

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPACTO DE LOS NUEVOS REFRIGERANTES EN EQUIPOS DE AIRE
ACONDICIONADO Y REFRIGERACION**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ELDER RODOLFO ROMÁN COYOY

ASESORADO POR: ING. LUIS ALFREDO ASTURIAS ZUÑIGA
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Elvis José Álvarez Valdéz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Julio César Molina Zaldaña
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

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 graduación titulado:

**IMPACTO DE LOS NUEVOS REFRIGERANTES EN EQUIPOS DE AIRE
ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 28 de julio de 2003.

ELDER RODOLFO ROMÁN COYOY

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. EQUIPO USADO EN AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN	
1.1 Evaporador.....	1
1.1.1 Características del intercambio de calor en el evaporador..	1
1.1.2 Tipos de evaporadores.....	3
1.2 Compresor.....	4
1.3 Condensador.....	6
1.3.1 Condensadores enfriados por agua.....	8
1.3.2 Condensadores enfriados por aire.....	8
1.4 Dispositivos de expansión.....	9
2. IMPACTO DE LOS NUEVOS REFRIGERANTES EN EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO	
2.1 Opciones acerca de equipo ya existente.....	11
2.1.1 Conservación del equipo y refrigerante CFC ya existente..	11
2.1.2 Convertir el equipo ya existente.....	13
2.1.3 Adquirir equipo nuevo.....	14
2.2 Diseño de flujo en el intercambiador de calor.....	15
2.2.1 Intercambiador de flujo cruzado.....	15

2.2.2	Intercambiador de contraflujo.....	17
2.3	Compresores.....	20
2.3.1	Compresor reciprocante.....	20
2.3.2	Compresor de tornillo.....	22
2.3.3	Compresor espiral.....	23
2.3.4	Compresor centrífugo.....	24
2.4	Presiones de operación.....	25
2.4.1	Unidades enfriadoras centrífugas de baja presión.....	26
2.4.1.1	Refrigerantes de baja presión.....	27
2.4.2	Unidades enfriadoras centrífugas de media y alta presión...	28
2.4.2.1	Refrigerantes de media y alta presión.....	30
2.5	Fabricantes de unidades enfriadoras.....	30

3. IMPACTO DE LOS NUEVOS REFRIGERANTES EN EQUIPO DE REFRIGERACIÓN

3.1	Opciones acerca del equipo ya existente.....	33
3.1.1	Conservación del equipo y refrigerante CFC ya existente...	35
3.1.1.1	Encontrar y reparar fugas.....	36
3.1.1.2	Reducir el riesgo de fugas.....	37
3.1.2	Convertir el equipo ya existente.....	43
3.1.3	Adquirir equipo nuevo.....	46
3.2	Tipos de sistemas de refrigeración.....	48
3.2.1	Sistema convencional.....	49
3.2.2	Sistema paralelo.....	51
3.3	Compresores.....	52
3.3.1	Compresor reciprocante.....	55
3.3.2	Compresor de tornillo.....	57
3.3.3	Compresor espiral.....	58
3.3.4	Diseño de nuevos compresores.....	59

3.4	Otras consideraciones en el diseño del sistema de refrigeración...	60
3.4.1	Presión del sistema.....	61
3.4.1.1	Selección de la tubería con base en la presión..	62
3.4.1.2	Consideraciones sobre la tubería.....	64
3.4.1.3	Control de flujo y válvulas.....	65
3.4.2	Subenfriamiento.....	66
3.5	Opciones de refrigerante para refrigeración comercial.....	70
3.5.1	Alternativas interinas.....	70
3.5.2	Alternativas a largo plazo.....	73
3.6	Opciones de reconversión para equipo existente.....	78
3.6.1	Sistemas de mediana temperatura que utilizan R-12.....	78
3.6.2	Sistemas que utilizan R-502.....	80
3.7	Opciones para equipo nuevo.....	83
3.7.1	Sistemas nuevos de mediana temperatura.....	83
3.7.2	Sistemas nuevos de baja temperatura.....	85
3.7.3	Sistemas de refrigeración indirectos.....	86

4. OTRAS CONSIDERACIONES

4.1	Costo y disponibilidad del refrigerante.....	89
4.2	Consideraciones para comparar alternativas.....	91
4.3	Lubricantes.....	93
4.3.1	Aceites minerales.....	94
4.3.2	Alquilbenceno.....	94
4.3.3	Mezcla de Alquilbenceno con aceite mineral.....	95
4.3.4	Lubricantes de poliol éster.....	95
4.4	Métodos de recuperación de refrigerantes.....	98
4.4.1	Recuperación de refrigerante.....	99
4.4.2	Reciclaje del refrigerante.....	100
4.4.3	Regeneración del refrigerante.....	100

CONCLUSIONES..... 103
RECOMENDACIONES..... 105
BIBLIOGRAFÍA..... 107
ANEXOS..... 109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Temperaturas en un evaporador de flujo cruzado con variación de temperatura.....	17
2. Temperaturas de un evaporador de contraflujo.....	18
3. Temperaturas en un evaporador de contraflujo con variación de temperatura.....	19
4. Presiones de saturación de algunos refrigerantes a 130° F.....	63
5. Presión en tubos.....	64
6. Diagrama de presión-entalpía del refrigerante 507.....	109
7. Diagrama de presión-entalpía del refrigerante 401A.....	110
8. Diagrama de presión-entalpía del refrigerante 402A.....	111
9. Diagrama de presión-entalpía del refrigerante 404A.....	112
10. Diagrama de presión-entalpía del refrigerante 407C.....	113
11. Diagrama de presión-entalpía del refrigerante 410A.....	114

TABLAS

I.	Presiones de operación.....	25
II.	Ventajas y desventajas de unidades de baja presión.....	27
III.	Ventajas y desventajas de unidades de mediana y alta presión.....	29
IV.	Fabricantes de unidades enfriadoras.....	31
V.	Registro de refrigerante.....	38
VI.	Costos típicos de un nuevo sistema de refrigeración.....	47
VII.	Los mejores candidatos para nuevos sistemas de refrigeración.....	48
VIII.	Temperaturas típicas de refrigeración.....	53
IX.	Características del compresor y tendencias de uso.....	54
X.	Opciones de conversión para sistemas existentes que utilizan R-12.	79
XI.	Opciones de conversión para sistemas existentes que utilizan R-502	81
XII.	Opciones para sistemas nuevos de mediana temperatura.....	84
XIII.	Opciones para sistemas nuevos de baja temperatura.....	85
XIV.	Precios de refrigerantes.....	90
XV.	Lubricantes apropiados para varios refrigerantes.....	97
XVI.	Estándar ARI-700.....	101
XVII.	Propiedades de los refrigerantes.....	115

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

° F	Grados Fahrenheit
AB	Lubricante alquilbenceno
AB/MO	Mezcla de lubricante de alquilbenceno con aceite mineral
ARI	Instituto de aire acondicionado y refrigeración. Por sus siglas en ingles <i>Air-Conditioning and Refrigeration Institute</i> .
ASME	Sociedad americana de ingenieros mecánicos. Por sus siglas en ingles <i>American Society of Mechanical Engineers</i> .
CFC	Clorofluorcarbonos
GWP	Potencial de calentamiento global. Por sus siglas en ingles <i>Global Warming Potential</i> .
HCFC	Hidroclorofluorcarbono
HFC	Hidrofluorcarbono
in Hg	Pulgadas de mercurio
MO	Aceite mineral

ODP	Potencial de reducción de ozono. Por sus siglas en ingles <i>Ozone Depletion Potential</i> .
POE	Lubricante poliol éster
ppm	Partes por millón
psig	Libras por pulgada cuadrada manométricas
Δt	Diferencia de temperatura

GLOSARIO

Composición en porcentaje	Porcentaje en peso de cada componente de una mezcla refrigerante.
Capacidad	Cantidad de enfriamiento que puede proporcionar un sistema de refrigeración. Generalmente expresada en toneladas.
Carga de refrigerante	Cantidad de libras de refrigerante utilizada por un sistema de refrigeración
Eficiencia	En refrigeración llamada coeficiente de operación es el cociente del trabajo que se obtiene entre trabajo que se da al sistema.
Higroscópico	Capaz de absorber y retener o perder humedad
Mezcla azeotrópica	Es una mezcla refrigerante que se comporta como un fluido sencillo en que se mantiene a una temperatura de saturación constante durante la evaporación o condensación. Identificada con los números de la serie R-5XX.

Mezcla zeotrópica	Mezcla refrigerante que no se comporta como un fluido sencillo y puede ser separada por evaporación. Identificada con los números de la serie R-4XX.
Nuevo refrigerante	Cualquier refrigerante que se utilice como sustituto de los refrigerantes CFC, ya sea en sistemas convertidos o nuevos.
Potencial de calentamiento global	Habilidad de un gas de atrapar calor en la atmósfera. Es medida en relación al CFC-11 o al dióxido de carbono.
Potencial de reducción de ozono	La relativa facilidad de una sustancia de destruir el ozono de la estratosfera. Es medido en relación al CFC-11.
Refrigerante CFC	Clorofluorcarbonos son compuestos que consisten de átomos de cloro, flúor y carbono. Contribuyen a la reducción de la capa de ozono y se mantienen sin disminuir de concentración en la troposfera por 100 años o más.
Refrigerante HCFC	Hidroclorofluorcarbonos. Son compuestos que consisten de átomos de hidrogeno, cloro, flúor y carbono. Tienen las mismas propiedades que los refrigerantes CFC pero del 90 al 98% son destruidos en la atmósfera baja.

