H.R	60% H.R	50% H.R	60% H.R	50% H.R	60% H.R	50% H.R	60% H.R
15 °C	—	—	—	—	—	—	2,77	7,0	16,8	23,3	34,5	42,7	56,4	66,4	81,4	96,5
10 °C	—	—	—	—	105,5	13,8	16,6	20,9	30,9	37,5	48,8	57,2	70,1	81,3	96,5	112
5 °C	—	—	9,6	12,0	22,8	26,2	29,0	33,5	43,7	50,5	62,1	70,6	83,9	95,4	111	127
0 °C	9,1	10,9	20,8	23,3	34,4	37,9	40,8	45,4	55,9	62,9	74,9	83,7	97,4	109	125	141
-5 °C	19,2	20,9	31,0	33,5	44,6	48,2	51,2	55,8	66,4	73,5	85,5	94,4	108	120	136	153
-10 °C	28,7	30,5	40,8	43,4	54,8	58,4	61,4	66,1	77,0	84,2	96,6	106	120	132	148	165
-15 °C	37,8	39,7	50,2	52,8	64,5	68,2	71,3	76,1	87,2	94,6	107	116	131	143	160	177
-20 °C	46,1	48,0	58,8	61,5	73,4	77,1	80,4	85,3	96,6	104	117	127	141	154	171	189
-25 °C	55,1	57,1	68,0	70,8	82,9	86,8	90,1	95,1	107	114	127	137	152	165	183	201
-30 °C	64,2	66,2	77,5	80,1	92,6	96,5	99,8	105	117	125	138	148	163	177	195	215
-35 °C	73,3	75,3	86,7	89,6	102	106	110	115	127	135	149	159	174	188	207	225
-40 °C	83,3	85,4	97,1	100	113	117	121	126	138	147	161	171	187	201	220	231

Fuente: (Ramírez, 2000, p.70)

Elaborado por: Delgado Mero Fernando – Looor Palma Humberto

Los valores correspondientes a las tablas 1 y 2, servirán posteriormente para realizar el cálculo de pérdidas de carga por renovación de aire y apertura de puertas en cada una de las cámaras frigoríficas, los mismos que están descritos en los literales 2.6.4 y 2.7.4.

1.3.5 Calor total de refrigeración

Indica Ramírez (2000, p.77) “Con los valores de los calores de cada uno de los conceptos expuestos anteriormente, se tendrá el calor total de otra fuente y calor total de los productos”.

1.4 Elementos de un sistema de refrigeración por compresión de vapor

Para lograr el efecto de enfriamiento deseado, un sistema de refrigeración está compuesto por distintos elementos mecánicos que ayudan a que el refrigerante que se circula por el circuito frigorífico cambie de estado a fin lograr la producción de “frío”.

1.4.1 Compresor

Los compresores constituyen el “corazón” mismo de un sistema de refrigeración, su función es fundamental en la creación de “frío”, ya que recibe el refrigerante en

forma de vapor a baja presión y temperatura, proveniente del evaporador, y lo comprime mecánicamente, elevando su presión y temperatura para enviarlo por la tubería de descarga, al condensador, y así comenzar el proceso de condensación.

Es muy importante tener claro que los compresores utilizados en la refrigeración se fabrican para únicamente comprimir fluidos “compresibles”, como gases y vapores, ya que la compresión de un líquido dentro del mismo, ocasionaría, daños severos en la estructura del compresor.

El funcionamiento del compresor, consiste en succionar los gases provenientes del evaporador, que están a baja presión, para después adicionarles un trabajo mecánico, que hará que aumente su presión y eleven su temperatura, para posteriormente enviar estos gases, ya como un vapor sobrecalentado, a condensarse dentro del “condensador”

1.4.1.1 Tipos de compresores

Para un mejor entendimiento, los compresores se clasifican en dos grupos: de acuerdo a su construcción, y de acuerdo a su principio de funcionamiento.

Por su construcción:

- Herméticos
- Semi herméticos
- Abiertos

Por su funcionamiento:

- Compresores Alternativos o de pistón
- Compresores Centrífugos
- Compresores de Tornillo
- Compresores Tipo “Scroll”

En este estudio se hace referencia a los compresores herméticos, puesto que son los más utilizados en la refrigeración doméstica y climatización, y su estructura se puede observar en la figura 7. Según indica Escudero & Fernández, (2013, p.120) los compresores herméticos “Se caracterizan por no poder ser desmontables, el motor eléctrico y la zona de compresión van ubicados en la misma carcasa, no siendo accesibles. No permiten realizar ningún mantenimiento, ya que vienen herméticamente cerrados para conseguir minimizar las fugas de refrigerantes”.

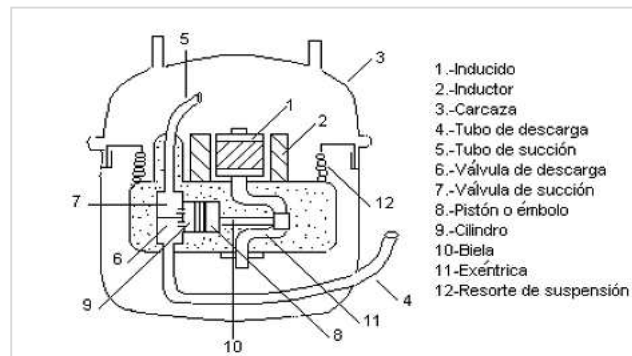


Figura 7: Vista en corte de compresión hermético
Fuente: Manual práctico del taller de refrigeración domestica Pag.12

Como única desventaja, a este tipo de compresores no se le puede realizar ningún tipo de reparación a las partes que conforman el compresor, ya que generalmente, si el compresor presenta un daño en sus componentes interiores, se lo desecha, por su única “vida útil”.

1.4.2 Condensador

Para Whitman & Johson, (2006, p.19) el condensador “funciona a presiones y temperaturas más elevadas que el evaporador y suele estar situado en el exterior. En cuanto al intercambio de calor, se aplican los mismos principios del evaporador”.

En conclusión el condensador es un intercambiador de calor que rechaza al medio ambiente, el calor absorbido por el refrigerante, del medio u objeto a refrigerar, y el calor generado por el compresor en su acción mecánica al comprimir el gas refrigerante, condensando el refrigerante que entra a éste, transformándolo de vapor a líquido, a medida que transita por éste, como se muestra en la figura 8.

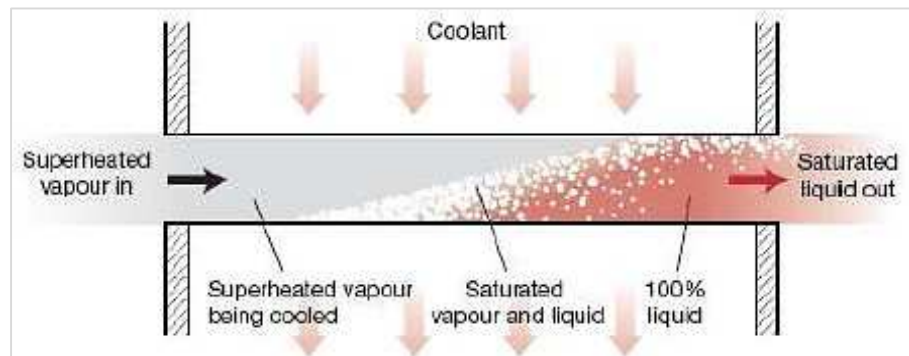


Figura 8: Proceso de condensación

Fuente: Practice Guide, Energy Efficient Refrigeration Technology Fundamentals Pag.19

Los condensadores se clasifican de acuerdo a sus características en:

- Condensadores Enfriados por aire
- Condensadores Enfriador por agua
- Condensadores Evaporativos

De acuerdo al tipo de estudio se utiliza el condensador enfriado por aire, que utiliza como principal medio de condensación, el aire, utilizando la transferencia de calor por convección forzada, esto debido a que el aire es generado artificialmente por un ventilador del tipo axial, que logra forzar un gran flujo de aire a través del serpentín del condensador, que ayuda a que el refrigerante proveniente del compresor, ceda su calor al aire, y este eleve su temperatura, logrando así el proceso de condensación del refrigerante.

“Se pueden fabricar de dos tipos: de tubo liso, y de tubo con aletas. El primero se fabrica con cobre y funcionan por circulación natural. Es decir, el aire que lo rodea, a medida que se va calentando, va ascendiendo y es “sustituido” por aire nuevo; o sea, una renovación por gravedad.”(Buenaño & Marcel, 2010)

“El segundo está formado por un serpentín de cobre y aletas de aluminio separadas entre sí. La transmisión de calor se produce a través del tubo y las aletas, con lo cual la superficie de transmisión es mayor. Si además, la circulación del aire es forzada mediante ventiladores, la capacidad del condensador aumenta.”(Ibídem, 2010)

Los mismos que se muestran en la figura 9:



Figura 9: Condensador de tubos y aleta
Fuente: tecno2aulavirtual.blogspot.com

1.4.3 Evaporador

Su estructura es muy parecida al condensador, ya que es un intercambiador de calor, formado por un serpentín, donde a diferencia del condensador, se extrae el calor desde el espacio a refrigerar hacia el refrigerante, por medio de la ebullición de este, es por esta razón que los evaporadores están situados dentro de la cámara o recinto a refrigerar.

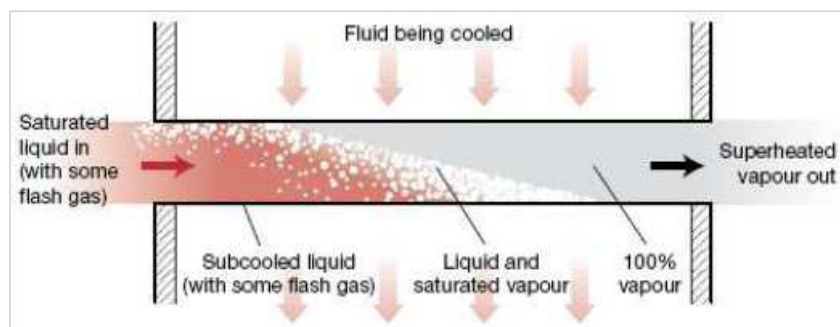


Figura 10: Proceso de evaporación dentro de evaporador
Fuente: Practice Guide, Energy Efficient Refrigeration Technology Fundamentals Pag.10

Se denomina de esta manera debido al fenómeno que sucede en su interior, ya que el líquido refrigerante que entra al evaporador, se va “evaporando” a medida que alcanza su temperatura de saturación, el refrigerante absorbe el calor de la cámara frigorífica y comienza a cambiar de fase, de líquido saturado a vapor sobrecalentado, como se observa en la figura 10.

Los evaporadores se clasifican según el fluido que pueden enfriar:

- Evaporadores para enfriamiento de aire
- Evaporadores para enfriamiento de líquidos

Dentro del grupo de evaporadores para enfriamiento de aire se encuentra el **evaporador de tubo liso o tubo desnudo**, que son los de fabricación más simple, ya que consisten solamente en tubos de cobre o de acero, dependiendo de su campo de aplicación ya que, si se utiliza en sistemas de absorción donde el amoníaco actúa como agente refrigerante, lo más recomendable es utilizar evaporadores fabricados de acero.

Sin embargo, los **evaporadores de tiro de aire forzado**, son elaborados por tubos lisos (ya sea de cobre o de acero), a los que se le adicionan placas o aletas, que aumentan la superficie de transmisión de calor, este tipo de evaporadores se los puede denominar como de superficie mixta, ya que la tubería por donde circula el refrigerante (superficie primaria), siempre está en contacto con este, por el contrario las aletas o placas (superficie secundaria) sólo ayudan a captar calor de los alrededores de la cámara frigorífica, lo que aumenta significativamente el rendimiento del evaporador.

1.4.4 Dispositivo de expansión

El dispositivo de expansión divide el lado de alta y baja presión en una instalación frigorífica, además es el encargado de suministrar la cantidad adecuada de refrigerante hacia el evaporador, y expandirlo para que a la entrada de éste ingresen pequeñas gotas de refrigerante y se evapore por completo a medida que circula por el evaporador. Los más utilizados son:

- **Tubo capilar:** Es una tubería de diámetro muy pequeño, que se instala en la línea de líquido, entre la salida del condensador y la entrada del evaporador, y como dispositivo de expansión, su función es la de reducir la presión y

temperatura del refrigerante y convertirlo en una mezcla de líquido y vapor que pueda ingresar al evaporador.

- **Válvula de expansión termostática:** es el dispositivo de expansión más utilizado y confiable en instalaciones frigoríficas industriales, su función principal es la de controlar el flujo de refrigerante que entra en el evaporador, a medida que el refrigerante se va evaporando en su paso dentro del serpentín del mismo.

Además cumple la función de mantener un sobrecalentamiento constante en la línea de succión que une al evaporador y al compresor, para que de esta forma el refrigerante líquido que entra en el evaporador, se evapore por completo en su recorrido por el mismo, y así no exista el riesgo de un ingreso no deseado de refrigerante líquido al compresor, lo que ocasionaría daños severos en los componentes mecánicos de este.

“Las partes principales de una válvula de termo expansión son: el bulbo remoto, el diafragma, las varillas de empuje, el asiento, la aguja, el resorte, la guía del resorte y el vástago de ajuste.”(Valycontrol, 2002)

1.4.5 Refrigerantes

Para Lapuerta & Armas, (2012, p.33) un refrigerante es “cualquier fluido capaz de producir frío, es decir, de evacuar calor de un recinto o de otro fluido, con el objetivo de enfriarlo”.

1.4.5.1 Identificación y clasificación

Los refrigerantes se identifican por números después de la letra R, que significa “Refrigerante”. El sistema de identificación ha sido estandarizado por la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers).(Valycontrol, 2002)

En la tabla 3 se puede observar algunos de los refrigerantes más utilizados en la industria.

Tabla 3: Clasificación y nombre de los refrigerantes

No.	Nombre Químico	Fórmula Química
	SERIE METANO	
11	Tricloromonofluorometano	CCl ₃ F
12	Diclorodifluorometano	CCl ₂ F ₂
22	1,1,1,2-Tetrafluoroetano	CHClF ₂
	SERIE ETANO	
134 ^a	Clorodifluorometano	CH ₂ FCF ₃
	HIDROCARBUROS	
290	Propano	CH ₃ CH ₂ CH ₃
600	Butano	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃
	COMPUESTOS ORGÁNICOS	
702	Hidrógeno	H ₂
704	Helio	He
717	Amoníaco	NH ₃
718	Agua	H ₂ O
720	Neón	Ne
728	Nitrógeno	N ₂
732	Oxígeno	O ₂
	MEZCLAS ENTRÓPICAS	
404A	R-125/143a/134a (44/52/4)	
407A	R-32/125/134a (20/40/40)	
	MEZCLAS AZEOTRÓPICAS	
502	R22/115 (48.8/51.2)	
507	R-125/143a (50/50)	

Fuente: (Valycontrol, 2002)

1.4.5.2 Propiedades termodinámicas de los refrigerantes

Cada refrigerante debe cumplir con las siguientes propiedades termodinámicas: (Valycontrol, 2002)

- Debe operar con presiones positivas.
- Debe tener una temperatura crítica por arriba de la temperatura de condensación.
- Debe tener una temperatura de congelación por debajo de la temperatura del evaporador y una temperatura de ebullición baja.
- Debe tener un valor bajo de volumen específico en fase vapor, y un valor alto de volumen en fase líquida.
- Debe tener un valor alto de calor latente de vaporización.

- Debe ser eleva su valor de entropía.

1.4.5.3 Características físicas y químicas de los refrigerantes

Asimismo debe tener las siguientes propiedades físicas y químicas: (Valycontrol, 2002)

- No debe ser tóxico ni venenoso.
- No debe ser explosivo ni inflamable.
- No debe tener efecto sobre otros materiales.
- Fácil de detectar cuando se fuga.
- Debe ser miscible con el aceite.
- No debe reaccionar con la humedad.
- Debe ser un compuesto estable.

1.4.6. Dispositivos de regulación y control

Debido a la interacción de los componentes principales en un circuito de refrigeración, es necesaria la instalación de dispositivos de regulación y control, que permitan como su nombre lo indica regular y controlar las distintas etapas del ciclo de refrigeración.

1.4.6.1 Presostato

Según (Cembranos, 2013, p.16) el presostato “Es un tipo de interruptor accionado por un fluido, que puede ser un líquido o un gas que cierra o abre un circuito en función de la presión del fluido”.

De esta manera se define al presostato como un dispositivo de seguridad que permite el paro inmediato del compresor, al cerrar un circuito cuando en el sistema hay variación de presiones, como una alta presión de descarga o una baja presión de succión.

Según indica Sierra (2012) existen diferentes tipos de presostatos, entre ellos están:

- **Presostato de alta presión:** El presostato de alta presión protege al compresor de altas presiones ya sea por el condensador sucio, problemas de ventilador, sobrecarga de aire muy caliente, desconecta el compresor cuando las presiones alcanzan valores por encima del ajuste del presostato y después vuelve a conectarlo.
- **Presostato de baja presión:** El presostato de baja presión abre el circuito eléctrico, cuando la presión del sistema disminuye por debajo de la de desconexión, y cierra el circuito cuando la presión del sistema sube por encima de la de ajuste de la conexión.

1.4.6.2 Termostato

Es el elemento que controla la temperatura de la cámara. Abre o cierra un contacto a un circuito eléctrico cuando alcanza la temperatura de regulación y se puede deducir que su funcionamiento es a base de registros de temperatura

Son muy utilizados en aplicaciones frigoríficas, más específicamente en cámaras de frío, su función principal es la de controlar los rangos de temperatura que existen dentro de un espacio refrigerado, es decir que tiene la capacidad de aumentar el calor si dicho ambiente está muy frío, o de reducir la temperatura si dicho ambiente comienza a calentarse.

1.4.6.3 Manómetro

Canales, et, al.(1999) definen al manómetro como un “Aparato que se utiliza para medir la presión de una muestra de un gas, se ha elaborado teniendo como modelo al Barómetro. Consiste en un tubo en U que contiene Hg. Un brazo del tubo en U

está abierto a la atmósfera: la presión atmosférica se ejerce sobre el mercurio en este brazo”. (p.115)

Es decir que son dispositivos utilizados en el área de la refrigeración para la lectura de presiones, en diferentes puntos, a lo largo del circuito frigorífico, y se constituye en una herramienta indispensable a la hora de localizar fallas y averías en el sistema.

Los hay de dos tipos, de alta presión y de baja presión, el primero lee presiones positivas y el segundo presiones negativas o en “vacío”, además de existir el manifold, que es un juego de llaves y manómetros de alta y baja presión, muy utilizado en tareas de mantenimiento de sistemas de refrigeración, el mismo que se observa en la figura 11.



Figura 11: Manómetros de baja y alta tensión
Fuente: www.frielectric.com

1.4.6.4 Válvula Solenoide

Valycontrol, (2002) indica que la válvula de solenoide es un dispositivo operado eléctricamente, y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o completamente cerrada. A diferencia de las válvulas motorizadas, las cuales son diseñadas para operar en posición moduladora, la válvula solenoide no regula el flujo aunque puede estar siempre completamente abierta o completamente cerrada. La válvula solenoide puede usarse para controlar el flujo de muchos fluidos diferentes.

1.4.6.5 Válvula reguladora de presión de evaporación

“Es un dispositivo que se instala en la tubería de succión, después del evaporador, y se utiliza para:

Mantener una presión de evaporación constante y por tanto una temperatura constante en la superficie del evaporador.

Proteger contra una presión de evaporación demasiado baja (por ejemplo, como protección contra la congelación en un enfriador de agua). El regulador cierra cuando la presión de evaporación disminuye por debajo del valor ajustado. Diferencia la presión de evaporación en una instalación frigorífica con un solo compresor y varios evaporadores con diferentes temperaturas de evaporación. (Danfoss, 2007, p.1)”

La válvula reguladora de presión de evaporación, es recomendada en instalaciones frigoríficas con dos evaporadores a distintas temperaturas, y sirven como su nombre lo indica, para regular la presión del evaporador con más alta presión, evitando así que en la línea de succión común, existan presiones de evaporación por encima de los rangos permitidos en un sistema de refrigeración..

1.4.6.6 Válvula anti retorno (check)

La función de esta válvula consiste en evitar el retorno de un fluido en una sección de tubería, permitiendo el paso unidireccional de dicho fluido. En sistemas que utilizan evaporadores a distintas temperaturas, la implementación de este tipo de válvulas es indispensable, ya que ayuda a evitar la migración de refrigerante del evaporador con más alta temperatura, hacia el evaporador que está a más baja temperatura.

1.4.6.7 Visor de líquido – humedad

Es el elemento más barato en cuanto a tareas de mantenimiento dentro de un sistema de refrigeración se trata, ya que nos permite observar la condición del refrigerante dentro del sistema.

“La función más importante de un indicador de líquido y humedad, es revelar la presencia de exceso de humedad en el refrigerante, el cual puede ser nocivo para el dispositivo de expansión y al sistema completo. La otra función, es observar a través del cristal el paso de refrigerante, el cual debe estar totalmente líquido”. (Valycontrol, 2002)

1.4.6.8 Filtros desecantes

Para (Valycontrol, 2002) “Los filtros desecantes son materiales usados principalmente para remover la humedad excesiva contenida en la mezcla refrigerante-aceite, tanto en forma de vapor como líquida, ya sea en equipos nuevos o ensamblados en el campo”.

1.4.6.9 Tanque recibidor de líquido refrigerante

Generalmente es un tanque a presión que se ubica después del condensador, se utiliza para almacenar el refrigerante líquido que sale del condensador, y es muy útil en tareas de mantenimiento del circuito frigorífico, ya que dentro de él se puede recolectar todo el refrigerante del sistema, para que este no se pierda al desmontar los diferentes elementos del circuito. Su uso e instalación dentro de un circuito de refrigeración varía en relación a los requerimientos de dicho sistema, ya que pueden ser instalado tanto vertical como horizontalmente.

1.4.6.10 Válvulas de paso

Estos dispositivos cumplen con la función de suministrar y controlar el paso del fluido refrigerante a los distintos elementos del sistema de refrigeración, y para su correcto funcionamiento deben utilizarse totalmente cerrada o abiertas. Comúnmente se utilizan las del tipo globo y brindan facilidades en tareas de mantenimiento ya que permiten bloquear distintos componentes a lo largo del sistema para de esta forma evitar la mayor pérdida posible de refrigerante.

1.4.6.11 Tuberías

Las tuberías son los elementos que permiten transportar el refrigerante a lo largo de todo el circuito frigorífico, en forma líquida o gaseosa; además de conectar a los distintos componentes del sistema de refrigeración; de acuerdo al refrigerante a utilizar en dicha instalación.

- **Tuberías de Succión:** Es el tramo de tubería que se sitúa desde la salida del evaporador, hasta la entrada del compresor, por ella circula gas a baja presión y temperatura, su correcta selección es de suma importancia dentro del funcionamiento del sistema de refrigeración, ya que el sobredimensionamiento de la misma ocasionaría pérdidas de presión que influirían en la capacidad y correcto funcionamiento del compresor.
- **Tuberías de descarga:** Esta sección de tubería abarca desde la salida del compresor, hasta la entrada del condensador, dentro de ella circula gas refrigerante a muy alta temperatura, de igual forma su correcto dimensionamiento es crítico en las pérdidas de carga en la eficiencia del sistema de refrigeración, la velocidad del refrigerante dentro de esta tubería, tiene que ser de 15 a 25 m/s.
- **Tuberías de líquido:** El mal dimensionamiento en este tramo de tubería, influye directamente en la operación de la válvula de expansión, ya que en esta sección de tubería, que va desde la salida del tanque receptor hasta la entrada de la válvula de expansión, se debe evitar el llamado “flasheo”, que es la formación de burbujas de gas en la tubería de líquido, esto provoca caídas de presión y un mal funcionamiento de la válvula de expansión.

