

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE CUARTOS
REFRIGERADOS PARA ALTA Y BAJA TEMPERATURA**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

DAVID JOSÉ NORIEGA GUZZARDI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1999

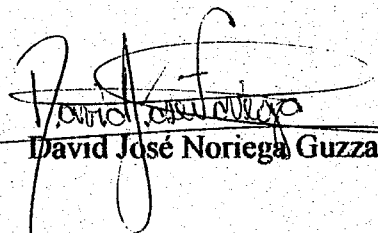
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR



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

**CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE CUARTOS
REFRIGERADOS PARA ALTA Y BAJA TEMPERATURA**

Tema que fue autorizado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 5 de octubre de 1998.


David José Noriega Guzzardi

Guatemala, octubre de 1999.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL I.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II.	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL III.	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL IV.	Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán
VOCAL V.	Br. Mauricio Alberto Grajeda Mariscal
SECRETARIA.	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR:	Ing. Roberto Enrique Molina Thomae
EXAMINADOR:	Ing. Raymond Ludwin Taylor Cruz
EXAMINADOR:	Ing. Julio César Campos Paíz
SECRETARIA:	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

Guatemala, agosto de 1999

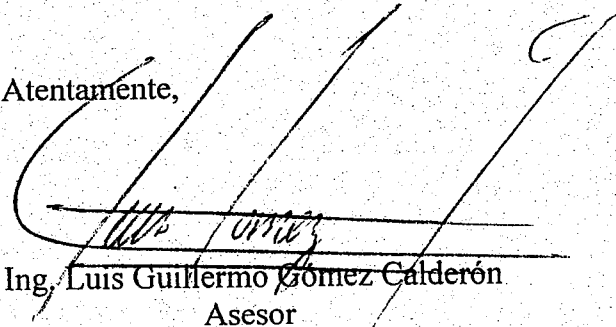
Ingeniero
Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director Escuela Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala.

Estimado Sr. Director:

Atentamente me permito comunicarle que he tenido a la vista el informe final de Tesis de graduación del estudiante David José Noriega Guzzardi, carnet No. 93-12714, titulado "CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE CUARTOS REFRIGERADOS PARA ALTA Y BAJA TEMPERATURA" y, después de realizar las revisiones correspondientes, he encontrado que es satisfactorio, procediendo por este medio a su aprobación.

El autor de esta tesis y el suscrito asesor, nos responsabilizamos por el contenido y conclusiones que en ella se exponen.

Atentamente,



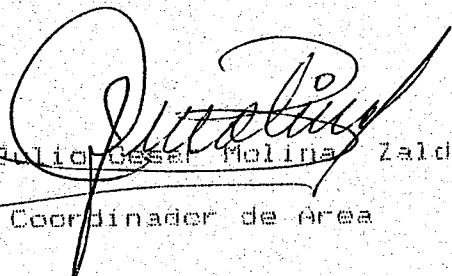
Ing. Luis Guillermo Gómez Calderón
Asesor



FACULTAD DE INGENIERIA

El Coordinador del Area Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer la aprobación del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado Consideraciones para el Diseño de Cuartos Refrigerados para Alta y Baja Temperatura, de el estudiante David José Noriega Guzzardi, recomienda su aprobación.

LEER Y ENSEÑAR A TODOS


Ing. Julio César Molina Zaldívar
Coordinador de Área

Guatemala, septiembre de 1,999.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

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 el visto bueno del Coordinador del Area Térmica, al trabajo Consideraciones para el Diseño de Cuartos Refrigerados para Alta y Baja Temperatura, del estudiante David José Noriega Guzzardi, procede a la autorización del mismo.

LEA Y ENSEÑE A TODOS

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

DIRECTOR

Guatemala, octubre de 1,999.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

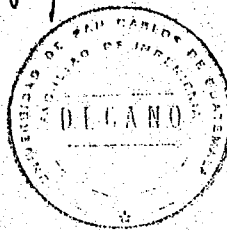
El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, al trabajo de tesis titulado Consideraciones para el Diseño de Cuartos Refrigerados para Alta y Baja Temperatura, presentado por el estudiante universitario David José Noriega Guzzardi, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE

ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS

DECANO

Guatemala, octubre de 1,999.



DEDICATORIA

A Dios

A mis padres

A mis hermanas

A mis sobrinos

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque sin su voluntad, este trabajo hubiese sido imposible realizar.

A mi madre, por todo su esfuerzo y apoyo.

Al Colegio "San Sebastián" y a mis maestros.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala.

A todo el personal de UNIREFRI, por su amistad y apoyo, en especial al Ing. Luis Gómez.

A mis catedráticos, en especial a:

-Ing. Alvaro Gaitán Cerezo.

-Ing. Oscar Maldonado de la Roca.

A Mónica Maldonado y a su mamá.

Y a todas aquellas personas que siempre me han demostrado su amistad y que, de alguna manera, colaboraron en la elaboración de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. CUARTOS REFRIGERADOS	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Métodos y materiales para la fabricación de cuartos refrigerados	4
1.2.1. Material de aislamiento	4
1.2.1.1. El corcho	6
1.2.1.2. Lana de vidrio	7
1.2.1.3. Madera aislante	7
1.2.1.4. Poliestireno expandible	7
1.2.1.5. Poliuretano	8
1.2.2. Formas de construcción	10
1.2.3. Materiales para el montaje de cuartos refrigerados	20
1.3. Métodos para el cálculo de cargas de refrigeración para cuartos refrigerados	25
1.3.1. Método de cálculo detallado	26
1.3.2. Método simplificado para determinar la carga de refrigeración	42

2. EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN	49
2.1. Compresores	53
2.1.1. Función del compresor en el sistema de refrigeración	53
2.1.2. Tipos de compresores y sus aplicaciones	54
2.1.2.1. Compresor rotatorio	55
2.1.2.2. Compresor centrífugo	55
2.1.2.3. Compresor reciprocante	56
2.1.2.3.1. Compresor de tipo abierto	57
2.1.2.3.2. Compresores semi-hermético	58
2.1.2.3.3. Compresores herméticos	59
2.2. Evaporadores	61
2.2.1. Función del evaporador en el sistema de refrigeración	61
2.2.2. Tipos de evaporadores y sus aplicaciones	61
2.3. Condensadores	64
2.3.1. Función del condensador en el sistema de refrigeración	64
2.3.2. Tipos de condensadores y sus aplicaciones	65
2.3.2.1. Condensadores enfriados por aire	65
2.3.2.2. Condensadores enfriados por agua	67
2.3.2.3. Condensadores evaporativos	70
2.4. Ejemplos para la selección de los equipos de refrigeración para cuartos refrigerados	72
2.4.1. Selección de evaporadores	75
2.4.2. Selección de condensadores y compresores	80

3. ACCESORIOS DEL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN, TIPOS Y SELECCIÓN	83
3.1. Sistema de tubería	83
3.1.1. Funciones del sistema de tubería	83
3.1.2. Líneas de gas caliente	85
3.1.3. Línea de líquido	86
3.1.4. Línea de succión	87
3.1.5. Arreglos de tubería para líneas de gas caliente	88
3.1.5.1. El condensador situado por debajo del compresor	88
3.1.5.2. El condensador y el compresor situados al mismo nivel	88
3.1.5.3. El condensador situado por encima del compresor	89
3.1.5.4. Doble tubo vertical	92
3.1.5.5. Separador de aceite	93
3.1.6. Arreglos de tubería para líneas de succión	93
3.1.6.1. El evaporador y el compresor situados al mismo nivel	93
3.1.6.2. El evaporador situado por encima del compresor	94
3.1.6.3. El evaporador situado por debajo del compresor	95
3.1.6.4. Control de reducción de presión	95
3.1.7. Arreglos de tubería para líneas de líquido	96
3.1.8. Materiales utilizados para tubería de refrigeración	97
3.1.9. Selección del diámetro de tubería para refrigeración	99
3.1.10. Accesorios del sistema de tubería	107
3.1.10.1. Sifón colector de aceite	107
3.1.10.2. Eliminador de vibración	107
3.1.10.3. Tubo de aislamiento de la tubería ("armaflex o rubatex")	107
3.1.10.4. Uniones y dobleces con tubería de cobre	108
3.1.10.5. Drenajes	110
3.2. Accesorios del circuito de refrigeración	111

3.2.1. Filtros deshidratantes (succión y líquido)	111
3.2.2. Válvulas de expansión	113
3.2.3. Visores de líquido	116
3.2.4. Separadores de aceite	117
3.2.5. Acumulador de succión	118
3.2.6. Intercambiadores de calor	119
3.2.7. Distribuidor	120
3.2.8. Otras válvulas	122
3.2.8.1. Válvula reguladora de la presión del evaporador (EPR)	122
3.2.8.2. Válvulas reguladores de presión del cárter (CPR)	122
3.2.8.3. Válvulas desviadoras de gas caliente	123
3.2.8.4. Recibidores o depósitos de líquido	124
4. GASES REFRIGERANTES Y ACEITES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	125
4.1. Función de los gases refrigerantes	125
4.2. Tipos de gases refrigerantes	128
4.2.1. Amoníaco (R-717)	129
4.2.2. Hidrocarburos	129
4.2.3. Agua	129
4.2.4. Halocarburos	130
4.2.4.1. Gases refrigerantes con CFC's	131
4.2.4.2. Gases refrigerantes alternativos	133
4.2.4.3. Gases ecológicos	136
4.3. Selección del tipo de refrigerante según la aplicación	138
4.4. Composición de los aceites utilizados en refrigeración	139
4.5. Selección del tipo de aceite, según la aplicación	141

5. ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE CONTROL	143
5.1. Termostato	143
5.2. "Timer" de deshielo	145
5.3. Válvulas solenoides	146
5.4. Protecciones térmicas	148
5.5. Protectores de sobrecarga de las líneas de servicio internas y externas	150
5.6. Protectores termostáticos de los motores	150
5.7. Controles de presión	150
5.8. Control de presión de aceite	152
CONCLUSIONES	157
RECOMENDACIONES	159
BIBLIOGRAFÍA	161
APÉNDICES	163

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

No.	Título	Pág.
1	Paredes para cuartos refrigerados contruidos con ladrillo, piedra u hormigón	11
2	Paredes para cuartos refrigerados contruidos con madera	13
3	Techos para cuartos refrigerados contruidos con hormigón	14
4	Techos para cuartos refrigerados contruidos con madera	15
5	Pisos para cuartos refrigerados contruidos con madera u hormigón	16
6	Paneles para cuartos refrigerados prefabricados	17
7	Partes de un panel para cuartos refrigerados	18
8	Piso aislado con capas de concreto, polietileno y aislamiento	19
9	Estructuras para el soporte de techos en cuartos refrigerados	20
10	Detalles para la instalación de cuartos refrigerados a la intemperie	21
11	Tipos de puertas utilizadas para cuartos refrigerados	22
12	Accesorios utilizados para el montaje de cuartos refrigerados	23
13	Lámpara para cuartos refrigerados y diagrama eléctrico	24
14	Diagrama presión-entalpía correspondientes a ciclos simples de refrigeración	49
15	Sistema simple de refrigeración	51
16	Compresores rotatorios	55
17	Compresor centrífugo	56
18	Compresor abierto	57

19	Compresor semi-hemético	58
20	Compresor hermético	60
21	Unidad condensadora enfriada por aire	65
22	Unidad condensadora enfriada por agua	68
23	Posición de los evaporadores	80
24	Tubería de gas caliente (el condensador situado por debajo del compresor)	88
25	Tubería del gas caliente (el condensador situado al mismo nivel que el compresor)	89
26	Tubería del gas caliente (el condensador por encima del compresor, a 8 pies o menos)	90
27	Tubería del gas caliente (el condensador situado de 8 a 25 pies por encima del compresor)	91
28	Tubería del gas caliente (el condensador situado por encima del compresor, a una altura mayor de 25 pies)	91
29	Tubo vertical doble para el gas caliente	92
30	Instalación del separador de aceite en el tubo vertical de gas caliente	93
31	Tubería de succión (el evaporador y el compresor situados al mismo nivel)	94
32	Tubería de succión (el evaporador situado por encima del compresor)	94
33	Tubería de succión (el evaporador situado por debajo del compresor)	95
34	Tubería de succión equipada con control de reducción de presión	96
35	Gráficas para el cálculo del diámetro de tubería	103
36	Filtros deshidratadores del tipo desechable y del tipo recambiable	112
37	Corte transversal de una válvula típica	115
38	Separador de aceite	118
39	Acumulador de succión	119

40	Cambiador de calor entre la línea de líquido y la de succión	120
41	Termostato de bulbo remoto equipado con un fuelle	144
42	Reloj para descongelación	146
43	Válvula solenoide	147
44	Controlador de doble presión	151
45	Controlador de falla de la presión de aceite y circuito de operación	153
46	Diagrama típico de un circuito eléctrico y de control para cuartos refrigerados de alta temperatura	154
47	Diagrama típico de un circuito eléctrico y de control para un cuarto refrigerado de baja temperatura	155
48	Sistema de demanda de enfriamiento y esquema de alambrado	165
49	Ubicación de los componentes de un sistema de refrigeración	166

TABLAS

No.	Título	Pág.
I	Especificaciones: Elastopor serie 400	10
II	Ganancias por transmisión de calor	28
III	Corrección por efecto solar	29
IV	Infiltración de aire en cuartos refrigerados para almacenamiento	30
V	Calor removido al enfriar el aire exterior hasta la temperatura del cuarto de almacenamiento	31
VI	Propiedades de los productos perecederos y almacenamiento necesario	34
VII	Calor de respiración de los productos	39
VIII	Calor corporal de los ocupantes	41
IX	Equivalente térmico de los motores eléctricos	41
X	Coefficientes típicos de transmisión de calor	42

XI	Determinación simplificada en cuartos refrigerados	43
XII	Selección de evaporadores para alta temperatura	77
XIII	Selección de evaporadores para baja temperatura	79
XIV	Selección de unidades condensadoras con compresor hermético	81
XV	Selección de unidades condensadoras con compresor semihermético	82
XVI	Caídas de presión en conexiones de tubería en pies equivalentes	101
XVII	Factores ambientales de algunos refrigerantes	132
XVIII	Reemplazos provisionales (C)	136
XIX	Reemplazos a largo plazo	138
XX	Miscibilidad aceite-refrigerante	141

LISTA DE SÍMBOLOS

BTU	Siglas en inglés de Unidad Térmica Británica. Unidad de energía.
BTUH	BTU hora.
°C	Grado Celsius (centígrados). Unidad de temperatura.
cal	Caloría. Unidad de energía.
CFC's	Clorofluorocarbonos. Refrigerantes que contienen cloro.
cm	Centímetro. Unidad de longitud.
°F	Grado Fahrenheit. Unidad de temperatura.
hr	Hora. Unidad de tiempo.
kcal	Kilocaloría. Unidad de energía.
kJ	Kilo joule. Unidad de energía.
kW	Kilowatts. Unidad de energía.

lb	Libra. Unidad de masa.
m	Masa.
min	Minuto. Unidad de tiempo.
seg	Segundo. Unidad de tiempo.
SST	Siglas en inglés de Temperatura saturada de succión.
TD	Siglas en inglés de diferencia de temperatura.
Ton	Tonelada. Unidad de cantidad de energía térmica.

GLOSARIO

Azeótropos	La mezcla de refrigerantes que se comporta como una sustancia homogénea.
Caída de presión	La pérdida de presión, a través de una tubería.
Calor específico	La cantidad de calor necesaria para cambiar en un grado, la temperatura de una unidad de masa de una sustancia.
Calor Latente	El cambio de entalpía de una sustancia, cuando cambia de estado.
Calor de respiración	El calor producido por la maduración de las frutas y los vegetales.
Carga de refrigeración	La cantidad de captación de calor entregada por el medio y espacio refrigerado, o la cantidad requerida de remoción de calor, de dicho medio o espacio.
Descongelación	El proceso de remoción del hielo acumulado en la superficie del evaporador.
Efecto de refrigeración	La cantidad de calor absorbida por el refrigerante en un sistema de refrigeración.

Halocarburos	Es un grupo de sustancias de estructura química similar, utilizadas a menudo como refrigerantes.
Permes	Es una medida de la habilidad de un material para resistir la transmisión de vapor de agua. Relativo a la permeabilidad.
Refrigeración	La remoción de calor (enfriamiento) de una sustancia, para llevarla mantenerla a una temperatura relativamente baja.
Refrigerante	Es un fluido que se utiliza para producir un efecto de enfriamiento.
Tonelada de refrigeración	Una unidad que mide la cantidad de energía térmica. Se utiliza en la refrigeración y equivale a 12,000 Btu/hora.
Unidad térmica británica	(btu) Unidad de energía (térmica); es el calor necesario para elevar un grado Fahrenheit la temperatura de una libra de agua a 60° F.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de refrigeración tienen una amplia aplicación en la industria, comercio y el hogar; mantienen los productos perecederos en buen estado y retardan su descomposición o alteración, durante el transporte, manipulación y almacenamiento, hasta su consumo o utilización final.

Para dicho fin, existen medios de almacenamiento como los cuartos refrigerados. Estos tienen la ventaja de poderse construir con diversos materiales de aislamiento y con diferentes dimensiones. La selección del material aislante es un aspecto importante en el diseño de los cuartos refrigerados, ya que de eso depende, en gran parte, la eficiencia del sistema de refrigeración.

Los sistemas de refrigeración se componen de varios elementos como los equipos de refrigeración, el sistema de tubería, el circuito eléctrico y de control, que varían, según la aplicación tanto en alta, como baja temperatura.

En este trabajo, se presentan las consideraciones para el diseño de cuartos refrigerados; la selección de los componentes del sistema de refrigeración, con aplicación en alta y baja temperatura. Se explica también la función de cada uno de los de dichos componentes.

Estas consideraciones se pueden utilizar como una guía práctica para el diseño de cuartos refrigerados, y la selección de los componentes del sistema de refrigeración.

1. CUARTOS REFRIGERADOS

1.1. Antecedentes

Las civilizaciones antiguas utilizaban la refrigeración cuando se disponía de ella en forma natural. Los emperadores romanos hacían que los esclavos transportaran el hielo y la nieve desde las montañas, con el fin de utilizarlos para preservar alimentos y disponer de bebidas frías en la estación cálida. Por supuesto que estas fuentes naturales de refrigeración eran extremadamente limitadas, si se piensa en su ubicación, temperaturas, y la distancia a que se podían transportar. Alrededor del año 1850, se empezaron a desarrollar los medios para producir refrigeración, utilizando maquinaria; a estos se les dió el nombre de refrigeración mecánica.

Se emplea el término refrigeración para indicar el mantenimiento de un cuerpo a una temperatura menor que la de sus alrededores. Para mantener o producir esta baja temperatura, es necesario transferir calor desde el cuerpo o espacio por enfriar. Un refrigerador es un dispositivo que se emplea para lograr este efecto a base de gastar energía del exterior en forma de trabajo o de calor, o de ambos. Para que el refrigerador opere continuamente, es necesario, además, que ceda calor a un sumidero externo, por lo general, la atmósfera. De esta manera, se puede considerar a los refrigeradores como máquinas de calor que trabajan en sentido inverso; para efectos de comparación, con el criterio de Carnot.

La capacidad de enfriamiento de un sistema de refrigeración muchas veces se mide en toneladas de refrigeración. Una tonelada de refrigeración es la capacidad para eliminar calor del cuerpo frío con una rapidez de 200 BTU / min. (840 cal/seg.).

Se tiene entonces:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Ton de refrigeración} &= 288,000 \text{ BTU de refrigeración/día} \\ &= 12,000 \text{ BTU de refrigeración/hr.} \\ &= 200 \text{ BTU de refrigeración/min.} \end{aligned}$$

El término "tonelada" se deriva del hecho de que para fundir una tonelada de hielo a 32° F (0° C) en 24 hrs, se necesitan aproximadamente 288,000 BTU (72,576,000 cal).

En unidades del sistema internacional, SI

$$\begin{aligned} 1 \text{ Ton de refrigeración} &= 211 \text{ kJ/min} \\ &= 3516 \text{ kW} \end{aligned}$$

Es conveniente clasificar las aplicaciones de la refrigeración en las siguientes categorías: doméstica, comercial, industrial y de aire acondicionado. A veces se considera a la refrigeración aplicada al transporte como una categoría aparte; la refrigeración doméstica se utiliza en la preparación y conservación de los alimentos, fabricación de hielo, y para enfriar bebidas en el hogar. La refrigeración comercial se utiliza en las tiendas de venta al menudeo, restaurantes e instituciones, con los mismos fines que en el hogar. La refrigeración industrial es necesaria en la industria alimenticia para el procesamiento, preparación y preservación en gran escala. Aquí se incluye su utilización en las plantas de enfriamiento y congelación de alimentos, cuartos refrigerados, cervecerías y lecherías, para citar sólo unas pocas aplicaciones. Cientos de otras industrias utilizan la refrigeración, entre ellas se encuentran las plantas para la fabricación de hielo, refinerías de petróleo y plantas de la industria farmacéutica.

La refrigeración también se utiliza extensamente, tanto en el aire acondicionado para el confort de las personas, como en el aire acondicionado para uso industrial.

Para desarrollar la disciplina frigorífica propiamente dicha, y antes de citar los cuartos refrigerados cabe aclarar que en vez de usar las expresiones de “refrigeración comercial” y de “refrigeración industrial”, se hará más bien una primera y fundamental clasificación, como reflexión en el más amplio sentido de la palabra. Esta se presenta de la forma siguiente:

1. Refrigeración para conservación o de alta temperatura. Se escogen, en esta denominación, todas aquellas instalaciones que en mayor o menor medida se adapten a las actividades siguientes:

- Cámaras de conservación para productos alimenticios, en mercados y comercios al público.
- Vitrinas de exposición para grandes almacenes al público, como también a pequeños y medianos comercios.
- Armarios para bares y cafeterías, almacenamientos de bebidas en general, también furgones de reparto.
- Bancos de sangre y de productos clínicos, así como también depósitos de cadáveres, etc.

2. Refrigeración para congelación o de baja temperatura.

- Frigoríficos mayoristas de distribución y camiones de transporte desde las macro producciones.
- Recepción y almacenamiento de pescados en general.
- Mataderos de reses en general y almacenaje en grandes cuartos.
- Fabricación de hielo en barras, pistas de patinaje.

1.2. Métodos y materiales para la fabricación de cuartos refrigerados

1.2.1. Material de aislamiento

El aislamiento es el método más eficaz de reducir la transmisión de calor. Existen varios productos que se acomodan a los requerimientos de cada aplicación, aunque unos son mejores que otros. Las clasificaciones generales, de las formas disponibles de aislamiento son:

1. Material flojo
2. Flexible
3. Rígido o semirígido
4. Reflectivo, y
5. En forma de espuma.

El aislamiento con material flojo se usa principalmente en estructuras residenciales. Los aislamientos flexibles, tales como fibra de vidrio en mantas o en rollos, son también comunes en las construcciones nuevas y vienen con un material, tal como el papel kraft, que actúa como barrera de vapor. En algunas aplicaciones, se encuentra disponible también con un material reflectivo para reducir los efectos del calor radiante. Los aislamientos rígido y semirígido son hechos de materiales, como láminas de corcho, polietileno, espuma de vidrio, poliuretano, los cuales son fabricados en varias dimensiones y formas, como placas, láminas o bloques. Algunas tienen cierto grado de fuerza estructural, otras no. En esta categoría, se encuentra la más amplia aplicación a la refrigeración: enfriadores, congeladores, vitrinas, etc. A causa de su densidad y composición celular, ofrecen una barrera de vapor incorporado, contra la penetración de humedad. El aislamiento tipo espuma se usa junto con los aislantes rígidos, en la construcción de cuartos refrigerados.

El control de la humedad en el aislante es muy importante, ya que el agua es un buen conductor de calor; alrededor de 15 veces más que la fibra de vidrio. Así, si hay agua en el aislamiento, su resistencia estará grandemente reducida, sin mencionar el problema físico que causa en la construcción. Por consiguiente, el aislamiento debe estar seco cuando se instala y debe sellarse perfectamente, para que permanezca seco. Los sellos de vapor pueden hacerse de varios materiales: carcasa de metal, lámina de metal, película plástica, recubrimiento con asfalto, etc. Algunos son más eficaces que otros y la selección depende de la aplicación. La habilidad de un material para resistir la transmisión de vapor de agua se mide en permes, que es un término relativo a la permeabilidad.

Para aplicaciones de refrigeración de baja temperatura, tales como congeladores, se necesitan materiales con 0.10 permes o menos.

La eficacia del aislamiento y la barrera de vapor se reducen grandemente si existen aperturas, no importa cuán pequeñas sean. Tales aperturas pueden ser causadas por trabajo deficiente durante la construcción o por sellado negligente alrededor de aperturas para líneas de refrigerante, líneas de drenaje, alambrado eléctrico, etc., todos los cuales son parte de la responsabilidad del técnico de refrigeración. La elección de un aislamiento térmico cualquiera, se relaciona siempre, por norma general, con una de las tres razones siguientes:

1. Economía en los consumos de combustible.
2. Exigencias técnicas de mantener una determinada temperatura o de hacer llegar un fluido (vapor, agua caliente, etc.) con la mínima pérdida de calorías, a puntos a menudo muy alejados de la fuente de calor.
3. Necesidad de obtener una conveniente protección contra reverberaciones caloríficas excesivas, con relación al ambiente, entre distintas partes de una instalación. Refiriéndose esto al reflejo de calor entre una superficie luminosa y otra pulida.

El prevalecer de uno u otro punto determina las características funcionales del revestimiento aislante, cuyo tipo y espesor quedan luego establecidos por el cálculo, de acuerdo con los factores específicos que puedan presentarse al efecto, entre ellos:

1. Valor de las temperaturas que se va considerar.
2. Recuperación de calor o pérdida de temperatura admitida.
3. Ubicación en recinto cerrado o a la intemperie.
4. Disposición, forma, destino y dimensiones de los equipos e instalaciones, etc.

Aún cuando resulte prácticamente imposible alcanzar la eficiencia ideal, esto es, 100%, existiendo un límite de saturación más allá del cual de nada serviría aumentar los espesores (pues la misma masa aislante logra siempre transmitir un parte, aunque mínima, del calor latente que va paulatinamente acumulándose en su interior); dicho límite será, sin embargo, técnica y económicamente tanto más alto, cuanto menor resulte el coeficiente de conductividad calorífica, y el calor específico propios del material aislante que se adopte.

Lo que verdaderamente aísla es el aire encerrado, impedido de circular; es decir que ha de considerarse mejor y más eficaz el que más impida la circulación del aire.

Entre los materiales aislantes más comunes se encuentra:

1.2.1.1. El corcho

El corcho natural es la corteza del alcornoque, que crece en los países del mediterráneo. La corteza es una substancia orgánica consistente en un gran número de pequeñas células, cuyas finas paredes son de madera. Las paredes separan las células, y éstas están rellenas de aire.

El corcho natural puede mejorarse considerablemente, calentándolo en una caldera cerrada, algunas veces con la adición de asfalto. A temperaturas altas, el corcho ablanda, y la caldera se pone entonces bajo vacío, para que el aire de las células se expanda e infle el corcho. Aún bajo vacío, se deja enfriar y la pequeña cantidad de resina del corcho, ayudada por algún asfalto, mantendrá el corcho en estado expansionado. El producto de este proceso es el corcho expandido, y sus propiedades son mejores que las del corcho natural.

1.2.1.2. Lana de vidrio

Consiste en fibras de vidrio muy finas, tiene muy buena capacidad como aislante, no absorbe agua, pero es aconsejable protegerlo contra ésta.

1.2.1.3. Madera aislante

Consiste en fibras de maderas seleccionadas por sus mayores propiedades aislantes, tratadas químicamente e impermeabilizadas. Gracias a este procedimiento fibrador especial, estas fibras son transformadas en grandes y resistentes hojas o tablas de peso liviano, dotadas de altas propiedades aisladoras contra el calor, frío y ruidos.

1.2.1.4. Poliestireno expandible

Conocido comercialmente como "styropor" que es la perla o materia prima antes de ser procesada, y por "duropor" las láminas o material ya listo para su utilización; éste es un derivado del petróleo, que se presenta en forma de moléculas o perlas que tienen en su interior un gas interno, generalmente pentano, el cual por medio de un tratamiento de vapor a una temperatura de 212°F (100°C) aproximadamente, ocurre una reacción que tiende a desalojar el gas produciendo una expansión de la molécula; el poliestireno es preparado por polimerización.

Tiene la gran ventaja de que puede ser moldeado, y es excelente aislante térmico y eléctrico, de baja densidad, excelente estabilidad dimensional y baja absorción de humedad. Tiende mucho a la rajadura y al agrietamiento.

1.2.1.5. Poliuretano

El poliuretano, por sus múltiples posibilidades de producción y sus excelentes propiedades, lo han convertido en el material preferido para el aislamiento en refrigeradores, congeladores, cuartos refrigerados, hieleras, termos, paneles para construcción, etc.

Los uretanos, aunque constituyen tan sólo una pequeña parte de la gran familia de los plásticos, son sin lugar a duda el grupo de polímeros más espectacular y revolucionario hasta hoy conocido, pues reúnen las mayores posibilidades de variación y difícilmente plástico alguno pudiera comparársele.

Los isocianatos, de donde básicamente se derivan los uretanos, fueron descubiertos en Alemania a finales del siglo pasado.

Uretano es el nombre común con que se conoce el etil carbamato. Cuando las moléculas poliméricas se unen entre sí a través de puentes de uretano, al polímero resultante se le da el nombre poliuretano.

Para la formación de las espumas de poliuretano, se aprovecha el calor generado en la reacción exotérmica entre el polioliol y el diisocianato para volatizar un agente de soplado de bajo punto de ebullición previamente mezclado, y así proporcionan el efecto espumante. La formación de celdas dentro del polímero implica el uso de agentes tensoactivos que determinan el tamaño y fórmula de las mismas, y al mismo tiempo las estabilizan.

El proceso de fabricación del poliuretano es en principio sumamente sencillo. Para producir espuma de poliuretano utilizada en el campo de la refrigeración, se utiliza un sistema de poliuretano de dos componentes.

Los componentes se denominan generalmente como "A" y "B". El componente "A" estará compuesto por una mezcla de polioles, agente de espumado, los catalizadores metálico y amínico, un agente tensoactivo, pigmentos y algunos otros aditivos, según sea el caso. El componente "B" estará constituido, en su mayor parte, por diisocianatos mezclados ocasionalmente con otros productos.

A continuación, se presentan los datos técnicos del poliuretano utilizado para refrigeración y distribuido por un representante de una empresa que se dedica a producir estos químicos.

Tabla I. Especificaciones: Elastopor serie 400

Componente A	441/A	443/A	445/A	447/A
Componente B	441/B	443/B	445/B	447/B
Relación de mezcla A:B:	100:95	100:95	100:95	100:95
	a	a	a	a
	100:95	100:105	100:105	100:105
Tiempo de inicio (s):	24-28	13-15	15-16	12-13
Tiempo de ascenso (s):	130-170	90-110	150-155	125-140
Tiempo de "Tocke-Free"/Hilo (s):	130-170	100-120	160-165	72-77
Densidad "Core" libre: (Kg/m ³)	26-28	17-19	25-26	19-20
Viscosidad (Ops) @ 25 C				
Componente A:	450±10	150±20	450±50	300±100
Componente B:	200±30	200±30	200±30	200±30
Peso específico:				
Componente A:	1.1300±0.05	1.1600±0.05	1.1000±0.05	1.1900±0.05
Componente B:	1.2200±0.02	1.2200±0.02	1.2200±0.02	1.2200±0.02
Agente de soplado:	CFC 11	CFC 11	CFC 11	CFC 11

FUENTE: **Poliolos**, (boletín). Poliolos, S.A. de C.V., México, D.F.

Muchos materiales aislantes no son convenientes para cuartos refrigerados, pues absorben humedad en mayor o menor grado, pero a pesar de este hecho se usan frecuentemente, e incluso con excelentes resultados, si se proporciona protección adecuada contra la humedad, evitando que dicha humedad del aire circundante penetre en el aislamiento y se condense dentro de él.

1.2.2. Formas de construcción

Un cuarto refrigerado se puede construir de diversas formas y materiales. Existen cuartos que llevan trabajos de albañilería y cuartos pre-fabricados. Los cuartos pre-fabricados han tomado un auge importante, debido al corto tiempo de fabricación y montaje, y a la eficiencia de los mismos.

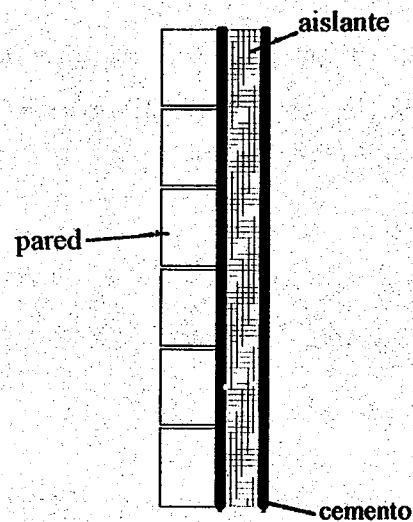
Las formas de fabricar un cuarto de obra de albañilería es diversa, y se presenta a continuación:

1. Paredes de ladrillo, piedra u hormigón

El aislante que se va a utilizar es de 4 pulgadas (10.16 cm), y puede ser de un grueso o de dos gruesos de 2 pulgadas (5.08 cm) cada uno. El material adherente puede ser: cemento portland o asfalto.

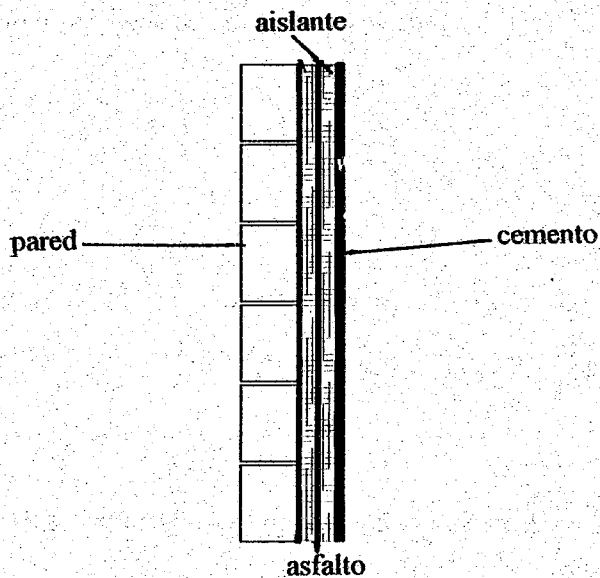
Cuando se utilizan 2 gruesos de aislamiento, el segundo grueso de aislante se debe fijar al primero con clavos de hierro galvanizado o clavijas de madera.

Figura 1. Paredes para cuartos refrigerados construidos con ladrillo, piedra u hormigón



(a) Material adherente: cemento

Aislante: 1 grueso



(b) Material adherente: asfalto

Aislante: 2 gruesos

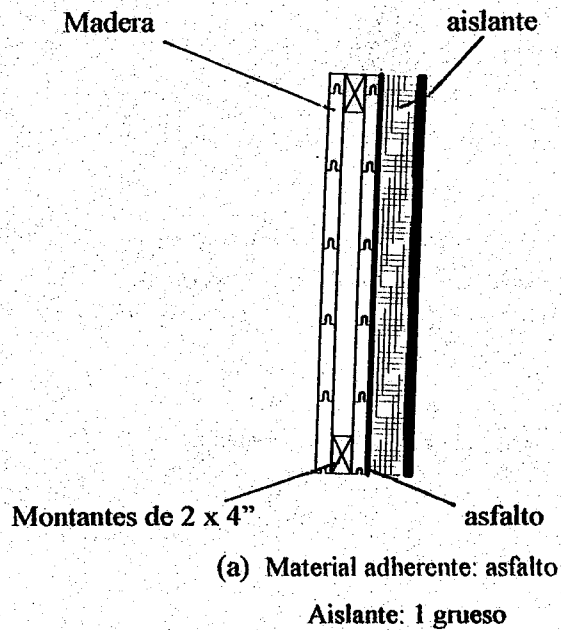
2. Paredes de madera

El aislante que se va a utilizar es de 4 pulgadas (10.16 cm), y puede ser de un grueso o de 2 gruesos de 2 pulgadas (5.08 cm) cada uno. El material adherente puede ser cemento portland o asfalto.

Cuando se utilizan paredes de madera en cuartos refrigerados, se debe recubrir el tabique de madera con papel impermeable, y deben sobresalir 3 pulgadas (7.62 cm) en todas las dimensiones del tabique.

Cuando se utilizan 2 gruesos de aislamiento, el segundo grueso de aislante se debe fijar al primero con clavos de hierro galvanizado o clavijas de madera.

Figura 2. Paredes para cuartos refrigerados construidos con madera



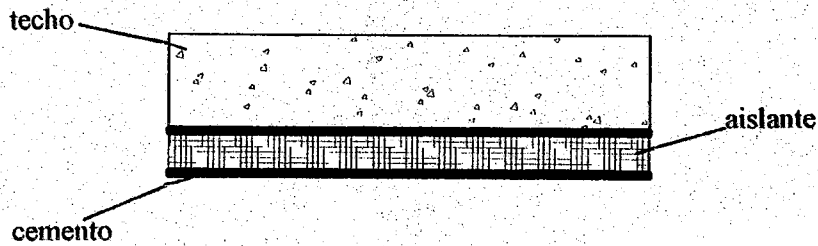
3. Techos de hormigón

El aislante que se va a utilizar es de 4 pulgadas (10.16 cm), y puede ser de un grueso o de 2 gruesos de 2 pulgadas (5.08 cm) cada uno. El material adherente puede ser cemento portland o asfalto.

