



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

DISEÑO DE SISTEMA FRIGORÍFICO PARA EL CONTROL DE LA MADURACIÓN DE UNA CARGA DE PLÁTANOS

Zuawarly Jesús Huertas Samayoa

Asesorado por el Ing. Bernal Herrera Gómez

Guatemala, octubre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE SISTEMA FRIGORÍFICO PARA EL CONTROL
DE LA MADURACIÓN DE UNA CARGA DE PLÁTANOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ZUAWRLY JESÚS HUERTAS SAMAYOA

ASESORADO POR EL ING. BERNAL HERRERA GÓMEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE SISTEMA FRIGORÍFICO PARA EL CONTROL DE LA MADURACIÓN DE UNA CARGA DE PLÁTANOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 22 de enero de 2013.

Zuawrly Jesús Huertas Samayoa

Guatemala, 03 de Abril de 2013

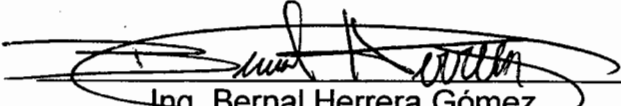
Ingeniero
Roberto Guzmán
Coordinador de Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica

Estimado ingeniero

Por este medio le informo que he revisado el trabajo de graduación DISEÑO DE SISTEMA FRIGORÍFICO PARA EL CONTROL DE MADURACIÓN DE UNA CARGA DE PLÁTANOS, elaborado por el estudiante Zuawry Jesús Huertas Samayoa.

El mencionado trabajo de graduación llena los requisitos para mi aprobación, e indicarle que el autor y mi persona somos los responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Atentamente,


Ing. Bernal Herrera Gómez
Colegiado 9,450

Bernal Herrera Gómez
INGENIERO INDUSTRIAL
Colegiado No. 9450

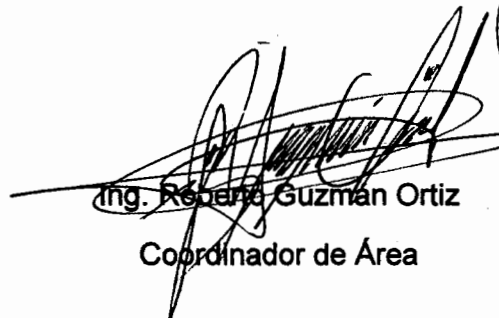
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado DISEÑO DE SISTEMA FRIGORÍFICO PARA EL CONTROL DE LA MADURACIÓN DE UNA CARGA DE PLÁTANOS, del estudiante Zuawrly Jesús Huertas Samayoa, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Roberto Guzmán Ortiz

Coordinador de Área



Guatemala, Octubre de 2013

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica al Trabajo de Graduación titulado DISEÑO DE SISTEMA FRIGORÍFICO PARA EL CONTROL DE MADURACIÓN DE UNA CARGA DE PLÁTANOS, del estudiante **Zuawrly Jesús Huertas Samayoa**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz

DIRECTOR



Guatemala, octubre de 2013.

JCCP/behdei



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE SISTEMA FRIGORÍFICO PARA EL CONTROL DE LA MADURACIÓN DE UNA CARGA DE PLÁTANOS**, presentado por el estudiante universitario Zuawrly Jesús Huertas Samayoa, autoriza la impresión del mismo.

IMPRIMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Récinos
Decano



Guatemala, octubre de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser una importante influencia en mi carrera, que me ha dado sabiduría y siempre me ha acompañado a lo largo de mi vida en los momentos buenos y malos.
- Mis padres** Zoila Consuelo Samayoa Aroche y Lucrecio de Jesús Huertas Godínez. Por haberme apoyado a través de mi largo camino, guiarme y darme consejos para seguir, no claudicar y lograr mis metas.
- Mi hermana** Nuria Eliett Huertas Samayoa. Por tu apoyo incondicional y tus consejos y siempre apoyarme en todo sentido, gracias hermana.
- Mi sobrina** Eliett Nuriela Ninel Ramírez Huertas.
- A mis amigos** A todos aquellos que convivieron conmigo durante todo este camino y durante la elaboración de este trabajo, y a todos mis amigos gracias por su ayuda y su amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN.....	1
1.1. Los plátanos en Guatemala.....	1
1.2. Tipos de refrigeración	2
1.2.1. Por absorción.....	4
1.2.1.1. Sistemas de absorción agua amoniaco	4
1.2.1.2. Sistemas de bromuro de litio agua	5
1.2.2. Por compresión.....	6
1.3. Aplicación de la refrigeración.....	7
1.4. Compresión de vapor	8
1.4.1. Ciclo teórico de compresión de una sola etapa	8
1.4.2. Elementos del sistema de refrigeración por compresión mecánica.....	11
1.4.2.1. El compresor.....	12
1.4.2.2. Unidad condensadora.....	18
1.4.2.3. Unidad evaporadora	19
1.4.2.4. Dispositivos de control del refrigerante	20

	1.4.2.5.	Control del sistema.....	32
	1.4.2.6.	El refrigerante.....	33
	1.4.3.	Aislamiento térmico.....	36
	1.4.3.1.	Poliestireno.....	36
	1.4.3.2.	Poliuretano.....	37
	1.4.4.	Tubería del refrigerante.....	40
2.	DISEÑO DE LA CÁMARA FRIGORÍFICA.....		43
2.1.	Generalidades del plátano.....		43
2.2.	Determinación de las dimensiones de la cámara frigorífica.....		44
2.3.	Cálculo de la cámara frigorífica.....		45
2.4.	Cálculo del ciclo de refrigeración.....		56
	2.4.1.	Refrigerante R-404A.....	56
	2.4.2.	Determinación de la temperatura de evaporación.....	58
	2.4.3.	Determinación de la temperatura de condensación.....	58
2.5.	Trazo del ciclo teórico de refrigeración.....		59
	2.5.1.	Cálculo de los principales parámetros del ciclo teórico de refrigeración.....	65
	2.5.1.1.	Flujo másico.....	68
	2.5.1.2.	Potencia teórica del compresor.....	68
	2.5.1.3.	Calor rechazado al medio.....	69
	2.5.1.4.	Volumen desplazado.....	69
2.6.	Dimensiones de tubería de alta y baja presión.....		70
	2.6.1.	Dimensionamiento de la tubería de alta presión.....	72
	2.6.2.	Dimensionamiento de la tubería de baja presión.....	75
2.7.	Materiales de construcción.....		77
2.8.	Selección y espesor del aislamiento.....		77

2.9.	Criterios básicos para el piso de concreto de cuartos refrigerados	78
2.10.	Selección de equipos y accesorios.....	81
3.	INSTALACIÓN Y PRUEBA DEL SISTEMA.....	93
3.1.	Planificación del ensamble de los componentes del sistema ..	93
3.2.	Instalación del equipo y accesorios	93
3.3.	Prueba de fugas	106
3.4.	Proceso de vacío.....	107
3.5.	Carga del refrigerante al sistema.....	109
3.6.	Ajuste y comprobación del equipo de seguridad	111
3.7.	Calibración del control programable de temperatura.....	112
3.8.	Pruebas de funcionamiento del equipo	112
4.	COSTOS Y MANTENIMIENTOS	115
4.1.	Generalidades	115
4.2.	Costos directos.....	115
4.3.	Costos indirectos	120
4.4.	Costo de fabricación	122
4.5.	Mantenimiento del equipo.....	122
4.6.	Costos del mantenimiento	138
4.7.	Sanidad dentro de la cámara frigorífica	141
4.8.	Seguridad industrial.....	142
	CONCLUSIONES	147
	RECOMENDACIONES.....	149
	BIBLIOGRAFÍA.....	151

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Principales exportadores mundiales.....	1
2.	Sistema de absorción agua-amoniaco	5
3.	Gráfica de Mollier de una sola etapa.....	10
4.	Elementos del sistema de refrigeración por compresión.....	11
5.	Compresor reciprocante.....	13
6.	Compresor giratorio.....	14
7.	Compresor de tornillo	14
8.	Compresor orbital.....	17
9.	Compresor centrífugo.....	18
10.	Unidad condensadora	19
11.	Unidad evaporadora.....	20
12.	Válvula de expansión termostática.....	23
13.	Válvula de expansión electrónica	24
14.	Tubo capilar	25
15.	Filtro deshidratador	25
16.	Visor o mirilla.....	26
17.	Reguladores de presión	27
18.	Manómetro de alta presión.....	28
19.	Manómetro de baja presión.....	28
20.	Termostato	29
21.	Válvula solenoide	30
22.	Válvula check	31
23.	Separadores de aceite	32

24.	Poliuretano.....	39
25.	Tubería de cobre tipo L.....	42
26.	Trazo de líneas en el diagrama de Mollier	60
27.	Diagrama del ciclo	62
28.	Análisis de energía del ciclo de refrigeración.....	66
29.	Análisis del ciclo real de refrigeración.....	67
30.	Velocidades para el refrigerante R-404A	71
31.	Panel de poliuretano	77
32.	Unidad condensadora.....	82
33.	Evaporador aleteado de aire forzado.....	83
34.	Selección de válvula de expansión	84
35.	Selección de válvula solenoide	84
36.	Selección de válvula de paso	85
37.	Selección de manómetro de baja y alta presión	86
38.	Selección de válvula reguladora de presión	87
39.	Conexión de cobre.....	87
40.	Control de temperatura programable	88
41.	Sifón o trampa.....	89
42.	Tubería de cobre tipo L.....	90
43.	Acumuladores de succión vertical.....	91
44.	Contactador	92
45.	Espacios mínimos del evaporador	95
46.	Ubicación del evaporador de aire forzado	95
47.	Instalación de la válvula de expansión.....	97
48.	Ubicación del bulbo.....	98
49.	Instalación válvula solenoide	99
50.	Instalación de la válvula reguladora de presión	100
51.	Tubería a instalar	101
52.	Instalación de acumulador de succión	102

53.	Instalación de la válvula de paso	103
54.	Prensa de expansión y acoples mecánicos	104
55.	Soldadura oxiacetilénica	105
56.	Método electrónico de detección de fugas	106
57.	Prueba de fugas	107
58.	Proceso de vacío profundo	108
59.	Proceso de vacío	109
60.	Carga de refrigerante al sistema	110
61.	Termómetro digital y multímetro.....	113
62.	Patrón de estibado para máxima eficiencia de refrigeración.....	114
63.	Tipos de mantenimiento	127
64.	Fallas en los compresores	131
65.	Diagnóstico de fallas en los sistemas frigoríficos	134
66.	Disposición adecuada de una escalera.....	144

TABLAS

I.	Datos en miles de USD/2008 de exportaciones FOB.....	2
II.	Propiedades del aislamiento térmico poliuretano expandido	37
III.	Velocidades del refrigerante R 404-A en el ciclo frigorífico	41
IV.	Propiedades del plátano.....	44
V.	Valores de R para los materiales aislantes	48
VI.	Condiciones de la cámara.....	49
VII.	Cargas de calor por transmisión	50
VIII.	Cargas por calor del producto	50
IX.	Cargas de calor por evolución.....	51
X.	Cambios de aire promedio por 24 hr	52
XI.	Factor de calor removido por infiltración	52
XII.	Cargas por infiltración	53

XIII.	Calor disipado por motores eléctricos.....	54
XIV.	Total cargas de calor suplementarias	54
XV.	Carga total	55
XVI.	Propiedades del refrigerante R-404A.....	57
XVII.	Diferencial de temperatura entre el evaporador y el espacio refrigerado	59
XVIII.	Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico	61
XIX.	Estados del ciclo frigorífico	62
XX.	Estados de los puntos en el análisis del ciclo real	67
XXI.	Tubería para refrigerante de alta presión.....	74
XXII.	Tubería para refrigerante de baja presión.....	76
XXIII.	Espesor de aislamiento según temperatura interior.....	78
XXIV.	Clasificación de pisos de concreto.....	80
XXV.	Espesores mínimos de concreto para refrigeración.....	81
XXVI.	Datos en placa de unidad condensadora.....	91
XXVII.	Parámetros de configuración protegidos por el código de acceso.....	112
XXVIII.	Costo del bastidor	115
XXIX.	Precio de materiales de la cámara.....	116
XXX.	Precio de materiales de ferretería.....	117
XXXI.	Precio de materiales de electricidad	118
XXXII.	Otros precios de materiales de la cámara	118
XXXIII.	Costo de mano de obra	119
XXXIV.	Costo de herramientas.....	119
XXXV.	Costo de transporte	120
XXXVI.	Total costos directos	120
XXXVII.	Costo del criterio de ingeniería	121
XXXVIII.	Otros costos indirectos	121
XXXIX.	Costo por utilidades	121
XL.	Total costos indirectos	122

XLI.	Costo total del equipo.....	122
XLII.	Rutinas de mantenimiento para compresor.....	135
XLIII.	Rutinas de mantenimiento para el condensador	136
XLIV.	Rutina de mantenimiento para el evaporador	137
XLV.	Rutinas de mantenimiento de los accesorios de protección.....	137
XLVI.	Costos de las herramientas en el mantenimiento	138
XLVII.	Costo por mano de obra en el mantenimiento	138
XLVIII.	Costo por transporte en el mantenimiento	139
XLIX.	Costo por teléfono celular en el mantenimiento	139
L.	Costo directo del mantenimiento	139
LI.	Costo indirecto del mantenimiento	140
LII.	Costo total por mantenimiento trimestral.....	140

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
CO₂	Bióxido de carbono
Hp	Caballos de fuerza
C_p	Calor específico del aire húmedo
Q_{piso}	Calor ganado a través de piso
Q_{ilum}	Calor ganado debido a luces
Q_{partic}	Calor ganado por divisiones
Q_{puertas}	Calor ganado por las puertas
Q_{pared}	Calor ganado por paredes
Q_{perl}	Calor latente debido a personas
Q_{eq}	Calor latente ganado debido a equipos
Q_{pers}	Calor sensible debido a personas
Q_{mot}	Calor sensible ganado debido a motores
Q_{esp}	Carga de enfriamiento del espacio
Q_t	Carga total de enfriamiento
cm	Centímetros
cm²	Centímetros cuadrados
U	Coefficiente Global de Transferencia de Calor
ρ	Densidad
∅	Diámetro
h	Entalpía total
ṁ	Flujo másico
Q_v	Ganancia de calor total a través de los vidrios

°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
K	Grados Kelvin
hr	Hora
kJ/kg	Kilo Joule por kilogramo
kg	Kilogramos
km	Kilómetros
kW	Kilowatts
m	Metro
m²	Metros cuadrado
m³	Metros cúbicos
m³/s	Metros cúbicos por segundo
m/s	Metros por segundo
O₂	Oxígeno diatómico
Pa	Pascal
p	Pies
plg	Pulgadas
R_c	Relación de compresión
R	Resistencia térmica
R_T	Resistencia térmica total
s	Segundos
T_c	Temperatura de condensación
T_e	Temperatura de evaporación
T_i	Temperatura interior
W_c	Trabajo del compresor
V	Velocidad
Ṽ	Volumen desplazado
v	Volumen específico
w	Watts

GLOSARIO

Aire ambiental	Genéricamente hablando, el aire alrededor de un objeto. En un sistema de refrigeración doméstico o comercial en el que se cuenta con un condensador enfriado por aire, la temperatura del aire a la entrada del condensador.
Aire de <i>comfort</i>	Control simultáneo de todos o por lo menos los primeros tres de los siguientes factores, que afectan las condiciones físicas y químicas de la atmósfera dentro de una estructura para el <i>comfort</i> humano; temperatura, humedad, movimiento, distribución, polvo, bacterias, gases tóxicos o ionización, la mayoría de los cuales afectan en mayor o menor grado la salud o <i>comfort</i> humano.
ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros para Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.
Asociatos	Son productos de partida en diversos procesos químicos, entre otros en la obtención de los poliuretanos.
BOHN	Manual de ingeniería para sistemas de refrigeración.

BTU	Calor requerido para producir aumento en la temperatura de 1 °F en 1 lb de agua. El significado de BTU es 1/180 de la energía requerida para calentar agua de 32 °F a 212 °F.
Bulbo húmedo	Temperatura de equilibrio de evaporación del agua dentro del aire, cuando el calor latente de vaporización es suministrado por el calor sensible del aire.
Bulbo seco	Temperatura medida por un termómetro ordinario (término usado solamente para distinguir del término de temperatura de bulbo húmedo).
Caída de presión	Pérdida de presión desde un extremo a otro en una tubería de refrigeración, debido a la fricción, etc.
Calor específico	Energía por unidad de masa requerida para producir que la temperatura, aumente un grado, generalmente BTU/lb-°F numéricamente igual a cal/gr-°C.
Calor latente	Calor caracterizado por el cambio de estado de la sustancia en estudio, para una presión dada y siempre a temperatura constante para una sustancia pura.

Calor sensible	Calor que es asociado con un cambio de temperatura, calor específico por cambio de temperatura, en contraste a un intercambio de calor en el cual ocurre un cambio de estado (calor latente).
CFM	Pies cúbicos por minuto.
Coolpack	Software de ingeniería para los análisis de energía y ciclos de refrigeración.
COP	Coeficiente de operación.
Cps	Centipoises (medida de la viscosidad).
CVAA	Calefacción, ventilación y aire acondicionado.
Deshidratación	(1) eliminación de vapor de agua del aire por el uso de materiales absorbentes. (2) eliminación de agua de los productos almacenados.
Deshumidificación	Condensación del vapor de agua del aire por enfriamiento abajo del punto de rocío, o remoción del vapor de agua del aire por métodos físicos o químicos.
DT	Diferencia de temperatura.
Ducto	Conducto usado para transportar aire u otro gas.

ER	Efecto Refrigerante.
Enfriador de aire	Circulación forzada, es un conjunto de elementos ensamblado desde fábrica, por medio del cual el calor se transfiere del aire al refrigerante que se evapora.
Enfriamiento	Aplicación moderada de refrigeración tal como con la carne sin llegar a la congelación.
Escarchamiento	Inundación de líquido de un evaporador en la línea de succión acompañado por la formación de escarcha en la línea de succión en la mayoría de los casos.
Etileno	El etileno o eteno es un compuesto químico orgánico formado por dos átomos de carbono enlazados mediante un doble enlace. Se halla de forma natural en las plantas, frutas y verduras para acelerar su maduración.
Evaporador	Parte de un sistema en el cual el refrigerante líquido es vaporizado para producir refrigeración.
Flasheo de gas	Gas resultante de la evaporación instantánea del refrigerante en un dispositivo reductor de presión, para enfriar el refrigerante a la temperatura de evaporación obtenida, al reducir la presión.

Frigorías	Es una unidad de energía informal para medir la absorción de energía térmica. Equivale a una kilocaloría negativa. Podría definirse, como extensión de la definición de kilocaloría del Sistema Técnico.
Halocarburos	Son gases de origen antrópico, de los cuales los más conocidos son los clorofluorocarbonos CFCs (CFC-11 y CFC-12) que contienen moléculas de cloro, flúor y carbono.
HEPA	Filtro de alta eficiencia de partículas de aire.
HFC	Son gases refrigerantes cuyas moléculas son hidrógeno flúor y carbono.
Hidroxilo	Es un grupo funcional formado por un átomo de oxígeno y otro de hidrógeno, característico de los alcoholes.
Igualador externo	En la válvula de expansión termostática es una conexión de tubo desde la cámara que contiene presión de evaporación, acciona al elemento de la válvula hacia la salida o el serpentín evaporador. Es un dispositivo para compensar el exceso de caída de presión a través del evaporador.
Infiltración	Aire fluyendo al interior como sería a través de la pared, fuga.

Lado de alta	Parte del sistema de refrigeración bajo la presión del condensador.
Lado de baja	Parte de un sistema de refrigeración bajo la presión del evaporador.
Lecho fluidizado	Es un Túnel de congelado continuo IQF (<i>Individually Quick Frozen</i>) es un sistema para congelar productos individualmente, a diferencia de los túneles de congelado estático donde la mercadería se estiba en cajas, bolsas o formas similares y donde no es necesario evitar que el producto se pegue uno con el otro. Si se necesita que el producto se congele individualmente se deberá instalar un Túnel de congelado continuo IQF.
Línea de líquido	Tubo o tubería que transporta el refrigerante líquido desde el condensador o recibidor de un sistema de refrigeración a un dispositivo reductor de presión.
Línea de succión	Tubo o tubería la cual transporta el refrigerante en estado de vapor, desde el evaporador a la entrada del compresor.
Miscibilidad	Es un término usado en química que se refiere a la propiedad de algunos líquidos para mezclarse en cualquier proporción, formando una mezcla.
NCO	Grupo asociato.

ODP	Es el coeficiente por el que se mide la capacidad destructiva de un fluido refrigerante a la capa de ozono.
Organolépticas	Las propiedades organolépticas son todas aquellas descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, según las pueden percibir los sentidos, por ejemplo su sabor, textura, olor, color. Su estudio es importante en las ramas de la ciencia en que es habitual evaluar inicialmente las características de la materia sin la ayuda de instrumentos científicos.
Poliol	Es un carbohidrato que contiene más grupos de hidroxilo que el azúcar al cual está asociado.
Presión de alta	Presión de funcionamiento medida en la línea de descarga a la salida del compresor.
Presión de retorno	Terminología indefinida para la presión de succión del vapor de refrigeración en un sistema.
Pseudoazotrópica	Mezcla de dos constituyentes cuyo punto de ebullición a una temperatura dada, difiere del punto de ebullición del azeótropo verdadero en un máximo de 0,5 °C.

Punto de rocío

El punto de rocío o temperatura de rocío es la temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha.

Refrigeración

Es un proceso que consiste en bajar o mantener el nivel de calor de un cuerpo o un espacio. Considerando que realmente el frío no existe y que debe hablarse de mayor o menor cantidad de calor o, mejor dicho, de mayor o menor nivel térmico (nivel que se mide con la temperatura), refrigerar es un proceso termodinámico en el que se extrae calor del objeto considerado (reduciendo su nivel térmico), y se lleva a otro lugar capaz de admitir esa energía térmica sin problemas o con muy reducidos problemas. Los fluidos utilizados para llevar la energía calorífica de un espacio a otro, son llamados refrigerantes.

Respiración

Producción de CO₂ (bióxido de carbono) y calor por maduración de perecederos en almacenamiento.

SHFG

Factor de ganancia solar.

Sistema inundado	Sistema en el cual solamente parte del refrigerante que pasa sobre la superficie de transferencia de calor es evaporado, y la porción no evaporada es separada del vapor y recirculada. En sistemas comerciales, puede ser controlada por una válvula de flotador.
Solkane	Software de ingeniería para el trazo del ciclo de refrigeración.
TON o TR	Toneladas de Refrigeración.
Tumbado	Choque de aire a través de las paredes y techo.
Válvula térmica	Válvula controlada por la respuesta de un elemento térmico, por ejemplo una válvula de expansión termostática la cual es generalmente sensible a la temperatura de succión o evaporación.
VTE	Válvula de Expansión Termostática.

RESUMEN

La ingeniería mecánica tiene varios campos de aplicación siendo uno de ellos la refrigeración, hay pocos ingenieros que optan por esta rama, incluso cuando las oportunidades en el mercado han ido creciendo. Las empresas en Guatemala tienen equipos de refrigeración, los cuales aportan un conocimiento básico, sin embargo existe la necesidad de implementar un desarrollo para nuevos sistemas frigoríficos, los cuales son diseñados para mejorar y solucionar la problemática de la conservación por refrigeración, las empresas que necesitan preservar las frutas a corto o largo plazo y ofrecer el producto en óptimas condiciones.

Los sistemas de refrigeración para la conservación de frutas permiten tener condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de la maduración, para evitar riesgos que llevan a su pérdida. La cámara está provista de una unidad de enfriamiento de tiro forzado y dispone de un dispositivo de expansión que ayuda al manejo requerido del refrigerante sin sobre calentar y sobre enfriar el sistema.

El desarrollo de la cámara de conservación contiene el cálculo de carga térmica necesaria para la temperatura de conservación y humedad relativa, con base en los datos anteriores se debe seleccionar el equipo, los accesorios y dispositivos de control, se procede a la instalación de sistema de refrigeración, se carga el refrigerante para realizar las pruebas de funcionamiento, finalmente se realiza un análisis económico que incluyen los costos directos e indirectos de instalación y de equipo, para concluir se realiza otros costos directos e indirectos de operación y sus respectivas rutinas de mantenimiento trimestral.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de frigorífico para el control y manejo natural de la maduración de una carga de plátanos.

Específicos

1. Calcular la capacidad calorífica para una carga de plátanos.
2. Diseñar el sistema de refrigeración por compresión mecánica.
3. Determinar los costos de la construcción del sistema de refrigeración.
4. Designar las dimensiones y los materiales adecuados para el montaje del cuarto frigorífico.
5. Determinar las pruebas que deben hacerse al equipo después de la instalación.
6. Programa de mantenimiento.
7. Costo de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

La conservación adecuada de productos hortofrutícolas requiere un manejo especializado, control de temperatura, humedad y aportación de etileno para cada tipo de fruta dependiendo de los requerimientos de cada una de ellas, según el Manual de ingeniería BONH para el plátano requiere:

- Controlar la humedad y temperatura del producto en frío positivo, entre 12 °C y 14 °C, disponer de una cámara de conservación independiente que permiten dar a cada fruta las condiciones que necesitan. Para la instalación se dispone de equipos de eliminación de etileno, pudiendo así controlar el proceso de senectud de la fruta alargando la vida del producto sin perder sus características organolépticas.
- Controlar el proceso natural de maduración mediante cámaras, acelerando o retrasando la maduración entre 4 y 5 días tras la recepción en verde y a través de parámetros como la temperatura, humedad y aportación de etileno (gas natural que favorece los cambios en el producto) para entregar el producto en las condiciones de madurez requeridas.
- Saber la temperatura adecuada del producto, para que no influyan los daños por frío sobre la madurez del producto: si el producto es verde será más susceptible a sufrir daños que si está maduro; además si lo sufre en su estado verde luego deja de madurar correctamente, el daño por frío altera su vida útil y no son organolépticamente de buena calidad.

- Saber aclimatar la fruta a bajas temperaturas, es decir, poner la temperatura a 4 °C a 5 °C por encima de la de almacenamiento durante un tiempo para que se adapte, luego deberá bajarse y así el producto no sufre daños por frío.

También se puede bajar la temperatura por debajo de la que sufre daño y antes de que se produzca dicho daño se aumenta, con lo que se equilibra y se reestructura; de nuevo se aplica luego a subir, y así sucesivamente, aplicando temperaturas alternantes.

- Retrasar el proceso de súper maduración, para esto es necesario la disminución de la intensidad respiratoria del fruto, por lo tanto es necesario la disminución o eliminación de O₂ por lo que impide la última fase de respiración.