Refrigerante HFC	Hidrofluorcarbonos. Son compuestos químicos que consisten de átomos de hidrogeno, flúor y carbono. Son destruidos en la atmósfera baja, ya que no contienen cloro no destruyen la capa de ozono.
Tonelada de refrigeración	Rapidez de absorción de calor por parte del fluido que circula por el evaporador de 211 kJ/min o 200 BTU/min.
Variación de temperatura	Rango de temperatura al cual una mezcla zeotrópica se evapora o condensa.

RESUMEN

En el presente trabajo se incluyen algunos temas relacionados con el impacto que tienen los nuevos refrigerantes en equipos de aire acondicionado y refrigeración.

En el capítulo uno se da una descripción de los equipos básicos usados en los sistemas de aire acondicionado y refrigeración, se mencionan los tipos y características de diseño, sin caer en descripciones profundas.

En el capítulo dos se habla sobre los nuevos refrigerantes y su impacto en equipos de aire acondicionado, qué opciones se deben de tomar con respecto a los nuevos refrigerantes en la industria del aire acondicionado. Se mencionan también diseños de intercambiadores de calor y como se ven afectados por los nuevos refrigerantes, los diferentes tipos de compresores y el uso que se les puede dar con los nuevos refrigerantes. Se hace una clasificación de los tipos de sistemas de aire acondicionado con base en la presión y los nuevos refrigerantes que se utilizan en ellos.

En el capítulo tres se habla sobre los nuevos refrigerantes en sistemas de refrigeración, cubriendo principalmente el área de refrigeración comercial. Se discuten los tipos de sistemas de refrigeración existente, compresores utilizados en la refrigeración comercial, consideraciones a tener en cuenta cuando se convierte un sistema de refrigeración, los refrigerantes alternativos existentes para convertir sistemas de refrigeración y refrigerantes utilizados en equipo nuevo de refrigeración.

En el último capítulo se dan consideraciones que son de ayuda cuando se convierte un equipo de aire acondicionado o refrigeración, no tanto desde el punto de vista de diseño, si no que principalmente con la selección de un nuevo refrigerante.

OBJETIVOS

General:

Definir el impacto de los nuevos refrigerantes en equipos de aire acondicionado y refrigeración.

Específicos:

1. Estructurar una base de información acerca de cuáles son los criterios utilizados en la sustitución de refrigerantes CFC, reductores de la capa de ozono, por nuevos refrigerantes menos dañinos a dicha capa en equipos de aire acondicionado y refrigeración.
2. Enumerar diferentes opciones de qué hacer cuando se trate de sustituir refrigerantes CFC en equipos existentes.
3. Mostrar algunas de las nuevas tecnologías que se utilizan en nuevos equipos de aire acondicionado y refrigeración y como éstas influyen en el aprovechamiento de las características de los nuevos refrigerantes.
4. Proporcionar criterios que afectan la selección de nuevos refrigerantes en equipos nuevos de aire acondicionado y refrigeración y sus accesorios.

INTRODUCCIÓN

Se puede decir que existen tres tipos principales de refrigerantes: los refrigerantes CFC, refrigerantes HCFC y refrigerantes HFC.

Los refrigerantes CFC han dejado de producirse desde hace ya varios años pero todavía pueden ser adquiridos o usados. Este término de la producción es debido a esfuerzos internacionales por proteger el planeta en especial la capa de ozono, la cual es reducida principalmente por refrigerantes CFC, ya que éstos contienen cloro y éste al entrar en contacto con la capa de ozono la reduce. Los refrigerantes HCFC también contienen cloro pero son menos dañinos a la capa de ozono que los refrigerantes CFC. Ya han empezado en algunos casos a ser limitados o reducidos en cuanto a cantidades producidas y los últimos dejarán de ser producidos en el año 2030. Los refrigerantes HFC son refrigerantes que no tienen fechas de limitación o reducción de producción, ya que no contienen cloro, por lo tanto no contribuyen a la reducción de la capa de ozono.

Todas estas limitaciones de producción en refrigerantes obligan a las empresas a tomar decisiones acerca de qué hacer con los equipos existentes de aire acondicionado o refrigeración, que continúan usando refrigerantes CFC o incluso refrigerantes HCFC. Cualquiera que llegue a ser la decisión que tome la empresa tendrá un impacto tanto económico como ambiental a corto, mediano o largo plazo.

En el presente trabajo se describe con mayor énfasis el impacto de los nuevos refrigerantes en sistemas de aire acondicionado comercial y sistemas de refrigeración comercial, ya que es en éstos donde se utiliza la mayor cantidad de refrigerante.

En el presente trabajo se discuten diferentes alternativas para ayudar a que esta decisión sea tomada de una manera más fácil, se mencionan las opciones que se pueden tomar para el equipo existente que utiliza refrigerantes CFC.

Se habla de cómo los nuevos refrigerantes vienen a sustituir a los refrigerantes CFC en equipo existente de aire acondicionado o refrigeración, qué consideraciones se deben de tomar en el momento de efectuar dicha sustitución, ya que para convertir un equipo existente no sólo es necesario el cambio de refrigerante sino a su vez cambio de algunos equipos del sistema así como el empleo de algunos equipos adicionales para el aprovechamiento de las características de los nuevos refrigerantes.

1. EQUIPO USADO EN AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN

Refrigerar consiste en conseguir una temperatura más baja que la del medio ambiente inmediato. En cualquier sistema práctico de refrigeración, el mantenimiento de la baja temperatura requiere la extracción de calor del cuerpo a refrigerar y la disipación de este calor a una temperatura más alta. El ciclo de compresión de vapor es el ciclo de refrigeración más importante desde el punto de vista comercial. En tal ciclo un fluido se evapora y se condensa alternativamente. A continuación se discuten los cuatro componentes básicos de un sistema de compresión de vapor.

1.1 Evaporador

Un evaporador de un sistema de refrigeración es un intercambiador de calor, en el cual el calor pasa desde la sustancia que se va a enfriar hasta el refrigerante en ebullición. El fin de un sistema de refrigeración es absorber calor del aire, agua o cualquier otra sustancia, esta absorción se lleva a cabo en el evaporador.

1.1.1 Características del intercambio de calor en el evaporador

Las condiciones que regulan el intercambio de calor en el evaporador son las siguientes.

- El material empleado en la construcción del evaporador al que debe transferirse el calor. Los evaporadores pueden ser de cobre, acero, latón, acero inoxidable o aluminio. La corrosión es la que determina el material a emplear. Por ejemplo cuando es necesario enfriar materiales ácidos, no puede usarse ni el cobre ni el aluminio. El acero inoxidable puede emplearse en lugar de aquellos, aunque debe de tenerse en cuenta que el acero inoxidable no es tan buen conductor de calor como lo es el cobre.
- El medio al que se transfiere el calor. Un ejemplo es el paso de calor del aire al refrigerante. El mejor intercambio de calor se efectúa entre dos líquidos, tal como el paso del agua al refrigerante líquido. Sin embargo, ello no es siempre posible ya que más frecuentemente el intercambio debe realizarse entre el aire y el refrigerante en estado de vapor. El intercambio entre vapor y vapor es más lento que entre líquido y líquido.
- El factor película. Es la relación entre el medio que expulsa o recibe calor y la superficie del intercambiador de calor. El factor película se refiere a la velocidad de paso del medio sobre la superficie del intercambiador de calor. Cuando esta velocidad es demasiado lenta, la película entre el medio y la superficie actúa como aislante y retrasa el intercambio de calor. La velocidad mantiene la película a un mínimo. La velocidad de paso adecuada viene señalada por el fabricante.

1.1.2 Tipos de evaporadores

Existen numerosos tipos de evaporadores, de los cuales cada uno tiene su finalidad. Los primeros evaporadores para el enfriamiento del aire fueron los serpentines de tubo con convección natural de aire. Este evaporador que se utilizó primeramente en las cámaras frigoríficas, con el consiguiente acceso a su interior, fue montado en lo alto junto al techo. Se basaba en el principio de que el aire enfriado baja hacia el suelo de la cámara y establece una corriente natural de aire. El evaporador en este caso debería de ser lo suficientemente dimensionado para la aplicación a la que se destinaba, ya que la velocidad del aire al pasar por el serpentín era lenta, usándose por ello, en pocos casos actualmente.

El empleo de un ventilador para forzar o inducir el aire a través del evaporador aumenta la eficacia del intercambio de calor. Esta solución implica que puedan utilizarse ventiladores más compactos para lograr el mismo objetivo. La técnica de diseño tiende a que la industria se incline hacia unidades más reducidas pero más eficientes.

La expansión de la superficie del evaporador a una superficie mayor que la del tubo en sí ofrece un intercambio de calor más eficiente. Los evaporadores estampados son el resultado de la búsqueda de superficies superiores a las del tubo intrínseco. Se trata de dos placas metálicas estampadas con tubo impreso a través de las mismas.

El serpentín de tubo con aletas anexas, conocido como evaporador de aletas, se emplea hoy en día mucho más que ningún otro tipo de intercambiador entre el aire y el refrigerante. Este tipo de intercambiador es muy eficiente, ya que las aletas se encuentran en perfecto contacto con el tubo que conduce el refrigerante.

La aparición de los circuitos múltiples desarrolló el rendimiento y eficacia al reducir la caída de presión en el interior del evaporador. Los tubos del evaporador pueden estar en su interior finamente pulidos, pero todavía ofrecen resistencia al flujo del refrigerante líquido o evaporado. Cuanto más corto sea el evaporador, menos resistencia ofrece al flujo de refrigerante. Por consiguiente, cuando un evaporador llega a ser de mucha longitud, la norma consiste en cortarlo y construir otro circuito en paralelo junto a aquel.

El evaporador tipo para el enfriamiento de hielo funciona bajo las mismas normas que el destinado a enfriamiento del aire, aunque es de diseño diferente. Puede estar unido a un depósito con el líquido en su interior, sumergido en el interior del contenedor del líquido, o bien ser del sistema de doble tubo con el refrigerante en el interior de un tubo y el líquido a enfriar circulando por el tubo exterior.