Al utilizar cemento entre la superficie del techo y el aislante, se debe sujetar el aislante hasta que fragüe el mortero de cemento.

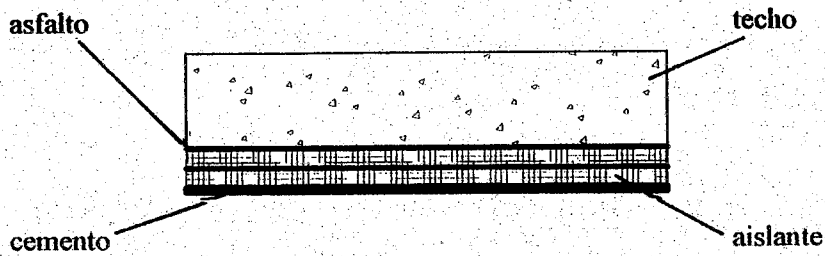
Cuando se utilizan 2 gruesos de aislamiento, el segundo grueso de aislante se debe fijar al primero con clavos de hierro galvanizado o clavijas de madera.

Figura 3. Techos para cuartos refrigerados construidos con hormigón



(a) Material adherente: cemento

Aislante: 1 grueso



(b) Material adherente: asfalto

Aislante: 2 gruesos

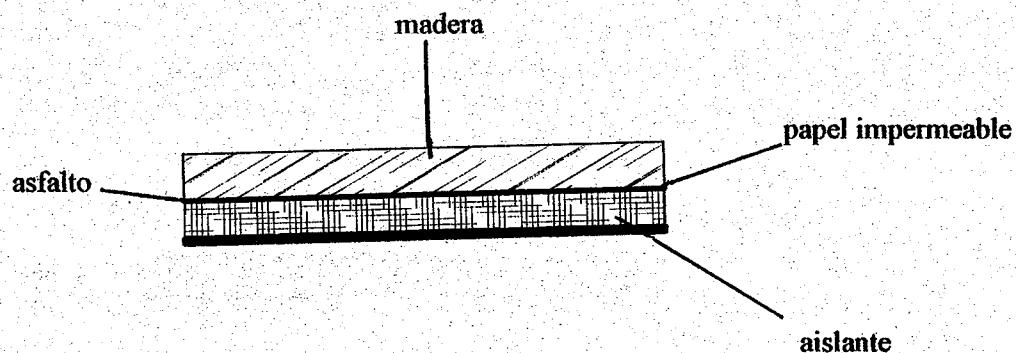
4. Techos de madera

El aislante que se va a utilizar es de 4 pulgadas (10.16 cm), y puede ser de un grueso o de 2 gruesos de 2 pulgadas (5.08 cm) cada uno. El material adherente es asfalto.

Al utilizar techos de madera en cuartos refrigerados, se debe recubrir el tabique de madera con papel impermeable, y deben sobresalir 3 pulgadas (7.62 cm) en todas las dimensiones del tabique.

Cuando se utilizan 2 gruesos de aislamiento, el segundo grueso de aislante se debe fijar al primero con clavos de hierro galvanizado o clavijas de madera.

Figura 4. Techos para cuartos refrigerados contruidos con madera



(a) Material adherente: asfalto

Aislante: 1 grueso

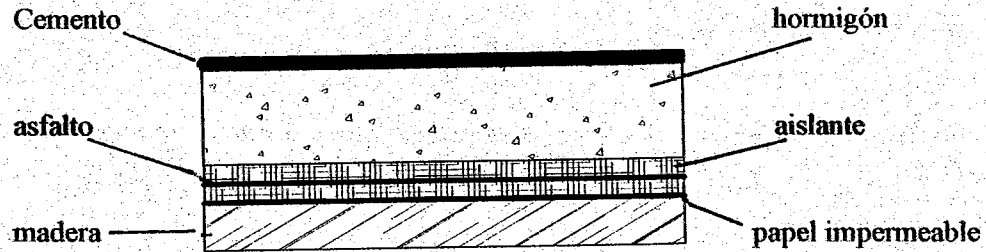
5. Pisos de madera y hormigón

El aislante que se va a utilizar es de 4 pulgadas (10.16 cm), y puede ser de un grueso o de 2 gruesos de 2 pulgadas (5.08 cm.) cada uno.

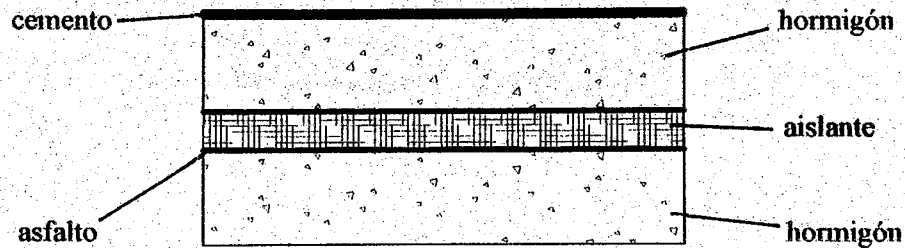
Para el refuerzo del piso, se puede utilizar un entarimado con travesaños de 4 x 1 pulgadas (10.16 x 2.54 cm), a una distancia de 37 pulgadas (93.98 cm) entre centros.

Los acabados del piso pueden ser de pavimento cemento portland.

Figura 5. Pisos para cuartos refrigerados contruidos con madera u hormigón



(a) Suelo de madera con piso de hormigón y acabado con cemento



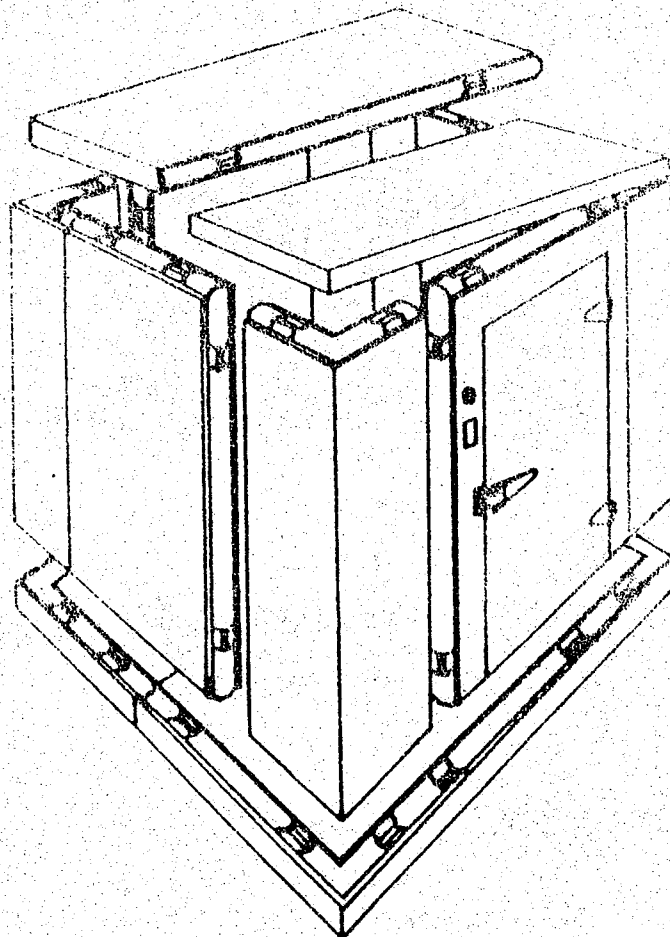
(b) Suelo de hormigón con piso de hormigón y acabado con cemento

Como se mencionó anteriormente, los cuartos refrigerados pre-fabricados son preferidos a los cuartos refrigerados con obra de albañilería, por el corto tiempo de fabricación e instalación; además, por la eficiencia en el aislamiento, que significa menos transferencia de calor a través del cuarto, por lo tanto es menor el consumo de energía.

Los cuartos refrigerados prefabricados más comunes son los aislados con poliestireno expandido o poliuretano; el poliuretano es el más eficiente en cuanto a la transferencia del calor.

Los cuartos refrigerados prefabricados se construyen en paneles, como lo demuestra la siguiente figura:

Figura 6. Paneles para cuartos refrigerados prefabricados

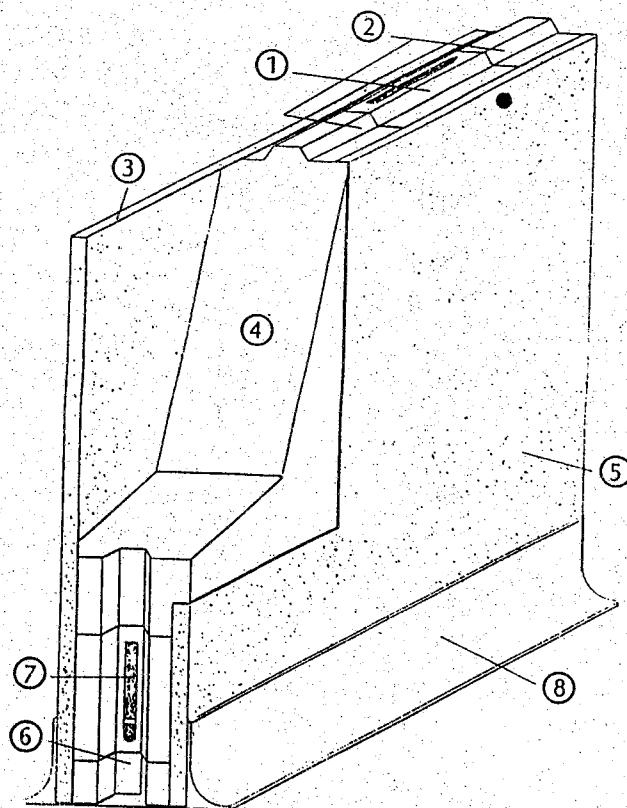


FUENTE: Mr. Winter, (catálogo). Mr. Winter Inc., Estados Unidos.

Cada panel está formado generalmente por las siguientes partes:

Figura 7. Partes de un panel para cuartos refrigerados

1. Seguro "macho"
2. Montante "macho"
3. Lámina metálica (aluminio corrugado color natural o blanco, acero galvanizado corrugado o liso, acero inoxidable, galvalume)
4. Aislamiento
5. Lámina metálica
6. Montante "hembra"
7. Seguro "hembra"
8. Nivelador de vinyl



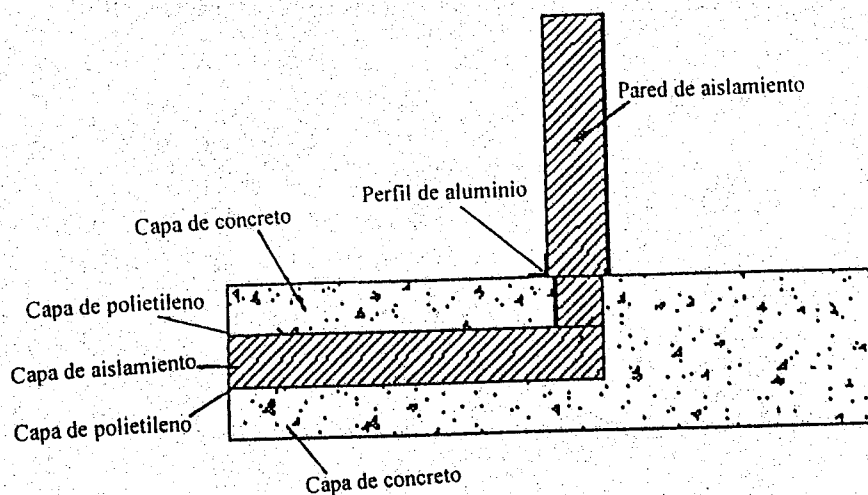
FUENTE: Mr. Winter, (catálogo). Mr. Winter Inc., Estados Unidos.

Es común encontrar aplicaciones donde es necesario aislar el piso del cuarto refrigerado. El interior de los paneles que forman el piso está hecho con acero galvanizado de calibre 16 o 14, y depende del tráfico a que estará expuesto el cuarto.

Adicionalmente el piso se puede reforzar con madera o puede ser de acero inoxidable en los casos con mayor riesgo de corrosión. También es posible fabricar rampas interiores o exteriores que faciliten el acceso de vehículos al cuarto. Incluso en casos de extremo tráfico, se utiliza lámina de acero repujado de 1/8 de pulgada (0.32 cm.) que añade gran resistencia al piso aislado.

Otra forma de aislamiento, para pisos de cuartos refrigerados, es fabricando una capa de material aislante cubierto por concreto para formar la base del cuarto. Este tipo de piso es utilizado comúnmente en cuartos de procesos y producto terminado, y ofrecen una mejor resistencia al desgaste por tráfico, pero no pueden ser trasladados de un lugar a otro.

Figura 8. Piso aislado con capas de concreto, polietileno y aislamiento



FUENTE: "Seminario de cámaras frigoríficas Mr. Winter Inc.", Mr. Winter Inc. Estados Unidos.

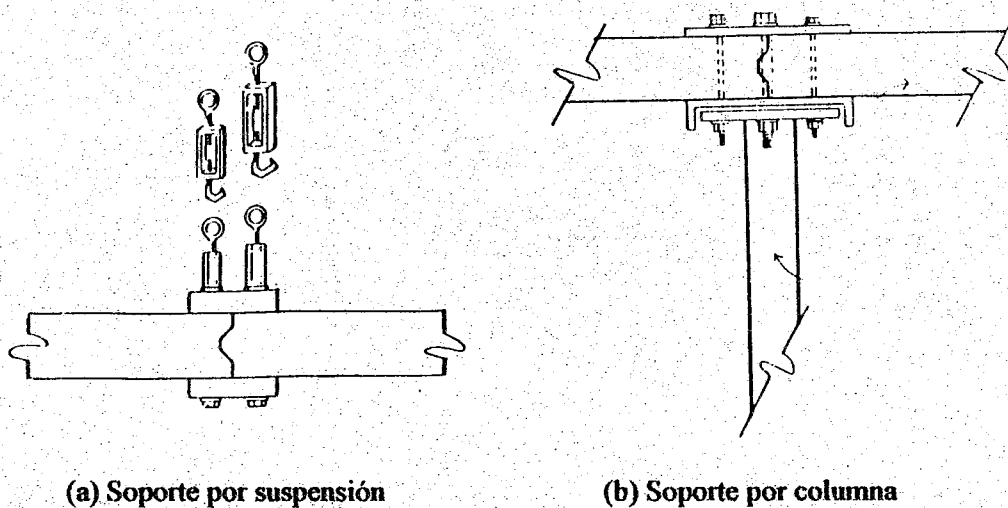
1.2.3. Materiales para el montaje de cuartos refrigerados

La instalación de cuartos refrigerados pre-fabricados es relativamente sencilla; para lograr el funcionamiento adecuado, una parte muy importante la juega el montaje de los paneles y la puerta, ya que se debe evitar que queden espacios entre los paneles por donde pueda entrar el calor.

En todos los espacios donde pueda haber infiltraciones de calor, se deben cubrir con algún tipo de sello basado en polimeros como la silicona.

En cuartos refrigerados grandes, se deberá proveer un sistema de soporte adicional para instalar los paneles del techo, y mantener la solidez estructural del cuarto. A continuación, se presentan algunos ejemplos.

Figura 9. Estructuras para el soporte de techos en cuartos refrigerados

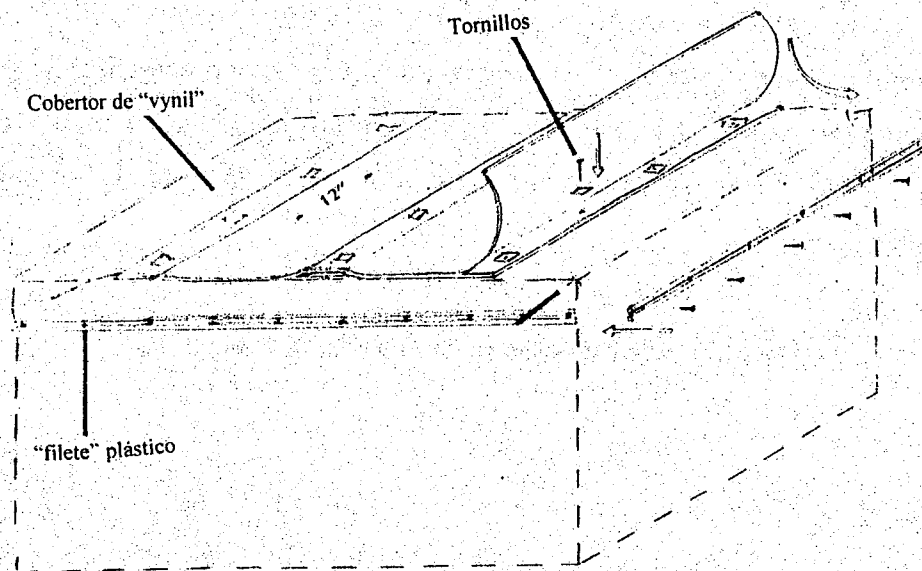


FUENTE: Mr. Winter, (catálogo). Mr. Winter Inc., Estados Unidos.

La soportería de los techos para cuartos refrigerados también se pueden fabricar con perfiles metálicos, como por ejemplo costanera y perfil C.

Cuando se hacen instalaciones a la intemperie, se deberá proteger el techo del cuarto refrigerado contra la lluvia, como se demuestra a continuación.

Figura 10. Detalles para la instalación de cuartos refrigerados a la intemperie

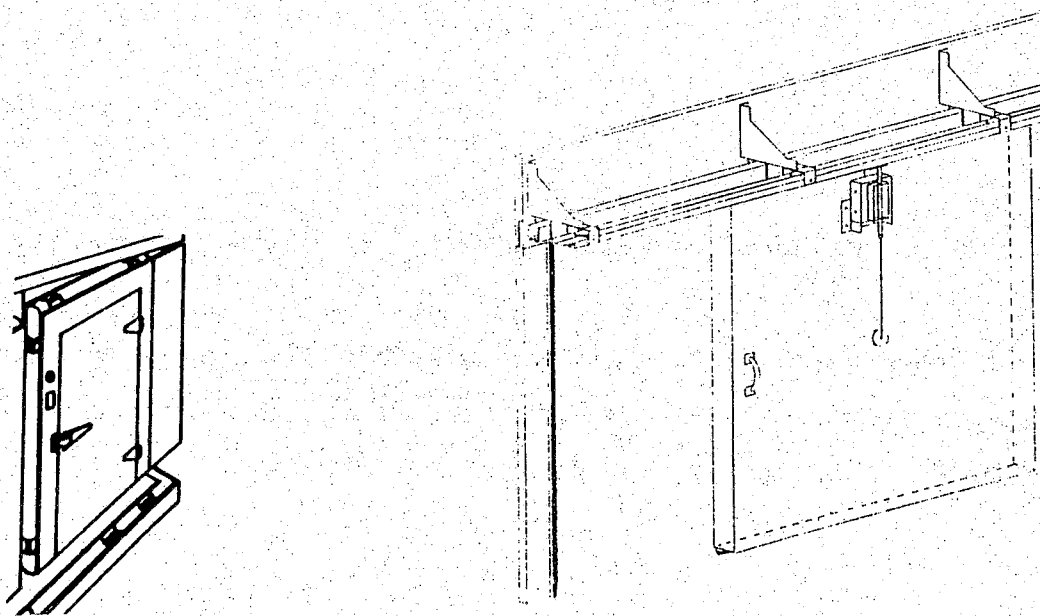


FUENTE: Mr. Winter, (catálogo). Mr. Winter Inc., Estados Unidos.

Es importante aclarar que las instalaciones a la intemperie no son recomendadas, ya que aumentaría la carga de calor en el cuarto, con lo cual aumenta la capacidad de los equipos de refrigeración, y por lo tanto los costos del proyecto.

Un factor muy importante en la instalación de un cuarto refrigerado es la puerta, que debe ser cuidadosamente seleccionada de acuerdo con la aplicación del equipo. Para seleccionar la puerta, se deben tener en cuenta factores como el tráfico, el tamaño de la mercancía que va a ser almacenada, la diferencia de temperatura en el exterior y el interior del cuarto, la presentación de la caja, la facilidad de acceso y las limitaciones de espacio. Existe una gran variedad de puertas para cuartos refrigerados, que incluye: puertas de bisagras, puertas corredizas manuales, puertas corredizas eléctricas, puertas de doble acción, puertas verticales y puertas de vidrio. En aplicaciones para baja temperatura, se deben suministrar resistencias para evitar la condensación y congelación de agua entre la puerta y el marco. Las puertas son fabricadas en un marco de madera con alma de aislamiento, y son recubiertas con el mismo material de acabado de las paredes de la caja.

Figura 11. Tipos de puertas utilizadas para cuartos refrigerados



(a) Puerta abatible

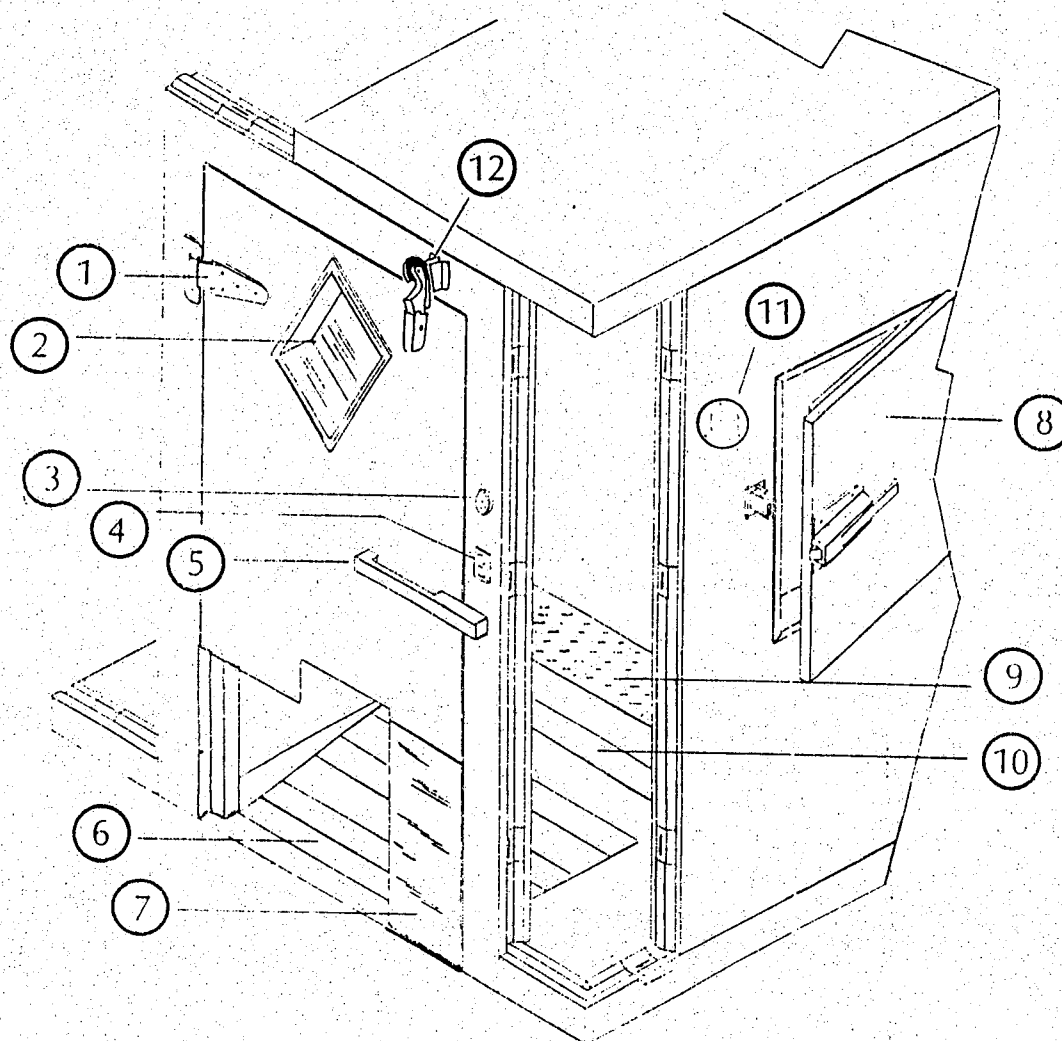
(b) Puerta corrediza

FUENTE: Mr. Winter, (catálogo). Mr. Winter Inc., Estados Unidos.

A continuación, se muestran algunos accesorios que se pueden instalar en un cuarto refrigerado.

Figura 12. Accesorios utilizados para el montaje de cuartos refrigerados

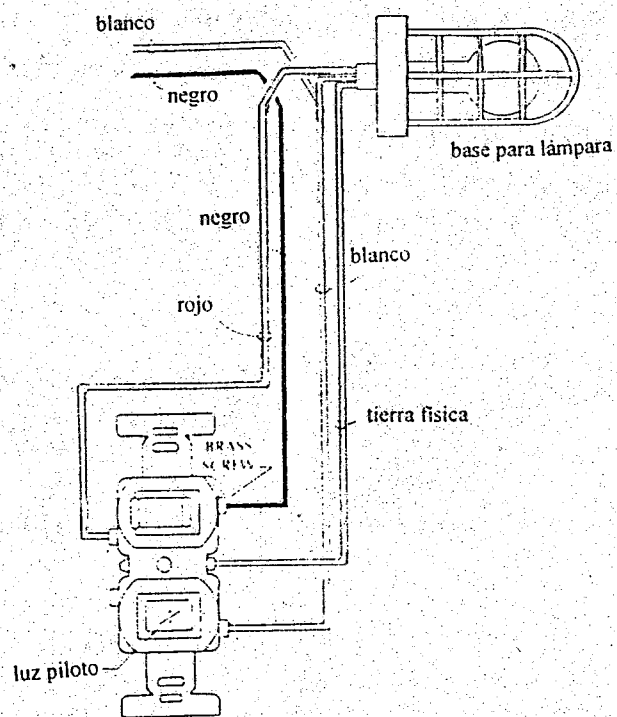
- | | | |
|---------------------------------|--------------------------|---------------|
| 1. Bisagra | 2. Ventana | 3. Termómetro |
| 4. Interruptor con luz piloto | 5. Picaporte | 6. Rampa |
| 7. Cobertor metálico | 8. Puerta secundaria | |
| 9. Protector metálico para piso | 10. Liberador de presión | |
| 11. Lámina antideslizante | 12. Seguro para puerta | |



FUENTE: Mr. Winter, (catálogo). Mr. Winter Inc., Estados Unidos.

Un accesorio muy importante es la lámpara para iluminar el interior del cuarto refrigerado, ya que la misma debe ser a prueba de humedad.

Figura 13. Lámpara para cuartos refrigerados y diagrama eléctrico



FUENTE: Mr. Winter, (catálogo). Mr. Winter Inc., Estados Unidos.

1.3. Métodos para el cálculo de cargas de refrigeración para cuartos refrigerados

Conociendo el producto y la cantidad que se desea almacenar, la temperatura de almacenamiento, las dimensiones del cuarto refrigerado y los materiales de construcción, un paso muy importante en el diseño de cuartos refrigerados es la determinación de la carga de refrigeración, ya que con este dato se conocerá la cantidad de calor que se debe remover del espacio refrigerado, y así se determinará el tamaño del equipo para remover ese calor.

Por lo tanto, la carga de refrigeración se define como:

“La cantidad de calor que se debe remover del espacio refrigerado, que se requiere para mantener el espacio o el producto a las condiciones deseadas”.

La carga de refrigeración es el resultado de las ganancias de calor, a partir de varias posibles fuentes, las que es posible clasificar convenientemente, según las siguientes categorías:

1. Transmisión de calor a través de paredes, pisos, cielo raso o techo.
2. Calor procedente de la infiltración de aire caliente a través de las puertas del cuarto refrigerado.
3. Calor procedente del producto que se va a refrigerar.
4. Ganancias térmicas de fuentes internas, que no sean los productos. Estas incluyen, por lo general, el calor producido por las personas que ingresan al cuarto, las lámparas y los motores del evaporador.

Existen dos métodos para el cálculo de la carga de refrigeración:

1. El método de cálculo detallado
2. El método de cálculo simplificado

Entre ellos, existen diferencias, ventajas y desventajas, que se verán detalladamente a continuación.

1.3.1. Método de cálculo detallado

Este método calcula cada una de las categorías anteriormente expuestas, basándose en ecuaciones y tablas que se verán después.

Una de las principales ventajas es que el resultado obtenido de este método de cálculo es bastante preciso. Para iniciar con el cálculo, se empieza por la transmisión de calor; que es el resultado de la conducción y la convección a través de las superficies circundantes, como consecuencia de la diferencia de la temperatura entre el interior y el exterior del cuarto. El cálculo se realiza por medio de la ecuación de la transferencia de calor.

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (1)$$

Donde:

Q = transferencia de calor en BTU/hr.

U = coeficiente de transferencia total de calor en BTU/HR - pie² - °F

A = superficie de transferencia de calor en pie²

ΔT = diferencia de temperatura entre las temperaturas de diseño interior y exterior en °F

No obstante, para facilitar los cálculos de la carga de refrigeración, se han calculado las ganancias en la transmisión de calor, mediante la ecuación (1) para diversas temperaturas y coeficientes de transmisión de calor, y presentadas en la tabla II, cuyos valores se presentan en BTU por pie cuadrado de superficie exterior, para un período de 24 horas.

Para hallar la ganancia total por transmisión de calor, a través de cualquier superficie (paredes, techo o piso), se multiplica la ganancia calórica por pie cuadrado, por el área. Las ganancias incluidas en la lista son para 24 horas, en lugar de 1 hora, debido a que así se simplifica la selección del equipo de refrigeración. La conductividad térmica, K , de los diferentes materiales aislantes, se indica en las notas al pie de la tabla II.

Los valores de la ganancia de calor no incluyen efecto alguno derivado de la radiación solar (efecto del sol).

Tabla III. Corrección por efecto solar

Tipo de superficie	Pared este	Pared sur	Pared oeste	Techo plano
Superficies de colores oscuros, tales como Techo de pizarra Techos cubiertos con papel alquitranado Pintura negra	8	5	8	20
Superficies de colores intermedios, tales como Madera sin pintar Ladrillo Tejas rojas Cemento oscuro Pintura roja, gris o verde	6	4	6	15
Superficies de colores claros, tales como Piedra blanca Cemento de colores claros Pintura blanca	4	2	4	9

Grados Fahrenheit que se sumarán a la diferencia normal de la temperatura en los cálculos de las pérdidas de calor a fin de compensar el efecto solar; no deberán usarse en el diseño del aire acondicionado

FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración**. (México: Editorial Limusa), p. 343.

Cada vez que se abren las puertas del refrigerador, tiene lugar la infiltración de aire desde el exterior. La entalpía (capacidad que tienen los cuerpos para ganar o perder calor) de este aire, en el verano, es mayor que la del espacio refrigerado. La diferencia entre la entalpía del aire que se infiltra y la del espacio representa una carga de calor que es preciso remover mediante el equipo de refrigeración. Esta carga incluye el calor sensible del aire infiltrado y el calor latente de condensación del vapor de agua presente en el aire.

La tabla IV indica la cantidad de infiltración de aire dentro del cuarto, expresada como cambios de aire cada 24 horas. Esto es, el número de veces que se cambia el volumen del aire de la habitación cada 24 horas. Nótese que la cantidad de infiltración es diferente para cuartos de almacenamiento con temperaturas por encima y por debajo de 32°F (0°C). La infiltración varía asimismo con la frecuencia con que abra la puerta.

La tabla V muestra el calor removido al enfriar un pie cúbico de aire, desde las condiciones exteriores hasta las condiciones en el recinto de almacenamiento.

Tabla IV. Infiltración de aire en cuartos refrigerados para almacenamiento

Promedio de cambios de aire por 24 horas en cuartos de almacenamiento a temperaturas mayores de 32°F, debidos a la abertura de la puerta y a la infiltración (a)							
Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 hrs.	Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 hrs.	Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 hrs.	Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 hrs.
200	44	800	20	5000	7.2	25000	3
250	38	1000	17.5	6000	6.5	30000	2.7
300	34.5	1500	14	8000	5.5	40000	2.3
400	29.5	2000	12	10000	4.9	50000	2
500	26	3000	9.5	15000	3.9	75000	1.6
600	23	4000	8.2	20000	3.5	100000	1.4
						350000	1.13*
						700000	0.97*

Promedio de cambios de aire por 24 horas en cuartos de almacenamiento a temperaturas menores de 32°F, debidos a la abertura de la puerta y a la infiltración (b)							
Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 hrs.	Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 hrs.	Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 hrs.	Volumen de aire, pies cúbicos	Cambios de aire por 24 hrs.
200	33.5	800	15.3	5000	5.6	25000	2.3
250	29	1000	13.5	6000	5	30000	2.1
300	26.2	1500	11	8000	4.3	40000	1.8
400	22.5	2000	9.3	10000	3.8	50000	1.6
500	20	3000	7.4	15000	3	75000	1.3
600	18	4000	6.3	20000	2.6	100000	1.1
						150000	0.88*©
						200000	0.77

(a) Para uso intenso, se multiplican los valores anteriores por un factor de servicio de 2. Para un período largo de almacenamiento, se multiplican por 0.6.

(b) Para uso intenso, se multiplican los valores anteriores por un factor de servicio de 2. Para un período largo de almacenamiento, se multiplican por 0.6. Si hay 2 puertas en la misma pared, se multiplican por 1.25. Para el caso de dos puertas situadas en paredes opuestas, se multiplican por 2.5, pero no se deben permitir dos puertas abiertas en paredes adyacentes u opuestas.

© Extrapolado.

FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 348.

Tabla V. Calor removido al enfriar el aire exterior hasta la temperatura del cuarto de almacenamiento

Temperatura del cuarto de almacenamiento, °F	Temperatura del aire exterior, °F								Temperatura del cuarto de almacenamiento, °F	Temperatura del aire exterior, °F																							
	85				90					95				100				40				50				90				100			
	Humedad relativa %									Humedad relativa %								Humedad relativa %								Humedad relativa %							
	50	60	50	60	50	60	50	60		70	80	70	80	50	60	50	60		70	80	70	80	50	60	50	60							
65	0.65	0.85	0.93	1.17	1.24	1.54	1.58	1.95	30	0.24	0.29	0.58	0.66	2.26	2.53	2.95	3.35																
60	0.85	1.03	1.13	1.37	1.44	1.74	1.78	2.15	25	0.41	0.45	0.75	0.83	2.44	2.71	3.14	3.54																
55	1.12	1.34	1.41	1.66	1.72	2.01	2.06	2.44	20	0.56	0.61	0.91	0.99	2.62	2.9	3.33	3.73																
50	1.32	1.54	1.62	1.87	1.93	2.22	2.28	2.65	15	0.71	0.75	1.06	1.14	2.8	3.07	3.51	3.92																
45	1.5	1.73	1.8	2.06	2.12	2.42	2.47	2.85	10	0.85	0.89	1.19	1.27	2.93	3.2	3.64	4.04																
40	1.69	1.92	2	2.26	2.31	2.62	2.67	3.06	5	0.98	1.03	1.34	1.42	3.12	3.4	3.84	4.27																
35	1.86	2.09	2.17	2.43	2.49	2.79	2.85	3.24	0	1.12	1.17	1.48	1.56	3.28	3.56	4.01	4.43																
30	2	2.24	2.26	2.53	2.64	2.94	2.95	3.35	-5	1.23	1.28	1.59	1.67	3.41	3.69	4.15	4.57																
									-10	1.35	1.41	1.73	1.81	3.56	3.85	4.31	4.74																
									-15	1.5	1.53	1.85	1.92	3.67	3.96	4.42	4.86																
									-20	1.63	1.68	2.01	2.09	3.88	4.18	4.66	5.1																
									-25	1.77	1.8	2.12	2.21	4	4.3	4.78	5.21																
									-30	1.9	1.95	2.29	2.38	4.21	4.51	4.9	5.44																

FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración**. (México: Editorial Limusa), p. 348.

Los productos que se refrigeran se vuelven parte de la carga de refrigeración, debido a dos efectos: primero, es preciso remover calor del producto para llevarlo a las condiciones de almacenamiento, lo cual se llama "carga de enfriamiento"; segundo, algunos productos (las frutas y las verduras) continúan emitiendo calor en condiciones de almacenamiento.

El cálculo del calor removido de los productos para llevarlos a las condiciones de almacenamiento, depende de las condiciones iniciales y finales. Si el producto se enfría a una temperatura por encima del punto de congelación, la carga equivale al calor sensible por encima de la congelación:

$$Q = m \times C_{pi} \times \Delta T \quad (2)$$

Donde:

Q = cantidad de calor removida del producto, BTU por 24 hrs.

m = cantidad de producto enfriado, lb/24 hr.

C_{pi} = calor específico del producto, por encima del punto de congelación, BTU/lb °F.

ΔT=cambio de la temperatura del producto por encima de la congelación, de la temperatura inicial a la temperatura final, °F.

Si se va a congelar el producto, entonces la carga se compone también del calor latente de fusión y el calor sensible del enfriamiento del producto congelado, por debajo de la temperatura de congelación.