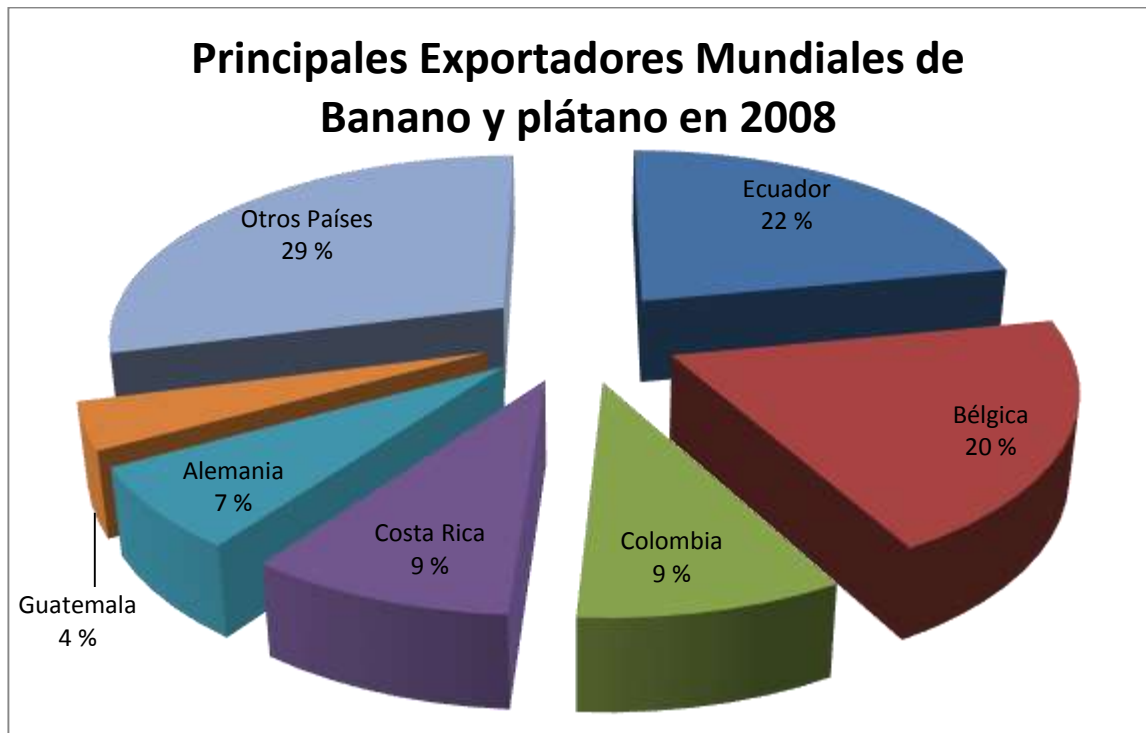
Para controlar dicho proceso se debe bajar la temperatura para su retraso o aumentarla para una maduración más rápida, la temperatura de almacenamiento isobárico: disminuye la concentración de volátiles (CO₂, O₂,) y poner a una determinada concentración con lo que el producto no será tan sensible a daños por frío además de regular la cantidad de O₂.

1. CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN

1.1. Los plátanos en Guatemala

Guatemala está entre los diez primeros países en la exportación de plátano a nivel internacional, principalmente a los Estados Unidos de Norte América, por ello es necesario exportar un producto en óptimas condiciones de calidad, por lo tanto, el diseño y desarrollo del proyecto beneficiará primeramente a la industria guatemalteca que se dedica a dicha exportación.

Figura 1. Principales exportadores mundiales



Fuente: elaboración propia con programa Excel con base en datos de CONTRADE.

Tabla I. **Datos en miles de USD/2008 de exportaciones FOB**

País Exportador	Exportaciones Totales		
	Miles de USD	%	Posición
Ecuador	\$ 1 639 701	22 %	1
Bélgica	\$ 1 540 799	20 %	2
Costa Rica	\$ 711 664	9 %	3
Colombia	\$ 531 223	9 %	4
Alemania	\$ 343 875	7 %	5
Guatemala	\$ 343 875	5 %	8
Otros Países	\$ 2 179 758	29 %	
TOTALES	\$ 7 601 374	100 %	

Fuente: elaboración propia con programa Excel con base en datos de CONTRADE.

1.2. Tipos de refrigeración

- Congelación lenta: consiste esencialmente en colocar un producto en una cámara a baja temperatura, permitiendo que el producto descienda lenta y naturalmente, como transferencia de calor del producto con la cámara. La temperatura de la cámara está en un rango de -18 °C a -40 °C. El tiempo de congelación es largo de 3 a 4 días, dependiendo del tamaño de las unidades a congelar.

Los equipos o aparatos de congelación utilizados son grandes cámaras de congelación y almacenaje. Este tipo de equipo se utiliza para productos de gran tamaño como corderos, mitades de bovino etc., los cuales se cuelgan desde el techo para congelarlos. Para vacunos se requiere de 3 a 4 días y 30 hr para corderos.

- Congelación rápida: este sistema favorece a un rápido intercambio de calor. Este tipo de congelación se subdivide en:
 - Congelación por aire forzado: se basa en entregar una masa o flujo de aire a una baja temperatura a una alta velocidad y así producir un alto intercambio calórico entre el flujo o masa del aire y el producto. Una congelación por aire forzado trata de que toda la superficie del producto a congelar puedan estar expuesta al aire. La congelación por aire forzado se puede efectuar a través: de cabina (*batch*), de túnel continuo y túnel de lecho fluidizado.
 - Congelación por inmersión en líquidos congelantes: teóricamente la congelación de alimentos sólidos por inmersión en líquidos tiene grandes ventajas, ya que puede obtener elevados coeficientes de transmisión de calor entre el sólido y el líquido.

Los cuerpos con formas irregulares pueden congelarse fácilmente (igualmente que los rectangulares) y los productos pueden congelarse individualmente, IQF (*Individually Quick Frozen*). Si el alimento se congela sin envase, el líquido refrigerante no debe ser tóxico y aceptable como contaminante del producto.

En los primeros tiempos de la congelación se usaron salmueras y jarabes, para la congelación por inmersión. Otras ventajas que presenta este método es que hay una mayor superficie de transferencia de energía.

1.2.1. Por absorción

El ciclo de compresión de vapor ha sido el método más utilizado para el subsistema de refrigeración de los sistemas CVAA (calefacción, ventilación y aire acondicionado), ya que es práctico y proporciona la eficiencia y confiabilidad que demandan los usuarios. El sistema de absorción ha encontrado su nicho donde se puede obtener una gran cantidad de calor barato o de desecho.

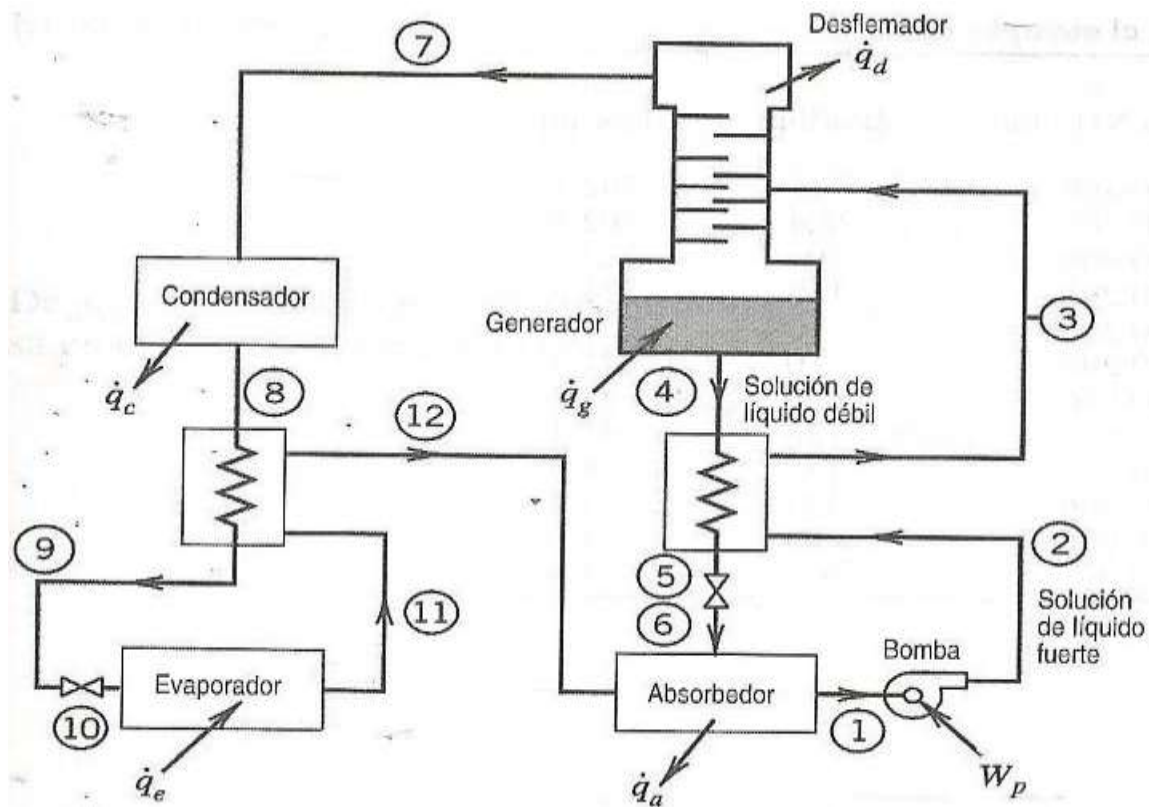
Los cambios en la economía y la disponibilidad de combustibles prometen ser menores que los precios de la electricidad; se ha promovido la utilización de enfriadores y calefactores de absorción alimentados por gas. Estos sistemas tiene la capacidad de proporcionar calefacción y enfriamiento simultáneamente.

Las preocupaciones ambientalistas respecto a muchos de los refrigerantes de halocarburos (refrigerantes con moléculas de cloro), han provocado que se preste más atención a los sistemas de absorción, ya que los fluidos que utilizan estos sistemas tienen un efecto benigno sobre la atmósfera.

1.2.1.1. Sistemas de absorción agua amoníaco

El sistema agua-amoniaco es uno de los ciclos de refrigeración más antiguos. En este caso, el amoniaco es el refrigerante y el agua es el absorbente. Debido a que tanto el agua como el amoniaco son volátiles, el ciclo simple debe ser reemplazado por la combinación de un generador, una columna rectificadora y un desflemador, como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Sistema de absorción agua-amoniaco



Fuente: Mcquiston, Faye. Ventilación, Calefacción y Aire Acondicionado. p. 575.

1.2.1.2. Sistemas de bromuro de litio agua

Cuando el agua helada va a permanecer a una temperatura por encima del punto de congelación, como ocurre en la mayoría de los sistemas de aire acondicionado, se utiliza el sistema de enfriamiento por absorción de bromuro de litio-agua. En éste, el agua es el refrigerante y el bromuro de litio es el absorbente.

El bromuro de litio, que normalmente es sólido, forma una solución cuando se mezcla con agua. Los sistemas de bromuro de litio de calentamiento

directo fueron muy populares durante muchos años, cuando el gas combustible era barato y los sistemas de compresión tenían un costo de mantenimiento más alto.

El interés de estos sistemas se fue desvaneciendo cuando cambiaron las condiciones económicas y continuaron las mejoras en los sistemas de compresión. Sin embargo, se está renovado el interés del sistema de bromuro de litio, el cual no libera gases dañinos a la atmósfera.

La ventaja más importante es la naturaleza no volátil del bromuro de litio. Solo se expulsa vapor de agua del generador. El sistema bromuro de litio-agua es más sencillo y funciona con un COP (coeficiente de desempeño) más elevado que el sistema agua-amoniaco. Su desventaja principal es la temperatura de evaporación relativamente elevada y la presión baja dentro del sistema.

1.2.2. Por compresión

La refrigeración por compresión es un método de refrigeración, que consiste en forzar mecánicamente la circulación de un fluido en un circuito cerrado creando zonas de alta y baja presión, con el propósito de que el fluido absorba calor en un lugar y lo disipe en el otro.

Una máquina frigorífica por compresión tiene por cometido desplazar energía térmica en forma de calor entre dos puntos. La más sencilla de ellas es la refrigeración por compresión mecánica de una etapa. La refrigeración por compresión se logra evaporando un gas refrigerante en estado líquido, a través de un dispositivo de expansión dentro de un

intercambiador de calor, denominado evaporador. Para evaporarse este requiere absorber calor latente de vaporización.

Al evaporarse el líquido refrigerante cambia su estado a vapor. Durante el cambio de estado el refrigerante en estado de vapor absorbe energía térmica del medio en contacto con el evaporador, bien sea este medio gaseoso o líquido. A esta cantidad de calor contenido en el ambiente se le denomina carga térmica. Luego de este intercambio energético, un compresor mecánico se encarga de aumentar la presión del vapor para poder condensarlo dentro de otro intercambiador de calor conocido como condensador y hacerlo líquido de nuevo.

En este intercambiador se liberan del sistema frigorífico tanto el calor latente como el sensible, ambos componentes de la carga térmica. Ya que este aumento de presión además produce un aumento en su temperatura, para lograr el cambio de estado del fluido refrigerante y producir el subenfriamiento del mismo, es necesario enfriarlo en el interior del condensador; esto suele hacerse por medio de aire y/o agua conforme el tipo de condensador, definido muchas veces en función del refrigerante.

De esta manera, el refrigerante en estado líquido, puede evaporarse nuevamente a través de la válvula de expansión y repetir el ciclo de refrigeración por compresión.

1.3. Aplicación de la refrigeración

La industria de la refrigeración se encuentra inmersa en varias aplicaciones, se han agrupado en 6 categorías generales:

- Refrigeración domestica
- Refrigeración comercial
- Refrigeración industrial
- Refrigeración marina y de transportación
- Acondicionamiento de aire para el *confort* humano
- Acondicionamiento de aire industrial

1.4. Compresión de vapor

La refrigeración mecánica se realiza mediante la circulación continua de refrigerante a través del evaporador, compresor, condensador y válvula de expansión en un sistema cerrado.

1.4.1. Ciclo teórico de compresión de una sola etapa

Dos de los tres métodos básicos de refrigeración (por compresión de vapor, por absorción y por termoelectricidad), el más común en la industria de la CVAA es el de compresión de vapor, siguiéndolo de lejos el de absorción. Estos métodos tienen muchas variaciones complejas, solo se discuten los ciclos básicos de compresión y absorción. Primero se explica el ciclo teórico de compresión de una sola etapa.

En la figura 3 se muestran los procesos termodinámicos para el ciclo teórico de presión-entalpía. Aun cuando es práctico y simple, este ciclo tiene dos características que le impiden tener un coeficiente de desempeño tan alto.

- La primera es el hecho de que el flujo atraviesa por la válvula de expansión, proceso 3-4 es un proceso de estrangulamiento irreversible en el que se pierde la oportunidad de producir trabajo útil.

- La segunda característica no ideal es que el proceso de expulsión del calor, proceso 2-3, no ocurre a una temperatura constante. No obstante, es simple, tiene rasgos útiles y puede modificarse para que se parezca bastante a los sistemas reales.

Por estas razones, el ciclo que se muestra en la figura 3 constituye un buen modelo para comprender las características básicas de los sistemas de compresión de vapor.

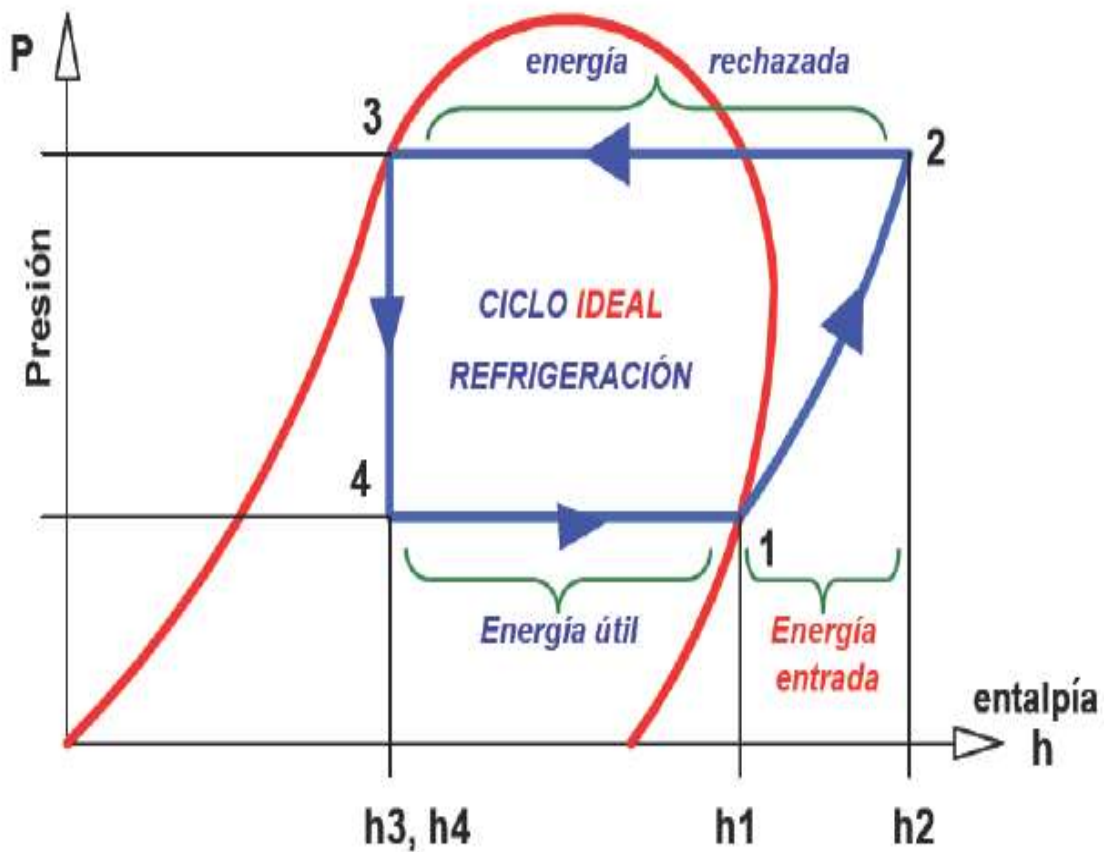
Se da por supuesto que el refrigerante que entra al compresor es vapor saturado seco a la presión del evaporador. Este es un buen lugar para comenzar un análisis, debido a que permite determinar fácilmente todas las propiedades del fluido. También se da por supuesto que el proceso de compresión 1-2 es reversible y adiabático y, por lo tanto, isentrópico, y que continúa hasta que alcanza la presión de condensador.

El punto 2 está, obviamente, en la región del vapor sobrecalentado. En el proceso 2-3, que tiene lugar a presión constante, la temperatura del vapor decrece hasta que alcanza la condición de vapor saturado. Entonces en el punto 3 el refrigerante sale del condensador como líquido saturado, y a continuación se expande a través de una válvula de estrangulación, donde ocurre una evaporación parcial cuando la presión disminuye a través de la válvula.

El proceso de estrangulación 3-4 es irreversible y viene acompañado con un incremento en la entropía. En la figura 3 se muestra este proceso. En un proceso de estrangulación, la entalpía a la salida y la entalpía a la entrada son iguales. Para determinar el coeficiente de desempeño debe determinar el efecto

refrigerante útil y la entrada neta de energía para el flujo uniforme de una unidad de masa de refrigerante.

Figura 3. Gráfica de Mollier de una sola etapa

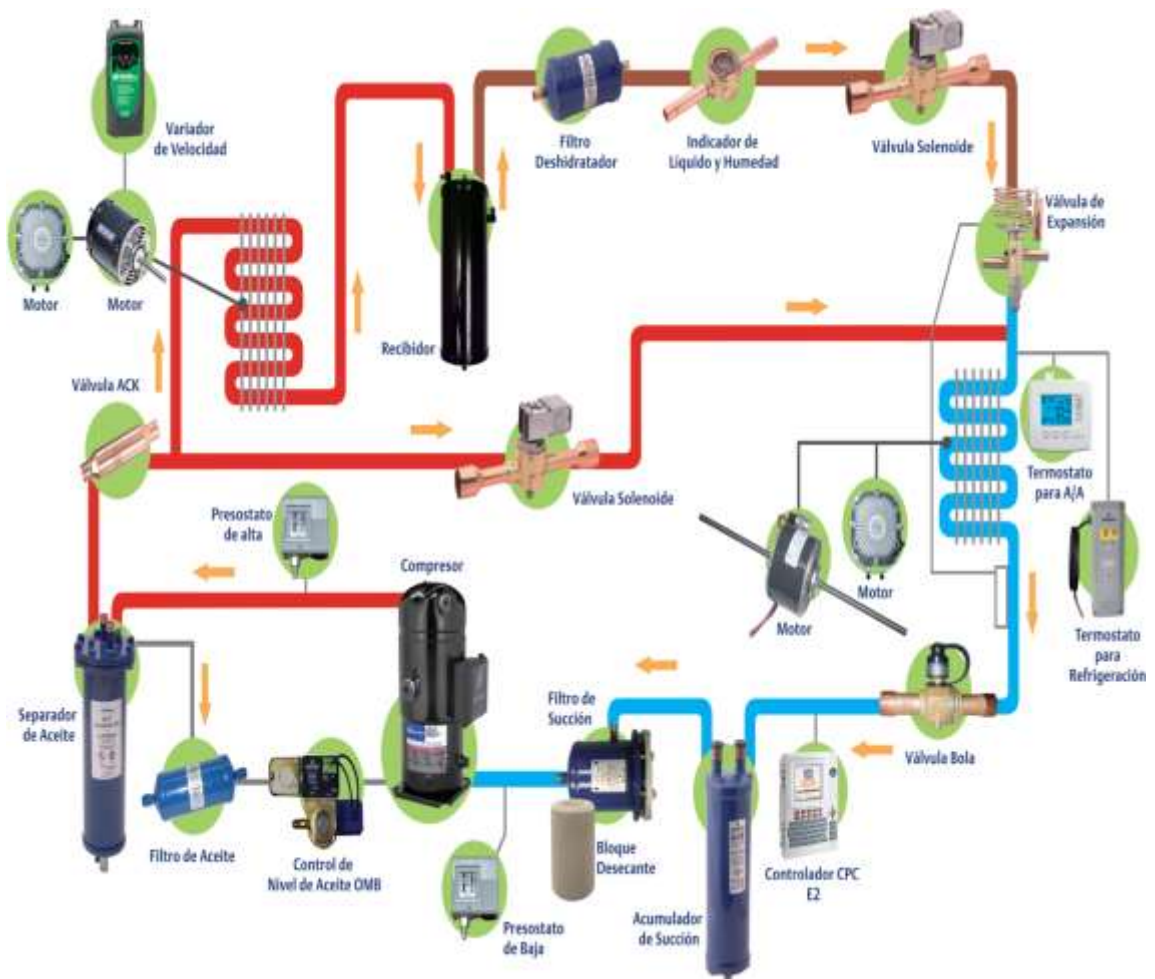


Fuente: Mcquiston, Faye. Ventilación, calefacción y aire acondicionado. p. 535.

1.4.2. Elementos del sistema de refrigeración por compresión mecánica

En la figura 4 se detallan los elementos de compresión mecánica mencionamos los más importantes, los cuales son: el compresor, evaporador, condensador, válvula de expansión y accesorios de seguridad.

Figura 4. Elementos del sistema de refrigeración por compresión



Fuente: empresa UNIREFRI.

1.4.2.1. El compresor

El compresor constituye la verdadera máquina de toda instalación frigorífica. Su función dentro del sistema de refrigeración, consiste en aspirar el fluido refrigerante a baja presión y temperatura, comprimirlo y descargarlo a una presión y temperatura tales que se pueda condensar.

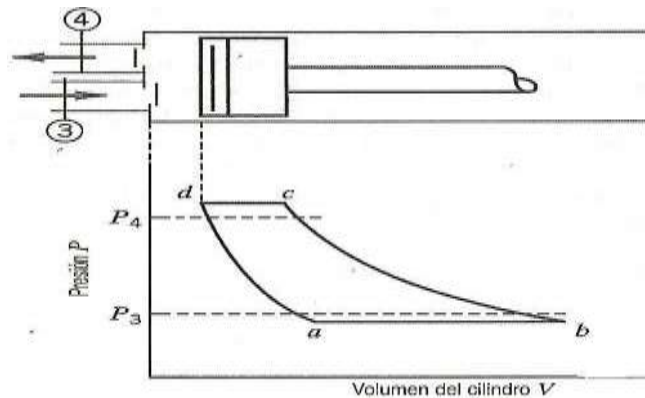
- Compresores reciprocantes: la mayoría de los compresores reciprocantes son de efecto simple, y utilizan pistones movidos por medio de una biela que a su vez es movida por un cigüeñal. Los compresores de doble efecto no se utilizan mucho.

Los compresores para halocarburos, los más ampliamente utilizados, se manufacturan en tres tipos de diseño: 1) abiertos, 2) semiherméticos o de pernos y 3) herméticos o de carcasa soldada.

Los compresores para amoníaco son manufacturados únicamente en diseño de tipo abierto. En los compresores de tipo abierto el eje se extiende, a través de un sello en el cigüeñal, hasta una polea impulsora externa.

Se supone que el compresor recíprocante ideal opera de una manera adiabática reversible, en donde las pérdidas de presión en las válvulas y en los múltiples de admisión y salida son desdeñables. (véase figura 5)

Figura 5. **Compresor recíprocante**



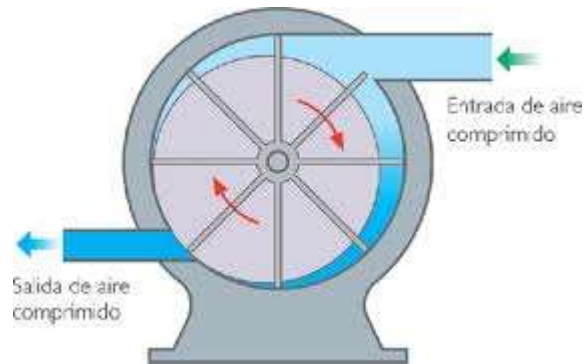
Fuente: Mcquiston, Faye. Ventilación, calefacción y aire acondicionado. p. 544.

- **Compresores giratorios:** los compresores giratorios se caracterizan por su movimiento circular, opuesto al movimiento recíprocante. Su proceso de compresión de desplazamiento positivo no es invertible, y puede ser continuo o cíclico, dependiendo del mecanismo empleado. La mayoría son máquinas de impulsión directa. En la figura 6 se muestra el tipo común de compresor giratorio.

Estas máquinas son muy similares en tamaño, peso, desempeño termodinámico, rango de tamaños, pesos, campo de aplicación, durabilidad y nivel de ruido.

El desempeño de los compresores giratorios está caracterizado por una alta eficiencia volumétrica debido a lo reducido de sus espacios muertos, con las correspondientes pérdidas bajas por re expansión. Los compresores de álabes rotatorios tienen una razón peso desplazamiento baja, lo cual, combinado con su tamaño pequeño, los hace muy apropiados para aplicaciones en transportes.

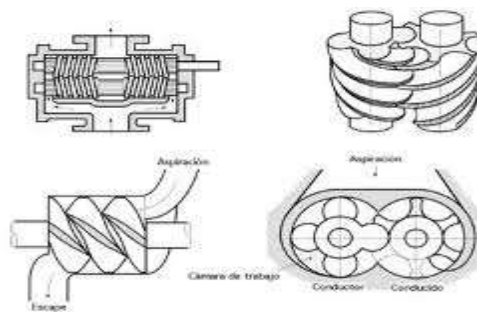
Figura 6. **Compresor giratorio**



Fuente: <http://www.google.com.gt/imgres?imgurl>. Consulta: 12 de marzo de 2013.

- Compresores de un solo tornillo: el compresor de un solo tornillo que se muestra en la figura 7, consiste en un rotor principal cilíndrico que trabaja con un par de rotores de compuerta. El rotor puede variar de manera considerable en su geometría. Estos compresores se utilizan principalmente con inyección de líquido, el cual contribuye a enfriarlos y sellarlos. Pueden elevar la presión más de 20 pulgadas por etapa, y se fabrican con capacidades que van de 20 a 1 300 toneladas.

Figura 7. **Compresor de tornillo**



Fuente: Mcquiston, Faye. Ventilación, calefacción y aire acondicionado. p. 548.