1.2 Compresor

El compresor es el corazón de un sistema frigorífico. Hace circular el calor a través de todo el sistema en forma de vapor refrigerante portador de calor. El compresor puede considerarse como una bomba de vapor. Reduce la presión en el lado de baja presión de sistema, que incluye el evaporador, y aumenta la presión en el lado de alta presión del sistema. Todos los compresores de sistemas frigoríficos cumplen la función de comprimir el refrigerante evaporado. La compresión puede llevarse a cabo de formas diversas, de acuerdo con los distintos tipos de compresor. Los compresores más corrientemente empleados en acondicionamiento de aire doméstico y comercial de mediana capacidad, así como en refrigeración, son los de acción simple recíproca, rotativos o de espiral.

Los compresores de acción simple recíproca emplean un pistón y un cilindro para comprimir el refrigerante. Las válvulas de disco o de lengüeta, actúan de forma que el refrigerante fluya en la dirección correcta. Este tipo se conoce por la denominación de compresor de desplazamiento positivo. Si el cilindro se halla lleno de vapor debe vaciarse cuando el compresor gira, ya que en caso contrario este se dañaría.

Los compresores rotativos son también del tipo de desplazamiento positivo y se utilizan en aplicaciones que se hallan dentro de la gama de equipos de pequeña capacidad, como lo son los acondicionadores de aire de ventana, los refrigeradores domésticos y algunos sistemas de acondicionamiento centralizado. Estos compresores son muy eficientes y comprenden pocas partes móviles. El compresor rotativo dispone de un pistón en forma de tambor que impulsa al refrigerante vaporizado hacia el orificio de descarga. Son muy reducidos de tamaño en comparación con los de igual capacidad del tipo de acción simple recíproca.

El compresor espiral es uno de los últimos tipos de compresor desarrollado en el mercado y posee un mecanismo completamente diferente. Consta de una parte fija en forma de muelle en espiral y de otra espiral móvil que se ajusta dentro de la anterior. La espiral móvil órbita dentro de la fija y deja pasar el gas evaporado procedente del lado de baja presión en dirección del lado de alta presión del sistema entre las citadas espiras fija y móvil. Las diversas etapas de compresión se realizan entre las espiras, constituyendo un compresor con muy pocas partes móviles y es de funcionamiento suave y silencioso.

La espira es hermética contra el fondo y contra la parte superior, durante la acción de rozamiento y dispone de un sellado en la parte de salida. Este sellado evita que el refrigerante del lado de alta presión retroceda hacia el lado de baja presión cuando el compresor se halla en movimiento. Se trata de un compresor de desplazamiento positivo con una limitación, tiene un desplazamiento positivo hasta que logra la suficiente diferencia de presión para que las espiras puedan separarse y el refrigerante a alta presión regrese a través del compresor y evite una sobrecarga.

Los grandes sistemas de refrigeración comerciales e industriales emplean otros tipos de compresores, ya que deben de mover gran cantidad de refrigerante evaporado a través del sistema. El compresor centrífugo se utiliza en las grandes instalaciones de aire acondicionado y no tiene desplazamiento positivo. El compresor de tornillo se emplea también por el mismo motivo que el compresor de tipo centrífugo, con la excepción de que también se utiliza en las aplicaciones de baja temperatura de refrigeración. Se trata de un compresor de desplazamiento positivo.

El punto importante que ha de recordarse es que todo modelo de compresor realiza igual trabajo cualquiera que sea el tipo de compresor. De momento se debe de interpretar como un componente que aumenta la presión del sistema y mueve el refrigerante evaporado desde el lado de baja presión, el evaporador, al de alta presión del sistema o sea el condensador.

1.3 Condensador

El condensador es un intercambiador de calor, similar al evaporador, responsable de expulsar del sistema el calor absorbido por el evaporador.

Este calor se encuentra en forma de gas caliente que se enfría hasta el punto en que se condensa. El condensador trabaja a temperaturas y presiones más altas que el evaporador y se localiza generalmente a la vista o sea en el exterior. El condensador lleva a cabo tres funciones y debe de ser capaz de realizarlas correctamente, ya que en caso contrario motivará una subida excesiva de presión.

- Debe de disminuir la temperatura del gas caliente proveniente del compresor. Esta operación se realiza al principio del serpentín del condensador.
- Condensar el refrigerante. Ello se lleva a cabo en la mitad del serpentín. Este es el único lugar del condensador en que la temperatura corresponde a la presión de descarga.
- Subenfriar el refrigerante antes de que abandone el serpentín. Este subenfriamiento baja la temperatura del refrigerante hasta un punto por debajo de la verdadera temperatura de condensación. Es normal un subenfriamiento de 2.8 a 11.1 °C (5 a 20 °F).

El condensador debe disponer de la cantidad correcta de medio enfriador (aire o agua). Este medio enfriador no debe circular nuevamente sin haber sido enfriado.

1.3.1 Condensadores enfriados por agua

De forma distinta a los evaporadores, los primeros condensadores comerciales de refrigeración eran enfriados por agua. Estos condensadores no estaban tan bien resueltos como los modernos condensadores enfriados por agua. Los condensadores enfriados por agua son bastante eficientes comparados con los enfriados por aire y trabajan a temperaturas de condensación mucho más bajas. Los equipos enfriados por agua se presentan en diversas formas: los de serpentines concéntricos con un tubo dentro del otro, y los de tipo recipiente con el serpentín de agua en su interior, siendo estos últimos los más usados.

1.3.2 Condensadores enfriados por aire

Los condensadores enfriados por aire emplean éste como medio en lugar del agua para la expulsión del calor contenido en el refrigerante. Este sistema tiene ventajas cuando resulta difícil disponer de agua. Los primeros condensadores enfriados por aire eran de tubo liso o desnudo sobre los que se dirigía el aire impulsado por el volante del compresor. A fin de aumentar la eficacia del condensador y reducir también sus dimensiones, se aumentó la superficie del mismo con la adición de aletas. Los condensadores enfriados por aire con aletas de acero se emplean en algunas pequeñas instalaciones de refrigeración. Esta es una condición de la industria de refrigeración, ya que los condensadores con aletas de acero no se emplean en las unidades de aire acondicionado, posiblemente debido a su peso. Los sistemas de refrigeración de mayor capacidad emplean los mismos tipos de condensadores que la industria de aire acondicionado.

Los condensadores enfriados por aire se presentan en una gran variedad de formas. Algunos son de tipo horizontal con el aire soplando a través y sujetos a los vientos predominantes. Otros trabajan verticalmente en la dirección de la corriente de aire, tomando el aire por la parte inferior y descargándolo por la parte superior. Los vientos que puedan predominar no afectan en modo alguno a estos condensadores. Existe otro tipo de condensador que toma el aire por los laterales y lo descarga por la parte superior. Este condensador si puede verse afectado por los vientos predominantes.

1.4 Dispositivos de expansión

Los dispositivos de expansión, más conocidos como válvulas de expansión, son el cuarto elemento necesario para que funcione el ciclo de compresión de refrigeración. Este dispositivo no es tan visible como el evaporador, el compresor o condensador. Generalmente se encuentra oculto dentro del refrigerador, cámara o espacio a refrigerar y no es muy visible para un observador ocasional. Puede ser una válvula o un dispositivo de paso fijo.

El dispositivo de expansión es una de las líneas que dividen los lados de alta y de baja presión del sistema (el compresor es la otra frontera). El dispositivo de expansión es el elemento responsable de la cantidad debida de refrigerante que entra en el evaporador. El dispositivo de expansión se instala normalmente entre el condensador y el evaporador. La línea de líquido se hallará caliente al tacto y puede seguirse fácilmente su camino al dispositivo de expansión donde se produce una caída de presión con el correspondiente descenso de temperatura.

Como sea, algunos de estos dispositivos de expansión son válvulas y otros simples orificios calibrados, este cambio puede ocurrir en muy poco espacio (menos de una pulgada en una válvula), o bien de forma más gradual en otros dispositivos de paso fijo.

Los dispositivos de expansión se presentan en cinco tipos diferentes: flotador de alta presión, flotador de baja presión, válvula de expansión termostática, válvula de expansión automática, tubo calibrado fijo o tubo capilar.

Si bien hay cierta libertad para elegir el tamaño de la válvula de expansión, hay que tener presente que se obtendrá un funcionamiento incorrecto si la válvula es demasiado grande o demasiado pequeña para la instalación. Una válvula demasiado grande puede permitir que cierto líquido refrigerante retorne al compresor. Una válvula demasiado pequeña deja insuficiente paso al líquido, lo que reduce la capacidad de enfriamiento del sistema.

2. IMPACTO DE LOS NUEVOS REFRIGERANTES EN EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO

2.1 Opciones acerca de equipo ya existente

Al tomar decisiones acerca de cómo reaccionar ante nuevos y futuros reglamentos para equipo de aire acondicionado, hay tres aspectos básicos que se pueden tomar:

- Conservación del equipo y refrigerante CFC ya existente
- Modificar el equipo ya existente
- Adquirir equipo nuevo

El equipo de aire acondicionado puede tener una vida útil de hasta 30 años, así que esta no es una decisión que se haga fácilmente, ya que habrán consecuencias a largo plazo sean económicas o ambientales. Todas las opciones de equipo y refrigerantes deberán de ser consideradas, más un amplio rango de factores como costos de operación, eficiencia de energía total del sistema, disponibilidad del refrigerante, y cualquier cambio de capacidad que se tenga planeado para un futuro al remodelar la instalación.

2.1.1 Conservación del equipo y refrigerante CFC ya existente

Si se llega a determinar que el equipo existente todavía tiene algo de vida por delante y el suministro de refrigerante es adecuado, solamente se necesitará actuar en tres cuestiones fundamentales, para preservar el equipo y refrigerante ya existente.