1.5 Elementos eléctricos

Algunos de los componentes mecánicos de una instalación frigorífica, como el compresor y ventiladores, funcionan a base de energía eléctrica, por ende en

cualquier circuito de refrigeración es necesaria la instalación de un circuito eléctrico conformado por algunos de estos elementos:

1.5.1 Breaker

La función principal del breaker es la de ofrecer al circuito eléctrico una protección térmica ante cualquier sobrecarga de voltaje (cortocircuito), es decir que tienen la capacidad de abrir un circuito ante una variación de voltaje que produzca un aumento de intensidad de corriente. Tienen una parte térmica compuesta por un bimetálico, que se calienta al detectar una intensidad de corriente superior a la permitida, lo que ocasiona que se dilate el metal, y se arquee, abriendo el circuito e interrumpiendo el paso de corriente por el mismo.

1.5.2 Contactores

Su función principal es la de abrir o cerrar el paso de corriente, en un circuito eléctrico, mediante el energizamiento de la bobina de la misma, además en combinación con relés electromagnéticos pueden funcionar como protectores térmicos ante variaciones de voltajes y sobrecarga de tensiones.

1.5.3 Controlador Lógico Programable (PLC)

Por su parte (Aguinaga, 2009) indica que “un controlador lógico programable (PLC, por sus siglas en inglés) se define como un dispositivo electrónico digital que usa una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas, de configuración de secuencia, de sincronización, de conteo y aritméticas, para el control de maquinaria y procesos”.

Se lo puede confundir con un computador cualquiera, pero a diferencia de un PC, el PLC contiene su propio software interno, puesto que dispone de una memoria, microprocesador y puertos de entrada y salida de información, lo que facilita el ingreso y almacenamiento para que el PLC comience a ejecutar las órdenes

ingresadas. El PLC opera de manera secuencial, es decir cuando termina el recorrido de un circuito o una secuencia almacenada en su memoria interna, comienza a ejecutarlo desde el principio.

1.5.3.1 Elementos de un controlador lógico programable (PLC)

La estructura interna básica de un PLC en esencia consta de una unidad central de procesamiento (CPU), memoria y circuitos de entrada/salida. Estos elementos se pueden observar en la figura 12:

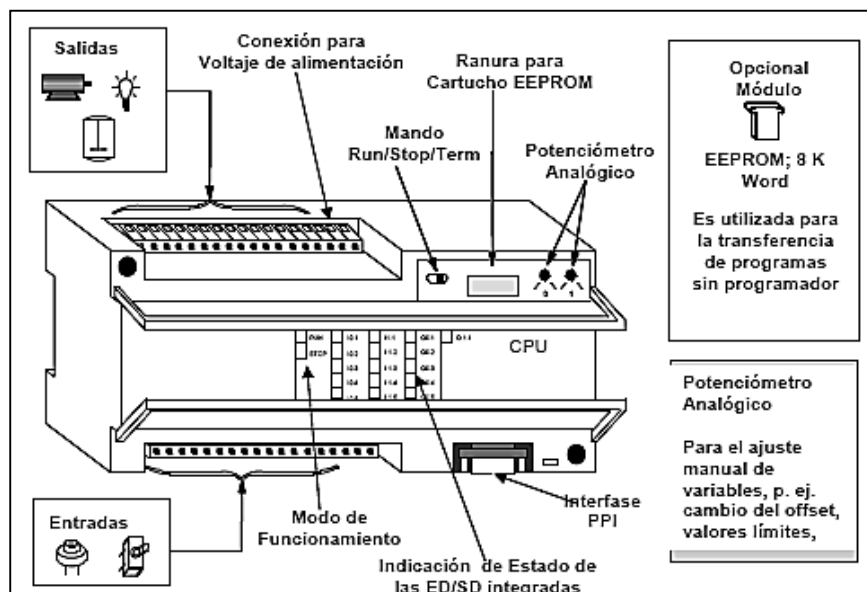


Figura 12: Estructura de un PLC
Fuente: (Aguinaga, 2009, p.8)

1.5.3.2 Funcionamiento de un controlador lógico programable (PLC)

Indica (Aguinaga, 2009) que el PLC opera en forma cíclica, realizando las siguientes tareas:

- Lee las entradas.
- Ejecuta el programa del usuario.
- Procesa las peticiones de comunicación.
- Efectúa el auto diagnóstico.
- Escribe las salidas.

1.5.3.3 Tipos de controladores lógico programable (PLC)

Por su parte indica (Moraza, 2012) que “debido a la gran variedad de tipos distintos de PLC, tanto en sus funciones, en su capacidad, en su aspecto físico y otros, se los puede clasificar de la siguiente manera:

- **Tipo NANO:** Generalmente es un PLC de tipo compacto (Fuente, CPU e I/O integradas) que puede manejar un conjunto reducido de I/O, generalmente en un número inferior a 100. Permiten manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.
- **Tipo Compacto:** Estos PLC tienen incorporado la Fuente de Alimentación, su CPU y módulos de I/O en un solo módulo principal y permiten manejar desde unas pocas I/O hasta varios cientos (alrededor de 500 I/O), su tamaño es superior a los Nanos.
- **Tipo Modular:** Se compone de un conjunto de elementos que lo conforman al controlador final, rack, fuente de alimentación y CPU.

CAPÍTULO II

2. DISEÑO Y CÁLCULO DEL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN

2.1 Introducción

En este capítulo se describe el diseño y cálculos aplicados en el sistema frigorífico propuesto en este estudio, el cual consiste en un sistema de refrigeración mecánica por compresión de vapor, que servirá para realizar la simulación de averías en el circuito de refrigeración accionadas a través de un PLC.

En el diseño del circuito de refrigeración, se consideró los siguientes puntos: características y dimensiones de cada cámara frigorífica; además, varios cálculos relacionados con las cargas térmicas, el trazado del ciclo de refrigeración, selección de refrigerante y equipos mecánicos, a fin de conocer el calor total que se requiere extraer para lograr el efecto de enfriamiento deseado.

2.2 Parámetros de dimensionamiento de las cámaras frigoríficas

Para comenzar a realizar el cálculo del circuito de refrigeración, primero se deben delimitar los parámetros para dimensionar las cámaras frigoríficas; los mismos que se delimitan de acuerdo a los siguientes factores:

- Temperatura exterior e interior.
- Volumen interno.
- Producto a refrigerar.
- Material de construcción.

2.3 Características de las cámaras frigoríficas

Las dos cámaras construidas en este proyecto son: congelación y conservación, las mismas que presentan las siguientes características:

Tabla 4: Características de la cámara de congelación

DESCRIPCIÓN	VALORES
Temperatura Exterior (°C)	25
Temperatura Interior (°C)	-10
Volumen Interno (m³)	0.08
Producto a congelar	Carne
Material Aislante	Poliuretano

Elaborado por: Delgado Mero Fernando – Loo Palma Humberto

Tabla 5: Características de la cámara de conservación

DESCRIPCIÓN	VALORES
Temperatura Exterior(°C)	25
Temperatura Interior(°C)	0
Volumen Interno (m³)	0.12
Producto a enfriar	Carne
Material Aislante	Poliuretano

Elaborado por: Delgado Mero Fernando – Loo Palma Humberto

2.4 Dimensiones de cámaras frigoríficas

Para determinar las dimensiones que presentan las cámaras frigoríficas propuestas, se consideró el criterio de los investigadores, en virtud de que no existe ninguna normativa para construcción de cámaras frigoríficas de pruebas de ensayos, por lo que las dimensiones seleccionada fueron consideradas de acuerdo a las comodidades del usuario al momento de su uso.

Tabla 6: Dimensiones de la cámara de congelación

DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN
Dimensiones externas (m)	Largo: 0.7 Ancho: 0.6 Alto: 0.6
Dimensiones internas (m)	Largo: 0.5 Ancho: 0.4 Alto: 0.4

Fuente: Delgado Mero Fernando – Loo Palma Humberto

Tabla 7: Dimensiones de la cámara de conservación

DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN
Dimensiones externas (m)	Largo: 0.7 Ancho: 0.6 Alto: 0.5
Dimensiones internas (m)	Largo: 0.6 Ancho: 0.5 Alto: 0.4

Fuente: Delgado Mero Fernando – Loo Palma Humberto

2.5 Selección de material y espesor del aislante a utilizar

Se utilizó poliuretano como aislante térmico en los cerramientos de cada cámara frigorífica debido a su bajo valor coeficiente de conductividad térmica y a su accesible costo, en la presente tabla se observan las propiedades de este material:

Tabla 8: Propiedades del poliuretano expandido

PROPIEDADES	VALORES
Densidad kg/m ³	25
Coefficiente de Conductividad Térmica W/(m.°C)	0.020

Fuente: (Ramírez, 2000)

Elaborado por: Delgado Mero Fernando – Llor Palma Humberto

Para realizar la selección del espesor del aislante, se considera en primera instancia la fórmula para hallar la cantidad de calor en el aislante, la cual se muestra en la siguiente ecuación:

$$q = \frac{\lambda (T_e - T_i)}{e} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Dónde:

e = Espesor de aislante (m)

q = Transmisión de calor (W/m²)

λ = Coeficiente de conductividad térmica del poliuretano (W/m°C)

T_e = Temperatura ambiente (°C)

T_i = Temperatura interior de la cámara (°C)

Despejando el valor de e de la ecuación 2.1, se obtiene el espesor del aislamiento térmico a utilizar:

$$e = \frac{\lambda (T_e - T_i)}{q} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

El valor de q en cámaras frigoríficas dedicadas a la conservación de alimentos está dada en: $q=9\text{ W/m}^2$, así mismo para cámaras frigoríficas utilizadas para la congelación de productos equivale a $q=7\text{ W/m}^2$.

Sustituyendo valores de la ecuación 2.2, el espesor del aislamiento térmico para la cámara de congelación es:

$$e_1 = \frac{0.020\text{ W/m}^\circ\text{C}(25^\circ\text{C} - (-10^\circ\text{C}))}{7\text{ W/m}^2}$$

$$e_1 = 0.10 \text{ m}$$

De igual forma, sustituyendo valores de la ecuación 2.2, el espesor del aislamiento para la cámara de conservación es el siguiente:

$$e_2 = \frac{0.020 \text{ W/m}^\circ\text{C}(25^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C})}{9 \text{ W/m}^2}$$

$$e_2 = 0.05 \text{ m}$$

2.6 Cálculo de cargas térmicas en cámara de congelación

Las necesidades térmicas de una instalación frigorífica dependen de diversos factores como la transmisión de calor a través de paredes, suelo y techo del recinto frigorífico, las pérdidas de calor por congelación de producto, las pérdidas de calor por renovación del aire y apertura de puertas, etc. los mismos que se detallan a continuación.

2.6.1 Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en paredes, suelo y techo

Para calcular las pérdidas de carga por transmisión en paredes, suelo y techo se aplica la siguiente ecuación:

$$Q = K * A * (T_e - T_i) \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Dónde:

Q = Tasa de calor en W

K = Coeficiente global de transferencia de calor W/m²°C

A = Superficie total de transferencia de calor m²

T_e = Temperatura exterior de la cámara °C

T_i = Temperatura interior de la cámara °C

Para obtener el coeficiente global de transferencia de calor K , se utiliza la siguiente ecuación:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{he} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{1}{hi}} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Dónde:

he = Coeficiente de convección exterior (W/m^2K)

e_1 = espesor de material 1 (m)

λ_1 = Conductividad térmica de material 1 (W/mK)

e_2 = espesor de material 2 (m)

λ_2 = Conductividad térmica de material 2 (W/mK)

hi = Coeficiente de convección interior (W/m^2K)

2.6.1.1 Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en pared posterior techo y suelo.

Para realizar el cálculo de las pérdidas de cargas en cerramientos se debe tener en cuenta los valores que se muestran en la tabla 9:

Tabla 9: Características de cerramiento en cámara de congelación

DESCRIPCIÓN	VALORES
Temperatura exterior de cámara de congelación °C	25
Temperatura interior de cámara de congelación °C	-10
Área de Paredes Laterales (m²)	0.16
Área de Pared Posterior, Suelo y Techo (m²)	0.20
Área de Pared Frontal (m²)	0.2
Coeficiente de convección exterior (W/m^2K)	22.91
Espesor de material 1 - Aluminio (m)	0.001
Conductividad térmica de material 1 (W/mK)	238
Espesor de material 2 - Poliuretano(m)	0.10
Conductividad térmica de material 2 (W/mK)	0.02
Coeficiente de convección interior (W/m^2K)	10.35
Espesor de material 3 - Vidrio(m)	0.006
Conductividad térmica de material 3 (W/mK)	1.05

Elaborado por: Delgado Mero Fernando – Loor Palma Humberto

Con los valores establecidos en la tabla 9, se toma la ecuación 2.4 para calcular el valor de K , y se obtiene el siguiente resultado:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{22.91 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0.001\text{m}}{238 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0.10\text{m}}{0.02 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0.001\text{m}}{238 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{1}{10.35 \text{ W/m}^2\text{C}}}$$

$$K = 0.19454 \text{ W/m}^2\text{C}$$

En la ecuación 2.3, se sustituyen valores y se obtiene el resultado de la tasa de calor que se multiplica por 3, porque el área de la pared frontal, el techo y el suelo de la cámara son iguales, cuyo resultado es el siguiente:

$$Q_{pts} = 0.19454 \text{ W/m}^2\text{C} * 0.2\text{m}^2 * (25^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C}))$$

$$Q_{pts} = 1.36178 \text{ W} * 3 \text{ Paredes} = 4.08534 \text{ W}$$

2.6.1.2 Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en paredes laterales

Con relación al cálculo anterior las paredes laterales de la cámara tienen áreas distintas que las demás secciones, por ende, el cálculo se modifica, es así que de la ecuación 2.4 se obtiene la siguiente expresión:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{22.91 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0.001\text{m}}{238 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0.10\text{m}}{0.02 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0.001\text{m}}{238 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{1}{10.35 \text{ W/m}^2\text{C}}}$$

$$K = 0.19454 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Posteriormente, se sustituyen los valores de la ecuación 2.3 y el resultado se lo multiplica por dos, ya que son dos paredes laterales de la misma dimensión:

$$Q_{pl} = 0.19454 \text{ W/m}^2\text{C} * 0.16 \text{ m}^2 * (25^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C}))$$

$$Q_{pl} = 1.089424 \text{ W} * 2 \text{ Paredes} = 2.18 \text{ W}$$

2.6.1.3 Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en pared frontal

Para una mejor visión del interior de la cámara de congelación, se diseñó una puerta fabricada de vidrio con marco de aluminio. El cálculo de esta sección es diferente a los anteriores por el material de fabricación, cuyas propiedades se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10: Propiedades del vidrio transparente

DESCRIPCIÓN	VALORES
Espesor (mm)	6
Coefficiente de Conductividad Térmica W/(m.°C)	1.05
Resistencia térmica (m°K/W)	1.2

Fuente:(Ramirez, 2000)

Elaborado por: Delgado Mero Fernando – Looor Palma Humberto

Con los valores de la tabla 10, se utiliza la ecuación 2.4 y así obtener el valor de K , de la puerta delantera de la cámara de congelación:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{22.91 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} + \frac{0.006m}{1.05 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} + \frac{1}{10.35 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}}}$$

$$K = 6.85 W/m^2 \cdot ^\circ C$$

Con este resultado se reemplaza valores en la ecuación 2.3, para obtener el valor de Q .

$$Q_{pfr} = 6.85 \frac{W}{m^2} \cdot ^\circ C * 0.2m^2 * (25^\circ C - (-10^\circ C))$$

$$Q_{pfr} = 47.95 W$$

2.6.1.4 Carga total de calor por transmisión en paredes, suelo y techo

Para obtener la carga total de calor que se genera a través de los cerramientos de la cámara de congelación, se deben sumar los valores que corresponden a: techo, suelo y pared posterior; paredes laterales y pared frontal, cuyos valores son los siguientes:

$$Q_c = Q_{pts} + Q_{pl} + Q_{pfr} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Dónde:

Q_c = Pérdidas de carga por transmisión

Q_{pts} = Pérdidas de carga en pared posterior, techo y suelo

Q_{pl} = Pérdidas de carga en paredes laterales

Q_{pfr} = Pérdida de carga en pared frontal

Se sustituyen valores de la ecuación 2.5 y se obtiene el siguiente resultado:

$$Q_c = 4.08534 \text{ W} + 2.18 \text{ W} + 47.95 \text{ W}$$

$$Q_c = 54.22 \text{ W}$$

2.6.2 Cálculo de pérdidas de carga por producto

Para efectuar el siguiente cálculo, se estima que la carga térmica ingresa a la cámara de congelación es carne de res, la cual ingresa a la cámara con 25°C de temperatura, la misma que muestra las siguientes propiedades:

Tabla 11: Propiedades de la carne de res

PROPIEDADES	VALORES
Densidad (kg/m ³)	500
Cp debajo del punto de congelación kJ/(kg.°C)	1.46
Cp arriba del punto de congelación kJ/(kg.°C)	2.48
Temperatura de congelación de la carne °C	-1.7

Fuente(Ramirez, 2000)

Esta tasa de calor se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$Q = C_p * m * (T_e - T_c) \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Dónde

C_p = Calor específico del producto antes de la congelación, en kJ/ (kg.K)

m = Masa del producto, en kg

T_e = Temperatura del producto al entrar en la cámara, en °C

T_c = Temperatura final de congelación de producto, en °C

2.6.2.1 Cantidad de producto a congelar

Primero se debe definir la cantidad de producto que puede almacenar la cámara, esto se logra utilizando la siguiente expresión:

$$mp = \rho * Vc \text{ (Ec. 2.8)}$$

Dónde:

mp: Masa del producto (kg)

ρ : Densidad del producto a congelar o conservar (kg/m³)

Vc: Volumen interno de la cámara (m³)

Sustituyendo valores de la ecuación 2.8, se obtiene la cantidad de producto que se puede almacenar en la cámara de congelación:

$$mp = 500 \text{ kg/m}^3 * 0.08 \text{ m}^3$$

$$mp = 40 \text{ kg}$$

El objetivo de este proyecto es simular distintas fallas y averías frigoríficas, por lo que se decidió utilizar el 50% de la capacidad total de la cámara, para efectos de cálculo, ya que en sí, no se busca congelar el producto que hay dentro de ella, sino que la carga de la misma, sea para fines demostrativos. Para realizar el próximo cálculo se utiliza 20 kilogramos de carne.

2.6.2.2 Cálculo de pérdidas de carga por producto a congelar

Sabiendo la cantidad de producto que se ingresará a la cámara de congelación, se procede a utilizar la ecuación 2.7 para obtener la tasa calor aportado por el producto a congelar:

$$Qp = 1.46 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * 20 * (25 - (-10^\circ\text{C}))$$

$$Qp = 1022 \frac{kJ}{dia} * \frac{1000J}{1kJ} * \frac{1 dia}{86400 seg} = 11.83 W$$

2.6.3 Calor liberado por motores

Para obtener esta tasa de aportación de calor se utiliza la siguiente expresión:

$$Qm = 0.2 * \Sigma * \frac{P*t}{24} \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Dónde:

P = Potencia de cada motor (W)

t = Tiempo de funcionamiento del motor en horas

0.2= Factor de conversión de la energía en calorías

En el caso de la cámara de congelación, se utiliza un evaporador con aire forzado, el mismo que tiene dos pequeños ventiladores, para efectos de cálculos considera una potencia de 10 W y un tiempo de funcionamiento de 12 horas, valores que se aplican a la fórmula 2.9 a fin de obtener la tasa de calor liberado por motores:

$$Qm = 0.2 * \frac{20 W * 12 h}{24 h}$$

$$Qm = 2 W$$

2.6.4 Pérdidas de carga por renovación de aire y apertura de puerta

El valor de la tasa de renovación de aire (*n*), se lo considera diario porque el cálculo por hora sería innecesario, tal como se muestra en el siguiente cálculo:

$$Qa = V(\Delta h) * n/86,4 \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Dónde:

V = Volumen de la cámara, en m³

Δh = diferencia de entalpías entre el aire interior de cámara y exterior kJ/m^3 , obtenido de la tabla 2

n = tasa diaria de renovación del aire (1/día), obtenido de la tabla 1

Los valores de n/d (tasa diaria de renovación del aire) se consideraron según la tabla 1, los valores de Δh (diferencia de entalpías entre el aire interior de cámara y exterior) se obtuvieron de la tabla 2, especificadas en el capítulo I.

Los valores obtenidos en esta sección solo se consideran por día, ya que el cálculo por hora sería innecesario, es así que partiendo de la ecuación 2.10, se obtiene la tasa de calor por renovación de aire y apertura de puerta:

$$Qa = 0.08\text{m}^3(77\text{kJ/m}^3) * 52/86,4$$

$$Qa = 3.707 \text{ W}$$

2.6.5 Calor total de refrigeración

La cantidad de calor aportado por los factores anteriormente detallados, se suman para obtener el calor total de refrigeración:

$$Qt = Qc + Qp + Qm + Qa \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Dónde:

Qt = Tasa de calor total

Qc = Pérdidas de calor por transmisión en paredes, techo y suelo

Qp = Pérdidas por caga de producto a congelar

Qm = Calor liberado por motores

Qa = Calor por renovación de aire y apertura de puerta

Se utiliza la ecuación 2.11, para conseguir la tasa de calor total de la cámara de congelación:

$$Q_t = 54.22W + 11.83 W + 2 W + 3.707 W$$

Es conveniente incrementar esta cantidad en un 10% como margen de seguridad; así pues, tal como menciona (Ramirez, 2000)

$$Q_t = 70.76 W * 1.1 = 77.83 W$$

2.6.6 Potencia nominal frigorífica

Como el calor generado en las 24 horas de un día se extrae en un número de horas menor, el valor de t (horas de funcionamiento diario de la maquinaria), la potencia frigorífica de la maquinaria Nr es superior a la potencia Q_t , es así que su valor es:

$$Nr = Q_t * \frac{24}{t} \text{ (Ec. 2.12)}$$

Una vez conocida la carga frigorífica de la cámara de congelación, para calcular la potencia frigorífica de la maquinaria, se usa la expresión 2.12, teniendo en cuenta que para efectos de cálculos, esta cámara funcionará 12 horas al día:

$$Nr = 77.83 W * \frac{24}{12} = 155.7 W$$

2.7 Calculo de cargas térmicas en cámara de conservación

Las necesidades térmicas de una instalación frigorífica dependen de diversos factores como la transmisión de calor a través de los cerramientos de la misma, las pérdidas de calor por conservación del producto ingresado en la cámara frigorífica, las pérdidas de calor por renovación del aire y apertura de puerta, etc. los mismos que se detallan a continuación.

2.7.1 Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en paredes, suelo y techo

De igual forma que en la sección anterior, para realizar el siguiente cálculo se deben tener claros las características del material a utilizar en las paredes de la cámara, así como las dimensiones de las mismas, tal y como se muestran en la tabla 11:

Tabla 12: Características de cerramiento en cámara de conservación

DESCRIPCIÓN	VALORES
Temperatura exterior de cámara de conservación °C	25
Temperatura interior de cámara de conservación °C	0
Área de Paredes Laterales (m²)	0.2
Área de Suelo y Techo (m²)	0.3
Área de Pared Posterior (m²)	0.24
Área de Pared Frontal (m²)	0.24
Coeficiente de convección exterior (W/m²K)	22.91
Espesor de material 1 - Aluminio (m)	0.001
Conductividad térmica de material 1 (W/mK)	238
Espesor de material 2 - Poliuretano(m)	0.05
Conductividad térmica de material 2 (W/mK)	0.02
Coeficiente de convección interior (W/m²K)	10.35

Elaborado por: Delgado Mero Fernando – Loo Palma Humberto

2.7.1.1 Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en paredes laterales

Para conocer el valor de K se utiliza la ecuación 2.4.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{22.91 \text{ W/m}^2\text{°C}} + \frac{0.001\text{m}}{238 \text{ W/mK}} + \frac{0.05\text{m}}{0.02 \text{ W/mK}} + \frac{0.001\text{m}}{238 \text{ W/mK}} + \frac{1}{10.35 \text{ W/m}^2\text{°C}}}$$

$$K = 0.3787 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Con el valor de K , se sustituye en la ecuación 2.3, y se realiza el cálculo, se multiplica por dos porque son dos paredes laterales de áreas iguales.

$$Q_{pl} = 0.3787 \text{ W/m}^2\text{°C} * 0.2 * (25\text{°C} - 0\text{°C})$$

$$Q_{pl} = 1.8937 \text{ W} * 2 \text{ Paredes} = 3.787 \text{ W}$$

2.7.1.2 Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en pared posterior

La tasa de calor por transmisión en esta sección de la cámara de conservación, se obtiene al reemplazar valores de la ecuación 2.4.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{22.91 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0.001\text{m}}{238 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0.05\text{m}}{0.02 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0.001\text{m}}{238 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{1}{10.35 \text{ W/m}^2\text{C}}}$$

$$K = 0.3787 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Luego, de la fórmula 2.3, se sustituye valores, obteniendo el valor de Q :

$$Q_{pp} = 0.3787 \text{ W/m}^2\text{C} * 0.24\text{m}^2 * (25^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C})$$

$$Q_{pp} = 2.2722 \text{ W}$$

2.7.1.3 Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en pared frontal

Al igual que en la cámara de congelación, la pared frontal de la cámara de conservación, se fabricó con vidrio transparente y bordes de aluminio, para ofrecer una mejor visión del interior.