- Compresor giratorio de doble tornillo: al igual que el de un solo tornillo, el compresor giratorio de doble helicoides, o de tornillo gemelos, pertenece a la clase de los compresores de desplazamiento positivo. Fue introducido a la industria de la refrigeración a finales de la década de los 50.

La máquina consiste esencialmente en dos rotores helicoidales apareados entre sí por medio de lóbulos (machos) y ahuecamientos (hembras) dentro de una caja o carcasa estacionaria con puertos o lumbreras de entrada y de salida apropiadas (véase figura 7). El flujo del gas en los rotores es radial y axial.

Si el compresor tiene un rotor macho de cuatro lóbulos girando a 3 600 rpm, el rotor hembra de seis lóbulos gira a $(4/6) \times 3\,600 = 2\,400$. El rotor hembra puede ser impulsado por el rotor macho.

En esta máquina la compresión se obtiene reduciendo el volumen directamente con el movimiento giratorio. Las cuatro fases continuas del ciclo de trabajo son:

- **Succión:** un par de lóbulos se desengranan en el lado del puerto lumbrera de entrada y el gas fluye hacia dentro, llenando el volumen creciente que se está formando entre los lóbulos y la caja, hasta que estos están completamente desengranados.
- **Transferencia:** el gas atrapado forma una bolsa aislada desde la entrada a la salida, la cual es movida circunferencialmente a una presión de succión constante.

- Compresión: cuando se reinicia el engranado en el extremo de la entrada, se reduce el volumen del gas atrapado y la carga es comprimida y trasladada helicoidalmente hacia el extremo de descarga a medida que el punto de engranado de los lóbulos continúa moviéndose axialmente.
- Descarga: este proceso comienza cuando el volumen de gas comprimido ha sido trasladado a las lumbreras axiales en el extremo de descarga de la máquina, y continúa hasta que todo el gas atrapado es expulsado completamente.
- Compresores orbitales: en la figura 8 se muestra un tipo de compresor orbital o compresor de espiral, una máquina de desplazamiento positivo y de movimiento giratorio que utilizan dos miembros en forma de espiral para comprimir el vapor refrigerante. Su rango de capacidades fluctúa de 1 a 15 toneladas (3,5 a 53 kW) y se utiliza corrientemente en sistemas de acondicionamiento de aire residencial y comercial (incluyendo bombas de calor) y en aplicaciones automotrices.

Avances recientes en las tecnologías de fabricación han permitido hacer máquinas con mínimo huelgo entre los miembros de la espiral, para así lograr una operación más eficiente.

Sus ventajas incluyen su incompatibilidad con contaminantes sólidos y su bajo rendimiento a presiones de succión bajas. Una buena lubricación es fundamental en estos casos.

Figura 8. **Compresor orbital**



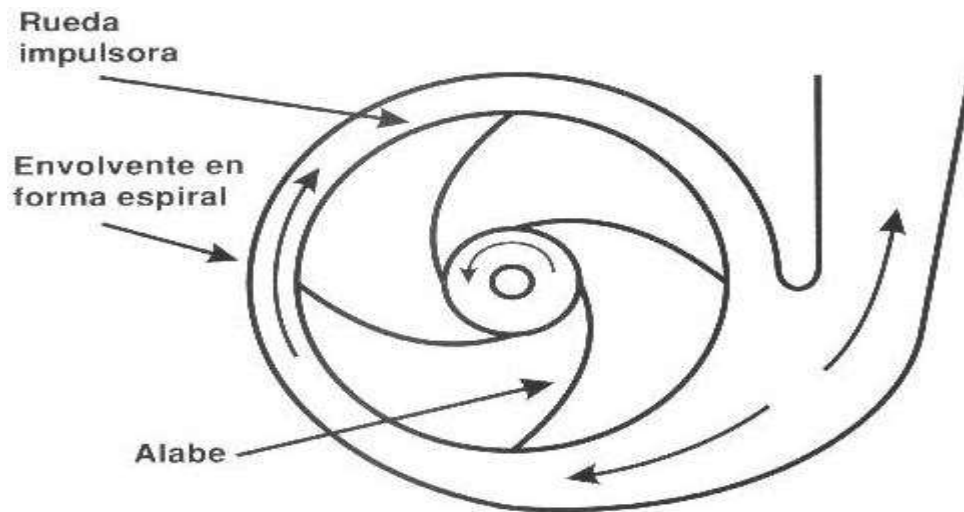
Fuente: empresa UNIREFRI.

- Compresor centrífugo: el compresor centrífugos que se ilustra en la figura 9, también llamados turbocompresores, son miembros de una familia de turbo máquinas que incluyen ventiladores, propelas y turbinas.

Estas máquinas se caracterizan por tener un intercambio continuo de *momentum* angular entre un elemento mecánico giratorio y un fluido que circula continuamente. Debido a que el flujo es continuo, las turbo máquinas tienen una capacidad volumétrica mayor que los dispositivos de desplazamiento positivo de igual tamaño.

Para lograr un intercambio efectivo de *momentum*, la velocidad de giro debe ser alta; sin embargo, esto produce un poco de vibración, lo que a su vez ocasiona desgaste, debido a la rigidez del movimiento y la ausencia de partes en contacto. Los compresores centrífugos se utilizan en una gran variedad de equipos de refrigeración y acondicionamiento de aire. Dentro de cada carcasa pueden instalarse hasta nueve etapas o pasos de compresión, y pueden utilizarse casi con cualquier refrigerante.

Figura 9. **Compresor centrífugo**



Fuente: <http://www.tecnicsuport.com/clima/taulesconsulta/comp/compcentrifugo.htm>. Consulta: 10 de agosto de 2013.

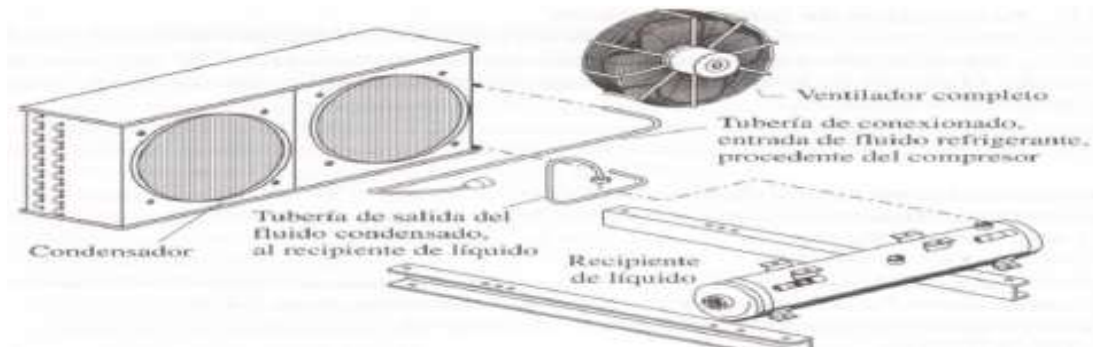
1.4.2.2. Unidad condensadora

En la figura 10 se muestra el intercambiador que usualmente rechaza todo el calor del sistema de refrigeración. Esto incluye no sólo el calor absorbido por el evaporador, sino también la energía transferida por el compresor.

El condensador recibe refrigerante caliente a alta presión (por lo general gas sobrecalentado) del compresor, le extrae el calor y envía éste hacia una sustancia enfriadora, que casi siempre es agua.

Cuando se remueve la energía del gas éste se condensa, y el condensado es drenado para que pueda regresar, a través de la válvula de expansión, al evaporador.

Figura 10. **Unidad condensadora**



Fuente: empresa UNIREFRI.

1.4.2.3. **Unidad evaporadora**

El evaporador que se muestra en la figura 11 capta la energía a través de un proceso de transferencia de calor desde un medio que se encuentra a una temperatura ligeramente mayor, provocando con esto la evaporación del refrigerante. Cuando se utiliza una válvula de expansión o un tubo capilar, es común que el refrigerante llegue al evaporador en una condición de doble fase, es decir, parcialmente evaporado en el proceso de estrangulamiento.

La mayoría de los evaporadores están diseñados y controlados para que el refrigerante, cuando salga de estos, tenga cierto grado de sobrecalentamiento; esta medida es para proteger al compresor, el cual podría dañarse si lo aspira en estado líquido. En medio de transferencia de calor el evaporador puede ser un torrente de aire, agua o salmuera, como en el caso de los enfriadores de tubos. Cuando se requiere un diferencial pequeño de temperatura entre el refrigerante y el medio de transferencia que se está enfriando, en ocasiones se utiliza un evaporador inundado.

En este caso, se suministra refrigerante líquido al serpentín del evaporador, el cual circula desde ahí hacia una cámara o tanque de compensación, donde, una vez vaporizado, es succionado hacia la línea de admisión del compresor. La circulación entre el tanque de compensación y el serpentín del evaporador puede ser controlada por medio del efecto termosifón o forzando la circulación con una bomba.

Figura 11. **Unidad evaporadora**



Fuente: empresa UNIREFRI.

1.4.2.4. Dispositivos de control del refrigerante

Independientemente del tipo de válvula, la función de cualquier control de flujo refrigerante es doble: dosificar el refrigerante líquido que va al evaporador con una rapidez proporcional a la cual ocurre la vaporización en dicha unidad y mantener un diferencial de presión entre los lados de baja y alta presión.

Existen varias clases de dispositivos de expansión tales como: tubos capilares, válvulas de expansión automáticas, válvulas con flotadores de alta y baja presión y válvulas de expansión termostáticas. Para el sistema seleccionaremos este tipo de válvulas.

- Válvula de expansión: es un tipo de dispositivo de expansión (un elemento de las máquinas frigoríficas por compresión) en el cual la expansión es regulable manual o automáticamente

- Válvula de expansión termostática: las válvulas de expansión termostáticas regulan la cantidad de fluido refrigerante, que debe entrar en el evaporador, son dispositivos de expansión isoentálpicamente al pasar el fluido de alta a la baja presión necesaria en el evaporador. En funcionamiento de la válvula de expansión termostática es el siguiente:
 - A la entrada de la válvula, el fluido debe estar en estado líquido 100 % a la temperatura de condensación o mejor aún subenfriado, con lo que al sufrir la expansión, a la salida estará en estado de mezcla de líquido y vapor; pero en ésta, la proporción deberá ser mucho mayor en líquido que en vapor para que tenga un buen rendimiento.

 - Su funcionamiento queda determinado por tres presiones fundamentales que actúan sobre la membrana interior (figura 12) P_b =presión del bulbo, actúa sobre la parte superior y tiende a abrir la válvula.

 - El bulbo está unido a la parte superior de la válvula, mediante un tubo capilar soldado entre ambos.

 - P_e =presión de evaporación, actúa sobre la parte inferior de la membrana y tiende a cerrarla.

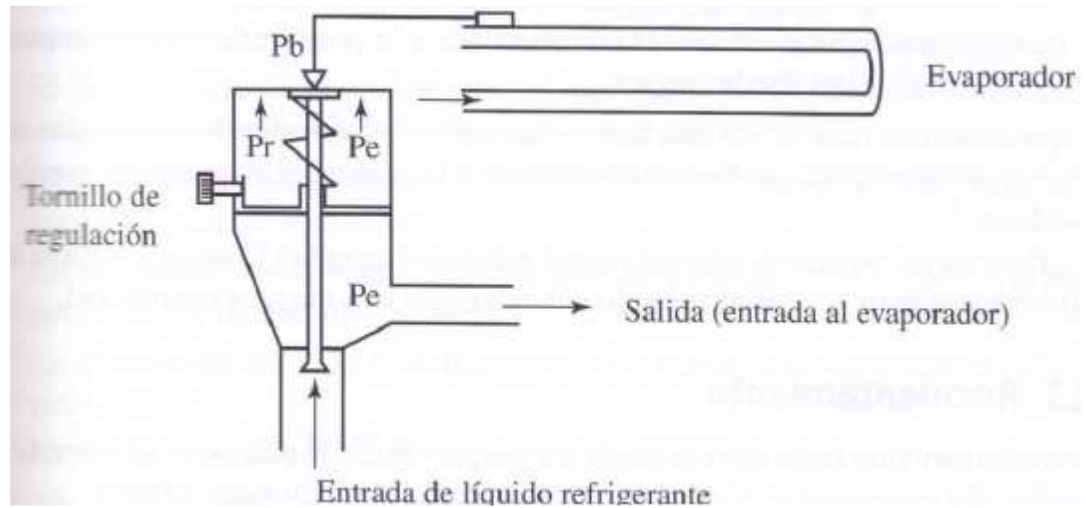
- La presión del evaporador se comunica con la parte inferior de la membrana, por medio de un orificio realizado a tal fin que en el interior del cuerpo de la válvula.
- Por ello, estas válvulas se llaman válvula de expansión termostáticas con igualador interno.
- P_r =Presión del resorte, también actúa sobre la parte inferior de la membrana y tiende a cerrarla.
- Es la fuerza que actúa directamente sobre el vástago de la válvula. Por lo que, en su funcionamiento, la presión del bulbo es equilibrada por la suma de la presión del resorte más la presión de evaporación.

$$P_b = P_r + P_e$$

Cuando $P_b > P_r + P_e$, la válvula se abre

Cuando $P_b < P_r + P_e$, la válvula se cierra

Figura 12. **Válvula de expansión termostática**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Válvula de expansión electrónica: las válvulas de expansión electrónica (figura 13) son las únicas que permiten, el funcionamiento ideal del evaporador, manteniéndolo lleno de líquido y gas refrigerante y permitiendo que sólo salga del gas sobrecalentado para no dañar el compresor.

Las válvulas de expansión electrónicas, además de la máxima utilización del evaporador, ofrecen una serie de ventajas con respecto a las válvulas de expansión termostáticas: son ideales para trabajar en aquellos casos en que las cargas sufren grandes variaciones. Donde las presiones de condensación sufren grandes cambios.

- Ahorran energía: esta nueva válvula de expansión electrónica está accionada por un motor paso a paso y controlada por un microprocesador.

Figura 13. **Válvula de expansión electrónica**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Tubo capilar: un tubo capilar (figura 14) es una conducción de fluido muy estrecha y de pequeña sección circular. Su nombre se origina por la similitud con el espesor del cabello. Es en estos tubos en los que se manifiestan los fenómenos de capilaridad. Pueden estar hechos de distintos materiales: vidrio, cobre, aleaciones, etc., en función de su uso o aplicación.

Tiene uso en sistemas de refrigeración es el caso más sencillo de dispositivo de expansión, pues consiste únicamente en un tubo de pequeño diámetro (generalmente de cobre), que actúa reteniendo el flujo de líquido refrigerante, la expansión se realiza a su salida al conectarlo al tubo que va hacia el evaporador.

Este estrechamiento añade una pérdida de carga tal en ese punto del circuito frigorífico que, antes de él, la descarga del compresor crea una alta presión y, a su salida, la aspiración determina la baja presión. La pérdida de carga que origina el capilar en este punto se define en función de la longitud del mismo, y corresponderá a la caída de presión del sistema entre el condensador y el evaporador.

Figura 14. **Tubo capilar**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Filtro secador o deshidratador: su objetivo principal es eliminar la humedad presente en el refrigerante para evitar la formación de ácidos que atacan al material, sales oxidas que se acumulan en la superficie de los tubos disminuyendo la capacidad de intercambio térmico y provocan obstrucción en válvulas, en la figura 15 se ilustra el filtro deshidratador.

Los filtros de humedad además de su función deshidratadora, retienen impurezas (partículas sólidas).

Figura 15. **Filtro deshidratador**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Visor o mirilla: la figura 16 ilustra el visor o mirilla y de manera práctica se dirá que es una ventana en el circuito instalado en la línea de líquido a continuación del filtro. A través del visor solo se debería ver el fluido 100 % (saturado).

Si, por ejemplo se ven burbujas, podría indicar que hace falta fluido refrigerante (poca carga, bien sea porque no tiene la adecuada o por fugas posteriores) o bien, si hay burbujas y está frío, puede ser porque un estrangulamiento origina una expansión antes de llegar al visor. También indica si hay humedad en el circuito, ya que contiene una sal química higroscópica que reacciona con la humedad y cambia de color.

Algunos fabricantes usan el color verde para indicar que el refrigerante no arrastra humedad (*dry*-seco) y el color amarillo para alertar que hay presencia de humedad (*wet*-humedo).

Figura 16. **Visor o mirilla**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Reguladores de presión: los reguladores de presión figura 17 son aparatos de control de flujo diseñados para mantener una presión

constante aguas abajo de los mismos. Este debe ser capaz de mantener la presión, sin afectarse por cambios en las condiciones operativas del proceso para el cual trabaja. Selección, operación y mantenimiento correcto de los reguladores garantiza el buen desempeño operativo del equipo al cual provee el gas.

Figura 17. Reguladores de presión



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Manómetros: los manómetros, constituyen una herramienta principal del mecánico de servicio para comprobar el funcionamiento del sistema. En todos los sistemas de refrigeración realmente existen 2 tipos de manómetros: A continuación en las figuras se muestran los tipos de manómetros figura 18 y 19.

Manómetro de alta presión figura 18 manómetros de baja presión. Los manómetros de baja y alta presión permiten verificar que la máquina frigorífica se encuentre en un rango de presiones aceptable para el correcto funcionamiento.

Figura 18. **Manómetro de alta presión**



Fuente: empresa UNIREFRI.

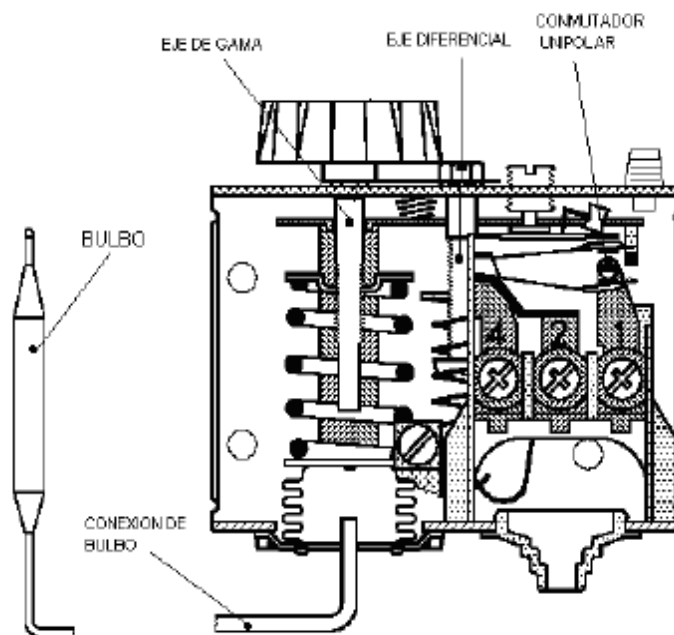
Figura 19. **Manómetro de baja presión**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Reguladores de temperatura: los reguladores de temperatura realizan trabajos de regulación sencillos y complejos. Puede conectar a los reguladores de temperatura diferentes tipos de sensores. Los reguladores de temperatura ofrecen la posibilidad de procesar señales de sensores de resistencia o de termoelementos.
- Termostatos: es el elemento que controla la temperatura de la cámara, ver figura 20. Abre o cierra un contacto a un circuito eléctrico cuando alcanza la temperatura de regulación. Se puede decir que es un conmutador eléctrico que funciona por temperatura.

Figura 20. **Termostato**



Fuente: empresa UNIREFRI.

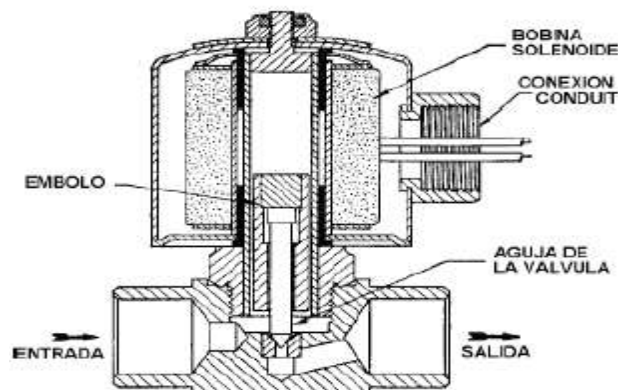
- Válvula solenoide: es una válvula electromagnética que controla el paso del fluido por medio de un impulso eléctrico figura 21. Esta válvula solenoide consta de dos partes distintas: un solenoide (bobina eléctrica) y el cuerpo de la válvula.

Hay dos tipos de válvulas solenoides:

- de acción directa
- operadas con piloto

La válvula de acción directa se usa para tuberías de diámetro inferior a 50mm, y su funcionamiento se basa en la energía eléctrica que recibe el sistema, la cual hace que se cree un campo magnético en la bobina y atrae al núcleo hacia arriba para dar paso al refrigerante en estado líquido y esta válvula cierra cuando se encuentra sin corriente eléctrica, es decir que este elemento actúa en 2 posiciones: abierta y cerrada.

Figura 21. **Válvula solenoide**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Válvula check: las válvulas anti retorno figura 22, también llamadas válvulas de retención, válvulas uniflujo o válvulas check, tienen por objetivo cerrar por completo el paso del fluido en circulación, bien sea gaseoso o líquido en un sentido y dejarlo libre en el contrario.

Tiene la ventaja de un recorrido mínimo del disco u obturador a la posición de apertura total. Se utilizan cuando se pretende mantener a presión una tubería en servicio y poner en descarga la alimentación.

El flujo del fluido que se dirige desde el orificio de entrada hacia el de utilización tiene el paso libre, mientras que en el sentido opuesto se encuentra bloqueado.

También, se las suele llamar válvulas unidireccionales. Las válvulas anti retorno son ampliamente utilizadas en tuberías conectadas a sistemas de bombeo para evitar golpes de ariete, principalmente en la línea de descarga de la bomba.

Figura 22. **Válvula check**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Separadores de lubricante: se instala en la tubería de descarga, después del compresor figura 23. El fluido refrigerante sale del

compresor mezclado con el aceite lubricación y este debe retornar al cárter principalmente por dos razones:

- Porque el nivel de aceite del cárter iría disminuyendo, porque el aceite cuando llegue al circuito de baja presión, podría tener problemas de retorno (deja de ser miscible y crea problemas en los evaporadores, por ejemplo de transmisión o taponamientos).

Figura 23. **Separadores de aceite**



Fuente: empresa UNIREFRI.

1.4.2.5. Control del sistema

Anteriormente se dedicó al control del compresor recíprocante en respuesta a la carga. Aun cuando probablemente éste es el aspecto más importante del control del sistema completo, deben mencionarse otros factores. El compresor puede ser descargado gradualmente, pero al final tendrá que repararse cuando la carga sea cero.

Esto puede hacerse interrumpiendo el suministro de electricidad; sin embargo, es los compresores reciprocantes grandes se producirán problemas cuando se reinicie su funcionamiento, debido a la posible inundación del compresor por el líquido refrigerante. Por lo tanto, se acostumbra desactivar el compresor en un ciclo de trabajo.

Cuando el termostato da la señal, la válvula de solenoide se cierra, bloqueando el flujo de refrigerante hacia la válvula de expansión. El compresor continúa funcionando, reduciendo la presión del sistema entre la válvula solenoide y el lado de succión del compresor, en tanto que el vapor caliente comprimido es condensado y almacenado en el depósito.

Cuando la presión de succión alcanza el punto de ajuste del sensor de baja presión, el controlador desactiva el compresor. Más tarde, cuando el termostato reactiva la operación de enfriamiento, la válvula de solenoide se abre y el refrigerante fluye hacia el compresor, con el consecuente ascenso de presión.

1.4.2.6. El refrigerante

El fluido utilizado para los intercambiadores de energía en los sistemas de refrigeración o de bombas de calor se denomina refrigerante. Por lo general, el refrigerante absorbe calor mientras cambia de fase de líquido a gas en el evaporador, a continuación se comprime, aumentando con esto su temperatura y presión; después pasa al condensador, en donde transfiere su energía directamente a la atmósfera o a un medio donde se pretende calentar.

Un refrigerante es apropiado para determinadas aplicaciones si tiene ciertas propiedades termodinámicas, físicas y químicas, y si satisface ciertos

requerimientos de seguridad. La importancia relativa de cada una de estas características varía de una aplicación a otra. Y no existe un refrigerante que pueda considerarse como ideal para todas las aplicaciones. Algunas de las características de importancia general son las siguientes:

- Características termodinámicas: alta entalpía latente de vaporización. Esto significa un mayor efecto de masa del refrigerante en circulación.
- Baja temperatura de congelación: el refrigerante nunca debe solidificarse durante las condiciones normales de operación. Temperatura crítica relativamente altas.

Esto es necesario, ya que de otro modo se requeriría gran potencia para la compresión. Temperatura de evaporización positiva. La presión en el evaporador debe de estar por encima de la presión atmosférica para evitar que se introduzca aire al sistema.

- Presión de condensación relativamente baja: esto es necesario, ya que de otro modo se requeriría tubería y equipo costosos.
- Características físicas, químicas y alta fuerza dieléctrica del vapor: esto permite utilizar compresores herméticamente sellados, en donde el vapor pueda entrar en contacto con los embobinados del motor. Características adecuadas de transferencia de calor.
- Sus propiedades termo físicas: densidad, calores específicos, conductividad y viscosidad deben ser tales, que se puedan obtener altos coeficientes de transferencia de calor.

- Baja solubilidad de aceite: el aceite puede disolverse en algunos refrigerantes, o estos en el aceite. Esto puede afectar las características de lubricación y de transferencia de calor y producir una acumulación de aceite en el evaporador. El sistema debe diseñarse teniendo en mente las características de solubilidad del refrigerante.
- Baja solubilidad en agua: la presencia de agua en un refrigerante puede producir congelamiento en las cámaras de expansión o corrosión. La ausencia de reactividad y buena estabilidad química. El refrigerante no debe reaccionar con los materiales con los que estará en contacto y su constitución química no debe cambiar con el paso del tiempo.
- Efectos sobre el medio ambiente y potencia de daño a la capa de ozono: el refrigerante debe tener un bajo potencial de daño a la capa de ozono. Potencia de contribución al calentamiento global. El potencial del refrigerante para persistir en la atmósfera superior y para atrapar la radiación emitida por la tierra (efectos de invernadero) debe ser bajo.

Los refrigerantes no activos son los halocarburos HCFC (R22) y los CFC (R11, R12), la composición con moléculas de cloro hace su prohibición actualmente, pueden usarse los que no están compuestos con estas moléculas, el cloro es el principal causante del daño a la atmósfera.

- Seguridad
 - No inflamable: el refrigerante no debe quemarse ni contribuir a la combustión cuando se mezcle con el aire.

- No tóxico: el refrigerante no debe ser dañino para los seres humanos, ya sea directamente o a través de alimentos que entren en contacto con él.
- No irritante: el refrigerante no debe ser irritante para el ser humano (ojos, nariz, pulmones o piel).

1.4.3. Aislamiento térmico

Un aislante térmico es un material usado en la construcción y caracterizado por su alta resistencia al paso de calor. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura. La espuma de poliuretano es conocida por ser un material aislante de muy buen rendimiento. Su aplicación se puede realizar desde la parte inferior o bien desde la parte superior.

1.4.3.1. Poliestireno

Un aislante térmico es un material usado en la construcción y la industria y caracterizado por su alta resistencia al paso de calor. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura, impidiendo que entre o salga calor del sistema que interesa (como una vivienda o una nevera).

Uno de los mejores aislantes térmicos es el vacío, en el que el calor sólo se trasmite por radiación, pero debido a la gran dificultad para obtener y mantener condiciones de vacío se emplea en muy pocas ocasiones. En la práctica se utiliza mayoritariamente aire con baja humedad, que impide el paso

el calor por conducción, gracias a su baja conductividad térmica, y por radiación, gracias a un bajo coeficiente de absorción.