- Mejorar la conservación del refrigerante
- Mejorar el mantenimiento del equipo
- Seguimiento de buenas prácticas de servicio

Mientras existan suministros de refrigerante CFC, se pueden seguir utilizando. Lo que no es permisible es el mal manejo de ellos. Una fuente de problemas son las fugas de refrigerante, si esto se permite puede causar problemas legales y además resulta en un alto costo de operación.

La primera medida de conservación a tomar es el reparar todas las fugas de refrigerante, incluyendo el refrigerante que se fuga y el aire que puede entrar en el sistema. Para esto se necesita incorporar un sistema más eficiente de purga en la unidad enfriadora de baja presión. Ya que la mayoría de unidades centrífugas que utilizan refrigerantes CFC son de baja presión, el vacío producido adentro puede arrastrar aire dentro del sistema. En un proceso típico de purga, el aire es liberado y junto con él algo de refrigerante. Esta pérdida de refrigerante durante el proceso de purga puede ser reducida, mediante el uso de equipo de purga altamente eficiente. Algunos de estos sistemas no permiten que el refrigerante escape. Por ejemplo, un sistema de purga del fabricante Trane permite que menos de 0.0049 libras de refrigerante por libra de aire seco escape.

La reducción de fugas hacia adentro o afuera del sistema es una forma de mantenimiento de equipo, esto implica la simple tarea de apretar conexiones roscadas en la unidad con cierta frecuencia. Para mejorar la conservación del refrigerante, hay que seguir buenas prácticas de servicio, en este sentido existen nuevas reglamentaciones de cómo debe de ser dado el servicio a una unidad enfriadora.

2.1.2 Convertir el equipo ya existente

Si el equipo y refrigerante CFC existente, no pueden ser conservados la segunda opción existente es convertir el sistema a un refrigerante que no sea del tipo CFC. Esto incluye regularmente cambiar a un refrigerante HCFC o HFC. Las conversiones típicas son a R-123 como reemplazo para R-11, y a R-134 para R-12 y R-500. La conversión de las unidades enfriadoras para que operen con estos sustitutos requiere de alguna modificación en el compresor y el lubricante. La conversión de un sistema a un refrigerante HCFC o HFC es más cara que la conservación y mantenimiento del equipo y refrigerante existente. Adicionalmente, una unidad convertida por lo regular, perderá capacidad de enfriamiento y puede llegar a usar más energía, pero esto a la larga no puede presentar problemas ya que la mayoría de unidades están sobredimensionadas. Una ventaja de la conversión es que durante esta se pueden llegar a detectar oportunidades de ahorro de energía, como lo son conversiones de alumbrado, aislamiento, y sistemas de control que pueden en general reducir la carga de enfriamiento.

La conversión se basa en

- Una respuesta corporativa a reglamentaciones ambientales
- Una respuesta a escasez real o aparente de refrigerante CFC
- Pérdida total de refrigerante CFC

La opción de convertir a un refrigerante HCFC o HFC puede en algunos casos ser una política corporativa de crear una declaración ambiental y eliminar el refrigerante CFC de sus instalaciones. Esto quiere decir que la opción de conversión no se hizo basada solamente en el costo de preservar una unidad.

Otras veces la conversión se hace por miedo a quedarse sin suministro de refrigerante CFC que ha dejado de producirse. Aunque la buena planificación puede ayudar a evitar una escasez inmediata, hay que recordar que los refrigerantes CFC van a escasear en el futuro.

La otra posibilidad es que se puede presentar un evento catastrófico en el que, el refrigerante CFC sea perdido totalmente. Si por alguna razón en la unidad se presenta un problema que represente la pérdida total de refrigerante CFC esta sería una buena oportunidad de convertir a un refrigerante HCFC o HFC, ya que estos por lo regular son más baratos que los refrigerantes CFC.

2.1.3 Adquirir equipo nuevo

La tercera opción es la compra de una nueva unidad enfriadora y el equipo adicional necesario. Si el equipo existente está casi al final de su vida útil, las posibilidades son de que se trate de un equipo no del todo eficiente. Así que en vez de gastar dinero en conversiones o mantenimiento del viejo equipo, la mejor opción puede ser la compra de equipo nuevo. Algunas veces hay que considerar que con la compra de equipo nuevo, hay que remodelar la instalación completa, incluyendo la adición de nuevas torres de enfriamiento.

En el pasado la selección del refrigerante era un factor menor a considerar en equipo nuevo, pero hoy al escoger una nueva unidad, la elección del refrigerante es un factor de suma importancia, además de otros factores tradicionales como lo son: el costo inicial, costo de energía, preferencia por un fabricante, la configuración de la instalación incluyendo el número de unidades a utilizar. Los nuevos refrigerantes pueden tener un impacto significativo al escoger un equipo: diseño de la unidad, eficiencia y el tipo de compresor a utilizar.

2.2 Diseño de flujo en el intercambiador de calor

En un sistema grande convencional de aire acondicionado existen diferentes intercambiadores de calor. El evaporador y condensador son los de más interés en términos de nuevo diseño debido a nuevos refrigerantes. Dado un tipo específico de compresor y refrigerante, la eficiencia de la unidad enfriadora es en gran parte una función del tamaño del intercambiador de calor. Entre más grande es un intercambiador de calor mayor será la eficiencia, pero así lo será también el costo.

2.2.1 Intercambiador de flujo cruzado

Con refrigerantes puros como el R-12, el diseño del flujo del refrigerante y agua en el intercambiador de calor (condensador o evaporador) no era de preocupación ya que la temperatura del refrigerante era la misma a través de todo el circuito. Como resultado los intercambiadores de calor eran diseñados con flujo cruzado, ya que éste es el diseño más barato de fabricar.

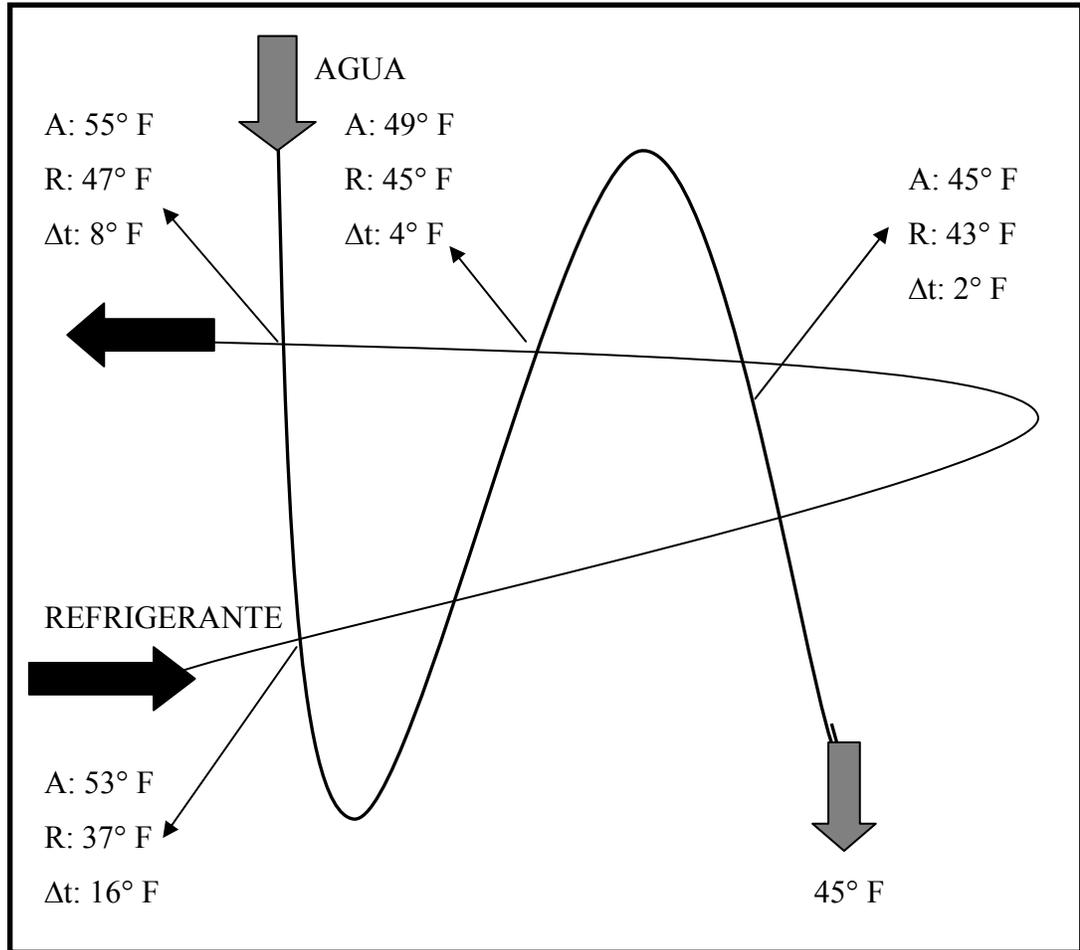
En un intercambiador de flujo cruzado, el refrigerante fluye de manera horizontal y el agua lo hace vertical o diagonalmente a través del entubado que contiene el refrigerante. Ya que la temperatura del refrigerante es la misma en todas partes del intercambiador, el flujo del agua no considera que el refrigerante esté entrando o saliendo del intercambiador. El diseño de flujo cruzado requiere además de intercambiadores más grandes y típicamente provee menos eficiencia en el intercambio de calor.

Para algunas mezclas nuevas de refrigerantes mientras están bajo presión constante, las temperaturas de evaporación y condensación cambian así como lo hace la composición de la mezcla.