Se sustituye valores de la ecuación 2.4, a fin de obtener el coeficiente de conductividad térmica del vidrio.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{22.91 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{0.006\text{m}}{0.78 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{1}{10.35 \text{ W/m}^2\text{C}}}$$

$$K = 6.76 \text{ W/m}^2\text{C}$$

El valor de K , se sustituye en la ecuación 2.3, para conocer el valor de la tasa de calor que circula a través de la pared frontal de la cámara de conservación:

$$Q_{pfr} = 6.76 \text{ W/m}^2\text{°C} * 0.24\text{m}^2 * (25\text{°C} - 0\text{°C})$$

$$Q_{pfr} = 40.56\text{W}$$

2.7.1.4 Cálculo de pérdidas de carga por transmisión en techo y suelo

Con los valores obtenidos en la ecuación 2.4 y en la tabla 11, se calcula el valor de K :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{22.91 \text{ W/m}^2\text{°C}} + \frac{0.001\text{m}}{238 \text{ W/m}^2\text{°C}} + \frac{0.05\text{m}}{0.02 \text{ W/m}^2\text{°C}} + \frac{0.001\text{m}}{238 \text{ W/m}^2\text{°C}} + \frac{1}{10.35 \text{ W/m}^2\text{°C}}}$$

$$K = 0.3787 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \text{°C}$$

El valor de K , se sustituye en la ecuación 2.3, para obtener el resultado de la cantidad de calor que pasa a través del techo y del suelo de la cámara de conservación.

$$Q_{ts} = 0.3787 \text{ W/m}^2\text{°C} * 0.3\text{m}^2 * (25\text{°C} - 0\text{°C})$$

Debido a que el techo y el suelo de la cámara de conservación tienen áreas iguales, el resultado de Q se lo multiplica por dos.

$$Q_{ts} = 2.8403 \text{ W} * 2 \text{ Paredes} = 5.6805 \text{ W}$$

2.7.1.5 Carga total de calor por transmisión en paredes, suelo y techo

La carga total de calor por transmisión en paredes, suelo y techo, se lo obtiene de la siguiente expresión:

$$Q_c = Q_{pl} + Q_{ts} + Q_{pp} + Q_{pfr} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Dónde:

Q_c = Pérdidas de calor por transmisión

Q_{pl} = Pérdidas de calor en paredes laterales

Q_{ts} = Pérdidas de calor en techo y suelo

Q_{pp} = Pérdidas de calor en pared posterior

Q_{pfr} = Pérdidas de calor en pared frontal

Luego se reemplaza valores de la ecuación 2.6 y se obtiene el siguiente resultado:

$$Q_c = 3.787 \text{ W} + 5.6805 \text{ W} + 2.2722 \text{ W} + 40.56 \text{ W}$$

$$Q_c = 52.30 \text{ W}$$

2.7.2 Cálculo de pérdidas de carga por producto

Para efectuar el siguiente cálculo, se estima que la carga térmica ingresa a la cámara de conservación es carne de res, la cual ingresa a la cámara con 25°C de temperatura.

2.7.2.1 Cantidad de producto a refrigerar

De igual manera que la sección anterior, en primer lugar, se realiza el cálculo para obtener la cantidad de producto que se puede almacenar dentro de la cámara de conservación, utilizando la ecuación 2.8 y los valores de la tabla 11:

$$m_p = 500 \text{ kg/m}^3 * 0.12 \text{ m}^3$$

$$m_p = 60 \text{ kg}$$

Igual que en la sección anterior para efectos de cálculos se utilizará el 50% del producto equivalente a 30 kilogramos.

2.7.2.2 Cálculo de pérdidas de cargas por producto a refrigerar

Para obtener la tasa de calor aportado por la cantidad de producto ingresado a la cámara de conservación, se procede a reemplazar los valores mostrados que refleja la tabla 12, en la ecuación 2.7, obteniendo el siguiente resultado:

$$Qp = 2.48 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * 30 * (25 - 0^\circ\text{C})$$

$$Qp = 1860 \frac{\text{kJ}}{\text{dia}} * \frac{1000\text{J}}{1\text{kJ}} * \frac{1 \text{ dia}}{86400 \text{ seg}} = 21.53 \text{ W}$$

2.7.3 Calor liberado por motor

El evaporador instalado dentro de la cámara de conservación, contará con un ventilador de aire forzado, que para efectos de cálculos, se considerará con una potencia de 10 W, y un tiempo de funcionamiento de 12 horas, valores que se reemplazan en la fórmula 2.9 y se obtiene la tasa de calor liberado por motores.

$$Qm = 0.2 * \frac{10 \text{ W} * 12 \text{ h}}{24 \text{ h}}$$

$$Qm = 1 \text{ W}$$

2.7.4 Pérdidas de carga por renovación de aire y apertura de puerta

De la misma forma que en el punto 2.6.4, para realizar este cálculo, los valores correspondientes a n/d se consideraron según la tabla 1, y los valores de Δh se obtuvieron de la tabla 2, especificadas en el capítulo I. Es así que para obtener la tasa de calor por renovación de aire y apertura de puerta se reemplaza valores la de fórmula 2.10 y se obtiene el siguiente resultado:

$$Qa = 0.12\text{m}^3(62.9\text{kJ/m}^3) * 52/86,4$$

$$Qa = 4.5428 \text{ W}$$

2.7.5 Calor total de refrigeración

La ecuación 2.11 se aplica para conocer el total de necesidades térmicas de la cámara de conservación, y luego aplicarle el factor de seguridad del 10%:

$$Q_t = 52.30 \text{ W} + 21.53 \text{ W} + 1 \text{ W} + 4.5428 \text{ W}$$

$$Q_t = 78.34 \text{ W} * 1.1 = 86.21 \text{ W}$$

2.7.6 Potencia nominal frigorífica

La cámara de conservación trabajará durante 12 horas al día, por lo que para obtener el valor de la potencia nominal frigorífica se sustituye valores de la expresión 2.12, obteniendo el siguiente resultado:

$$N_r = 86.21 \text{ W} * \frac{24}{12} = 172.42 \text{ W}$$

2.8 Cálculo y selección de refrigerante

En el siguiente circuito frigorífico se selecciona el R-134A, como agente refrigerante, según los resultados en el cálculo anterior, se considera que la cámara de congelación tiene una carga térmica de 77.83 W, la cámara de conservación tiene una carga térmica de 86,21W.

2.8.1 Trazado de diagrama P-h para R-134A

Como requisito indispensable, se tienen que conocer la temperatura de evaporación y la temperatura de condensación con las que se va a trabajar, ya que partiendo de este punto, se puede ir al diagrama P-h y ubicar las diferentes entalpías, en cada punto.

Para efectos de cálculo, se asumirá, 35°C como temperatura de condensación, ya que a los 25°C de temperatura ambiente, se le aumentaran 10°C; - 15°C como temperatura de evaporación, ya que -10°C es la temperatura más baja que se podrá alcanzar en la cámara de congelación, y se le adicionara -5°C; y por ultimo -5°C como temperatura intermedia, ya que la temperatura que alcanzará la cámara de conservación será de 0°C, aumentándole -5°C, como se muestra en el siguiente gráfico

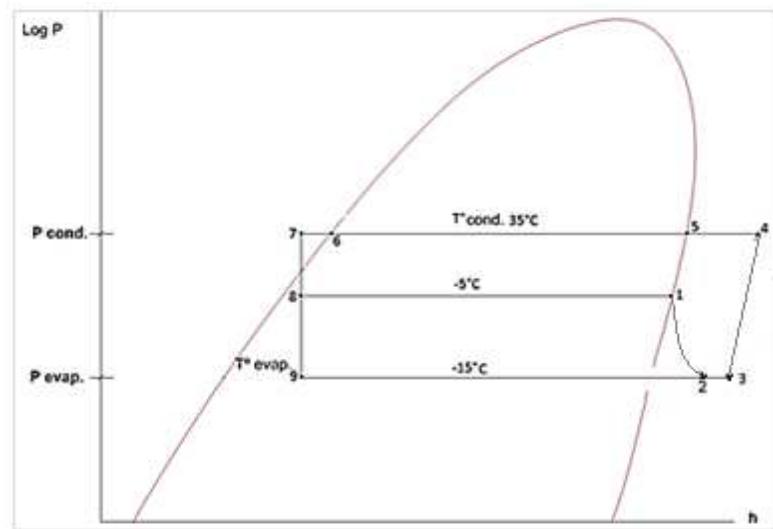


Figura 13: Diagrama P-h de ciclo de refrigeración
Elaboradopor: Delgado Mero Fernando – Loor Palma Humberto

2.8.2 Cálculo de entalpías en cada punto

La correcta colocación de las diferentes entalpías en cada punto del diagrama P-h en el ciclo de refrigeración de un refrigerante, es casi una obligación en el cálculo de una cámara frigorífica, ya que al observar las diversas expresiones que este diagrama arroja, se podrá obtener los datos necesarios para la selección del equipo mecánico a utilizar. Conocida las temperaturas de condensación y de evaporación, se procede a calcular las entalpías en cada punto, ubicándonos en el ANEXO 1:

En el punto 1 del ANEXO 1, el refrigerante se encuentra en fase de vapor, con una temperatura de -5°C, es así que para hallar h_1 y V_1 se utiliza como referencia la temperatura de -5°C.

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = -5^\circ\text{C} \\ \text{Vapor saturado} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = 395.65 \text{ KJ/kg} \\ V_1 = 0.0828 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array}$$

En el punto 2 del ANEXO 1, el refrigerante se encuentra en fase de vapor, pero con una temperatura de -15°C , así mismo, para hallar h_2 y V_2 se utiliza la temperatura de -15°C .

$$\left. \begin{array}{l} T_2 = -15^\circ\text{C} \\ \text{Vapor saturado} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_2 = 389.5 \text{ kJ/kg} \\ V_2 = 0.121 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array}$$

En el punto 3 del ANEXO 1, el refrigerante tiene una temperatura de -15°C , pero con un recalentamiento de 10°C , es así que las propiedades del refrigerante en este punto son las siguientes:

$$\left. \begin{array}{l} T_3 = -15^\circ\text{C} \\ 10^\circ\text{C de recalentamiento} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_3 = 393.8 \text{ KJ/kg} \\ V_3 = 0.1235 \text{ m}^3/\text{kg} \\ s_3 = 1.753 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \end{array}$$

El refrigerante en el punto 4 del ANEXO 1, se encuentra como vapor recalentado, con una entropía constante, y a una temperatura de 35°C y sus propiedades en este punto son las siguientes:

$$\left. \begin{array}{l} T_4 = 35^\circ\text{C} \\ s_3 = s_4 \end{array} \right\} h_4 = 429.97 \text{ KJ/kg}$$

El punto 5 indica que el refrigerante se encuentra como vapor saturado a una temperatura de 35°C :

$$\left. \begin{array}{l} T_5 = 35^\circ\text{C} \\ \text{Vapor saturado} \end{array} \right\} h_5 = 417.15 \text{ KJ/kg}$$

El refrigerante en el punto 6 se encuentra en fase líquida a una temperatura de 35°C , con unas propiedades de:

$$\left. \begin{array}{l} T_6 \text{ } 35^{\circ}\text{C} \\ \text{Liquido Saturado} \end{array} \right\} h_6 = 249 \text{ KJ/kg}$$

En el punto 7, el refrigerante se halla con un Subenfriamiento de 8°C , a una temperatura de 35°C , con entropía constante, por lo que para hallar h_7 , se le resta 8°C a la temperatura de condensación de 35°C :

$$\left. \begin{array}{l} T_7 \text{ } 35^{\circ}\text{C} \\ \text{Subenfriamiento de } 8^{\circ}\text{C} \end{array} \right\} h_7 = 237.44 \text{ KJ/kg}$$

Como los puntos 8 y 9, son procesos isotrópicos, ambas entropías son constantes, por los que las entalpías serán iguales, es decir:

$$h_8 = h_7$$

$$h_9 = h_8$$

2.8.3 Parámetros de ciclo de refrigeración

Los parámetros que se deben calcular son:

Calor absorbido en ambos evaporadores:

$$q_1 = h_1 - h_8 \text{ (Ec. 2.13)}$$

$$q_1 = 395.65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 237.44 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 158.21 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_2 = h_2 - h_9$$

$$q_2 = 389.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 237.44 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 152.06 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Caudal másico de fluido frigorífico en cada evaporador:

$$\dot{m}_1 = \frac{Nr_1}{q_1} \text{ (Ec. 2.14)}$$

$$\dot{m}_1 = \frac{0.155 \text{ Kw}}{158.21 \text{ kJ/kg}} = 0.000979 \text{ kg/seg}$$

$$\dot{m}_2 = \frac{Nr_2}{q_2}$$

$$\dot{m}_2 = \frac{0.17242 \text{ Kw}}{152.06 \text{ kJ/kg}} = 0.001134 \text{ kg/seg}$$

$$\dot{m}_t = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 \text{ (Ec. 2.15)}$$

$$\dot{m}_t = 0.000979 \frac{\text{kg}}{\text{seg}} + 0.001134 \frac{\text{kg}}{\text{seg}} = 0.002113 \text{ kg/seg}$$

Potencia absorbida por el compresor:

$$W_c = \dot{m}_t (h_4 - h_3) \text{ (Ec. 2.16)}$$

$$W_c = 0.002113 \text{ kg/seg} (429.97 \text{ kJ/kg} - 393.8 \text{ kJ/kg}) = 0.076 \text{ Kw}$$

Potencia calórica desprendida del condensador:

$$Q_c = \dot{m}_t (h_4 - h_6) \text{ (Ec. 2.17)}$$

$$Q_c = 0.002113 \text{ kg/seg} (429.97 \text{ kJ/kg} - 249 \text{ kJ/kg}) = 0.3824 \text{ kW}$$

COP Frigorífico (Coeficiente de rendimiento):

$$COP_1 = \frac{h_1 - h_8}{h_4 - h_3} \text{ (Ec. 2.18)}$$

$$COP_1 = \frac{395.65 \text{ kJ/kg} - 237.44 \text{ kJ/kg}}{429.97 \text{ kJ/kg} - 393.8 \text{ kJ/kg}} = 4.3$$

$$COP_2 = \frac{h_2 - h_9}{h_4 - h_3} \quad (\text{Ec. 2.19})$$

$$COP_2 = \frac{389.5 \text{ kJ/kg} - 237.44 \text{ kJ/kg}}{429.97 \text{ kJ/kg} - 393.8 \text{ kJ/kg}} = 4.2$$

Potencia indicada:

$$N_{ir} = \frac{Q_t}{COP_1} \quad (\text{Ec. 2.20})$$

$$N_{ir} = \frac{0.32742 \text{ kW}}{4.3} = 0.076 \text{ kW}$$

Rendimiento Volumétrico:

$$\eta_v = 1 - 0.02 \frac{P_{cond}}{P_{evap}} \quad (\text{Ec. 2.21})$$

$$\eta_v = 1 - 0.02 \frac{887.75 \text{ kPa}}{164.15 \text{ kPa}} = 0.89$$

Rendimiento mecánico se considera = $\eta_m = 0.90$

Rendimiento Isentrópico:

$$\eta_{iso} = \eta_v * \eta_m \quad (\text{Ec. 2.22})$$

$$\eta_{iso} = 0.89 * 0.90 = 0.80$$

Potencia del motor:

$$P_c = \frac{Q_t}{\eta_{iso}} \quad (\text{Ec. 2.23})$$

$$P_c = \frac{0.32742 \text{ kW}}{0.80} = 0.41 \text{ kW}$$

Utilizando factor de conversión para transformar kW a HP resulta:

$$P_c = 0.41 \text{ kW} * \frac{1 \text{ Hp}}{0.745 \text{ kW}} = 0.55 \text{ HP}$$

NOTA: Con los cálculos realizados se determina que para el funcionamiento del sistema de refrigeración, se utilizará un compresor con una potencia de 0.55 HP o $\frac{3}{4}$ DE HP.

2.9 Selección de elementos de circuito de refrigeración

Para la selección de algunos de los elementos mecánicos que forman parte del circuito de refrigeración se utilizó catálogos ofrecidos por distintas empresas dedicadas a la fabricación de repuestos y accesorios de refrigeración doméstica e industrial, tales como DANFOSS, TECUMSEH, EVERWHELL, etc.

2.9.1 Unidad condensadora

Para la selección de este elemento, se la realizó a través de catálogos proporcionados por la marca TECUMSEH, que deberá operar bajo los siguientes parámetros:

Temperatura de Condensación: 35°C (Obtenido de la figura 13)
Temperatura Ambiente: 25°C (Valor obtenido de la figura 13)
Refrigerante a utilizar: 134A
Potencia requerida: 410 W

Estos parámetros ayudarán a seleccionar la unidad condensadora según los modelos ofrecidos en los catálogos de TECUMSEH, se muestra en el anexo 2, y las características de la misma, se muestran en la tabla 13.

Tabla 13: Unidad Condensadora seleccionada									
Modelo	T°Ambiente (°C)	Potencia Frigorífica/ T° Evaporación				HP	Tensión Nominal	Conexiones	
		-15°C	-10°C	-5°C	0°C			LA	LD
CAJN4461 YHR	32	592	737	894	1062	3/4	115V – 60 Hz – 9.4 A	1/2	1/4

Fuente: Catálogo TECUMSEH

En la tabla 13, se observa que el equipo seleccionado tiene una potencia frigorífica de 592 W, trabajando a una temperatura ambiente de 32°C y una temperatura de evaporación de -15°C.

Los cálculos anteriores reflejan como resultado que la potencia frigorífica requerida para satisfacer las necesidades térmicas del circuito frigorífico, es de 410 W, al comparar este valor con la potencia frigorífica de 592 W, de la unidad condensadora seleccionada, se aprecia que excede un poco la carga estimada en los cálculos, sin embargo, las pruebas determinan que no influye negativamente en el funcionamiento (Ver anexo 3).

2.9.1.1 Compresor

Las características del compresor de la unidad condensadora están en la tabla 14:

Tabla 14: Características del compresor

Características Técnicas de Compresor	
Marca	TECUMSEH
Modelo	CAJ4661Y - 214ES-F
Refrigerante	R 134 ^a
Aplicación	Media/Baja Temp.
Desplazamiento	18.3 cm ³
Peso Neto	18.9 Kg
Carga de Aceite	887 cm ³
Tipo de Aceite	P.O.E
Tensión nominal	110V – 60 Hz – 9.20 ^a
Capacitor de Arranque	64 µF / 250 V

Fuente: Catálogo TECUMSEH

2.9.1.2 Condensador

El condensador incorporado en la unidad, presenta un serpentín estructurado por tubos de cobre, aletas fabricadas en aluminio y estructura externa de acero galvanizado; además, posee un ventilador de 16 W, con aspas de 250 mm de diámetro, con 1200 rpm y un flujo de aire de hasta 980 m³/h. Las características adicionales se muestran en la tabla 15.

Tabla 15: Características del condensador

Características de condensador	
Marca	LUVATA
Modelo	D85944
Capacidad	1790 w
Caudal de Aire	980 m ³ /h
Nº Filas	3
Paso de aletas	3,0 mm

Volumen Interno	0.55m ³
Superficie Interna	0.4 m ³
Superficie Externa	2.55m ³

Fuente: Catálogo TECUMSEH

2.9.1.3 Tanque recibidor de líquido

El tanque recibidor de líquido que viene instalado en la unidad condensadora adquirida, tiene una capacidad de 1.5 Litros, y puede trabajar a una presión máxima de 32 bar (Ver anexo 3)

Tabla 16: Características del recibidor de líquido

Características del tanque recibidor de líquido	
Marca	TECUMSEH
Modelo	380182 – C
Volumen	1.5 L
T° Min/Max	-35°C/+63°C
N° Filas	3
Presión máxima	32 bar

Fuente: Catálogo TECUMSEH

2.9.2 Selección de evaporadores

El circuito frigorífico está conformado por dos cámaras a distintas temperaturas, una “Cámara de conservación” que alcanzará una temperatura mínima de 0°C y otra “Cámara de congelación” que alcanzará una temperatura mínima de -10°C, es decir, que se necesita instalar un evaporador en cada cámara frigorífica.

2.9.2.1 Selección de evaporador de cámara de congelación

Para seleccionar el evaporador a ubicar en la cámara de congelación se consideraron los siguientes parámetros:

Temperatura de evaporación: -15°C

Potencia requerida: 172.42 W

Dispositivo de expansión: Válvula de expansión

Aplicación: Baja temperatura

En base a catálogos de THERMOCOIL, se seleccionó el evaporador de acuerdo a su temperatura de evaporación, por lo que se consideró que la capacidad nominal del evaporador seleccionado cumple con las necesidades térmicas de la cámara de congelación, características que se muestran en la tabla 17. (Ver anexo 5)

Tabla 17: Características de evaporador de cámara de congelación

Modelo	Medidas (mm)			Ventilador	Caudal	Rendimiento DT= 10°F	
	Largo	Ancho	Alto			Te= 20°F	Te= -20°F
EB-SRD1B	343	132	102	Nº x Pulgadas 1 x 8"	250	1500	1300

Fuente: Thermocoil

2.9.2.2 Selección de evaporador de cámara de conservación

Para la selección de este elemento se consideraron los siguientes parámetros:

Temperatura de evaporación: -5°C
Potencia requerida: 155.7 W
Dispositivo de expansión: Tubo capilar
Aplicación: Media Temperatura

De acuerdo a los parámetros establecidos, la selección se la realizará, teniendo en cuenta la temperatura de evaporación que requerirá el evaporador, así como la potencia que satisfaga las necesidades térmicas de la cámara de conservación, en base a catálogos ofrecidos por THERMOCOIL, se seleccionó un evaporador modelo EM-SRD1, cuyas características se detallan en la tabla 18. (Ver anexo 4)

Tabla 18: Características de evaporador de cámara de conservación

Modelo	Medidas (mm)			Ventilador	Caudal	Rendimiento DT= 10°F	
	Largo	Ancho	Alto			Te= 20°F	Te= -20°F
EM-SRD1	343	132	102	Nº x Pulgadas 1 x 8"	235	1850	1600

Fuente: Thermocoil

El evaporador seleccionado tiene una capacidad nominal de 1850 BTU/h, al trabajar a una temperatura de evaporación de -6°C, lo que satisfactoriamente cumple con las necesidades térmicas de la cámara de conservación.