La remoción del calor latente para congelar el producto se determina a partir de:

$$Q = m \times h_{if} \quad (3)$$

Donde:

Q=cantidad de calor removida del producto, BTU por 24 hrs.

m=cantidad de producto a congelar, lb/24 hrs.

h_{if} = calor latente de fusión del producto, BTU/lb.

Para hallar la remoción del calor sensible al enfriar el producto después de que éste es congelado hasta la temperatura de almacenamiento, se utiliza:

$$Q = m \times Cp_2 \times \Delta T \quad (4)$$

Donde:

Q=cantidad de calor removida del producto, BTU por 24 hrs.

m=cantidad de producto a congelar, lb/24 hrs.

Cp₂ =calor específico del producto por debajo del punto de congelación, BTU/lb. °F.

ΔT =cambio de la temperatura del producto, desde el punto de congelación hasta la temperatura final, °F.

La tabla VI es una lista de las propiedades de los productos perecederos que se utilizan para calcular la remoción de calor, con el fin de enfriar o congelar.

Tabla VI. Propiedades de los productos perecederos y almacenamiento necesario

Producto	Temperatura promedio de congelación °F	Porcentaje de agua	Calor específico BTU/lb. °F		Calor latente de fusión BTU/lb.	Calor de evolución BTU por (24 hrs.) (ton) a la temp. indicada	
			Arriba del punto de congelación	Abajo del punto de congelación		°F	BTU
Frambuesa	30.1	82	0.85	0.45	122	40	6800-8500
Fresas	29.9	90	0.92	0.47	129	60	18100-22300
Granadas	28	77	0.87	0.48	112		
Grosella	30.2	84.7	0.88	0.45	120		
Higo(fresco)	27.1	78	0.82	0.43	112		
Higo(seco)		24	0.39	0.27	34		
Limas	29	86	0.89	0.46	122	40	810
						60	2970
Limones	28.1	89.3	0.92	0.46	127	40	810
						60	2970
Mandarinas	28	87.3	0.93	0.51	126	32	3285
						40	5865
Mangos	32	93	0.9	0.46	134		
Manzanas	28.4	84.1	0.86	0.45	121	32	830
						40	1435
Melones	29	92.7	0.94	0.48	132	40	2000
						60	8500
						40	1000
Melón dulce	20	92.6	0.94	0.48	132		
Membrillo	28.1	85.3	0.88	0.45	122		
Moras	28.9	85.3	0.88	0.46	122		
Naranjas	28	87.2	0.9	0.46	124	32	795
Nectarinas	29	82.9	0.9	0.49	119		
Nísperos	28.3	78.2	0.84	0.43	112		
Pera	28.5	83.5	0.86	0.45	118	32	770
Piñas	29.4	85.3	0.88	0.45	123		
Plátanos	28	74.8	0.8	0.42	108	68	8400-8200
Sandías	29.2	92.1	0.97	0.48	132		
Toronjas	28.4	88.8	0.91	0.46	126	32	480
						40	1070
Uvas	26.3	81.7	0.86	0.44	116	35	830
Uva-espín	28.9	88.3	0.9	0.46	126		
Varios							
Azúcar de maple		5	0.24	0.21	7	45	1420
Cavir (enlatado)	20	55				40	3820
Cerveza	28	92	1				
Crema (40%)	28	73	0.85	0.4	90		
Chocolate	85-95	55	0.3	0.55	40		
Dulces			0.93				
Flores cortadas	32						480 BTU/pla*2 de área
Harina		13.5	0.38	0.28			
Helados	27-0	58-66	0.78	0.45	96		
Huevos (congelados)	27			0.41	100		
Huevos (frescos)	27		0.76	0.4	100		
Leche	31	87.5	0.93	0.49	124		
Levadura		70.9	0.77	0.41	102		
Lúpulo						35	1500
Malta						50	1500
Manteca de cerdo			0.52				
Mantequilla	30-0	15	0.84	0.34	15		
Miel de abeja		18	0.35	0.26	26	40	1420
Miel de maple		36	0.49	0.31	52	45	1420
Nueces (secas)		3.0-10.0	0.21-0.29	0.19-0.24	4.3-14	35	1000
Oleomargarina		15.5	0.32	0.25	22		
Pan		32-37	0.7	0.34	48-53		
Pasta de pan		58	0.75				

Tabla VI. Continuación

Pieles y lana				0.4			
Queso americano	17	60	0.64	0.38	79	40	4680
Queso Camambert	18	60	0.7	0.4	86	40	4920
Queso Limburger	19	55	0.7	0.4	86	40	4920
Queso Roquefort	3	55	0.65	0.32	79	45	4000
Queso Suizo	15	55	0.64	0.36	79	40	4660
Tabaco y puros	25						
Verduras							
Aceitunas	28.5	75.2	0.8	0.42	108		
Alcachofas	29.1	83.7	0.87	0.45	120	40	10140
Apio	29.7	93.7	0.95	0.48	135	32	1600
						40	2400
Berengena	30.4	92.7	0.94	0.48	132		
Betabel	31.1	87.6	0.9	0.46	126	32	2700
						40	4100
Brócoli	29.2	89.9	0.92	0.47	130	40	11000-17000
Calabaza	30.1	90.5	0.92	0.47	130		
Calabacitas tiernas	30.1	90.5	0.92	0.47	130		
Camotes	28.5	68.5	0.75	0.4	97	40	1710
Cebollas	30.1	87.5	0.9	0.46	124	32	700-1100
						40	1800
Col	31.2	92.4	0.94	0.47	132	40	1700
Coliflor	30.1	91.7	0.93	0.47	132	40	4500
Collirábano	30	90	0.92	0.47	128		
Colecitas de Bruselas	31	84.9	0.88	0.46	122	40	6600-11000
Col fermentada (Sauerkraut)	28	89	0.92	0.47	129		
Col rizada	30.7	86.6	0.89	0.46	124		
Chicharos verdes	30	74.3	0.79	0.42	106	40	13200-16000
Chicharos secos		9.5	0.28	0.22	14		
Chirivias	28.9	78.6	0.84	0.46	112		
Éjotes	29.7	88.9	0.91	0.47	128	40	9700-11400
Elotes	28.9	75.5	0.79	0.42	106	32	7200-11300
						40	10600-13200
Escarola	30.9	93.3	0.94	0.48	132		
Espárragos	29.8	93	0.94	0.48	134	40	11700-23100
Espinacas	30.3	92.7	0.94	0.48	132	40	8000
Habas	30.1	66.5	0.73	0.4	94	40	4300-6100
Habas secas		12.5	0.3	0.24	18		
Hongos	30.2	91.1	0.93	0.47	130	32	6200
						50	22000
Jitomate	30.4	94.1	0.95	0.48	134	40	1280
Lechuga	31.2	94.8	0.96	0.48	136	32	2300
						40	2700
Malz		10.5	0.28	0.23	15		
Nabo	30.5	90.9	0.93	0.47	130	32	1900
						40	2200
Papas	28.9	77.8	0.82	0.43	111	40	1300-1800
Pepinos	30.5	96.1	0.97	0.49	137		
Pimiento	30.1	92.4	0.94	0.47	132	40	4700
Rábano	30.1	93.6	0.95	0.48	134		
Rábano picante	26.4	73.4	0.78	0.42	104		
Rapónfido	28.4	94.9	0.96	0.48	134		
Tomate	30.4	94.7	0.95	0.48	134	60	6230
Verduras (mixtas)	30	90	0.9	0.45	130		
Zanahorias	29.6	88.2	0.9	0.46	126	32	2100
						40	3500
Carnes y pescados							
Aves (carne fresca)	27	74	0.79	0.37	106		
Aves (congeladas)	27	74	0.79	0.37	106		
Bacalao (fresco)	28		0.9	0.49	119		
Camarones	28	70.8	0.83	0.45	119		
Carne cortada (retazo)	29	65	0.72	0.4	95		

Tabla VI. Continuación

Carne de cordero	29	58	0.67	0.3	83.5		
Carne de puerco (ahumada)	28	60	0.68	0.38	86.5		
Carne de res (grasosa)	28		0.6	0.35	79		
Carne de res (magra)	29	68	0.77	0.4	100		
Carne de res (salada)			0.75				
Carne de res (seca)		5.0-15.0	0.22-0.34	0.19-0.26	7.0-22.0		
Carne de ternera	29	63	0.71	0.39	91		
Chorizos	26	65.5	0.89	0.56	93		
Embutidos			0.6				
Escalopes	28	60.3	0.89	0.48	116		
Hígados	29	65.5	0.72	0.4	93.3		
Jamones y lomos	27	60	0.68	0.38	86.5		
Ostiones (en su concha)	27	60.4	0.83	0.44	116		
Ostiones (en lata)	27	87	0.9	0.46	125		
Pescado (congelado)	28	70	0.76	0.41	101		
Pescado (en hielo)		70	0.76	0.41	101		
Pescado (seco)			0.56	0.34	65		
Salchichas (ahumadas)	25	60	0.66	0.58	86		
Salchichas (frescas)	26	65	0.89	0.56	93		
Tocino		20	0.5	0.3	29		
Frutas							
Aguacates	27.2	94	0.91	0.49	136	60	13200-39700
Arándanos	28.8	82.3	0.86	0.45	118	32	1300-2200
Arándanos agrios	27.3	87.4	0.9	0.46	124		
Cerezas	26	83	0.87	0.45	120		
Ciruelas	28	85.7	0.88	0.45	122		
Ciruela pasa (fresca)	28	85.7	0.88	0.45	123		
Chabacanos	28.1	85.4	0.88	0.46	122		
Dátil (fresco)	27.1	78	0.82	0.43	112		
Dátil (seco)	-4.1	20	0.36	0.26	29		
Duraznos	29.4	86.9	0.9	0.46	124	32	1110
						40	1735

FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración**. (México: Editorial Limusa), pp. 350-352.

Si el producto se va a enfriar de modo que alcance las condiciones de almacenamiento en menos de 24 hrs., se incrementa la carga diaria (24 h) en el sistema. Esto se explica utilizando en los cálculos una cantidad diaria "equivalente del producto".

$$\text{Lbs. diarias equivalentes} = \text{lbs reales en 24 hrs.} / \text{horas de carga de enfriamiento} \quad (5)$$

lbs reales en 24 horas = cantidad de producto a almacenar.

horas de carga de enfriamiento = cantidad de horas en que se desea bajar la temperatura del producto a la temperatura deseada (menor de 24 horas).

Las frutas y las verduras desprenden continuamente calor en condiciones de almacenamiento; este calor se conoce como calor de respiración. Este calor se genera a partir de los procesos fisiológicos que todavía tienen lugar en los mismos. Los valores del calor de respiración aparecen en la tabla VII.

Los valores del calor corporal generado por ocupante, dentro del cuarto refrigerado aparecen en la tabla VIII.

El equivalente térmico de la energía eléctrica de las luces o los calentadores es de $1 \text{ Watt} = 3.4 \text{ BTU/hr. (856.8 cal/hr)}$.

El equivalente térmico del caballaje del motor aparece en la tabla IX. Se enumeran tres posibles condiciones: los motores y la carga conectada (como ventiladores, bombas y montacargas) están situados dentro del espacio refrigerado; el motor fuera y la carga dentro de dicho espacio; o el caso contrario, la carga fuera y el motor dentro. Algunos motores de pequeño tamaño para los ventiladores, se evalúan en watts. En este caso, se utiliza el factor de conversión apropiado para cambiar de watts a BTU/hr.

En el caso de las cargas debidas a los ocupantes, la iluminación, y los motores que no operen todo el tiempo, o que no estén continuamente en el espacio, la carga de refrigeración de 24 h, equivale al calor horario generado multiplicado por las horas de utilización por día.

Es importante conocer otra forma para calcular la transmisión de calor a través de paredes, cielo y piso, cuando la tabla II no se puede aplicar, debido a los materiales aislantes utilizados en el cuarto refrigerado. Este método está basado en la conductividad térmica, resistencia, y otros factores que se verán a continuación. Para el cálculo de las pérdidas de calor, la industria ha desarrollado un término llamado resistencia (R), el cual es la oposición al flujo de calor, bien sea en una pulgada de material o para un espesor especificado, o de un espacio de aire, una película de aire o un conjunto completo. Un valor alto de R indica bajos porcentajes de flujo de calor.

La resistencia de varios componentes de una pared pueden sumarse para obtener la resistencia total:

$$R_{TOTAL} = R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_n \quad (6)$$

R=resistencia de los materiales (obtenida de la tabla X)

La tabla X contiene algunos valores de R para materiales de construcción comunes, con el fin de ilustrar la diferencia en las características del flujo de calor.

La cantidad real de transmisión de calor (Q), a través de una sustancia o material se calcula luego por la fórmula:

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (7)$$

Q = transferencia de calor, BTU/hr.

U = coeficiente global de transferencia de calor BTU/h (pie²) (°F DT)

U = $\frac{1}{R_t}$ (para varios componentes, $R_t=R_1+R_2+R_3$) (8)

R_t

A = área en pie²

ΔT = diferencia de temperatura entre las temperaturas de diseño interior y exterior.

Tabla VII. Calor de respiración de los productos

Producto	Btu/lb/ 24 h			
	Temperatura de almacenamiento, °F			
	32° F	40° F	60° F	Otras, °F
Frutas				
Manzanas	0.25-0.45	0.55-0.80	1.5-3.4	
Albaricoques	0.55-0.63	0.70-1.0	2.33-3.74	
Aguacates			6.6-15.35	
Plátanos			2.3-2.75	a 68° 4.2-4.6
Zarzamoras	1.70-2.52	5.91-5.00	7.71-15.97	
Arándanos	0.65-1.10	1.0-1.35	3.75-6.5	a 70° 5.7-7.5
Cerezas	0.65-0.90	1.4-1.45	5.5-6.6	
Cerezas ácidas	0.63-1.44	1.41-1.45	3.0-5.49	
Arándano agrio	0.30-0.35	0.45-0.52		
Higos, misión		1.18-1.45	2.37-3.52	
Grosella blanca	0.74-0.96	1.33-1.48	2.37-3.52	
Toronjas	0.20-0.50	0.35-0.65	1.1-2	
Uvas, americanas	0.3	0.6	1.75	
Uvas, europeas	0.15-0.20	0.35-0.65	1.10-1.30	
Limones	0.25-0.45	0.30-0.95	1.15-2.50	
Limas		0.405	1.485	
Melones, cantaloupe	0.55-0.63	0.96-1.11	3.70-4.22	
Melones, honey dew		0.45-0.55	1.2-1.65	
Naranjas	0.20-0.50	0.65-0.8	1.85-2.6	
Duraznos	0.45-0.70	0.70-1.0	3.65-4.65	
Peras	0.35-0.45		4.40-6.60	
Ciruelas	0.20-0.35	0.45-0.75	1.20-1.40	
Frambuesas	1.95-2.75	3.40-4.25	9.05-11.15	
Fresas	1.35-1.90	1.80-3.40	7.80-10.15	
Mandarinas	1.63	2.93		
Hortalizas				
Alcachofas	2.48-4.93	3.48-6.56	8.49-15.90	
Espárragos	2.95-6.60	5.85-11.55	11.0-25.75	
Frijol, verde o ejote		4.60-5.7	16.05-22.05	
Frijol, lima	1.15-1.6	2.15-3.05	11.0-13.7	
Betabeles, sin hojas	1.35	2.05	3.6	
Brócoli	3.75	5.50-8.80	16.9-25.0	
Coles de Bruselas	1.65-4.15	3.30-5.50	6.60-13.75	
Col	0.6	0.85	2.05	
Zanahorias, sin hojas	1.05	1.75	4.05	
Coliflor	1.80-2.10	2.10-2.40	4.70-5.40	
Apio	0.8	1.2	4.1	
Maíz, dulce (elote)	3.80-5.65	5.30-6.60	19.2	
Pepinos			1.65-3.65	
Ajo	0.33-1.19	0.63-1.08	1.18-3.0	
Rábano picante	0.89	1.19	3.59	
Colinabo	1.11	1.78	5.37	
Porro	1.04-1.78	2.15-3.19	9.08-12.82	

Tabla VII. Continuación

Producto	Btu/lb/ 24 h			
	Temperatura de almacenamiento, °F			
	32° F	40° F	60° F	Otras, °F
Lechuga, repollada	1.15	1.35	3.95	
Lechuga, hoja	2.25	3.2	7.2	
Champifiones	3.10-4.80	7.8		a 50° 11.0
Okra		6.05	15.8	
Aceitunas			2.37-4.26	
Cebollas, secas	0.35-0.55	0.9	1.2	
Cebollas, verdes	1.15-2.45	1.90-7.50	7.25-10.70	
Chicharos, verdes	4.10-4.20	6.60-8.0	19.65-22.25	
Pimientos, dulces	1.35	2.35	4.25	
Papas, sin madurar		1.3	1.45-3.4	
Papas, maduras		0.65-0.90	0.75-1.30	
Camote		0.85	21.5-3.15	
Rábanos con hojas	1.59-1.89	2.11-2.30	7.67-8.5	
Rábanos, sin hojas	0.59-0.63	0.85-0.89	3.04-3.59	
Ruibarbo, sin hojas	0.89-1.44	1.19-2.0	3.41-4.97	
Espinacas	2.10-2.45	3.95-5.60	18.45-19.0	
Calabaza, amarilla	1.3-1.41	1.55-2.04	8.23-9.97	
Tomates, verdes maduros		0.55	3.1	
Tomates, maduros	0.5	0.65	2.8	
Nabos	0.95	1.1	2.65	
Hortalizas mixtas	2			
Misceláneos				
Caviar, cubeta			1.91	
Queso				
Americano			2.34	
Camembert			2.46	
Limburgo			2.46	
Roquefort				a 45° 2.0
Suizo			2.33	
Flores, cortadas		0.24 Btu/pie ² área del piso		
Miel		0.71		
Lúpulo				a 35° 0.75
Malta				a 50° 0.75
Ázucar de arce				a 45° 0.71
Jarabe de arce				a 45° 0.71
Nueces	0.074	0.185	0.37	
Nueces, secas				a 35° 0.50

(a) Todas las frutas y las hortalizas son organismos vivos y despiden calor en el almacenamiento. Si no se conoce el calor de respiración, se deberá utilizar un valor aproximado o promedio. (b) Para obtener Btu/24 h/Tonelada/°F, multiplíquese por 2000.

FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), pp. 353-354.

Tabla VIII. Calor corporal de los ocupantes

Temperatura del refrigerador	Equivalente térmico por persona en °F, Btu/h
50	720
40	840
30	950
20	1050
10	1200
0	1300
-10	1400

FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 355.

Tabla IX. Equivalente térmico de los motores eléctricos

Motor del ventilador del evaporador, hp	Carga conectada en el espacio refrigerado, Btu/hp/h	Pérdidas en el motor fuera del espacio refrigerado, Btu/hp/h	Carga conectada fuera del espacio refrigerado, Btu/hp/h
1/20	6400	2545	
1/15	5700	2545	
1/12	5300	2545	
1/10	4950	2545	
1/8	4650	2545	
1/6	4350	2545	
1/4	4000	2545	1455
1/3	3850	2545	1305
1/2	3700	2545	1155
3/4	3600	2545	1055
1	3500	2545	955
2	3300	2545	755
3	3200	2545	655
5	3100	2545	555
7 1/2	3050	2545	505
10 a 20	3000	2545	455

FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 356.

Tabla X. Coeficientes típicos de transmisión de calor

Material	Densidad lb/pie ³	Temp. media °F	Conduc- tibilidad k	Conduc- tancia C	Resistencia	
					Por pulg	Total
Materiales aislantes						
Manta de lana mineral	0.5	75	0.32		3.12	
Manta de fibra de vidrio	0.5	75	0.32		3.12	
Lámina de corcho	6.5-8.0	0	0.25		4	
Lámina de fibra de vidrio	9.5-11.0	-16	0.21		4.76	
Uretano expandido, R11		0	0.17		5.88	
Poliestireno expandido	1	0	0.24		4.17	
Lámina de lana mineral	15	0	0.25		4	
Aislamiento para techo, 2 pulg		75		0.18		5.56
Lana mineral, empacada floja	2.0-5.0	0	0.23		4.35	
Perlita, expandida	5.0-8.0	0	0.32		3.12	
Materiales de mampostería						
Concreto, arena y grava	140		12		0.08	
Ladrillo común	120	75	5		0.2	
Ladrillo a la vista	130	75	9		0.11	
Bloque hueco, dos celdas, 6 pulg		75		0.66		1.52
Bloque de concreto, arena y grava, 8 pulg		75		0.9		1.11
Bloque de concreto de cenizas, 8 pulg		75		0.58		1.72
Estuco	105	75	5.6		0.18	

FUENTE: "La carga de refrigeración" **Manual de refrigeración y aire acondicionado.** (2): 274.

1.3.2. Métodos simplificados para determinar la carga de refrigeración

La experiencia ha conducido al desarrollo de muchos métodos abreviados para la determinación de las cargas de refrigeración. Estos métodos se basan generalmente en el tamaño del espacio refrigerado. Los que se basan en el volumen del recinto, más bien que en el área superficial, son considerados como los más confiables.

Estos métodos no deben sustituir los cálculos detallados, a menos que no sea posible obtener los datos de diseño requeridos. Sin embargo, los métodos simplificados pueden utilizarse para estimaciones preliminares en la determinación de costo.

A continuación, se presenta en la tabla XI, la forma de determinar de manera simplificada la carga de refrigeración para algunas temperaturas de almacenamiento y tamaños de cuartos refrigerados.

Tabla XI. Determinación simplificada en cuartos refrigerados

Compresor hermético														
Servicio pesado			Servicio extra-pesado			Servicio pesado			Servicio extra-pesado			Servicio pesado		
0° F			0° F			-10° F			-10° F			-20° F		
H - 9'		Carga	H - 9'		Carga	H - 9'		Carga	H - 9'		Carga	H - 9'		Carga
L	A	BTUH	L	A	BTUH	L	A	BTUH	L	A	BTUH	L	A	BTUH
6	6	4395	6	6	5870	6	6	4840	6	6	6420	6	6	5285
6	8	5185	6	8	6865	6	8	5730	6	8	7520			
6	10	5940	6	10	7790	6	10	6570						
6	12	6660	6	12	8670	6	12	7385						
8	8	6100	8	8	8010	8	8	6760						
8	10	6970	8	10	9080	8	10	7740						
8	12	7805	8	12	10100									
8	14	8620	8	14	11075									
8	16	9410	10	10	10285									
10	10	7950	10	12	11430									
10	12	8900												
10	14	9820												
10	16	10720												
12	12	9950												
12	14	10980												

Tabla XI. Continuación

Compresor hermético											
Servicio pesado			Servicio extra-pesado			Servicio pesado			Servicio extra-pesado		
35° F			35° F			30° F			30° F		
H - 9'		Carga	H - 9'		Carga	H - 9'		Carga	H - 9'		Carga
L	A	BTUH	L	A	BTUH	L	A	BTUH	L	A	BTUH
6	6	4650	6	6	5390	6	6	3970	6	6	5080
6	8	5545	6	8	6390	6	8	4760	6	8	6020
6	10	6400	6	10	7340	6	10	5520	6	10	6915
6	12	7235	6	12	8250	6	12	6260	6	12	7770
8	8	6610	8	8	7570	8	8	5700	8	8	7140
8	10	7635	8	10	8700	8	10	6600	8	10	8190
8	12	8625	8	12	9780	8	12	7480	8	12	9210
8	14	9590	8	14	10825	8	14	8350	8	14	10200
8	16	10540	8	16	11850	8	16	9200	8	16	11160
10	10	8815	10	10	9990	10	10	7650	10	10	9410
10	12	9960	10	12	11230	10	12	8670	10	12	10580
10	14	11080	10	14	12440	10	14	9670	10	14	11720
10	16	12180	10	16	13620	10	16	10660	10	16	12830
10	18	13260	10	18	14780	10	18	11630	10	18	13920
10	20	14320	10	20	15920	10	20	12590	10	20	14990
12	12	11260	12	12	12640	12	12	9830	12	12	11900
12	14	12520	12	14	14000	12	14	10970	12	14	13180
12	16	13770	12	16	15340	12	16	12090	12	16	14440
12	18	14995	12	18	16650	12	18	13190	12	18	15675
12	20	16210	12	20	17945	12	20	14290	12	20	16890
12	22	17410	12	22	19220	12	22	15370	12	22	18090
12	24	18595	12	24	20479	12	24	16450	12	24	19270
14	14	13939	14	14	15526	14	14	12240	14	14	14610
14	16	15330	14	16	17015	14	16	13490	14	16	16010
14	20	18060	14	20	19920	14	20	15955	14	20	18740
14	24	20730	14	24	22750	14	24	18380	14	24	21400
16	16	16870	16	16	18650	16	16	14870	16	16	17550
16	20	19880	16	20	21850	16	20	17600	16	20	20560
16	24	22830	16	24	24975	16	24	20280	16	24	23490
16	28	25740	16	28	28040	16	28	22930	16	28	26370
16	32	28612	16	32	31050	16	32	25550	16	32	29200
18	18	20040	18	18	22020	18	18	17740	18	18	20720
18	20	21680	18	20	23760	18	20	19230	18	20	22350
18	26	26500	18	26	28850	18	26	23620	18	26	27130
18	30	29670	18	30	32170	18	30	26510	18	30	30250
20	20	23455	20	20	25640	20	20	20840	20	20	24110
20	26	28700	20	26	31160	20	26	25620	20	26	29295
20	30	32140	20	30	34760	20	30	28760	20	30	32680
25	25	33080	25	25	35740	25	25	29600	25	25	33600
25	31	39260	25	31	42200	25	31	35260	25	31	39660

Tabla XI. Continuación

Compresor semi-hermético											
Servicio pesado			Servicio extra-pesado			Servicio pesado			Servicio extra-pesado		
35° F			35° F			30° F			30° F		
H - 9'		Carga	H - 9'		Carga	H - 9'		Carga	H - 9'		Carga
L	A	BTUH	L	A	BTUH	L	A	BTUH	L	A	BTUH
6	6	4650	6	6	5390	6	6	3970	6	6	5080
6	8	5545	6	8	6390	6	8	4760	6	8	6020
6	10	6400	6	10	7340	6	10	5520	6	10	6915
6	12	7235	6	12	8250	6	12	6260	6	12	7770
8	8	6610	8	8	7570	8	8	5700	8	8	7140
8	10	7635	8	10	8700	8	10	6600	8	10	8190
8	12	8625	8	12	9780	8	12	7480	8	12	9210
8	14	9590	8	14	10825	8	14	8350	8	14	10200
8	16	10540	8	16	11850	8	16	9200	8	16	11160
10	10	8815	10	10	9990	10	10	7650	10	10	9410
10	12	9960	10	12	11230	10	12	8670	10	12	10580
10	14	11080	10	14	12440	10	14	9670	10	14	11720
10	16	12180	10	16	13620	10	16	10660	10	16	12830
10	18	13260	10	18	14780	10	18	11630	10	18	13920
10	20	14320	10	20	15920	10	20	12590	10	20	14990
12	12	11260	12	12	12640	12	12	9830	12	12	11900
12	14	12520	12	14	14000	12	14	10970	12	14	13180
12	16	13770	12	16	15340	12	16	12090	12	16	14440
12	18	14995	12	18	16650	12	18	13190	12	18	15675
12	20	16210	12	20	17945	12	20	14290	12	20	16890
12	22	17410	12	22	19220	12	22	15370	12	22	18090
12	24	18595	12	24	20479	12	24	16450	12	24	19270
14	14	13939	14	14	15526	14	14	12240	14	14	14610
14	16	15330	14	16	17015	14	16	13490	14	16	16010
14	20	18060	14	20	19920	14	20	15955	14	20	18740
14	24	20730	14	24	22750	14	24	18380	14	24	21400
16	16	16870	16	16	18650	16	16	14870	16	16	17550
16	20	19880	16	20	21850	16	20	17600	16	20	20560
16	24	22830	16	24	24975	16	24	20280	16	24	23490
16	28	25740	16	28	28040	16	28	22930	16	28	26370
16	32	28612	16	32	31050	16	32	25550	16	32	29200
18	18	20040	18	18	22020	18	18	17740	18	18	20720
18	20	21680	18	20	23760	18	20	19230	18	20	22350
18	26	26500	18	26	28850	18	26	23620	18	26	27130
18	30	29670	18	30	32170	18	30	26510	18	30	30250
20	20	23455	20	20	25640	20	20	20840	20	20	24110
20	26	28700	20	26	31160	20	26	25620	20	26	29295
20	30	32140	20	30	34760	20	30	28760	20	30	32680
25	25	33080	25	25	35740	25	25	29600	25	25	33600
25	31	39260	25	31	42200	25	31	35260	25	31	39660
25	45	53410	25	45	56880	25	45	48240	25	45	53440

Tabla XI. Continuación

Compresor semi-hermético											
Servicio pesado			Servicio extra-pesado			Servicio pesado			Servicio extra-pesado		
0° F			0° F			-10° F			-10° F		
H - 9'		Carga	H - 9'		Carga	H - 9'		Carga	H - 9'		Carga
L	A	BTUH	L	A	BTUH	L	A	BTUH	L	A	BTUH
6	6	4395	6	6	5870	6	6	4840	6	6	6420
6	8	5185	6	8	6865	6	8	5730	6	8	7520
6	10	5940	6	10	7790	6	10	6570	6	10	8555
6	12	6660	6	12	8670	6	12	7385	6	12	9450
8	8	6100	8	8	8010	8	8	6760	8	8	8800
8	10	6970	8	10	9080	8	10	7740	8	10	9990
8	12	7805	8	12	10100	8	12	8680	8	12	11130
8	14	8620	8	14	11075	8	14	9600	8	14	12230
8	16	9410	8	16	12020	8	16	10500	8	16	13290
10	10	7950	10	10	10285	10	10	8850	10	10	11340
10	12	8900	10	12	11430	10	12	9920	10	12	12630
10	14	9820	10	14	12530	10	14	10970	10	14	13870
10	16	10720	10	16	13600	10	16	11990	10	16	15070
10	18	11600	10	18	14640	10	18	13000	10	18	16240
10	20	12470	10	20	15600	10	20	13990	10	20	17390
12	12	9950	12	12	12700	12	12	11120	12	12	14060
12	14	10980	12	14	13920	12	14	12290	12	14	15435
12	16	11980	12	16	15110	12	16	13430	12	16	16770
12	18	12970	12	18	16280	12	18	14560	12	18	18080
12	20	13940	12	20	17390	12	20	15670	12	20	19360
12	22	14890	12	22	18500	12	22	16760	12	22	20610
12	24	15840	12	24	19590	12	24	17850	12	24	21850
14	14	12110	14	14	15260	14	14	13580	14	14	16950
14	16	13210	14	16	16560	14	16	14840	14	16	18420
14	20	15364	14	20	19070	14	20	17310	14	20	21260
14	24	17462	14	24	21480	14	24	19720	14	24	24010
16	16	14415	16	16	17970	16	16	16220	16	16	20020
16	20	16760	16	20	20895	16	20	18920	16	20	23120
16	24	19055	16	24	23320	16	24	21555	16	24	26110
16	28	21300	16	28	25870	16	28	24140	16	28	29020
16	32	23510	16	32	28360	16	32	26690	16	32	31875
18	18	16880	18	18	20830	18	18	19050	18	18	23270
18	20	18140	18	20	22285	18	20	20510	18	20	24930
18	26	21840	18	26	26505	18	26	24780	18	26	29750
18	30	24260	18	30	29230	18	30	27570	18	30	32870
20	20	19500	20	20	23840	20	20	22070	20	20	26710
20	26	23485	20	26	28370	20	26	26680	20	26	31895
20	30	26090	20	30	31295	20	30	29690	20	30	35250
25	25	26740	25	25	32050	25	25	30450	25	25	36120
25	31	31330	25	31	37170	25	31	35780	25	31	42020
25	45	41760	25	45	48660	25	45	47915	25	45	55290

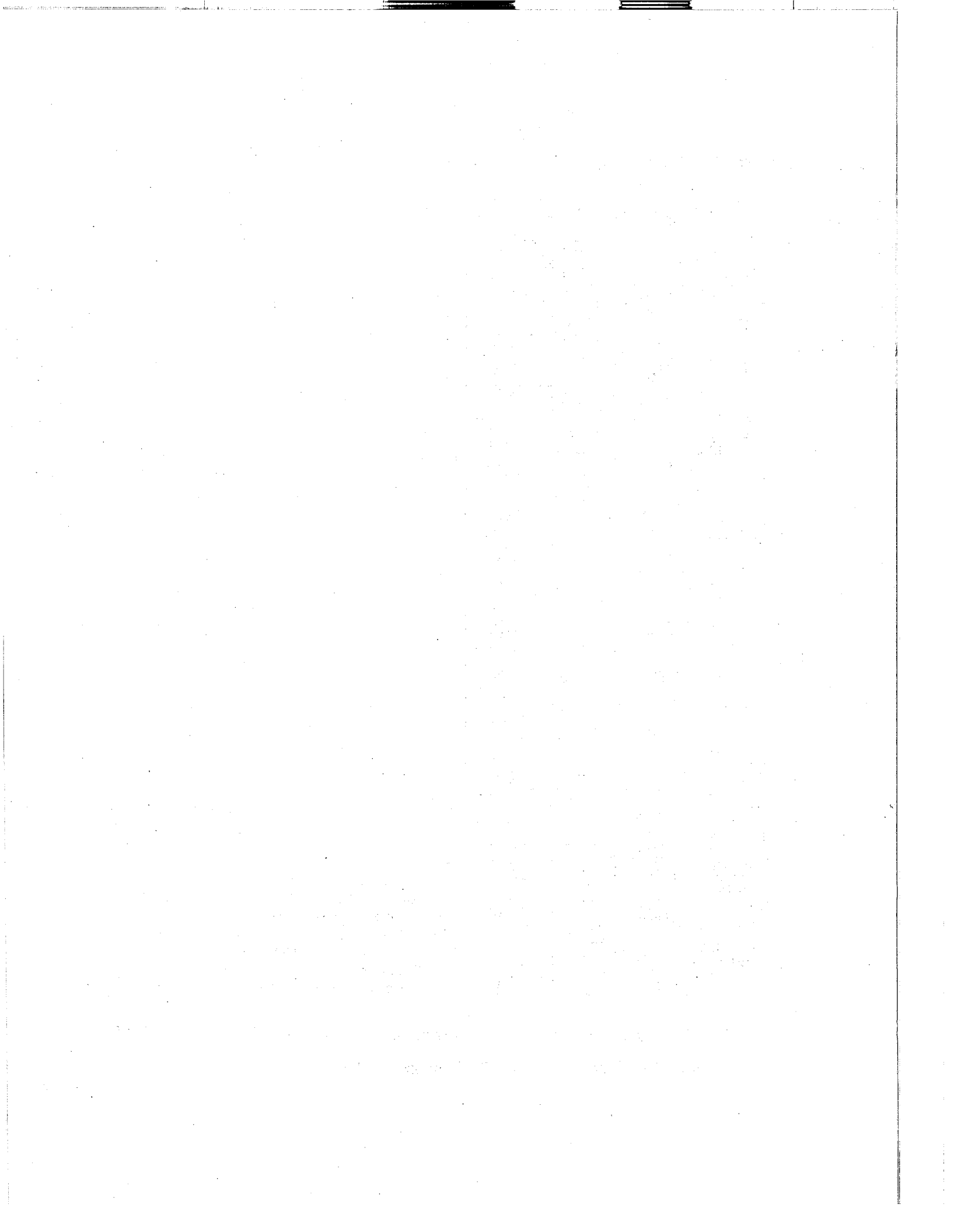
Tabla XI. Continuación

Compresor semi-hermético					
Servicio pesado			Servicio extra-pesado		
-20° F			-20° F		
H - 9'		Carga	H - 9'		Carga
L	A	BTUH	L	A	BTUH
6	6	5285	6	6	6960
6	8	6260	6	8	8170
6	10	7200	6	10	9300
6	12	8100	6	12	10380
8	8	7400	8	8	9570
8	10	8490	8	10	10890
8	12	9550	8	12	12140
8	14	10570	8	14	13355
8	16	11580	8	16	14530
10	10	9730	10	10	12380
10	12	10930	10	12	13800
10	14	12100	10	14	15180
10	16	13250	10	16	16510
10	18	14380	10	18	17820
10	20	15490	10	20	19095
12	12	12280	12	12	15390
12	14	13590	12	14	16920
12	16	14870	12	16	18410
12	18	16135	12	18	19870
12	20	17380	12	20	21295
12	22	18615	12	22	22700
12	24	19835	12	24	24080
14	14	15030	14	14	18610
14	16	16455	14	16	20250
14	20	19235	14	20	23430
14	24	21950	14	24	26500
16	16	18010	16	16	22040
16	20	21060	16	20	25510
16	24	24030	16	24	28870
16	28	26960	16	28	32140
16	32	29850	16	32	35345
18	18	21210	18	18	25680
18	20	22850	18	20	27540
18	26	27685	18	26	32960
18	30	30850	18	30	36475
20	20	24625	20	20	29540
20	26	29840	20	26	35380
20	30	33260	20	30	39160
25	25	34140	25	25	40145
25	31	40200	25	31	46820
25	45	54040	25	45	61855

Notas:

- Aislamiento (equivalente)
- 4" poliestireno en las paredes (95° F) y techo (115° F)
- 6" de concreto en el piso, (55° F)
- Infiltración (95° F. DB/78° F. WB infiltrado.
- 2.0 x ASHRAE tablas de cambio de aire.
- Carga del producto
- 2 lbs. Por pie cúbico del volumen de la cámara a 45° F

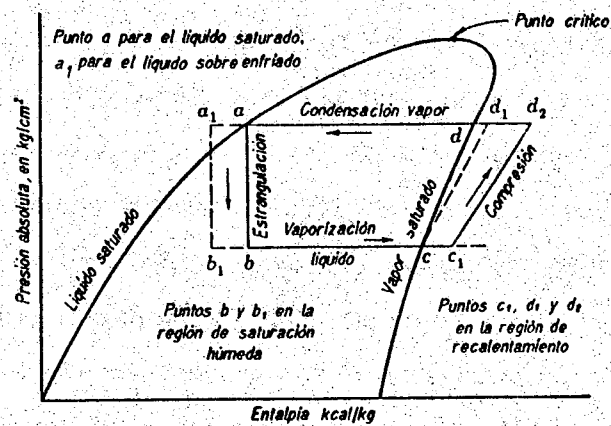
ADAPTADO: "Quick selection for walk-in coolers & freezers air & electric defrost"
 (folleto) Bohn Refrigeration Products, Estados Unidos.



2. EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN

Antes de conocer en forma individual cada uno de los equipos que forman el sistema de refrigeración, es importante conocer el funcionamiento global del sistema, y la mejor forma de comprender este funcionamiento es ilustrándolo con la gráfica de presión-entalpía.

Figura 14. Diagrama presión-entalpía correspondientes a ciclos simples de refrigeración



FUENTE: SEVERNS, W. H. y otros, *Energía mediante vapor, aire o gas.* (México: Editorial Reverté), p. 465.

En esta gráfica, se puede observar que en el proceso real el refrigerante líquido llega a la entrada de la válvula de expansión en estado saturado o sobre enfriado. Como se quiera o no es factible la expansión isoentrópica, la misión de la válvula de expansión consiste en estrangular el paso del refrigerante (variando la cantidad por medio de un orificio de diámetro variable), para producir un estado de entalpía constante por la línea comprendida entre "a" y "b".

El proceso de estrangulación con entalpía constante produce un aumento de entropía en el refrigerante, a medida que disminuye su presión y temperatura para satisfacer las condiciones exigidas en el evaporador.

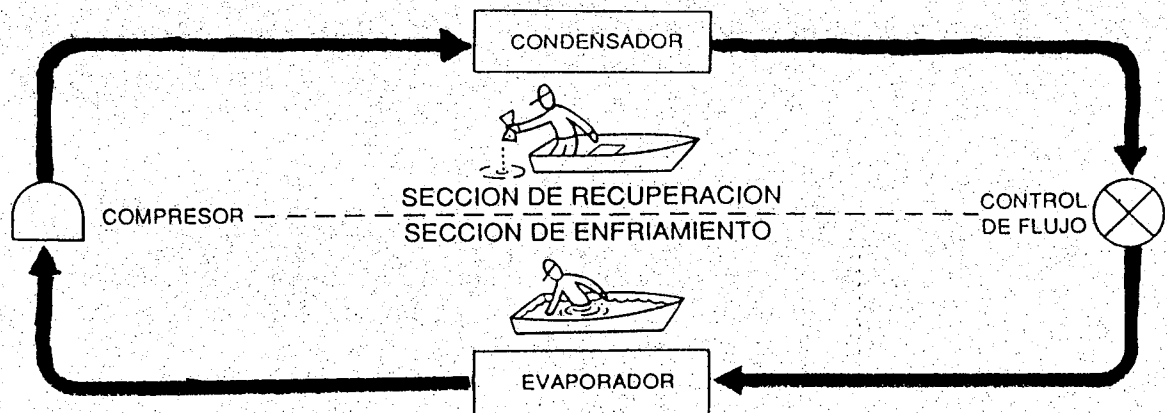
En el funcionamiento real, la temperatura del refrigerante que hierve en el evaporador debe ser inferior a la del medio que se trata de enfriar. La presión mantenida en el evaporador viene fijada por la temperatura del refrigerante necesaria para conseguir el enfriamiento deseado. En un ciclo real, el vapor del refrigerante puede abandonar el evaporador en los siguientes estados: saturado húmedo, saturado seco y recalentado. Generalmente conviene cierto recalentamiento, como el representado por el punto "c₁". En un ciclo real, la compresión politrópica y el estado final del refrigerante comprimido depende en parte de su estado inicial. Al final de la compresión (punto "d₁", "d₂"), interesa que haya recalentamiento. El medio calentado, tal como se descarga, entra en el condensador en donde el medio que lo enfría se mantiene a una temperatura inferior a la del refrigerante. En el condensador, el refrigerante pierde entalpía de recalentamiento, entalpía de vaporización, o calor latente de vaporización, y, si el líquido es sobreenfriado, parte de la entalpía del líquido. En cada etapa de este ciclo real (no solamente la del compresor), el proceso es irreversible.

En otros términos, en la figura 14 tenemos:

1. Estrangulación del líquido saturado desde "a" hasta "b".
2. Vaporización del refrigerante líquido desde "b" hasta "c", para dar vapor saturado seco en "c".
3. Compresión seca del vapor desde "c" hasta "d", para producir cierto recalentamiento en "d", y la evacuación del recalentamiento y de la entalpía de vaporización para dar refrigerante saturado líquido en "d". Cuando en el condensador se produce sobreenfriamiento, el punto-estado del líquido viene representado por "a1", y el refrigerante que entra en el evaporador, por "b1". Cuando el refrigerante abandona el evaporador en estado de recalentamiento, su compresión viene representada por la línea "c1" y "d2". Este último tipo de funcionamiento constituye una ayuda para aumentar la cantidad de refrigeración, producida por unidad de peso de refrigerante manipulado.

Otra forma de comprender el funcionamiento global de un sistema simple de refrigeración, es imaginando la actuación del refrigerante como esponja de calor. Este funcionamiento se puede observar en la figura 15.

Figura 15. Sistema simple de refrigeración



FUENTE: "Refrigeración básica", Gases refrigerantes supersecos, (folleto). 1.

Las etapas mostradas en la figura son las siguientes:

1. **Evaporación:** en la etapa de evaporación, el refrigerante absorbe calor del espacio que lo rodea y por consiguiente lo enfría. Esta etapa tiene lugar en un componente denominado evaporador, el cual es llamado así debido a que, al absorber calor el refrigerante, cambia de líquido a gas, es decir, que lo evapora. Esta etapa equivale a mojar la esponja.
2. **Compresión:** después de evaporarse, el refrigerante es succionado por el compresor, donde se aumenta la presión. Este aumento de presión es necesario para que el gas refrigerante cambie fácilmente a estado líquido.
3. **Condensación:** la fase de condensación del ciclo se efectúa en una unidad llamada condensador. Aquí, el gas refrigerante a alta presión cede el calor al aire, al agua o a ambos, cambiando de gas a líquido. Esta fase equivale a exprimir la esponja.
4. **Control:** la fase de control es desarrollada por un mecanismo de control de flujo. Este mecanismo regula el flujo del refrigerante dentro del evaporador, y también actúa como trampa de presión. Después de que el refrigerante deja el control de flujo, se dirige al evaporador y comienza de nuevo el ciclo.

2.1. Compresores

2.1.1. Función del compresor en el sistema de refrigeración

Las funciones del compresor en el sistema de refrigeración son tres:

1. Crea la diferencia de presión requerida; esta es la primera de las tres funciones desarrolladas por los compresores. Hay que recordar que el refrigerante evaporado bajo presión reducida debe ser recomprimido para poderlo condensar. El sistema de refrigeración debe operar con la parte correspondiente a evaporación a baja presión, y la parte de condensación a alta presión. De acuerdo con esto, a la porción del sistema en el lado de succión del compresor se le llama “lado bajo”, mientras que a la sección del sistema en el lado de descarga del compresor, se le llama “lado alto”.
2. Alimenta un volumen suficiente de refrigerante; esta es la segunda de las tres funciones desarrolladas por el compresor; el volumen suficiente depende de la temperatura de operación. A menor temperatura de operación, mayor volumen de refrigerante deberá circular. Esto significa que se necesita un compresor más grande para enfriar una carga dada a una temperatura muy baja, que para enfriar la misma carga a temperatura moderadamente baja. O bien, que un compresor puede funcionar a una velocidad fija bombeando un volumen constante, pero su capacidad de enfriamiento varía, es decir que un compresor, manejando ocho toneladas a 40 °F (4 °C), puede manejar únicamente cuatro toneladas 0 °F (-17 °C), y una tonelada a -40 °F (-40 °C); esto afecta el funcionamiento del motor debido a la variación de carga. Un compresor que produce una temperatura en el evaporador de 40 °F (4 °C) opera a gran capacidad y representa una gran carga para el motor.

El mismo compresor usado para una temperatura menor en el evaporador opera a menos capacidad, y puede utilizarse un motor más pequeño. Así, el tamaño del motor de un compresor adecuado para funcionar a -40°F (-40°C) resultaría insuficiente para operar a 40°F (4°C).

3. Deben ser los más adecuados al refrigerante utilizado; la tercera función de cualquier compresor es ser el más indicado para el refrigerante que se use. El refrigerante afecta el diseño del compresor en detalles, tales como: el tamaño de las válvulas, la tensión de los resortes de las válvulas y el diseño del sistema de enfriamiento. Algunos refrigerantes como el amoníaco se calientan demasiado por la compresión. El diseño de un compresor para amoníaco puede necesitar agua o chaquetas de enfriamiento, mientras que el diseño de compresores para refrigerantes que no se calientan demasiado como el R-12, pueden requerir únicamente de aletas de enfriamiento. Los materiales de construcción también influyen; el amoníaco, por ejemplo, atacaría al cobre o a sus aleaciones si hubiera humedad presente; el refrigerante 12 y otros similares atacarían algunos tipos de plásticos o hules.

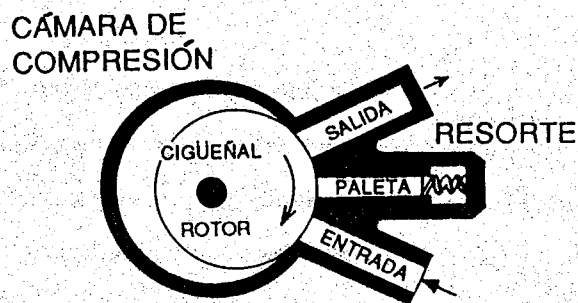
2.1.2. Tipos de compresores y sus aplicaciones

Los compresores para refrigeración y aire acondicionado se pueden clasificar en tres tipos:

2.1.2.1. Compresor rotatorio

Este compresor es conocido por su larga vida, funcionamiento suave y mínimos problemas. En lugar de un pistón central con movimiento ascendente y descendente, tiene un motor excéntrico que gira dentro de una cámara de compresión, la cual tiene a su vez válvulas de entrada y salida y una aleta sostenida contra el rotor por medio de un resorte. La acción de compresión se efectúa debido al entrapamiento del gas entre el rotor excéntrico y las paredes de la cámara. Los compresores rotatorios son usados en algunas aplicaciones domésticas e industriales. Para estas últimas, en algunos casos se usan combinados con unidades reciprocantes.

Figura 16. Compresores rotatorios

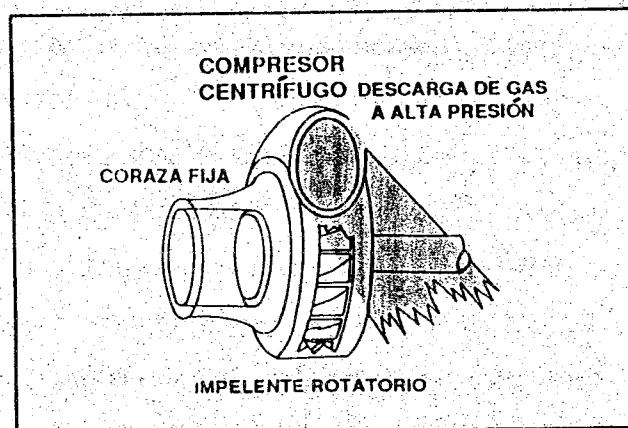


FUENTE: "Refrigeración básica", Gases refrigerantes supersecos, (folleto). 1.

2.1.2.2. Compresor centrífugo

El compresor centrífugo aumenta la presión del gas no por compresión, como en otros métodos, sino por el movimiento acelerado producido por la acción de un impelente a alta velocidad. Es apropiado para refrigerantes que operan a baja presión y gran volumen, como el R-11. Son empleados en grandes sistemas, cincuenta toneladas o más, como aire acondicionado de oficinas, edificios, hoteles, etc.

Figura 17. Compresor centrífugo



FUENTE: "Refrigeración básica", Gases refrigerantes supersecos, (folleto). 1.

2.1.2.3. Compresor reciprocante

El compresor reciprocante es el tipo más comúnmente usado para refrigeración. Es ampliamente utilizado en uso doméstico, en refrigeración comercial y en grandes sistemas industriales. Por tal razón, se profundizará en dicho tipo de compresor.

El diseño del compresor reciprocante es algo similar a un motor de automóvil moderno, con un pistón accionado por un cigüeñal que realiza carreras alternas de succión y compresión en un cilindro provisto con válvulas de succión y de descarga. En vista de que el compresor reciprocante es una bomba de desplazamiento positivo, resulta apropiado para volúmenes de desplazamiento reducido, y es muy eficaz a presiones de condensación elevada y en altas relaciones de compresión. Otras ventajas son: su adaptación a diferentes refrigerantes, la facilidad con que permite el desplazamiento de líquido a través de tuberías, dada la elevada presión creada por el compresor, su durabilidad, la sencillez de su diseño, y su costo relativamente bajo.

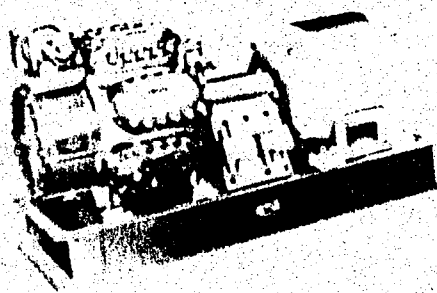
Entre los compresores recíprocos se pueden mencionar los siguientes:

2.1.2.3.1. Compresor de tipo abierto

Los primeros modelos de compresores de refrigeración fueron de los llamados de tipo abierto, con los pistones y cilindros sellados en el interior de un cárter, y un cigüeñal extendiéndose a través del cuerpo hacia fuera, para ser accionado por alguna fuerza externa. Un sello en torno del cigüeñal evita la pérdida de refrigerante y de aceite del compresor.

Aunque en un tiempo los compresores de tipo abierto fueron ampliamente utilizados, éstos tienen muchas desventajas inherentes, como mayor peso, costo superior, mayor tamaño, vulnerabilidad a fallas de los sellos, difícil alineación del cigüeñal, ruido excesivo y corta vida de las bandas o componentes de acción directa. De esto resulta que, en la mayoría de aplicaciones, el compresor de tipo abierto ha sido reemplazado por el moto-compresor de tipo semi-hermético y hermético, y el empleo del compresor de tipo abierto continúa disminuyendo, excepto para aplicaciones especializadas como es el acondicionamiento de aire para automóviles.

Figura 18. Compresor abierto

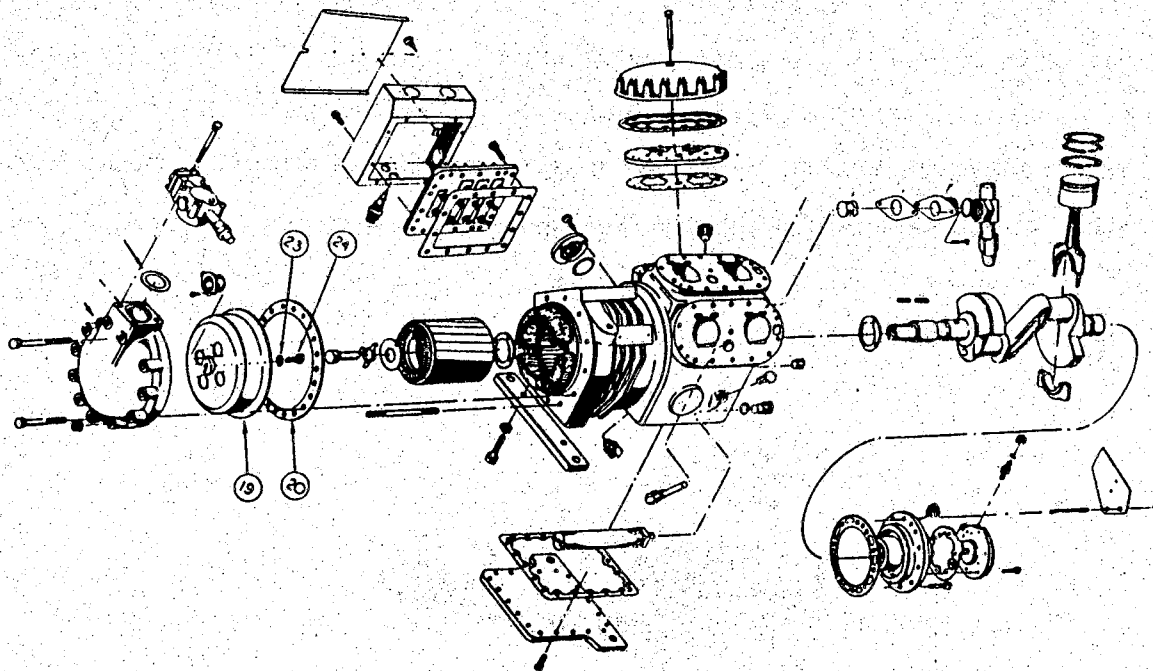


FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración**. (México: Editorial Limusa), p. 98.

2.1.2.3.2. Compresores semi-herméticos

Este tipo de compresor es accionado por un motor eléctrico montado directamente en el cigüeñal del compresor, con todas sus partes, tanto del motor, como del compresor, herméticamente selladas en el interior de una cubierta común. Se eliminan los trastornos del sello; los motores pueden calcularse específicamente para la carga que han de accionar, y el diseño resultante es compacto, económico, eficiente y básicamente no requiere mantenimiento. Las cabezas cubiertas del estator, placas del fondo y cubiertas del cárter son desmontables, y permiten el acceso para sencillas reparaciones en el caso de que se deteriore el compresor.

Figura 19. Compresor semi-hermético



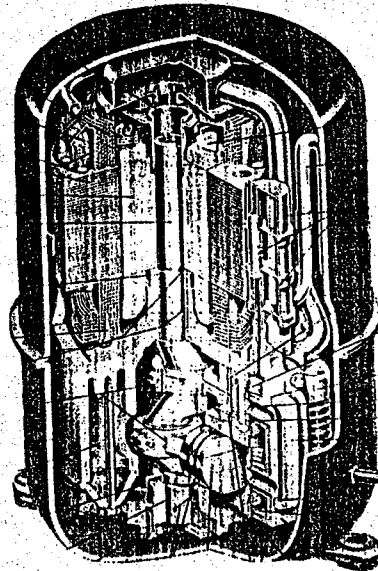
FUENTE: "Componentes de un sistema de refrigeración", Manual de refrigeración Copeland. 2 (4): 4-1.

2.1.2.3.3. Compresores herméticos

El compresor hermético ha sido desarrollado en un esfuerzo para lograr una disminución de tamaño y costo; es ampliamente utilizado en equipo unitario de escasa potencia. Como en el caso del compresor semi-hermético, un motor eléctrico se encuentra montado directamente en el cigüeñal del compresor, cuyo cuerpo es una carcasa metálica herméticamente sellada con soldadura. En este tipo de compresor, no pueden llevarse a cabo reparaciones interiores, pues, la única manera de abrirlos es cortar la carcasa del compresor.

Una ventaja de los compresores herméticos es que el gas refrigerante de succión enfría el motor del compresor. La potencia (nominal) admisible de salida de un motor disminuye a medida que aumenta la temperatura de los embobinados del mismo, para evitar el sobrecalentamiento. El gas frío de succión, que fluye rápidamente sobre los embobinados, permite al motor tener menos pérdidas por calentamiento, y por tanto, transmitir más fuerza de la que podría transmitir, si fuera enfriado sólo por el aire ambiente estático, como sucede con un motor abierto. El resultado es que se puede utilizar un motor de menor capacidad y menos costoso con los compresores herméticos. Sin embargo, al agregar el calor del motor al gas de succión, se tiene como resultado, que la potencia requerida por este compresor sería un poco mayor que la requerida por una máquina abierta.

Figura 20. Compresor hermético



FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 99.

Otra clasificación que se da a los compresores es según la temperatura y otros factores. Los fabricantes han clasificado la gran variedad de modelos y tamaños, según el refrigerante, la capacidad y el rango de temperatura o presión (o sea la succión o presión del evaporador). La clasificación típica según temperaturas es: "H" para alta, "M" o "C" para media, y "L" para baja, y "XL" para un rango de temperatura extremadamente bajo.

2.2. Evaporadores

2.2.1. Función del evaporador en el sistema de refrigeración

El evaporador es la parte del lado de baja presión del sistema de refrigeración en la que el refrigerante líquido hierve o se evapora, y absorbe el calor a medida que se convierte en vapor. Con eso, se logra el objetivo del sistema, la refrigeración.

La primera etapa en la operación de un evaporador es el flujo del refrigerante líquido dentro del tubo del evaporador. El flujo puede ser hacia arriba o hacia abajo.

La segunda etapa es el intercambio de calor del aire al refrigerante, que produce dos resultados: el aire al perder el calor se enfría y el refrigerante al absorber calor se evapora. La tercera es extraer por medio del compresor el refrigerante gaseoso del evaporador, lo que deja espacio libre para permitir la entrada de más refrigerante líquido, y mantiene una baja presión en el refrigerante líquido remanente, que permite que se evapore a una temperatura baja.

2.2.2. Tipos de evaporadores y sus aplicaciones

Los evaporadores se fabrican en gran variedad de formas y estilos para satisfacer las necesidades específicas de cada aplicación. El tipo más común es el evaporador de serpentín ventilador o de convección forzada en el que el refrigerante se evapora dentro de tubos con aletas, y extrae el calor del aire que pasa a través del serpentín mediante un ventilador. Sin embargo, en aplicaciones específicas pueden usarse serpentines sin aletas, serpentines de gravedad con flujo de aire por convección natural, superficiales de placa lisa, u otros tipos especiales de superficie para transferencia de calor.

Los evaporadores de expansión directa son aquellos en los que el refrigerante se alimenta directamente al serpentín de refrigeración a través de un dispositivo de control, que es una válvula de expansión o un tubo capilar, y absorbe directamente el calor del medio que a de enfriarse, a través de las paredes del evaporador.

En otros tipos de sistemas, pueden utilizarse refrigerantes secundarios, como agua enfriada o salmuera para la refrigeración del espacio o del producto, mientras que el evaporador es enfriador de agua o de salmuera.

Un conjunto serpentín-ventilador típico se compone de un serpentín de expansión directa montado en un gabinete metálico y un ventilador para forzar la circulación de aire. El serpentín se construye normalmente de tubo de cobre, soportado por láminas de metal, con aletas de aluminio sobre la tubería para aumentar la superficie de transferencia de calor. En caso de que el evaporador sea muy pequeño, podrá haber únicamente un circuito continuo en el serpentín, pero a medida que el tamaño es mayor, el incremento de caída de presión a través del circuito más largo hace necesario dividir el evaporador en varios circuitos individuales que se vacían en un cabezal común. Los diversos circuitos se aumentan, normalmente, a través de un distribuidor que iguala la alimentación a cada circuito, con el fin de mantener elevada la eficiencia del evaporador.

El espacio entre las aletas de la tubería del refrigerante variará según la aplicación. Los serpentines para baja temperatura pueden tener pocas como por ejemplo dos aletas por pulgada.

Los factores que afectan la capacidad del evaporador son muy similares a los que afectan la capacidad del condensador.

1. Área superficial o tamaño del evaporador.

2. Diferencia de temperatura entre el refrigerante que se evapora y el medio que se está refrigerando.
3. Velocidad del gas en los tubos del evaporador; dentro de la gama comercial normal, a mayor velocidad, mayor transferencia del calor.
4. La velocidad y flujo sobre la superficie del evaporador del medio que se está refrigerando.
5. Material utilizado en la construcción del evaporador.
6. El enlace entre las aletas y los tubos es muy importante; si no existe una unión apretada, la transferencia de calor disminuirá considerablemente.
7. Acumulación de escarcha en las aletas del evaporador; el funcionamiento a temperaturas inferiores al punto de congelación con serpentines de tiro forzado, producirá la formación de hielo y escarcha en los tubos y aletas. Esto puede provocar la reducción del flujo de aire sobre el evaporador y la disminución de la transferencia de calor.
8. Tipo del medio que ha de refrigerarse; el calor fluye casi cinco veces con mayor efectividad de un líquido al evaporador, que de un gas como el aire.
9. Punto de saturación del aire que entra; si la temperatura del evaporador se encuentra por debajo del punto de saturación del aire que entra, tendría lugar una transferencia de calor latente, junto con el sensible.

2.3. Condensadores

2.3.1. Función del condensador en el sistema de refrigeración

El condensador es básicamente un intercambiador de calor, en donde el calor absorbido por el refrigerante y durante el proceso de evaporación es cedido al medio de condensación. El calor cedido por el condensador es siempre mayor que el calor absorbido durante el proceso de evaporación, debido al calor de la compresión. Conforme el calor es cedido por el vapor de elevada presión y temperatura, su temperatura desciende al punto de saturación, y el vapor se condensa convirtiéndose en líquido, de ahí el nombre de condensador.

La operación de un condensador es justamente contraria a la de un evaporador. El gas refrigerante caliente y a alta presión cede calor a los alrededores, sea agua o aire; y se condensa y almacena hasta que se necesite en el evaporador.

El refrigerante licuado puede ser almacenado en un recipiente separado llamado depósito de líquido. Los condensadores frecuentemente son suministrados en combinación con un compresor; cuando se fabrican como un componente unitario, se les llama unidad condensadora.

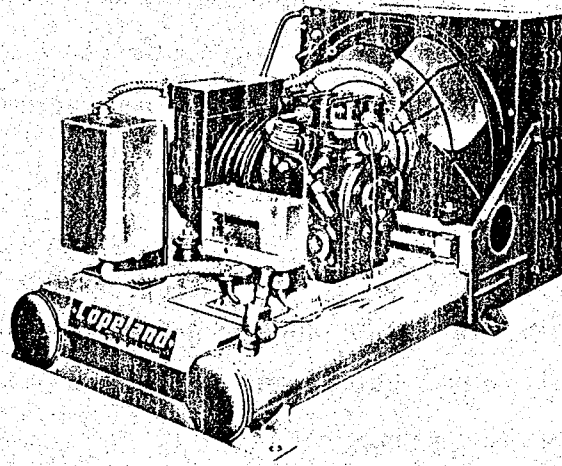
El condensador debe ser del tamaño adecuado para eliminar todo el calor añadido al refrigerante. Esto supone un gran trabajo, pues no sólo incluye la eliminación del calor absorbido en el evaporador, sino también el calor producido durante la compresión.

2.3.2. Tipos de condensadores y sus aplicaciones

2.3.2.1. Condensadores enfriados por aire

El condensador más comúnmente usado es el tubo con aletas en su exterior, las cuales disipan el calor al aire ambiente. A excepción de unidades domésticas muy pequeñas, las cuales dependen de la circulación del aire ambiente por gravedad, la transferencia de calor se lleva a cabo, de modo eficaz, forzando grandes cantidades de aire a través del condensador.

Figura 21. Unidad condensadora enfriada por aire



FUENTE: "Componentes de un sistema de refrigeración", **Manual de refrigeración Copeland. 2 (5): 5-1.**

Los condensadores enfriados por aire son fáciles de instalar, baratos de mantener, no requieren agua y no tienen peligro de congelación en tiempo frío. Sin embargo, es necesario un suministro adecuado de aire fresco, y el ventilador puede crear problemas de ruido en grandes instalaciones. En regiones muy cálidas, la temperatura relativamente elevada del aire ambiente puede producir presiones de condensación elevadas; sin embargo, si la superficie del condensador es adecuada, puede ser utilizado satisfactoriamente en toda clase de climas.

Cuando el espacio lo permite, los condensadores pueden fabricarse con una sola hilera de tubería, sin embargo, para lograr un tamaño más compacto, se constituyen normalmente con un área frontal relativamente pequeña y varias hileras de tubería superpuestas a lo ancho. El aire, al ser forzado a través del condensador, absorbe calor y eleva su temperatura. Por consiguiente, disminuye la eficacia de cada hilera subsiguiente en el serpentín; de todos modos son frecuentemente empleados los serpentines de hasta ocho hileras de profundidad.

Las aspas de succión que arrastran el aire, a través del condensador, resultan más apropiadas por establecer un flujo de aire uniforme que las aspas del tipo de descarga. El tipo de aspas de succión se prefiere normalmente, pues, una distribución uniforme del aire aumenta la eficacia del condensador.

La mayoría de los sistemas de refrigeración enfriados por aire que funcionan en bajas temperaturas del ambiente son susceptibles a sufrir deterioro, debido a presiones de descarga anormalmente bajas, a menos que se establezcan medios adecuados para mantener normal la presión de descarga.

Esto sucede especialmente en unidades de vehículos refrigerados estacionados en el exterior o en "garages" sin calefacción; esto es en sistemas de refrigeración montados en tejados o bien cualquier sistema expuesto a baja temperatura ambiente. La capacidad de los dispositivos de control de refrigerante (válvulas de expansión, tubos capilares, etc.) depende de la diferencia de presión a través del dispositivo.

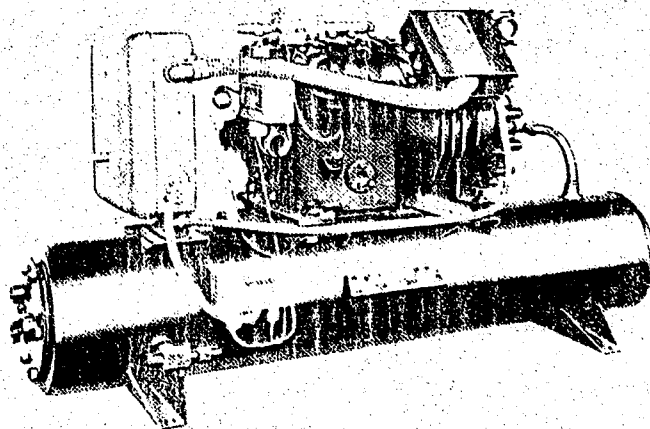
Se pueden diseñar sistemas empleando el principio de inundación parcial del condensador con refrigerante líquido, para reducir la capacidad de condensación. Con algunos de estos sistemas, se obtienen presiones de condensación muy estables, pero generalmente requieren un gran aumento en la carga de refrigerante que puede producir problemas en el funcionamiento del sistema. La restricción del flujo de aire en el condensador por medio de compuertas es también un medio efectivo para controlar la presión de condensación. Arrancar y parar el ventilador del condensador es un medio de control sencillo, pero menos efectivo.

2.3.2.2. Condensadores enfriados por agua

Cuando se encuentra disponible agua de condensación adecuada a bajo costo, son preferibles los condensadores enfriados por agua, dado que tienen presiones de condensación más bajas y es posible un mejor control de la presión de descarga. El agua, especialmente de manantiales, es generalmente mucho más fría que la temperatura del aire durante el día. Si se utilizan torres de enfriamiento, la temperatura del agua de condensación puede ser bajada a un punto muy cercano a la temperatura ambiente del bulbo húmedo. Esto permite la continua recirculación del agua de condensación, y reduce el consumo de ésta al mínimo.

Los condensadores enfriados por agua pueden ser muy compactos por las excelentes características de transferencia del calor que posee el agua. Se utilizan diversos tipos de construcción, incluyendo el de casco y serpentín, casco y tubo, y tubo dentro de tubo. Normalmente, el agua de enfriamiento se desplaza a través de tuberías o serpentines en el interior de una carcasa sellada en la que se descarga el gas caliente procedente del compresor. Una vez condensado el refrigerante, éste puede salir por la línea de líquido siendo de este modo innecesario el empleo de un recipiente separado.

Figura 22. Unidad condensadora enfriada por agua



FUENTE: "Componentes de un sistema de refrigeración", Manual de refrigeración Copeland. 2 (5): 5-2.

Una válvula de control de agua modulada con un elemento sensible a la presión o a la temperatura puede ser utilizada para mantener las presiones de condensación dentro de la gama deseada mediante el aumento o disminución del flujo de agua, según sea necesario.

Los circuitos de agua de enfriamiento en compresores con camisas de agua y en condensadores enfriados por agua pueden instalarse en serie o en paralelo, según lo requiera cada aplicación en particular. El empleo de conexiones en paralelo produce una menor caída de presión, a través del circuito y puede ser necesario cuando el aumento en la temperatura del agua de enfriamiento debe mantenerse al mínimo.

En ocasiones, los condensadores se deterioran por la excesiva velocidad del agua o por cavitación en los tubos del condensador. Para evitar dificultades de funcionamiento, debería tenerse cuidado en seguir las recomendaciones de instalación que se indican a continuación:

1. La velocidad del agua, a través del condensador no deberá exceder de 7 pies (2.13 m.) por segundo. Velocidades superiores pueden producir "corrosión de choque". Esta es una condición en la que puede producirse la erosión progresiva del tubo, debido a que la velocidad elevada del agua desgasta la superficie interior oxidada del tubo en puntos donde tiene lugar una turbulencia excesiva. Esto se inicia con una diminuta imperfección del tubo en su superficie interior, pero progresivamente se vuelve peor a medida que la erosión aumenta. Para mantener la velocidad del agua a un nivel aceptable, cuando se requiere un flujo de agua elevado, será necesario circuitar en paralelo el condensador.
2. En el supuesto de que se utilice una bomba de circulación de agua, deberá instalarse, de modo que el condensador se alimente del lado de descarga de la bomba. Si la bomba estuviera en el lado de descarga del condensador, éste tendría un ligero vacío provocado por la succión de la bomba, y por consiguiente, el agua se aproximaría mucho más a su punto de ebullición. La combinación de una zona de calor localizada en el condensador, junto con un aumento localizado de la velocidad, puede reducir todavía más la presión, y dar lugar a que se produzca una cavitación.

La cavitación es básicamente una condición en la que una combinación variable de la presión y de la temperatura, causa una momentánea ebullición o conversión del agua en vapor, con el subsiguiente colapso de las burbujas, a medida que varían las condiciones. Esto puede dar por resultado una muy rápida erosión u destrucción del tubo de agua. Manteniendo una presión positiva en el condensador se evitará que esto suceda.

3. En caso de que el condensador se instale a una altura superior a 5 pies (1.5 m.) del punto de drenaje del agua, deberá instalarse un rompedor de vacío o un conducto abierto de ventilación, para evitar que en la tubería de descarga se forme un vacío parcial. Una conexión de descarga sin ventilar, con una caída vertical alta podría producir la cavitación en igual forma que una bomba en la salida del condensador.

2.3.2.3. Condensadores evaporativos

Los condensadores de evaporación se utilizan frecuentemente cuando se desean temperaturas de condensación inferiores a las que pueden obtenerse con condensadores enfriados por aire, y en donde el suministro de agua no es adecuado para una intensa utilización.

El vapor de refrigerante caliente fluye a través de tuberías dentro de una cámara con rociadores de agua, en donde es enfriado mediante la evaporación del agua que entra en contacto con los tubos de refrigerante.

El agua que se expone al flujo del aire en una cámara con rociadores se evaporará rápidamente. El calor latente requerido para el proceso de evaporación se obtiene mediante una reducción en el calor sensible y, por consiguiente, mediante una reducción de la temperatura del agua. Una cámara de evaporación con rociadores puede reducir la temperatura del agua a un punto que se aproxima a la temperatura del bulbo húmedo del aire.

Puesto que el enfriamiento se realiza mediante la evaporación de agua, el consumo de agua se reduce a una fracción de la que se utiliza en sistemas de enfriamiento en los que el agua después de utilizarse se descarga a un drenaje. Los condensadores evaporativos son, por consiguiente, muy utilizados en regiones áridas y calientes. En Guatemala, se pueden mencionar lugares como Zacapa y El Progreso.

La corrosión, incrustación y el peligro de congelación son problemas que deben resolverse, tanto en los condensadores evaporativos, como en los de enfriamiento por agua. En las torres de enfriamiento y en los condensadores evaporativos debe instalarse un sistema de drenaje continuo para evitar la concentración de contaminantes en el agua de enfriamiento.

La capacidad de transferencia de calor de un condensador depende de varios factores:

1. Superficie del condensador.
2. Diferencia de temperatura entre el medio enfriador y el gas refrigerante.
3. Velocidad del gas refrigerante en los tubos del condensador; en la gama de funcionamiento comercial normal, a mayor velocidad, mejor transferencia de calor y mayor capacidad.
4. Volumen de flujo de medio enfriante sobre o a través del condensador; la transferencia de calor aumenta con la velocidad, tanto para el aire como para el agua, y, en el caso del aire, aumenta asimismo con la densidad.