Este cambio de temperatura durante un cambio de fase a presión constante se le conoce como variación de temperatura. A causa de que las mezclas se comportan diferente y porque la variación de temperatura hace el diseño de flujo cruzado sea menos eficiente, las mezclas requerirán diferentes diseños de flujo para el agua dentro del intercambiador. Ya que la mayoría de condensadores y evaporadores tienen un diseño de flujo cruzado, un sistema convertido experimentará una pérdida de capacidad.

La figura 1 muestra las trayectorias del agua y refrigerante a través de un evaporador para un refrigerante típico que presenta variación de temperatura. Los puntos indicados en la gráfica muestran temperaturas típicas durante el intercambio de calor. El aspecto importante mostrado en la gráfica es la diferencia de temperaturas entre el agua y refrigerante (Δt). Este diferencial de temperatura hace al intercambiador menos eficiente, es por este diferencial que un mejor diseño para mezclas con alta variación de temperatura es el diseño de contraflujo.

Figura 1. Temperatura en un evaporador de flujo cruzado con variación de temperatura



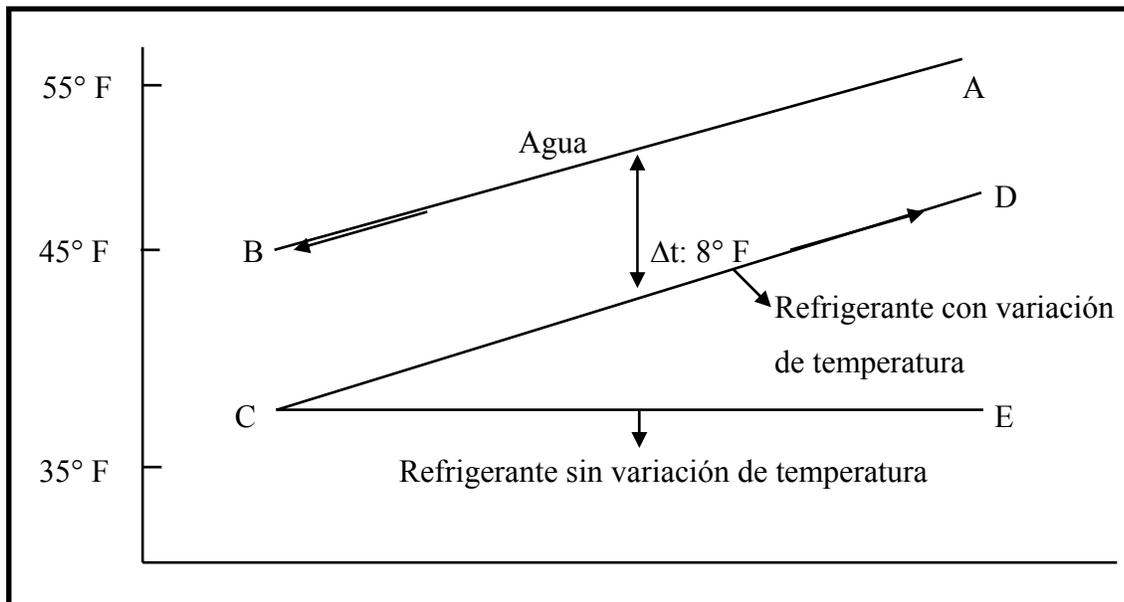
Fuente: Eugene Smithart, *R-123: a balanced selection for low pressure systems*, pag. 5

2.2.2 Intercambiador de contraflujo

En los intercambiadores a contraflujo, el agua y el refrigerante fluyen en diferentes direcciones. La figura 2 muestra el cambio de temperatura entre agua y un refrigerante con variación de temperatura en un evaporador e indica que el agua fluye en una dirección y el refrigerante en otra. El calor es transferido del agua al refrigerante.

El agua entra en el evaporador alrededor de 55° F (A) y es enfriada a cerca de 45° F (B). El refrigerante entra al evaporador alrededor de 37° F (C) y sale alrededor de 47° F (D). En el curso de estos cambios de temperatura, el refrigerante sufre un cambio de fase de líquido a gas. Un refrigerante puro no tiene variación de temperatura y se mantiene a temperatura constante (C a E) en el evaporador.

Figura 2. Temperaturas de un evaporador de contraflujo



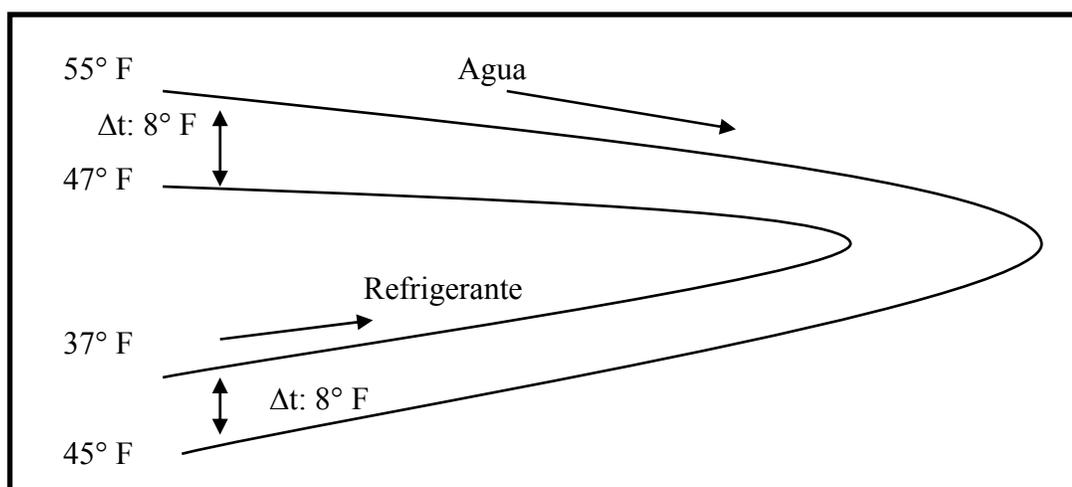
Fuente: Eugene Smithart, *R-123: a balanced selection for low pressure systems*, pag. 8

En la figura anterior, la diferencia de temperatura (Δt) es medida como la distancia vertical entre la diagonal del agua y la diagonal de variación de temperatura del refrigerante. En este caso, cuando dos fluidos cambian temperatura, el diseño de contraflujo ayuda a mantener la diferencia de temperaturas entre el agua y el refrigerante casi constante a través de todo el evaporador. Este diferencial de temperatura es importante ya que asegura un intercambio de calor constante a través del evaporador.

También las temperaturas del agua y refrigerante cuando abandonan el intercambiador pueden ser llevadas a sus valores ideales lo que mejora la eficiencia.

En la figura 3 se muestra un diseño de contraflujo, en el que agua y refrigerante fluyen en diferentes direcciones dentro del intercambiador. El refrigerante admitido (lo más frío en un evaporador) sufre una transferencia de calor con el agua más fría (la que sale del evaporador). Así mismo el refrigerante más caliente (saliendo del evaporador) absorbe calor del agua más caliente (que entra en el evaporador). También la gráfica muestra cómo un diseño de contraflujo mantiene un diferencial constante de temperatura a través de todo el evaporador. Para condensadores, los intercambiadores de contraflujo liberan calor, el agua más caliente transfiere calor con el refrigerante más caliente.

Figura 3. Temperaturas en un evaporador de contraflujo con variación de temperatura



Fuente: Eugene Smithart, *R-123: a balanced selection for low pressure systems*, pag. 9

Hay que hacer notar que la previa discusión acerca de intercambiadores de contraflujo está limitada a sistemas de aire acondicionado que usan una válvula de expansión para restringir el paso de refrigerante al evaporador, típicamente unidades enfriadoras reciprocantes o de tornillo. En contraste, unidades centrifugas usan regularmente un flotador que mantiene el refrigerante a un nivel específico dentro del evaporador. Debido a este sistema será difícil usar una mezcla zeotrópica debido a las temperaturas de evaporación variantes y un intercambio de calor variable. En sistemas centrifugos las conversiones que retengan dicho sistema pueden requerir el uso de refrigerantes puros.

2.3 Compresores

Hay diferentes tipos de compresores que son usados en unidades enfriadoras. Todos ellos cumplen el mismo objetivo: incrementar la presión y temperatura del refrigerante cuando éste es transferido del evaporador al condensador. Aunque el refrigerante no es el centro de atención cuando se escoge un sistema en particular, el refrigerante seleccionado dicta el diseño, eficiencia y tipo de compresor usado en una unidad.

2.3.1 Compresor reciprocante

Los compresores reciprocantes se usan con unidades residenciales pequeñas, unidades paquete de techo, así como en los pequeños sistemas comerciales. Este tipo de compresor se utiliza en instalaciones donde el costo, espacio disponible y costo de instalación son cuestiones más importantes que costos de operación.

Una desventaja de los compresores recíprocos es que tienen demasiadas partes móviles, lo que significa que estas máquinas requieren demasiado mantenimiento y son menos confiables debido a potenciales fallos de los diferentes componentes, también para mantener la eficiencia, altos ajustes son requeridos entre los pistones y las paredes de los cilindros.

El refrigerante utilizado casi exclusivamente en compresores recíprocos para aire acondicionado es R-22, sin embargo, este refrigerante es considerado una alternativa transicional o refrigerante interino ya que contiene cloro. Ya que el R-22 tiene moléculas de alta densidad, este refrigerante posee buenas propiedades de transferencia de calor, lo que reduce el tamaño de los intercambiadores de calor y compresores. Para convertir unidades recíprocos las mejores alternativas son refrigerantes puros, mezclas azeotrópicas y zeotrópicas con baja variación de temperatura.

Refrigerantes alternativos para unidades recíprocos incluyen R-410A (una mezcla azeotrópica de R-32 y R-125), R-407C (una mezcla zeotrópica de R-32/R-125/R-134a), y R-134a un refrigerante puro. Otras alternativas puras que están empezando a ser consideradas para R-22 son el amoníaco y el propano.