El aire sí transmite calor por convección, lo que reduce su capacidad de aislamiento. Por esta razón se utilizan como aislamiento térmico materiales porosos o fibrosos, capaces de inmovilizar el aire seco y confinarlo en el interior de celdillas más o menos estancas.

Aunque en la mayoría de los casos el gas encerrado es aire común, en aislantes de poro cerrado (formados por burbujas no comunicadas entre sí, como en el caso del poliuretano proyectado), el gas utilizado como agente espumante es el que queda finalmente encerrado. En la tabla II se muestran sus propiedades:

1.4.3.2. Poliuretano

Tabla II. **Propiedades del aislamiento térmico poliuretano expandido**

Densidad	30-80 kg/m ³
Resistencia a compresión	200 N/mm ²
Conductividad térmica	0,020 W/m·K
Retardo de llama	B1*
Coeficiente de fricción	$\mu=0,0135$
Temperatura de trabajo	-50 °C a 80 °C
Humedad	0 % a 100 %
Presión dentro del conducto	-2 000 a +2 000
Ensayo con norma	DIN4102 difícilmente inflamable

Fuente: Buenaño, Luis Efrén. Diseño y construcción de un sistema de refrigeración de conservación para laboratorio. p. 54.

- Química del poliuretano: el poliuretano es por lo general la mezcla de dos componentes o sistema bicomponente, el A y el B, en una proporción estequiométricamente definida por el químico que diseña la fórmula.

- Componente A: consiste en el polioliol, una mezcla cuidadosamente formulada y balanceada de glicoles (alcoholes de elevado peso molecular).

Se encuentran en mezcla con agentes espumantes y otros aditivos tales como aminas, siliconas, agua, propelentes y catalizadores organometálicos; condicionan la reacción y dan las características a la espuma final. La apariencia es como miel viscosa y puede tener un fuerte olor amoniacal.

- Componente B: el componente B es una mezcla de isocianatos, a veces prepolimerizados (pre iniciado), con un contenido de grupos NCO (grupo Asociatos) que puede variar desde el 18 al 35 % en funcionalidad. Algunos son de color café, muy viscosos (3 000 5 000 Centipoises-Viscosímetro), y otros son casi transparentes y fluidos.

En ocasiones son mantenidos en atmósfera seca de nitrógeno. Tienen además propiedades adhesivas muy apreciadas, por lo que también sirven de aglomerantes para fabricar bloques poli-material.

- Reactividad: la reactividad se puede observar en una simple inspección visual y, en el caso de las espumas, está dividida en los siguientes tiempos, medidos en segundos:

- Tiempo de reactividad del aislamiento.
 - Tiempo de crema: 5-15 s. Formación de monómeros y polímeros.
 - Tiempo de hilo: 30-70 s. Estructuración, formación de redes cristalinas.
 - Tiempo de subida: finalización de la expansión.
 - Tacto libre: 10-50 s. Formación de piel, finalización de la reacción.
 - La superficie del material deja de ser adhesiva.

Figura 24. **Poliuretano**



Fuente: empresa UNIREFRI.

1.4.4. Tubería del refrigerante

Las tuberías de refrigerantes apropiadas para la refrigeración, es muy importante para el funcionamiento exitoso de este sistema, sobre todo en la tubería de descarga hay que tener un cuidado intenso, ya que se trabaja a presión y temperatura elevada.

La tubería de cobre figura 25, tiene ventaja de ser de peso ligero, resistente a la corrosión y de fácil instalación que el acero. La tubería de cobre viene disponible en dos tipos:

- Rígido
- Flexible

Ambos tipos de tuberías de cobre existen en el mercado en dos espesores distintos de pared, K y L. El tipo K es de pared gruesa, y el tipo L es de espesor mediano; siendo este último el más utilizado en los sistemas de refrigeración.

Tubería de cobre: las funciones de la tubería frigorífica son básicamente dos:

- Proveer un medio de circulación del fluido refrigerante en el sistema.
- Proveer un medio de retorno al aceite que circula mezclado con el refrigerante, el cual debe regresar al compresor para cumplir sus objetivos como lubricante.

La distribución de la tubería en una instalación de expansión directa se dividen en:

- Tubería de gas caliente ubicada entre el compresor y el condensador.
- Tubería de líquido ubicada entre la salida del condensador y la válvula de expansión.
- Tubería de succión o aspiración ubicada entre el evaporador y el compresor.
- Las velocidades del refrigerante recomendadas para el dimensionamiento de estas tuberías son: (ver tabla III)

Tabla III. **Velocidades del refrigerante R 404-A en el ciclo frigorífico**

Función de la tubería	Velocidad en m/s
Tubería de gas caliente	15 a 25
Tubería de líquido	0,5 a 1,25
Tubería de succión	5 a 15

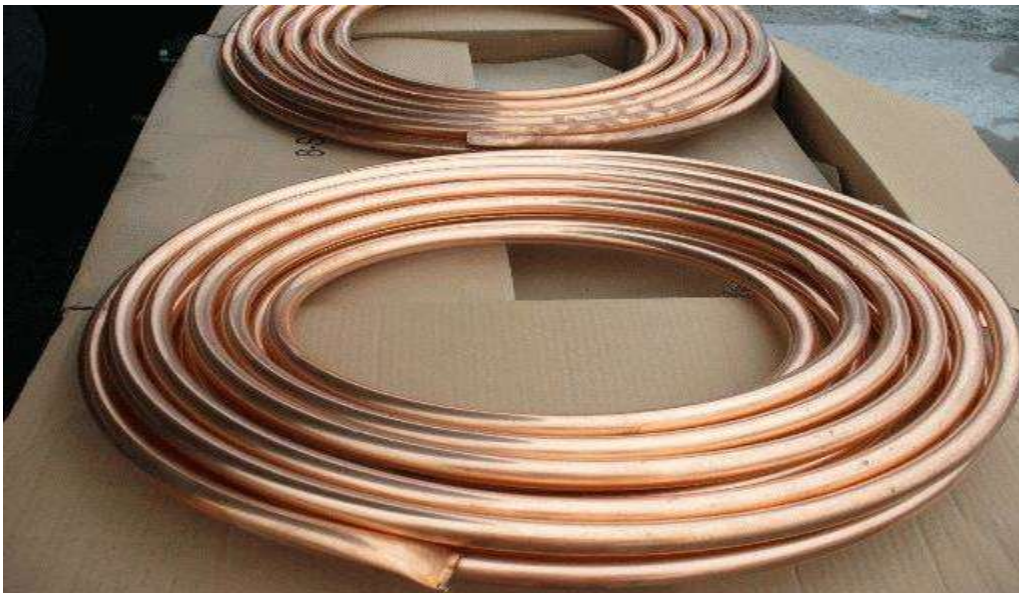
Fuente: elaboración propia con programa Excel con base en datos de velocidades para refrigerante R-404A.

Quando se dimensionan las tuberías de refrigerante es esencial tener presente los siguientes puntos:

- Limitar la caída de presión del refrigerante en la tubería ya que esta caída de presión reduce la producción frigorífica y aumenta la potencia absorbida por cada frigorías/hr suministrada; dimensionar de tal forma que se obligue al aceite que en pequeñas cantidades pero de manera continua abandona el compresor mezclado con gas comprimido, a volver de nuevo al mismo.

- El diámetro de la válvula de servicio del compresor o el diámetro de conexión del condensador no determina el diámetro de la tubería que debe usarse. El diámetro que debe usarse lo determinará la carga frigorífica.

Figura 25. **Tubería de cobre tipo L**



Fuente: empresa UNIREFRI.

2. DISEÑO DE LA CÁMARA FRIGORÍFICA

2.1. Generalidades del plátano

Es originario de Asia, llegó a las costas Mediterráneas en el año 650 y llegó a Canarias en el siglo XV. Desde Canarias llegó a América en 1516 donde le cambiaron en nombre a banana y se convirtió en uno de los alimentos básico de los países tropicales y caribeños. Con la variedad de que el plátano macho se cocina, son menos dulces y más grandes, ellos acompañan casi todos sus platos como el arroz para los asiáticos.

En cambio en Europa toman plátanos crudos (plátano enano), como postre. Desde Canarias empieza a comercializarse a partir de finales del siglo XIX.

El plátano pertenece a la familia de las Musáceas, que engloban la familia de las Musa Paradisiaca o plátano macho y la de plátano enano o bananito. Necesita de un clima cálido y húmedo para cultivarse perfectamente.

Los principales países productores de plátanos son los países tropicales y caribeños de Sudamérica y en muchísima menor proporción, en el sudeste asiático. En la tabla IV se muestran sus propiedades.

Tabla IV. **Propiedades del plátano**

Punto de congelación alto	30,6 °F (-0,77 °C)
Vida aproximada de almacenamiento	2 semanas
Contenido de agua	74 %
Calor específico	0,81 BTU/lb-°F
Temperatura de almacenamiento	55 °F - 58 °F (12,7 °C-14,4 °C)
Humedad relativa de almacenamiento	85 % - 95 %
Calor específico sobre el punto de congelamiento	0,80 BTU/lb-°F
Calor específico bajo el punto de congelamiento	0,42 BTU/lb-°F
Calor latente	108 BTU/lb
Respiración	25-110 (mg CO ₂ kg-hr)
Concesión de etileno	100-150 (ppm)
Tiempo de explosión al etileno	24 (hr)
Tiempo de maduración	1-2 semanas
Calor de evolución	8 400 BTU/ton-24hr

Fuente: elaboración propia con programa Excel con base en datos del Manual de ingeniería BONH.

2.2. **Determinación de las dimensiones de la cámara frigorífica**

Las dimensiones se determinan según el Manual de ingeniería BOHN. Para la cámara de aire controlado que permite que semanalmente se pueda mover la carga completa con medidas estándar de 1 carga con 60´x8´x44´ que contienen 864 cajas empacadas, 24 por *palet*, por lo que se tiene un total de 32 *palets* por 3´ de alto por 6´ de largo y el proceso de maduración empieza con gas etílico y la maduración se va realizando por el control de temperatura en la cámara. Se proporciona calor a la carga para alcanzar la temperatura antes de que el proceso de maduración sea iniciado.

El calor proporcionado es equivalente de 12 a 20 kW por carga. La temperatura de la superficie no debe exceder de 600 °F cuando el aire se encuentra inmóvil.

2.3. Cálculo de la cámara frigorífica

El cálculo de la carga térmica de una cámara de refrigeración tiene por objetivo la determinación de la cantidad de calor que es necesario extraer en un tiempo determinado, para crear y mantener en su interior la temperatura y humedad requerida. Las cargas frigoríficas según la Sociedad Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) son:

- Carga de transmisión
- Carga del producto
- Cargas por infiltraciones de aire
- Carga por evolución
- Carga de suplementarias

Las cuatro primeras cargas constituyen la carga neta de calor, que sumadas a la carga del equipo representa la carga frigorífica total, a la misma que se aplica un factor de seguridad del 20 % para tener en cuenta posibles discrepancias entre los criterios de diseño y el funcionamiento real. En refrigeración, la carga frigorífica se calcula para 24 horas y se toma de 16 a 18 horas diarias de operación del equipo para vencer dicha carga, dejando el resto de las horas del día para procesos de descarchado y como factor de reserva para cargas picos poco frecuentes.

Cargar por transmisión: la carga de transmisión de calor es la cantidad de calor ganado a través de las paredes, piso y techo por conducción. La

ganancia de calor depende del tipo de construcción; diferencia de temperatura entre la temperatura interior y exterior de la cámara; el área de la superficie exterior y efectos de la radiación solar. La carga de transmisión se obtiene mediante la siguiente ecuación básica:

$$Q_t = U \times A \times DT \quad \text{Ecc. 1}$$

$$U_{\text{poliuretano}} = \frac{1}{R_t} \quad \text{Ecc. 2}$$

$$U_{\text{concreto}} = \frac{1}{R} \quad \text{Ecc. 3}$$

$$R_t = R_{f_0} + R_a + R_{f_1}$$

$$R = \frac{1}{f} \quad \text{Ecc. 4}$$

$$R_a = \frac{x}{k} \quad \text{Ecc. 5}$$

$$U_{\text{poliuretano}} = \frac{1}{\frac{1}{f_0} + \frac{x}{k} + \frac{1}{f_1}} \quad \text{Ecc. 6}$$

Dónde:

Q_t = carga térmica por transmisión

U = coeficiente global de transferencia de calor en [BTU/hr-p²-°F]

A = superficie de transferencia de calor en [p²]

DT = diferencias de temperatura de diseño entre el ambiente externo y temperatura interna que se desea mantener en [°F]

f = conductividad térmica [BTU/hr-p²-°F]

f_o = capa de película de aire pared exterior [BTU/hr-p²-°F]

f_1 = capa de película de aire pared interior [BTU/hr-p²-°F]

X = espesor del aislamiento [plg]

K = factor de resistencia a la conductividad térmica para poliuretano expandido [BTU/hr-p²-°F]

R = resistencia térmica para concreto de 6 plg [BTU/°F-hr-p²]

R_a = resistencia térmica para el poliuretano [BTU/°F-hr-p²]

R_{fo} = resistencia térmica a la película de aire exterior [BTU/°F-hr-p²]

R_{f1} = resistencia térmica a la película de aire interior [BTU/°F-hr-p²]

R_t = resistencia térmica total [BTU/°F-hr-p²]

Los factores f_o y f_1 se definen por *default* para la película de aire exterior e interior para el concreto y para el material aislante, según el libro de Principios y sistemas de refrigeración de Edward G. Pita son:

$$f_o = 6,0$$

$$f_1 = 1,65$$

El coeficiente global de transferencia de calor depende de los materiales utilizados como se muestran en la tabla V y se analiza mediante la ecuación 6.

$$U_{\text{poliuretano}} = \frac{1}{\frac{1}{6} + \frac{6}{0,16} + \frac{1}{1,65}}$$

$$U_{\text{poliuretano}} = 0,026128 \text{ BTU/hr} - \text{p}^2 - \text{°F}$$

Para concreto liviano de 6 plg de grosor el coeficiente $R = 4,8$ BTU/hr-°F-p². Según tabla V.

$$R = 4,8 \text{ BTU/hr} - p^2 - ^\circ\text{F}$$

$$U_{\text{concreto}} = \frac{1}{4,8}$$

$$U_{\text{concreto}} = 0,208 \text{ BTU/hr} - p^2 - ^\circ\text{F}$$

$$\text{Temperatura del piso} = 55^\circ\text{F} (12,77^\circ\text{C})$$

Tabla V. **Valores de R para los materiales aislantes**

AISLAMIENTO EN (plg)				
Corcho K=0,3	Fibra de vidrio K=0,26	Poliestireno K=0,26	Poliuretano K=0,16	Resistencia R
	1	1		4
	2	2		8
4	3	3	2	12,6
5	4	4		16,4
6	5	5	3	19,6
8	6	6	4	25
10	8	8		33
	10	10	6	37,5
Piso de concreto de 6 pulgadas de espesor				4,8

Fuente: Pita G, Edward. Principios y sistemas de refrigeración. p. 342.

Las dimensiones de la cámara se determinan con base en la cantidad de fruta 3 288 lb. Según el Manual de ingeniería BOHN las medidas correspondientes son de 60'x44'x8'. Las condiciones interiores son establecidas por las propiedades del plátano que se muestran en la tabla IV. El espesor del aislamiento debe de seleccionar con base en la temperatura de

operación (véase tabla XXIII). Los datos mencionados anteriormente se resumen en la tabla VI.

Tabla VI. **Condiciones de la cámara**

DIMENSIONES	
Alto	8 p (2,44m)
Ancho	44 p (13,41m)
Largo	60 p (18,29m)
CONDICIONES EXTERIORES	
Bulbo seco	82 °F (27,77 °C)
Humedad relativa	60 %
CONDICIONES INTERNAS	
Bulbo seco	55 °F (12,77 °C)
Humedad relativa	85 %
Diferencia de temperatura	27 °F (-2,77 °C)
AISLAMIENTO	
Tipo	Poliuretano
Espesor	6 plg (15,48 cm)
Coeficiente ($U_{\text{poliuretano}}$)	0,026 BTU/hr-p ² -°F
SUELO	
Piso	Concreto
Temperatura	56 °F (13,33 °C)
Coeficiente (U_{concreto})	0,208 BTU/hr-p ² -°F

Fuente: elaboración propia con programa Excel con base en datos del Manual de ingeniería BOHN.

La ecuación 7 se utiliza para obtener los datos la tabla VII donde se calcula la carga por transmisión en paredes, techo y piso.

$$Q_{\text{pared}} = A \times DT \times U_{\text{poliuretano}} \quad \text{Ecc. 7}$$

Tabla VII. **Cargas de calor por transmisión**

Descripción	Largo	Ancho	Área	DT	U _{poliuretano}	Carga
	[p]	[p]	[p ²]	°F	BTU/hr-p ² -[°F]	BTU
Paredes laterales	60	8	960	27	0,026128	677,23
Paredes frontales	44	8	704	27	0,026128	496,64
Techo	60	44	2 640	47	0,026128	3 241,90
Piso	60	44	2 640	1	0,208000	549,12
CARGA TOTAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR EN 24 hr						4 964,90

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Para el cálculo de la carga por producto es necesario usar la siguiente ecuación. Sustituyendo valores se obtiene la tabla VIII.

$$Q_{\text{producto}} = \text{peso [lb]} \times \text{Calor específico} \times \text{DT} \quad \text{Ecc. 8}$$

Tabla VIII. **Cargas por calor del producto**

Descripción	Libras	Calor específico [BTU/lb/°F]	°F	BTU
Peso	3 288	0,81	27	71 908,56
CARGA TOTAL DEL PRODUCTO EN 24 hr				71 908,56

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

El calor de evolución para los plátanos es de 8 400 BTU/ton-24hr (ver tabla IV). Se sustituyen los valores en la ecuación 9.

$$Q_{\text{evolución}} = \text{peso [ton]} \times \text{calor por evolución [BTU/ton - 24hr]} \quad \text{Ecc. 9}$$

$$1\text{ton} = 2\,200\text{ lb}$$

$$3\,288\text{ lb} \times \frac{1\text{ton}}{2\,200\text{ lbs}} = 1,4945\text{ ton}$$

Tabla IX. **Cargas de calor por evolución**

Descripción	Peso	Calor por evolución	Carga
	Ton	BTU/ton-24hr	BTU
Peso	1,4945	8 400	12 527,76
CARGA TOTAL POR EVOLUCIÓN EN 24 hr			12 527,76

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Las cargas por infiltración se obtienen de la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{infil}} = \text{Vol} \times \text{F. cambio de aire en 24 hr} \times \text{F. calor removido} \quad \text{Ecc. 10}$$

Para el volumen real se debe de restar los espesores del material aislante, los cuales son de 6 plg para las paredes y de 8 plg para el techo.

$$\text{Vol} = 59,4 \times 43,4 \times 7,2$$

$$\text{Vol} = 18\,561,31\text{ p}^3$$

Dónde:

El factor de cambio de aire se obtiene al trazar una línea horizontal en 20 000 p³ y una vertical sobre 32 °F de la tabla X.

Tabla X. **Cambios de aire promedio por 24 hr**

Volumen p ³	Cambio de aire/24hr	
	Sobre 32°F	Debajo 32°F
6 000	6,5	5,0
8 000	5,5	4,3
10 000	4,9	3,8
15 000	3,9	3,0
20 000	3,5	2,6
25 000	3,0	2,3
30 000	2,7	2,1
40 000	2,3	1,8
50 000	2,0	1,6
75 000	1,6	1,3
100 000	1,4	1,1

Fuente: Pita G, Edward. Principios y sistemas de refrigeración. p. 348.

Tabla XI. **Factor de calor removido por infiltración**

T °F	Temperatura de aire exterior °F [Te]							
	85		90		95		100	
	% Humedad relativa [HR]							
	50	60	50	60	50	60	50	60
65	0,45	0,64	0,68	0,91	0,93	1,20	1,21	1,5
60	0,66	0,85	0,89	1,12	1,14	1,41	1,42	1,7
55	0,85	1,04	1,08	1,31	1,33	1,60	1,61	1,9
50	1,03	1,22	1,26	1,49	1,51	1,78	1,79	2,1
45	1,19	1,39	1,43	1,66	1,66	1,94	1,95	2,3
40	1,35	1,55	1,59	1,81	1,83	2,10	2,11	2,4
35	1,50	1,70	1,74	1,96	1,99	2,55	2,26	2,6
30	1,65	1,84	1,88	2,10	3,13	2,39	2,40	2,7

Fuente: Pita G, Edward. Principios y sistemas de refrigeración. p. 342.

El factor de calor removido por infiltración se obtiene al trazar una línea horizontal en 55 °F, una vertical en temperatura exterior de 95 °F y en HR 60 %, como se muestra en la tabla XI.

La tabla XII resume los valores sustituidos en la ecuación 10.

Tabla XII. **Cargas por infiltración**

Descripción	Volumen [p ³]	Factor	TOTAL
Volumen interior de la cámara	18 561,31 p ³	3,5 [Factor de cambio de aire en 24 hr]	66 769,16 p ³ /hr
Carga de calor por infiltración de aire	69 396,4 p ³ /hr	1,6 [Factor de calor removido por infiltración]	106 830,66 BTU
CARGA TOTAL DEL PRODUCTO EN 24 hr			106 830,66 BTU

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Para el cálculo de la carga suplementaria se debe de asumir 1 watts por cada pie cuadrado y un tiempo de 8 hr durante el día.

$$Q_{ilum} = A \times 1 w \times 3,41 \text{ BTU/w} \quad \text{Ecc. 11}$$

$$Q_{ilum} = 2\,608 \text{ p}^2 \times 1w \times 8 \text{ hr} \times 3,41 \text{ BTU/w} - \text{hr}$$

$$Q_{ilum} = 71\,146,2 \text{ BTU}$$

El calor disipado por los motores eléctricos de 2 Hp es 3 700 [BTU/Hp-hr], se observan el factor en el rango de la tabla XIII.

$$Q_{motor} = \text{Hp} \times \text{factor} \times 24 \text{ hr} \quad \text{Ecc. 12}$$

$$Q_{motor} = 2 \times 3\,700 \times 24$$

$$Q_{motor} = 177\,600 \text{ BTU}$$

Tabla XIII. **Calor disipado por motores eléctricos**

Hp DEL MOTOR	MOTOR Y VENTILADOR DENTRO DEL ESPACIO REFRIGERADO 700 [BTU/Hp-hr]
1/8 a 1/2	4 250
1/2 a 3	3 700
3 a 20	2 950

Fuente: Pita G, Edward. Principios y sistemas de refrigeración. p. 356.

El calor disipado por personas se obtiene por la estadía en el interior de la cámara multiplicado por su factor. La iluminación se obtiene por los watts multiplicado por las horas de uso y factor, de igual forma para los motores, la tabla XIV resume los valores. La carga por personas se determina por la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{per}} = \text{No. de personas} \times \text{hr de estadía} \times \text{factor} \quad \text{Ecc. 13}$$

Tabla XIV. **Total cargas de calor suplementarias**

Descripción	Factor	Horas	Carga BTU
2 608 w	3,41 BTU/w-hr	8 hr	71 173 BTU
2 Hp	3 700 BTU/Hp-hr	24 hr	177 600 BTU
2 personas	720 BTU/hr	3 hr por estadía/día	4 320 BTU
CARGA TOTAL SUPLEMENTARIA			193 093 BTU

Fuente: elaboración propia con programa Excel con base en datos del Manual de ingeniería BOHN.

La carga total se obtiene de la suma de las carga por transmisión, producto, evolución, infiltración y suplementarias. Ver tabla XV.

Tabla XV. **Carga total**

TIPO CARGA	SUMA TOTAL [BTU]
Transmisión	4 964,90
Producto	71 908,56
Evolución	12 527,76
Infiltración	106 839,66
Suplementarias	193 093,00
TOTAL	389 333,88

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

$$\text{Total de cargas} = 389\,333,88 \text{ BTU}$$

Para ello se debe utilizar un factor de seguridad de 20 % para permitir la operación adecuada del sistema con un tiempo de operación de 16 hr durante el día.

$$\text{Carga de refrigeración} = \frac{389\,333,88 \text{ BTU}}{16 \text{ hr}}$$

$$\text{Carga total de refrigeración} = 24\,333,36 \text{ BTU/hr}$$

$$\text{Incluir el factor del 20 \%} = 29\,200,04 \text{ BTU/hr}$$

$$1 \text{ kW} = 3\,414 \text{ BTU/hr}$$

$$29\,200,04 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ kW}}{3\,413 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}} = 8,55 \text{ kW}$$

$$\text{Capacidad del evaporador en kW} = 8,55 \text{ kW}$$

Para calcular la capacidad de VTE (válvula de expansión termostática) se divide la carga total entre 12 000 BTU/hr, según ASHRAE para refrigeración comercial.

$$VTE = \frac{29\,200,04 \text{ BTU/hr}}{12\,000 \text{ BTU/hr}}$$

Capacidad de la VTE = 2,5 TR

2.4. Cálculo del ciclo de refrigeración

Para el cálculo del ciclo de refrigeración es necesario determinar las siguientes condiciones y el tipo de refrigerante que se utilizará.

- Refrigerante R-404A
- Determinación de la temperatura de evaporación
- Determinación de la temperatura de condensación
- Trazado del ciclo de refrigeración
- Cálculo de los parámetros del ciclo teórico de refrigeración

2.4.1. Refrigerante R-404A

El R-404A es un refrigerante de tipo HFC formado por 3 componentes (R-125, R-143A y R-134A). Al ser un producto libre de cloro su ODP (coeficiente por el que se mide la capacidad destructiva de un fluido refrigerante a la capa de ozono) es cero, lo cual lo hace no dañino para la capa de ozono y lo convierte en un producto definitivo.

Es una mezcla pseudoazeotrópica, con un deslizamiento mínimo, pero aun así es recomendable cargar los equipos en fase líquida y prestar especial atención a las fugas de refrigerante, ya que en casos de

fuga grande o varias repetidas será aconsejable la sustitución completa de la carga. Refrigerante de alta seguridad reconocido por todos los fabricantes de equipos y componentes. El refrigerante que se va a utilizar es el refrigerante R-404A porque en este caso es un sistema de refrigeración para conservación, por lo tanto es recomendado este refrigerante. Las propiedades del refrigerante se muestran en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Propiedades del refrigerante R-404A**

Componentes		
HFC-125 pentafluoroetano 44 %		
HFC-143a 1,1,1 trifluoroetano 52 %		
HFC-134a 1,1,1,2 tetrafluoroetano 4 %		
Fórmula molecular -CHF ₂ CF ₃ /CH ₃ CF ₃ /CH ₂ FCF ₃		
Propiedades	Unidades	
Punto de ebullición	°C	-46,2
Densidad de líquido	kg/m ³	1 034,7
Densidad de vapor	kg/m ³	5,41
Temperatura crítica	°C	72,2
Presión crítica	Bar	37,2
Densidad crítica	kg/m ³	483,7
Deslizamiento de temperatura	°K	0,9
Calor latente de vaporización	kJ/kg	200,1
Calor específico		
Líquido	kJ/kg.K	1,64
Vapor	kJ/kg.K	0,88
Límite de inflamabilidad	% vol	Ninguno
Clasificación ASHRAE		A1/A1
ODP (Destrucción de ozono)		0
Todas las medidas son a 25 °C y 1,013 bar		

Fuente: Gases Refrigerantes HFC, Dinagas S.A. p. 1.