5. El material con el que se ha construido el condensador, puesto que la transferencia de calor es diferente en materiales distintos, los metales más eficaces aumentarán la capacidad.
6. Limpieza de la superficie de transferencia de calor; la suciedad, incrustación o corrosión, pueden reducir la transferencia de calor. Para un condensador dado, se fijan las características físicas y, la variable primaria es la diferencia de temperaturas entre el gas refrigerante y el medio enfriante.

2.4. Ejemplos para la selección de los equipos de refrigeración para cuartos refrigerados

Antes de mostrar la forma de seleccionar los equipos utilizados en la refrigeración, es importante explicar otros conceptos de mucha importancia, ya que la carga horaria de refrigeración que se utiliza como la base sobre la cual seleccionar el equipo de refrigeración, no será igual a un 24avo. de la carga diaria, sino mayor. Esto se debe a tres factores:

1. Tiempo de operación del compresor; el compresor no opera en forma continua debido a que el control termostático tiene un diferencial de temperatura. El compresor sale de operación dentro de un estrecho intervalo de temperaturas satisfactorias dentro del cuarto, y no entra de nuevo en operación, sino hasta que se alcanza la máxima temperatura permisible; también es posible parar el sistema para proceder a la descongelación.

En el caso de cuartos a 35 °F (1.6 °C) o más, es una práctica común emplear 16 h como el tiempo de operación del compresor con descongelación de 18 a 20 hrs. sin descongelación. Para cuartos a menos de 35 °F (1.6 °C), generalmente se selecciona de 18 a 20 hrs. como el tiempo de operación del compresor. De esta manera, se aumenta la carga horaria real sobre el equipo.

$$\text{Carga Horaria} = \frac{\text{Carga diaria}}{\text{Tiempo de operación, h}} \quad (9)$$

2. Carga del motor ventilador del evaporador; el ventilador del evaporador, situado por lo general dentro del espacio refrigerado, aumenta la capacidad requerida del equipo. Esta carga no ha sido incluida como parte de las otras cargas del compresor, y se debe a que dicha carga depende de la capacidad del equipo, la cual se conocerá hasta que se haya calculado la carga total. La carga, debido al motor del ventilador del evaporador, se basa en los datos del fabricante sobre la capacidad nominal. Es preciso, además, corregir esta carga para el tiempo de operación, en aquellos casos en que la unidad no opere de una manera continua. En el caso de cuartos a temperaturas mayores de 35 °F (1.6 °C), los ventiladores operan por lo general en forma continua. En los cuartos a temperaturas más bajas, el ventilador se para a menudo durante los períodos de descongelación. Es típico disponer de dos horas diarias para esta operación.

3. Carga de descongelación: en las cámaras con temperaturas de la superficie del serpentín interiores a unos 32°F (0° C), se acumula la escarcha sobre el serpentín de enfriamiento. En algunos casos en los que la temperatura es cercana a los 32°F (0° C), resultará adecuado un simple período fuera de operación para descongelar el serpentín. De otra manera, se requiere una entrada de calor para descongelar la superficie del serpentín en un espacio de tiempo relativamente corto, utilizando gas caliente o calor eléctrico. Esto impone una carga adicional sobre el equipo de refrigeración.

Otro concepto que se debe tener en cuenta en la selección de equipos, es el equilibrio de los componentes; esto es debido a que el equipo se fabrica con capacidades que se incrementan progresivamente; es extremadamente improbable que cada uno de los componentes seleccionados tenga la capacidad que se ajuste exactamente a la carga de diseño en las condiciones requeridas. Además de este hecho, cuando los componentes (compresor, condensador y evaporador) son instalados y operan como un sistema, cada uno de ellos ejerce un efecto sobre el funcionamiento del otro. Esto da por resultado que el sistema de refrigeración opere a alguna condición fija de capacidad y temperaturas (para un conjunto dado de condiciones externas). Esto se conoce como la condición o punto de balance (o equilibrio).

Es importante hallar la condición de balance, no sólo para las condiciones de diseño (a plena carga), sino a menudo en condiciones de carga parcial. No es cuestión de capacidad. El estudio de la operación balanceada a carga parcial resulta útil para determinar si el sistema operará sin un funcionamiento errático, o de manera que pueda dañar al equipo.

Los procedimientos para equilibrar los componentes, se pueden llevar a cabo por un análisis gráfico muy sencillo, ya que presenta la ventaja de indicar rápidamente lo que ocurre con el funcionamiento cuando cambian las condiciones. El procedimiento general consiste en trazar las curvas de funcionamiento de cada componente sobre la misma gráfica. El punto de intersección de las curvas de dos componentes indica el punto de balance. Esto es, que dicho punto representa la condición de capacidad y operación de los componentes cuando operan juntos como un solo sistema.

Si se utilizan un compresor y un condensador separados, se aplica primero el procedimiento gráfico a estos dos componentes, y luego a la unidad de condensación y al serpentín de enfriamiento resultante.

2.4.1. Selección de evaporadores

Para la selección de evaporadores, se debe tomar en cuenta la diferencia de temperatura y la deshumificación, puesto que para una instalación dada se fijan las características físicas; la variable primaria, es la diferencia de temperatura entre el refrigerante en evaporación y el medio que se está enfriando, comúnmente llamada DT. Para un serpentín de tipo forzado, cuanto más frío esté el refrigerante respecto a la temperatura del aire que entre en el evaporador, mayor será la capacidad del serpentín.

Normalmente se utilizan diferencias de temperaturas de 5 °F a 20 °F (3 °C a 11 °C), pero con fines económicos; la diferencia de temperatura deberá mantenerse tan baja como sea posible, dado que el funcionamiento del compresor será más eficaz a una presión de succión mayor.

La cantidad de humedad condensada del aire está en relación directa a la temperatura del serpentín, y un serpentín que funciona con un diferencial demasiado grande entre la temperatura de evaporación y la temperatura del aire que entra, tenderá a producir una baja humedad en el espacio refrigerado. En el almacenamiento de verduras, carnes, frutas y otros artículos similares, una humedad reducida motivará una deshidratación excesiva del producto, y su deterioro.

Para productos almacenados que requieren una humedad relativa muy elevada (el 90% aproximadamente), se recomienda una diferencia de temperatura de 8 °F a 12 °F (4 °C a 7 °C), y para humedades relativas ligeramente menores (aproximadamente del 80%) una diferencia de temperatura de 12 °F a 16 °F (7 °C a 9 °C), es normalmente adecuada.

Para la selección de evaporadores, la mayoría de fabricantes se basan en el diferencial de temperatura y la carga en BTU/hr. (kcal.), como lo muestra la tabla XII.

Tabla XII. Selección de evaporadores para alta temperatura

Size	- CFM	60 Hz. Operation	
		10°F T.D. BTUH / kcal @	15°F TD BTUH / kcal @
ADT 040	890	4000 1008	6000 1512
ADT 052	855	5200 1310	7800 1966
ADT 065	825	6500 1638	9750 2457
ADT 070	1690	7000 1764	10500 2646
ADT 090	1640	9000 2268	13500 3402
ADT 104	1710	10400 2621	15600 3931
ADT 130	1650	13000 3276	19500 4914
ADT 156	2565	15600 3931	23400 5897
ADT 208	3420	20800 5242	31200 7862
ADT 260	4275	26000 6552	39000 9828
ADT 312	5130	31200 7862	46800 11794
ADT 370	4950	37000 9324	55500 13986

FUENTE: "Air defrost unit coolers", Bohn Refrigeration Products (catálogo).

La tabla XII se utiliza para seleccionar evaporadores con aplicación en alta temperatura, o sea el método de descongelación por aire. En este método, el ventilador continúa funcionando mientras se detiene la marcha del compresor, ya sea durante un período de tiempo previamente establecido por un controlador, o hasta que la temperatura del serpentín suba unos pocos grados.

La selección de evaporadores con aplicación en baja temperatura es muy similar que en alta temperatura, pero este tipo de evaporadores poseen un componente adicional de mucha importancia para la descongelación, ya que el hielo y la escarcha se acumularán continuamente en el serpentín; esto se debe a que trabajan por debajo de la temperatura de congelación y, por lo tanto, el flujo de aire a través del serpentín quedará eventualmente bloqueado.

Para estos sistemas (de baja temperatura), se debe suministrar una fuente de calor para fundir el hielo. Los sistemas de descongelación eléctricos utilizan resistencias calefactoras en el evaporador. El agua también es apropiada para la descongelación de sistemas. La descongelación mediante gas caliente es ampliamente utilizada, se emplea el gas de descarga procedente del compresor, se desvía del condensador y se descarga directamente en la entrada del evaporador. Otros sistemas utilizan una descongelación de ciclo inverso, en la que el flujo de refrigerante se invierte. Para convertir el evaporador, temporalmente, en un condensador, hasta que el período de descongelación se ha completado.

Para evitar la recongelación del condensado fundido en la charola de drenaje del evaporador, se requiere un calefactor en la charola de drenaje.

A continuación, se presenta la siguiente tabla XIII, que indica la forma de selección de evaporadores para aplicación en baja temperatura.

Tabla XIII. Selección de evaporadores para baja temperatura

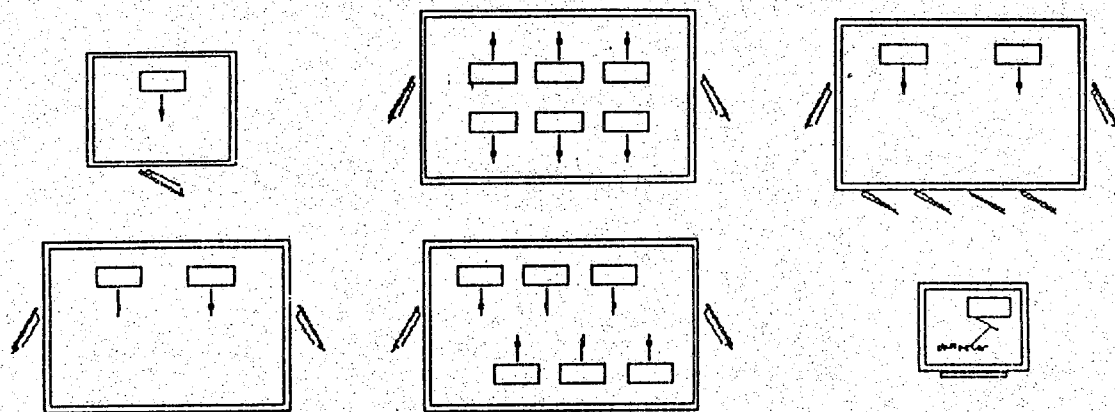
Model No.	60 HZ			
	CFM <i>m³/h</i>	BTUH/kcal @ 10°F. TD		
		+20°F SST	-20°F SST	-30°F SST
LET040	840 1428	4600 1159	4000 1008	3600 907
LET047	820 1394	5400 1361	4700 1184	4230 1066
LET065	1570 2669	7500 1890	6500 1638	5850 1474
LET090	1680 2856	10400 2621	9000 2268	8100 2041
LET120	2520 4284	13800 3477	12000 3024	10800 2721
LET160	3360 5712	18400 4637	16000 4032	14400 3629
LET200	4200 7140	23000 5796	20000 5040	18000 4536
LET240	5040 8568	27600 6955	24000 6048	21600 5443
LLE068	1740 2958	8000 2016	6800 1713	6120 1542
LLE102	2610 4437	12000 3024	10200 2570	9180 2313
LLE136	3480 5916	16000 4032	13600 3427	12240 3084
LLE170	4350 7395	20000 5040	17000 4284	15300 3855
LLE204	5220 8874	24000 6048	20400 5141	18360 4626

La temperatura saturada de succión se define como la temperatura de saturación, correspondiente a la presión a la entrada de succión del compresor.

FUENTE: "Electric defrost unit coolers", **Bohn Refrigeration Products** (catálogo).

La ubicación de los evaporadores también es un factor que influye en el correcto funcionamiento de un cuarto refrigerado. Al ubicar los evaporadores adecuadamente, se garantiza que la circulación del aire cubra la mayor parte del espacio refrigerado y que las partes que conforman el cuarto no sufran desperfectos. En la figura 23, se pueden observar algunas sugerencias para la ubicación de los evaporadores.

Figura 23. Posición de los evaporadores



FUENTE: "Seminario de cámaras frigoríficas Mr. Winter Inc." (Folleto). Mr. Winter Inc. Estados Unidos.

Las dos primeras ilustraciones muestran la ubicación de los evaporadores para flujo de aire hacia una pared; la segunda y tercera muestra el flujo de aire hacia dos paredes, y por último está el caso de cuartos refrigerados con vitrinas de cristal.

Es muy importante evitar al máximo que la corriente de aire golpee directamente la puerta o por lo menos a corta distancia. En casos extremos, se debe utilizar un deflector con el objeto de desviar el aire. También es importante dejar un espacio adecuado entre el evaporador y la pared del cuarto refrigerado, para permitir el retorno del aire.

2.4.2. Selección de condensadores y compresores

Como se mencionó anteriormente, es usual tener al compresor y condensador juntos en una misma unidad, cuyo nombre es unidad condensadora.

Para la selección de las unidades condensadoras se mostrarán dos casos.

1. Unidades condensadoras que tienen compresores herméticos.
2. Unidades condensadoras que tienen compresores semi-herméticos.

Para la selección de unidades condensadoras con compresor hermético, se presenta a continuación la tabla XIV.

Tabla XIV. Selección de unidades condensadoras con compresor hermético

(a). R-22 Alta temperatura

	50°F	45°F	40°F	35°F	30°F	25°F	20°F	15°F	10°F	5°F	0°F
	84.0#	76.0#	68.5#	61.5#	54.9#	48.8#	43.0#	37.7#	32.9#	28.2#	24.0#
1	14200	12900	11700	10600	9550	8580	7650	6750	5850	4940	4010
1½	20000	18250	16600	15000	13550	12100	10800	9550	8250	7200	6080
2	25700	23600	21600	19750	17900	16200	14550	13000	11400	9980	8520
3	41500	37750	34200	30800	27650	24600	21750	19100	16600	14100	11750
4	59150	54350	49750	45350	41050	36900	32850	28950	25000	21250	17500
5	68650	62950	57500	52350	47400	42700	38200	34000	29800	25900	21950

(b). R-502 Temperatura media

	30°F	25°F	20°F	15°F	10°F	5°F	0°F	-5°F	-10°F
	65.6#	58.8#	52.4#	46.5#	41.0#	35.9#	31.1#	26.7#	22.6#
1½	13800	12700	11550	10300	9160	8040	6980	5950	4950
2	16750	15400	14150	12750	11600	10400	9250	8200	7100
2	18200	16700	15250	13750	12450	11100	9810	8530	7260
3	28850	26200	23650	21250	18950	16800	14700	12750	10900
4	42750	39100	35600	32250	28950	25800	22700	19700	16700
5	48700	44500	40400	36500	32800	29200	25800	22600	19400

FUENTE: "Copeland", Copeland Corporation (catálogo). Estados Unidos.

En estas tablas, se puede observar la variación de la capacidad que se tiene, según la aplicación (baja, mediana y alta temperatura); además, la variación según el gas refrigerante utilizado.

Para la selección de unidades condensadoras con compresor semi-hermético, se presenta a continuación la tabla XV.

Tabla XV. Selección de unidades condensadoras con compresor semihermético

HP Nom.	°C	Temperatura de evaporación														
		5	0	-5	-10	-15	-18	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-60	
	°F	41	32	23	14	5	0	-5	-13	-23	-31	-40	-49	-58	-76	
3/4	R-12	2140	1830	1760	1260	1030	920									
				1610	1340	1130	1020	920								
1	R-12	2900	2420	2020	1700	1460	1340									
				2330	1950	1640	1490	1350								
	R-502							1830	1480	1180	910	680				
1 1/2	R-12	4100	3450	2920	2440	2010	1800									
				3340	2800	2310	2070	1890								
	R-502							2360	1880	1470	1120	820				
2	R-12	5580	4680	3910	3210	2570	2320									
				4710	3840	3230	2860	2820								
				4910	4150	3360	3050	2620								
	R-502							3180	2570	1970	1560	1080				
3	R-12	8540	7180	6450	4890	3880	3530									
				6900	5860	4650	4380	4030								
	R-22	9170	7990	6680	5570	4490	3980									
				7810	6490	5290	4640	4130								
	R-502			7510	6490	5510	4890	4470								
5	R-12	12730	10710	8900	7730	6050	5540									
				10580	8650	7260	6500	5870								
	R-22	14110	12100	10480	8690	7410	6300									
			12100	10080	8190	7310	6550									
	R-502			12470	10710	8950	8060	6800			5670	4840	3880	3100	2320	1490
7 1/2	R-12	19150	16880	14240	11850	9700	8780									
				16000	13480	11090	9950	9070								
	R-22	21800	18270	15410	12730	10330	9270									
							12420	11340	9450	7760	6250	4890				
	R-502						15880	14490	11720	9370	7560	5880				
									8700	7760	6960	5540	4410	3230		
										9320	8060	6700	5600	4360	2980	

FUENTE: "Copeland", Copeland Corporation (catálogo). Estados Unidos.

3. ACCESORIOS DEL CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN, TIPOS Y SELECCIÓN

3.1. Sistema de tubería

3.1.1. Funciones del sistema de tubería

Entre las funciones que debe llevar a cabo el sistema de tubería, se encuentran las siguientes:

1. Proveer el flujo adecuado de refrigerante.
2. Evitar una excesiva caída de presión.
3. Evitar la entrada al compresor de refrigerante líquido, así como de pequeñas porciones de aceite.
4. Proveer el retorno al cárter del aceite lubricante.

El tamaño (diámetro) de la tubería debe ser adecuado a la función, a fin de evitar la restricción del flujo de refrigerante. Tampoco debe tener una longitud innecesaria, ni cambios en la dirección u otras restricciones que puedan afectar adversamente el flujo.

El diámetro de la tubería, su longitud y accesorios, no deben ocasionar una excesiva caída de presión, ya que ésta representa una pérdida de energía. Las caídas de presión, tanto en la línea de succión como en la línea de gas caliente, hacen necesario un aumento en la potencia del compresor. Un exceso en la caída de presión en la línea de líquido, puede dar por resultado la formación del gas de vaporización súbita, antes de llegar a la válvula de expansión. Esta condición reducirá la capacidad del sistema, y causará asimismo un funcionamiento errático.

La disposición del sistema de tubería y sus accesorios deben evitar la entrada al compresor de refrigerante líquido o de pequeñas porciones de aceite, provenientes de la línea de succión y de gas caliente. Los líquidos pueden dañar directamente las piezas del compresor. Además, el refrigerante líquido puede diluir el aceite, de manera que la lubricación resulte deficiente.

La cuarta función, es el retorno del aceite al compresor, ya que los compresores alternativos modernos usan lubricación forzada en la carcasa. Algo de aceite se adhiere a la pared del cilindro durante la compresión y es enviado con el refrigerante gaseoso por las compuertas de descarga. Algunos compresores bombean mucho menos aceite que otros, y depende del diseño y de los métodos de fabricación; sin embargo, no hay modo de diseñar un compresor, de manera que nada del aceite escape a la tubería de refrigeración. El único propósito del aceite es lubricar el compresor. Sin embargo la presencia de aceite en la tubería influye en la distribución de ésta. Un sistema de tubería, que no está correctamente seleccionado o instalado, puede causar:

1. Daño de los cojinetes del compresor, debido a la carencia de retorno de aceite al compresor, lo que ocasiona mala lubricación.
2. Válvulas rotas del compresor, debido al refrigerante líquido o a grandes cantidades de aceite que entran al compresor. El compresor se diseña para bombear vapor y no el líquido.
3. Pérdida de capacidad por restricción del flujo de refrigerante a través del sistema.

Existen cuatro reglas básicas que deben tenerse en cuenta cuando se conecta tubería en un sistema de refrigeración:

1. Mantener limpia la tubería; la limpieza es un factor clave en la instalación. Mugre, lodo y humedad causarán fallas en el sistema y deben ser evitados; un trabajo limpio ahorrará muchas dificultades de servicio.

2. Usar el mínimo de accesorios posibles; menos accesorios significa menos posibilidad de fugas, menos caída de presión y menor costo de instalación.
3. Tomar especial precaución al hacer conexiones soldadas; usar la soldadura correcta para cada aplicación, y seguir técnicas de soldadura recomendadas por el fabricante del equipo.
4. Inclinarse las líneas horizontales en la dirección del flujo del refrigerante. A causa de que el aceite puede adherirse a las paredes interiores de la tubería, las líneas horizontales deben inclinarse en la dirección del flujo de refrigerante. Esta inclinación permite que el aceite fluya en la dirección correcta, y debe ser al menos $\frac{1}{2}$ pulgada (1.27 cm) por 10 pies (3 m) de longitud. La inclinación también evita el flujo hacia atrás durante las paradas.

Un tópico muy importante del sistema de tubería es el funcionamiento de las tres líneas principales en un circuito de refrigeración; estas tres líneas son:

1. Línea de gas caliente.
2. Línea de líquido.
3. Línea de succión.

3.1.2. Línea de gas caliente

La instalación de gas caliente (línea de descarga) está asociada sólo con sistemas que se forman de componentes separados. Las unidades condensadoras, equipo autocontenido "chillers", etc., tendrán todo ese trabajo realizado en fábrica. Sin embargo, para instalar equipo de componentes separados y para dar mantenimiento, debe familiarizarse con las técnicas de la tubería de refrigeración para la línea de gas caliente.

La función básica de la línea de gas caliente es conducir gas comprimido y arrastrar el aceite al compresor, sin crear excesiva caída de presión. Cuando el compresor y el condensador están aproximadamente al mismo nivel, la línea de gas caliente puede ir directamente al condensador con la inclinación apropiada en la línea horizontal (1/2 pulgada (1.27 cm) por 10 pies (3 m) de recorrido).

En aplicaciones donde el condensador está localizado sobre el compresor y el tubo vertical no tiene más de 8 pies (2.44 m) de longitud, se hace la pendiente recomendada sobre la horizontal en la dirección del flujo.

Donde el tubo vertical al condensador tiene más de 8 pies (2.44 m) de longitud sobre el compresor, el compresor debe protegerse de la posibilidad de retorno de aceite de la tubería, y su puesta en contacto con la válvula de descarga del compresor. Una trampa simple de aceite, instalada en la línea de gas caliente cerca al compresor, evitará que este aceite entre al compresor.

Si el compresor se localiza donde su temperatura puede ser más baja que la del condensador o receptor, debe instalarse una válvula cheque en la línea de gas caliente cerca al condensador; esto evitará la migración de refrigerante al compresor, durante las paradas.

3.1.3. Línea de líquido

A causa de que el líquido es más denso que el gas, la línea de líquido puede tener un diámetro menor que la línea de gas caliente.

Para entender lo que sucede en la línea de líquido, se debe conocer más sobre los refrigerantes; es un tema que se verá en el capítulo 4. Si la presión en la línea de refrigerante líquido decrece, mientras su temperatura permanece igual o se incrementa, algo de este refrigerante eventualmente se evapora. Si esto ocurre, la válvula de expansión opera ineficientemente y el sistema pierde algo de su capacidad.

La caída de presión causada por la fricción en la línea de líquido no debe exceder de 3 psi (20.67 N/m²). Las líneas horizontales pueden generalmente dimensionarse cerca de sus límites. Puede encontrarse algo de dificultad en los verticales largos. La presión sobre una partícula en el fondo del vertical es mayor que la presión sobre una partícula en la parte superior del vertical; esto se debe al peso del líquido. Si el refrigerante en el fondo del vertical está justamente en el punto de balance entre el líquido y el gas, se evaporará instantáneamente si decrece la presión. Por consiguiente, antes que el refrigerante inicie su ascenso por el vertical, debe subenfriarse suficientemente, de tal modo que no cambie a gas cuando descienda la presión que subsiste en el tope del vertical. Los accesorios, tales como válvulas, mirillas, filtros y secadores son una fuente de caída de presión adicional. En la práctica, un subenfriamiento de 10°F (12.2°C), generalmente es suficiente para elevaciones hasta de 25 pies (7.62 m).

3.1.4. Línea de succión

Esta línea lleva vapor refrigerante frío y aceite a la entrada del compresor. A causa de que el refrigerante en esta línea es un gas, que no se mezcla con el aceite, las consideraciones son similares a las de las líneas de gas caliente; la tubería debe ser tal que el aceite no retorne en grandes cantidades o paquetes, lo cual puede causar rotura de las válvulas.

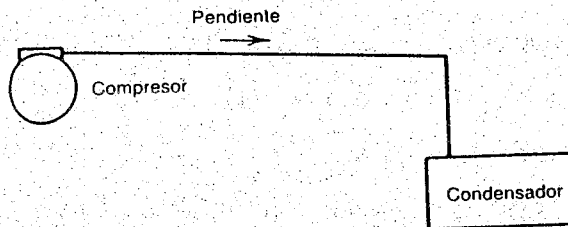
3.1.5. Arreglos de tubería para líneas de gas caliente

3.1.5.1. El condensador situado por debajo del compresor

La figura 24 muestra que la tubería es directa, sin curvas innecesarias. Se le debe dar una inclinación a la línea horizontal, en la dirección del flujo, para impedir que el aceite drene nuevamente al compresor, cuando éste no se halle en operación.

La inclinación debe ser de $\frac{1}{2}$ pulg. (1.27 cm) por cada 10 pies (3 m.) de longitud. Esta inclinación también se recomienda en líneas de succión.

Figura 24. Tubería de gas caliente (el condensador situado por debajo del compresor)

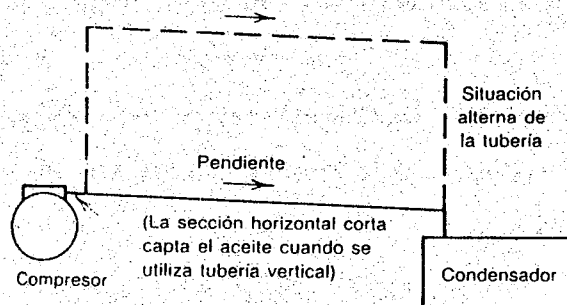


FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 247.

3.1.5.2. El condensador y el compresor situados al mismo nivel

La figura 25 muestra que la línea puede estar a nivel horizontal, con la inclinación apropiada, o puede hacer un rodeo por la parte superior para evitar atravesar el piso. En este caso, se deja una corta sección horizontal de tubería a la salida del compresor, para atrapar la pequeña cantidad de aceite que podría drenar del corto tubo vertical, durante las paradas. La línea que hace el rodeo no debe tener un altura mayor de 8 pies (2.44 m.).

Figura 25. Tubería del gas caliente (el condensador situado al mismo nivel que el compresor)



FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración**. (México: Editorial Limusa), p. 247.

3.1.5.3. El condensador situado por encima del compresor

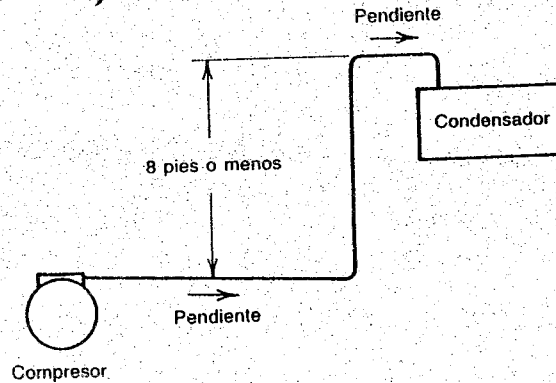
Este caso presenta un problema muy difícil, puesto que un tubo vertical constituirá siempre una parte esencial de la tubería, el aceite drenará por esta sección durante el periodo de parada. El tubo vertical debe tener un diámetro apropiado, de tal manera que la velocidad del gas sea lo suficientemente alta para que junto, con él, se eleve el aceite.

En las líneas horizontales, también deben existir velocidades adecuadas para que circule el aceite.

Si el condensador está ubicado en un lugar donde su temperatura sea superior a la del compresor durante las paradas, la presión más elevada del refrigerante en el condensador, hace que el refrigerante circule hacia la línea del gas caliente, para luego condensarse en la cabeza del compresor. Esto puede perjudicar al compresor durante el arranque. El problema se resuelve mediante la instalación de una válvula de retención en la línea del gas caliente, a la entrada del condensador.

Cuando la altura del tubo vertical es de 8 pies (2.44 m) o menos, es conveniente instalar una sección horizontal a la salida del compresor, para captar la pequeña cantidad de aceite que drena del tubo vertical durante las paradas, como lo muestra la figura 26.

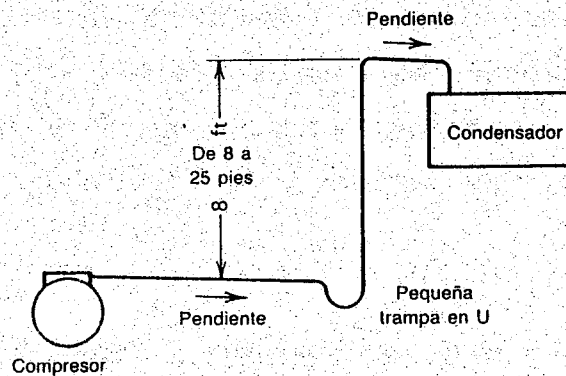
Figura 26. Tubería del gas caliente (el condensador situado por encima del compresor, a 8 pies o menos)



FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 248.

Si el tubo vertical del gas caliente tiene una longitud mayor de 8 pies (2.44 m), es preciso instalar una trampa en la parte inferior del mismo (figura 27). La trampa recoge el aceite que drena del tubo vertical durante las paradas. La forma de la trampa ayuda asimismo a elevar el aceite acumulado, cuando arranca el sistema. El gas caliente tiende a descomponer el aceite en pequeñas gotas, para ser barrido cuando el gas caliente choca con él. La trampa debe ser pequeña, de manera que no acumule demasiado aceite, y prive del mismo al compresor.

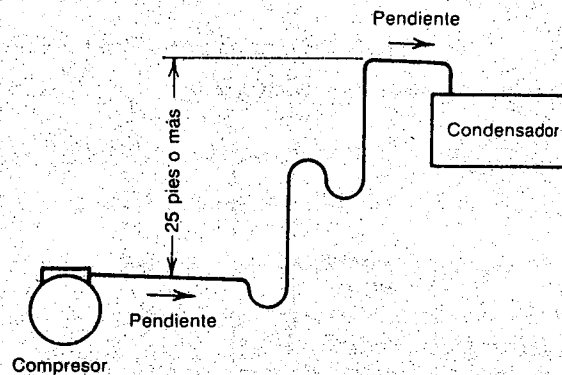
Figura 27. Tubería del gas caliente (el condensador situado de 8 a 25 pies por encima del compresor)



FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 248.

Es necesario instalar una segunda trampa en el punto medio, si la longitud del tubo vertical es de entre 25 y 50 pies (7.62 y 15.24 m) (figura 28).

Figura 28. Tubería del gas caliente (el condensador situado por encima del compresor, a una altura mayor de 25 pies)



FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 248.

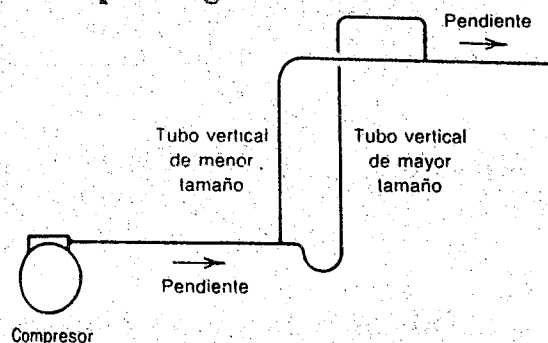
3.1.5.4. Doble tubo vertical

En la figura 29 se muestra la disposición con doble tubo vertical para el gas caliente. El tubo vertical de menor diámetro (el más cercano al compresor) tiene una dimensión apropiada para manejar el flujo menor del gas a carga mínima. El tubo vertical mayor tiene el diámetro suficiente para manejar el resto del gas a plena carga; ambos cuentan con suficiente velocidad de gas.

A plena carga, el gas fluye a través de ambos tubos verticales, a una velocidad suficiente para hacer circular el aceite. Cuando disminuye la capacidad del compresor, la velocidad reducida resultará insuficiente para elevar el aceite, y por consiguiente drena de nuevo a través de ambos tubos, y llena la trampa situada en la parte inferior del tubo vertical mayor. Queda así bloqueado dicho tubo, y todo el flujo de gas se desvía al tubo vertical menor, que tiene el diámetro necesario para proveer una velocidad adecuada del gas al flujo de capacidad mínima.

Cuando aumenta la capacidad, la velocidad más elevada producida por un mayor flujo de gas, obliga al aceite a salir de la trampa, y ambos tubos verticales operan de nuevo con suficiente velocidad.

Figura 29. Tubo vertical doble para el gas caliente

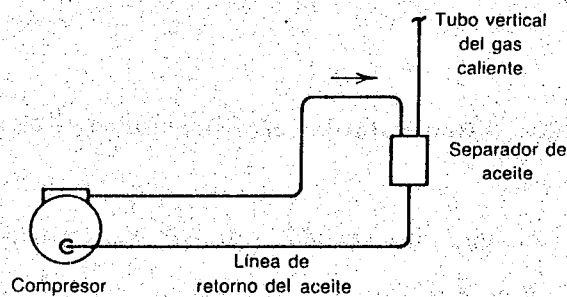


FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 249.

3.1.5.5. Separador de aceite

Si no es posible mantener una velocidad adecuada del gas en el tubo vertical único del gas caliente, otra solución consiste en instalar un separador de aceite en la línea de descarga (figura 30).

Figura 30. Instalación del separador de aceite en el tubo vertical de gas caliente



FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración**. (México: Editorial Limusa), p. 249.

3.1.6. Arreglos de tubería para líneas de succión

3.1.6.1. El evaporador y el compresor situados al mismo nivel

La figura 31 muestra la disposición recomendada para estos casos, donde se provee un tubo vertical y una línea de rodeo, para impedir que el líquido drene al compresor. La trampa a la salida del evaporador recoge cualquier líquido que pueda drenar durante las paradas.

Figura 31. Tubería de succión (el evaporador y el compresor situados al mismo nivel)

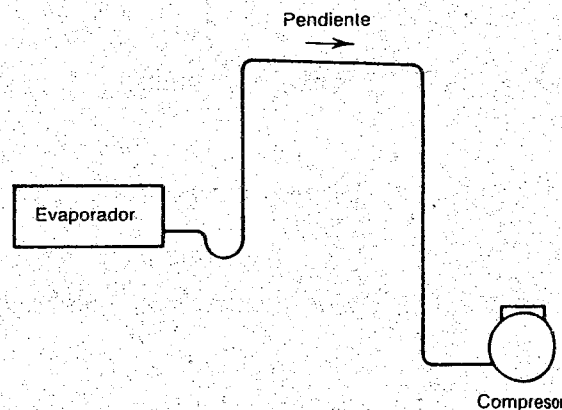


FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 250.

3.1.6.2. El evaporador situado por encima del compresor

En estos casos, se provee un tubo vertical y una línea de rodeo, además de una trampa en el evaporador (figura 32).

Figura 32. Tubería de succión (el evaporador situado por encima del compresor)

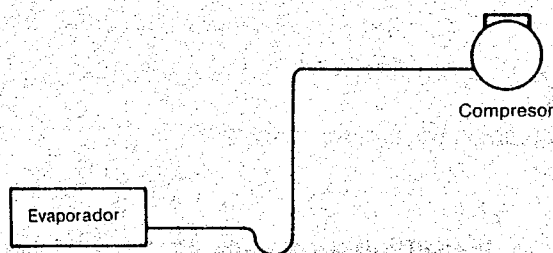


FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 250.

3.1.6.3. El evaporador situado por debajo del compresor

La trampa y el tubo vertical se muestran en la figura 33. Se debe proveer una trampa adicional por cada 25 pies (7.62 m) de tubo vertical, igual que en el caso del tubo vertical para el gas caliente.

Figura 33. Tubería de succión (el evaporador situado por debajo del compresor)

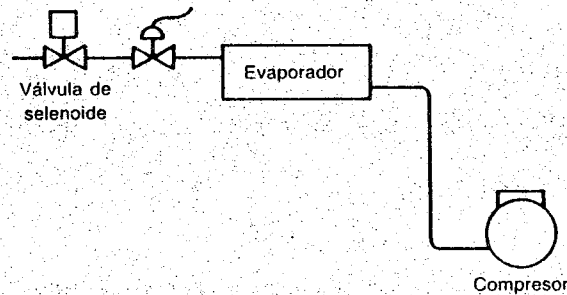


FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración**. (México: Editorial Limusa); p. 251.

3.1.6.4. Control de reducción de presión

Si el sistema está provisto de un control de reducción de presión, no es necesario utilizar la trampa y la línea de rodeo, para evitar que el líquido acumulado drene al compresor cuando el evaporador está situado por encima del compresor. Cuando se utiliza el control de reducción de presión, se instala una válvula accionada por una solenoide a la entrada el evaporador (figura 34). El termostato de control se conecta, de manera que cierre la válvula, en lugar de parar el compresor.

Figura 34. Tubería de succión equipada con control de reducción de presión



FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración**. (México: Editorial Limusa), p. 251.

3.1.7. Arreglos de tubería para líneas de líquido

El aceite y los refrigerantes halocarburos líquidos se mezclan antes de entrar a la línea del líquido, porque el retorno del aceite no constituye un problema al diseñar la línea del líquido. El problema más importante estriba en evitar la formación de gas de vaporización súbita en la línea del líquido. Este gas aumenta el volumen del refrigerante que llega a la válvula de expansión, lo que reduce el flujo másico, a través de la válvula, y disminuye, asimismo, la capacidad de refrigeración.