2.9.3 Selección de dispositivo de expansión

Inicialmente, se tenía la intención de utilizar en ambas cámaras, válvula de expansión termostática, como dispositivo de expansión, pero al calcular la capacidad de la válvula de expansión a instalar en la cámara de conservación, se llegó a la conclusión de que dicha válvula estaba sobredimensionada, lo que conllevaría a que el compresor se inunde de líquido refrigerante, lo que ocasiona el daño del mismo, es por esto, que se decidió instalar en la cámara de conservación, un tubo capilar como dispositivo de expansión, y en la cámara de congelación una válvula de expansión termostática.

2.9.3.1 Válvula de expansión termostática

Para el cálculo y la selección de la válvula de expansión termostática a instalar en la cámara de congelación, se deben tener en cuenta las siguientes necesidades:

Temperatura/Presión de Evaporación (Po):	-15°C/ 0.586054 bar
Temperatura/Presión de Condensación (Pc):	35°C/ 8.004813 bar
Capacidad del evaporador:	0.43 KW
Refrigerante a utilizar:	134a

La selección de la válvula de expansión termostática se realiza en base a folletos técnicos ofrecidos por DANFOSS.

Para calcular la caída de presión a través de la válvula, se aplica la siguiente ecuación:

$$\Delta P = P_c - P_o - \Delta p \text{ (Ec. 2.24)}$$

Dónde:

ΔP = Caída de presión a través de la válvula

P_c = Presión de condensación

P_o = Presión de evaporación

Δh = valor constante

Se reemplaza valores de la ecuación 2.24 y se obtiene el siguiente resultado:

$$\Delta P = 8.004813 \text{ bar} - 0.586054 \text{ bar} - 3 \text{ bar} = 4.42\text{bar} \approx \mathbf{4bar}$$

La caída de presión de la válvula es de 4 bar, con este valor se revisa en los catálogos ofrecidos por DANFOSS, modelos de válvulas que trabajen a una temperatura de evaporación de -15°C , y de esta forma encontrar la válvula que tenga una capacidad nominal igual o por encima de los 0.43KW que demanda el evaporador. (Ver Anexo 6)

En base a los parámetros descritos se selecciona una VET DANFOSS cuyas características se muestran en la tabla 19. (Ver anexo 7)

Tabla 19: Características de válvula de expansión seleccionada

CARACTERÍSTICAS DE VET SELECCIONADA	
MARCA	DANFOSS
MODELO	TN/2 – 0.25
ORIFICIO	00
CAPACIDAD	0.25 Toneladas de refrigeración
REFRIGERANTE	R-134 ^a

Fuente: DANFOSS

2.9.3.2 Tubo Capilar

Para la selección del tubo capilar a instalar en la cámara de conservación, se partirá de catálogos proporcionados por RPARTS. La selección se realizó en base a las siguientes características:

Potencia del compresor:	$\frac{3}{4}$ HP
Refrigerante a utilizar:	134a
Temperatura de Evaporación:	-5°C
Aplicación:	Temperatura Media

En base a estas características descritas en la tabla 20, el modelo 096-0028, es el que se ajusta a nuestras necesidades, y de acuerdo al catálogo, el fabricante recomienda que el capilar tenga una longitud requerida de 101”.

Tabla 20: Catálogo para selección de tubo capilar

Refrigerant	HP	Low Temperature		Medium Temperature		High temperature	
		RPS PN	Length Required	RPS PN	Length Required	RPS PN	Length Required
R134A	1/8	096-0030	121"	096-0030	92"	096-0030	53"
R401A	1/6	096-0030	78"	096-0026	106"	096-0026	79"
R401B	1/5	096-0026	59"	096-0026	36"	096-0026	26"
R409A	1/4	096-0026	47"	096-0027	99"	096-0027	66"
R500	1/3	096-0027	102"	096-0027	79"	096-0027	39"
	1/2	096-0032	105"	096-0032	52"	096-0032	99"
	3/4	096-0032	66"	096-0028	101"	096-0028	79"
	1	096-0032	39"	096-0028	92"	096-0028	59"

Fuente:(Ariza & Florez, 2008, p.71)

En la tabla 21, se muestran las características del capilar con N° parte 096-0028, el mismo que posee un diámetro interno de 0.06 pulgadas y una longitud de 100 pulgadas (2.54m).

Tabla 21: Características de tubo capilar seleccionado

Part N°	Price	Description
096-0030	\$ 14.95	# 5-10 Cap tube- .028"ID x .071"OD x 10"
096-0026	\$ 14.95	# 110 Cap tube- .031"ID x .083"OD x 10"
096-0027	\$ 16.95	# 2-12 Cap tube- .040"ID x .093"OD x 12"
096-0032	\$ 16.95	# 3-12 Cap tube- .052"ID x .093"OD x 12"
096-0028	\$ 15.95	# 116 Cap tube- .064"ID x .125"OD x 10"

Fuente: (Ariza & Florez, 2008, p.71)

2.9.4 Selección de diámetro tuberías

Para la selección del diámetro de tuberías de los distintos tramos de la línea de succión, descarga y líquido se consideraron los siguientes criterios:

Potencia frigorífica: 0.70 kW

Refrigerante a utilizar: 134A

Temperatura de evaporación: -15°C

Temperatura de condensación: 35°C

A partir de estos criterios se utilizó el ANEXO 8 para la selección de los diámetros de tuberías de aspiración, descarga y líquido del circuito frigorífico.

Primero se calculó que la longitud del recorrido de la tubería de aspiración es de 4 metros, la tubería de descarga es de 5 metros y la tubería de líquido es de 5 metros.

Delimitadas las longitudes de las tuberías se procedió a calcular la caída de presión por metro de tubería, teniendo en consideración que los límites permitidos de caídas de presión son:

Tubería de aspiración:	0.06 bar(6 kPa)
Tubería de descarga:	0.15 bar(15 kPa)
Tubería de líquido:	0.35 bar(36 kPa)

Para determinar la caída de presión por metro de tubería, se procedió a dividir el límite permitido de caída de presión con la longitud de tubería del tramo que se desea calcular, resultando:

Tubería de aspiración:	$6 \text{ kPa} / 4 \text{ m} = 1.5 \text{ kPa/m}$
Tubería de descarga:	$15 \text{ kPa} / 2 \text{ m} = 7.5 \text{ kPa/m}$
Tubería de líquido:	$35 \text{ kPa} / 5 \text{ m} = 7 \text{ kPa/m}$

Obteniendo el cálculo de caída de presión por metro de tubería se utilizó el ANEXO 8, para dimensionar las tuberías del circuito frigorífico, determinando que para la tubería de succión es necesario un diámetro de 3/8", y para las tuberías de descarga y de líquido es necesario un diámetro de 1/4".(ver ANEXO 8)

2.9.5 Selección de accesorios y dispositivos de control

Para seleccionar los distintos accesorios y dispositivos de control que se instalaron a lo largo del circuito de refrigeración se consideraron los diámetros de tuberías en la que se ubicaron los mismos.

2.9.5.1 Selección de válvulas solenoides

La selección de la válvula solenoide se la realiza en base a los diámetros de tuberías utilizados en el sistema. Ya que la válvula solenoide se ubica en la línea de líquido, sus conexiones deben de ser de $\frac{1}{4}$ " de diámetro. Con esta referencia y buscando en catálogos de DANFOSS, se selecciona una válvula DANFOSS, modelo EVR3. (Ver Anexo 9)

2.9.5.2 Selección de válvula reguladora de presión de evaporación

Para la selección de este elemento, se considera el diámetro de la tubería en la que va instalada en este caso en la línea de succión, cuyo diámetro es de $\frac{3}{8}$ ", pero al consultar en catálogos de diferentes fabricantes, se pudo conocer que el diámetro más pequeño en el que vienen fabricadas estas válvulas, es de $\frac{1}{2}$ ".

Por lo que se selecciona una válvula ALCO CONTROLS modelo OPR6, que tiene conexiones de $\frac{1}{2}$ " del tipo roscables, con un rango de que va de 0 hasta 50 psi, lo que cumple con los requerimientos de nuestro sistema. (Ver anexo 10)

2.9.5.3 Selección de válvula de retención o anti retorno

En esta instalación frigorífica esta válvula va instalada a la salida del evaporador de la cámara de congelación, para evitar que haya migración y condensación de refrigerante desde el evaporador más caliente al evaporador más frío.

La selección de esta válvula, se la realiza en base al diámetro de la tubería donde va instalada, en función de esto, se ha elegido una válvula DANFOSS, modelo NVR 10, con conexiones de $\frac{3}{8}$, y con una presión máxima de trabajo de 46 bares. (Ver anexo 11)

2.9.5.4 Selección de válvulas de paso

Para la selección de las válvulas de paso que se van a instalar a lo largo del sistema, se debe tener en consideración el diámetro de las tuberías de baja y alta presión. Es así que para la línea de alta presión que tiene un diámetro de ¼”, se utiliza válvulas marca EVERWHELL, modelo HV-14, del tipo roscable; y para la línea de baja presión, que tiene un diámetro de 3/8”, se utilizarán válvulas marca EVERWHELL, modelo HV-38, con conexión roscable. (Ver anexo 12)

2.9.5.5 Selección de filtros desecantes

Su selección se la realiza en base al diámetro de tubería en la que va instalada, por esta razón, se selecciona un filtro marca EVERWHELL, modelo SEK-082. (Ver anexo 13)

2.9.5.6 Selección de manómetros

La selección de estos elementos se la realiza de acuerdo a las presiones de operación, dentro del sistema, es decir que para el lado de alta presión se utilizarán manómetros de la marca EVERWHELL modelo RG500, que tienen rangos de operación de 0-500 psi, y para el lado de baja presión se utilizarán los modelos RG250, de la marca EVERWHELL, con rangos de operación que van desde 0 hasta 250 psi. (Ver anexo 13)

2.9.5.7 Selección de presostato dual

Al comprar la unidad condensadora TECUMSEH, el presostato dual vino incluido en el equipo y sus características se especifican en la tabla 3.16. (Ver anexo 15)

Tabla 22: Características de presostato dual

Características de presostato dual	
Modelo	Kp17w
Conexiones	¼ roscable

Rango de t°lp	-0.2...7.5 bar
Diferencia de t°lp	0.7 bar
Rango de t° hp	8...32bar
Diferencia de t° hp	4 bar

Fuente: Delgado Mero Fernando – Loor Palma Humberto

2.9.5.8 Selección de termostatos

Se utiliza en el proyecto para abrir o cerrar el paso de refrigerante por medio de la activación o desactivación de la válvula solenoide en caso de que el termostato registre una temperatura elevada para el interior de las cámaras frigoríficas. Se utilizan dos modelos de termostatos marca FULL GAUGE, el modelo MT 512 Rí para la cámara de congelación, y el modelo MT 511Rí para la cámara de conservación, ambos termostatos poseen un rango de temperaturas que oscilan entre -50°C/75°C. (Ver anexo 16)

2.9.6 Selección de componentes de circuito eléctrico

Para la selección de los elementos de control y de fuerza que integran el circuito eléctrico, es necesario conocer la placa de características de la unidad condensadora, la misma que se muestra en la tabla 23.

Tabla 23: Rangos de operación de Unidad condensadora

Rangos de operación de unidad condensadora	
Voltaje	115 V
Amperios	9.4 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	$\frac{3}{4}$ hp

Fuente: Delgado Mero Fernando – Loor Palma Humberto

2.9.6.1 Selección de breaker principal

Se selecciona un disyuntor electromagnético marca CAMSCO, modelo C60N de las siguientes características:

Tabla 24: Características de disyuntor electromagnético

Características del disyuntor electromagnético	
Marca	Camsco
Polos	2

Amperios	30 A
Rated Voltage	400 V
Capacidad de corte	6000 A

Fuente: Delgado Mero Fernando – Loor Palma Humberto

2.9.6.2 Selección de contactores

Para la construcción del circuito eléctrico se seleccionó un Contactor marca LOW COST CONTROLS, modelo GMC-30P2, cuyas especificaciones se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 25: Características de contactor

Características del Contactor	
Marca	Low Cost Control
Cantidad	2
Amperios	30 A
Voltaje	220 V

Fuente: Autores

2.9.6.3 Selección de PLC

La selección del PLC, a utilizar para la realización de simulación de averías en la instalación frigorífica móvil, se realizó en base a:

- Número de entradas.
- Número de salidas.
- Costos del equipo.
- Voltaje del equipo.

En base a las condiciones antes descritas, se seleccionó un PLC marca SCHNEIDER ELECTRIC modelo SR2B121FU (Ver anexo 19), que cuenta con las siguientes características:

Tabla 26: Características de PLC

CARACTERÍSTICAS DE PLC	
Voltaje	100...240 VAC
Amperios	6.3 A
Frecuencia	50/60 Hz
Nº Entradas	8
Nº Salidas	4

Fuente: Delgado Mero Fernando – Loor Palma Humberto

CAPÍTULO III

3. MONTAJE Y CONSTRUCCIÓN

3.1 Introducción

Este capítulo describe el montaje de los componentes mecánicos del circuito de refrigeración, además de la estructura base de la instalación frigorífica móvil. Para este proceso se aplicó las recomendaciones técnicas encontradas en el “Manual de Instalación del Sistema de Refrigeración” presentado por la empresa Bohn de México. En vista de que la mayoría de componentes mecánicos utilizados en este proyecto son de la marca DANFOSS y EVERWHELL, para su instalación se siguieron las recomendaciones técnicas propiciadas por el fabricante; a fin de tener un resultado satisfactorio en el funcionamiento de sus componentes.

3.2 Construcción de la estructura base

Para construir la estructura base de la instalación frigorífica se procuró que todos los componentes estén a la vista de cualquier persona, siendo sus dimensiones las siguientes:

Tabla 27: Dimensiones de la estructura metálica

DESCRIPCIÓN	ANEXOS
Vista lateral de la estructura metálica	Anexo 20
Vista frontal de la estructura metálica	Anexo 21
Cámara de congelación	Anexo 22
Cámara de conservación	Anexo 23

Elaborado por: Delgado Mero Fernando – Loor Palma Humberto

3.3 Montaje de la unidad condensadora

Para el montaje de la unidad condensadora, se procuró colocarla de tal manera que el aire pueda circular libremente a través del condensador y no sea recirculado, a cierto espacio de las paredes de la estructura base de la instalación frigorífica móvil, así como de las paredes exteriores de las cámaras frigoríficas, para que de esta manera, el aire caliente, que rechaza el condensador, no choque con alguna pared de los elementos antes mencionados y pueda calentarlas.



Figura 14: Ubicación de Unidad Condensadora
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

3.4 Montaje e instalación de evaporadores

Para el montaje e instalación de los evaporadores dentro de las cámaras frigoríficas se utilizaron distintas herramientas como taladro, llave francesa, remachadora, destornillador, así como también remaches y tornillos.

3.4.1 Montaje de evaporador de cámara de conservación

A fin de instalar el evaporador dentro de la cámara de conservación se consideró colocarlo de tal forma que la circulación del flujo de aire de ventilador cubra el interior de la cámara; además, se evitó colocar el evaporador frente a la puerta de esta. Hay que mencionar que para reducir la migración de aceite proveniente del compresor hacia el evaporador, se instaló a la salida del evaporador un sifón o trampa de aceite. La ubicación del evaporador se muestra en la siguiente figura.



Figura 15: Montaje de evaporador dentro de cámara de conservación
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

3.4.2 Montaje de evaporador de cámara de congelación

Para el montaje del evaporador de la cámara de congelación se consideraron las mismas recomendaciones técnicas que se aplicaron en la cámara anterior. Es decir, se procuró colocar el evaporador lo más lejano posible de la puerta de acceso a la cámara, de igual forma se ubicaron estratégicamente los ventiladores a lo largo del serpentín del evaporador, para que el flujo de aire generado por los mismos, se distribuya en el interior de toda la cámara, además de cerciorarse que el flujo de aire del ventilador esté direccionado hacia al frente del evaporador para que el aire generado por el ventilador no choque directo en la puerta de la cámara.



Figura 16: Ubicación de evaporador dentro de cámara de congelación
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

3.5 Montaje de tuberías

Una vez montados los evaporadores en ambas cámaras y la unidad condensadora con sus respectivos elementos, se realizó la delimitación de los espacios en la estructura metálica para la colocación de los accesorios y componentes a lo largo del circuito frigorífico, además de ubicar el recorrido de la línea de alta y baja presión en el sistema.

Delimitados los espacios para cada elemento se procede a diseñar el circuito unifilar frigorífico, el mismo que se muestra en la siguiente figura:

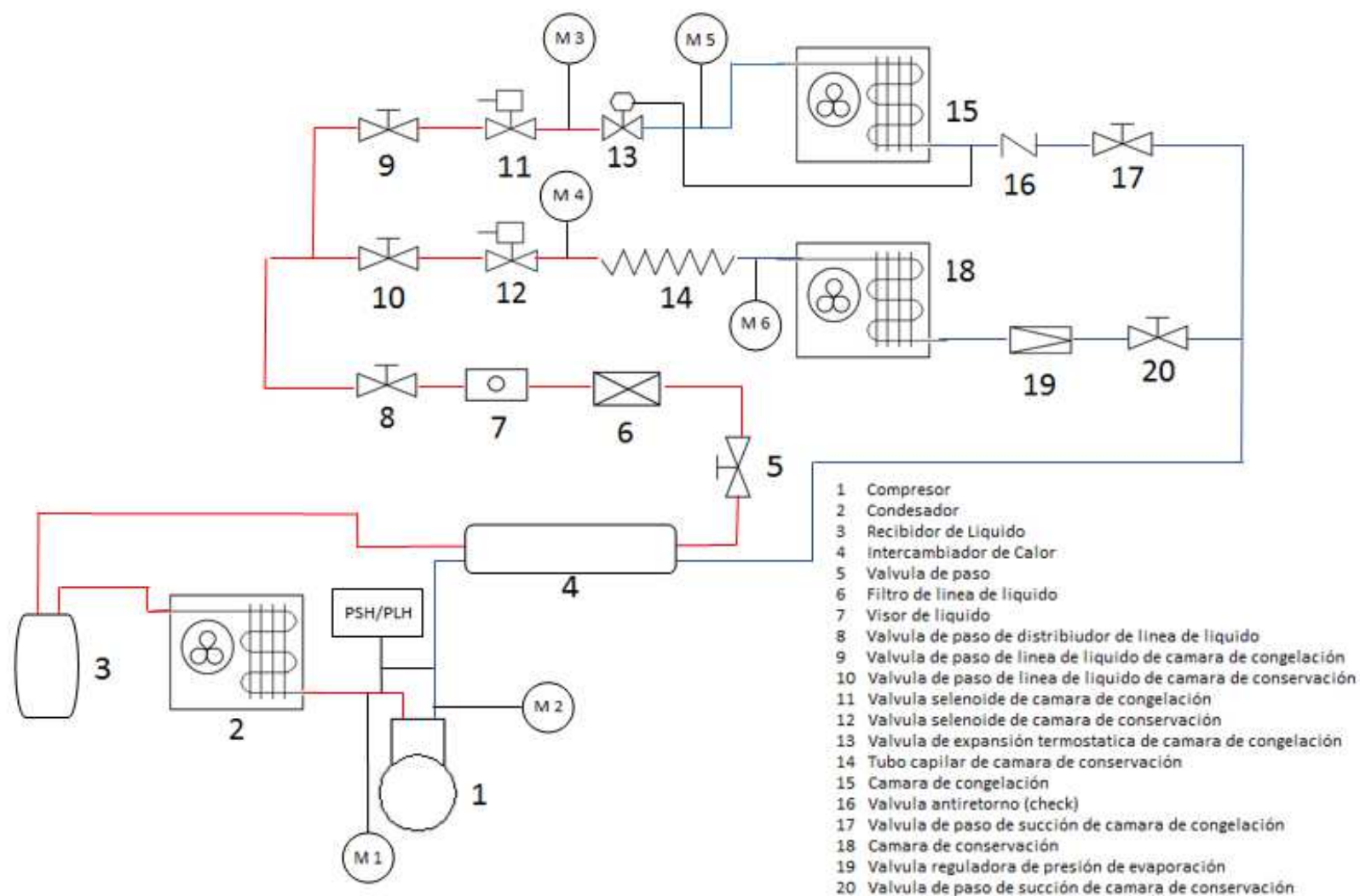


Figura 17: Circuito de refrigeración
 Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Llor Palma

Con el diseño del circuito de refrigeración concluido, se procede a fijar a la estructura todos los elementos que irán asentados en la misma, tales como manómetros, válvulas, y presostato, como se muestra en la siguiente figura.

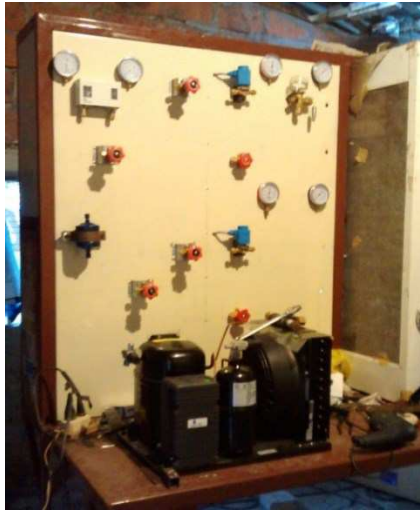


Figura 18: Delimitación de recorrido de líneas de tuberías y fijación de accesorios
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Looor Palma

Los elementos que se aprecian en la figura 18, requirieron para su unión tuberías de cobre de 3/8” de diámetro para la línea de succión y de 1/4” de diámetro para la tubería de descarga y de líquido, además de acoples mecánicos de diferentes medidas. Para la unión de los acoples mecánicos con las tuberías de cobre, se realizó un “acampanado” en las mismas, cortándolas con un corta tubo¹, para luego eliminar cualquier residuo de viruta o sobrante de tubería producido por el corta-tubo, a fin de no dejar residuos en el interior de éstas y con ello prevenir futuros daños en los elementos mecánicos del sistema.

Para realizar el acampanado se expandió la tubería con la prensa – expansora, para descartar cualquier fuga que se pueda presentar en el sistema.

Para el resto de elementos con uniones soldables, codos, tee’s, y reducciones de cobre, se utilizó soldadura de plata al 5%. Cerciorándose de limpiar la superficie de la tubería para que la soldadura esté bien reforzada.

¹Es recomendable que los cortes de los tubos de cobre nunca se realicen con una sierra o cuchillo, de forma recta sin curvaturas.



Figura 19: Unión de tuberías con soldadura de plata al 5%
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

3.6 Montaje de accesorios

Para instalar los distintos tipos de accesorios, como: válvulas de paso, filtros deshidratadores y visor de líquido, se lo debe de realizar preponderando el sentido de dirección del flujo que viene indicado por el fabricante, ya que esto garantiza el correcto funcionamiento de estos elementos, tal como se muestra en los anexos: 11, 12 y 13.

3.6.1 Montaje de válvula de expansión termostática en cámara de congelación

La instalación de esta válvula requiere un riguroso proceso que consisten en: colocar la VET lo más cerca posible de la entrada del evaporador. El correcto funcionamiento de ésta válvula se relaciona con la ubicación del bulbo, ya que este permite abrir o cerrar la válvula de acuerdo a la temperatura que sensa en la tubería de succión donde va instalado.

De igual manera, evitar colocar el bulbo al lado de codos o “eles”, puesto que habrá una inadecuada lectura de temperatura que afecta el funcionamiento de la válvula.

Según manifiesta (Danfoss, 2007) “La mejor posición de montaje del bulbo es en una tubería de aspiración horizontal, en una posición entre la una y las cuatro de las agujas del reloj”. (Ver anexo 24)



Figura 20: Montaje de bulbo de VET en tubería de succión
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

3.6.2 Montaje de tubo capilar en cámara de conservación

La correcta instalación y el buen funcionamiento del tubo capilar para la cámara de congelación, depende de que en el capilar no existan deformaciones, que obstruirían el paso del refrigerante expandido al evaporador. Se deberá instalar la longitud del capilar recomendada por el fabricante, ya que un sobredimensionamiento provocaría una mala evaporación de refrigerante dentro del evaporador que afecta negativamente el rendimiento del sistema.