R-410A tiene propiedades azeotrópicas y virtualmente no tiene variación de temperatura. Actualmente no hay máquinas que se fabriquen con este refrigerante, además, con este refrigerante los intercambiadores de calor no necesitarán un diseño de contraflujo.

Sin embargo, el R-410A tiene una presión alta de descarga y necesitará cambios en el equipo para soportar la elevada presión. Esta alta presión lleva a una mejor transferencia de calor y reduce la elevación de temperatura en el compresor, pero el incremento de la presión tiene impacto en los componentes de alta presión del sistema, que son el compresor, condensador, tubería, válvulas, etc.

R-407C opera alrededor de la misma presión y transporta la misma cantidad de calor para una masa dada, que el R-22. Sin embargo, esta mezcla zeotrópica tiene una variación de temperatura de 12° F. Los intercambiadores de contraflujo pueden ayudar al R-407C a operar mejor. Los compresores recíprocos existentes que utilizan R-22 tienen que estar en condiciones de usar R-407C, pero no necesariamente R-410A. Los fabricantes de equipos recíprocos no necesariamente desearán cambiar a R-134a, debido a que éste tiene propiedades más pobres de transferencia de calor, requerirá de superficies más grandes de intercambio de calor, mayor tamaño, y como resultado mayor costo.

2.3.2 Compresores de tornillo

Los compresores de tornillo son máquinas rotativas de desplazamiento positivo. Poseen dos rotores, hembra y macho, acanalados en espiral (tornillos), o un rotor accionado mecánicamente junto con un rotor libre. Conforme dan vueltas el volumen de la cámara de refrigerante entre los tornillos es reducida, comprimiendo el refrigerante. El compresor de tornillo tiene casi un flujo constante de refrigerante y provee grandes radios de compresión. El flujo de gas en los tornillos es tanto radial como axial.

La mayoría de las unidades enfriadoras ensambladas en paquete usan R-22 o R-134a, pero eventualmente los refrigerantes R-407C o R-410A reemplazarán al R-22. Los compresores de tornillo están disponibles en el rango de 15 a 1250 Ton, pero su mayor uso está en el rango de 100 a 700 Ton, en este rango conforman alrededor del 10% del mercado de unidades enfriadoras. La demanda está creciendo para hacer las unidades de tornillo más eficientes.

2.3.3 Compresor espiral

Los compresores espirales son máquinas de movimiento rotatorio de desplazamiento positivo. Son unidades usadas en pequeñas instalaciones domésticas y comerciales. El rango de tamaño es de 1.5 a 15 Ton. Son similares a los compresores de tornillo, pero el refrigerante es comprimido por la acción de dos rotores en forma de espiral, por lo regular uno de estos es fijo y el otro móvil.

Los compresores espirales son por lo general más eficientes que otros pequeños compresores. Tienen menos partes móviles, lo que causa menos fricción y son más pequeños que los compresores reciprocantes. Sin embargo, el sistema para ser eficiente requiere de tolerancias ajustadas entre las espiras. No existen válvulas, así que no hay refrigerante que se pierda a través de las válvulas. La cámara de compresión se vacía completamente, así que no hay volumen de re-expansión como sucede con los compresores reciprocantes. La admisión y descarga están físicamente separadas, así que el calor de compresión se mantiene con el gas de descarga en vez de regresar con el gas de admisión. Estos hechos resultan en eficiencias de hasta el 83%, lo que es comparable a unidades grandes de tornillo o centrífugas.

Los compresores espirales usarán regularmente R-22, y R-407C es una alternativa futura. Los compresores espirales pueden ser buenos candidatos para incorporar refrigerantes de alta presión como R-410A y R-410B. Además, si son provistos con evaporadores y condensadores adecuados, mezclas con alta variación de temperatura pueden ser usadas en compresores espirales.

2.3.4 Compresores centrífugos

Los compresores centrífugos utilizan la acción centrífuga para comprimir el refrigerante. Un compresor centrífugo, similar a una bomba o un ventilador, comprime el vapor que fluye a través de él, haciéndolo girar desde el centro de una rueda impulsora, radialmente hacia fuera a velocidades elevadas. Los compresores centrífugos tienen muy pocas partes móviles, esto reduce el mantenimiento y aumenta la confiabilidad.

Ya que el compresor centrífugo no es del tipo de desplazamiento constante, ofrece un amplio rango de capacidades y maneja flujos variantes de refrigerante fácilmente. Mediante el cambio de diseño de algunas funciones o partes como el número de etapas, velocidad del compresor, diámetro de los impulsores, y refrigerante utilizado, puede ser usado en unidades que tienen un amplio rango de temperaturas para líquido enfriado. Además, como este tipo de compresor puede variar de capacidad continuamente para satisfacer un amplio rango de condiciones de carga, es una buena alternativa para un buen control de temperatura y conservación de la energía.

El compresor centrífugo es usado principalmente para enfriar grandes edificios ya sean comerciales, industriales o públicos. Las unidades centrifugas de baja presión han sido populares en el pasado debido a su eficiencia y confiabilidad.

Unidades de mediana y alta presión han sido tradicionalmente usadas para cubrir grandes capacidades manteniendo un pequeño tamaño físico y costos bajos.

Cuando se hacen comparaciones estas son hechas sobre la base de propiedades ideales, las unidades centrífugas de baja presión pueden proveer las mejores eficiencias ya que R-11 y R-123 tienen mejor eficiencia. Las unidades que utilizan refrigerantes de más alta presión como R-22 y R-134a generalmente tienen desde el punto de vista del refrigerante mejores propiedades de transferencia de calor.

2.4 Presiones de operación

Una forma en que se pueden clasificar a las unidades enfriadoras es por medio de las presiones a las cuales operan: baja, mediana o alta presión. La tabla I muestra las presiones de operación para algunos refrigerantes de los ya mencionados.

Tabla I. Presiones de operación

Presiones de operación	Refrigerante	Evaporador A 38° F	Condensador A 100° F	Presión de la unidad fuera de servicio a 72° F
Baja	R-123	-18.7 in Hg	6.1 psig	-5.6 in Hg
	R-11	-16.3 in Hg	8.8 psig	-1.6 in Hg
Mediana	R-134a	33.1 psig	124.1 psig	74.0 psig
	R-12	35.2 psig	117.2 psig	72.9 psig
Alta	R-22	65.6 psig	195.9 psig	125.7 psig
	R-407C	70.3 psig	204.9 psig	139.3 psig
	R-410A	115.3 psig	316.9 psig	204.3 psig

in Hg = pulgadas de mercurio (vacío);

psig = libras por pulgada cuadrada manométrica

Fuente: Roy Dossat, *Principles of refrigeration*, pag. 155

2.4.1 Unidades enfriadoras centrífugas de baja presión

Las unidades de baja presión o presión negativa, regularmente operan a menos de 30 psi, el condensador regularmente opera por arriba de la presión atmosférica y el evaporador abajo. Este tipo usa como refrigerantes a R-11 y R-123, los cuales son usados sólo con compresores de baja presión. Por el hecho de ser máquinas de baja presión algo de aire puede entrar en el sistema, para lo cual será necesario un sistema de purga, que ha sido mencionado anteriormente.

Los refrigerantes de baja presión R-11 y R-123, por tener un gran tamaño molecular, tienen baja densidad. Esto significa que las unidades que utilizan estos refrigerantes son más grandes que las unidades de presiones más elevadas. La pequeña diferencia en presión entre el evaporador y el condensador minimiza las fugas internas entre estos componentes, lo que resulta en buena eficiencia del compresor. Las máximas presiones de operación son lo suficientemente bajas para estar excluidas del código ASME de construcción, lo que resulta en un costo más bajo de la unidad. La mayoría de unidades de baja presión utilizan motores herméticos, donde el refrigerante es usado para enfriar el motor, pero algunas que no utilizan este sistema hermético utilizan el aire ambiente para enfriar el motor. Como con cualquier sistema, las unidades de baja presión tienen ventajas y desventajas.

Tabla II. Ventajas y desventajas de unidades de baja presión

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Confiabilidad, no se necesitan engranajes.• Eficiencia, no hay pérdidas por fricción en engranajes y cojinetes; velocidad de gas baja, menos fricción.• Libre de código ASME de construcción menos costos.	<ul style="list-style-type: none">• Compresor más grande, mayor costo.• Mayor tamaño de los intercambiadores de calor, mayor costo.• Puede requerir de impulsores múltiples, mayor costo.• Requiere de sistema de purga de aire, algo de refrigerante se pierde.

2.4.1.1 Refrigerantes de baja presión

Ya que R-11 está entre los refrigerantes que dejaron de producirse, una alternativa es necesaria. Por el momento la alternativa líder es R-123. La razón por la cual el R-11 era el refrigerante más comúnmente usado es que tiene la mayor eficiencia de los refrigerantes usados para unidades de baja presión.

Las máquinas que utilizan R-123 tienen niveles de eficiencia bajos, además los niveles de toxicidad de R-123 son aceptables, y está ampliamente disponible y es fabricado en grandes cantidades. Sin embargo, R-123 contiene cloro y el total cese de su producción está previsto para el año 2030, pero por el tiempo restante puede seguir utilizándose, ya que el tiempo restante para parar su producción es alrededor del tiempo de vida útil de los equipos. Una mejor alternativa sería una sin contenido de cloro o bromuro y cero potencial de reducción de ozono (ODP).