2.4.2. Determinación de la temperatura de evaporación

Para determinar la temperatura de evaporación del refrigerante se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Temperatura de la cámara: para esto necesitamos saber la humedad relativa deseada en el espacio refrigerado, la diferencia de temperatura entre el evaporador y el espacio refrigerado (DT) que se indica en la tabla y el tipo de evaporador si es de convección forzada o natural.
- Temperatura de la cámara = 55 °F (12,77 °C)
- Humedad relativa = 85 %
- Evaporador = convección forzada
- Diferencia de temperatura entre el evaporador y el espacio refrigerado, es de 12 °F según tabla XVII.

$$T_{ev} = \text{Temperatura de operación} - DT$$

$$T_{ev} = 55 \text{ °F} - 12 \text{ °F}$$

$$T_{ev} = 43 \text{ °F} (6,11 \text{ °C})$$

2.4.3. Determinación de la temperatura de condensación

Para determinar la temperatura de condensación se debe tener en cuenta el tipo de condensador que se va utilizar, en este caso se va a utilizar la unidad condensadora que es enfriada por aire forzado por un ventilador impulsado por un motor eléctrico.

$$T_c = \text{Temperatura exterior} + DT$$

$$DT = 12 \text{ °F} \quad \text{según tabla XVII.}$$

$$T_{\text{cond}} = 82\text{ }^{\circ}\text{F} + 12\text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$T_{\text{cond}} = 94\text{ }^{\circ}\text{F} (34,44\text{ }^{\circ}\text{C})$$

Tabla XVII. **Diferencial de temperatura entre el evaporador y el espacio refrigerado**

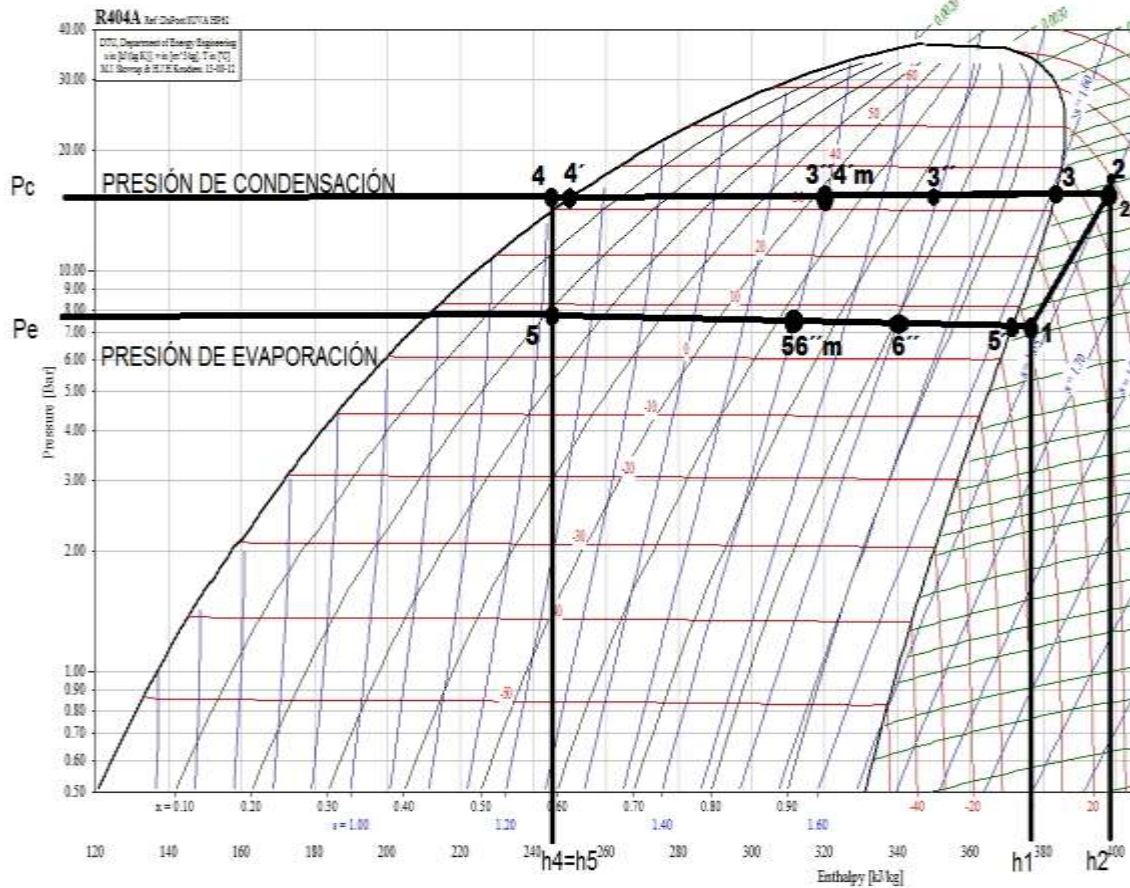
DIFERENCIA DE TEMPERATURA [DT]		
Humedad relativa	Convección natural	Convección forzada
%	°F	°F
95 a 91	12 a 14	8 a 10
90 a 86	14 a 16	10 a 12
85 a 81	16 a 18	12 a 14
80 a 76	18 a 20	14 a 16
75 a 70	20 a 22	16 a 18

Fuente: Buenaño, Luis Efrén. Diseño y construcción de un sistema de refrigeración de conservación para laboratorio. p. 75.

2.5. Trazo del ciclo teórico de refrigeración

Determinadas las temperaturas de evaporación y de condensación del sistema; en la figura 26 se observan las propiedades de la línea de saturación, para el refrigerante ecológico R-404A, se determina las presiones de saturación, de evaporación y condensación.

Figura 26. Trazo de líneas en el diagrama de Mollier



Fuente: elaboración propia con programa Coolpack.

Presión de condensación = 229,59 psi (15,83 bar)

Presión de evaporación = 105,3 psi (7,26 bar)

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{T^{\circ}\text{F} - 32}{1,8}$$

$$T_c = \frac{94^{\circ}\text{F} - 32}{1,8} = 34,44^{\circ}\text{C} \quad T_e = \frac{43^{\circ}\text{F} - 32}{1,8} = 6,11^{\circ}\text{C}$$

Temperatura de condensación = 94 °F (34,44 °C) = 15,83 bar (229,59 psi)

Temperatura de evaporación = 43 °F (6,11 °C) = 7,26 bar (105,3 psi)

La relación de compresión R_c para este sistema es:

$$R_c = \frac{P_{\text{condensación}}}{P_{\text{evaporación}}}$$

$$R_c = \frac{229,59 \text{ psi}}{105,3 \text{ psi}}$$

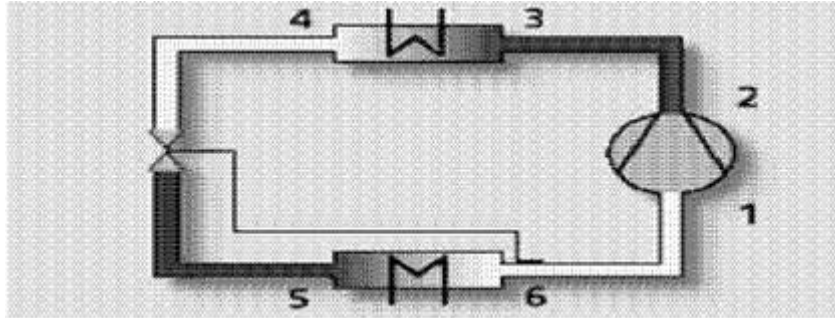
$$R_c = 2,18$$

Tabla XVIII. **Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico**

	P	T	V	h	S	X
Puntos	Bar	°C	dm³/kg	kJ/kg	kJ/kg k	% Vapor
1	7,26	13,11	28,34	375,86	1,6297	
2s	15,83	44,78	12,78	391,82	1,6297	
2	15,83	49,74	13,34	398,31	1,6500	
3	15,83	49,74	13,34	398,30	1,6500	
3´	15,83	34,44	11,62	379,09	1,5890	
3-4´	15,83	33,62	6,31	313,62	1,3757	
4´	15,83	32,79	1,00	248,15	1,1625	
4	15,83	30,79	0,99	245,05	1,1523	
5	7,76	7,94	6,08	245,05	1,1589	0,2620
56´´m	7,51	7,03	16,57	306,87	1,3816	
6"	7,26	6,11	27,06	368,7	1,6044	
5´	7,26	13,11	28,34	375,86	1,6297	

Fuente: elaboración propia con programa Excel con base en datos de gráfica de Mollier.

Figura 27. Diagrama del ciclo



Fuente: elaboración propia con programa Solkane.

Los estados de la tabla XVIII corresponden a la figura 26 y se describen en la siguiente tabla.

Tabla XIX. Estados del ciclo frigorífico

1	Compresor, fase de succión / línea de entrada de gas, corriente abajo
2s	Compresor, compresión isentrópica punto final
2	Compresor, compresión de punto final y línea de descarga de gas, corriente arriba
3	Condensador, corriente arriba / línea de descarga de gas, corriente abajo
3''	Condensador, punto de rocío (temperatura punto de rocío $t_{3''} =$ temperatura de referencia)
3''4'm	Condensador, valor medio de puntos 3'' y 4'
4'	Condensador, punto de ebullición
4	Condensador, corriente abajo / válvula de expansión, corriente arriba
5	Evaporador, corriente arriba / válvula de expansión, corriente abajo
56''m	Evaporador, valor medio de puntos 5 y 6''
6''	Evaporador, punto de rocío (temperatura punto de rocío $t_{6''} =$ temperatura de referencia)
5'	Evaporador, corriente abajo / línea de entrada de gas, corriente arriba

Fuente: elaboración propia con programa Excel con base en datos de gráfica de Mollier.

Para trazar el ciclo de refrigeración del sistema, hay que señalar los siguientes puntos:

- Se utilizará el diagrama presión–entalpía del refrigerante seleccionado R-404A, cuya presión está en unidades en bar y la entalpía está en unidades kJ/kg.
- Se utilizará un compresor, es decir, se realizará una sola compresión para conseguir un rendimiento de energía (electricidad) óptimo y una instalación sencilla. El compresor estará conectado a los evaporadores en un mismo sistema.
- La temperatura de condensación es de 34,44 °C y la temperatura de evaporación es de 6,11 °C.

La figura 26 muestra el diagrama presión-entalpía, para el refrigerante ecológico R-404A, el ciclo empieza en el punto de estado1, considerando que en la entrada del compresor el vapor se encuentra como vapor saturado cuyas propiedades analizadas son las siguientes:

Pe = presión de evaporación

$$Pe = 7,26 \text{ bar}$$

Te = temperatura de evaporación

$$Te = 6,11 \text{ °C}$$

$$h_1 = 375,86 \text{ kJ/kg}$$

En el punto de estado 1 inicia del ciclo, el refrigerante se comprime, considerando que es un proceso isentrópico e ideal, siguiendo la línea correspondiente a la entropía se intersecta con la temperatura de condensación

se determina el punto de estado 2, en este caso el vapor se encuentra como vapor recalentado cuyas propiedades son las siguientes:

$P_c =$ presión de condensación

$$P_c = 15,83 \text{ bar}$$

$T_c =$ temperatura de condensación

$$T_c = 34,44 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_2 = 398,31 \text{ kJ/kg}$$

Luego de ser comprimido el refrigerante, el mismo pasa por el condensador a presión constante perdiendo su calor latente de evaporación y cambia su fase de estado gaseoso a estado líquido sale como líquido saturado, siguiendo la línea de presión del condensador y la temperatura de condensación se intersecta y se determina el punto de estado 4 cuyas propiedades son las siguientes:

$P_c =$ presión de condensación

$T_c =$ temperatura de condensación

$$h_4 = 245,05 \text{ kJ/kg}$$

Al salir del punto de estado 4, el refrigerante sale como líquido saturado y se realiza un proceso de expansión, la presión desciende a entalpía constante, hasta alcanzar la condición de mezcla entre líquido-vapor a la entrada del evaporador en el punto de estado 5, cuyas propiedades son las siguientes:

$P_e =$ presión de evaporación

$T_e =$ temperatura de evaporación

$$h_5 = h_4$$

2.5.1. Cálculo de los principales parámetros del ciclo teórico de refrigeración

Coeficiente de funcionamiento del refrigerador de Carnot (COP).

$$\text{COP} = \frac{\text{ER}}{\text{Wc}} \quad \text{Ecc. 14}$$

ER = efecto refrigerante

Wc = trabajo del compresor

$$\text{ER} = h_1 - h_4 \quad \text{Ecc. 15}$$

$$\text{ER} = 375,86 - 245,05$$

$$\text{ER} = 130,81 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Wc} = h_2 - h_1 \quad \text{Ecc. 16}$$

$$\text{Wc} = 398,31 - 375,86$$

$$\text{Wc} = 22,45 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{COP}_{\text{real}} = \frac{130,81 \text{ kJ/kg}}{22,45 \text{ kJ/kg}}$$

$$\text{COP}_{\text{real}} = 5,82$$

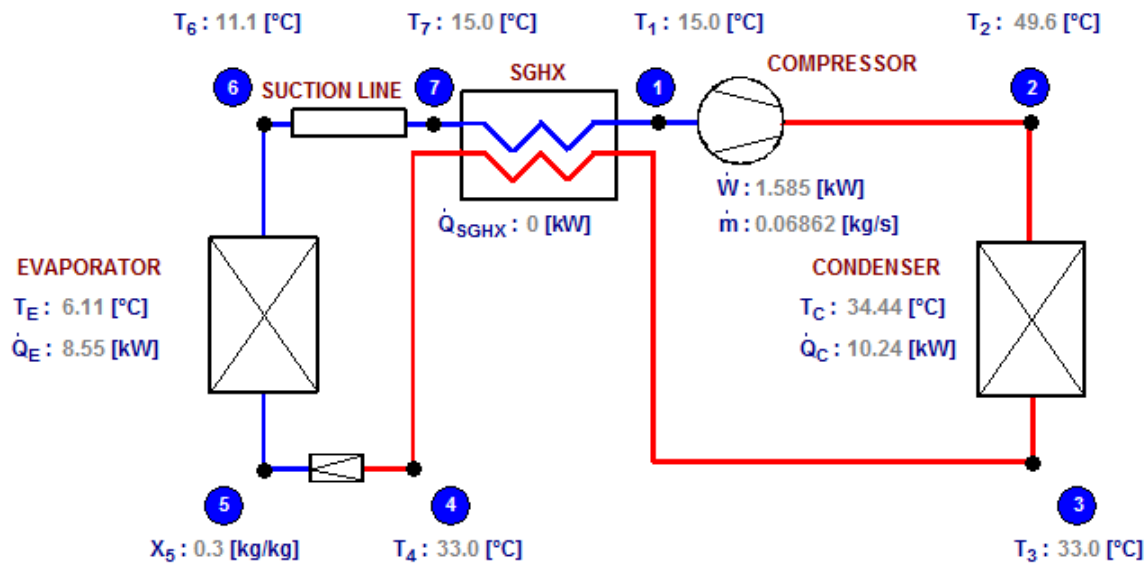
$$\text{COP}_{\text{ideal}} = \frac{\text{Tevap.} + 273}{\text{Tcond.} - \text{Tevap.}} \quad \text{Ecc. 17}$$

$$\text{COP}_{\text{ideal}} = \frac{6,11 + 273}{34,44 - 6,11}$$

$$\text{COP}_{\text{ideal}} = 9,85$$

En la figura 28 se observa la forma gráfica del análisis de energía de los puntos del diagrama Mollier, más adelante se usarán ecuaciones para su cálculo.

Figura 28. **Análisis de energía del ciclo de refrigeración**



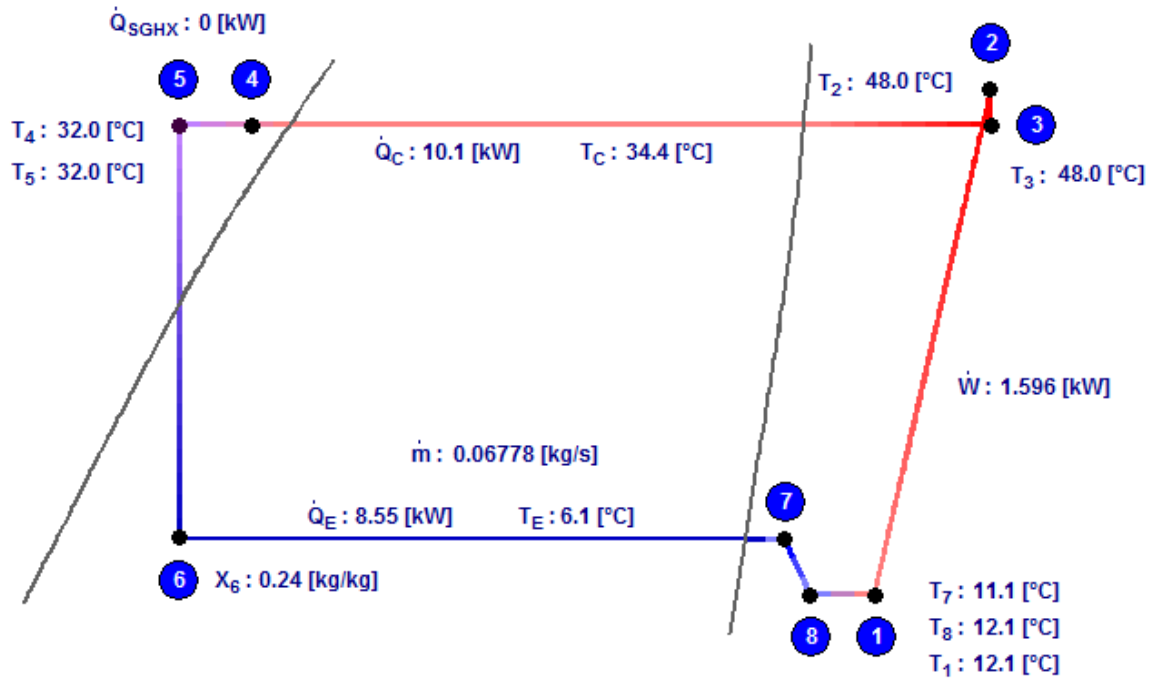
Fuente: elaboración propia con programa Coolpack.

En la tabla XX se indican los estados del ciclo real de refrigeración. La figura 29 muestra un incremento de temperatura de $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ debido al recalentamiento del fluido refrigerante al pasar por el evaporador y la tubería de succión y una pérdida de presión de $0,11\text{ bar}$, entonces las propiedades del estado 1 son las siguientes:

Incremento de Temperatura = 6 grados celsius

Perdida de presión = $0,11\text{ bar}$

Figura 29. **Análisis del ciclo real de refrigeración**



Fuente: elaboración propia con programa Coolpack.

Tabla XX. **Estados de los puntos en el análisis del ciclo real**

Punto	Temperatura	Presión	Densidad
	$^\circ\text{C}$	Bar	kg/m^3
1	12,10	7,189	34,90
2	48,00	16,050	77,20
3	48,00	15,850	75,90
4	32,00	15,850	1 009,00
5	32,00	15,850	1 009,00
6	6,11	7,290	1 009,00
7	11,10	7,290	35,80
8	12,10	7,180	34,90

Fuente: elaboración propia con programa Excel con base en datos del figura 29.

2.5.1.1. Flujo másico

$$\dot{m} = \frac{Q_t}{ER} \quad \text{Ecc. 18}$$
$$\dot{m} = \frac{8,64 \text{ kJ/s}}{130,81 \text{ kJ/kg}} \times \frac{60\text{s}}{1\text{min}}$$
$$\dot{m} = 3,9630 \text{ kg/min}$$

2.5.1.2. Potencia teórica del compresor

$$P = \dot{m} \times W_c \quad \text{Ecc. 19}$$

$$\dot{m} = 3,9630 \text{ kg/min}$$

$$W_c = 22,45 \text{ kJ/kg}$$

$$P = 3,9630 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times 22,45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$P = 88,97 \text{ kJ/min}$$

$$P = 88,97 \text{ kJ/min} \times \frac{1\text{min}}{60\text{s}} \times \frac{1\ 000\text{J}}{1\text{kJ}}$$

$$P = 1\ 482 \text{ watts}$$

$$1\text{Hp} = 745 \text{ watts}$$

$$1\ 482 \text{ watts} \times \frac{1\text{Hp}}{745 \text{ watts}}$$

$$P = 1,99\text{Hp} \cong 2\text{Hp}$$

Eficiencia teórica del ciclo.

$$n = \frac{COP_r}{COP_i} \quad \text{Ecc. 20}$$

$$n = \frac{5,82}{9,85}$$

$$n = 0,60$$

$$n = 60 \%$$

2.5.1.3. Calor rechazado al medio

$$Q_{\text{rechazado}} = \dot{m} \times (h_2 - h_4) \quad \text{Ecc. 21}$$

Dónde:

\dot{m} = flujo másico

h_2 = entalpía en punto 2

h_4 = entalpía en punto 4

$$Q_{\text{rechazado}} = 0,06605 \text{ kg/s} \times (398,31 - 245,05) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{rechazado}} = 10,12 \text{ kW}$$

2.5.1.4. Volumen desplazado

$$\dot{V} = \dot{m} \times v_1 \quad \text{Ecc. 22}$$

v = volumen específico

v_1 = volumen específico en el punto 1

$$\dot{V} = 0,06605 \text{ kg/s} \times 34,9 \text{ dm}^3/\text{kg}$$

$$\dot{V} = 2,3 \text{ dm}^3/\text{s}$$

$$\dot{V} = 2,3 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \times \left(\frac{1\text{m}}{10\text{dm}} \right)^3 \times \frac{60\text{s}}{1\text{min}} \times \frac{60\text{min}}{1\text{hr}}$$

$$\dot{V} = 8,28 \text{ m}^3/\text{hr}$$

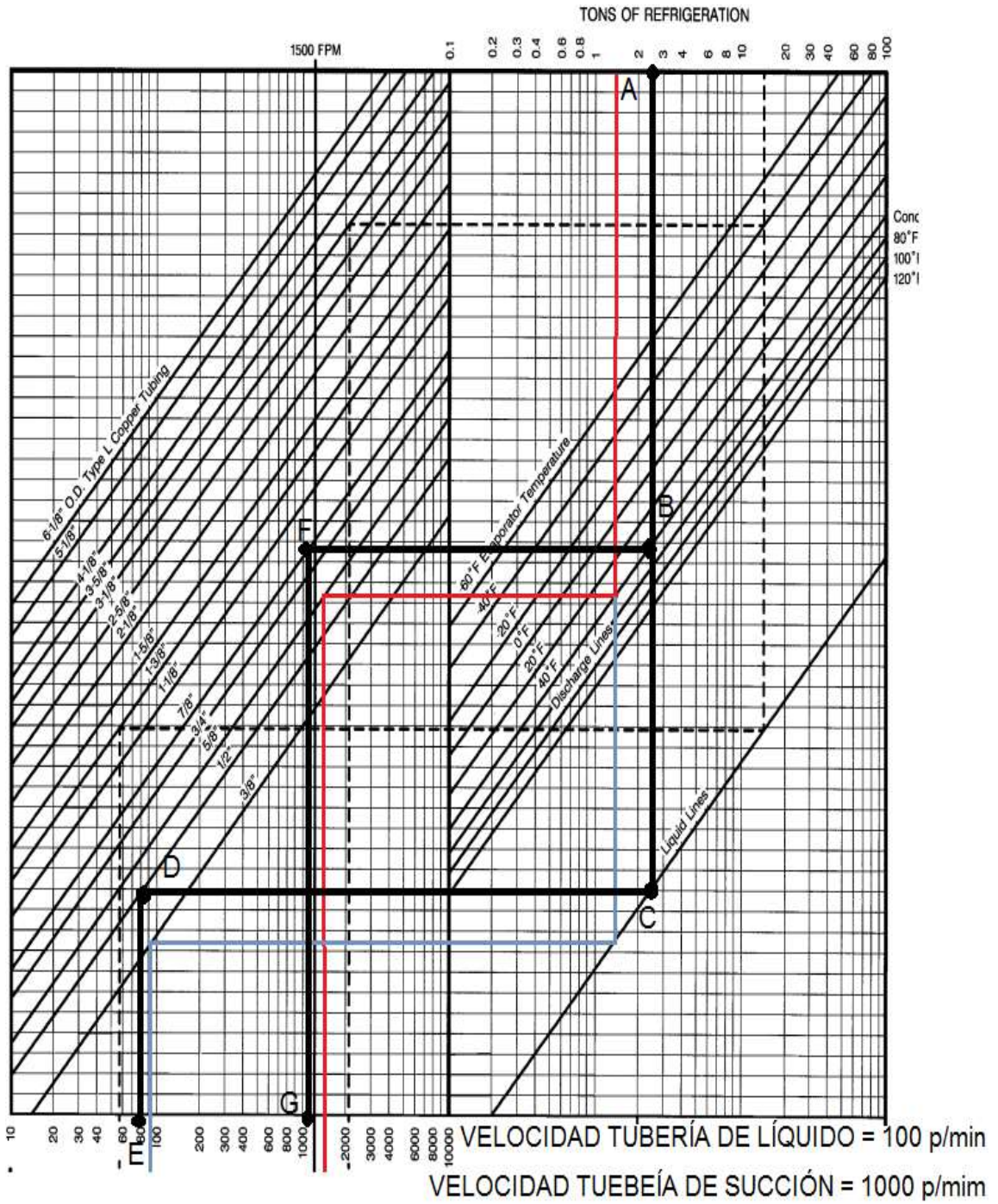
2.6. Dimensiones de tubería de alta y baja presión

Cuando se dimensionan las tuberías de refrigerante es esencial tener presente los siguientes puntos.

- Limitar la caída de presión del refrigerante en la tubería, ya que esta caída de presión reduce la producción frigorífica y aumenta la potencia absorbida por cada frigorías/hr suministrada.
- Dimensionar de tal forma que se obligue al aceite que en pequeñas cantidades, pero de manera continua abandona el compresor mezclado con gas comprimido, a volver de nuevo al mismo.
- El cálculo de los tamaños de tuberías se realiza con base en la capacidad del sistema frigorífico.

Para determinar las velocidades del refrigerante en las tuberías de líquido y succión se realiza el trazo ABCDE para líquido y ABFG para succión, estos trazos se observan en la figura 30.

Figura 30. Velocidades para el refrigerante R-404A



Fuente: Refrigerant Piping Handbook. p. 87.

La velocidad en metros por segundo es la siguiente:

$$V_{liq} = 100p/mim \times \frac{1m}{3,28p} \times \frac{1min}{60s}$$

$$V_{liq} = 0,5m/s$$

$$V_{succ} = 1\ 000p/min \times \frac{1m}{3,28p} \times \frac{1min}{60s}$$

$$V_{succ} = 5m/s$$

2.6.1. Dimensionamiento de la tubería de alta presión

El diseño de estas tuberías debe ser cuidadosamente estudiado de tal manera que se elimine la posibilidad de que llegue refrigerante líquido al compresor y asegure el retorno del aceite desde el evaporador al compresor.

$$A = \frac{\dot{m}}{\rho \times V} \quad \text{Ecc. 23}$$

$$A = \frac{\pi}{4} \phi^2 \quad \text{Ecc. 24}$$

Dónde:

A = área m²

V = velocidad m/s

ρ = densidad kg/m³

\dot{m} = flujo másico en kg/s

Para determinar el diámetro de la tubería se requiere los siguientes datos:

$$\dot{m} = 0,06605 \text{ kg/s}$$

$$V = 0,5 \text{ m/s}$$

$$\rho = 1\,009 \text{ kg/m}^3$$

Mediante las ecuaciones se determina el diámetro de la tubería a utilizar el mismo que es de:

$$A = \frac{0,06605 \text{ kg/s}}{1\,009 \text{ kg/m}^3 \times 0,5 \text{ m/s}}$$

$$A = 0,0001309217 \text{ m}^2 \times \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}\right)^2 \times \left(\frac{1 \text{ pul}}{2,54 \text{ cm}}\right)^2$$

$$A = 0,196685 \text{ plg}^2$$

$$\phi = \sqrt{\frac{0,196685 \text{ pul}^2 \times 4}{\pi}}$$

$$\phi = 0,5 \text{ plg}$$

$$\phi = \frac{1}{2} \text{ plg}$$

Los cálculos anteriormente realizados se determinaron por la capacidad del sistema en base y datos como densidad del refrigerante en los estados de alta y baja presión, además del flujo másico necesario para llegar a la capacidad de carga de enfriamiento. Las ecuaciones 20 y 21 calculan el diámetro con la información antes mencionada. Hay una forma más fácil y rápida para determinar dichos diámetros, solo es necesario conocer la capacidad de enfriamiento y longitud de ambas tuberías. La tabla XXI y XXII refuerzan los cálculos anteriormente mencionados.