Figura 21: Montaje de tubo capilar de cámara de conservación
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

3.6.3 Montaje de válvula Solenoide

Para el montaje de este elemento se debe considerar la dirección del flujo con la que viene fabricada la válvula, esta se observa en la figura 22. Para asegurar el buen funcionamiento de ésta válvula se debe instalarla lo más cercano al dispositivo de expansión, a fin de evitar golpes de ariete que deformen la tubería que la conecte.



Figura 22: Válvula Solenoide instalada en línea de líquido
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loo Palma

3.6.4 Montaje de Regulador de presión de evaporación

En sistemas de refrigeración con evaporadores a distintas temperaturas, la válvula reguladora de presión de evaporación se instala en la línea de succión del evaporador con más alta temperatura; considerando la dirección del flujo indicado en la etiqueta adherida a la válvula, es importante que las tuberías de entrada y salida de la válvula, estén sujetas con abrazaderas, para evitar deformaciones y roturas en la soldadura.



Figura 23: Montaje de regulador de presión de evaporación
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loo Palma

3.6.5 Montaje de la válvula anti retorno

Es importante colocar de forma apropiada el sentido de dirección de flujo de esta válvula, porque si se la instala de forma incorrecta se obstruirá el paso normal de refrigerante y taponará el tramo de tubería en la que se instaló.



Figura 24: Montaje de válvula anti retorno (check)
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

3.6.6 Montaje de manómetros

Los manómetros se fijan a la estructura base mediante tornillos de sujeción, con el objetivo de que no queden inclinados; para conectar los manómetros se utilizó un acople mecánico que se conecta con una tuerca de sujeción, el cual requiere de un “acampanado” a la tubería de 1/4” que a su vez, se suelda con un capilar de 3/16”, para lograr la conexión deseada, tal como se muestra en la figura 25.



Figura 25: Montaje de manómetro
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

3.6.7 Montaje de termostatos (FULL GAUGE)

Estos dispositivos de control electrónicos, permiten leer las temperaturas de un espacio, mediante una sonda ubicada en el lugar que se desea controlar. Esta sonda, debe ir ubicada preferiblemente lejos del evaporador, o de cualquier elemento que permita que el registro de temperatura sea “engañoso”, ya que al hacer contacto con una superficie de metal, inmediatamente registrará esta temperatura y no la del espacio a refrigerar.



Figura 26: Ubicación de sonda de termostato dentro de cámara de congelación
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Looor Palma

Con todos los elementos ubicados en la estructura metálica se obtiene el siguiente resultado:



Figura 27: Instalación frigorífica móvil
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Looor Palma

3.7 Conexiones eléctricas

El circuito frigorífico se acciona mediante un circuito eléctrico, que está subdividido a su vez por un circuito de elementos de potencia y de control. Los mismos que accionan los distintos elementos eléctricos de la instalación frigorífica móvil, tales como: unidad condensadora, presostato, termostatos, ventiladores, válvulas solenoides, entre otros.

Elementos que se detallan en el Anexo 25, así mismo en el Anexo 26, se detallan las conexiones eléctricas que alimentan al PLC.

3.8 Programación del PLC

La programación del PLC a utilizar en el siguiente proyecto, permitió ingresar al controlador lógico programable las diferentes condiciones para realizar la simulación de las diferentes averías frigoríficas.

Para ejecutar dicha programación se utilizó un programa especial llamado ZELIO SOFT, el mismo que está diseñado para la programación de PLC's de la marca Schneider Electric, el cual utiliza un lenguaje de programación denominado KOP o diagrama de contactos.

Para iniciar la programación del PLC, se procede a la identificación de las entradas y salidas que irán conectados al equipo, las mismas que se muestran en las tablas 28 y 29 respectivamente:

Tabla 28: Lista de entradas asignadas para el PLC

Entrada	Asignación
I1	Avería 1 – Señal de Válvulas Solenoides
I2	Avería 2 – Señal de Ventilador de condensador
I3	Avería 3 – Señal de ventiladores de evaporadores
I4	Avería 4 – Señal de capacitor de arranque del compresor
I5	
I6	
I7	
I8	

Elaborado por: Delgado Mero Fernando – Looor Palma Humberto

Tabla 29: Lista de salidas asignadas para el PLC

Salida	Asignación
Q1	Contactor de válvulas solenoides
Q2	Bobina de ventilador de condensador
Q3	Bobina de ventiladores de evaporadores
Q4	Contacto de capacitor de arranque de compresor

Elaborado por: Delgado Mero Fernando – Loor Palma Humberto

3.8.1 Programación de simulación de averías frigoríficas

En la presente figura, se muestra el diagrama de programación para la simulación de averías frigoríficas, en el interfaz de usuario del programa ZELIO SOFT. En el mismo se puede observar las entradas representadas por la letra I, y las salidas representadas por la letra Q.

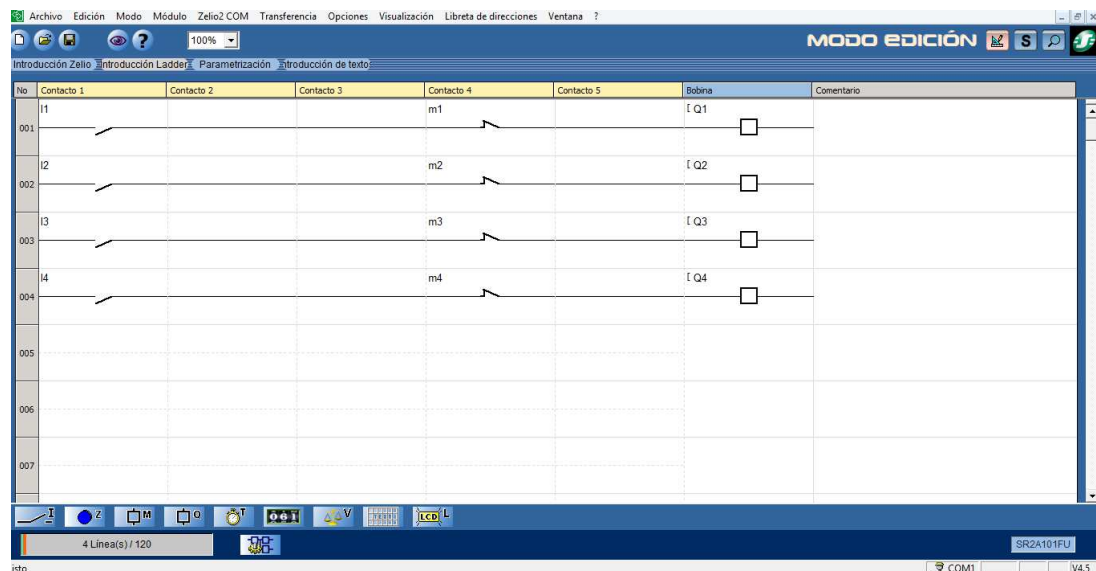


Figura 28: Diagrama para programación de PLC

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

Dicho diagrama está conformado por interruptores de encendido, luces piloto, y contactores que alimentan los distintos elementos que se desean desenergizar, tales como: ventiladores, válvulas solenoides etc.

Para entender el proceso de simulación de averías accionadas por el PLC, se tienen que tener claro las entradas y salidas del mismo, las cuales se muestran en las tablas 28 y 29.

Una vez energizado el sistema, a través del programa se observa que al accionar la entrada 1 (I1) inmediatamente se corta la energía del contactor de las válvulas solenoides (Q1), y se enciende la luz piloto conectada a este contactor, de igual forma, al accionar la entrada 2 (I2), se abre el contacto M2, desenergizando el contactor del ventilador del condensador, encendiendo la luz piloto conectada a este contactor.

Al pulsar el I3, el contacto M3 que esta normalmente cerrado, se abre, ordenando el corte de energía a los ventiladores de los evaporadores (Q3), accionando a su vez, la luz piloto conectada a este contactor, y finalmente pulsando el I4, se abre el contacto M4, comandando el corte de energía al contactor del capacitor de arranque del compresor, activando la luz piloto de esta avería. Acciones que se muestran a través de la simulación del ZELIO SOFT (figura 29).

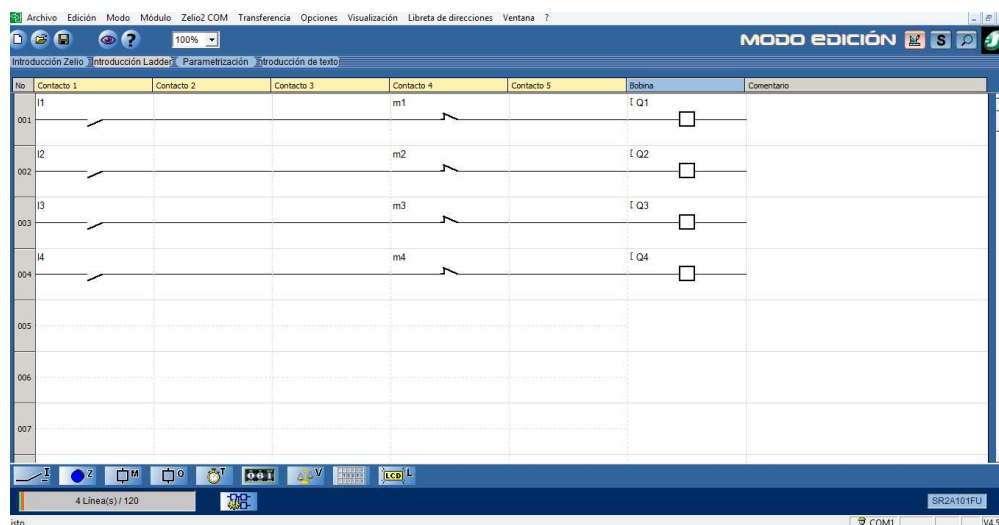


Figura 29: Simulación de diagrama de averías frigoríficas a través del ZELIO SOFT
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y SIMULACIÓN DE FALLOS EN EL SISTEMA

4.1 Introducción

En este capítulo se describen las pruebas de funcionamiento y la simulación de fallos que se realizaron en la instalación frigorífica móvil. Es importante indicar, que para realizar la simulación de fallos frigoríficos, primero se tuvo que ejecutar una prueba de funcionamiento inicial, con el objetivo de comprobar el buen funcionamiento de la instalación frigorífica móvil, y conocer los rangos de operación del sistema de refrigeración, a fin de obtener datos de presiones y temperaturas del equipo al operar normalmente, que servirán para analizar los efectos negativos de las fallas simuladas, en el funcionamiento del ciclo de refrigeración.

4.2 Procedimientos para puesta en marcha del equipo

Antes de realizar la prueba de funcionamiento inicial se tuvo que ejecutar varios procedimientos que son necesarios en la construcción y montaje de un circuito frigorífico, tales como: detección de fugas, vacío en el sistema y carga de refrigerante. Todos estos procedimientos se realizan para asegurar un buen funcionamiento de los componentes del circuito al momento de poner en marcha la instalación frigorífica móvil.

4.2.1 Detección de fugas

Este proceso se realizó para asegurar que el circuito frigorífico sea completamente hermético y no existan pérdidas de refrigerante por la presencia de fugas en el sistema. Como primer paso se presurizó el sistema frigorífico con 125 psi de nitrógeno seco. Después de presurizar el sistema, se procedió a verificar la presencia de fugas de la siguiente manera:

- Se colocó una solución de agua con jabón en todas las uniones roscables y soldables, con el fin de verificar la ausencia de espuma en todas las uniones.
- Se comprobó que la presión con la que se inició el proceso se mantenga en el mismo valor después de 24 horas.

Luego de 24 horas después de presurizar el sistema, se encontraron pequeñas fugas en algunas uniones roscables y soldables de válvulas de paso, y demás componentes mecánicos, las mismas que fueron corregidas ajustando los acoples mecánicos y soldando con varillas de plata las juntas soldables que presentaron fugas.



Figura 30: Corrección de soldadura en junta soldable que presentó fuga
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loo Palma

4.2.2 Vacío en el sistema

Una vez que se corrigió las fugas que presentaron las juntas soldables y uniones roscables, se realizó un proceso de vacío para eliminar cualquier residuo de impureza y rastro de humedad. Para este procedimiento se necesitó una bomba de vacío y un juego de manómetros de alta y baja presión (manifold).

Primero se conectó la manguera de servicio del manifold en la bomba de vacío y la manguera del lado de baja presión a la válvula de servicio del compresor, luego se cerró la llave del manifold del lado de alta presión; seguidamente se prende la bomba de vacío y se verificó que la presión en el manómetro de baja comience a descender hasta los valores más bajos posibles (in. Hg). Finalmente se apagó la bomba y se cerraron todas las llaves del manifold para observar y anotar las presiones que tenía el sistema, en el momento que se apagó la bomba.

Se esperó un lapso de 24 horas, para comprobar que las presiones en los manómetros se hayan mantenido en los mismos valores, signo claro de que el proceso de vacío ha finalizado correctamente.



Figura 31: Proceso de vacío en sistema
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Looor Palma

4.2.3 Carga de refrigerante

Concluido el proceso de vacío se realiza la carga de refrigerante al sistema frigorífico; este proceso se realizó con el sistema en paro, para que el refrigerante ingrese por la válvula de servicio del tanque receptor en forma de líquido.

Se procede a cerrar las llaves del juego de manómetros (manifold) y se desconectó la bomba de vacío de la manguera de servicio del manifold, luego se conectó esta manguera con el cilindro del refrigerante R 134A, después se habilitó la llave de servicio del cilindro de refrigerante verificando primero que la botella de refrigerante se gire hacia abajo para asegurarse de que el refrigerante que ingrese al sistema sea solo líquido.

Luego se purgó las mangueras del manifold, para que se elimine la pequeña cantidad de gas no refrigerante que exista dentro de las mangueras. Luego se abrió poco a poco la llave del lado de alta presión del manifold, habilitando el paso de refrigerante al sistema, durante 5 – 8 minutos, hasta que la presión del sistema y del manifold se iguale.

Se prendió el compresor, para completar la carga de refrigerante en forma de vapor por el lado de baja presión. Acción que se efectuó al cerrar la válvula de alta presión del manifold, para luego habilitar el lado de baja presión del manifold, verificando a través del visor de líquido instalado en el sistema que no existan burbujas de aire, y que la carga de refrigerante en el sistema esté completa.



Figura 32: Carga de refrigerante en sistema
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

4.2.4 Puesta en marcha y verificación de funcionamiento

Una vez completados los procesos antes detallados, se procede a poner en marcha la instalación frigorífica móvil para observar cual es el desempeño de los componentes del equipo.

Se verificó el buen funcionamiento de la unidad condensadora y sus componentes: compresor, tanque recibidor, y ventilador del condensador. Se realizó una inspección visual al visor de líquido, para asegurarse de que no exista falta de refrigerante en el sistema. Además se verificó que el filtro deshidratador y el intercambiador de calor no presenten condensación en su superficie exterior.

Se observaron los manómetros de alta y baja presión del circuito frigorífico, los mismos que registraban una presión de descarga del compresor de 125 PSI y una presión de succión de 28 PSI, valores que no son normales en el funcionamiento de un circuito frigorífico de estas características.

Se comprobó el correcto funcionamiento de las válvulas de paso del circuito frigorífico, además de verificar el accionamiento de las válvulas solenoides. Luego de 20 minutos de haber arrancado el equipo se observó que la temperatura de las cámaras frigoríficas no desciende hasta los valores que se desean, por lo que inmediatamente se procedió a observar el correcto funcionamiento de los evaporadores de cada cámara frigorífica, tanto de los ventiladores como del serpentín del mismo.

Se observó que la entrada del evaporador de la cámara de congelación, no estaba cubierta de escarcha como se esperaba, además se pudo evidenciar que la válvula de expansión termostática se cubrió de escarcha anormalmente, adicional a esto se contempló que el manómetro ubicado a la salida de esta válvula, marcaba 28 PSI, signos que muestran claramente que existe un problema de expansión en la válvula de termo expansión. Problema que ocasiona que exista una pequeña condensación en las tuberías de la línea de líquido, y un retorno excesivo de líquido refrigerante al compresor.

Bajo estas condiciones y después de la asesoría técnica del Ing. Arguello, se decide realizar un ajuste del recalentamiento de la VET de la cámara de congelación, así como la calibración de la válvula reguladora de presión de evaporación, programación de termostatos y el presostato combinado.



Figura 33: Asesoría técnica por parte de Ing. Arguello
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Looor Palma

4.3 Calibración, ajuste y programación de elementos de instalación frigorífica

4.3.1 Calibración – Ajuste de válvula reguladora de presión de evaporación

Las válvulas de expansión termostáticas, se distribuyen con un ajuste de fábrica, que no se debe modificar, ya que de acuerdo al criterio del fabricante, es el idóneo para el buen funcionamiento de la válvula; sin embargo, el fabricante también menciona que se puede realizar un ajuste adicional aumentando el recalentamiento de la válvula. Por los problemas de expansión mencionados, es necesario aumentar el recalentamiento de la válvula de expansión, acción que se realizó de la siguiente manera:

Se gira el vástago en sentido horario hasta que el cierre del mismo haya sido completo, observando y memorizando cuantas vueltas se requirió para que el vástago haya cerrado completamente, ya que esto servirá como referencia en caso de que haya que colocar el vástago en su posición inicial.

Luego de esto, si gira gradualmente el vástago en sentido anti horario, hasta que se observó que el funcionamiento del evaporador haya sido estable, ajustándolo finalmente a tres vueltas, punto en el que el evaporador funciona de manera correcta.



Figura 34: Ajuste de recalentamiento de válvula de expansión termostática
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Looor Palma

4.3.2 Calibración de válvula reguladora de presión de evaporación

Las válvulas reguladoras de presión vienen fabricadas con un ajuste de hasta dos bares, el mismo que se regula, apretando o aflojando la tuerca de ajuste, consiguiendo una presión más alta o más baja respectivamente.

Se ajustó la válvula a una presión de 18 psi, es decir que si la presión de evaporación en la cámara de conservación se encuentra por debajo los 18 psi, la válvula reguladora cierra el flujo de refrigerante hasta que la presión de evaporación alcance el valor necesario para que se ajuste a la válvula.



Figura 35: Calibración de válvula reguladora de presión de evaporación
Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

4.3.3 Calibración – programación de termostato en cámara de congelación

Los parámetros de configuración protegidos por códigos de acceso en el full gauge de la cámara de congelación, son lo que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 30: Tabla de parámetros de full gauge MT-512Ri – Cámara congelación

Función	Descripción	Unidad	Valor
F01	Código de acceso	-	123
F02	Desplazamiento de indicación (offset)	°C	0
F03	Mínimo setpoint permitido a usuario final	°C	-12
F04	Máximo setpoint permitido a usuario final	°C	-10
F05	Diferencial de control	°C	2.0
F06	Retardo para reiniciar la salida de refrigeración	Seg.	20
F07	Tiempo de refrigeración	Min.	480
F08	Tiempo de deshielo	Min.	5
F09	Estado inicial para energizar instrumento	-	0
F10	Indicación trabada durante deshielo	-	No
F11	Retardo para energizar instrumento	Min.	0
F12	Tiempo adicional para finalización de 1er ciclo	Min.	0
F13	Situación de compresor con sensor dañado	-	0
F14	Intensidad de filtro digital	-	0
F15	Tiempo para bloqueo de teclas	Seg.	No

Elaborado por: Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

4.3.4 Calibración - programación de termostato en cámara de conservación

Los parámetros de configuración protegidos por códigos de acceso en el full gauge de la cámara de congelación, son lo que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 31: Tabla de parámetros de full gague MT-511Ri - Cámara conservación

Función	Descripción	Unidad	Valor
F01	Código de acceso	-	123
F02	Desplazamiento de indicación (offset)	°C	0
F03	Mínimo setpoint permitido a usuario final	°C	-1.0
F04	Máximo setpoint permitido a usuario final	°C	3.0
F05	Diferencial de control	°C	4.0
F06	Retardo para reiniciar la salida de refrigeración	Seg.	20
F07	Tiempo de refrigeración	Min.	480
F08	Tiempo de deshielo	Min.	5
F09	Estado inicial para energizar instrumento	-	0
F10	Indicación trabada durante deshielo	-	No
F11	Retardo para energizar instrumento	Min.	0
F12	Tiempo adicional para finalización de 1er ciclo	Min.	0
F13	Situación de compresor con sensor dañado	-	0
F14	Intensidad de filtro digital	-	0
F15	Tiempo para bloqueo de teclas	Seg.	No

Elaborado por: Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

4.3.5 Calibración de presostato dual

Para obtener una protección adicional para el paro del compresor por altas presiones de descargas y bajas presiones de succión, es necesario calibrar los rangos de presiones del presostato dual, para que de esta forma no exista un daño permanentemente en el compresor.

Se muestra en la siguiente tabla los rangos de presiones calibrados en el presostato dual.

Tabla 32: Rangos de presión calibrador en presostato dual

Rangos de presión calibrados en presostato dual	
Corte por presión de descarga	2000 PSI
Corte por presión de succión	0.5 PSI
Diferencial de presión	15 PSI

Elaborado por: Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

4.4 Prueba de funcionamiento simultáneo de cámaras frigoríficas con carga térmica

La realización de esta prueba busca verificar el correcto funcionamiento de todos los componentes de la instalación frigorífica, luego de realizar los ajustes y calibraciones pertinentes. Además, al realizar esta prueba de funcionamiento se

busca conocer los rangos de presiones y temperaturas con las que opera normalmente la instalación frigorífica móvil, a través de la elaboración de una tabla de registro de datos, a fin de obtener una base de rangos de operación que servirán para analizar los efectos negativos de la simulación de las fallas, en el funcionamiento del equipo.

4.4.1 Desarrollo de prueba de funcionamiento

Esta prueba se realizó a las 10h00 del 29 de mayo del 2015, en el barrio “El Colorado” del cantón Montecristi – Manabí, bajo las condiciones iniciales que se muestran a continuación:

Tabla 33: Datos iniciales para prueba de funcionamiento

Datos iniciales para prueba de funcionamiento	
Carga térmica en cámara de congelación	30 kg de Carne de res
Temperatura de ingreso de producto en cámara de congelación:	20.6°C
Temperatura inicial de cámara de congelación:	22.1 °C
Carga térmica en cámara de conservación	20 kg de Carne de res
Temperatura de ingreso de producto en cámara de conservación:	22.3 °C
Temperatura inicial de cámara de conservación:	23.4 °C
Temperatura ambiente:	29 °C
Humedad relativa:	75%

Elaborado por: Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

Bajo las condiciones descritas en la tabla 33, se pone en marcha la instalación frigorífica móvil, acción que se logra después de colocar el selector de accionamiento del equipo en las posiciones ON, y verificar que las llaves 9, 10, 17 y 20 (figura 17), estén totalmente abiertas, para que de esta forma operen simultáneamente ambas cámaras frigoríficas. Posteriormente se empieza a realizar la toma de datos durante todo el lapso de funcionamiento del equipo, los mismos que se muestra en la tabla 34.