Una alternativa futura para R-11 y R-123 es el refrigerante sin contenido de cloro y de baja presión R-245ca. En estudios preliminares, R-245ca ha demostrado ser un buen sustituto a largo plazo. Las propiedades termofísicas de este compuesto son bastante parecidas a las de R-11 y R-123. R-245ca tiene un ODP de cero y potencial de calentamiento global (GWP) de alrededor de un tercio que el de R-134a. Hasta el momento los niveles de toxicidad son bajos, pero estudios son necesarios todavía. La inflamabilidad puede resultar un problema menor pero si R-245ca es usado en mezclas; este problema se puede resolver. Sin embargo, ya que R-123 tiene un precio competitivo y un bajo ODP y GWP, el desarrollo de nuevas alternativas para R-11 no es prioridad para la industria fabricante.

2.4.2 Unidades enfriadoras centrífugas de media y alta presión

Las unidades de mediana y alta presión o de presión positiva, operan a presiones más altas que 30 psi, lo que es más que la presión atmosférica, ambos condensador y evaporador operan por encima de la presión atmosférica. Las unidades de mediana presión usan como refrigerante a R-12 y R-134a, y las máquinas de alta presión utilizan R-22 especialmente las unidades centrífugas más grandes.

Las unidades de mediana y alta presión son por lo regular más pequeñas en cuanto a tamaño, ya que utilizan un refrigerante que en estado gaseoso tiene mayor densidad y requiere compresores e intercambiadores de calor más pequeños. Las unidades de mediana presión que usan R-12 y R-134a operan a mayores velocidades y necesitan un tren de engranajes, la mayoría usa motores herméticos, pero en algunos casos se usan también motores abiertos. La densidad moderada del refrigerante y moderada diferencia de presión resulta en diseños de alta velocidad e impulsores de paso sencillo y doble.

Ya que estas unidades operan bajo gran presión con mayores densidades, requieren de mayores velocidades en el compresor y materiales más fuertes de construcción, lo que hace que se incremente su costo. Las cubiertas de las unidades deben de estar certificadas por ASME y son inspeccionadas durante la producción. Las grandes unidades que usan R-22 son regularmente más pequeñas y más baratas cuando son comparadas con otros sistemas, no se necesita un sistema de purga y no necesitan tanques de almacenamiento externo para el servicio ya que la carga de refrigerante puede ser aislada internamente. Las unidades de mediana y alta presión tienen sus propias ventajas y desventajas, las cuales se muestran a continuación.

Tabla III. Ventajas y desventajas de unidades de mediana y alta presión

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño más pequeño de los componentes, menor costo. • No necesitan sistema de purga, menor costo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesitan trenes de engranajes, pérdidas adicionales de energía y componentes extras, mayores costos. • Necesitan estar certificados por ASME, mayores costos. • Solo un impulsor en unidades menores de 800 toneladas.

2.4.2.1 Refrigerantes de media y alta presión

R-12 y R-134a son usados en unidades de mediana presión, mientras que R-22 es utilizado en unidades de alta presión.

Las unidades que utilizan R-134a son típicamente menos eficientes, pero superficies mejoradas del intercambiador de calor compensan este obstáculo. Algunas de estas unidades incorporan una turbina para recuperar energía que de otra manera hubiese sido pérdida en la porción de expansión del ciclo de compresión de vapor. La turbina unida a una prolongación del eje del motor, utiliza la diferencia de presión que existe entre el condensador y el evaporador para completar la energía requerida por el motor de la unidad y reduce así la energía externa necesaria.

Entre las alternativas que se encuentran para R-12 en unidades centrifugas están: R-123 en equipo nuevo; R-22 en equipo nuevo, existente o convertido aunque este cambio requiere de mucho trabajo en el compresor y tubería y no resulta práctico; R-134a en equipo nuevo o convertido.

2.5 Fabricantes de Unidades Enfriadoras

A continuación se muestran los modelos de unidades enfriadoras con su respectivo refrigerante, hechas por los mayores fabricantes.

Tabla IV. Fabricantes de unidades enfriadoras

Fabricante	Modelo	Capacidad aproximada en Toneladas
TRANE	Centrífugo HCFC-123	175 a 3,500
	RTHA tornillo HCFC-22	Hasta 600
	Reciprocante HCFC-22	Hasta 200
	Unidades enfriadas por aire HCFC-22	Hasta 400
YORK	<i>CodePak</i> centrífugo HFC-134a	350 a 2,000
	<i>CodePak</i> tornillo HFC-134a	Hasta 400
	<i>CodePak</i> centrífugo HCFC-123	Hasta 900
	<i>CodePak</i> centrífugo HCFC-22	De 400 a 2,000
	<i>CodePak</i> tornillo HCFC-22	Hasta 700
	<i>TurboMaster</i> centrífugo HFC-134a	De 2,000 a 6,000
	<i>TurboMaster</i> centrífugo HCFC-22	De 2,000 a 8,000
	<i>ReciPak</i> HCFC-134a	Hasta 350
	<i>ReciPak</i> HCFC-22	Hasta 700
	Tornillo HCFC-22	De 1,000 a 1,800
CARRIER	Reciprocante enfriado por aire HCFC-22	Hasta 400
	Reciprocante enfriado por agua HCFC-22	Hasta 300
	19EF, EX centrífugo hermético HFC-134a	De 500 a 2,000
	17 DA, EA HFC-134a, HCFC-22	De 4,000 en adelante
	19 XL, XT centrífugo HFC-134a, HCFC-22	De 200 a 800
	Tornillo HFC-134a, HCFC-22	De 150 a 400
	17EX centrífugo abierto HFC-134a	De 1,500 a 3,000
McQUAY/SANYO	PEH centrífugo HCFC-134a, un compresor	Hasta 1500
	PEH centrífugo HCFC-134a, compresor dual	De 150 a 500
	Reciprocante enfriado por agua HCFC-22	Hasta 300

Fuente: Anne Hayner, *Planing to move to alternatives*, pag. 20

3. IMPACTO DE LOS NUEVOS REFRIGERANTES EN EQUIPO DE REFRIGERACIÓN

Adicionalmente hay algunos aspectos que son específicos de sistemas de refrigeración, los mismos factores que influyen en las decisiones con respecto a maquinaria de aire acondicionado también son aplicables a sistemas de refrigeración comercial.

3.1 Opciones acerca de equipo existente

En el momento de tomar decisiones acerca de cómo reaccionar ante reglamentaciones nuevas y futuras sobre equipo de refrigeración comercial, de nuevo existen tres opciones básicas.

- Conservación del equipo y refrigerante CFC ya existente
- Convertir el equipo ya existente
- Adquirir equipo nuevo

Como sucede con el equipo de aire acondicionado, esta no es una decisión que se toma a la ligera, ya que habrá consecuencias a largo plazo tanto económicas como ambientales.

Al momento de seleccionar un equipo, accesorios, y controles para un sistema de refrigeración comercial nuevo o convertido, el diseñador del sistema o contratista debe de considerar muchos factores. Para los sistemas que van a ser convertidos, entre los factores a considerar se encuentran.

- Condición del equipo, longevidad, adaptabilidad.
- Compatibilidad entre materiales incluyendo lubricantes, sellos, devanado del motor.

Para sistemas nuevos, los factores a considerar incluyen

- La aplicación deseada, qué tipo de negocio o proceso está involucrado
- La carga de refrigeración y condiciones de operación
- Las opciones de refrigerante a ser consideradas para la aplicación

Todo el equipo disponible y las opciones de refrigerante necesitarán ser considerados. Además, hay una gran variedad de otros factores incluyendo costos de operación, mantenimiento e instalación, asistencia de alguna compañía, eficiencia total de energía del sistema, disponibilidad de refrigerante, y cualquier cambio de capacidad que se pudiera necesitar al remodelar la instalación.

Los nuevos refrigerantes requieren maquinaria que esté diseñada para las presiones, flujos de masa y otras características propias del sistema. Muchos de los nuevos refrigerantes operan a presiones mayores, afectando no solamente a los compresores, sino también a la tubería y carcasa del equipo.

Contrario a lo que sucede con los sistemas de aire acondicionado, la mayoría de sistemas de refrigeración comercial son diseñados individualmente o modificados para una carga específica. Los componentes necesarios son combinados (compresores, evaporadores, condensadores, y controles) para producir la capacidad deseada y características de operación. Habrá un rango mucho más grande de soluciones posibles en términos de refrigerante y equipo cuando se compare con equipo de aire acondicionado.

También hay que tener en cuenta que los fabricantes de equipo de refrigeración tienden a dar menos consejos sobre la configuración del sistema y conversiones.

3.1.1 Conservación del equipo y refrigerante CFC ya existente

Los sistemas de refrigeración existentes, que utilizan refrigerantes CFC, pueden continuar en operación indefinidamente mientras exista refrigerante CFC para ser utilizado en ellos. Esto quiere decir que estos sistemas se pueden seguir utilizando mientras no exista pérdida de refrigerante, si ha sido creada una reserva de refrigerante o éste puede estar en disposición en el momento en que otros sistemas han sido convertidos, esto haciendo uso de métodos de regeneración y reciclaje de refrigerante. El objetivo principal de esta opción es eliminar la pérdida de refrigerante y evitar el costo de reconversión o reemplazo mientras sea posible.

Hay que tener en cuenta que con esta opción existen ciertos riesgos. Los refrigerantes CFC serán caros. Si los refrigerantes CFC son usados en equipo que se quiere conservar estos refrigerantes deben de estar disponibles ya sea de reservas existentes o sistemas que se han convertido. Si los refrigerantes CFC no se pueden obtener, se pueden tener paradas inesperadas o se tienen que asumir los costos de una conversión inesperada.