La vaporización súbita del gas tendrá lugar en la línea del líquido, si la presión disminuye por debajo de la presión de saturación correspondiente a la temperatura del líquido refrigerante.

3.1.8. Materiales utilizados para tubería de refrigeración

La mayoría de la tubería usada en la refrigeración se hace de cobre. Sin embargo, el aluminio es usado ahora ampliamente para la fabricación de los circuitos internos, de los serpentines del evaporador y del condensador, aunque no ha llegado a ser popular para la fabricación de las líneas de conexión del refrigerante en el campo, principalmente a causa de que no puede ser trabajado fácilmente como el cobre, y es más difícil de soldar.

La tubería de acero se usa para ensamblar sistemas de refrigeración muy grandes, donde se necesitan tuberías de 6 pulg. (15.24 cm) de diámetro o más. También se utiliza con el amoníaco, puesto que éste ataca al cobre químicamente. En el trabajo moderno de refrigeración, no se usan tuberías de acero roscadas, ya que no pueden hacerse a prueba de fugas. Estos sistemas son soldados, y los acoples se hacen con brida al equipo y donde se necesitan juntas de servicio.

El tubo de cobre, cuando se forma, tiende a endurecerse, y esta acción de endurecimiento causaría grietas en los extremos del tubo cuando éste es acampanado o trabajado. El cobre puede suavizarse calentándolo hasta un color azul en su superficie y luego poniéndolo a enfriarse. Este proceso se llama recocido y se efectúa en la fábrica.

El tubo de cobre que se usa en trabajo de refrigeración se conoce como tubo "ACR", esto significa con esto que se usa en refrigeración y ha sido especialmente fabricado y procesado con este fin. El tubo "ACR" se presuriza con gas nitrógeno para mantenerlo libre de aire, humedad y polvo, y también para suministrar máxima protección contra óxidos nocivos que se forman normalmente durante la soldadura con latón.

El tubo de cobre tiene tres clasificaciones: K, L y M, basadas en el espesor de la pared:

K = Pared gruesa, aprobado para "ACR"

L = Pared media, aprobado para "ACR"

M = Pared delgada, no usado en sistemas de refrigeración.

El tubo tipo M de pared delgada no se usa en líneas de refrigerante presurizadas, por no tener el espesor de pared que satisfaga los códigos de seguridad. Es, sin embargo, usado en líneas de agua, drenajes de condensado, y otras necesidades asociadas con el sistema.

El tubo K de pared gruesa es preferido para usos especiales en que pueden presentarse condiciones anormales de corrosión. El tipo L es el más frecuentemente usado para aplicaciones de refrigeración normales. Tanto los tubos K como L están disponibles en tipo estirado, suave o duro.

El tubo de cobre suave o temple suave, como su nombre lo indica, es recocido para hacerlo más flexible y fácil de doblar y formar. Es disponible comercialmente en tamaños de 1/8 de pulg. (0.32 cm) D.E. hasta 1 5/8 pulgada (4.13 cm) D.E.

La tubería de cobre suave puede soldarse o usarse con accesorios tipo campana o de otro tipo mecánico.

El tubo de estirado duro o temple duro también se usa extensamente en sistemas comerciales de refrigeración. A diferencia del suave, es duro y rígido y viene en longitudes rectas. Se usa con acoples preformados para hacer las curvas o cambios de dirección necesarios. A causa de su construcción rígida, es más autosoportante y necesita pocos apoyos. Los tamaños varían de 3/8 de pulg. (0.95 cm) D.E. hasta sobre 6 pulg. (15.24 cm) D.E. El tubo rígido viene en longitudes de 20 pies (6 m), deshidratados, cargados con nitrógeno, y taponados en cada extremo para mantener una condición interna de limpieza y libre de humedad.

3.1.9. Selección del diámetro de tubería para refrigeración

La experiencia ha llevado a la conclusión de que existen caídas de presión y velocidades recomendadas en las tuberías del refrigerante. Estos valores recomendados establecen un equilibrio entre el costo de la tubería y los aumentos en el costo de la energía, como resultado de la excesiva caída de presión, ya que las tuberías de menor diámetro son causa de un aumento en la pérdida por fricción. Esto se refiere particularmente al caso de las líneas de succión y de gas caliente. Cuando se trata de líneas de líquido, los diámetros se basan en el mantenimiento de la caída de presión por debajo de valores que resultarían en la vaporización súbita del líquido.

Además de estos factores, los diámetros de las tuberías deben ser tales, que aseguren que las velocidades del fluido se encuentren dentro de ciertos límites mínimos y máximos. Para un flujo dado, la velocidad aumenta con la disminución del diámetro de la tubería. Las velocidades deben ser lo bastante altas, como para asegurar un óptimo retorno del aceite en las líneas de succión y gas caliente. Por otra parte, las velocidades que son demasiado altas conducen a caídas de presión, ruidos y vibraciones excesivos.

En las líneas de líquido, las velocidades elevadas pueden ocasionar golpeteos del líquido cuando se cierran las válvulas.

Es práctica común en la industria de la refrigeración, expresar las caídas de presión de diseño recomendadas en las líneas de refrigerante, como un cambio de temperatura equivalente, y el cambio de temperatura equivalente, se define como: “el cambio correspondiente de la temperatura de saturación que ocurriría con la caída de presión especificada”.

El cambio de temperatura equivalente constituye una manera conveniente de expresar la caída de presión, debido a que las capacidades nominales de los compresores se basan en las temperaturas saturadas de succión y descarga.

Constituye una práctica común del diseño, en el caso de los halocarburos, utilizar 2°F (5.6°C) como la caída de presión equivalente, al determinar el diámetro de las tres líneas, sin importar las condiciones de evaporación y condensación.










La caída de presión no sólo tiene lugar en una tubería recta, sino asimismo en los accesorios y válvulas instalados en la misma. Es conveniente expresar la caída de presión que tiene lugar en un accesorio o una válvula, como la longitud equivalente (L.E.) de tubería recta que tendría la misma caída de presión. La longitud real de la tubería se agrega a la longitud equivalente de los accesorios y válvulas, para hallar una longitud total equivalente a ésta.

En la siguiente tabla, se muestran las caídas de presión de algunos accesorios utilizados en refrigeración.

Tabla XVI. Caídas de presión en conexiones de tubería en pies equivalentes

Tubería nominal o tamaño del tubo (pulg.)	CODOS			
	90° ELL	60° ELL	45° ELL	30° ELL
3/8	2.7	1.1	0.6	0.3
1/2	3.0	1.3	0.7	0.4
3/4	4.0	1.6	0.9	0.5
1	5.0	2.1	1.0	0.7
1 1/4	7.0	3.0	1.5	0.8
1 1/2	8.0	3.4	1.8	1.1
2	10	4.5	2.3	1.3
2 1/4	12	5.2	2.8	1.7
3	15	6.4	3.2	2.0
3 1/2	18	7.3	4.0	2.4
4	21	8.5	4.5	2.7
5	25	11	6.0	3.2
6	30	13	7.0	4.0
8	40	17	9.0	5.1
10	50	21	12	7.2
12	60	25	13	8.0
14	68	29	15	9.0
16	78	31	17	10
18	85	37	19	11
20	100	41	22	13
24	115	49	25	16

Tabla XVI. Continuación

Tubería nominal o tamaño del tubo (pulg.)	Codos de doblez suave						TE de doblez suave			
	90° Std*	90° Long Rad.+	90° Street*	45° Std*	45° Street*	180° Std*	Flow-Thru Branch	Straight-Thru Flow		
								No Reduction 	Reduced % 	Reduced % 
3/8	1.4	0.9	2.3	0.7	1.1	2.3	2.7	0.9	1.2	1.4
1/2	1.6	1.0	2.5	0.8	1.3	2.5	3.0	1.0	1.4	1.6
3/4	2.0	1.4	3.2	0.9	1.6	3.2	4.0	1.4	1.9	2.0
1	2.6	1.7	4.1	1.3	2.1	4.1	5.0	1.7	2.3	2.6
1 1/4	3.3	2.3	5.8	1.7	3.0	5.8	7.0	2.3	3.1	3.3
1 1/2	4.0	2.6	6.3	2.1	3.4	6.3	8.0	2.6	3.7	4.0
2	5.0	3.3	8.2	2.6	4.5	8.2	10	3.3	4.7	5.0
2 1/4	6.0	4.1	10	3.2	5.2	10	12	4.1	5.6	6.0
3	7.5	5.0	12	4.0	6.4	12	15	5.0	7.0	7.5
3 1/4	9.0	5.9	15	4.7	7.3	15	18	5.9	8.0	9.0
4	10	6.7	17	5.2	8.5	17	21	6.7	9.0	10
5	13	8.2	21	6.5	11	21	25	8.2	12	13
6	18	10	25	7.9	13	25	30	10	14	16
8	20	13	--	10	--	33	40	13	18	20
10	25	16	--	13	--	42	50	16	23	25
12	30	19	--	16	--	50	60	19	26	30
14	34	23	--	18	--	55	68	23	30	34
16	38	26	--	20	--	62	78	26	35	38
18	42	29	--	23	--	70	85	29	40	42
20	50	33	--	26	--	81	100	33	44	50
24	60	40	--	30	--	94	115	40	50	60

FUENTE: CARRIER Air conditioning company. Piping design – general. System design manual (1): 3-17.

Para el cálculo del diámetro de la tubería de refrigeración, se pueden utilizar, tanto gráficas, como tablas que nos indican el diámetro de una forma directa.

Las gráficas y las tablas se basan en el mismo principio, si se conoce la capacidad de los equipos de refrigeración y la longitud equivalente de tubería.

A continuación, se presentan las gráficas para el cálculo del diámetro de tubería para los refrigerantes 22 y 502, que aún son los más utilizados en Guatemala.

Figura 35. Gráficas para el cálculo del diámetro de tubería

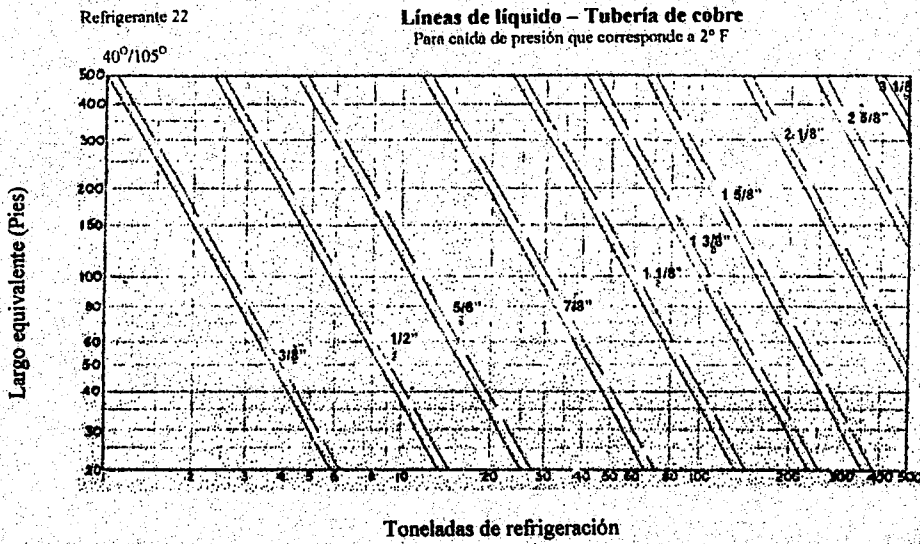
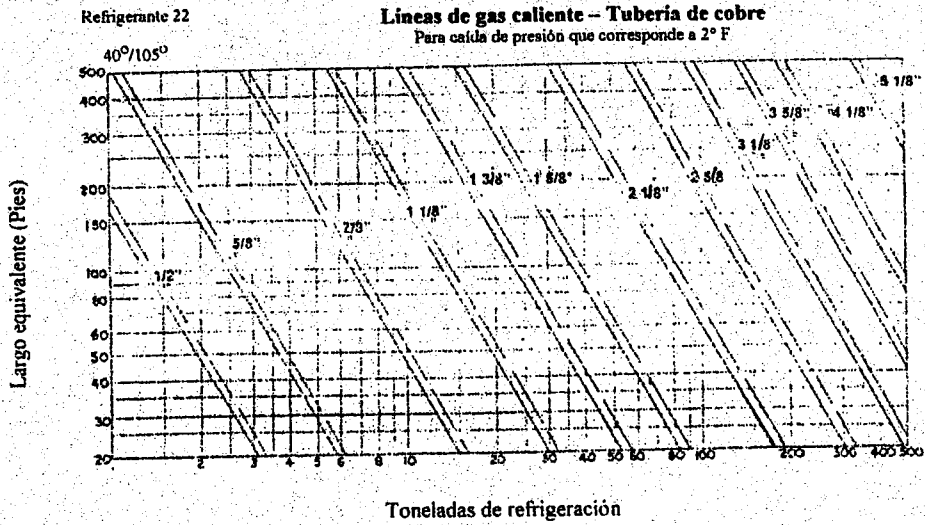
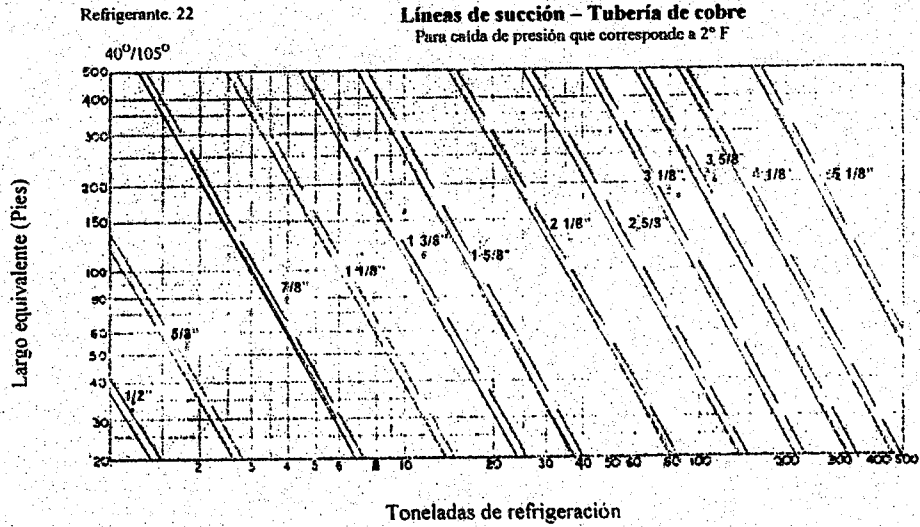


Figura 35. Continuación



La caída de presión está dada en grados equivalentes por la aceptación general de este método de determinación de diámetro. La caída de presión correspondiente en libras por pulgadas cuadradas puede estar determinada al referirse a las tablas de saturación de los refrigerantes.

Para usar las gráficas de líneas de succión y gas caliente para otras condiciones que 40° F succión de saturación y 105° F condensación. Multiplicar la carga de refrigeración en toneladas por el factor de la siguiente tabla.

Temp Cond. (F)	Temperatura saturada de succión (F)																			
	-40		-30		-20		-10		0		10		20		30		40		50	
	S	HG	S	HG	S	HG	S	HG	S	HG	S	HG	S	HG	S	HG	S	HG	S	HG
80	4.75	1.52	3.72	1.49	2.95	1.41	2.37	1.35	1.92	1.3	1.57	1.28	1.29	1.25	1.07	1.23	0.90	1.20	0.76	1.16
90	-	-	3.86	1.38	3.06	1.33	2.45	1.26	1.99	1.21	1.63	1.18	1.34	1.15	1.12	1.13	0.94	1.11	0.79	1.08
100	-	-	4.03	1.28	3.21	1.25	2.57	1.19	2.08	1.14	1.70	1.09	1.41	1.07	1.17	1.05	0.98	1.03	0.82	1.01
110	-	-	-	-	3.37	1.18	2.70	1.14	2.19	1.08	1.79	1.03	1.47	1.00	1.23	0.98	1.02	0.96	0.86	0.94
120	-	-	-	-	3.55	1.11	2.84	1.09	2.29	1.05	1.87	0.99	1.54	0.95	1.28	0.92	1.08	0.90	0.90	0.89
130	-	-	-	-	-	-	3.02	1.03	2.44	1.01	1.99	0.96	1.64	0.91	1.36	0.88	1.13	0.95	0.95	0.84
140	-	-	-	-	-	-	3.20	1.00	2.58	0.97	2.11	0.94	1.73	0.89	1.44	0.85	1.20	0.82	1.01	0.80
150	-	-	-	-	-	-	-	-	2.78	0.94	2.26	0.92	1.86	0.88	1.34	0.83	1.28	0.80	1.08	0.77
160	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	0.93	2.44	0.90	2.00	0.87	1.65	0.83	1.37	0.78	1.15	0.75

Notas: para usar las gráficas de gas caliente y líquido para caída de fricción diferente a 2° F, multiplicar el largo equivalente por el factor de la siguiente tabla.

Caída de fricción (F)	Factor multiplicador de toneladas											
	Línea de líquido	Línea de gas caliente	Líneas de succión	.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
Multiplicador				4.0	2.0	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3

El diámetro de tubería es exterior y son para tubería tipo L de cobre.

Figura 35. Continuación

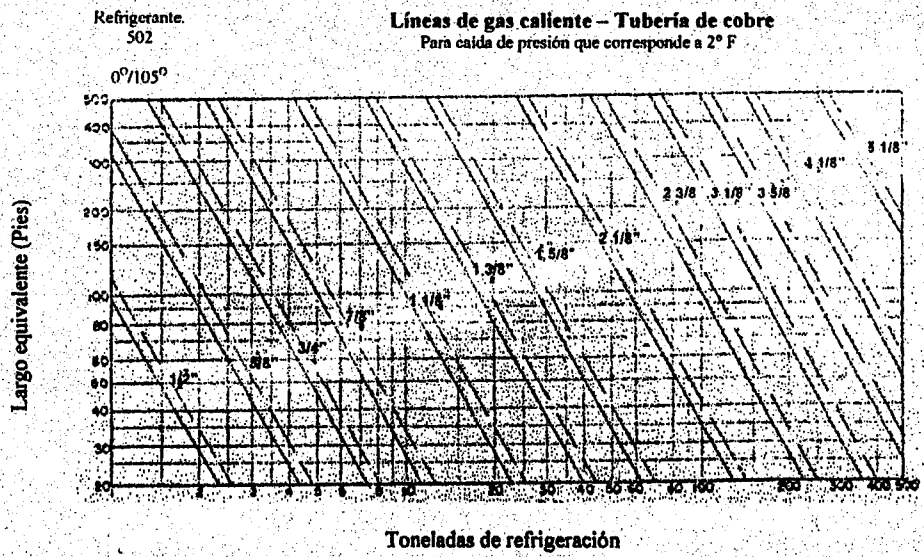
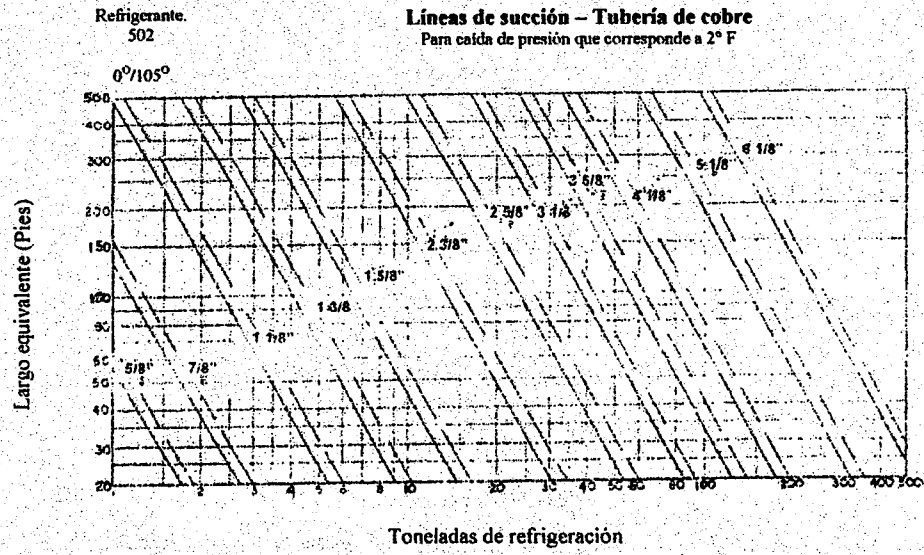
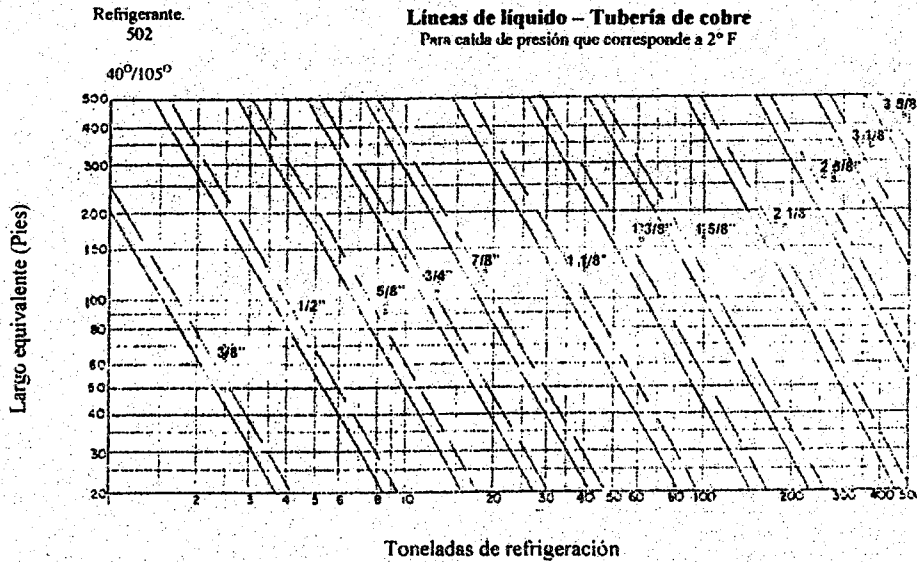


Figura 35. Continuación



La caída de presión está dada en grados equivalentes por la aceptación general de este método de determinación de diámetro. La caída de presión correspondiente en libras por pulgadas cuadradas puede estar determinada al referirse a las tablas de saturación de los refrigerantes.
Para usar las gráficas de líneas de succión y gas caliente para otras condiciones que 0° F succión de saturación y 105° F condensación. Multiplicar la carga de refrigeración en toneladas por el factor de la siguiente tabla.

Temp. Cond. (F)	Temperatura saturada de succión (F)																			
	-50		-40		-30		-20		-10		0		10		20		30		40	
	S	HG	S	HG	S	HG	S	HG	S	HG	S	HG	S	HG	S	HG	S	HG	S	HG
80	2.82	1.44	2.15	1.34	1.67	1.27	1.31	1.22	1.04	1.18	0.84	1.14	0.69	1.11	0.56	1.07	0.47	1.04	0.39	1.00
90	-	-	2.31	1.29	1.79	1.20	1.40	1.14	1.12	1.10	0.90	1.07	0.73	1.04	0.60	1.00	0.49	0.97	0.41	0.94
100	-	-	-	-	1.93	1.17	1.31	1.10	1.20	1.05	0.96	1.01	0.78	0.98	0.64	0.95	0.53	0.92	0.44	0.89
110	-	-	-	-	2.11	1.16	1.64	1.07	1.30	1.01	1.04	0.97	0.84	0.94	0.69	0.91	0.57	0.88	0.47	0.85
120	-	-	-	-	-	1.79	1.07	1.42	0.99	1.13	0.94	0.91	0.91	0.74	0.88	0.61	0.85	0.51	0.82	
130	-	-	-	-	-	1.98	1.08	1.56	0.99	1.24	0.93	0.99	0.88	0.81	0.85	0.66	0.82	0.55	0.79	
140	-	-	-	-	-	-	-	1.74	1.01	1.37	0.93	1.10	0.88	0.89	0.84	0.73	0.81	0.60	0.78	
150	-	-	-	-	-	-	-	1.94	1.05	1.53	0.96	1.22	0.88	0.98	0.83	0.80	0.80	0.66	0.77	
160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.72	1.00	1.36	0.91	1.10	0.84	0.89	0.80	0.73	0.77	

Notas: para usar las gráficas de gas caliente y líquido para caída de fricción diferente a 2° F, multiplicar el largo equivalente por el factor de la siguiente tabla.

Caída de fricción (F)	Factor multiplicador de toneladas											
	Línea de líquido	Línea de gas caliente	Línea de succión	.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
Multiplicador				4.0	2.0	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3

El diámetro de tubería es exterior y son para tubería tipo L de cobre.

FUENTE: CARRIER Air conditioning company. Piping design – general. System design manual (1): 3-46 - 3-49.

3.1.10. Accesorios del sistema de tubería

Entre los accesorios más utilizados en refrigeración, se pueden mencionar los siguientes:

3.1.10.1. Sifón colector de aceite

Este elemento, de apariencia simplista, puede ocasionar, si falta importantes trastornos en el buen funcionamiento del circuito de refrigeración. Anteriormente se ha observado la aplicación de los sifones en el sistema de tubería.

3.1.10.2. Eliminador de vibración

Es una pieza metálica flexible de cobre, que debido a su construcción, se ajusta fácilmente al movimiento en una dirección radial, pero no debe ser sometido a fuerzas de tensión o compresión. En unidades pequeñas en donde se emplea tubería de cobre flexible de pequeños diámetros, una espiral del tubo puede proveer una protección adecuada contra la vibración procedente del compresor, a través de la tubería.

3.1.10.3. Tubo de aislamiento de la tubería ("Armaflex o Rubatex")

Fabricado básicamente de elastómeros de celda cerrada, plástico o vidrio celular, provee excelente aislamiento con resistencia a la absorción de agua o vapor y, debido a su naturaleza inorgánica, son a prueba de fuego. Son altamente flexibles, por lo que se instalan fácilmente y se adaptan al diseño de las líneas de tubería.

Las líneas de líquido no deben aislarse, si la temperatura del ambiente que las rodea es menor o igual a la temperatura del líquido.

Generalmente, el aislante se debe instalar cuando la línea de líquido está expuesta en una longitud considerable a los rayos directos del sol; si la tubería está en cuartos de calderas o equipos que irradian demasiado calor o cuando, se instala un intercambiador de calor para mantener el efecto de subenfriamiento.

Allí donde la línea de succión y líquido se puedan colocar juntas, se pueden aislar ambas a la vez, para tener un intercambio de calor que permita subenfriar el refrigerante líquido.

La línea de succión deben aislarse solamente para prevenir el goteo donde puede causar una molestia o un daño. Es generalmente deseable que la línea de succión sea capaz de absorber algo de calor, para poder evaporar cualquier cantidad de refrigerante líquido que llegue a la succión del compresor. Para condiciones inusuales de alta temperatura y alta humedad relativa en el ambiente, se debe aplicar un aislamiento de mayor espesor.

El espesor del aislamiento que se va a utilizar en la línea de succión, queda determinado por la temperatura de operación del equipo de refrigeración, lo cual quiere decir que si un equipo trabaja a menor temperatura, el aislamiento debe ser mejor, ya que la tendencia a la condensación es mayor.

La línea de gas caliente no debe aislarse, ya que cualquier pérdida de calor en esta línea, reduce el trabajo que debe realizar el condensador.

3.1.10.4. Uniones y dobleces con tubería de cobre

Las uniones con tubería de cobre se pueden realizar de tres maneras: 1. unión por soldadura; 2. unión por enlace a tuerca y 3. unión por coplas de cobre.

La unión por soldadura de dos tramos de tubería de cobre tiene lugar cuando en uno de los extremos que se va a unir, se practica un ensanche, de manera que dicho ensanche permita alojar al otro extremo del siguiente tramo de tubo. Este tipo de unión se utiliza en tubería de cobre flexible.

La unión por enlace a tuerca tiene lugar siempre que la unión de tubo de cobre se haga con una pieza de metal (no cobre), como por ejemplo: una llave de paso, manómetro, presostato, filtro deshidratador, visor de líquido, válvula de expansión, que, a su vez, presenta siempre los extremos roscados, sobre el que se acoplará la tuerca.

La unión de tubería de cobre, por medio de coplas, se practica generalmente con tubería de cobre rígida, ya que ésta no se puede abocinar o ensanchar. Las coplas de cobre pueden ser rectas o reductoras. Al introducir los dos extremos de la tubería en la copla, se debe realizar una soldadura en cada extremo, para evitar que la presión desconecte el extremo de la tubería con la copla.

La soldadura, que se emplea en las uniones por soldadura, debe ser soldadura fuerte; se recomienda la oxiacetilénica, así como también la oxibutánica, cuyo material de aportación debe ser varilla de "cobre-plata".

Los dobleces en la tubería sirven para efectuar cambios de dirección y poder hacer la conexión entre el evaporador y el condensador (o la unidad condensadora), sin importar la posición de ambos equipos.

La tubería de cobre flexible tiene la ventaja que se puede doblar, sólo con la ayuda de la herramienta para hacer dobleces. Con esto, no se hace necesario instalar algún otro accesorio adicional, lo que implica pérdida de tiempo al hacer los tendidos de tubería.

Con tubería rígida se deben instalar codos de cobre, que pueden ser a 90° o 45°.

3.1.10.5. Drenajes

El drenaje no tiene relación alguna con el sistema de tubería del refrigerante, pero es parte importante del sistema de refrigeración. Esto se debe a que no se debe permitir que se vuelva a congelar el agua que se forma por la descongelación en el evaporador. Se debe proveer siempre una charola o bandeja de drenaje con su tubería.

Es preciso darle a la tubería una inclinación apropiada, para asegurar un rápido drenaje.

Es una práctica común que en cuartos refrigerados para alta temperatura, la tubería de drenaje se realice de PVC. En cuartos refrigerados de baja temperatura, en que la charola y la tubería de drenaje están sometidos a la descongelación, es preciso calentarlos utilizando medios suplementarios como por ejemplo, la resistencia eléctrica. Por lo mencionado anteriormente, la tubería de drenaje, para un cuarto de baja temperatura, se realiza con tubería de cobre, como mínimo hasta la salida del cuarto. A la tubería se le enrolla la resistencia eléctrica y se aísla el conjunto.

Se debe instalar, en las líneas de tubería de drenaje, una trampa de sello, a fin de impedir que el aire fluya al evaporador. La trampa debe colocarse fuera del espacio refrigerado, si existe la posibilidad de congelación.

3.2. Accesorios del circuito de refrigeración

3.2.1. Filtros deshidratantes (succión y líquido)

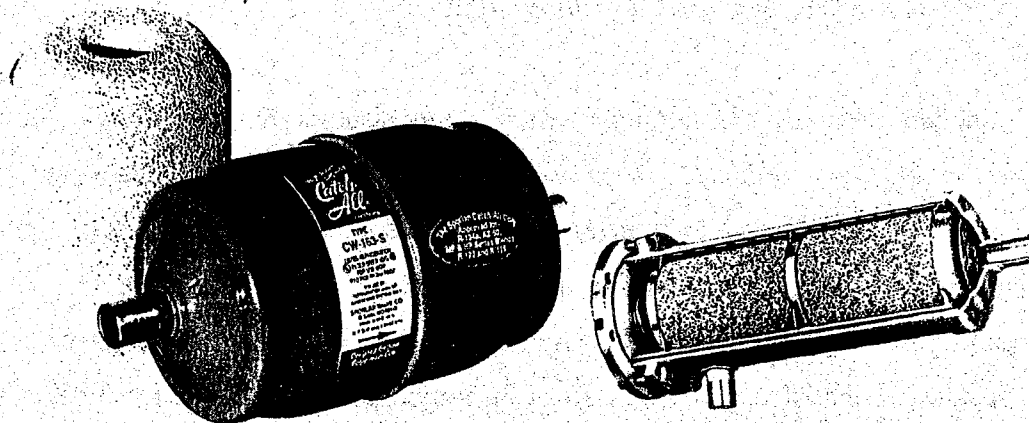
La humedad es uno de los enemigos básicos de un sistema de refrigeración y el nivel de humedad debe ser mantenido al mínimo, con el fin de evitar alteraciones en el funcionamiento del sistema o el deterioro del compresor. Aun con las más extremadas precauciones, la humedad penetrará en un sistema en el momento en que éste se abra para algún tipo de reparación. A menos que el sistema sea evacuado a fondo y vuelto a cargar después de haber estado expuesto a la humedad, el único medio efectivo para eliminar pequeñas cantidades de humedad es el empleo de un deshidratador.

Los deshidratadores o secadores, tal como se denominan comúnmente, están constituidos por una envoltura rellena con un secante o agente de secado, provista de un filtro adecuado en cada extremo. Algunos secadores se han fabricado en forma de un bloque poroso, de modo que el refrigerante se filtra a través de la totalidad del bloque. Los deshidratadores se deben montar en la línea del líquido, pero en algunos casos especiales, además de colocar el deshidratador en la línea de líquido, se monta un deshidratador en la línea de succión.

La mayoría de los secadores están constituidos, de modo que puedan desempeñar la doble función de filtro y secador.

Se utilizan muchos agentes de secado diferentes, aunque prácticamente todos los secadores modernos son o bien del tipo desechable o del tipo de elemento recambiable, como se muestra la figura 36. Se recomienda desechar o cambiar el elemento secador utilizado, cada vez que se abre el sistema.

Figura 36. Filtros deshidratadores del tipo desechable y del tipo recambiable



FUENTE: "Catch-All", Sporlan Valve Company, catálogo 201: 21.

Los filtros para líneas de succión se utilizan para proteger al compresor de basuras dejadas en el sistema, cuando se efectúa la instalación; además, se utilizan para limpieza después de quemarse un compresor.

Existen filtros deshidratadores para utilizar con los nuevos refrigerantes y aceites, y esto se debe a que los nuevos aceites (aceites sintéticos, POE), son aceites higroscópicos, por lo cual absorben humedad.

La selección de los filtros deshidratadores se realizan mediante el tipo de refrigerante y la capacidad de los equipos de refrigeración. Existen filtros deshidratadores que se deben soldar y roscar.

3.2.2. Válvulas de expansión

La válvula de expansión termostática (TEV) es casi exclusivamente utilizada en sistemas de refrigeración; provee una excelente solución para regular el flujo de refrigerante en un evaporador de expansión directa. La TEV regula el flujo de refrigerante manteniendo el sobrecalentamiento casi constante en la salida del evaporador.

A medida que el sobrecalentamiento en la salida del evaporador aumenta debido al incremento en la carga de calor en el evaporador, la TEV incrementa el flujo de refrigerante, hasta que el sobrecalentamiento retorna al ajuste de la válvula.

Contrariamente, la TEV decrementará el flujo de refrigerante cuando el sobrecalentamiento disminuya como resultado de un decremento de la carga de calor en el evaporador. El efecto de este tipo de regulación es permitir al evaporador mantenerse tan activo como sea posible, bajo toda condición de carga.

El sobrecalentamiento de la TEV es reajustado en la fábrica y raramente necesita ajustes posteriores.

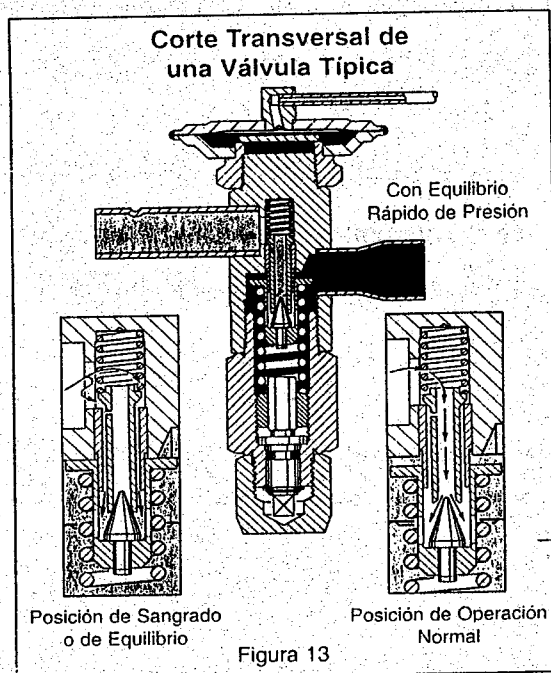
El funcionamiento de la TEV consiste en un bulbo sensor que está conectado a la TEV por medio de un tubo capilar, el cual transmite la presión del bulbo al diafragma de la parte superior de la válvula. El bulbo sensor, el tubo capilar y el diafragma es llamado elemento termostático. El diafragma es el elemento activo de la válvula; su movimiento es transmitido a un perno o pistón a través de una o dos barras de empuje, y permite al perno o pistón moverse hacia fuera o hacia adentro del cuerpo de la válvula. El resorte de sobrecalentamiento está localizado bajo el pistón y una guía lo mantiene en su posición.

Hay tres presiones fundamentales actuando sobre el diafragma de la válvula, las cuales afectan su funcionamiento, la presión del bulbo sensor, la presión equilibradora y la presión del resorte. La presión del bulbo sensor es determinada en función de la temperatura de la carga termostática. Esta presión actúa sobre el diafragma de la válvula, y hace que el pistón se mueva hacia una posición más abierta; la presión equilibradora y del resorte actúan juntas en la parte inferior del diafragma, lo que provoca el movimiento del pistón a una posición más cerrada. Durante la operación normal de la válvula, la presión del bulbo sensor debe ser igual a la presión equilibradora más la presión del resorte.