Tabla 34: Datos de presiones y temperaturas de prueba de funcionamiento

	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:10
Presión de succión	25 PSI	15 PSI	10 PSI	10 PSI	5 PSI	5 PSI
Temperatura de aspiración	-2.3 °C	-9.8 °C	-14.1 °C	-14.2 °C	-19.3 °C	°-19.6 C
Presión de descarga	170 PSI	150 PSI	150 PSI	140 PSI	140 PSI	140 PSI
Temperatura de descarga	48.1 °C	43.9 °C	43.8 °C	41.5 °C	41.6 °C	41.5 °C
Presión a la entrada de dispositivo de expansión1	155 PSI	150 PSI	140 PSI	140 PSI	150 PSI	138 PSI
Presión a la entrada de evaporador 1	15 PSI	10 PSI	6 PSI	5 PSI	5 PSI	4 PSI
Presión a la entrada de dispositivo de expansión2	170 PSI	155 PSI	150 PSI	140 PSI	140 PSI	140 PSI
Presión a la entrada de evaporador 2	28 PSI	15 PSI	8 PSI	4 PSI	5 PSI	4 PSI
Amperaje	5 AMPS	6.1 AMPS	5.8 AMPS	6.0 AMPS	6.4AMPS	6.0 AMPS
Control de ingreso de líquido 1	ON	ON	ON	ON	ON	ON
Control de ingreso de líquido 2	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF

Carga Térmica	Carne de res		Temperatura de entrada de producto		24.1 °C	
Cantidad de carga térmica	30 Kilogramos		Temperatura de salida de producto		-8.0 °C	
Temperatura de Cámara de congelación	21.7 °C	9.5 °C	-2.3 °C	-7.8 °C	-11.3°C	-9.8°C
Temperatura de producto en cámara congelación	24.1 °C	14.2°C	9.2°C	2.4°C	-5.3°C	-8.0°C
Ventilador #1	ON	ON	ON	ON	ON	ON
Ventilator #2	ON	ON	ON	ON	ON	ON

Carga Térmica	Carne de res		Temperatura de entrada de producto		22.5 °C	
Cantidad de carga térmica	20 kilogramos		Temperatura de salida de producto		1.9 °C	
Temperatura de Cámara de conservación	25.8 °C	6.3°C	-1.2 °C	0.5 °C	-0.9 °C	-1.0°C
Temperatura de producto en cámara conservación	22.5°C	11.4°C	3.2°C	1.2 °C	1.9°C	2.0°C
Ventilador #1	ON	ON	ON	ON	ON	ON

Elaborado por: Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

4.4.2 Resultados de prueba de funcionamiento

Con los datos obtenidos en la tabla 34 se determina que:

- El circuito frigorífico funcionó con presiones de descarga que comenzaron en los 160 psi y que terminaron en los 140 psi; la presión de succión osciló entre los 25 y 5 psi.
- Se observó que la cámara de conservación alcanzó 0°C de temperatura después de 2 horas y 25 minutos de haber arrancado el sistema. De igual manera se observó que el producto dentro de la cámara de conservación, alcanzó 2°C al cabo de 4 horas y 8 minutos, (la carne se logra conservar durante 24 horas a una temperatura de 2°C) tiempo que se considera aceptable y que muestra un buen funcionamiento tanto del tubo capilar, como del evaporador de la cámara de conservación.
- Luego de que la cámara de conservación alcanzó -1°C de temperatura, el full gauge ordenó el corte de energía a la válvula solenoide, por lo que se cortó el flujo de refrigerante al tubo capilar, “apagando” la cámara de conservación.
- A partir de ese momento, la cámara de congelación se volvió más eficiente, ya que al estar apagada la cámara de conservación, el flujo de refrigerante de todo el sistema, solo fue dirigido hacia la válvula de expansión, lo que originó el ingreso de mayor flujo de refrigerante al evaporador de la cámara de congelación, y una mejor presión de succión en el compresor, ya que solo esta succionando gas refrigerante de una sola cámara.
- Por esta razón la cámara de congelación alcanza -10 °C de temperatura 3 horas y 12 minutos después de que el sistema se volvió más eficiente. Sin dejar de mencionar que el producto ingresado en la cámara de congelación

alcanzo -8°C de temperatura, después de 10 horas y 10 minutos de haber arrancado el equipo. Valores que demuestran un buen funcionamiento tanto de la válvula de expansión, como del evaporador de la cámara de congelación.

- Adicionalmente, se pudo evidenciar que el funcionamiento de la unidad condensadora mejoró con relación a la puesta en marcha del equipo, ya que disminuyó considerablemente el retorno de refrigerante al compresor, además la tubería de succión del compresor se cubrió normalmente de escarcha, dando muestras de un correcto funcionamiento del mismo.
- Se pudo observar que la válvula de expansión termostática, y los evaporadores de ambas cámaras frigoríficas, se cubrieron de escarcha normalmente, señal que muestra claramente que el problema de expansión de refrigerante se corrigió satisfactoriamente.

4.5 Simulación de averías en el sistema

La práctica anterior debe tomarse como referencia para conocer las presiones y temperaturas de operación del sistema frigorífico en su modo normal de funcionamiento, para que se puedan comparar con los rangos de operación del sistema al momento de la simulación de las fallas.

Con esta práctica, se busca simular distintas averías que suceden en un sistema de refrigeración real, para conocer las consecuencias negativas de las fallas antes mencionadas en el funcionamiento del equipo, y determinar las causas de las mismas. Las averías simuladas en el equipo se realizaron a través del accionamiento de interruptores situados en lado izquierdo de la estructura del equipo.

4.5.1 Avería 1 - Restricción de refrigerante líquido hacia el dispositivo de expansión

4.5.1.1 Desarrollo de simulación de falla

Para lograr la simulación de la avería 1, se puso en funcionamiento la instalación frigorífica móvil, luego se esperó de 5 a 8 minutos para que las presiones y temperaturas en el sistema se estabilicen, y el circuito frigorífico se encuentra en los rangos de operación normales. Para finalmente accionar el interruptor con el rótulo AVERÍA 1, que se encuentra al lado izquierdo del equipo.

Al accionar este interruptor se simula una obstrucción del paso de refrigerante líquido hacia el dispositivo de expansión, mediante el corte de energía de la bobina de la válvula solenoide situada en la tubería de líquido.

4.5.1.2 Resultados de simulación de falla

Luego de accionar el interruptor, se evidencia que los resultados de la simulación de la avería, son los siguientes:

- Deja de entrar refrigerante a los dispositivos de expansión, por consiguiente no ingresa refrigerante a los evaporadores, lo que provoca una deficiente transferencia de calor entre el interior de las cámaras frigoríficas y los evaporadores.
- Al dejar de ingresar refrigerante a los evaporadores, la cantidad de vapor succionado por el compresor se disminuye considerablemente, ocasionando que en un principio la presión de succión y la presión de descarga del compresor comiencen a igualarse.
- Lo que se traduce en un aumento de la temperatura de las cámaras frigoríficas (al principio las cámaras frigoríficas dejan de enfriar, y paulatinamente su temperatura va en aumento).

- Después de 1 minuto de haber iniciado la simulación de esta avería, la presión de succión del compresor disminuye considerablemente, hasta llegar a 0.5 psi, ya que al no haber refrigerante dentro de los evaporadores, se crea un vacío en la aspiración del compresor, lo que origina que el lado de baja presión del presostato ordene el corte de energía al compresor, haciéndolo apagar por “baja presión”.

4.5.2 Avería 2 – Condensación deficiente

4.5.2.1 Desarrollo de simulación de falla

Para lograr la simulación de la avería 2, se puso en marcha la instalación frigorífica móvil, luego se esperó de 3 a 5 minutos para que las presiones y temperaturas en el sistema se estabilicen, y finalmente se accionó el interruptor con el rótulo AVERÍA 2, que se encuentra al lado izquierdo del equipo.

Al colocar en posición ON el interruptor con el rótulo AVERÍA 2, se simula una condensación deficiente en el sistema de refrigeración, mediante el corte de energía del ventilador del condensador.

4.5.2.2 Resultado de simulación de falla

Al cabo de 30 segundos de haber simulado la avería se evidencia que:

- Al parar el ventilador del condensador, se corta el flujo de aire que circula a través del serpentín del condensador, interrumpiendo el cambio de estado del refrigerante de gas a líquido, ocasionando que el refrigerante no se licue totalmente.

- Al no licuarse totalmente, el refrigerante pierde su capacidad de enfriamiento, ya que no puede realizar la transferencia de calor necesaria para rechazar hacia el exterior, el calor absorbido del espacio refrigerado.
- El tanque recibidor de líquido aumenta su temperatura, debido a que solo está recibiendo vapor refrigerante, producto de la mala condensación en el sistema.
- El amperaje del compresor aumenta hasta los 9 Amperios, originado por un aumento del trabajo del compresor, ya que se ve forzado a elevar la presión del refrigerante.
- Después de 1 minuto de haber provocado la avería, la presión y la temperatura de descarga del compresor aumentan considerablemente, hasta los 200 psi y 55°C respectivamente, lo que provoca que se active el presostato de alta presión, ordenando el paro inmediato del compresor, a modo de protección ante futuros daños en las partes mecánicas del mismo.

4.5.3 Avería 3 – Falta de vaporización de refrigerante

4.5.3.1 Desarrollo de simulación de falla

Para ejecutar la simulación de la avería 3, se procedió a encender la instalación frigorífica móvil, luego se esperó de 5 a 7 minutos para que las presiones y temperaturas en el sistema se estabilicen. Para finalmente accionar el interruptor con el rótulo AVERÍA 3, que se encuentra al lado izquierdo del equipo.

Al colocar en posición ON el interruptor con el rótulo AVERÍA 3, se simula una falta de vaporización de refrigerante en el evaporador, mediante la desenergización del ventilador de los evaporadores de cada cámara frigorífica.

4.5.3.2 Resultado de simulación de falla

Los resultados de la simulación de esta avería frigorífica son los siguientes:

- Al ordenar el paro del ventilador del evaporador, se corta el flujo de aire que circula a través del serpentín y que permite que haya la transferencia de calor entre el interior de la cámara frigorífica y el refrigerante que circula a través del serpentín.
- Al existir poco flujo de aire en el serpentín, el evaporador se comienza poco a poco a cubrir de escarcha en su parte frontal, lo que provoca que se reduzca la superficie de transferencia de calor entre el refrigerante que circula dentro del serpentín del evaporador y el interior de la cámara frigorífica.
- Después de 1 minuto de haber simulado la avería, las presiones del sistema comienzan a descender, ya que la presión de succión disminuye de 15 a 5 psi, y la presión de descarga disminuye de 140 a 110 psi.
- Al mismo tiempo se observa condensación en el tramo de tubería que va desde el intercambiador de calor hasta la entrada de la válvula solenoide, producto de la mala vaporización del refrigerante dentro del evaporador.
- Anomalías que se traducen en un aumento gradual de la temperatura dentro de la cámara originando que la misma no desciende a los rangos deseables.
- Al cabo de 3 minutos de simular la avería, el amperaje del compresor aumenta hasta los 7 Amperios, originados por un aumento del trabajo del compresor

4.5.4 Avería 4 – Fallo en Arranque de compresor

4.5.4.1 Desarrollo de simulación de falla

Para ejecutar la simulación de esta avería, primero se tuvo que accionar el interruptor con el rótulo avería 4, y después se puso en marcha la instalación frigorífica móvil, ya que como esta avería simula un fallo en el arranque del compresor, sería innecesario simular la avería con el equipo en marcha.

Al colocar en posición ON el interruptor con el rótulo AVERÍA 4, se simula un fallo en el arranque del compresor mediante la interrupción del paso de corriente al capacitor de arranque del compresor.

4.5.4.2 Resultado de simulación de falla

Los resultados de esta avería en el funcionamiento del sistema son los siguientes:

- Al simular esta avería, se abren los contactos del capacitor de arranque del compresor, originando que éste no pueda arrancar.
- En este punto los demás elementos del circuito frigorífico funcionan correctamente, es decir, los ventiladores de los evaporadores, el ventilador del condensador, así como las válvulas solenoides están encendidos.
- Sin embargo no funciona el elemento que succiona y comprime el refrigerante del sistema, lo que provoca, que el ciclo de refrigeración opere de manera deficiente, y no se consiga que las temperaturas de las cámaras frigoríficas descieran a los rangos deseados.

4.6 Comprobación de hipótesis

De acuerdo a la observación realizada en el funcionamiento del sistema frigorífico, se constata que la instalación y programación del PLC permitió que los ventiladores de los evaporadores y de la unidad condensadora así como las válvulas solenoides y el capacitor de arranque del compresor se apaguen mediante la desenergización de las bobinas de los contactores enchufados a estos elementos.

Al momento de apagarse las válvulas solenoides se logró constatar que dejó de circular refrigerante a los evaporadores de ambas cámaras, así mismo cuando se apagó el ventilador del condensador se generó una condensación deficiente, de la misma manera al dejar de funcionar los ventiladores de los evaporadores ocurrió un aumento de la temperatura de las cámaras frigoríficas, y al no encender el capacitor de arranque del compresor, este elemento tampoco funcionó. Permitiendo de esta manera realizar el respectivo análisis de las averías antes descritas, en el funcionamiento de la instalación frigorífica móvil.

También lo afirma Aguinaga (2009) según lo descrito en el marco teórico, página 51, párrafo 1 donde se indica que “un PLC se define como un dispositivo electrónico digital que usa una memoria lógica programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas de sincronización y de configuración de secuencias para el control de maquinarias y procesos”.

CAPITULO V

5. ANÁLISIS DE COSTOS

5.1 Introducción

La factibilidad del siguiente proyecto se debe evaluar de acuerdo a la elaboración de un estudio de costos de los diferentes equipos y materiales utilizados, así como del talento humano que permitió la realización de la instalación frigorífica móvil. Es así que el costo total del siguiente proyecto dependerá de los costos directos e indirectos.

5.2 Costos directos

En este apartado está incluido el costo de los equipos y materiales utilizados para la construcción de la instalación frigorífica móvil, así como de la mano de obra implementada en la misma.

5.2.1 Equipos y materiales

Aquí se detallan los equipos mecánicos y eléctricos que forman parte del sistema de refrigeración y del sistema eléctrico de la instalación frigorífica móvil, los mismos que se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 35: Equipos y dispositivos de control de sistema de refrigeración

Cantidad	Descripción	Valor unitario (usd)	Precio total (usd)
1	Unidad condensadora TECUMSEH CAJN4461YHR	\$ 475,67	\$ 475,67
1	Válvula de expansión termostática DANFOSS - TN/2 – 0.25	\$ 49,69	\$ 49,69
1	Orificio 00 para válvula de expansión DANFOSS	\$ 10,37	\$ 10,37
2	Válvula selenoide ¼ “ DANFOSS – EVR3	\$ 78,12	\$ 156,24
1	Válvula reguladora de presión de evaporación de ½” ALCO CONTROL – OPR6	\$ 140,78	\$ 140,78
1	Válvula anti retorno de 3/8” DANFOSS – NVR 10	\$ 48,52	\$ 48,52

1	Intercambiador de calor QUALITY – QHX50	\$ 90,76	\$ 90,76
4	Válvula de paso de ¼” EVERWHELL – HV14	\$ 6,38	\$ 25,52
2	Válvula de paso de 3/8” EVERWHELL – HV38	\$ 6,52	\$ 13,04
1	Filtro desecante EVERWHELL – SEK 082	\$ 8,86	\$ 8,86
1	Visor de líquido – humedad	\$ 17,92	\$ 17,92
3	Manómetro de alta presión EVERWHELL – RG500	\$ 5,72	\$ 17,16
3	Manómetro de baja presión EVERWHELL – RG250	\$ 4,15	\$ 12,45
1	Presostato combinado TECUMSEH – KPI17W	\$ 46,14	\$ 46,14
1	Termostato FULL GAUGE – MT 512Ri	\$ 66,80	\$ 66,80
1	Termostato FULL GAUGE – MT 511Ri	\$ 63,86	\$ 63,86
1	2.54 cm de tubo capilar de 0.06 inch.	\$ 15,94	\$ 15,94
4	Tubería de cobre de 3/8” (m)	\$ 1,55	\$ 6,20
10	Tubería de cobre de 1/4” (m)	\$ 1,18	\$ 11,80
6	Varillas de soldadura de plata al 5%	\$ 1,23	\$ 7,38
TOTAL USD			\$ 1285,10

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

Tabla 36: Materiales para construcción de cámara de congelación

Cantidad	Descripción	Valor unitario (usd)	Precio total (usd)
1	Evaporador para temperatura baja THERMOCOIL EB-SRD1B	\$ 46,42	\$ 46,42
2	Moto – Ventilador	\$ 7,95	\$ 15,90
5	Panel de Poliuretano expandido de 10 mm de 60 x 70 cm	\$ 32,65	\$ 163,22
1	Puerta de cristal de 40 x 50 cm	\$ 62,40	\$ 62,40
1	Bisagra para puerta de cristal	\$ 9,32	\$ 9,32
1	Caja de remache de 5 mm	\$ 2,62	\$ 2,62
1	Rollo de Rubitherm	\$ 4,05	\$ 4,05
TOTAL USD			\$ 303,93

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

Tabla 37: Materiales para construcción de cámara de conservación

Cantidad	Descripción	Valor unitario (usd)	Precio total (usd)
1	Evaporador para temperatura media THERMOCOIL EM-SRD1	\$ 39,78	\$ 39,78
1	Moto – Ventilador	\$ 7,95	\$ 7,95
5	Panel de Poliuretano expandido de 5 mm de 60 x 70 cm	\$ 30,18	\$ 150,90
1	Puerta de cristal de 50 x 60 cm	\$ 68,92	\$ 68,92
1	Bisagra para puerta de cristal	\$ 9,32	\$ 9,32
1	Caja de remache de 3 mm	\$ 3,74	\$ 3,74
1	Rollo de Rubitherm	\$ 4,05	\$ 4,05
TOTAL USD			\$ 284,66

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

Tabla 38: Elementos de circuito eléctrico

Cantidad	Descripción	Valor unitario (usd)	Precio total (usd)
1	Disyuntor eléctrico CAMSCO - C60N	\$ 23,52	\$ 23,52
2	Contactador eléctrico LOW COST CONTROLS - GMC-30P2	\$ 14,33	\$ 28,66
1	Controlador Lógico Programable SCHNEIDER ELECTRIC modelo SR2B121FU	\$ 187,24	\$ 187,24
1	Cable USB para programación de PLC	\$ 54,16	\$ 54,16
1	Selector de encendido	\$ 4,76	\$ 4,76
6	Luz piloto	\$ 3,85	\$ 23,16
4	Switch “ojo de cangrejo”	\$ 0,94	\$ 3,76
1	Funda de amarras plásticas	\$ 1,32	\$ 1,32
3	Cinta aislante	\$ 0,44	\$ 1,32
25	Terminal de punta fina	\$ 0,06	\$ 1,50
		TOTAL USD	\$ 329,40

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

Tabla 39: Materiales para construcción de estructura metálica

Cantidad	Descripción	Valor unitario (usd)	Precio total (usd)
3	Plancha de hierro negro	\$ 32,77	\$ 98,31
1	Plancha de hierro corrugado	\$ 38,55	\$ 38,55
3	Perfil estructural rectangular de hierro negro	\$ 26,34	\$ 79,02
3	Electrodo AGA 6011 (lb)	\$ 0,80	\$ 2,40
4	Garrucha de 10 cm	\$ 2,90	\$ 11,60
1	Pintura color blanco hueso (lt)	\$ 4,95	\$ 4,95
1	Pintura color café (lt)	\$ 6,80	\$ 6,80
1	Fondo anticorrosivo (lt)	\$ 4,55	\$ 4,55
2	Diluyente (lt)	\$ 2,35	\$ 4,70
3	Brochas	\$ 0,45	\$ 1,35
2	Cinta de papel	\$ 0,56	\$ 1,12
		TOTAL USD	\$ 253,35

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

Tabla 40: Total de costo de equipos y materiales

Descripción	Valor total (usd)
Equipos y dispositivos de control de sistema de refrigeración	\$ 1285,10
Cámara de congelación	\$ 303,93
Cámara de conservación	\$ 284,66
Elementos de circuito eléctrico	\$ 329,40
Estructura metálica	\$ 253,35
TOTAL USD	\$ 2456,44

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

5.2.2 Mano de obra directa

Esta sección se refiere a los recursos humanos y técnicos que se utilizaron para el diseño y la construcción de la instalación frigorífica móvil, los mismos que se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 41: Diseño y construcción de sistema de refrigeración

Descripción	Nº horas utilizadas	Usd/hora	Precio total (usd)
Fernando Delgado – Humberto Loor	175	\$ 3,00	\$ 525,00
		TOTAL USD	\$ 525,00

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

Tabla 42: Construcción de estructura metálica

Descripción	Nº horas utilizadas	Usd/hora	Precio total (usd)
Fernando Delgado – Humberto Loor	35	\$ 3,00	\$ 105,00
		TOTAL USD	\$ 105,00

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

Tabla 43: Construcción de cámaras frigorífica

Descripción	Nº horas utilizadas	Usd/hora	Precio total (usd)
Cerrajero – Técnico en refrigeración	32	\$ 5,00	\$ 160,00
		TOTAL USD	\$ 160,00

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

Tabla 44: Total de mano de obra directa

Descripción	Valor total (usd)
Diseño y construcción de sistema de refrigeración	\$ 525,00
Construcción de estructura metálica	\$ 105,00
Construcción de cámara de congelación	\$ 80,00
Construcción de cámara de conservación	\$ 80,00
TOTAL USD	\$ 790,00

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

Tabla 45: Total de costos directos

Descripción	Valor total (usd)
Total de equipos y materiales	\$ 2456,44
Total de mano de obra directa	\$ 790,00
TOTAL USD	\$ 3246,44

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

5.3 Costos indirectos

Son los valores relacionados, a los criterios de ingeniería, mano de obra y asesoría que no participa activamente en la construcción del equipo, y que se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 46: Asesoramiento técnico

Descripción	Valor total (usd)
Ing. Carlos Arguello	\$ 100,00
Sr. Boris Bravo	\$50,00
TOTAL USD	\$ 150,00

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

Tabla 47: Misceláneos

Descripción	Valor total (usd)
Transportación	\$ 200,00
Alimentación	\$300,00
Artículos de Oficina	\$ 75,00
Varios	\$ 50,00
TOTAL USD	\$ 625,00

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

Tabla 48: Total de costos indirectos

Descripción	Valor total (usd)
Asesoramiento	\$ 150,00
Misceláneos	\$ 625,00
TOTAL USD	\$ 775,00

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

5.4 Total de costo de fabricación

Luego de obtener los costos directos e indirectos, se procede a calcular el costo total de fabricación de la instalación frigorífica móvil.

Tabla 49: Total de costo de fabricación

Descripción	Valor total (usd)
Costos directos	\$ 3246,44
Costos indirectos	\$ 775,00
TOTAL USD	\$ 4021,44

Elaborado por: Fernando Delgado Mero – Humberto Loor Palma

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó la instalación frigorífica móvil con un simulador de fallos accionados por medio de un PLC.
- Se realizó el cálculo de las necesidades térmicas para el diseño del circuito de refrigeración, el mismo que está compuesto por: pérdidas de carga por servicio, trazado del ciclo de refrigeración y la selección de refrigerante; cálculos indispensables para seleccionar correctamente el equipo mecánico.
- Se construyó el circuito de refrigeración, según el cálculo de necesidades térmicas y se realizó la selección de los elementos y accesorios mecánicos que conforma el circuito frigorífico de acuerdo a los requerimientos del sistema.
- Se realizó una prueba de funcionamiento simultáneo de ambas cámaras frigoríficas con carga térmica, para comprobar el desempeño y conocer los rangos de operación de la instalación frigorífica móvil.
- Mediante la instalación y programación de un PLC, se simularon 4 distintos fallos en la instalación frigorífica móvil, para realizar un análisis de los efectos negativos de las averías simuladas a través del PLC.
- Al realizar la simulación de una condensación deficiente, mediante el paro del ventilador del condensador, la presión de descarga del compresor aumentó súbitamente de 140 a 200 PSI, y el amperaje del compresor se incrementó de 6 a 9 Amperios, lo que ocasionó que el presostato de alta se active, ordenando el paro del compresor.