Tabla XXI. Tubería para refrigerante de alta presión

Tabla 25: Diámetros Recomendados de las Tuberías para R-404A y R-507 (Continuación) *# +

DIAMETRO DE LA TUBERIA DE SUCCION															DIAMETRO DE LA LINEA DE LIQUIDO						Capacidad del Sistema BTU/H
TEMPERATURA DE SUCCION															Longitud Equivalente del Recibidor a la Válvula de Expansión						
-20° F Equivalente			-30° F Longitud Equivalente						-40° F Longitud Equivalente												
100'	150'	200'	25'	50'	75'	100'	150'	200'	25'	50'	75'	100'	150'	200'							
1/2	1/2	1/2	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1,000
5/8	7/8	7/8	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3,000
7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	4,000
7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	6,000
7/8	1 1/8	1 1/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	9,000
1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	12,000
1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	15,000
1 1/8	1 3/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	18,000
1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	2 3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	24,000
1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	30,000
1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	5/8	36,000
1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1/2	1/2	5/8	1/2	5/8	5/8	42,000
1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	48,000
1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	54,000
1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	60,000
1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	66,000
1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1/2	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	72,000
1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	5/8	5/8	7/8	5/8	5/8	7/8	78,000
2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	5/8	5/8	7/8	5/8	7/8	7/8	84,000
2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	90,000
2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	120,000
2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	5/8	7/8	1 1/8	7/8	7/8	1 1/8	150,000
2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	7/8	7/8	1 1/8	7/8	1 1/8	1 1/8	180,000
2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	210,000
2 5/8	2 1/8	3 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	240,000
3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	4 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	300,000
3 5/8	3 5/8	4 1/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	2 5/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	360,000
3 5/8	3 5/8	4 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	4 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	4 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	480,000
3 5/8	3 5/8	4 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	5 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	4 1/8	5 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	600,000

Fuente: Heatcraft Pipe Sizer. p. 29.

2.6.2. Dimensionamiento de la tubería de baja presión

La principal preocupación es limitar la caída de presión, de manera que no se produzca una evaporación parcial del refrigerante, antes de llegar a la válvula de expansión. Para un funcionamiento adecuado del sistema es necesario que el líquido a la salida del condensador, se encuentre ligeramente subenfriado entre 1 °C y 3 °C y es dicho subenfriamiento el que condiciona en la práctica la caída de presión aceptable en las tuberías de líquido.

Igual que la anterior es necesario los siguientes datos para el dimensionamiento:

$$\dot{m} = 0,06605 \text{ kg/s}$$

$$V = 5 \text{ m/s}$$

$$\rho = 34,9 \text{ kg/m}^3$$

Mediante las ecuaciones se determina el diámetro de la tubería a utilizar el mismo que es de:

$$A = \frac{0,06605 \text{ kg/s}}{34,9 \text{ kg/m}^3 \times 5 \text{ m/s}}$$

$$A = 0,00037851 \text{ m}^2 \times \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}\right)^2 \times \left(\frac{1 \text{ pul}}{2,54 \text{ cm}}\right)^2$$

$$A = 0,5686 \text{ pul}^2$$

$$\phi = \sqrt{\frac{0,5686 \text{ pul}^2 \times 4}{\pi}}$$

$$\phi = 0,851 \text{ plg}$$

$$\phi = 7/8 \text{ plg}$$

Tabla XXII. Tubería para refrigerante de baja presión

Tabla 25: Diámetros Recomendados de las Tuberías para R404A y R-507 *#

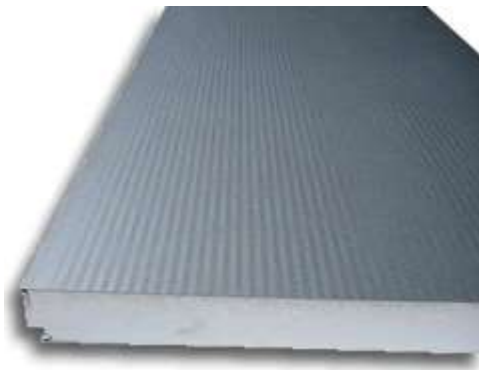
Capacidad del Sistema BTU/H	DIAMETRO DE LA TUBERIA DE SUCCION (pulg.)																				
	TEMPERATURA DE SUCCION																				
	+20° F Longitud Equivalente						+10° F Longitud Equivalente						-10° F Longitud Equivalente						-20° F Longitud		
	25'	50'	75'	100'	150'	200'	25'	50'	75'	100'	150'	200'	25'	50'	75'	100'	150'	200'	25'	50'	75'
1,000	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	1/2	3/8	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	3/8	3/8	1/2	
3,000	3/8	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	1/2	1/2	5/8	5/8	5/8	7/8	1/2	1/2	5/8
4,000	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	1/2	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	1/2	5/8	5/8
6,000	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	1/2	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	1/2	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8
9,000	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	5/8	7/8	7/8
12,000	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8
15,000	5/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	1 1/8
18,000	7/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8
24,000	7/8	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8
30,000	7/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8
36,000	7/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8
42,000	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8
48,000	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8
54,000	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8
60,000	1 1/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8
66,000	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8
72,000	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8
78,000	1 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8
84,000	1 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8
90,000	1 3/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8
120,000	1 3/8	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8
150,000	1 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8
180,000	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8
210,000	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8
240,000	1 5/8	2 1/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8
300,000	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8
360,000	2 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 1/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8
480,000	2 1/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	2 5/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8
600,000	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	2 5/8	2 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	3 1/8	3 1/8	3 5/8	3 5/8	4 1/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8	3 1/8

Fuente: Heatcraft Piper Sizer. p. 28.

2.7. Materiales de construcción

La Cámara estará construida de paneles prefabricados de acero (isopaneles), los cuales están constituidos por un núcleo de poliuretano inyectado *in-situ* entre dos láminas preformadas de acero galvanizado, pre pintadas con dos capas de poliéster blanco, material resistente a la sal, este panel está formado como un sándwich. Ver figura 31.

Figura 31. Panel de poliuretano



Fuente: <http://www.alamaula.com.montevideo/otros-servicios/techos-isopaneles-colocacion>.

Consulta: 10 de agosto de 2013.

2.8. Selección y espesor del aislamiento

El aislamiento será poliuretano expandido que tendrá los espesores según la temperatura interior. La tabla XXIII indica los espesores para una temperatura de almacenamiento de 6 °C, que corresponde a un espesor de 3 plg, por ahorro en el costo de los equipos de refrigeración y de energía es necesario duplicar el tamaño del material aislante, se hace esto para reducir el coeficiente global de transmisión de calor y obtener una disminución del 20 % de la capacidad total del equipo, además ayudará a bajar el costo de energía

eléctrica a largo plazo. Para la selección del espesor en los techos es necesario incrementar un 30 %, como la temperatura de la luz solar es permanente durante el transcurso del día.

- Paredes: 6 plg
- Puertas: 6 plg
- Techo: 8 plg

Tabla XXIII. **Espesor de aislamiento según temperatura interior**

TEMPERATURA DE OPERACIÓN	ESPESORES									
°C	2''	3''	4''	5''	6''	8''	9''	10''	12''	
15	■									
10	■	■								
5		■								
0			■							
-5				■						
-10				■	■					
-15						■				
-20						■	■			
-25							■	■		
-30								■	■	

Fuente: Pita G, Edward. Principios y sistemas de refrigeración. p. 343.

2.9. Criterios básicos para el piso de concreto de cuartos refrigerados

Los pisos de cuartos fríos, no están apoyados directamente sobre el suelo. Aunque sí transmiten su carga hacia él, por lo tanto, en este caso es necesaria una buena compactación.

- Formaleta: la formaleta de los bordes o franjas laterales y las maestras intermedias deberán fijarse firmemente y con exactitud a la elevación y perfil especificados para la superficie acabada.

Las formaletas para losas comúnmente son de metal o de madera apuntaladas firmemente, con estacas de madera o de metal para que conserven su alineamiento vertical y horizontal. La formaleta deberá estar recta y no tener combaduras y tener además la suficiente resistencia para soportar la presión del concreto sin pandearse. También deberán ser lo suficientemente fuertes para sostener cualquier equipo mecánico de colocación y de acabado que se llegue a emplear.

- Clases de piso: en la tabla XXIV se clasifican los pisos de acuerdo con el uso al que están destinados. Estos requisitos deberán tomarse en cuenta cuando se seleccionen las proporciones para el concreto.

Ahora bien, debido a que actualmente no existe un criterio definido para evaluar la resistencia que tiene un piso al desgaste, aún no es posible especificar su calidad en tales términos.

Sin embargo, la resistencia de un piso al desgaste está relacionada, en forma directa, con las técnicas empleadas en su construcción.

Los requisitos del espesor pueden variar de acuerdo con el uso determinado que tendrá el piso; sin embargo, las siguientes recomendaciones propuestas son válidas.

Pueden construirse diversas losas según las recomendaciones de espesor mínimo, pero aquellas sujetas a cargas considerables deberán diseñarse tomando como base el espesor de diseño.

Tabla XXIV. **Clasificación de pisos de concreto**

Capas	Clase	Transito	Uso	Consideraciones especiales	Técnicas de acabado del concreto
Una capa	1	Peatonal ligero	Residencial o cubierto con mosaico	Pendiente para drenaje; nivelación para colocar el mosaico	Llena de acero mediana
	2	Peatonal ligero	En oficinas, iglesias, escuelas, hospitales, ornato residencial	Agregado antiderrapante; mezcla en la superficie. Color mezclado, especial	Llena de acero, acabado especial antiderrapante. Llena de acero, color agregado expuesto; lavar, si el agregado va a estar expuesto
	3	Peatonal ligero y vehículos ligero	Para las entradas de autos, piso de garaje y	Corona, bombeo, juntas, inclusión de aire	Llana de madera, de acero y escoba
	4	Peatonal y vehículos	Comercial e industrial	Curado cuidadosos	Llana de acero duro y cepillado para antiderrapantes
	5	peatonal y de vehículos. Uso abrasivo	industrial de una capa, superficie de	curado cuidadoso	Agregado especial metálico o mineral, llana de madera y de acero
Dos capas	6	Peatonal y de vehículos (con ruedas duras). Abrasión consistente	Industrial pesado de dos capas ligadas	Superficie texturizada y ligada. Capa de desgaste: agregado especial y/o tratamiento superficial metálico o mineral	Superficie nivelada por medio de maestras. Aplanadas mecánicas especiales y aplanado repetido con llana de acero
	7	Clases 3, 4, 5, 6	Capas de desgaste no ligadas	Refuerzo de malla, lubricante sobre superficies de concreto antiguas: 2,5 plg (64 mm nominales)	

Fuente: Torres Fuhrer, Mario Giovanni. Criterios básicos para diseño y construcción de pisos de concreto para cuartos refrigerados. p. 31.

Tabla XXV. **Espesores mínimos de concreto para refrigeración**

Clase de piso	Uso proyectado	Espesor mínimo	
		plg	mm
1	Residencial o cubierto con mosaico	4,0	100
2	En oficinas, escuelas, iglesias, hospitales y ornamental residencial	4,0 ^a	100 ^a
3	Para las entradas y pisos de garaje y para banquetas de residencias	4,0 ^b	100 ^b
3	Para las banquetas residenciales	5,0 ^c	130 ^c
4	Comercial e industrial ligero	5,0	130
5	Industrial de una capa	6,0	150
6	Industrial pesado de dos capas ligadas (capa inferior)	5,0	130
6	Industrial pesado de dos capas ligadas (capa de desgaste)	0,75 ^d	20 ^d
7	Capas de desgaste no ligadas para las clases 3, 4, 5, 6	2,5 ^e	65 ^e

Fuente: Torres Fuhrer, Mario Giovanni. Criterios básicos para diseño y construcción de pisos de concreto, para cuartos refrigerados. p. 35.

En la tabla XXV se señalan los espesores mínimos, los cuales deberán substituirse por los espesores determinados, en caso de que los espesores determinados con base en las cargas de diseño sean mayores.

2.10. Selección de equipos y accesorios

- Para el sistema se utilizará una unidad condensadora de 10,12 kW esta será la capacidad total del sistema.

La unidad condensadora se elige en función de los siguientes parámetros:

- Refrigerante a utilizar: R-404A
- Capacidad frigorífica requerida: 10,12 kW
- Temperatura de evaporación: 6,11 °C
- Temperatura condensación: 34,44 °C

Figura 32. **Unidad condensadora**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Para la selección del evaporador son necesarios los siguientes parámetros:
 - Capacidad del sistema: 8,55 kW
 - Temperatura de evaporación: 6,11 °C
 - Sin descarche

En función de los parámetros antes mencionados se ha seleccionado un evaporador.

Figura 33. **Evaporador aleteado de aire forzado**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- La selección de la válvula de expansión se ilustra en la figura 34 y se realiza en función de los siguientes:
 - Parámetros determinados:
 - Refrigerante a utilizar: R-404A
 - Capacidad del sistema: 8,55 kW
 - Presión de evaporación: 7,16 bar
 - Presión de condensación: 15,83 bar
 - Caída de presión a través de la válvula: 8,57 bar
 - Igualación de presión: interna

En función de los parámetros anteriores y con características de 2,5 TR de capacidad con igualador externo y diámetro de 1/2 plg se ha seleccionado la siguiente válvula, MARCA DANFOSS, modelo TS 2-0,11. Gama N.

Figura 34. **Selección de válvula de expansión**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- La selección de la válvula solenoide se ilustra en la figura 35 y está en función del diámetro de la tubería, para el sistema se ha empleado la válvula marca DANFOSS, modelo EVR-3 y una bobina marca DANFOSS modelo IP 67.

Figura 35. **Selección de válvula solenoide**



Fuente: empresa UNIREFRI.

La válvula de paso se ilustra en la figura 36 y se selecciona en función del diámetro de tubería de alta y de baja y a su vez si desea roscada o soldada.

Para el sistema se ha seleccionado las siguientes válvulas con diámetro de 1/4 plg y 7/8 plg, marca DANFOSS, modelo BML-6 y BML-10.

Figura 36. **Selección de válvula de paso**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- La selección de los manómetros de alta y de baja están en función de la presión de funcionamiento del sistema de refrigeración, los manómetros que se va a utilizar tienen la siguiente característica, marca REFCO escala en psi y bar con diámetro de carátula de 3 plg y de raíz de 1/2 y 7/8 de plg, ver figura 37.

Figura 37. Selección de manómetro de baja y alta presión



Fuente: empresa UNIREFRI.

- La válvula reguladora de presión de evaporación se ilustra en la figura 38 y se selecciona en función del diámetro de la tubería y a su vez a las necesidades de cada caso respecto a las regulaciones de presión.

Para este sistema se ha seleccionado la siguiente válvula, marca SPORLAN, modelo ORIT-6, posee un rango de graduación que va desde 0 a 15 bares, que es lo adecuado para este caso.

Figura 38. **Selección de válvula reguladora de presión**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Las conexiones de bronce y cobre se ilustran en la figura 39 y han sido desarrolladas para su utilización en los sistemas de refrigeración, especialmente para las conexiones con las tuberías de cobre. Para garantizar el sellado ente la conexión macho y la tuerca, se requiere una correcta expansión de la tubería de cobre. La selección está en función del diámetro de la tubería.

Figura 39. **Conexión de cobre**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- El control programable de temperatura se ilustra en la figura 40 se debe de seleccionar de acuerdo a los rangos de temperatura a utilizarse en el sistema.

Este tipo de control permite controlar temperaturas de conservación, es decir es un controlador de temperatura específicamente para conservación.

Para la selección del controlador programable de temperatura se requiere de los siguientes parámetros:

- Temperatura mínima de la cámara de conservación: 12 °C.
- Temperatura máxima de la cámara de conservación: 14 °C.
- Voltaje del sistema: 220 Voltios.

En la cámara de conservación se utiliza un control programable de temperatura marca Full Gauge modelo MT-512Ri.

Figura 40. **Control de temperatura programable**



Fuente: empresa UNIREFRI.

El sifón se ilustra en la figura 41 y se debe seleccionar en función del diámetro de la tubería de 1/2 plg, es necesaria su instalación para evitar que el aceite circule en el sistema y se permanezca en los tramos.

Figura 41. **Sifón o trampa**

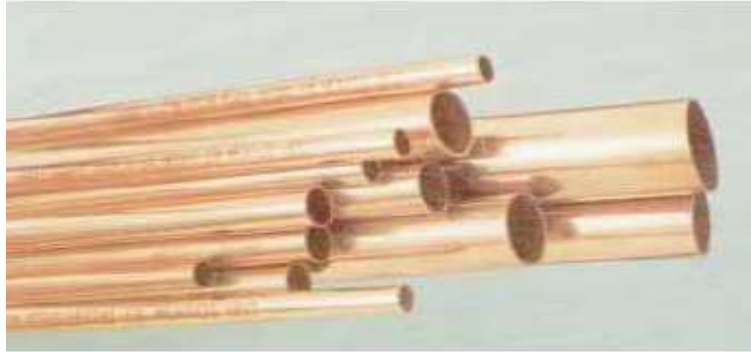


Fuente: empresa UNIREFRI.

- Para la selección de la tubería hay que tener en cuenta los siguientes parámetros:
 - Diámetro de la tubería: 1/2 plg para la línea de líquido
 - Diámetro de la tubería: 7/8 plg para la línea de succión

En función de los parámetros anteriores se ha seleccionado la tubería de cobre tipo L que se ilustra en la figura 42, esta permite realizar acoples mecánicos de 1/2 y 7/8 plg tanto para la línea de líquido, como para la de succión.

Figura 42. **Tubería de cobre tipo L**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Para la selección del acumulador de succión son necesarios los siguientes parámetros:
 - Tipo de refrigerante a utilizar: R-404A.
 - Diámetro de la tubería de conexión tanto a la entrada, como a la salida.
 - Tipo de acumulador: vertical u horizontal.
 - Capacidad del sistema: 8,55 kW.

En función de los parámetros antes mencionados se ha optado por seleccionar un acumulador de succión vertical, de 7/8 plg modelo S-7048, véase figura 43.

Figura 43. **Acumuladores de succión vertical**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Para la selección de los contactores es necesario saber los datos de la unidad condensadora del sistema. En la tabla XXVI se consideran los datos en la placa de la unidad condensadora.

Tabla XXVI. **Datos en placa de unidad condensadora**

Intensidad	20 Amperios
Frecuencia	60 Hz
Voltaje	220 Voltios
Potencia	10 Hp

Fuente: elaboración propia con programa Excel con base a placa de datos en unidad condensadora.

Para la selección de los contactores se debe de saber que un contactor es un elemento conductor que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso

de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina. En los esquemas eléctricos, su simbología se establece con las letras KM seguidas de un número de orden. Con base en los datos expuestos anteriormente se ha seleccionado, 3 contactores GM-12, véase figura 44.

Figura 44. **Contactador**



Fuente: empresa UNIREFRI.

3. INSTALACIÓN Y PRUEBA DEL SISTEMA

3.1. Planificación del ensamble de los componentes del sistema

Los pasos a seguir para el montaje de los equipos son:

- Planificación del ensamble de los componentes del sistema
- Instalación de los equipos y accesorios
- Pruebas de fuga
- Proceso de vacío
- Carga de refrigerante en el sistema
- Ajuste y comprobación del equipo de seguridad
- Calibración del controlador programable de temperatura
- Pruebas de funcionamiento del sistema

Para la planificación del ensamble de los componentes de sistema se debe tener en cuenta la facilidad de ubicación y manipulación de los elementos del sistema y a la vez el orden de ensamble de los accesorios de acuerdo a los planos de instalación.

3.2. Instalación del equipo y accesorios

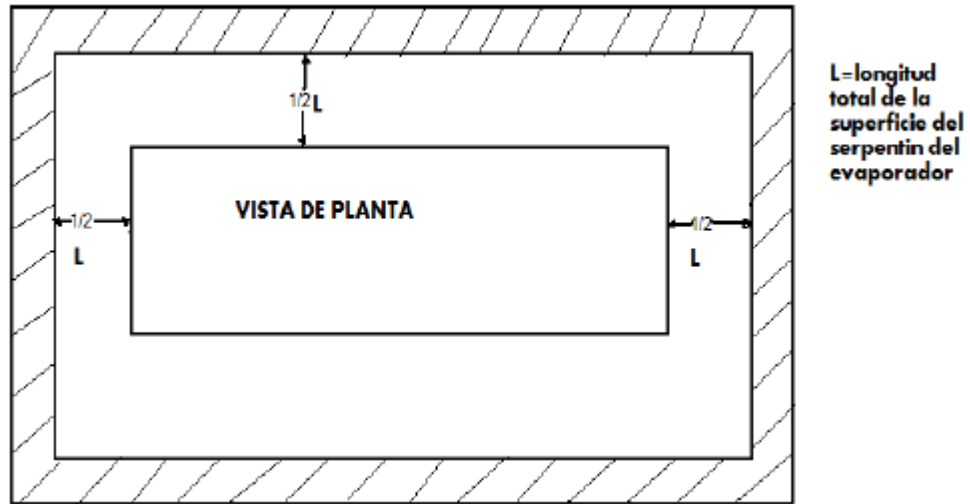
Todos los equipos y accesorios deben permanecer herméticamente cerrados, hasta el momento de su instalación en el sistema para evitar humedad, ya que la humedad es enemiga número uno de la refrigeración.

- Unidad condensadora: la unidad deberá colocarse de tal manera que el aire pueda circular libremente y no sea re circulado, para un adecuado flujo de aire y acceso a todos los lados de la unidad, esta deberá colocarse a una distancia mínima de 2m de la pared u obstrucción, se prefiere que esta distancia sea incrementada cuando sea posible.

Tener cuidado de que haya espacio suficiente para trabajos de mantenimiento.

- Instalación del evaporador: para la colocación del evaporador deberán seguirse las siguientes reglas generales:
 - La dispersión del aire deberá cubrir la cámara completamente.
 - Nunca colocar los evaporadores sobre la puerta.
 - La ubicación de accesorios deberá conocerse.
 - La ubicación relativa al compresor debe ser para mínimos recorridos de tubería.
 - Ubicar la línea de drenado de los condensadores para mínimos recorridos de tubería.

Figura 45. **Espacios mínimos del evaporador**



Fuente: Buenaño, Luis Efrén. Diseño y construcción de un sistema de refrigeración de conservación para laboratorio. p. 95.

Figura 46. **Ubicación del evaporador de aire forzado**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Instalación de la válvula de expansión: la figura 47 ilustra cómo debe instalarse la válvula, pero antes de instalarla el distribuidor del evaporador, deberá colocarle el orificio, el cual es seleccionado para el refrigerante que será usado.

Para un máximo rendimiento es importante seleccionar una válvula de expansión de la capacidad correcta y carga seleccionada.

Las válvulas de expansión termostáticas pueden ser montadas en cualquier posición, pero estas deben instalarse tan cerca al evaporador como sea posible.

Para obtener el mejor rendimiento, la salida de la válvula de expansión deberá ser instalada directamente al cuerpo del distribuidor, si esto no es posible la distancia entre la salida de la válvula y el distribuidor, no deberá exceder 24 plg (61cm), No colocar eles o ángulos a lo largo de esta distancia de lo contrario se tendrán problemas de distribución de refrigerante.

El tubo que conecta la salida de la válvula y el distribuidor puede ser más pequeño, para conservar la velocidad del refrigerante y mejorar la distribución.

Los codos colocados entre la válvula de expansión y el distribuidor dificultaran la adecuada distribución por lo tanto no son recomendables. Sin embargo, algunos accesorios pueden requerir el uso de codos.

Figura 47. **Instalación de la válvula de expansión**



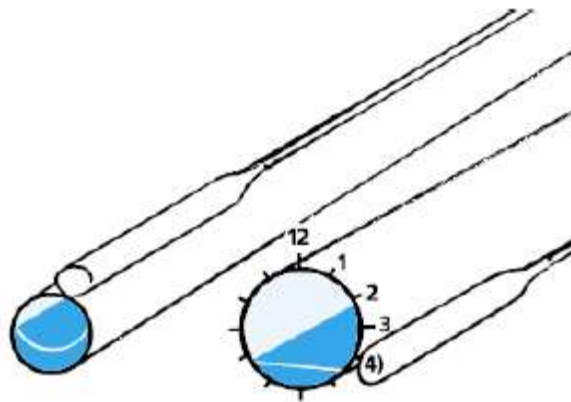
Fuente: empresa UNIREFRI.

- Ubicación del bulbo: la figura 48 indica cómo debe colocarse el bulbo de la válvula de expansión, sobre un tramo horizontal de la línea de succión tan cerca al cabezal de succión como sea posible. El bulbo deberá ser sujeto perfectamente con abrazadera metálica en la línea de succión y cubierto con un aislante de tipo impermeable.

El bulbo nunca debe colocarse sobre uniones, acoplamientos u otras obstrucciones que no permitan hacer 100 % contacto con la línea de succión. El bulbo nunca deberá ser colocado en trampas o la sección baja de una trampa de la línea de succión.

No se recomienda colocar el bulbo en la parte inferior de la línea de succión. El bulbo deberá ser instalado a las 8,9 o 3,4 en punto sobre la línea de succión.

Figura 48. **Ubicación del bulbo**



Fuente: Buenaño, Luis Efrén. Diseño y construcción de un sistema de refrigeración de conservación para laboratorio. p. 67.

- Instalación de la válvula solenoide: todas las válvulas de solenoide, tipos EVR/EVRA, solamente funcionan cuando se instalan correctamente en la dirección de flujo, esto es, la dirección indicada por la flecha. Normalmente, cuando se monta una válvula de solenoide adelante de una válvula de expansión termostática, se debe colocar cerca de ésta.

Con esto se evitan golpes de ariete cuando la válvula de solenoide se abre. Utilice siempre fuerzas contrarias en el apriete final de la válvula de solenoide a las tuberías, es decir, dos llaves en el mismo lado de la válvula. Cuando se monta la bobina, se presiona la misma con la mano sobre el tubo de la armadura hasta que se escuche un clic. Esto significa que la bobina ha sido colocada correctamente.

Se debe comprobar que los datos de la bobina (tensión y frecuencia) correspondan a la tensión de suministro. En caso contrario, se puede quemar la bobina. Siempre se debe comprobar que la válvula y la bobina corresponden la una a la otra, véase figura 49.

Figura 49. **Instalación válvula solenoide**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Instalación de la válvula reguladora de presión: el regulador de presión de evaporación se instala en la línea de aspiración detrás del evaporador, para regular la presión de evaporación en instalaciones de refrigeración con uno o más evaporadores y un compresor. En dichas instalaciones, que trabajan con diferentes presiones de evaporación, se monta el OPR6 siguiendo el sentido de flechas marcada en dicha válvula, ver figura 50.