La función del bulbo sensor es detectar la temperatura del vapor refrigerante, conforme éste sale del evaporador; idealmente, la temperatura del bulbo será exactamente igual a la del vapor refrigerante. A medida que la temperatura del bulbo se incrementa, la presión de éste también aumenta, y hace que el pistón se mueva hacia adentro del cuerpo de la válvula, y permita un flujo mayor de refrigerante hacia el evaporador. La válvula continúa en esta posición, hasta que la presión equilibradora aumenta lo suficiente, de tal manera que la suma de la presión equilibradora y del resorte se igualen a la presión del bulbo.

Contrariamente, a medida que la temperatura del bulbo disminuye, la presión de éste también lo hace, lo que hace que el pistón de la válvula se mueva hacia fuera del cuerpo de ésta, y permita que una menor cantidad de refrigerante fluya hacia el evaporador; esta posición se mantiene hasta que las presiones alcanzan el equilibrio.

Figura 37. Corte transversal de una válvula típica



FUENTE: "Válvulas de expansión termostática", Sporlan Valve Company, Boletín EXP(S1) 10-9: 13.

Para la selección de una válvula de expansión termostática, según la aplicación, se divide en las siguientes categorías:

1. Carga tipo "C": las cargas para este tipo de sistema de refrigeración tienen un rango de operación a una temperatura de evaporación de 50°F (10°C) a -10°F (-23°C).
2. Carga tipo "Z": las cargas para los sistemas de baja temperatura se denominan cargas tipo "Z"; tienen un rango de operación a una temperatura de evaporación de 0°F (18°C) a -40°F (-40°C).

3. Carga tipo "X": las cargas para los sistemas de muy baja temperatura se denominan cargas tipo "X"; el rango de temperatura de evaporación de operación es de -40°F (-40°C) a -100°F (-73°C).

El buen desempeño de la TEV se obtiene cuando se selecciona con la capacidad, carga termostática y el tipo de refrigerante adecuado, de acuerdo con la aplicación que se desee; sin embargo, factores como ubicación, instalación, localización del bulbo, etc., influyen en su funcionamiento.

La TEV puede ser montada en cualquier posición, tan cerca del evaporador como sea posible.

3.2.3. Visores de líquido

Un visor de líquido permite al operario observar el flujo del refrigerante en el sistema. Las burbujas o espuma en el visor de líquido muestran una escasez de refrigerante o una restricción en la línea de líquido, que afectan el funcionamiento del sistema. Los visores de líquido se utilizan ampliamente como medios para determinar si el sistema está adecuadamente cargado cuando se añade refrigerante. Los visores de líquido también se utilizan como un indicador de humedad.

Un indicador de humedad proporciona una señal de aviso de servicio, en el caso de que la humedad haya penetrado en el sistema, lo que indica que el filtro deshidratador debe ser cambiado o que de otra forma debe secarse el sistema.

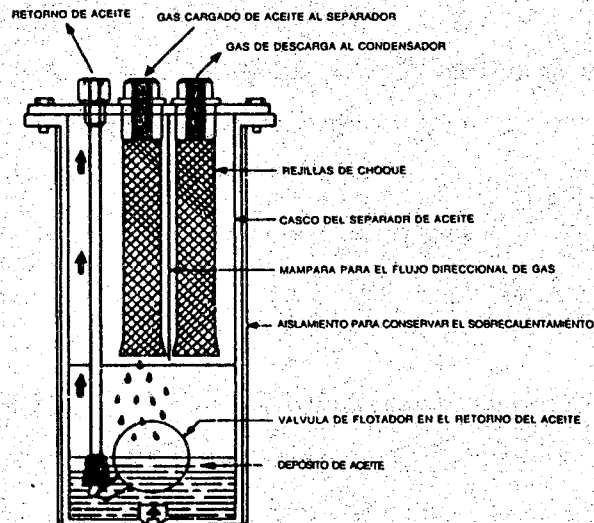
Los visores de líquido se deben de instalar en la línea de líquido, después del filtro deshidratador. Existen visores de líquido que se pueden utilizar con los refrigerantes R-12, R-22, R-134 a, R-500 y R-502, por lo que la selección de este tipo de visores está basada, según el diámetro de la tubería de la línea de líquido.

3.2.4. Separadores de aceite

Aunque los sistemas bien diseñados son efectivos para evitar problemas de retorno del aceite, existen ciertos casos en los que el empleo de separadores de aceite puede ser necesario. Estos se requieren, con mayor frecuencia, en los sistemas de temperatura ultra-baja, con evaporadores inundados, o en otros sistemas en los que se producen problemas de retorno de aceite.

Un separador de aceite es básicamente una cámara de separación para el aceite y el gas de descarga. En un sistema de refrigeración, siempre existe alguna cantidad de aceite en circulación, y el aceite que abandona el compresor es arrastrado por el gas de descarga caliente, el cual se desplaza a gran velocidad. El separador de aceite, cuando se utiliza, se instala en el conducto de descarga entre el compresor y el condensador. Por medio de deflectores y una reducción de la velocidad del gas en la cámara separadora de aceite, la mayor parte del aceite se separa del gas caliente y es devuelto al cárter del compresor, mediante una válvula de flotador y tubería de conexión. La eficacia de un separador de aceite varía con las condiciones de carga y nunca es eficaz al 100%, aún en condiciones ideales. En caso de que el diseño de un sistema motive el arrastre de aceite, un separador de aceite únicamente puede demorar la dificultad de lubricación, pero no subsanarla. La siguiente figura muestra un separador de aceite y sus partes.

Figura 38. Separador de aceite



FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 271.

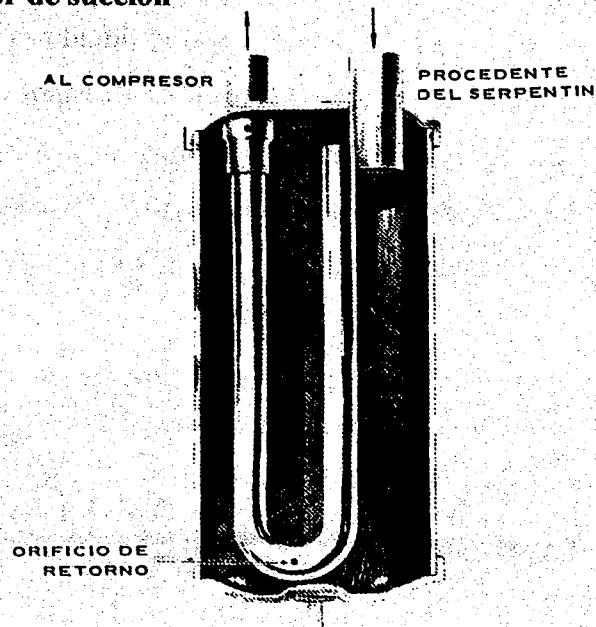
3.2.5. Acumulador de succión

Este dispositivo, figura 39, se utiliza en los sistemas que presentan problemas inherentes de escurrimiento de líquido al compresor, y se instala en la línea de succión. El refrigerante líquido se reúne en el acumulador, y se dosifica su alimentación al compresor, en forma segura y controlada. El aceite se retorna al cárter del compresor.

En algunas bombas de calor y en los sistemas que efectúan la descongelación mediante gas caliente, se utiliza un acumulador en la línea de succión.

En un sistema equipado con descongelación por gas caliente; este gas se utiliza a una presión elevada, para descongelar el serpentín del evaporador. Esta operación puede obligar a que una parte del líquido presente en el evaporador, se pase a la línea de succión.

Figura 39. Acumulador de succión



FUENTE: "Componentes de un sistema de refrigeración", **Manual de refrigeración Copeland. 2 (11): 11-2.**

3.2.6. Intercambiadores de calor

Un intercambiador de calor es un dispositivo para transferir calor de un medio a otro.

El intercambiador de calor se utiliza para elevar la temperatura del gas en la succión, con varios fines:

1. Que evite la escarcha o la condensación.
2. Que Subenfrie el refrigerante líquido suficientemente para evitar la formación de gas en el conducto del líquido.
3. Para evaporar cualquier refrigerante líquido que salga del evaporador.
4. Para aumentar la capacidad del sistema.

Un intercambiador de calor típico se representa en la figura 40. El gas de succión fluye a través del tubo mayor central, mientras que el líquido es conducido a través del tubo pequeño dispuesto en torno del tubo de succión. El vapor de succión frío absorbe el calor del líquido caliente de alta presión, mediante el contacto metálico de tubo a tubo. Frecuentemente se disponen de aletas internas en la sección de gas de succión, para aumentar la transferencia de calor entre el gas de succión y el refrigerante líquido.

Figura 40. Cambiador de calor entre la línea de líquido y la de succión



FUENTE: "Componentes de un sistema de refrigeración", **Manual de refrigeración Copeland. 2 (11): 11-1.**

3.2.7. Distribuidor

Cuando la carga de refrigeración es tal que se requieren grandes evaporadores, se hacen necesarios circuitos múltiples de refrigerante para evitar una excesiva caída de presión a través del evaporador. Con el fin de asegurar una alimentación uniforme de la válvula de expansión para cada uno de los circuitos, se utiliza normalmente un distribuidor de refrigerante.

A medida que el refrigerante líquido se alimenta, a través de la válvula de expansión, una porción de éste se convierte en vapor para reducir la temperatura del líquido a la temperatura del evaporador. Esta combinación de líquido y gas se alimenta en el distribuidor, y a continuación se reparte uniformemente por medio de pequeños tubos alimentadores, cuyo número depende de la construcción del distribuidor y del número de circuitos requeridos, que proporcione una adecuada velocidad del refrigerante en el evaporador.

Si no fuera por el distribuidor, el flujo de refrigerante se separaría en capas de gas líquido, que da como resultado que algunos circuitos del evaporador queden sin alimentarse suficientemente.

Para evitar diferencias en la alimentación de los circuitos, se debe tener cuidado que cada circuito tenga la misma longitud, y así ofrecer la misma resistencia.

Existen dos formas para diseñar un distribuidor:

1. Un distribuidor de alta caída de presión se diseña, basándose en la turbulencia creada por un orificio.
2. Un distribuidor de baja caída de presión basa su diseño en el flujo a una velocidad elevada en el cuello del distribuidor, y proporcionan una repartición equitativa de refrigerante.

3.2.8. Otras válvulas

3.2.8.1. Válvula reguladora de la presión del evaporador (EPR)

Con el fin de controlar la temperatura de evaporación, se utiliza, frecuentemente, una válvula reguladora de la presión del evaporador en los sistemas con varios evaporadores que funcionan a diferentes temperaturas, o en sistemas en donde la temperatura de evaporación no puede bajar de la de diseño.

Esta válvula debe colocarse en la línea de succión a la salida del evaporador.

Una válvula reguladora de la presión del evaporador tiene una modulación totalmente abierta o totalmente cerrada; se cierra cuando la presión de entrada disminuye y su única función es evitar que la presión del evaporador descienda de un valor previamente determinado para el que ha sido calibrado el regulador.

Estas válvulas responden solamente a variaciones en la presión de entrada, y se abrirán cuando dicha presión de entrada sea superior al ajuste de la válvula.

3.2.8.2. Válvulas reguladoras de presión del cárter (CPR)

Este tipo de válvula, llamada comúnmente válvula restrictora, limita la presión de succión en el compresor a un límite previamente establecido, con el fin de evitar que se produzca una sobrecarga del motor del compresor. El ajuste de la válvula se efectúa mediante un resorte de presión, y la modulación de la válvula va desde una posición totalmente abierta hasta otra totalmente cerrada, como respuesta a la presión de salida, y se cierra al elevarse ésta.

La válvula reguladora de la presión del cárter debe situarse en la línea de succión, entre el evaporador y el compresor. Dado que la exigencia de energía del compresor baja con una caída de la presión de succión, la válvula reguladora de presión del cárter se utiliza normalmente para evitar la sobrecarga del motor en unidades de baja temperatura durante los ciclos de arranque, de enfriamiento inicial y de descongelación.

El empleo de la válvula permite la aplicación de un compresor de mayor desplazamiento, sin que se produzca sobrecarga en un motor de determinada capacidad, sin embargo, la caída de presión a través de la válvula puede producir una pérdida inaceptable de la capacidad del sistema, a menos que ésta se seleccione adecuadamente.

3.2.8.3. Válvulas desviadoras de gas caliente

Las válvulas desviadoras de gas caliente se utilizan cuando se requiere modular la capacidad del compresor, y al mismo tiempo evitan que la presión de succión descienda a niveles bajos que son inconvenientes. Estas válvulas actúan de igual manera que los reguladores de presión del cárter, pues que responden a la presión de salida. Pueden modularse desde totalmente abiertas hasta totalmente cerradas, y se abren en respuesta a una disminución en la presión de salida.

Las válvulas de gas caliente se ajustan para mantener una presión mínima deseada mediante la tensión de un resorte, y pueden ser accionadas directamente por medio de un piloto. Éstas están normalmente equipadas con una conexión externa igualadora que actúa del mismo modo que un igualador externo de una válvula de expansión, para compensar las caídas de presión en las líneas. El igualador externo debe conectarse a la línea de succión, en el punto en donde se desea controlar la presión de succión.

3.2.8.4. Recibidores o depósitos de líquido

Este dispositivo consiste en un tanque utilizado para almacenar el refrigerante líquido que no se utiliza en operación, y la carga total, cuando el sistema no está operando. Si el condensador dispone de un volumen adecuado de almacenamiento, generalmente no es necesario instalar un recibidor por separado.

Es necesario disponer de suficiente espacio para dar cabida a los volúmenes adicionales ocasionados por las fluctuaciones en la carga y en el flujo. Esto ayuda a evitar los efectos adversos del flujo de retorno del líquido, o de privar de refrigerante al evaporador. Los sistemas de tubo capilar, que manejan cargas muy pequeñas y que no presentan grandes variaciones de carga, generalmente se diseñan de manera que no sea necesario utilizar un recibidor.

Este recibidor sirve, asimismo, para alojar toda la carga cuando se proceda a drenar por bombeo el sistema o bombear todo el refrigerante al recibidor, para luego aislarlo con válvulas. Esto impide cualquier migración del refrigerante durante las paradas, y permite además reparar el equipo sin perder nada de refrigerante.

4. GASES REFRIGERANTES Y ACEITES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

4.1. Función de los gases refrigerantes

Los refrigerantes son los fluidos vitales en los sistemas de refrigeración mecánica. Absorben calor del lugar donde no se desea y lo trasladan a otro. La evaporación del líquido refrigerante remueve calor, el cual es liberado por la condensación del vapor calentado.

Cualquier sustancia, que sufre cambio de fase líquida a vapor y viceversa, puede funcionar como refrigerante en sistemas del tipo de compresión de vapor. Sin embargo, solamente aquellas que sufren estos cambios a temperaturas y presiones comercialmente útiles, son de valor práctico.

Puede decirse que no hay un refrigerante "universal", ya que la refrigeración mecánica se utiliza en un rango amplio de temperaturas; algunos refrigerantes son más apropiados para refrigeración a alta temperatura tal como confort; otros operan en rangos temperatura más baja, tales como en almacenamiento de productos, procesos de congelación y aplicaciones que requieren temperaturas bajas.

Entre las características de los gases refrigerantes, se pueden mencionar las relacionadas con la seguridad y las relacionadas con la operación o el mantenimiento.

Se conocen varias características nocivas de los refrigerantes:

1. **Toxicidad:** la toxicidad se refiere al grado en el cual la sustancia resulta una toxina o un veneno; muchos refrigerantes no son tóxicos, incluyendo todos los halocarburos. No obstante, esto no debe confundirse con el hecho de que cualquier refrigerante es asfixiante, aún cuando no sea tóxico. Esto es, el individuo se puede sofocar debido a que el refrigerante sustituye al oxígeno.
1. **Inflamabilidad y explosividad:** la inflamabilidad se refiere al grado en que una sustancia puede quemarse con llama, y por consiguiente, si constituye un riesgo de incendio o no. Los halocarburos no son inflamables ni explosivos. El amoníaco es inflamable a ciertas concentraciones.

El código de seguridad para la refrigeración mecánica "Safety code for mechanical refrigeration" del ANSI, clasifica los refrigerantes en tres grupos en lo que se refiere a la seguridad en su manejo. Esta clasificación comprende tanto la toxicidad como la inflamabilidad. Los refrigerantes del grupo 1, en el cual se incluyen los halocarburos, no se les considera tóxicos ni inflamables, y pueden utilizarse para sistemas de aire acondicionado en edificios habitados. Sin embargo, se requieren algunas normas de ventilación y otras características en los locales donde se instalan los equipos. Los refrigerantes del grupo 2, incluyen al amoníaco, y el equipo se debe instalar en locales especialmente acondicionados. Los refrigerantes del grupo 3, que incluye al propano son los más peligrosos, y sólo se permiten para usos industriales, con restricciones muy severas.

Los Underwriters Laboratories (UL) clasifican, asimismo, la seguridad de los refrigerantes, pero utilizan un sistema diferente, el cual consiste en una escala que va del 1 al 6. El tipo de refrigerante, que corresponde al Grupo 6, es el más seguro.

Es preciso considerar otros posibles efectos que pueden tener los refrigerantes en la salud. Algunos de ellos pueden causar sequedad o irritación de la piel. Los refrigerantes, cuyos puntos de ebullición son inferiores a 32°F (0°C) a la presión atmosférica, pueden congelarse al contacto con la piel y causar quemaduras.

Algunas características de los refrigerantes afectan la operación o mantenimiento del sistema.

1. **Estabilidad química:** un refrigerante debe ser químicamente estable (que no se descomponga) dentro de la gama de temperaturas a que se ve expuesto en el sistema. La descomposición puede dar como resultado la producción de contaminantes, tales como ácidos, sedimentos o gases no condensables.
2. **Inactividad química:** un refrigerante no debe reaccionar químicamente con ninguno de los materiales con los que pueda tener contacto en el sistema. Por ejemplo, el amoníaco reacciona con el cobre y lo disuelve. Como los refrigerantes hidrocarburos disuelven el hule, es preciso utilizar otros materiales para las juntas y empaquetaduras. Los refrigerantes halocarburos son causa del deterioro de algunos plásticos, pero no de otros.
3. **Efecto en los lubricantes:** un refrigerante no debe reducir la calidad lubricante del aceite utilizado en la refrigeración, ni física ni químicamente. La miscibilidad entre el refrigerante y el aceite es conveniente hasta el grado en que el aceite sea llevado a las partes sujetas a desgaste, pero no tanto que haga inefectiva la lubricación.

4. **Tendencia a las fugas:** es conveniente que la tendencia a las fugas en el sistema sea mínima, desde el punto de vista del costo y a veces de seguridad. Por supuesto, las presiones altas hace que aumenten las fugas. Por lo general, los refrigerantes, que poseen pesos moleculares bajos, se escapan con mayor facilidad. El amoníaco, que posee uno de los pesos moleculares más bajos, tiene una gran tendencia a desarrollar fugas.
5. **Facilidad para detectar las fugas:** es conveniente que las fugas del refrigerante se puedan detectar fácilmente, de manera que la pérdida del mismo sea mínima. Los métodos utilizados para la detección de fugas dependen de las propiedades del refrigerante.
6. **Costo y disponibilidad:** es obvio que sean deseables como características del refrigerante, su costo razonable y su adecuada disponibilidad.

4.2. Tipos de gases refrigerantes

Entre las sustancias que se utilizan como refrigerantes en los sistemas de compresión de vapor, se incluyen el amoníaco, hidrocarburos y halocarburos. El amoníaco y el agua se utilizan en los sistemas de absorción.

4.2.1. Amoníaco (R-717)

Este refrigerante es tóxico, y a ciertas concentraciones, explosivo, por lo que se excluye su utilización en muchas aplicaciones. Se utiliza, con restricciones apropiadas, en la refrigeración de almacenes, fabricación de hielo y en aplicaciones industriales. El amoníaco tiene un bajo volumen específico y un alto calor latente de vaporización en relación con los halocarburos, por lo que se puede utilizar equipos de menor tamaño, en comparación con otros refrigerantes.

Las plantas de compresión de vapor que trabajan con amoníaco, utiliza por lo general de 1 a 2 por ciento menos energía que las que utilizan halocarburos en las mismas condiciones. Además, el amoníaco es un producto químico mucho menos costoso. Estos factores referentes a la energía y a los costos, pueden resultar significativos en los sistemas de gran capacidad.

4.2.2. Hidrocarburos

Algunos hidrocarburos se utilizan como refrigerantes; entre éstos se incluyen el propano, metano y etano. Sin embargo, son muy inflamables y explosivos, lo que limita en extremo su utilización. Se utilizan a veces en las plantas petroquímicas y las refinerías de petróleo, debido en parte a su disponibilidad.

4.2.3. Agua

El agua se utiliza como refrigerante en el sistema de absorción de bromuro de litio y agua. Sus características de disponibilidad, seguridad y costo hacen ideal su utilización en los sistemas. El uso del agua como refrigerante está limitado a las temperaturas de evaporación, por arriba de su punto de congelación, 32°F (0°C).

El agua no resulta apropiada como refrigerante en los sistemas de compresión de vapor. Su presencia no impide la corrosión. Además, su volumen específico, extremadamente elevado como vapor, obligaría a utilizar equipos de un tamaño excesivo.

4.2.4. Halocarburos

Éstos constituyen el grupo de refrigerantes ampliamente usados. Su nombre indica que son derivados de los hidrocarburos (compuestos de hidrógeno y carbono), pero contienen además elementos llamados halógenos (como el cloro y el fluor). Se usa asimismo el nombre fluorocarbonos, puesto que todos los halocarburos que se utilizan como refrigerantes, contienen fluor.

Los halocarburos tienen, por lo general, características muy convenientes. Poseen baja toxicidad, no son inflamables, y tienen una muy buena estabilidad química. Se dispone de una amplia variedad, con diferentes características de presión, temperatura, y de puntos de ebullición, de manera que es posible hallar un halocarburo en particular, para casi cualquier aplicación. No obstante, si bien no son tóxicos, en circunstancias normales, las temperaturas muy altas (directamente de las flamas), pueden provocar su descomposición, y producir gases tóxicos.

Anteriormente, los halocarburos se designaban por su nombre comercial registrado por el fabricante. Por ejemplo, al R-12 se le llamaba Freón 12, Genetrón 12, Isotrón 12, o Ucrón 12. Esto es importante recordar, ya que existe mucha gente que sigue nombrando al R-12 como Freón 12, y todos los refrigerantes se designan por un sistema uniforme de codificación numérica, como R-11, R-12, R-502, R-717.

Por ser los refrigerantes halocarburos uno de los refrigerantes más utilizados, se le dará un estudio más profundo a continuación:

4.2.4.1. Gases refrigerantes con CFC's

Los refrigerantes CFC's o clorofluorocarbonos, son compuestos halogenados o saturados completamente con cloro y fluor. Los más comunes, en este grupo, son el R-11 y R-12 desarrollados en 1928, son estables, no tóxicos, no corrosivos y no flamables; sin embargo, por las moléculas de cloro que contienen, son altamente dañinos para la capa de ozono, ya que el cloro se une con la molécula de Ozono (O_3), y provoca la destrucción de la misma. Debido a este problema, se han desarrollado refrigerantes sustitutos provisionales, y refrigerantes llamados ecológicos, debido a que no tienen ningún efecto nocivo sobre la capa de ozono.

En la tabla XVII, se pueden observar los factores ambientales de algunos refrigerantes.

Tabla XVII. Factores ambientales de algunos refrigerantes

Refrigerante	ODP	GWP
CFC-11	1	1
CFC-12	1	3
CFC-113	0.8	1.4
CFC-114	1	3.9
CFC-115	0.6	7.5
R-500	0.74	2.28
R-502	0.31	5
HCFC-22	0.055	0.36
HCFC-123	0.02	0.02
HFC-143a	0	0.76
HFC-125	0	0.84
HFC-134a	0	0.25
HFC-152a	0	0.3

ODP = Potencial de destrucción del ozono.

GWP = Potencial de calentamiento global.

FUENTE: "La familia de los refrigerantes", Gases refrigerantes supersecos, (folleto).

Con el fin de controlar el consumo de los CFC's, se han desarrollado programas de recuperación y reciclado de estos refrigerantes. También se han firmado tratados para la regulación de los CFC's; el más importante en la actualidad es el "Protocolo de Montreal", que es un acuerdo entre los países productores para la regulación del consumo, producción y venta. Por ejemplo, el R-12 se suministrará en México, hasta el año 2000, y para suministrarlo a los países en desarrollo, el uso está permitido por el Protocolo hasta el año 2010.

El R-12 o diclorodifluorometano es ampliamente utilizado en refrigeración y A/A automotriz. A temperaturas por debajo de su punto de ebullición, es un líquido claro y casi carente de color y olor. No es tóxico o irritante, y es apropiado para aplicaciones en alta, media y baja temperatura. Un cilindro de refrigerante 12 está codificado para su identificación, con el color blanco.

El R-11 o Triclorofluorometano es un refrigerante muy utilizado para la limpieza de sistemas de refrigeración, y como agente espumante para la producción de poliuretano, que es un material utilizado como aislante en cuartos refrigerados. El color de identificación en los cilindros de R-11, es el naranja.

También se utiliza en sistemas con compresores centrífugos como los "chiller's" y como refrigerantes secundarios en sistemas de baja temperatura.

4.2.4.2. Gases refrigerantes alternativos

Con el fin de buscar alternativas que regulen el uso de refrigerantes con CFC's, se han desarrollado refrigerantes sustitutos, alguno de éstos son puros y otros son mezclas de refrigerantes puros. Entre las mezclas, están las mezclas zeotrópicas y azeotrópicas.

Las mezclas zeotrópicas, son aquellas que están formadas por dos o más componentes (refrigerantes puros) de diferente volatilidad. Cuando estas mezclas se evaporan o se condensan en un sistema de refrigeración, su composición y su temperatura de saturación cambian. Al hervir esta mezcla en un evaporador, la composición del líquido remanente cambia; esto es, que al empezar a hervir el líquido, se evapora un porcentaje más elevado del componente más volátil, por lo tanto, conforme continúa hirviendo la mezcla, el líquido remanente tiene menor concentración del componente más volátil, y mayor concentración del menos volátil.

Este cambio de composición produce un fenómeno que se conoce como “deslizamiento de temperatura”, que en las mezclas zeotrópicas es mayor a los 10°F (-12°C), y puede tener un efecto significativo en la composición del refrigerante que queda en el sistema después de una fuga en la región del sistema, que contiene la fase vapor. Esto hace que la utilización de estas mezclas presente desventajas en la operación de los sistemas y en el costo de su operación, dado que en el caso de una fuga, todo el refrigerante necesita ser reemplazado por uno nuevo que esté cargado de la fase líquida del cilindro que lo contiene. Este tipo de mezclas puede ser identificado por su número de identificación Ashrae (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers), que debe de pertenecer a la serie R-400.

Las mezclas azeotrópicas, son mezclas, cuya composición es la misma en la fase líquida o en la fase vapor por lo tanto la temperatura del líquido y del vapor en el evaporador es la misma. Estas mezclas se identifican con número de la serie R-12 o R-134 a, por lo cual pueden ser cargadas al sistema por la descarga del líquido o del vapor del cilindro, sin que haya ningún problema de fraccionamiento. Se prefiere utilizarlas en lugar de las mezclas zeotrópicas cuando se presente esta alternativa.

El refrigerante R-502 es un ejemplo de una mezcla azeotrópica, formado por 48.8% de R-22 y 51.2% de R-115. El R-502 es un refrigerante alternativo del R-12, ya que de la tabla XVII, se puede observar que el potencial de destrucción del ozono (ODP) es menor que el del R-12.

La mayoría de las características físicas del R-502 son similares al HCFC-22 y CFC-12, pero su vapor es mucho más pesado. El R-502 es apropiado para sistemas de refrigeración de baja temperatura.

El R-502 es un refrigerante alternativo provisional. En la actualidad, se tiene muchos problemas para la producción del R-502, ya que el R-115 es muy escaso en el mercado internacional.

El refrigerante 22 o monoclorodifluorometano es otro ejemplo de gas refrigerante alternativo del R-12. También es un refrigerante alternativo provisional, y tiene una regulación de uso hasta el año 2040, por lo que tiene una demanda en crecimiento. La fabricación de equipo nuevo que utilice R-22 está aumentando considerablemente; en los Estados Unidos se permite la fabricación de equipos nuevos hasta el año 2010 y, después de esa fecha, se permitirá el uso de R-22 en este país hasta el año 2020, y para su uso en equipos fabricados antes del año 2010.

El HCFC-22, físicamente es similar al CFC-12; sin embargo, tiene presiones de saturación mucho más altas a temperaturas equivalentes; el calor latente de evaporación es mayor y tiene menor volumen específico como resultado; para un volumen dado de vapor refrigerante saturado, el R-22 tiene mayor capacidad refrigerante. Debido a su baja temperatura de evaporación y alta compresibilidad, su aplicación es en sistemas de alta y media temperatura.

Como refrigerante alternativo para el R-11, se puede mencionar el HCFC-123, pero su uso presenta muchos inconvenientes en costo y eficiencia, por lo que se recomienda utilizar el R-11 con responsabilidad, participando en los programas de recuperación y reciclado. El refrigerante 141b encabeza los sustitutos del R-11 en aplicaciones de espuma rígida.

Otros refrigerantes alternativos provisionales se pueden observar en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. Reemplazos provisionales (C)

ASHRAE No.	Nombre comercial	Fabricante	Sustituye al	Tipo	Lubricante (a)	Aplicaciones	Comentarios
R-402A (22/125/290)	HP80	Quimobásicos DuPont	R-502 Y HCFC-22	Mezcla (Poco cambio en punto de ebullición)	Alkil-benceno o Polioléster	Adecuaciones de equipo instalado	Mayor presión de descarga que el R-502
R-402B (22/125/290)	HP81	DuPont	R-502 Y HCFC-22	Mezcla (Poco cambio en punto de ebullición)	Alkil-benceno o Polioléster	Máquina de hielo Manitowoc	Temperatura de descarga mayor que el R-502
R-403A (22/218/290)	69S	Rhone Poulenc (NRI)	R-502 Y HCFC-22	Mezcla (Poco cambio en punto de ebullición)	Alkil-benceno o Polioléster	Adecuaciones de equipo instalado	Temperatura de descarga mayor que el R-502
R-408A (125/143a/22)	FX-10	Elf Atochem	R-502 Y HCFC-22	Mezcla (Poco cambio en punto de ebullición)	Alkil-benceno o Polioléster	Adecuaciones de equipo instalado	Temperatura de descarga mayor que el R-502

(C) Reemplazo provisional, contiene HCFC-22 cuyo programa de salida está incluido en el Protocolo de Montreal.

FUENTE: "Refrigerantes alternativos", Quimobásicos, S.A. de C.V. (boletín informativo).

4.2.4.3. Gases ecológicos

Estos refrigerantes se han desarrollado con el fin de evitar la continuación de la destrucción de la capa de ozono. Como ejemplo de estos refrigerantes, se pueden mencionar el R-404 A y R-507 que son gases sustitutos para el R-502 para aplicaciones de refrigeración en baja y media temperatura. Estos gases, tienen un potencial de destrucción del ozono (ODP) igual a cero y apenas una fracción de potencial de calentamiento global (GWP) del R-502. Ambos son no inflamables y poseen niveles de toxicidad aceptables.

El R-404 A y el R-507 son similares, sin embargo, no son exactamente los mismos. El R-404 A no es azeotrópico y, por lo tanto, la carga de refrigerante debe ser efectuada solamente en estado líquido; si la carga se efectúa en estado gaseoso, puede dar como resultado la descomposición del gas y daño del equipo. El R-507, en cambio, es una mezcla azeotrópica similar al R-502 que puede ser cargada al sistema en la fase líquida o en la gaseosa, y el sistema puede ser recargado cuantas veces sea necesario sin tener que evacuar su remanente de R-507.

Un estudio realizado por el Consejo Nacional de Investigación de Canadá comparó el funcionamiento entre el R-502, R-404 A y el R-507 en un sistema de refrigeración de baja temperatura a escala comercial, con la utilización de un compresor de dos pasos e intercambiadores de calor de placa y tubos. Los resultados fueron los siguientes:

1. El rendimiento de la unidad de condensación que opera con R-507 mostró el mayor incremento en capacidad de enfriamiento, comparado con el R-502, el R-404 A fue el segundo.
2. Las dos mezclas refrigerantes mostraron una reducción en el rendimiento de la transferencia de calor en el evaporador, comparadas con el R-502.

El refrigerante R-134 a es un compuesto que no destruye la capa de ozono, y está destinado a sustituir al R-12 en numerosas aplicaciones de refrigeración y A/A.

El R-134 a es levemente menos eficiente que el R-12, aunque hay que hacer notar que el refrigerante es solamente una de las variables que afectan la eficiencia de energía en un ciclo de refrigeración.

En la tabla XIX, se pueden observar otros refrigerantes sustitutos a largo plazo para refrigeración de temperatura media y baja.

Tabla XIX. Reemplazos a largo plazo

ASHRAE No.	Nombre comercial	Fabricante	Sustituye al	Tipo	Lubricante (a)	Aplicaciones	Comentarios
R-507 (125/143a)	AZ-50	Quimobásicos Hoechst (b) Solvay (b)	R-502 Y HCFC-22	Azeotropo	Poliéster	Equipo nuevo y adecuaciones de equipo instalado	Casi igual al R-502
R-404A (125/143a/134a)	404A HP62	Quimobásicos DuPont Elf Atochem	R-502 Y HCFC-22	Mezcla (Poco cambio en punto de ebullición)	Poliéster	Equipo nuevo y adecuaciones de equipo instalado	Casi igual al R-502
R-407A (32/125/134a)	60	ICI	R-502 Y HCFC-22	Mezcla (Cambio considerable en punto de ebullición)	Poliéster	Equipo nuevo y adecuaciones de equipo instalado	Temperatura de descarga mayor que el R-502
R-407B (32/125/134a)	61	ICI	R-502 Y HCFC-22	Mezcla (Cambio considerable en punto de ebullición)	Poliéster	Equipo nuevo y adecuaciones de equipo instalado	Eficiencia menor que el R-502

FUENTE: "Refrigerantes alternativos", Quimobásicos, S.A. de C.V. (boletín informativo).

4.3. Selección del tipo de refrigerante según la aplicación

La selección del refrigerante, o medio de trabajo para un determinado tipo de instalación de refrigeración, se basa en las presiones y temperaturas a las cuales se vaporiza, junto con otros factores esenciales, entre los cuales se incluyen: elevado calor latente de vaporización, olor, temperatura de solidificación, estabilidad, poder disolvente, reacciones con los aceites lubricantes, conductividad del calor, elevada resistividad eléctrica, inocuidad respecto a las sustancias alimenticias, efectos tóxicos y costo.

4.4. Composición de los aceites utilizados en refrigeración

En sistemas de refrigeración, las partes móviles de varios componentes crean fricción. Además, la fricción producirá un incremento de la temperatura en dichas partes.

El compresor requiere lubricación apropiada para los cojinetes, pistones y engranajes. En el caso de un compresor alternativo, el espacio entre el pistón y el cilindro, debe sellarse de tal manera que el vapor refrigerante sea forzado a salir del cilindro hacia la línea de gas caliente. Este sello se consigue mediante el aceite refrigerante, cuando es forzado a viajar con el vapor refrigerante comprimido. Si la película de aceite no sella el espacio, cuando el pistón se mueve adelante y atrás, algo de vapor se fuga a la carcasa del compresor, y provoca, una pérdida de eficiencia.

Como se mencionó anteriormente, el aceite que se usa en sistemas de refrigeración se mezcla y viaja con la mayoría de los refrigerantes en el estado líquido. Es imperativo que el aceite de la carcasa sea forzado al exterior del compresor hacia el condensador, a través de la línea de gas caliente. Para mantener una lubricación apropiada, el aceite debe completar el circuito con el refrigerante y luego hacer su retorno al compresor.

Al viajar con el refrigerante, el aceite alcanza al evaporador, en el cual el movimiento del aceite presenta problema. Si el aceite no va del evaporador a la línea de succión, éste se inundará de aceite, y decrecerá la transferencia de calor en el serpentín de enfriamiento.

Dos métodos principales se utilizan para lubricar apropiadamente los compresores:
1) el sistema de salpique y 2) el sistema de alimentación forzada.

El aceite perfecto para usar con todos los refrigerantes y bajo todas las condiciones, aún no ha sido desarrollado. Cada uno de los aceite refrigerantes disponible tiene sus características adecuadas y no tan adecuadas los cuales deben balancearse contra los requisitos de la instalación y el uso para el cual está el sistema.

Algunas cualidades esenciales del aceite son:

1. Debe permanecer fluido a bajas temperaturas.
2. Debe permanecer estable a altas temperaturas.
3. No debe reaccionar químicamente con el refrigerante, metales, aislamiento del motor (cuando se usa en compresores herméticos), aire u otros contaminantes.
4. No debe descomponerse en carbón bajo condiciones esperadas de operación.
5. No debe depositar cera cuando está sujeto a temperaturas de operación bajas que debe encontrar.
6. Debe ser seco y tan libre de humedad como sea posible.