RECOMENDACIONES

- Antes de empezar con el diseño y construcción de un sistema de refrigeración se debe realizar un análisis del presupuesto, material, mano de obra y conocimientos a utilizar en el mismo.
- Es necesario que antes de realizar los cálculos aplicados a la construcción de una cámara frigorífica, se conozcan las necesidades térmicas, características del producto que se ingresará dentro de ella y el aislante a utilizar, a fin de elaborar un adecuado diseño de un circuito de refrigeración.
- Se sugiere que para el montaje de los componentes mecánicos de un circuito de refrigeración se sigan estrictamente las recomendaciones de los fabricantes, a fin de garantizar el buen funcionamiento de los mismos.
- Es importante seguir estrictamente los pasos para poner en marcha y apagar el equipo, descritos en el manual de operación del equipo (Anexo 27), para evitar cualquier daño en los componentes del equipo.
- Se recomienda realizar la simulación de las averías frigoríficas, siguiendo los pasos detallados en el manual de operación (Anexo 26). Nunca simular de forma simultánea, más de una falla frigorífica.
- Tomar como referencia que las presiones de operación del sistema frigorífica son de: 140 psi en el lado de alta presión y 10 psi en el lado de baja presión.
- Llevar a cabo las tareas de mantenimiento, detalladas en el plan de mantenimiento adjuntado en el manual de operación del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

- Serviciosgyg*. (17 de abril de 2011). Recuperado el 30 de septiembre de 2014, de <http://cursosderefrigeracion.blogcindario.com/2011/04/00003-principios-basicos-de-refrigeracion.html>
- Andrés, D., Antón, J., & Barrio, J. (2008). *Física y Química Primero de Bachillerato*. Madrid: Editex.
- Barreiro, J., & Sandoval, A. (2006). *Operaciones de Conservación de Alimentos por bajas temperaturas*. Venezuela: Quinoccio.
- Buenaño, L., & Marcel, E. (2010). Diseño y construcción de un sistema de refrigeración de conservación para laboratorio. Riobamba - Ecuador: Escuela Politécnica del Chimborazo.
- Chejne, F. (09 de marzo de 2007). *Conceptos básicos de termodinámica*. Obtenido de <http://www.si3ea.gov.co/Eure/1/inicio.html>
- Enríquez, G. (2003). *Manual de instalaciones electromecánicas en casas y edificios. hidráulicas, sanitarias, aire acondicionado, gas, eléctricas y alumbrado*. México: Limusa.
- Erazo, F. (1997). *Manual práctico del taller de refrigeración doméstica*. San Andrés.
- Escudero, C., & Fernández, P. (2013). *Máquinas y equipos térmicos. Instalación y mantenimiento*. España: Paraninfo.
- Lapuerta, M., & Armas, O. (2012). *Frío industrial y aire acondicionado*. Cuenca - Ecuador: Castilla - La Mancha.

Ramirez, J. A. (2000). *Nueva enciclopedia de la climatización - refrigeración*.
Barcelona: Ceac.

Rolle, K. (2006). *Termodinámica*. México: Pearson Prentice Hall.

Sagardoy, M., & Mandolesi, M. (2004). *Biología del suelo. Guía de estudio*.
Argentina: Universidad Nacional del Sur.

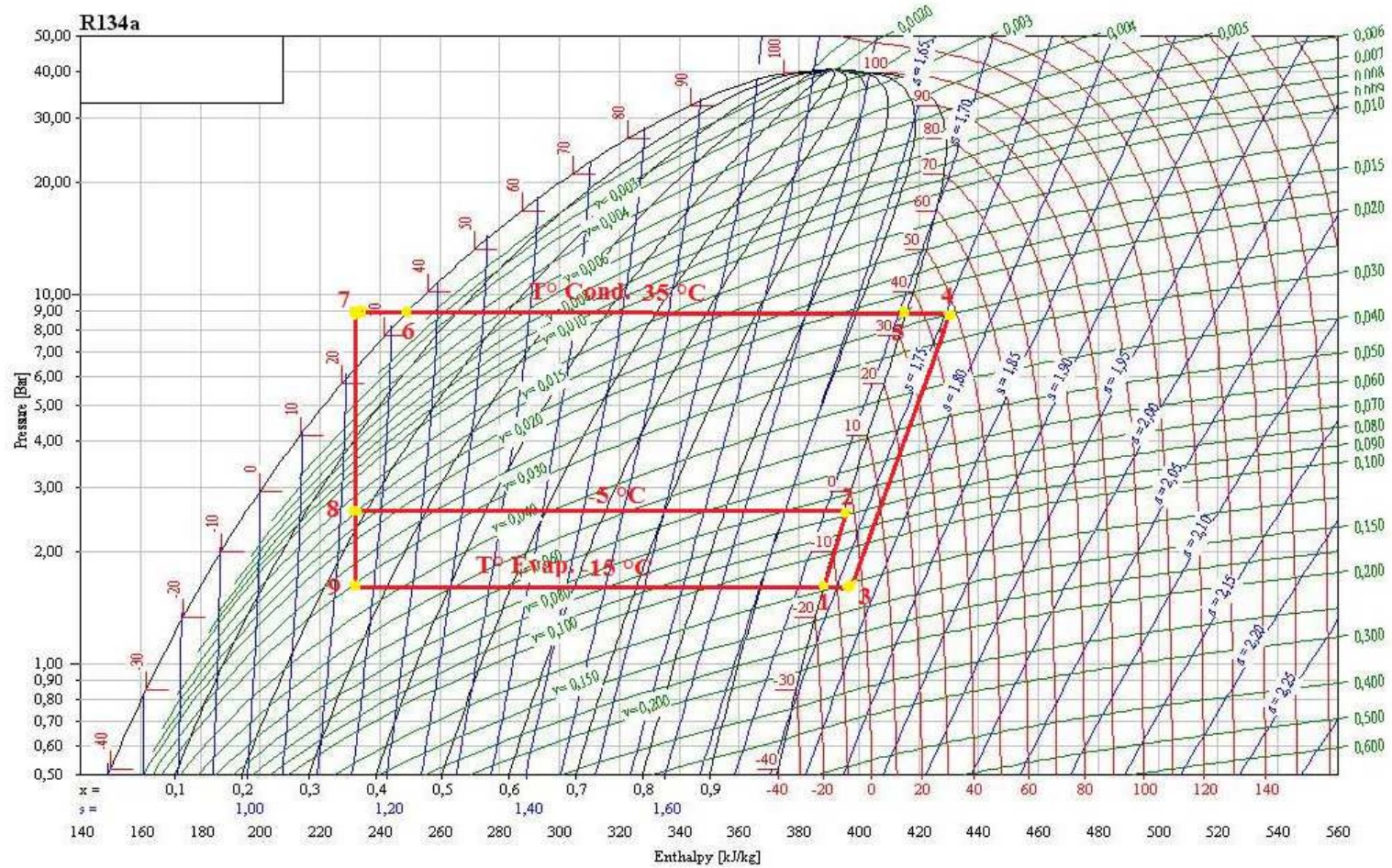
Sanz, F., & Sanz, D. (2014). *Control de refrigeración*. Madrid: Uned.

Valycontrol, S. (2002). *Manual de refrigeración*.

Whitman, W., & Johson, W. (2006). *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado*. España: Paraninfo.

ANEXOS

Anexo 1: Diagrama P/h para refrigerante R134a



Anexo 2: Catálogo LÚNITE HERMETIQUE para selección de unidades condensadoras



GRUPO GSF
al servicio del frío

Unidades Condensadoras




SECCIÓN 1

UNIDADES CONDENSADORAS TROPICALIZADAS L'UNITE HERMETIQUE



UNIDADES CONDENSADORAS ALTA - MEDIA - BAJA TEMPERATURA. R 134a. MONOFÁSICAS 220 V. 50 HZ

MODELOS	Int max	cm³	H.P	DIMENSIONES Ancho x Fondo x alto (mm)	T° amb	TEMPERATURAS DE EVAPORACIÓN (°C)				Montaje	PRECIO	CÓDIGO
						-10°C	-5°C	0°C	+5°C			
						w	w	w	w			
CAET4448YHR	5,20	14,15	3/8	433x494x333	32°C 43°C	707 619	889 782	1084 958	1291 1147	C	454,00	CT32518
CAET4456YH	5,60	16,00	3/8	433x494x333	32°C 43°C	796 696	977 859	1179 1042	1400 1244	O	454,00	CT32519
CAET4456YHR	5,60	16,00	3/8	433x494x333	32°C 43°C	796 696	977 859	1179 1042	1400 1244	C	487,00	CT32520
CAJT4461YH	6,40	18,3	1/2	430x485x340	32°C 43°C	880 771	1103 969	1354 1192	1634 1442	O	569,00	CT32521
CAJN4461YHR	6,40	18,3	3/4	300x350x485	32°C 43°C	737 771	894 969	1062 1192	1215 1442	C	623,00	CT32522
CAJT4475YHR	7,80	21,75	1/2	430x485x340	32°C 43°C	1047 916	1313 1154	1596 1410	1896 1685	C	640,00	CT32523
CAJT4492YHR	8,83	25,55	3/4	510x610x445	32°C 43°C	1284 1123	1608 1414	1969 1740	2366 2102	C	818,00	CT32524

Rendimientos expresados bajo condiciones nominales TECUMSEH EUROPE : t° ambiente +32°C y +43°C, t° salida del evaporador y gases aspirados sobrecalentados: 11 K. El líquido a la salida del condensador está enfriado a los límites de condensación del grupo.

Tipo de montaje: Obus = Suministrados sólo con tubos para soldar y obus de carga.

Calderín = Suministrados con 2 válvulas de servicio en aspiración y líquido.

Anexo 3: Unidad condensadora TECUMSEH CAJN4461YHR



Anexo 4: Catálogo para selección de evaporador para cámara de conservación

Serpentines Evaporadores Para Media Temperatura



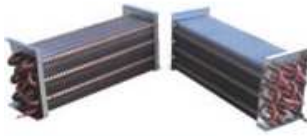
- Para aplicaciones donde la descongelación se hace por aire.
- El espacio entre aleta es de 4 milímetros.
- Recomendado para aplicaciones donde se requiere temperatura mayor 32° F.



Modelo Para Media Temperatura Descongelamiento Por Aire								
Ítem	Modelo	Medidas (mm)			Ventilador No. x Dia (pulg.).	Caudal (CFM)	Rendimiento DT=10°F	
		Largo	Alto	Ancho			Te=20 °F	Te=-20 °F
1	EM-SRD-1	343	102	132	1x8"	235	1850	1600
2	EM-SRD-2	540	102	132	2x8"	470	3200	2900
3	EM-SRD-3	870	102	132	3x8"	705	5500	4200
4	EBS-050-A	508	330	88	1x12"	800	5930	4900
5	EBS-060-A	813	330	88	2x12"	1600	7380	6100
6	EBS-086-A	813	330	88	2x12"	1700	10460	8640
7	EBS-120-A	1143	330	88	3x12"	2500	14640	12530
8	EBS-150-A	1524	330	88	3x12"	2600	17760	14680
9	EBS-180-A	1778	330	88	4x12"	3400	21950	18140
10	EBS-210-A	2032	330	88	5x12"	4120	25670	21210

Anexo 5: Catalogo de selección de evaporador para cámara de congelación

Serpentines Evaporadores Para Baja Temperatura



- Para aplicaciones donde la descongelación se hace por resistencia Eléctrica.
- El espacio entre aleta es de 6 milímetros.
- Recomendado para aplicaciones donde se requiere temperatura menor a 32° F.



Modelo Para Baja Temperatura Descongelación Eléctrica

Ítem	Modelo	Medidas (mm)			Ventilador No. x Dia (pulg.).	Caudal (CFM)	Rendimiento DT=10°F	
		Largo	Alto	Ancho			Te=20 °F	Te=-20 °F
1	EB-SRD-1B	343	102	132	1x8	250	1500	1300
2	EB-SRD-2B	540	102	132	2x8	500	2700	2450
3	EB-SRD-3B	870	102	132	3x8	750	4230	3650
4	EBS-040-E	508	330	88	1x12	800	4860	4016
5	EBS-050-E	813	330	88	2x12	1600	6050	5000
6	EBS-071-E	813	330	88	2x12	1800	8570	7082
7	EBS-100-E	1143	330	88	3x12	2400	12000	9920
8	EBS-120-E	1524	330	88	3x12	2800	14560	12040
9	EBS-150-E	1778	330	88	4x12	3600	17990	14870
10	EBS-180-E	2032	330	88	5x12	4200	21000	17400

Anexo 6: Catálogo para selección de VET – DANFOSS



Folleto técnico Válvulas de expansión termostática, tipos T 2 y TE 2

Capacidad

R134a

Capacidad en kW para la gama N: -40°C a +10°C

Tipo de válvula		Orificio	Pérdida de carga a través de la válvula Δp bar					Pérdida de carga a través de la válvula Δp bar				
			2	4	6	8	10	2	4	6	8	10
Temperatura de evaporación +10°C												
TN 2/TEN 2 - 0.11	0X	0.34	0.43	0.47	0.50	0.51	0.33	0.42	0.46	0.47	0.49	
TN 2/TEN 2 - 0.25	00	0.71	0.86	0.93	0.97	0.98	0.65	0.78	0.86	0.89	0.91	
TN 2/TEN 2 - 0.5	01	1.5	1.9	2.1	2.2	2.2	1.3	1.6	1.7	1.8	1.8	
TN 2/TEN 2 - 0.8	02	2.0	2.6	3.0	3.1	3.2	1.7	2.2	2.4	2.6	2.6	
TN 2/TEN 2 - 1.3	03	3.6	4.7	5.3	5.6	5.8	3.0	3.9	4.4	4.6	4.7	
TN 2/TEN 2 - 1.9	04	5.4	7.0	7.8	8.3	8.6	4.5	5.7	6.4	6.8	7.0	
TN 2/TEN 2 - 2.5	05	6.9	8.9	9.9	10.8	10.9	5.7	7.3	8.1	8.6	8.8	
TN 2/TEN 2 - 3.0	06	8.4	10.8	12.1	12.8	13.2	7.0	8.9	10.0	10.5	10.8	
Temperatura de evaporación -10°C												
TN 2/TEN 2 - 0.11	0X	0.30	0.38	0.43	0.44	0.44	0.28	0.35	0.39	0.41	0.42	
TN 2/TEN 2 - 0.25	00	0.66	0.70	0.77	0.81	0.82	0.53	0.62	0.69	0.72	0.73	
TN 2/TEN 2 - 0.5	01	1.0	1.3	1.4	1.5	1.5	0.81	1.00	1.1	1.2	1.2	
TN 2/TEN 2 - 0.8	02	1.4	1.8	2.0	2.1	2.1	1.1	1.4	1.5	1.6	1.7	
TN 2/TEN 2 - 1.3	03	2.5	3.1	3.6	3.7	3.8	2.0	2.5	2.8	2.9	3.0	
TN 2/TEN 2 - 1.9	04	3.6	4.6	5.1	5.4	5.6	2.9	3.6	4.0	4.3	4.4	
TN 2/TEN 2 - 2.5	05	4.6	5.8	6.5	6.9	7.1	3.7	4.6	5.1	5.4	5.5	
TN 2/TEN 2 - 3.0	06	5.7	7.1	8.0	8.4	8.6	4.5	5.6	6.2	6.6	6.8	
Temperatura de evaporación -30°C												
TN 2/TEN 2 - 0.11	0X	0.25	0.32	0.35	0.37	0.38	0.23	0.28	0.32	0.33	0.34	
TN 2/TEN 2 - 0.25	00	0.48	0.55	0.61	0.64	0.64	0.44	0.50	0.54	0.56	0.57	
TN 2/TEN 2 - 0.5	01	0.66	0.80	0.88	0.93	0.95	0.54	0.65	0.72	0.76	0.77	
TN 2/TEN 2 - 0.8	02	0.90	1.1	1.2	1.3	1.3	0.74	0.89	0.98	1.0	1.0	
TN 2/TEN 2 - 1.3	03	1.6	2.0	2.2	2.3	2.3	1.3	1.6	1.8	1.9	1.9	
TN 2/TEN 2 - 1.9	04	2.3	2.9	3.2	3.3	3.4	1.9	2.3	2.6	2.7	2.7	
TN 2/TEN 2 - 2.5	05	3.0	3.6	4.0	4.2	4.3	2.4	2.9	3.2	3.5	3.5	
TN 2/TEN 2 - 3.0	06	3.6	4.4	4.9	5.2	5.3	3.0	3.6	4.0	4.2	4.3	
Temperatura de evaporación -40°C												
TN 2/TEN 2 - 0.11	0X	0.25	0.32	0.35	0.37	0.38	0.23	0.28	0.32	0.33	0.34	
TN 2/TEN 2 - 0.25	00	0.48	0.55	0.61	0.64	0.64	0.44	0.50	0.54	0.56	0.57	
TN 2/TEN 2 - 0.5	01	0.66	0.80	0.88	0.93	0.95	0.54	0.65	0.72	0.76	0.77	
TN 2/TEN 2 - 0.8	02	0.90	1.1	1.2	1.3	1.3	0.74	0.89	0.98	1.0	1.0	
TN 2/TEN 2 - 1.3	03	1.6	2.0	2.2	2.3	2.3	1.3	1.6	1.8	1.9	1.9	
TN 2/TEN 2 - 1.9	04	2.3	2.9	3.2	3.3	3.4	1.9	2.3	2.6	2.7	2.7	
TN 2/TEN 2 - 2.5	05	3.0	3.6	4.0	4.2	4.3	2.4	2.9	3.2	3.5	3.5	
TN 2/TEN 2 - 3.0	06	3.6	4.4	4.9	5.2	5.3	3.0	3.6	4.0	4.2	4.3	

Corrección por subenfriamiento
 Δt_{sub}

Las capacidades del evaporador utilizadas tienen que corregirse si el subenfriamiento es distinto de 4 K. La capacidad corregida puede obtenerse dividiendo la capacidad el evaporador requerida

por el factor de corrección siguiente. Podrá entonces hacerse la selección con las tablas anteriores.

Anexo 7: Válvula de expansión DANFOSS TN2-0.25 con orificio 00



Anexo 8: Catálogo DANFOSS para selección de válvula selenoide

Datos técnicos y pedidos



Cuerpos de válvula por separado, normalmente cerrados (NC)

Tipo	Tipo de bobina requerida	Conexión	Código							Máx. Presión de trabajo	Valor K _v
			Cuerpo de válvula sin bobina						Sin apertura manual		
			Abocardar		Soldar cobre ODF		Sin apertura manual				
in. (pulg.)	mm	in./mm	in.	mm	Con apertura manual						
EVR 2	a.c.	1/2	6	032F8056	032F1201	032F1202			45.2	0.16	
EVR 3		1/4	6	032F8107	032F1206	032F1207			45.2	0.27	
		1/4	10	032F8116	032F1204	032F1208			45.2	0.8	
EVR 6		1/2	12	032F8072	032F1212	032F1213			45.2	0.8	
		1/2	12	032F8079	032F1209	032F1236			35	1.9	
EVR 10	a.c./d.c.	1/2	12	032F8095	032F1217	032F1218			35	1.9	
		1/2	16	032F8098	032F1214	032F1214			32	2.6	
EVR 15		3/4	16	032F8101	032F1228	032F1228			32	2.6	
		3/4	16	032F8100			032F1227		32	2.6	
EVR 20	a.c.	1	22		032F1225	032F1225					
		1	22		032F1240	032F1240					
		1 1/4	28		032F1244	032F1245		032F1254			
		1 1/2	35		032F1264	032F1264					
EVR 22	d.c.	1 1/2	22				032F1274				
		1 1/2	35		032F3267	032F3267			32	6.0	

Soporte de montaje

Soporte de montaje	Para el montaje de EVR 2, 3, 6 y 10	032F0197
--------------------	-------------------------------------	----------

Bobinas: corriente alterna (c.a.)

Para válvula tipo	Tensión V	Frecuencia Hz	Código				Apéndice	Consumo potencia
			Con 1 m cable IP 67	Con caja terminal IP 67	Con clavija DIN y tapa de protección IP 20	Con clavija DIN		
EVR 2 - 40 (NC)	12	50	018F6256	018F6706	018F6181		15	Funcionamiento: 10 W 21 VA Arranque: 44 VA
	24	50	018F6257	018F6707	018F6182	018F7358	16	
	42	50	018F6258	018F6708	018F6183		17	
	48	50	018F6259	018F6709	018F6184		18	
	115	50	018F6261	018F6711	018F6186	018F7361	22	
	220-230	50	018F6251	018F6701	018F6176	018F7351	31	
	240	50	018F6252	018F6702	018F6177	018F7352	33	
	380-400	50	018F6253	018F6703	018F6178		37	
	420	50	018F6254	018F6704	018F6179		38	
	24	60	018F6265	018F6715	018F6190		14	
	115	60	018F6266	018F6716	018F6191		20	
	220	60	018F6264	018F6714	018F6189		29	
	240	60	018F6263	018F6713	018F6188		30	
	110	50/60	018F6280	018F6730	018F6192	018F7360	21	
	220-230	50/60	018F6282	018F6732	018F6193	018F7363	32	

Caja de terminales con indicador luminoso LED

Caja de terminales	Con diodo emisor de luz (LED) integrado para válvulas de solenoide	018Z0089
Conector DIN		042N0196

¹⁾ El valor K_v es el flujo de agua en m³/h con una caída de presión en la válvula de 1 bar, ρ = 1000 kg/m³

Válvulas de solenoide - EVR/EVRH

Anexo 9: Válvula reguladora de presión de evaporación OPR6



Anexo 10: Válvula de retención DANFOSS NVR10



Anexo 11: Válvula EVERWELL HV-14



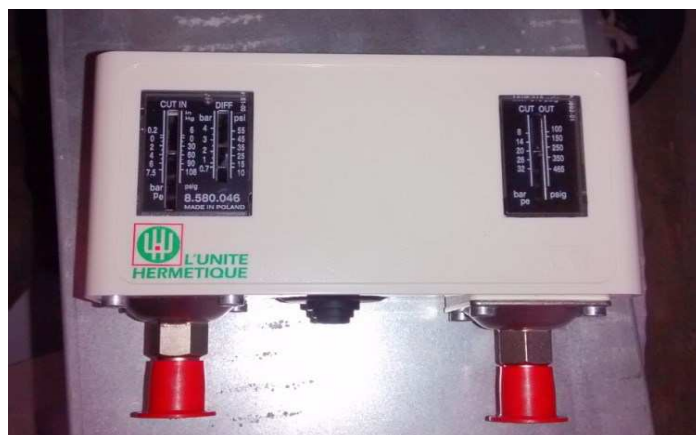
Anexo 12: Filtro de línea de líquido EVERWHELL SEK-082