El regulador de presión de evaporación OPR6 tiene una toma, para acoplar un manómetro que se usa para regular la presión de evaporación. El OPR6 mantiene una presión constante en el evaporador.

Figura 50. **Instalación de la válvula reguladora de presión**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Instalación de la tubería: siempre que sea posible, el trazado de la tubería tiene que ser horizontal o vertical. Las excepciones son:
 - Las líneas de aspiración, a las que se les puede dar una ligera inclinación descendente hacia el compresor.
 - Las líneas de descarga, que pueden tener una ligera inclinación descendente alejándose del compresor.
 - Las trampas de aceite deben montarse en las tuberías de aspiración.

- Las abrazaderas, clips, etc. deben colocarse a intervalos convenientes, dependiendo del diámetro del tubo y del peso que ejercen los componentes montados en el trazado de la tubería.
- Por lo demás, las líneas de aspiración deben instalarse teniendo en cuenta el retorno de aceite al compresor.

Figura 51. **Tubería a instalar**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Las tuberías deben ser cortadas con un corta tubos o serradas. Nunca usar medios lubricantes o refrigerantes.
- Evitar la viruta de cobre en el interior de la tubería. Hacer uso de herramientas de calibrado para conseguir el diámetro y redondez adecuados.
- Soplar con una potente corriente de aire comprimido seco o de nitrógeno seco a través de la tubería.

- Nunca usar aire comprimido corriente, a causa de su gran contenido de humedad. Nunca soplar con la boca a través del tubo.
- Instalación del acumulador de succión: su apropiada instalación se ilustra en la figura 52, debe ser lo más cerca posible del compresor, en la línea de succión, es un salvavidas para su equipo, pues asegura un retorno adecuado de aceite y de refrigerante evaporado por medio del dispositivo de retorno.

Para ser efectivo, el acumulador debe tener una capacidad de al menos el 50 % del refrigerante cargado en el sistema.

Figura 52. **Instalación de acumulador de succión**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Instalación de válvula de paso: para garantizar una buena instalación de estas válvulas se deben instalar respetando el sentido de flujo de fluido, que viene marcado en dichas válvulas.

Figura 53. **Instalación de la válvula de paso**



Fuente: empresa UNIREFRI.

Acoples mecánicos y soldadura de plata: para tener un buen acople mecánico se debe emplear solamente tubos de cobre aprobados para refrigeración.

Para realizar un buen acampanado, primero se deben cortar los tubos en ángulo recto, eliminar todas las rebabas interiores y exteriores, por último hacer el ensanche abocardado a la medida adecuada, ni demasiado grande, ni demasiado pequeño. No apretar demasiado el ensanche abocardado para que no endurezca, el apriete final se efectúa al acabar el montaje de la instalación, ver figura 54.

Todo el acampanando se realiza con una prensa de expansión, la cual expande el extremo del tubo de cobre en forma cónica.

Figura 54. **Prensa de expansión y acoples mecánicos**



Fuente: empresa UNIREFRI.

La soldadura apropiada para este tipo de tubería es de plata, que se compone de un 30 % de plata, cobre, zinc y estaño. La temperatura de fusión va desde unos 655 °C hasta cerca de 755 °C.

Solamente se consigue una buena unión en superficies metálicas limpias y no oxidadas. Se debe limpiar los extremos de las tuberías, con un cepillo especial y aplicar al momento la materia fundente inmediatamente antes de soldar.

La materia fundente para soldadura con plata se disuelve con alcohol, nunca con agua. Untar una capa fina de materia fundente alrededor del punto de soldadura después de haber unido las partes a soldar. La soldadura de plata o de aleaciones de plata es ampliamente utilizada en la industria de la

refrigeración, ya que tienen alta resistencia a la corrosión, a pruebas de vibración y a prueba de fugas.

Figura 55. **Soldadura oxiacetilénica**



Fuente: empresa UNIREFRI.

- Instalación del sistema eléctrico: en un sistema de refrigeración por compresión mecánica las instalaciones eléctricas, constan de dos circuitos que gobiernan el sistema de refrigeración.
- Circuito de potencia: en el circuito de potencia es la parte que más consumo de corriente eléctrica necesita, esta parte es la que se encarga de excitar los relés, contactores para activar un dispositivo de salida, ya sea la unidad condensadora, ventiladores del presente proyecto.

3.3. Prueba de fugas

Existen 2 métodos para verificar la existencia de puntos de fuga en una instalación:

- Un detector electrónico se utiliza como se ve en la figura 56, o bien el más común una solución de agua y jabón. En este método existe la necesidad de presencia de refrigerante dentro del sistema para que el detector electrónico emita una señal.

Figura 56. **Método electrónico de detección de fugas**



Fuente: http://www.testo.es/es/home/productos/detectores_de_fugas/detectores-de-fugas.

Consulta: 15 de agosto de 2013.

En el método más común es necesario mantener presurizado el sistema de refrigeración con nitrógeno o bien sea refrigerante, y posteriormente aplicar la solución jabonosa, ver figura 57. En las conexiones de tubería, dobleces o bien donde se sospeche que existe fuga. En donde exista la formación de burbujas se habrá detectado una fuga.

Los sistemas de refrigeración deben ser herméticos, ya que si existe alguna fuga, habrá pérdida de la carga de refrigerante y como consecuencia habrá humedad.

En el banco de refrigeración instalado se realizó la prueba de fugas con refrigerante R-404A, elevando la presión y en seguida se aplicó la solución de agua y jabón. Se realizó este procedimiento debido a la facilidad ya que se dispone de refrigerante.

Figura 57. **Prueba de fugas**



Fuente: empresa UNIREFRI.

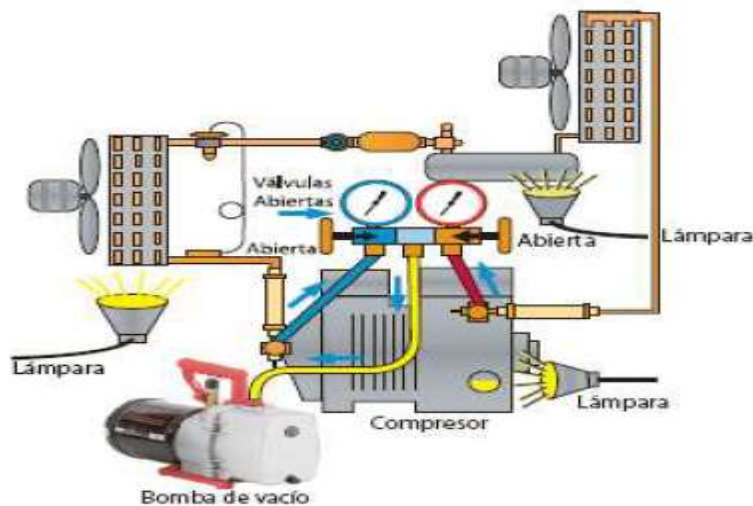
3.4. Proceso de vacío

Existen dos métodos para efectuar el proceso de vacío:

- **Evacuación con vacío profundo:** es el medio más seguro de proporcionar un sistema libre de aire y agua, toma ligeramente más tiempo que el otro método. El propósito de la evacuación es reducir la presión o vacío, lo suficiente para hervir o vaporizar el agua y luego bombearla fuera del sistema.

Los vacíos a los que se debe llegar son: 500 micrones, si se trabaja con aceite mineral o aceite alquilbenceno y 250 micrones si se trabaja con aceite polioléster. El vacío correcto se alcanza midiendo por medio de un vacuómetro y no por el tiempo que se deje la bomba trabajando en el sistema, véase figura 58.

Figura 58. **Proceso de vacío profundo**



Fuente: Buenaño, Luis Efrén. Diseño y construcción de un sistema de refrigeración de conservación para laboratorio. p. 111.

- Evacuación triple: no requiere de un equipo de alto vacío, sin embargo, este método no debe utilizarse si se sospecha la existencia de agua líquida en el sistema. Se requiere de una bomba de evacuación con capacidad para producir 20 plg de Hg de vacío.

Este método de evacuación se basa en el principio de diluir los gases no condensables y la humedad, con vapor refrigerante limpio y seco; este vapor es luego retirado del sistema, llevándose con él una porción de

contaminantes. Cuando el procedimiento se repite, los contaminantes restantes son proporcionalmente reducidos hasta que el sistema está libre de humedad.

Para poner en funcionamiento el sistema de refrigeración y garantizar un buen vaciado se realizó el proceso vacío profundo, véase figura 59.

Figura 59. **Proceso de vacío**



Fuente: empresa UNIREFRI.

3.5. Carga del refrigerante al sistema

Después de haber evacuado el sistema adecuadamente, se cierra la válvula del manifold y las conexiones a la bomba de vacío, y el vacuómetro se conecta en el cilindro del refrigerante, véase figura 60.

Purgue la manguera de servicio del manifold que conecta al circuito. Abra la válvula de servicio que da acceso al cilindro del refrigerante y después abra el registro de alta presión del manifold, que conecta al lado de alta del compresor.

Con el sistema parado, cargue refrigerante en forma líquida por el lado de alta del compresor. Espere por lo menos 10 minutos antes de conectar el equipo, cierre el registro de alta presión del manifold, abra el registro de baja presión que conecta con la succión y con el sistema en funcionamiento complete la carga con refrigerante en forma gaseosa.

Verifique a través del visor de líquido que la carga del refrigerante esté completa, revisando que el refrigerante no produzca burbujas al pasar por el visor de líquido.

Figura 60. Carga de refrigerante al sistema



Fuente: empresa UNIREFRI.

La carga de refrigerante se realizó en forma de vapor por el método de la mirilla, que se basó en el funcionamiento de los dos sistemas de refrigeración, tanto en el de congelación como el de conservación, ya que se cargó el refrigerante hasta el momento que llegue a la temperatura más crítica que es de -15 °C en ese momento se detiene la carga del refrigerante cuando no exista la presencia de burbujas y la mirilla esté completamente llena de refrigerante.

3.6. Ajuste y comprobación del equipo de seguridad

Una vez puesto en marcha el sistema de refrigeración, se verifica las presiones tanto de succión como de descarga, ya que al funcionar los dos sistemas simultáneamente se debe tener presiones en la descarga dentro de los parámetros de diseño. La válvula reguladora de presión OPR6 se regula de la siguiente forma:

Serie Tamaño del puerto Rango ajustable en psig OPR6 1/2 plg. 0-60.

Para comprobar el correcto funcionamiento de la OPR6 en la línea de descarga, se debe poner en funcionamiento los dos sistemas de refrigeración, para que mediante los manómetros de baja se pueda apreciar las presiones iguales en el momento del retorno del refrigerante a la unidad condensadora.

3.7. Calibración del control programable de temperatura

Los parámetros de ajuste de la temperatura de control se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XXVII. **Parámetros de configuración protegidos por el código de acceso**

Fun	Descripción	Unidad	Patrón
F01	Código de acceso	"	"
F02	Corrimiento de indicación (<i>offset</i>)	°C	0
F03	Mínimo <i>setpoint</i> permitido al usuario	°C	2
F04	Máximo <i>setpoint</i> permitido al usuario	°C	5
F05	Diferencial de control (histéresis)	°C	3
F06	Retardo para volver a conectar la salida de refrigeración	seg.	20
F07	Tiempo de refrigeración	Min	240
F08	Tiempo de deshielo	Min	30
F09	Estado inicial al energizar el instrumento	"	0 refrig.
F10	Indicación de temperatura tratada durante el deshielo	"	0-no
F11	Retardo en la energización del instrumento	Mim	0
F12	Tiempo adicional al final del primer ciclo	Min	0
F13	Situación del compresor con el sensor dañado	"	0- descon.
F14	Intensidad del filtro digital	"	0

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

3.8. Pruebas de funcionamiento del equipo

Una vez instalado el sistema de refrigeración y comprobado que todos los elementos de control que funcionen correctamente, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento del banco de conservación.

Las pruebas a realizar consisten en comprobar, el tiempo que la cámara frigorífica alcanza una temperatura de 12 °C, con carga y sin carga, a su vez determinar las temperaturas y presiones para graficar el ciclo termodinámico de operación del sistema de refrigeración, para poder determinar todos los parámetros del ciclo real de refrigeración.

Para realizar las pruebas de funcionamiento del banco de refrigeración, se utilizó los siguientes instrumentos: termómetro digital y multímetro, ver figura 61.

Figura 61. **Termómetro digital y multímetro**



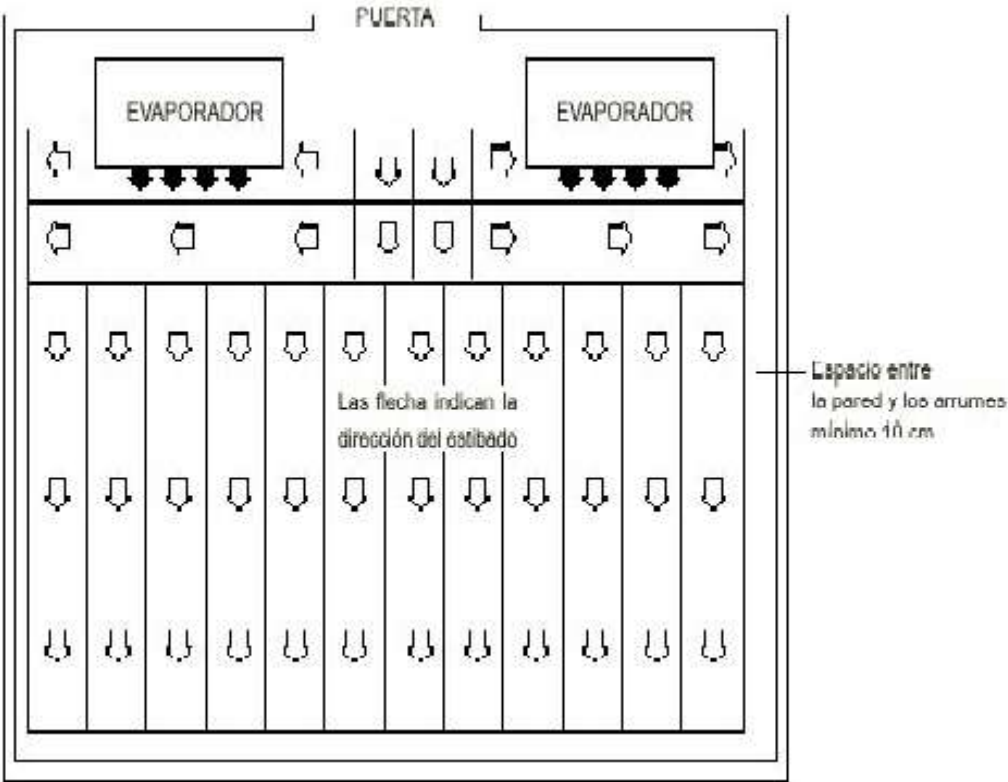
Termómetro Digital



Multímetro

Fuente: empresa UNIREFRI.

Figura 62. Patrón de estibado para máxima eficiencia de refrigeración



Fuente: Alarcón Creus, J. Tratado práctico de refrigeración automática. p. 5.

4. COSTOS Y MANTENIMIENTOS

4.1. Generalidades

En todo proyecto de diseño y construcción se debe hacer un estudio de costos, desde la adquisición de la materia prima, hasta el momento de obtener el producto final, de esta forma saber la factibilidad del proyecto.

4.2. Costos directos

Se debe considerar costos de materiales, mano de obra, herramientas y transporte:

- Costo de materiales

Tabla XXVIII. Costo del bastidor

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Precio total
Perfil estructural L ASTM A36 11/2x1/4	u	8	Q 219,52	Q 1 756,16
Perfil estructural L ASTM A36 3/4x1/8	u	4	Q 54,88	Q 219,52
Electrodos Aga 6011	libra	2	Q 15,68	Q 31,36
Pintura anticorrosiva negra	galón	2	Q 62,72	Q 125,44
Madera triplex	u	5	Q 156,80	Q 784,00
Varios			Q 117,60	Q 117,60
TOTAL				Q 3 034,08

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Tabla XXIX. Precio de materiales de la cámara

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Sub total
Compresor	u	1	Q 6 713,62	Q 6 713,62
Presostato de alta	u	1	Q 45,00	Q 45,00
Separador de aceite	u	1	Q 1 011,64	Q 1 011,64
Filtro de aceite	u	1	Q 150,00	Q 150,00
Control del nivel de aceite	u	1	Q 950,00	Q 950,00
Válvula solenoide	u	3	Q 250,00	Q 750,00
Condensador	u	1	Q 19 397,00	Q 19 397,00
Motor				
Variador de velocidad				
Recibidor	u	1	Q 712,00	Q 712,00
Filtro deshidratador	u	2	Q 48,00	Q 96,00
Visor de líquido y humedad	u	1	Q 46,00	Q 46,00
Válvula de expansión Termostática	u	1	Q 471,08	Q 471,08
Evaporador	u	1	Q 7 279,61	Q 7 279,61
Termostato para refrigeración	u	1	Q 395,00	Q 395,00
Válvula reguladora de presión	u	1	Q 1 050,00	Q 1 050,00
Válvula de servicio				
Válvula de ángulo				
Válvula check				
Controlador de temperatura	u	1	Q 100,00	Q 100,00
Acumulador de succión	u	1	Q 600,00	Q 600,00
Presostato de baja	u	1	Q 45,00	Q 45,00
Armaflex 5/8	tramo	9	Q 9,00	Q 81,00
Armaflex 7/8	tramo	6	Q 11,50	Q 69,00
Tubería de cobre 7/8	pie	1	Q 31,65	Q 31,65
Tubería de cobre 3/8	pie	1	Q 9,90	Q 9,90
Tuerca fler 3/8	u	8	Q 5,00	Q 40,00

Continuación de la tabla XXIX.

Tuerca fler 5/8	u	8	Q	5,00	Q	40,00
Varilla de plata	u	4	Q	5,00	Q	20,00
Válvula pinch 3/8	u	2	Q	6,50	Q	13,00
Guarda termostato acrílico	u	1	Q	80,35	Q	80,35
Gas refrigerante 404a	cilindro	1	Q	1 656,52	Q	1 656,52
Cinta font tape	u	1	Q	36,00	Q	36,00
Sifón de cobre	u	1	Q	24,65	Q	24,65
Cinchos plásticos	ciento	1	Q	23,00	Q	23,00
TOTAL						Q 41 937,02

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Tabla XXX. **Precio de materiales de ferretería**

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Sub total
Sikaflex	u	1	Q 50,00	Q 50,00
Abrazaderas hanger	u	12	Q 2,58	Q 30,96
Espuma de poliuretano	u	1	Q 66,40	Q 66,40
Pegamento de contacto	1/16 gal	1	Q 30,50	Q 30,50
Tarugo de golpe HDI 3/8	u	12	Q 3,85	Q 46,20
Broca para concreto 3/8	u	1	Q 19,00	Q 19,00
Broca par metal 3/8	u	1	Q 30,00	Q 30,00
Tonillos de 5/16	u	12	Q 1,25	Q 15,00
TOTAL				Q 288,06

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Tabla XXXI. **Precio de materiales de electricidad**

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Sub total
Cable THHN Calibre 10	m	15	Q 4,93	Q 73,95
Cable tsj 3*10	m	10	Q 19,66	Q 196,60
Caja cuadrada de 4X4	u	1	Q 6,05	Q 6,05
Cinchos plásticos (negro)	u	100	Q 0,51	Q 51,00
Cinta de aislar	u	1	Q 23,84	Q 23,84
Codos pvc eléctrico de 3/4	u	5	Q 8,25	Q 41,25
Conector tsj 3/8	u	1	Q 1,68	Q 1,68
Flipon de 2x60	u	1	Q 72,60	Q 72,60
Terminales de bandera	u	9	Q 1,50	Q 13,50
Terminales de ojo partido	u	3	Q 1,50	Q 4,50
Tubo plástico de 3/4	tubo	5	Q 8,13	Q 40,65
TOTAL				Q 525,62

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Tabla XXXII. **Otros precios de materiales de la cámara**

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Precio total
Plancha de tool e=0.9 mm	u	12	Q 250,88	Q 3 010,56
Remaches	u	100	Q 0,16	Q 16,00
Lija para agua No. 320	u	5	Q 3,92	Q 19,60
Lija para agua No. 600	u	5	Q 3,92	Q 19,60
Masilla Plast	u	6	Q 39,20	Q 235,20
Fondo multiprimer	u	2	Q 94,08	Q 188,16
Pintura poliuretano blanca	u	3	Q 94,08	Q 282,24
Tiner poliuretano	u	1,5	Q 27,44	Q 41,16
Pernos acero inoxidable	u	100	Q 1,57	Q 156,80
Electro aga 6011	libras	1,5	Q 15,68	Q 23,52
Poliuretano componente A	galón	3	Q 313,60	Q 940,80
Poliuretano componente B	galón	3	Q 313,60	Q 940,80

Continuación de la tabla XXXII.

Cemento de contacto	u	3	Q	6,27	Q	18,82
Juego de bisagras	u	1	Q	148,96	Q	148,96
Caucho para puerta	m	9	Q	58,80	Q	529,20
Tornillos tipo hanger 1/8 plg	u	50	Q	1,25	Q	62,50
TOTAL					Q	6 633,60

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Tabla XXXIII. **Costo de mano de obra**

Operario	Tiempo en hr	Salario real por hr	Total
Supervisor	8	Q 60,00	Q 480,00
Técnico frigorista A	4	Q 20,00	Q 800,00
Técnico frigorista B	4	Q 20,00	Q 800,00
TOTAL			Q 2 080,00

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Tabla XXXIV. **Costo de herramientas**

Descripción	Cantidad	Depreciación	Total
Cortadora de Tubería	1	Q 1,33	Q 1,33
Escaleras	1	Q 2,50	Q 2,50
Bomba de vacío	1	Q 16,22	Q 16,22
Banco de trabajo	1	Q 1,00	Q 1,00
Equipo de soldadura	1	Q 3,72	Q 3,72
Equipo Soldadura	1	Q 13,75	Q 13,75
Manómetros refrigeración	1	Q 0,41	Q 0,41
Otros	1	Q 1,00	Q 1,00
TOTAL			Q 39,93

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Tabla XXXV. **Costo de transporte**

Descripción	Valor de transporte	
Envío de Elementos de refrigeración	Q	150,00
Envío de elementos de sistema de control	Q	50,00
Movilización del banco de refrigeración	Q	100,00
TOTAL	Q	300,00

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Tabla XXXVI. **Total costos directos**

Descripción	Valor	
Costo del bastidor	Q	3 034,08
Costo de materiales de refrigeración	Q	41 937,02
Costo de materiales de ferretería	Q	288,06
Costo de materiales de electricidad	Q	525,62
Costo de otros materiales	Q	6 633,60
Costo de mano de obra	Q	2 080,00
Costo de herramientas	Q	39,93
Costo de transporte	Q	300,00
TOTAL	Q	54 838,31

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

4.3. **Costos indirectos**

- Criterio de ingeniería: el valor de criterio de ingeniería se considera entre el 10 % y 15 % del costo del equipo.

Tabla XXXVII. **Costo del criterio de ingeniería**

Costo	Valor	
Criterio de ingeniería (15 %)	Q	8 225,74
TOTAL	Q	8 225,74

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Otros costos son los de tipo indirecto y se considera un 5 % del costo total del equipo y corresponde a todo tipo de imprevistos.

Tabla XXXVIII. **Otros costos indirectos**

Otros costos indirectos	Valor	
Costos por imprevistos (5 %)	Q	2 728,79
TOTAL	Q	2 728,79

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

- Costo por utilidad: para un trabajo particular debe tomarse en cuenta la asignación del valor correspondiente. Se considera el 20 % del costo del equipo.

Tabla XXXIX. **Costo por utilidades**

Otros costos indirectos	Valor	
Costo por utilidades (20 %)	Q	1 955,16

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Tabla XL. **Total costos indirectos**

Descripción	Valor	
Costo por ingeniería	Q	8 225,74
Costo por imprevistos	Q	2 738,79
Costos por utilidades	Q	10 955,16

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

4.4. **Costo de fabricación**

El costo total del equipo es de:

Tabla XLI. **Costo total del equipo**

Descripción	Valor	
Costo directo	Q	54 775,81
Costo indirecto	Q	21 919,69
TOTAL	Q	76 695,50
TOTAL MAS IVA	Q	85 898,96

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

4.5. **Mantenimiento del equipo**

Es el conjunto de actividades técnicas y administrativas cuya finalidad es conservar o restituir un elemento, equipo o instalación en las condiciones que permitan desarrollar su función.

- **Objetivos del mantenimiento:** los principales objetivos del mantenimiento son:
 - Reducir los costos que causan las paradas producidas por averías.
 - Reducir el deterioro de los elementos, equipos o instalaciones en general.
 - Optimizar la disponibilidad de maquinaria y equipo para la operación.
 - Preservar el valor y utilización de las instalaciones y sistemas de cada empresa.
 - Minimizar los costos de operación de las empresas.

- **Clasificación del mantenimiento:** se pueden mencionar dos sistemas de mantenimiento, en los cuales se cubren la mayoría de actividades relacionadas con él y que se presentan en las operaciones cotidianas del cuarto frío. La diferencia fundamental entre esos dos sistemas, estriba en la decisión de ejecutar el trabajo de mantenimiento antes o después, de presentarse la falla y de la asignación de costos empresariales. Así pues, el mantenimiento se puede asignar entre los siguientes sistemas:
 - Sistema de mantenimiento preventivo
 - Sistema de mantenimiento correctivo

La decisión de realizar el mantenimiento preventivo o correctivo es básicamente de índole político-empresarial, lo cual traerá consecuencias en los costos de mantenimiento. Sin embargo, según la importancia que tenga en la empresa, los paros imprevistos debidos a fallas, la decisión pasará a ser de índole técnico-económico.

Ha quedado demostrado en muchas industrias, que un sistema de mantenimiento preventivo bien confeccionado, produce beneficios que sobrepasan sus costos. El hecho de que se trabaje con un mantenimiento preventivo, no elimina la utilización del mantenimiento correctivo, pues los imprevistos siempre pueden presentarse en el momento menos oportuno.

Las fallas imprevistas en la maquinaria no deben pasar del 30 % del total de las actividades en el departamento de mantenimiento, pues limitará el alcanzar los objetivos en dicho departamento.

- Mantenimiento preventivo: un mantenimiento preventivo consiste en actividades programadas, con el objetivo de determinar las condiciones de operación en los equipos, que puedan conducir a paros imprevistos, determinación de la depreciación o desgaste de los bienes físicos y mejorar su estado de conservación en general.

Un sistema de mantenimiento preventivo con el tiempo es más necesario; mientras más mecanizado y automatizado sea el proceso productivo mayor sea el costo del equipo utilizado. El sistema de mantenimiento preventivo con todo lo anterior no es una solución óptima pero presenta ciertas ventajas:

- Menor tiempo ocioso como consecuencia de menos paros imprevistos por fallas.
- Incremento en la vida útil de los bienes físicos.
- Uniformidad de la carga de trabajo y consecuentemente disminución en costos por concepto de horas extras de trabajo de mantenimiento.
- Menor número de reparaciones en gran escala y menor número de reparaciones repetitivas.
- Posible reducción en costos por conceptos de reparaciones mayores.
- Incremento en la calidad del servicio como producto de una mejor condición general de los equipos, instalaciones y maquinaria.
- Identificación de las partidas con altos costos de mantenimiento.
- Menor necesidad de equipo en operación, que reduce la inversión de capital.
- Reducción de los costos de inventarios, ya que se determina en forma más precisa los materiales de mayor consumo y los que se usan poco.
- Mejores condiciones de seguridad.