La mayoría de los aceites disponibles para los sistemas de refrigeración son de origen mineral y pueden separarse en tres categorías principales: 1. base parafínica, 2. base nafténica y 3. una mezcla de ambos.

En la actualidad, los nuevos refrigerantes han obligado a desarrollar aceites sintéticos, también conocidos como POE, que es el resultado de una alta tecnología química, y su formulación es a base de Poliol Éster de amplio rango de operación, que da como resultado una lubricación confiable por su alta estabilidad térmica, viscosidad sin cambios apreciables y excelente solubilidad con los refrigerantes que no dañan la capa de ozono.

Algunas de las características que deben tener los aceites refrigerantes son:

1. Viscosidad.
2. Punto de fluencia.
3. Punto de floculación.
4. Punto de encendido.
5. Fuerza dieléctrica.
6. Punto de fuego.
7. Tendencia a la corrosión.
8. Resistencia a la oxidación.
9. Color.

4.5. Selección del tipo de aceite, según la aplicación

En el sistema de refrigeración, el aceite y el refrigerante se mezclan continuamente. La capacidad de dos o más sustancias para mezclarse se llama miscibilidad.

La miscibilidad de algunos refrigerantes con el aceite se puede observar en la tabla XX.

Tabla XX. Miscibilidad aceite-refrigerante

Completa	Alta	Intermedia	Baja
R-11	R-13B1	R-22	R-13
R-12	R-501	R-114	R-14
R-21			R-115
R-113			R-152A
R-500			R-502
			R-717

FUENTE: "Refrigerantes alternativos", Quimobásicos, S.A. de C.V. (boletín informativo).

Los aceites minerales son los aceites utilizados con los refrigerantes CFC's; en cambio, los aceites sintéticos a base de Poliol Éster, son los aceites recomendados para la lubricación de compresores de refrigeración que manejan los nuevos refrigerantes ecológicos a base de hidro fluoro carbonos como el R-134 a, R-404 A y el R-507, entre otros.

Se debe tener el máximo cuidado, para evitar la humedad en el sistema de refrigeración, ya que los aceites del tipo Poliol Éster son más higroscópicos, o sea que la capacidad de absorber humedad es 100 veces mayor que la de los aceites minerales.

Es conocido que todos los sistemas de refrigeración contienen cierta cantidad de humedad, y que en proporciones altas dicha humedad afecta al correcto funcionamiento de los elementos de la instalación. En sistemas con alta humedad, se forman ácidos orgánicos e inorgánicos y posteriormente en cloruro de cobre. Estos contaminantes afectan la vida de los elementos de una instalación y a su funcionamiento.

Por último, es de suma importancia saber que un aceite mineral no se puede mezclar con un aceite sintético, ya que se corre el riesgo de que se produzca espumación en el aceite, y afecte el funcionamiento del compresor.

Al hacer un cambio de refrigerante CFC's por algún refrigerante ecológico, se debe drenar todo el aceite mineral del sistema y limpiar el sistema antes de agregar el aceite sintético.

5. ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE CONTROL

5.1. Termostato

Un termostato actúa para conectar o interrumpir un circuito en respuesta a un cambio de temperatura.

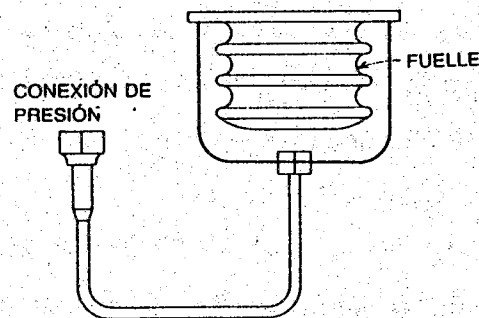
Un sensor térmico que se utiliza de manera común consiste en un elemento bi-metálico. Está compuesto de dos tiras de metales diferentes; los metales tienen diferentes coeficientes de dilatación cuando cambia su temperatura. Esto hace que el elemento se curve o se enrolle, a medida que aumenta la temperatura. Entre las diversas formas de un elemento bi-metálico, se encuentra la de tira recta, de disco y de espiral.

En el caso de los termostatos de tira bi-metálica recta y de disco, el elemento de control está constituido sencillamente por un juego de contactos. Estos abren y cierran un circuito, según suba o baje la temperatura, según su aplicación. La acción eléctrica resultante se utiliza entonces para llevar a cabo la acción deseada.

El mecanismo de control, que se utiliza por lo común con el sensor bi-metálico en espiral, consiste en un bulbo lleno de mercurio equipado con un juego de contactos.

Otro tipo de sensor utiliza un bulbo equipado con un tubo que lo conecta a un fuelle cerrado. El bulbo, el tubo y el fuelle contienen un fluido. Según cambia la temperatura, también así cambia la presión del fluido, y hace que el fuelle flexible se expanda o se contraiga. Este movimiento se utiliza para abrir o cerrar un circuito por medio de un eslabonamiento mecánico (el mecanismo de control). Este tipo de equipo para control de temperatura es el más utilizado en refrigeración, conocido también como termostato de bulbo remoto, y tiene la ventaja de que el bulbo sensor se puede situar en un sitio alejado del interruptor. Por ejemplo, al hacer pasar el tubo a través de las paredes, es posible colocar el bulbo en el espacio refrigerado, y el interruptor y su mecanismo de ajuste fuera del cuarto refrigerado; de esta manera, el mecanismo no queda expuesto a una posible temperatura muy baja en el espacio, que podría afectar su funcionamiento; además, se puede verificar la operación o hacer los ajustes sin tener que entrar al cuarto refrigerado.

Figura 41. Termostato de bulbo remoto equipado con un fuelle



Fuente: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 416.

Además del sensor de temperatura del tipo de fuelle, se puede utilizar también un diafragma flexible, junto con un bulbo y un tubo conexión.

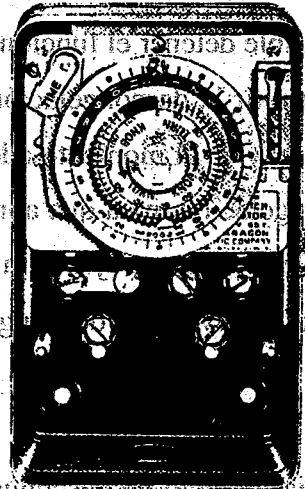
5.2. "Timer" de deshielo

Frecuentemente es deseable detener el funcionamiento del compresor durante cierto período de tiempo para permitir la descongelación. Con el fin de asegurar que esto se lleve a cabo de modo regular, y en el momento adecuado, puede utilizarse un "timer" de deshielo o reloj para descongelación, para que abra o cierre los circuitos a intervalos de tiempo predeterminados. Se fabrican relojes para ciclos de 24 horas y de 7 días; puede ajustarse, según se desee, el intervalo de descongelación y el momento de comienzo y finalización de éste.

Se utiliza con frecuencia un ciclo de descongelación controlado en su inicio por el tiempo, y terminado por una señal. Esto se hace debido a que no siempre se puede estimar de antemano la duración del tiempo de descongelación, el cual puede variar.

Cuando termina el ciclo de descongelación, interviene a menudo un dispositivo de retraso de tiempo, el cual retarda la operación del ventilador del evaporador durante un corto período, después de que el sistema haya cambiado al ciclo de refrigeración. Se evita así tener que soplar aire caliente y agua, en el espacio del cuarto refrigerado.

Figura 42. Reloj para descongelación



FUENTE: "Componentes de un sistema de refrigeración", Manual de refrigeración

(2) 8-3

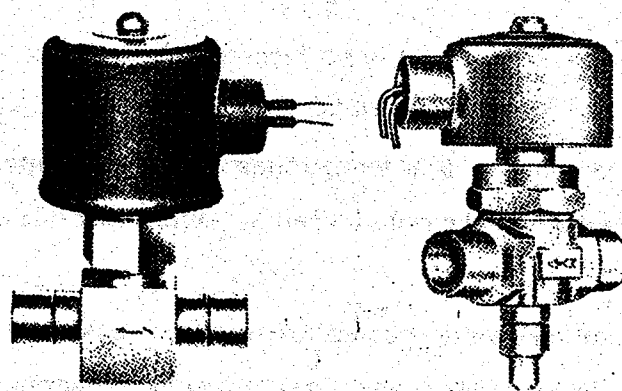
5.3: Válvulas solenoides

Una válvula solenoide es una válvula de control de flujo de refrigerante operado eléctricamente. Esta no es una válvula modulada, sino que abre o cierra completamente.

La válvula está formada por un cuerpo, un vástago con un núcleo de hierro que asienta en el orificio de la válvula y una bobina eléctrica. Una válvula solenoide, normalmente cerrada, se cierra cuando se desenergiza la bobina y el vástago se asienta. Cuando es energizada la válvula solenoide, el efecto magnético de la bobina eleva el vástago y abre la válvula. Se fabrican válvulas normalmente abiertas con una acción de tipo inverso, aunque raramente se utilizan en aplicaciones de refrigeración.

Las válvulas solenoides se utilizan comúnmente en las líneas de refrigerante líquido y gas caliente para detener el flujo de refrigerante cuando no se desea, o para aislar cada evaporador cuando se emplean varios evaporadores. En grandes instalaciones, puede ser necesario el empleo de un gran número de válvulas solenoides para obtener un control automático satisfactorio.

Figura 43. Válvula solenoide



FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 416.

5.4 Protecciones térmicas

Un compresor debe estar protegido contra una sobrecarga del motor. Este término se refiere a la corriente y sobrecalentamiento excesivos que lo pueden dañar. Una corriente excesiva, a través de los embobinados del motor, da como resultado un aumento en las pérdidas por I^2R (calentamiento por resistencia), lo que podría dañar o hacer fallar la efectividad del aislamiento del embobinado, lo que provoca una falla en el mismo.

Los dispositivos de protección contra la sobrecarga del motor operan con base en el principio de responder, ya sea a una corriente intensa o directamente a una elevada temperatura, o a la corriente como a la temperatura. Todos los tipos de dispositivos actúan abriendo o interrumpiendo el circuito de alimentación eléctrica del compresor.

Los dispositivos de sobrecarga se pueden clasificar en dos tipos: de servicio de línea o de servicio de piloto. Los contactos del protector de servicio de línea están alambrados en serie con el motor. Por consiguiente, los contactos deben ser relativamente grandes. El protector de servicio de piloto es un dispositivo de relevador, con contactos situados en un circuito de control que conduce una baja corriente. El dispositivo de servicio de piloto sólo tiene que tomar la corriente de contacto del interruptor y no la corriente a plena carga, ni la del rotor bloqueado. De esta manera, su construcción resulta pequeña, y se utiliza en motores de gran tamaño.

Otra distinción, que se puede hacer entre los dispositivos de sobrecarga, es la que se hace respecto a si tienen reposición manual o automática.

El reconectado automático ofrece la ventaja de no dejar interrumpido el sistema, cuando ocurre una sobrecarga momentánea, como una breve caída de tensión, la cual por lo común no es perjudicial. Estas interrupciones se llaman disparos molestos. Por otra parte, los repetidos arranques, cuando existe un problema permanente, podrían ser causado porque se quemara el motor. Esto se resuelve con el uso de un relevador de arranque.

Algunos tipos de dispositivos de protección del motor constituyen parte del motor o de la unidad hermética de motor y compresor, y se conocen como dispositivos integrantes de protección. Pueden estar situados fuera del motor o de la unidad, en cuyo caso se llaman protectores externos, o dentro del mismo o de la unidad hermética, y entonces se llaman protectores internos.

Entre los dispositivos integrantes de protección, se encuentran los relevadores térmicos de sobrecarga. Este tipo de protector es un dispositivo sensor de corriente, por lo general del tipo de servicio de piloto. El elemento sensor consiste en un pequeño dispositivo de resistencia variable conectado en serie con el motor. Cuando existe un exceso de corriente, la temperatura del calentador se eleva repentinamente. Un tipo de sensor que se utiliza, es un elemento bimetálico conectado a un juego de contactos.

Un cambio considerable en la temperatura ambiente, podría hacer que la sobrecarga opere con un aumento de corriente demasiado grande o demasiado pequeño. Esta situación se resuelve mediante la inclusión de un segundo elemento bimetálico sensible a los cambios de temperatura ambiente. Dicha combinación de elementos se conoce como dispositivo compensador de la sobrecarga.

Otro tipo de relevador térmico de sobrecarga tiene un dispositivo constituido por una aleación con una baja temperatura de fusión, montado en el circuito de control del contactor. Los dispositivos de sobrecarga descritos anteriormente, deben tener un retardo a la conexión, a fin de permitir una breve sobrecarga para el arranque del motor.

5.5. Protectores de sobrecarga de las líneas de servicio internas y externas

En las unidades herméticas pequeñas, se utiliza a menudo un protector interno sellado. Tiene una tira bimetálica, sensible tanto a la corriente como a la temperatura. El dispositivo de sobrecarga está en medio de los devanados del motor.

Un protector externo sensible, tanto a la corriente como a la temperatura, tiene un disco bimetálico y está conectado en serie con el embobinado del motor, generalmente en la línea común de un motor monofásico. A este tipo de protector, en ocasiones, se le denomina "Klixon", aunque ésta sea la marca registrada de un fabricante.

5.6. Protectores termostáticos de los motores

Este tipo de dispositivo es sensible sólo a la temperatura, y se consigue en versiones internas o externas. El protector interno se coloca dentro de los embobinados del motor, pero está conectado a un circuito piloto, de manera pueda ser utilizado con compresores de gran tamaño.

5.7. Controles de presión

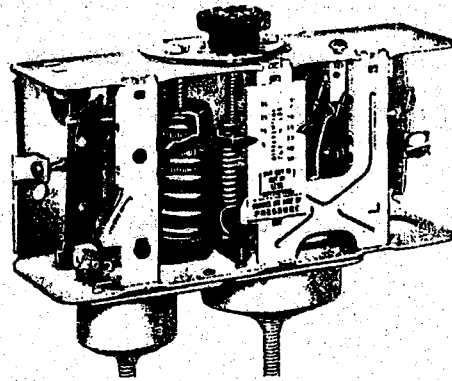
Este tipo de dispositivo de control se llama también presostato. El sensor puede estar constituido, por un fuelle o por un diafragma.

En controles de presión del refrigerante, está el controlador de baja presión, que detecta la presión de succión del refrigerante del compresor; establece el contacto cuando se eleva la presión y lo abre cuando disminuye.

Para detectar la presión de descarga, se utiliza por lo general como control de seguridad un controlador de alta presión, que se ajusta para detener el compresor, cuando la presión de descarga excede de un límite seguro. El controlador puede ser de restablecimiento manual o automático.

Los controladores de baja y alta presión se combinan a menudo por conveniencia en una sola caja; la combinación se llama controlador de doble presión; en la figura, se muestra un tipo de estos controladores de presión. Se utilizan dos sensores separados, pero éstos controlan, por lo general, sólo a un interruptor.

Figura 44. Controlador de doble presión



FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración**. (México: Editorial Limusa), p. 416.

5.8. Control de presión de aceite

Se han desarrollado controles especiales de presión, con el fin de proteger al compresor contra la pérdida de presión de aceite.

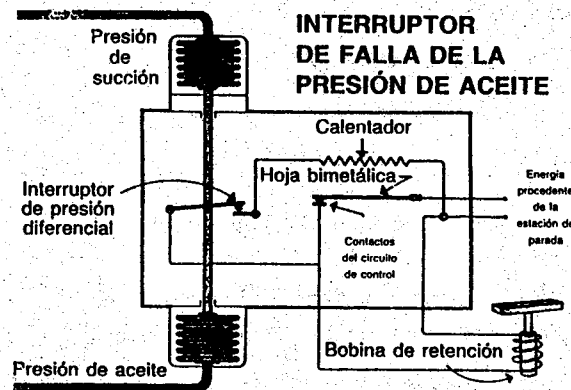
El control actúa mediante la diferencia de presiones de la salida de la bomba de aceite y la presión del cárter. La diferencia entre estas dos presiones es la presión neta del aceite lubricante, puesto que la presión de entrada de la bomba de aceite es siempre la presión del cárter.

Los controles de presión de aceite son de tipo ajustado o fijo, sin embargo, se prefiere el tipo fijo para evitar dificultades por ajuste inadecuado.

Si la presión de aceite desciende por debajo de los límites de seguridad, el control interrumpe el circuito para detener el compresor. Como una precaución adicional, se agrega un circuito de retardo para demorar la acción del control durante un período de hasta 2 minutos, con el fin de permitir al compresor levantar la presión del aceite en el arranque, sin que se produzcan interrupciones.

En la figura 45, se muestra un control de presión de aceite y del circuito de operación.

Figura 45. Control de falla de la presión del aceite y circuito de operación



FUENTE: Edward Pita, **Principios y sistemas de refrigeración.** (México: Editorial Limusa), p. 416.

En las siguientes figuras, se representa el diagrama eléctrico y de control típico para un cuarto refrigerado de alta y baja temperatura, en el cual se pueden observar los componentes que se han venido explicando en este capítulo.

Figura 46. Diagrama típico de un circuito eléctrico y de control para cuartos refrigerados de alta temperatura

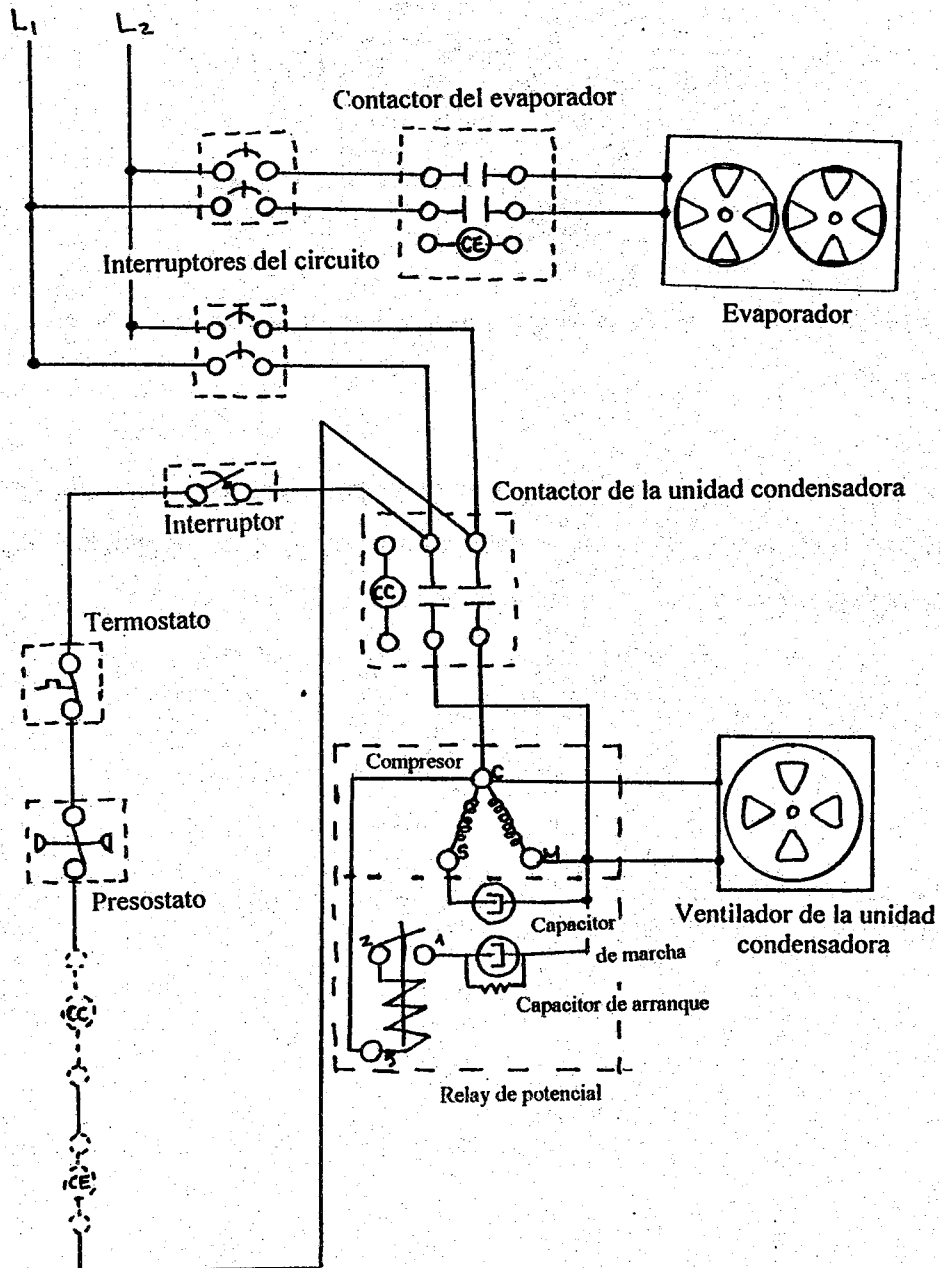
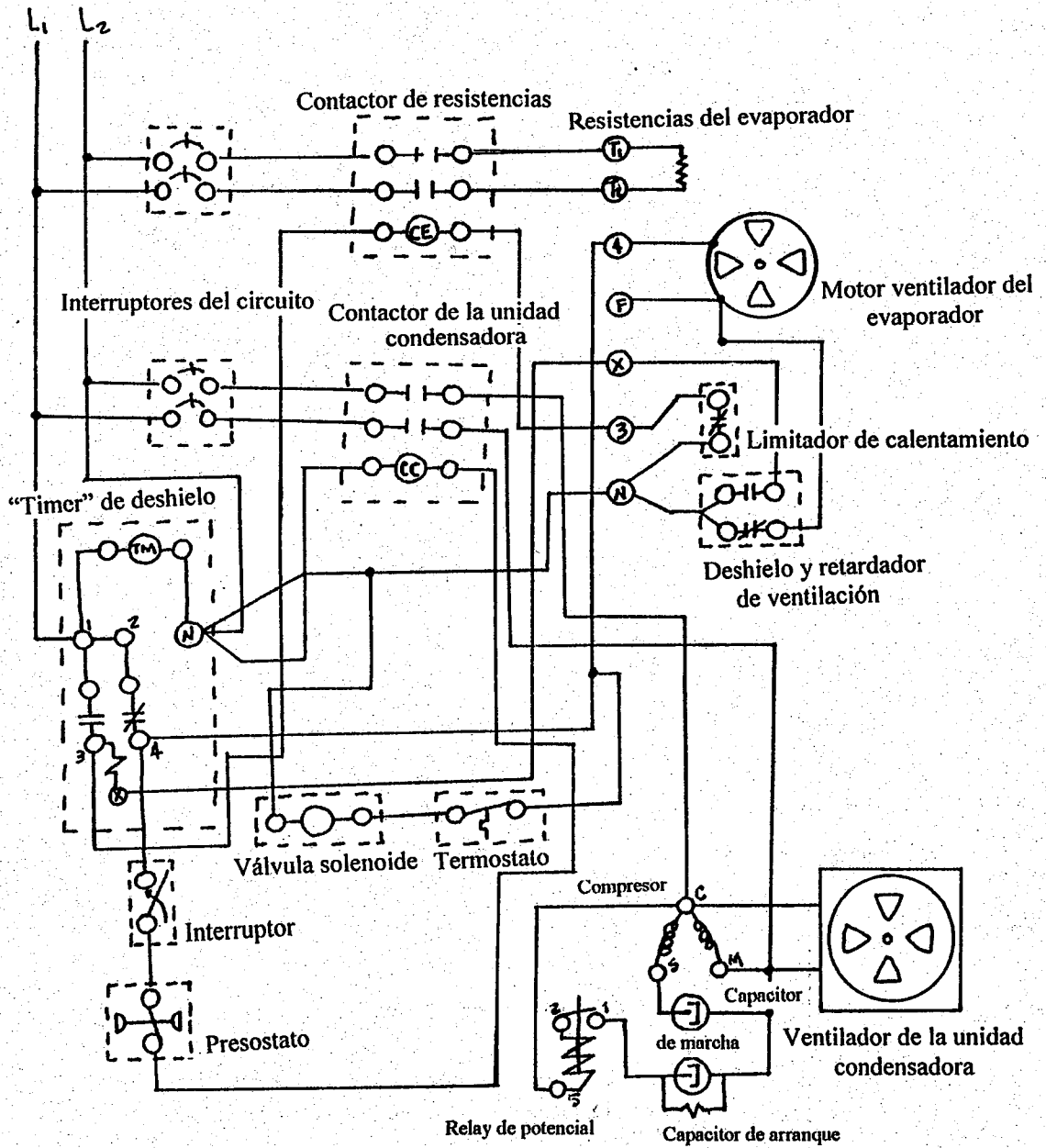


Figura 47. Diagrama típico de un circuito eléctrico y de control para un cuarto refrigerado de baja temperatura



CONCLUSIONES

1. Dado que el cálculo de la carga térmica es un factor fundamental en el diseño de cuartos refrigerados, se utiliza el método detallado de cálculo, ya que el resultado obtenido es más preciso que el método simplificado.
2. La selección del evaporador, en un sistema de refrigeración, debe estar de acuerdo con la aplicación (alta o baja temperatura), y con el producto que se desea almacenar, para que cumpla con los requerimientos de cada sistema.
3. Se deben conocer los diferentes elementos del circuito de refrigeración, sistema de tubería y accesorios del circuito, para determinar cuándo se deben utilizar en una aplicación en alta o baja temperatura.
4. Uno de los factores más importantes, para la selección de los aceites para refrigeración, es la miscibilidad con el agente refrigerante.
5. El aceite mineral se utiliza con los refrigerantes clorofluorocarbonados y el aceite poliol éster con los refrigerantes sustitutos.
6. Se deben seguir todas las especificaciones y recomendaciones del fabricante de los diferentes componentes del sistema de refrigeración, y además seleccionarlos, según la aplicación, para lograr el fin único de los sistemas de refrigeración, que es prolongar la vida del producto que se desea almacenar.

RECOMENDACIONES

1. Hay que seleccionar el material de aislamiento con el espesor adecuado, según los requerimientos deseados y la aplicación del cuarto refrigerado.
2. Se debe evaluar la factibilidad en la selección del compresor en un sistema de refrigeración, para determinar el beneficio en la utilización de las diferentes clases de compresores.
3. Es necesario instalar el mínimo de accesorios posible en el sistema de tubería de un circuito de refrigeración, para minimizar la caída de presión del medio refrigerante. Al aumentar la caída de presión, es necesario aumentar el diámetro de la tubería, lo cual incrementa los costos de instalación del sistema.
4. Se debe evitar el uso de refrigerantes clorofluorocarbonados, que tienen capacidad de destrucción de la capa de ozono, y tener un programa de recuperación y reciclaje de estos refrigerantes.
5. Hay que conocer los componentes del sistema de refrigeración y su funcionamiento, para seleccionarlos, según la aplicación del mismo, en alta o baja temperatura.

BIBLIOGRAFÍA

1. CARRIER. **System design manual.** Carrier Corporation. Estados Unidos de América, 1972.
2. **Engineering Application.** Sporlan Valve Company. Estados Unidos de América: s.e., 1994.
3. **Folleto de equipos importados de refrigeración.** Estados Unidos de América: s.e., 1992.
4. **Fundamentos de Refrigeración.** Copeland Corporation. Estados Unidos de América: s.e., 1992.
5. GODOY, Francisco. **Climatización Instalaciones Termofrigoríficas.** España: Editorial Paraninfo, 1994.
6. MARKS y Baumeister. **Manual de Ingeniero Mecánico.** 3a. edición. México: Editorial McGraw-Hill, 1992.
7. PITA, Edward. **Principios y sistemas de refrigeración.** México: Editorial Limusa, 1991.
8. SEVERNS, W. H. **Energía mediante vapor, aire o gas.** 4a. edición. México: Editorial Reverté, 1991.

APÉNDICES

- **Control de presión de aceite (Sentronic)**

El control de presión de aceite "Sentronic" es un dispositivo electrónico utilizado con el mismo fin que el control de aceite convencional, pero con la principal ventaja que elimina el tubo capilar, fuelles y conexiones de presión que requieren los interruptores de presión mecánicos, para medir el diferencial de presión de aceite. Esto requiere cuidados de manejo, y es bien sabido que constituye una fuente de fugas en el sistema de refrigeración.

Otra ventaja del "Sentronic" es que utiliza un reloj electrónico de presión para los dos minutos de salida del circuito. Los tradicionales controles mecánicos usan resistencias para proveer el tiempo de disparo en el momento de una baja presión de aceite. Sistemas de 208 voltios o baja temperatura ambiente hacen que la salida del calentador sea reducida, e incrementan el tiempo de salida de 2 a 3 o 4 minutos, cuando se presenta baja presión de aceite. Con el reloj electrónico, el tiempo siempre será el mismo.

Todos los controles de presión de aceite "Sentronic" utilizan un sensor de presión y un modulo de control electrónico, para medir con precisión el diferencial de presión en la bomba de aceite del compresor.

- **Control de demanda de enfriamiento**

El refrigerante 22, cuando se usa en un sistema de refrigeración controlado y debidamente diseñado, es realmente para baja temperatura alternativo al R-502, que debido a su alto índice de destrucción a la capa de ozono está siendo sacado del mercado. De cualquier manera, con base en la experiencia, se sabe que el R-22 puede presentar problemas como un refrigerante para baja temperatura, ya que bajo algunas condiciones, la temperatura de descarga interna del compresor excede el límite de seguridad de la temperatura de la estabilidad del aceite.

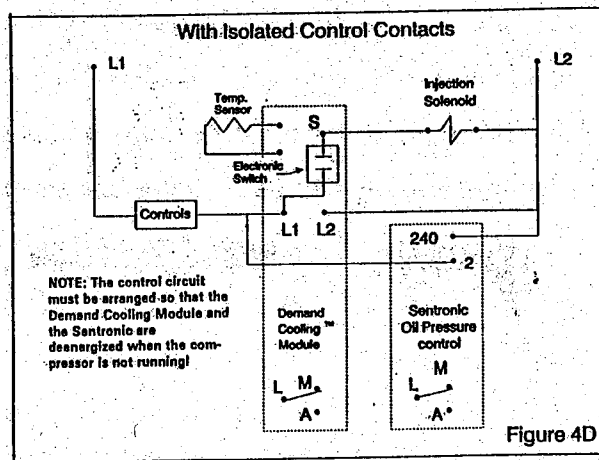
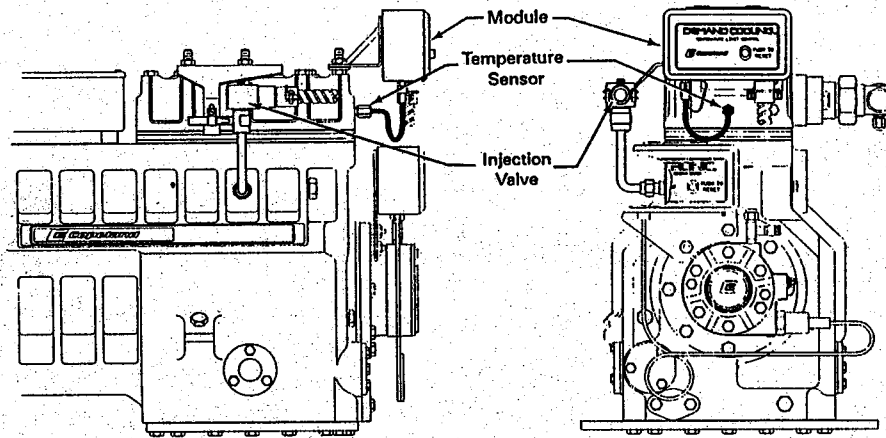
El control de demanda de enfriamiento utiliza la electrónica moderna, que prevé a un costo confiable la solución del problema. Es requerido para todas las aplicaciones de una etapa que utilicen R-22 con temperatura de saturación de succión, debajo de -10°F (-23°C).

El módulo de demanda de enfriamiento utiliza la señal de un sensor de temperatura de descarga para monitoriar la temperatura del gas de descarga. Si una temperatura crítica es alcanzada, el módulo energiza un inyector que mide una cantidad controlada de refrigerante saturado a la cavidad de succión del compresor para enfriar el gas de succión. Este proceso controla la temperatura de descarga a un nivel seguro. Si por alguna razón la temperatura de descarga sube por encima de un nivel pre-establecido, el módulo de demanda de enfriamiento apagará el compresor y actuará su contacto de alarma.

Para minimizar la cantidad de refrigerante que debe ser inyectado, el proceso de enfriamiento del gas de succión es ejecutado después de que el gas haya pasado alrededor y a través del compresor.

En la siguiente figura, se presenta un diagrama de la forma de conexión del control de presión "Sentronic" y el módulo de demanda de enfriamiento.

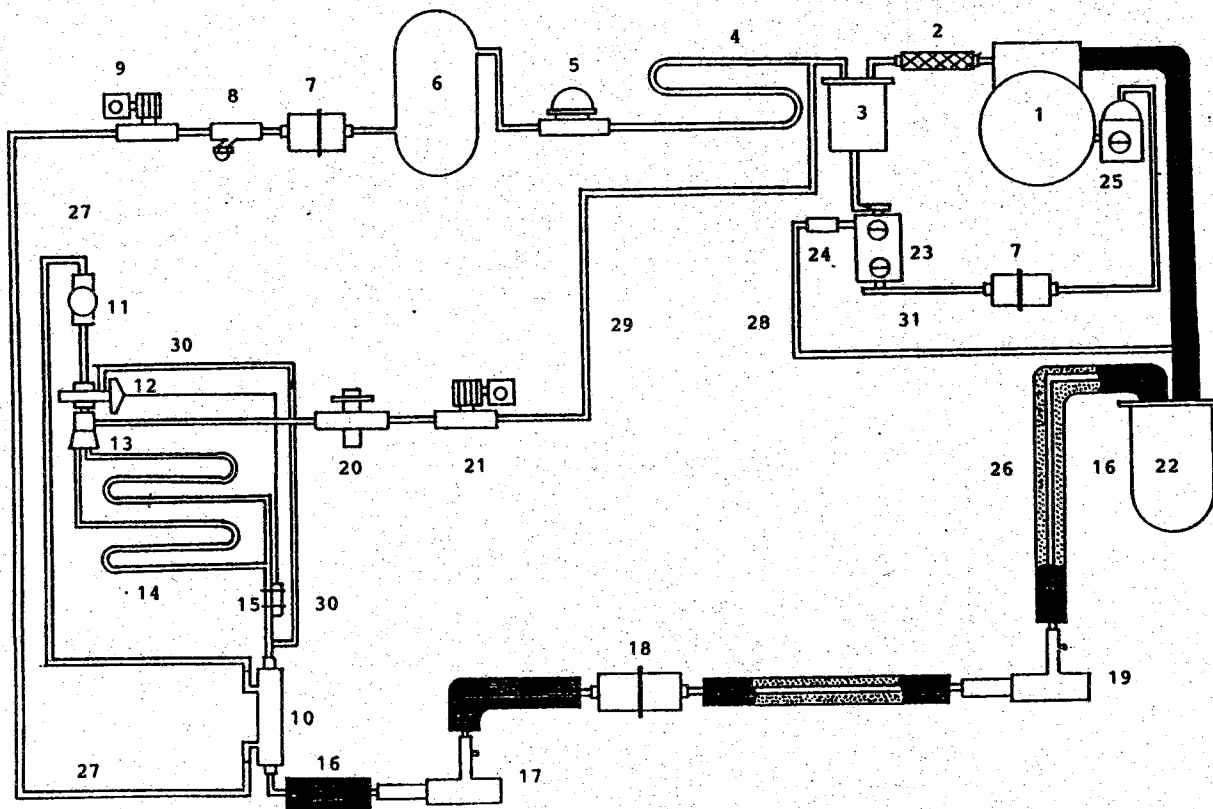
Figura 48. Sistema de demanda de enfriamiento y esquema de alambrado



FUENTE: "Application Engineering Bulletin", Copeland (AE-1287-R1) : 1, 5.

En la figura 49, se presenta un diagrama de la ubicación aproximada de los componentes del sistema de refrigeración. No es una recomendación típica de instalación.

Figura 49. Ubicación de los componentes de un sistema de refrigeración



1. Compresor
2. Eliminador de vibración
3. Separador de aceite
4. Condensador
5. Válvula de control de presión de cabeza
6. Depósito de líquido
7. Filtro deshidratador
8. Filtro de cedazo
9. Válvula solenoide
10. Intercambiador de calor líquido-succión
11. Visor/indicador de líquido y humedad
12. Válvula de expansión termostática TEV
13. Distribuidor de refrigerante líquido
14. Evaporador
15. Bulbo de la válvula de expansión termostática
16. Tubo de aislamiento (armaflex o rubatex)
17. Válvula reguladora de presión del evaporador
18. Filtro de succión
19. Válvula reguladora de presión del cárter (VRPC)
20. Válvula de derivación de descarga
21. Válvula solenoide (para gas caliente)
22. Acumulador de succión
23. Embalse
24. Válvula diferencial
25. Control de nivel de aceite (OLC)
26. Tubería de línea de succión (gas a baja presión)
27. Tubería de línea de descarga (líquido a alta presión)
28. Tubería de línea de alivio (gas)

- 29. Tubería de línea de derivación de gas caliente**
- 30. Tubería de línea de equilibrador de la TEV**
- 31. Tubería de retorno de aceite**
- 32. Lado de presión alta**
- 33. Lado de presión baja**