Anexo 13: Manómetros Everwell para alta y baja presión



Anexo 14: Presostato dual L'UniteHermetique



Anexo 15: Termostato FULL GAUGE MT512Ri



Anexo 16: Disyuntor eléctrico CAMSCO C60N



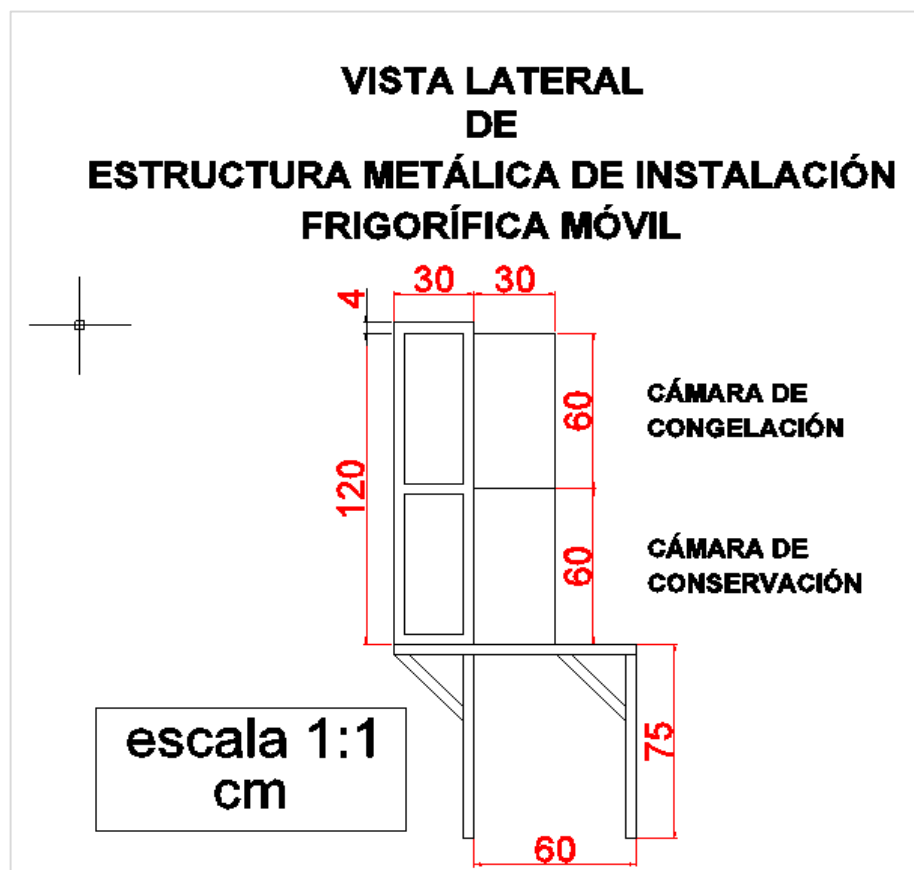
Anexo 17: CONTACTOR GMC-30P2



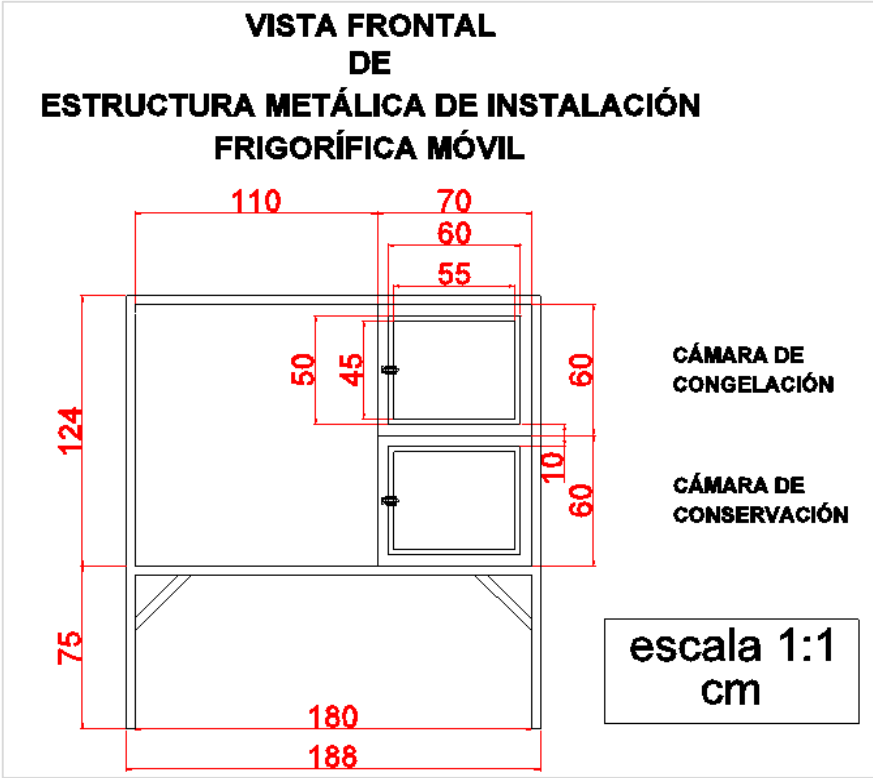
Anexo 18: PLC marca Schneider Electric SR2B121FU



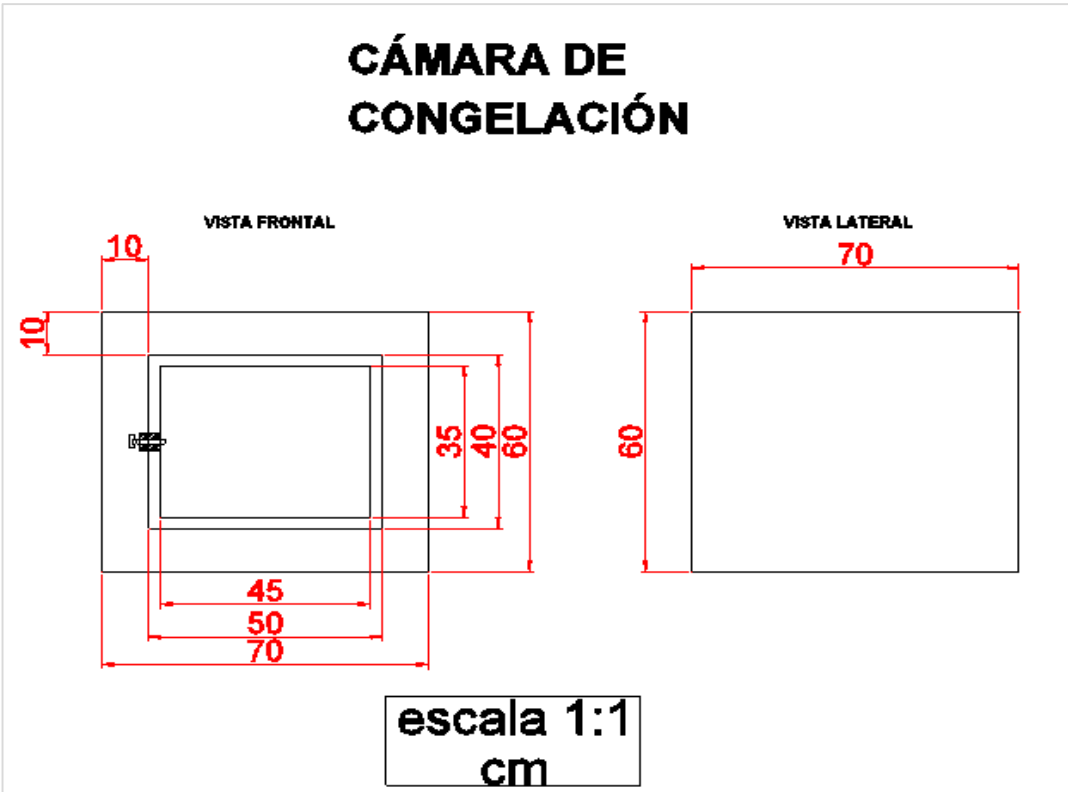
Anexo 19: Vista lateral de la estructura metálica



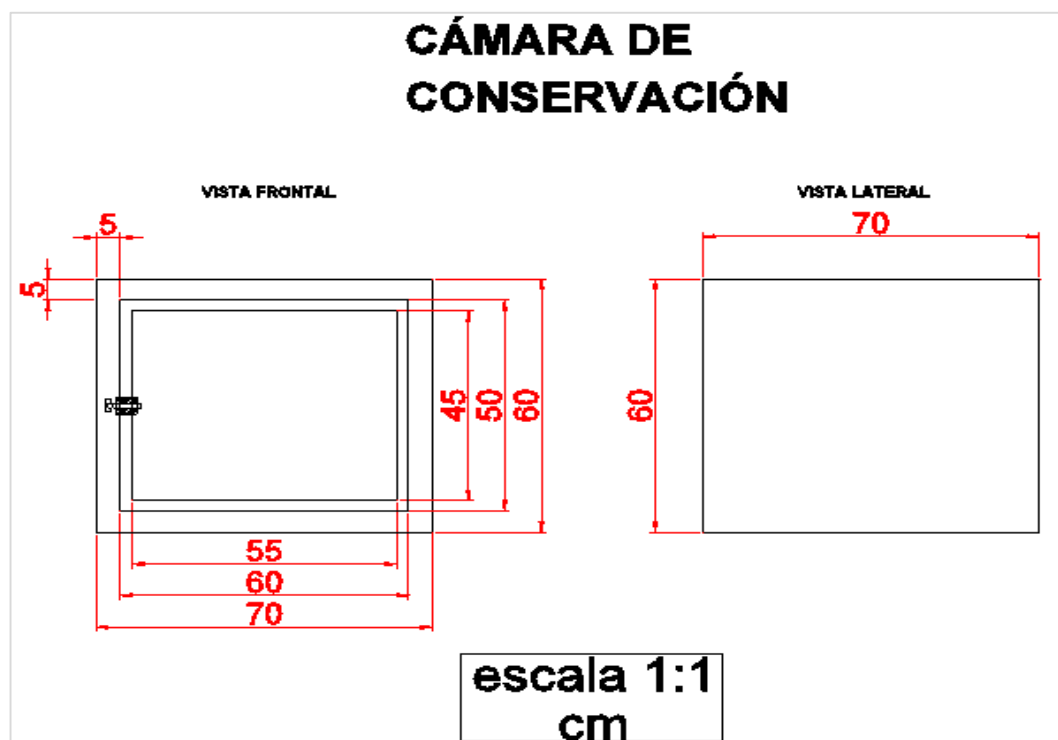
Anexo 20: Vista frontal de la estructura metálica



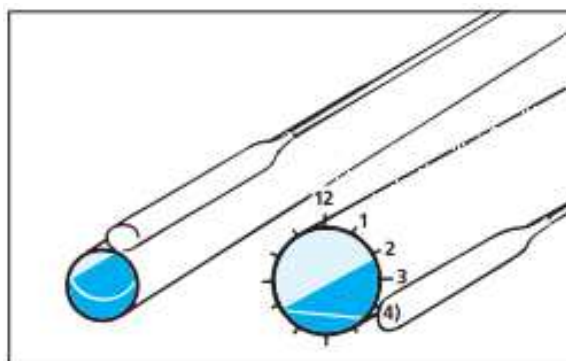
Anexo 21: Cámara de congelación



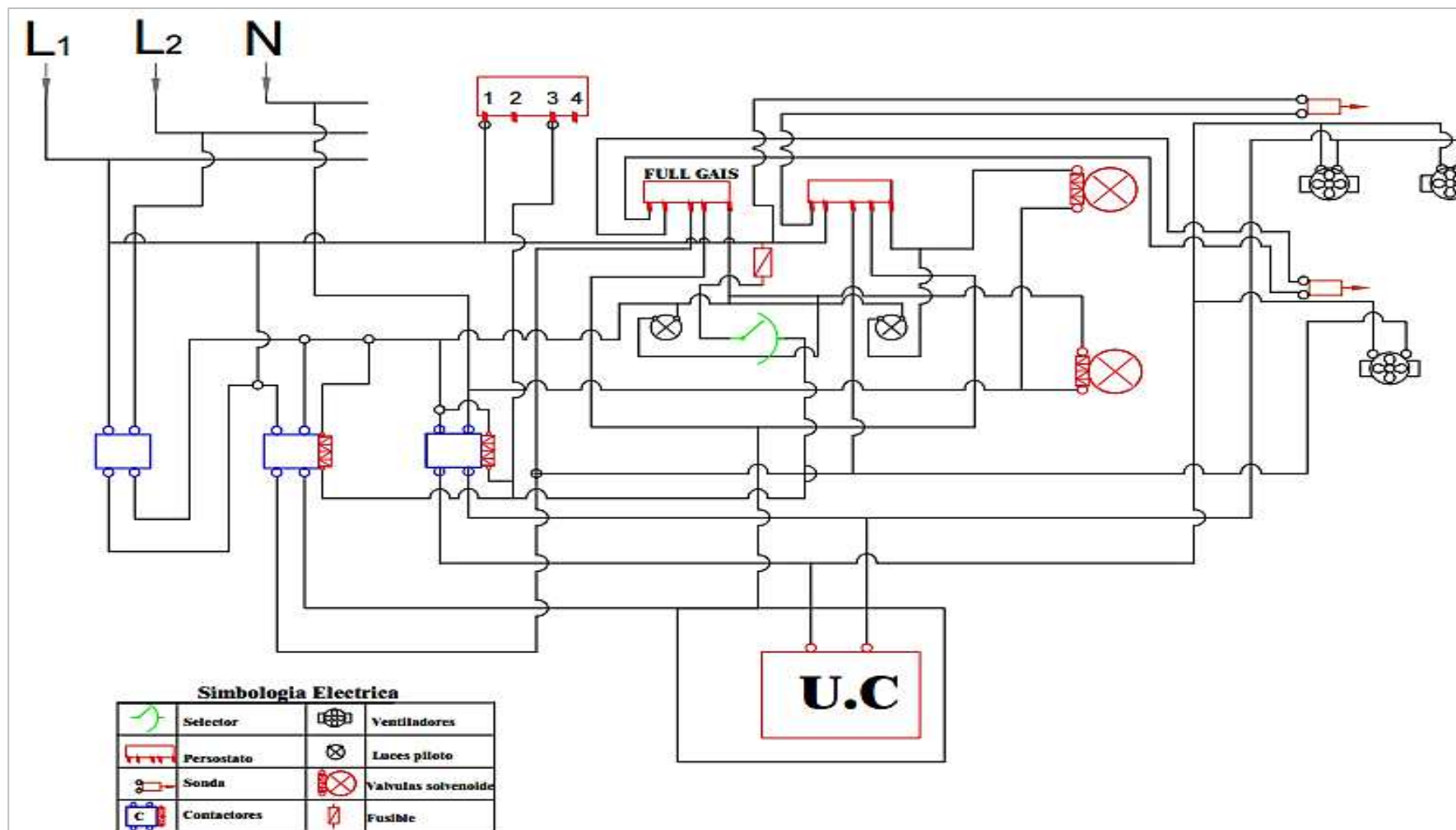
Anexo 22: Cámara de conservación



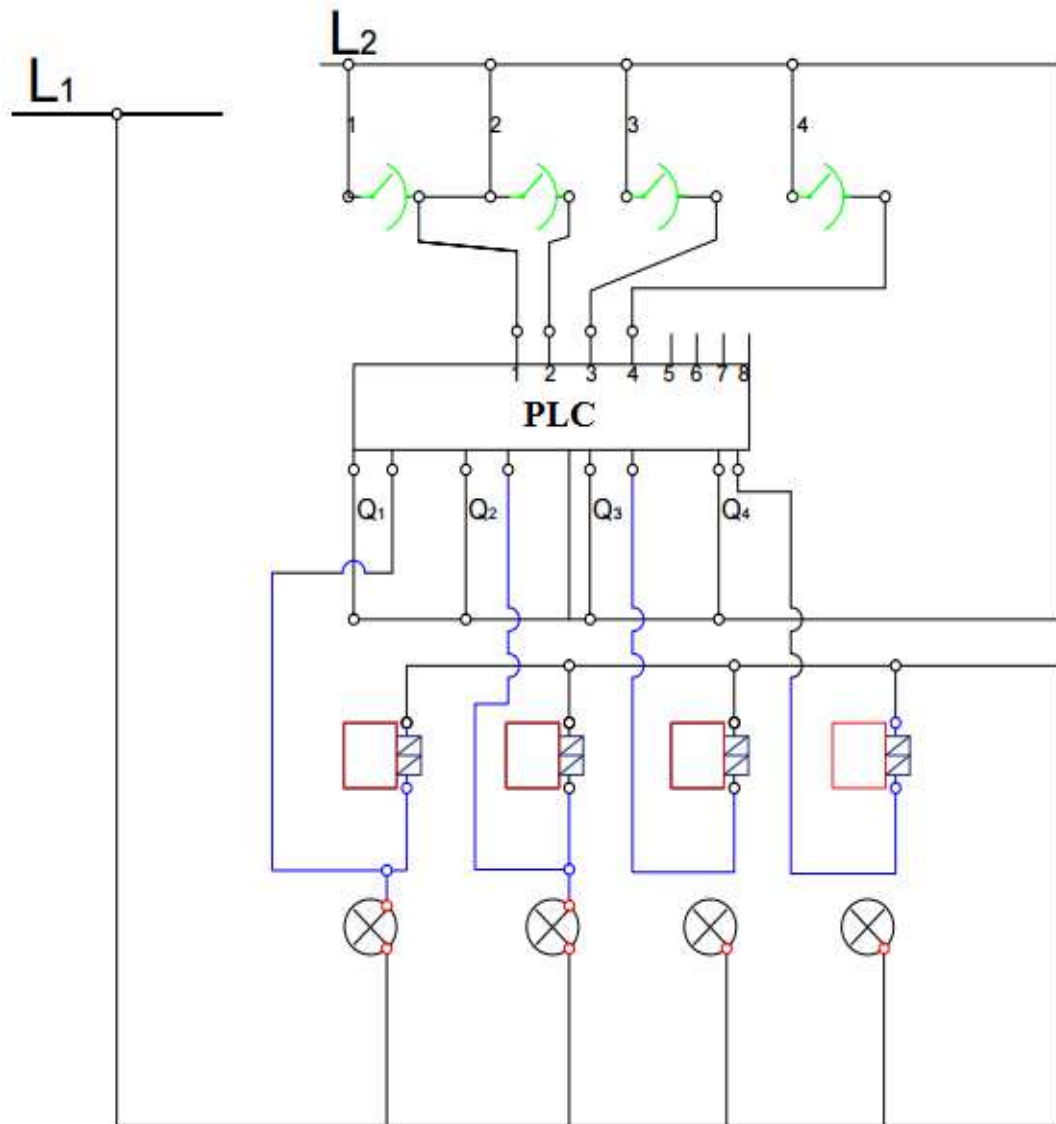
Anexo 23: Montaje de bulbo de VET, recomendado por fabricante



Anexo 24: Circuito eléctrico unifilar



Anexo 25: Diagrama eléctrico para PLC



Simbología Electrica

	Selector		Ventiladores
	Persostato		Luces piloto
	Sonda		Valvulas solenoide
	Contactores		Fusible



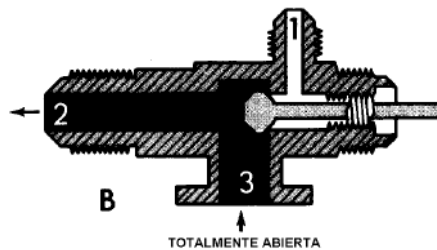
UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA NAVAL
LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN



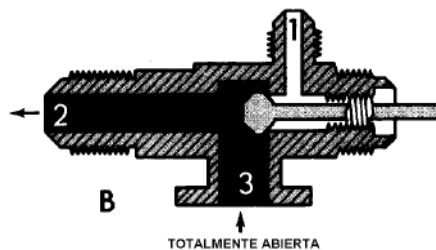
MANUAL DE OPERACIÓN DE INSTALACIÓN FRIGORÍFICA MÓVIL

PASOS PARA PONER EN MARCHA INSTALACIÓN FRIGORÍFICA MÓVIL

1. Girar totalmente el vástago de la válvula de servicio de compresor, en sentido contrario a las manecillas del reloj, para que la válvula este totalmente abierta.



2. Girar totalmente el vástago de la válvula de servicio de tanque receptor, en sentido contrario a las manecillas del reloj.



3. Abrir manualmente la llave de paso de la tubería de líquido que alimenta de refrigerante a la válvula selenoide, de la cámara frigorífica que se desea operar (ya sea que se desee operar las cámaras frigoríficas en serie, o en paralelo).

4. Conectar el enchufe de alimentación de la instalación frigorífica, a una fuente de energía eléctrica de 220 V.
5. Poner en posición ON, el breaker principal que alimenta de energía eléctrica a la instalación frigorífica móvil.
6. Poner en posición ON, el selector de encendido de la instalación frigorífica móvil.
7. Observar a través del visor de líquido y humedad, si pasa refrigerante por la tubería de líquido.
8. Verifica a través de los manómetros que las presiones a lo largo del sistema alcancen su rango de operación, es decir 150 PSI en el lado de alta presión y 15 PSI en el lado de baja presión.
9. Verificar que las temperaturas de las cámaras frigoríficas empiecen a descender hasta su temperatura deseada.

NOTA:

En caso de requerir el funcionamiento en paralelo de una cámara frigorífica (sea la de conservación o la de congelación), cerrar la llave de paso de alimentación de líquido de la cámara frigorífica que se desea deshabilitar.



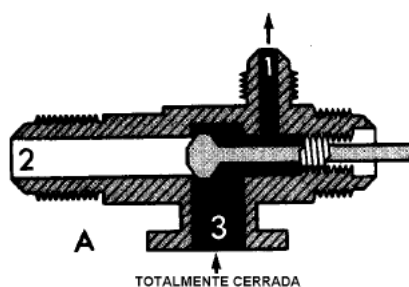
UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA NAVAL
LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN



MANUAL DE OPERACIÓN DE INSTALACIÓN FRIGORÍFICA MÓVIL

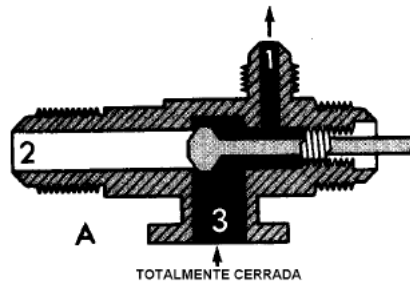
PASOS PARA APAGAR LA INSTALACIÓN FRIGORÍFICA MÓVIL

1. Girar totalmente el vástago de la válvula de servicio del tanque receptor, en sentido horario, para que la válvula este totalmente cerrada.



2. Esperar a que el refrigerante que se encuentra a lo largo del sistema, se vaya depositando en el tanque receptor, y el compresor comience a hacer “vacío” en el sistema.
3. Esperar a que el manómetro de baja presión marque de 0-5 psi, punto en el que el presostato combinado, enviara el corte de energía al compresor, parándolo automáticamente.
4. Poner en posición OFF, el selector de encendido de la instalación frigorífica móvil.

5. Girar totalmente el vástago de la válvula de servicio del compresor, en sentido horario, para que la válvula esté totalmente cerrada.



6. Cerrar manualmente la llave de paso de la tubería de líquido de la cámara frigorífica que se operó.
7. Poner en posición OFF, el breaker principal de la instalación frigorífica móvil.
8. Desconectar el enchufe de alimentación de la instalación frigorífica



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA NAVAL
LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN



MANUAL DE OPERACIÓN DE INSTALACIÓN FRIGORÍFICA MÓVIL

PASOS PARA SIMULAR AVERÍAS FRIGORÍFICAS EN EL EQUIPO.

1. Poner en marcha la instalación frigorífica móvil.
2. Esperar el tiempo que sea necesario para que el circuito frigorífico alcance sus rangos de operación normales, es decir 150 psi en el lado de alta presión y 5 psi en el lado de baja presión.
3. Poner en posición ON el interruptor de la avería que se desea simular, ubicado en el lado izquierdo de la estructura metálica de la instalación frigorífica móvil.
4. Observar los efectos negativos de la simulación de la avería ejecutada en el funcionamiento del sistema frigorífico.
5. Una vez terminada la simulación de la avería, poner en posición OFF, el interruptor de la falla simulada, y verificar que el circuito frigorífico vuelva a operar en los rangos normales

NOTA:

En caso de querer simular la avería 4, primero se debe accionar el interruptor y luego poner en marcha la instalación frigorífica móvil.

Nunca ejecutar más de una avería en forma simultánea, y una vez ejecutada cualquiera de las averías frigoríficas, esperar un lapso de 15 minutos para volver a simular cualquiera de las mismas.



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA NAVAL
LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN



MANUAL DE OPERACIÓN DE INSTALACIÓN FRIGORÍFICA MÓVIL
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE INSTALACIÓN FRIGORÍFICA
MÓVIL

EQUIPO	Frecuencia de Mantenimiento			
	SEMANAL	MENSUAL	TRIMESTRAL	ANUAL
COMPRESOR				
Inspección visual general	X			
Inspección a válvula de servicio		X		
Limpieza exterior	X		X	
Comprobación de fuga en soldaduras				
Ajuste de pernos de fijación de base y amortiguadores.				X
CONDENSADOR				
Inspección visual a ventilador		X		
Inspección visual a aletas de serpentín		X		
Comprobación de fugas en uniones soldadas			X	
Limpieza de chaleco protector	X			
Limpieza de serpentín	X			
TANQUE RECIBIDOR DE LIQUIDO				
Limpieza exterior	X			
Inspección a válvula de servicio		X		
CÁMARA DE CONGELACIÓN				
Limpieza Interior	X			
Inspección visual a aletas de evaporador		X		
Inspección a ventiladores		X		
CÁMARA DE CONSERVACIÓN				
Limpieza interior	X			
Inspección visual a aletas de evaporador		X		
Inspección a ventiladores		X		
FILTRO DESHIDRATADOR				
Cambio de filtro				X