- **Mantenimiento correctivo:** el mantenimiento correctivo consiste en un conjunto de actividades que tienen por objetivo corregir averías imprevistas producidas por deficiencias, así como corregir fallas repetitivas o que puedan demandar cambios en la operación.

Con un mantenimiento preventivo no se podrá evitar del todo averías imprevistas que se producen por deficiencias en operación, en la mala calidad de las partes, negligencia del personal al operar el equipo, y por todo ello no se podrá prescindir de las actividades de mantenimiento correctivo.

Que una empresa utilice el mantenimiento correctivo dependerá de qué resulte más económico, esperar una falla para repararla o montar todo un sistema para evitarla.

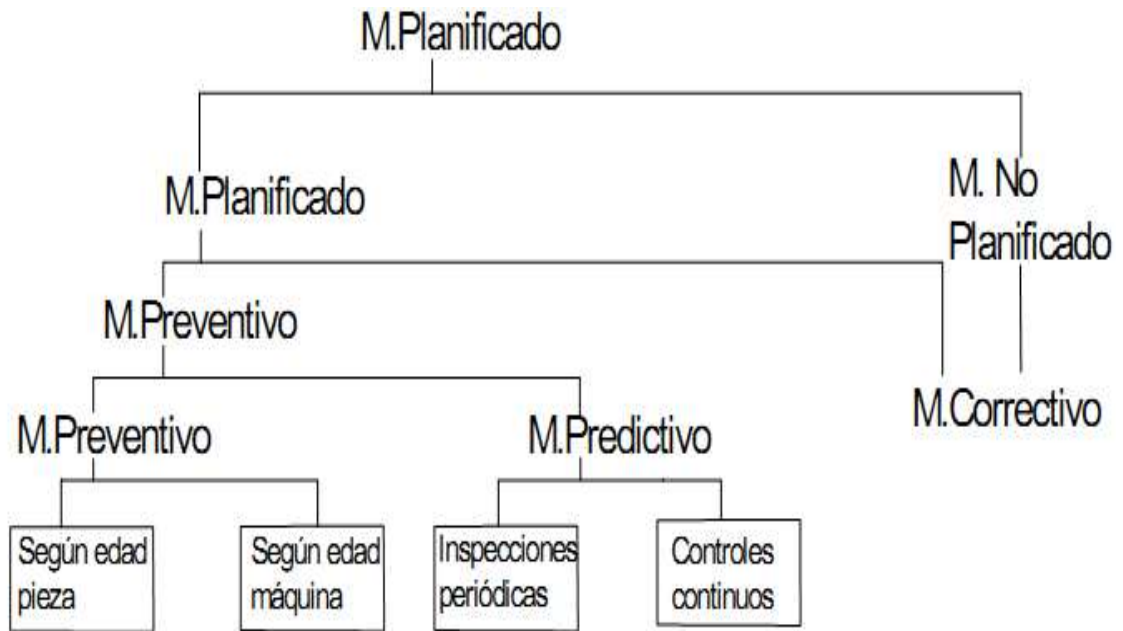
El sistema de mantenimiento correctivo será exitoso, si se cuenta con suficientes especialistas con experiencia y con una reserva de almacén con repuestos, accesorios y materiales suficientes para resolver en cualquier momento toda clase de fallas.

La cantidad de fallas imprevistas no debería pasar de un 30 %. Dicho criterio se puede tomar de forma análoga para establecer el parámetro de que el mantenimiento correctivo, no debe pasar del 30 % de las actividades totales de mantenimiento en una empresa.

El primer requisito para una eficiente operación de un cuarto frío, es tener un buen conocimiento del funcionamiento de las máquinas y de sus características y un estudio constante de las tareas de refrigeración que sean necesarias.

- Tipos de mantenimiento: la figura 63 presenta un cuadro donde están comprendidos y relacionados entre sí los distintos tipos de mantenimiento.

Figura 63. **Tipos de mantenimiento**



Fuente: Buenaño, Luis Efrén. Diseño y construcción de un sistema de refrigeración de conservación para laboratorio. p. 172.

Cuando un cuarto frío presenta problemas, estos casi siempre son detectados sólo cuando son de una magnitud que afecta la calidad de los productos refrigerados. Una buena operación de un cuarto frío, debe estar acompañada de un programa de mantenimiento preventivo. Así se reducen los gastos de reparación de partes del equipo y se minimizan tanto los daños en la máquina de refrigeración, como las pérdidas económicas por deterioro de los productos almacenados.

Los manuales de servicio, las instrucciones de operación y de seguimiento a los diferentes controles y las listas de repuestos las suministra el fabricante del cuarto frío. Además, se recomienda tener el contacto permanente con un técnico calificado, que pueda acudir en el momento en que el sistema de refrigeración presente una falla.

Algunos de los accesorios de manutención para tener presente son los siguientes:

- Válvulas de expansión
- Válvulas solenoides
- Válvulas reguladoras de presión
- Termostatos
- Controles de presión de aceite
- Controles de voltaje
- Presostatos
- Controles de baja y alta presión
- Válvulas de seguridad

De estos accesorios, se deben chequear las condiciones de operación dadas por el fabricante, con las que presenta en el momento el sistema. Aunque la mayoría de los equipos de refrigeración son unidades selladas que presentan dispositivos de lectura, algunos equipos de gran capacidad requieren de unas revisiones adicionales, como son:

Nivel de aceite en el cárter del compresor y cambio de los filtros según lo indique el fabricante. Se usa solamente el aceite recomendado para el tipo de servicio que presente el compresor; cada refrigerante requiere un tipo especial de aceite.

Lubricación de los elementos rotatorios (motores, ventiladores, rodamientos, bombas). Los fabricantes recomiendan los lubricantes para usar en cada caso y la regularidad de chequeo del nivel mínimo.

Los condensadores se limpian con la frecuencia que se requiera, pues el polvo y la suciedad reducen su eficiencia. Además, los condensadores sucios causan altas presiones de condensación, altos consumos de energía y finalmente, el daño del sistema. Aunque esta operación es sencilla y se hace en minutos, con frecuencia se dañan las unidades de refrigeración por falta de limpieza en el condensador.

Las correas de transmisión se chequean periódicamente en su tensión y deterioro.

Los aislamientos de tuberías, conexiones y evaporadores se revisan con frecuencia, pues los malos aislamientos pueden causar fugas del refrigerante y consecuentemente, cambios en la temperatura interior del cuarto.

En cuanto a lo relacionado con la energía eléctrica se requiere considerar el estado de las conexiones y elementos complementarios:

- Revisión de las conexiones y terminales
- Revisión de conductores
- Eliminación de fallas a tierra
- Ajuste de interruptores de cuchillas con fusibles
- Factor de potencia

Los principales ahorros al mejorar el factor de potencia son:

- Reducción de pérdidas de potencia
- Aumento de la capacidad del sistema
- Mejoramiento de la regulación del voltaje
- Disminución de los costos de energía

La adecuada iluminación del cuarto frío también es importante. Las bombillas luego de 3 000 horas de uso pierden un 10 % de su luminosidad inicial. Esta reducción en iluminación se incrementa debido a la suciedad, alcanzando hasta 40 %, lo que significa que una bombilla de 100 watts al cabo de 3 000 horas iluminará como una de 60 watts. Se recomienda limpiar las lámparas cada 1 000 horas.

Se puede establecer un programa de sustitución de lámparas mediante el cual se instalen en grupo, lámparas nuevas antes de que las antiguas lleguen al final de su vida útil. También se recomienda mantener limpias paredes y techos; los acabados de un recinto se deterioran por acción del tiempo y los índices de reflectancia bajan, haciendo que los niveles de iluminación descendan en forma considerable.

Se realiza un mantenimiento preventivo, se aplica antes de que ocurra una avería y comienza desde el momento que se va a hacer la instalación del equipo. Es la única forma de asegurar al máximo la continuidad del trabajo del equipo.

- Qué pasa con los contaminantes: en el sistema de refrigeración solo deben haber refrigerante y aceite. Cualquier otra sustancia es un contaminante. Los contaminantes son sustancias altamente perjudiciales para el sistema. Son como el cáncer, empieza poquito, crece, y produce

más cáncer, hasta que el compresor se quema, en la figura 65 se describen el porqué de las fallas en los compresores.

Figura 64. **Fallas en los compresores**



Fuente: Copenland valves, Contaminantes-Mantto spermkts LA.pptx. p. 3.

- Por qué hay contaminantes
 - Entran al sistema al instalarlos, o al efectuar un servicio.
 - No se eliminaron totalmente después de una quemadura.
 - Porque se forman solos dentro del sistema, por condiciones de operación inadecuadas.
- Que contaminantes
 - Humedad
 - Ceras
 - Anticongelantes
 - Lodos
 - Barnices

- Aire
 - Carbonización
 - Óxidos de cobre
 - Óxido de hierro
 - Rebabas
- Acidez
 - Suciedad
 - Fundentes
 - Gases no condensables
 - Barnices
 - Solventes

Si no se eliminan, se dañarán más compresores. Casi todos los sistemas de supermercados están fuertemente contaminados.

- Daños que causan
 - Sólidos
 - Obstruyen válvulas de expansión y capilares.
 - Rayan: cilindros, cojinetes, muñones, bielas, etc.
 - Rompen válvulas internas del compresor.
 - Obstruyen conductos y orificios de circulación de aceite del compresor.
 - Ocasionan cortos en el motor.
 - Humedad
 - Congelación y taponamiento de la válvula de expansión o el tubo capilar.
 - Reacciona con el refrigerante y el aceite formando, reacciona con el refrigerante y el aceite formando ácidos. Hay corrosión y oxidación de los componentes.

- Ácidos
 - Ocasionalmente cortocircuito y/o quemadura en el bobinado del compresor.
 - Corroen internamente los componentes del sistema, especialmente los del compresor.
 - Llegan a ser riesgosos para el técnico durante un servicio.
- Ceras, resinas y barnices
 - Obstruyen válvula de expansión y tubo capilar.
 - Se carbonizan en las válvulas del compresor.
 - Ocasionalmente pérdida de compresión.
 - Taponan orificios de aceite.
- Aire en el sistema
 - Altísimas temperaturas de descarga, y presión.
 - Daño inminente del compresor, a la vista.
 - Muy alto consumo de energía.
 - Carbonización interior.
- Detección
 - Humedad: indicador de líquido y humedad.
 - Ácidos: probador de acidez.
 - Sólidos: un indicio es una caída de presión y temperatura en el deshidratador.
 - Aire: muy alta presión y temperatura en la descarga.

Los contaminantes anteriormente descritos, causan los siguientes inconvenientes con la puesta en marcha y se resume en la figura 66.

A continuación, interrumpir el suministro eléctrico y dejar el compresor completamente sin presión, con una pistola de soplado que se conecta al acoplamiento rápido, se elimina soplando toda la presión del depósito.

Los intervalos de mantenimiento son aplicables para condiciones de funcionamiento normales. El tiempo de la rutina no debe de exceder la hora, la herramienta que se debe utilizar es la siguiente: una pistola de soplado, limpia contactos, multímetro, detector de fugas electrónico, llaves para tuercas desarmadores, para el resto de los accesorios de refrigeración es la misma herramienta.

Tabla XLII. **Rutinas de mantenimiento para compresor**

COMPRESOR	Semanal	Mensual	Semestral
Revisión del nivel de aceite		X	
Inspección general del equipo		X	
Verificar las válvulas de servicio	X		
Limpieza del exterior		X	
Comprobación conexiones de placas		X	
Comprobación de los presostatos		X	
Comprobación de los manómetros		X	
Comprobación de los termómetros		X	
Comprobación de fugas		X	
Comprobación del estado de bancada			X
Comprobación del estado de amortiguadores			X
Revisión del sistema eléctrico			X

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Para el mantenimiento de la unidad condensadora, primero debe desconectarse el sistema eléctrico y llevar la unidad a un lugar seguro, la herramienta a utilizar es la siguiente: hidrolavadora para limpiar con agua a alta presión el serpentín, wipe, pistola de soplado para eliminar cualquier suciedad,

limpia contactos para el sistema eléctrico, multímetro para realizar mediciones, peineta para corregir las láminas de los serpentines, detector de fugas electrónico y herramienta básica como llaves para tuercas y desarmadores, el tiempo estimado para el trabajo está entre 1 hr a 1,5 hr según las condiciones donde se ubique.

Tabla XLIII. **Rutinas de mantenimiento para el condensador**

CONDENSADOR	Semanal	Mensual	Semestral
Limpieza interior		X	
Limpieza exterior			X
Comprobación de fugas		X	
Peineta de láminas			X
Limpieza del serpentín		X	
Revisión y limpieza de contactores		X	
Revisión de amperajes de manejadoras		X	
Desmontaje y limpieza de motores			X

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

El mantenimiento de la unidad evaporadora es similar al de la condensadora, excepto por deshielo que debe de realizarse muy a menudo además del desmontaje y limpieza de la bandeja del condensado, la herramienta es la siguiente: hidrolavadora, pistola de soplado, peineta de láminas, limpia contactos, espátulas para el deshielo, detector de fugas electrónico, wipe, herramienta básica, llaves para tuercas y desarmadores, el tiempo de la rutina no debe de exceder las 2 hr.

Tabla XLIV. Rutina de mantenimiento para el evaporador

EVAPORADOR	Semanal	Mensual	semestral
Limpieza interior		X	
Limpieza exterior			X
Comprobación de fugas		X	
Peineta de láminas			X
Limpieza del serpentín		X	
Limpieza de bandeja de drenaje		X	
Revisión y limpieza de contactores		X	
Revisión de amperajes de manejadoras		X	
Desmontaje y limpieza de motores			X

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Tabla XLV. Rutinas de mantenimiento de los accesorios de protección

FILTRO DESHIDRATANTE	Trimestral	Semestral
Situación		X
Filtro de aceite		
Situación de mallas		X
Separador de aceite		
Verificar situación interna		X
Válvula del sistema		
Revisión del funcionamiento correcto		X
Válvula termostática		
Revisión de calibración correcta	X	
Limpieza del filtro de aire		
Limpieza y revisión del sistema eléctrico	X	
Limpieza del drenaje	X	
Limpieza de difusores y rejillas	X	
Medición de presiones del refrigerante	X	
Reporte del servicio	X	

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

4.6. Costos del mantenimiento

El mantenimiento involucra diferentes costos: directos, indirectos, generales, de tiempos perdidos y de posponer el mantenimiento.

- Costo directo del mantenimiento

Tabla XLVI. **Costos de las herramientas en el mantenimiento**

Equipo	Depreciación	Días	Sub total
Caja de herramientas	Q 3,47	5	Q 17,35
Escalera extensible de 20 pies	Q 2,31	5	Q 11,57
Escalera 2 bandas 8 pies	Q 0,58	5	Q 2,89
Escalera de 2 bandas de 4 pies	Q 0,25	5	Q 1,24
Manómetros para refrigeración	Q 0,41	5	Q 2,07
Hidrolavadora 120 Voltios	Q 1,32	5	Q 6,61
Fumigadora	Q 0,33	5	Q 1,65
Manguera de jardín de 100 pies	Q 0,14	5	Q 0,72
Banco de trabajo	Q 1,00	5	Q 5,00
Otros	Q 1,00	5	Q 5,00
TOTAL			Q 54,12

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Tabla XLVII. **Costo por mano de obra en el mantenimiento**

Posición	Días	Sueldo/día	Sub total
Técnico A	5	Q 175,00	Q 875,00
Técnico C	5	Q 150,00	Q 750,00
Supervisor	1	Q 500,00	Q 500,00
TOTAL			Q 2 125,00

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Tabla XLVIII. **Costo por transporte en el mantenimiento**

Transporte	Q/galón	Depreciación	Días	Sub Total
Pick up		Q 175,00	1	Q 175,00
Combustible	Q 33,20		1	Q 33,20
TOTAL				Q 208,20

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Tabla XLIX. **Costo por teléfono celular en el mantenimiento**

Posición	Q/días	Días	Sub total
Técnico A	Q 10,00	5	Q 50,00
Técnico C	Q 10,00	5	Q 50,00
Supervisor	Q 15,00	1	Q 15,00
TOTAL			Q 115,00

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Tabla L. **Costo directo del mantenimiento**

COSTOS DIRECTOS DE MANTENIMIENTO	Q 2 502,32
TOTAL	

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

- Costo indirecto del mantenimiento: los costos indirectos incluyen la planificación, las utilidades y los imprevistos los cuales son un porcentaje del costo total directo, en la tabla XLI se muestran los porcentajes respectivos.

Son aquellos que no pueden cargarse directamente a unidades específicas; siendo esto los recursos que son utilizados en la elaboración en la prestación del mantenimiento, que no pueden considerarse como material o mano de obra directa.

Tabla LI. **Costo indirecto del mantenimiento**

Costo Indirecto	% costo directo	Sub total
Asesoramiento	5 %	Q 125,12
Utilidades	30 %	Q 750,69
Imprevisto	10 %	Q 250,23
TOTAL		Q 1 126,04

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

Costo total del mantenimiento: ahora se procede a obtener el costo de del mantenimiento trimestral del proyecto, el cual resulta de la suma de los costos directo e indirectos como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla LII. **Costo total por mantenimiento trimestral**

Costo	Sub total
Costo directo	Q 2 502,32
Costo indirecto	Q 1 126,04
TOTAL	Q 3 628,36
TOTAL MAS IVA	Q 4 063,76

Fuente: elaboración propia con programa Excel.

NOTA: el análisis económico se realizó con base en el mercado actual, un nuevo análisis se realizará con base en condiciones del mercado en cada mes.

4.7. Sanidad dentro de la cámara frigorífica

La exigencia en higiene al interior del cuarto es muy alta. No debe olvidarse que se trata de cuartos, donde se conservarán productos que son sensibles al ataque de hongos y bacterias. Es la mejor manera de controlar el desarrollo de estos patógenos.

A medida que el cuarto se opera a unas condiciones estables de humedad alta y temperatura baja, se mantienen también las condiciones ideales para que los mohos se desarrollen en las paredes, los techos y sobre los embalajes que se introducen al cuarto.

Los mohos que crecen sobre estas superficies, pueden no producir la descomposición de los vegetales allí almacenados, pero tienen un efecto indeseable al producir etileno y otras sustancias volátiles que apresuran el envejecimiento y dan origen a malos sabores de los productos.

Por lo mismo, se recomienda una limpieza a fondo, por lo menos, una vez al año, con un desinfectante que contenga hipoclorito de sodio o sus ingredientes sean tensoactivos, fungicidas y bactericidas. Si se presentan problemas de contaminaciones fuertes, puede utilizarse azufre; si esto se realiza, todos los productos deben sacarse del cuarto y éste permanecerá cerrado por 24 hr.

La buena circulación del aire dentro del cuarto, el ingreso de productos sanos son también medidas complementarias, que evitarán los problemas de sanidad en el interior del cuarto. La limpieza durante los períodos de no operación debe ser completa.

Recoger toda la basura y cepillar los pisos. Luego limpiar con agua, desinfectarse (preferiblemente con cloro) y permitir la entrada de aire fresco.

La eficiencia del uso del cloro como desinfectante está asociado a varios factores tales como: el PH de la solución, la materia orgánica, la temperatura del agua, el tiempo de exposición y la concentración del cloro.

4.8. Seguridad industrial

Todo medio ambiente industrial representa para el trabajador una multitud de peligros potenciales. Algunas industrias más que otras tienen peligros que exigen precauciones especializadas de seguridad.

Pero fuese cual fuese la labor particular del operario, éste debe familiarizarse con los riesgos, tener conciencia de los peligros y observar las prácticas de seguridad establecidas. El manejo de cuartos fríos, no implica riesgos de gran magnitud y siguiendo unas normas mínimas el operario evitará accidentes.

Un primer aspecto está relacionado con el uso de ropa apropiada para trabajar continuamente a temperaturas bajas, ajustada al cuerpo y sin accesorios que puedan generar accidentes, guantes para facilitar el manejo de los productos y botas de suela antideslizante, pues un suelo humedecido puede resultar peligroso.

El trabajo con escaleras no es necesariamente peligroso para el trabajador, ni para los que lo rodean. Sin embargo, un número grande de los accidentes de trabajo es causado por caídas de personas o de objetos.

Debe utilizarse la escalera del tipo y longitud adecuados a la altura de las cargas que se moverán.

Las escaleras deben inspeccionarse antes de confiar el peso al operario que manipulará una carga a cierta altura. Revisar peldaños, parales, el asentamiento en el suelo y la firmeza de la escalera, es cuestión de minutos. Si la escalera no está en excelentes condiciones, no la use. Siempre que se realiza un trabajo por encima del nivel del piso existen peligros potenciales para aquellos que se encuentran abajo, como también, para el trabajador que se encuentra arriba.

Cuando se trabaja con una escalera ésta debe apoyarse con el ángulo correcto ver figura 64. Los parales laterales estarán siempre al alcance de la mano en caso que se pierda el equilibrio. La máxima altura de trabajo para cualquier escalera se encuentra entre dos peldaños abajo del peldaño superior; a alturas superiores no existe nada que ayude al trabajador a guardar el equilibrio. Más importante aún, ningún operario debe pararse jamás en la parte superior de una escalera. La siguiente ecuación indica el ángulo apropiado para cualquier valor x.

Dónde:

X = es la medida vertical de la escalera.

$$\cos \theta = \frac{\text{Cateto adyacente}}{\text{Hipotenusa}}, \text{ al despejar } \theta, \theta = \cos^{-1} \frac{x/4}{x}$$

$$\theta = 75^\circ$$

Figura 66. **Disposición adecuada de una escalera**



Fuente: Alarcón Creus, J. Tratado práctico de refrigeración automática. p. 15.

El trabajo cerca de la maquinaria rotatoria, como: los motores, el compresor, los ventiladores del cuarto frío, pueden presentar una variedad de peligros potenciales.

Siempre que se realiza algún trabajo cerca de un eje rotatorio o correa, se deben tomar precauciones para asegurar que el pelo largo, los vestidos sueltos y las joyas no lleguen a enredarse. Se han producido heridas serias al enredarse dentro de los ejes rotatorios corbatas, mangas sueltas y anillos.

El movimiento rotatorio tiende a empujar a la víctima a hacer contacto con el elemento en movimiento, frecuentemente causando trituración o amputación de partes del cuerpo. Antes de inspeccionar el sistema de refrigeración, el operario debe quitarse joyas tales como anillos, collares y relojes. Los vestidos sueltos deben ser asegurados; manteniendo el cabello, si es largo, recogido para evitar el desgarramiento del cuero cabelludo, que frecuentemente origina pérdidas serias de sangre.

Aunque los sistemas que vienen como unidad sellada presentan bajo ruido, el estar rutinariamente expuesto a niveles medianos de ruido contribuye a una pérdida progresiva del oído, que algunas veces puede llevar a la sordera. Aún en períodos breves de trabajo, como las inspecciones de los controles de los equipos, puede aumentar el riesgo de accidentes, pues las molestias que produce el ruido de las máquinas con frecuencia ocasionan que el trabajo se haga apresuradamente y de manera descuidada.

La protección para el oído puede garantizarse con la utilización de tapones sencillos y baratos que se consiguen en los almacenes de suministro de ropa y equipos industriales. Además, su uso hará que el desempeño durante estos períodos de revisión del sistema sea más confortable y tolerante, causando un aumento en la capacidad de atención y disminuyendo los riesgos.

Por último, cuando se trabaja en cuartos fríos que operan utilizando el amoníaco como refrigerante, deben tenerse ciertas precauciones, que son de seguimiento obligatorio por todo el personal que se encuentre en el área de las máquinas.

El peligro asociado con el amoníaco se debe a sus propiedades irritantes. La inhalación del gas de amoníaco o los vapores causan tos, vómito e hinchazón en los tejidos respiratorios. Los ojos también se irritan y en forma concentrada, el amoníaco puede producir quemaduras sobre la piel. Cualquier derramamiento o fuga sustancial de amoníaco llena rápidamente el aire circundante con vapores irritantes.

CONCLUSIONES

1. Se ha cumplido con el objetivo planteado, es decir, se ha diseñado el sistema frigorífico para el control de la maduración de una carga de plátanos.
2. Este sistema de refrigeración será útil para las empresas que opten por la conservación por refrigeración, que facilitará a las mismas a identificar y manipular todas las instalaciones.
3. Se ha calculado las cargas térmicas por producto, infiltración, evolución y por transmisión para almacenar 3 288 lb de plátano con capacidad térmica de 30 000 BTU/hr o 8,55 kW.
4. Se logró el diseño de la cámara de conservación tomando en cuenta los parámetros de las condiciones para su almacenamiento y conservación en 12 °C a 14 °C con una humedad relativa del 85 % con una temperatura ambiente de 27 °C a 30 °C.
5. Los costos para el sistema frigorífico ascienden a los Q. 85 898,96 tomando en cuenta todos los costos directos e indirectos en el mercado, por tanto se puede decir que el proyecto es potencialmente viable.

6. Para almacenar 3 288 lb de plátanos, son necesarias las dimensiones de 18m de largo por 12m de ancho y 2,4m de altura, los materiales a utilizar para las paredes son el poliuretano expandido con un grosor de 6 plg para las paredes, 8 plg para el techo y piso de concreto liviano de 6 plg de grosor con drenado interno.

7. Se determinaron las rutinas del mantenimiento y su costo asciende a Q. 4 073,66 para períodos trimestrales, este análisis económico indica la viabilidad del mantenimiento y así evitar costos de operación innecesarios en el futuro.

RECOMENDACIONES

1. Se debe tener cuidado al momento de realizar las conexiones respectivas para el funcionamiento correcto del sistema.
2. Cualquier falla producida en el sistema de refrigeración, se debe analizar adecuadamente en el circuito frigorífico o en el control de mando, en el caso de ser un problema en el sistema eléctrico.
3. Observar por medio de la mirilla, si el sistema tiene la carga correcta de refrigerante.
4. En la construcción del sistema de refrigeración, debe asegurarse de realizar un buen abucinamiento de la tubería para evitar que existan fugas.
5. Se debe evitar la vibración en el sistema, porque puede provocar fallas en las soldaduras y en uniones de la tubería.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOHN. *Manual de Ingeniería*. [en línea] www.bohn.com.mx/.../BCT-025-H-ENG-1APM-Manual-Ingenieria.pdf. [Consulta: 21 de febrero de 2013].
2. BUENAÑO SÁNCHEZ, Luis Efrén. *Diseño y construcción de un sistema de refrigeración de conservación para laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2010. 178 p.
3. CABRERA DIMAS, Lester Salomón. *Controles para la producción y diseño del sistema de refrigeración en una empacadora de camarón*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 222 p.
4. FIGUEROA FUENTES, Mynor Roderico. *Manual para el curso de montaje y mantenimiento de equipo*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 75 p.
5. JUÁREZ QUEVEDO, Eddie José. *Plan de mantenimiento preventivo del equipo de cuarto frío, bodega de COBIGUA en la costa sur*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 218 p.

6. MCQUISTON, Faye. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado: análisis y diseño*. México: Limusa, 2010. 622 p.
7. PITA, Edward G. *Principios y sistemas de refrigeración*. México: Continental, 1994. 548 p.
8. RÍOS HERNÁNDEZ, Juan Carlos. *Diferencia entre sistemas de refrigeración que utilizan refrigerantes convencionales y los que utilizan refrigerantes ecológicos y análisis de la estructura molecular de los refrigerantes*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 130 p.
9. TORRES FUHRER, Marco Giovanni. *Criterios básicos para el diseño y construcción de piso de concreto para cuartos de refrigeración*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 128 p.
10. ZAMBRANO MUÑOZ, Julio Alberto. *Plan de optimización de materiales para la construcción de cuartos refrigerados*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 144 p.