Si se determina que el equipo existente tiene algo de vida, y se tiene algo de garantía por el momento, hay dos ideas principales en las que se necesitan actuar para preservar las valiosas existencias de refrigerante CFC

- Encontrar y reparar fugas existentes
- Reducir el riesgo de fugas

3.1.1.1 Encontrar y reparar fugas

Para reducir la pérdida de refrigerante y evitar el costo de convertir el equipo mientras sea posible, se necesitan encontrar fugas en el sistema de refrigeración y repararlas. Esto requiere que se hagan pruebas de detección de fugas y todas las reparaciones necesarias para tener un sistema libre de fugas y tomar las acciones necesarias para la conservación del refrigerante y así reducir la pérdida de refrigerante.

Los sistemas de refrigeración comercial son quizá más susceptibles a fugas que los equipos de aire acondicionado, específicamente porque las tuberías de refrigerante son más largas, también los sistemas de refrigeración contienen más refrigerante cuando son comparados con sistemas de aire acondicionado, de cuatro a diez veces más por cantidad de enfriamiento.

La reducción de fugas no es sólo una cuestión de sistemas viejos sino también de los sistemas nuevos. La cantidad de refrigerante requerida para nuevas instalaciones es la misma requerida para sistemas nuevos. Progresos se han hecho para reducir fugas, pero los propietarios y contratistas siguen reportando que los sistemas nuevos están lejos de ser libres de fugas, las nuevas instalaciones de refrigerante HFC tienen las mismas proporciones de fugas que instalaciones previas de refrigerantes CFC y HCFC, esto debido a que se trata en ambos sistemas de la misma tecnología básica. Una simple indicación de que el sistema tiene fugas es que se continúa agregando refrigerante.

3.1.1.2 Reducir el riesgo de fugas

Hay muchas maneras de minimizar la pérdida de refrigerante y reducir el riesgo de fugas, no sólo con equipo viejo, sino también con equipo convertido o nuevo, entre éstas se encuentran.

- Mejoras en el mantenimiento del equipo
- Mejoras en la detección de fugas
- Seguimiento de buenas prácticas de servicio

Una forma de reducir fugas en el sistema de refrigeración es el buen mantenimiento del equipo. Esto principalmente incluye la simple tarea de apretar las conexiones roscadas con regularidad.

Durante el mantenimiento de rutina, todos los sistemas deben de ser inspeccionados visualmente para identificar posibles fugas o bajo nivel de refrigerante. También el personal de mantenimiento puede estar atento a conexiones que necesiten reemplazo o ser apretadas, tubos capilares que necesiten reemplazo, y otros componentes del sistema que muestran excesivo uso.

Una parte importante del mantenimiento, es el mantener buenos registros de todos los equipos de refrigeración. Registros individuales u hojas de inventario, de todas las unidades, deberán incluir información sobre el tipo de refrigerante, la cantidad usada, capacidad en toneladas, y el tamaño de la carga. También son importantes los registros de recarga que incluyen cuanto refrigerante es añadido a cada sistema. Como forma de detectar fugas, se puede mantener un registro de los niveles de refrigerante en el receptor, si existe uno.

Tabla V. Registro de refrigerante

Fecha: _____	Técnico: _____
Datos del equipo	
Fabricante: _____	Modelo: _____
Número de serie: _____	Identificación de la unidad: _____
Localización: _____	
Capacidad (Ton): _____	Tipo de refrigerante: _____
Carga de refrigerante: _____	
Identificación de fugas	
Ubicación de la fuga: _____	
Fuga reparada: Sí No ¿Por qué no? _____	
Detector de fugas utilizado: _____	
Cantidad de refrigerante añadido: _____	
Observaciones: _____	

Una forma de contabilidad de la cantidad de refrigerante que se fuga del sistema, ayudará a determinar cuanto refrigerante se necesitará añadir cada cierto tiempo para que un equipo continúe funcionando, estos datos hay que mantenerlos al día a medida que el equipo es convertido o reemplazado.

Otra parte importante para minimizar la pérdida de refrigerante y reducir el riesgo de fugas es mediante el mejoramiento de detección de fugas.

Fugas del equipo y tubería pueden ser detectadas usando diferentes métodos, pero la forma más eficiente es mediante el uso de un detector electrónico portátil que puede señalar una fuga en un punto específico del sistema. También las concentraciones de vapor de refrigerante pueden ser detectadas en un área o cuarto mediante el uso de sensores estacionarios, luego la fuga puede ser señalada mediante el uso de un dispositivo más exacto. Sensores adicionales se pueden usar para medir niveles reducidos de oxígeno.

Muy a menudo, los sistemas no son revisados por fugas cuando es iniciada su operación, después de un servicio, recarga de refrigerante, reparación, etc. Hay muchos factores que pueden causar fugas después de iniciada la operación, incluso si el sistema estaba en buenas condiciones. Después de que el sistema ha estado operando por un tiempo y los componentes del lado de alta presión se encuentran calientes y los del lado de baja presión fríos, una prueba de detección de fugas es recomendable mediante el uso de un detector electrónico.

Buenas prácticas de servicio pueden reducir el riesgo de fugas y mejorar la conservación de refrigerante en el sistema. Tres aspectos importantes del servicio son.

- Técnicas de remoción parcial y total de la carga de refrigerante
- Evacuación del sistema y métodos de deshidratación
- Pruebas de presión

El refrigerante es removido del sistema cuando se necesitan hacer reparaciones, servicio o modificaciones, también cuando un equipo es convertido.

Cuando se da servicio a un sistema de refrigeración usualmente sólo una remoción parcial de refrigerante es necesaria, como en el caso de que un componente individual sea reemplazado, o para reparar una fuga de refrigerante.

Una modificación del sistema que reduce el riesgo de fugas al hacer reparaciones es la instalación de válvulas que aislen porciones de la línea de tubería. Con estas instaladas sólo se necesitará remover el refrigerante de una sección del sistema, en la parte donde son necesarias las reparaciones. En sistemas más grandes, un sistema permanente de recuperación de refrigerante y tanque de almacenamiento permitirá la remoción más rápida y segura de refrigerante para servicio o cambios en el sistema.

El procedimiento típico para reemplazar un componente, por decir un compresor, es aislar el compresor cerrando las válvulas de refrigerante a ambos lados del compresor, remover el refrigerante del área aislada, reemplazar el compresor, evacuar el aire que se introdujo en la tubería de refrigerante, y recargar el sistema con refrigerante.

Si una fuga necesita ser reparada en un tubo, mediante soldadura, y las válvulas de aislamiento no están instaladas, la carga total del sistema necesita ser removida. Si no se remueve la carga del área afectada, hay demasiada presión para que la soldadura soldé y la soldadura es expulsada de la abertura. Esto significa que se tendrá que remover todo, o al menos la mayoría, de carga de refrigerante para reducir la presión.

Hay muchas maneras en las que el aire se introduzca a las líneas de refrigerante del sistema.

Si se necesita una reparación o modificación en el sistema, requerirá que las líneas de refrigerante sean cortadas y las líneas estarán expuestas al aire; aire y humedad son admitidos en el sistema. El aire que entra que incluye gases no refrigerantes, no condensables como el nitrógeno, oxígeno, etc., necesita ser removido para asegurar que el refrigerante y el sistema operen correctamente. Esto es logrado mediante la evacuación del sistema al vacío tanto como esto sea posible.

Como sucedía con la remoción de refrigerante, las válvulas de aislamiento permiten la evacuación de sólo una sección del sistema, en este caso muy poca humedad será admitida y sólo una evacuación parcial es necesaria. Sin embargo, una evacuación total del sistema es requerida a veces. Con una evacuación total del sistema, usualmente cualquier cosa es removida, incluyendo todo el refrigerante y el aire. Una evacuación total del sistema es un procedimiento importante que a menudo es pasado por alto o pobremente ejecutado debido a presiones de tiempo, falta de equipo adecuado, o falta de conocimiento.

Una evacuación completa del sistema es requerida

- Por un sistema nuevo como parte de la puesta en marcha después de finalizada la construcción.
- Cuando el refrigerante en el sistema es cambiado.
- Después de una reconstrucción grande del sistema, como cambios en la ruta de la tubería de refrigerante.

Una evacuación total del sistema es parte de las pruebas que se hacen al sistema e importante porque

- Un sistema que puede mantener un vacío es casi seguro que esté libre de fugas. Un sistema que sea incapaz de mantener el vacío es probable que continúe teniendo fugas, o bien todavía hay humedad.
- Los nuevos refrigerantes u aceites son menos tolerantes a la humedad en el sistema y su operación es impredecible.

Otra forma de asegurarse de que no existen fugas después del servicio al sistema, o cualquier otro momento en que el sistema es abierto al aire es por medio de la práctica de una prueba de presión. Algunas directrices generales para la prueba de presión se mencionan a continuación.

- a) Utilizar sólo nitrógeno seco para la presurización. Nunca usar aire comprimido.
- b) Pruebe la presión del sistema por pasos que incrementen la presión. El número de pasos depende del tamaño y complejidad del sistema.
- c) Si el sistema no tiene fugas que se puedan identificar inmediatamente, hay que hacerlo llegar a la mitad de la presión de operación.
- d) Examinar el sistema por fugas usando una solución de jabón líquido y agua.
- e) Reparar cualquier fuga encontrada y presurizar de nuevo el sistema con nitrógeno a la presión de operación o de prueba. La presión de prueba pudiera ser más alta que la presión de operación. En todo caso el fabricante del equipo la proporciona.
- f) Examinar el sistema de nuevo por fugas con la solución de jabón.
- g) Reparar cualquier fuga. Presurizar de nuevo con refrigerante a 5-10 psig y después subir la presión al menos a 150 psig con el refrigerante utilizado por el sistema.

h) Revisar fugas en el sistema con un detector electrónico apto para el refrigerante usado. Reparar cualquier fuga encontrada y volver a presurizar el sistema, de ser necesario, hasta que el sistema pueda mantener la presión sin que ésta baje por 24 horas. Hay que hacer notar que si la temperatura del ambiente baja, la presión bajará también, esta posibilidad debe de ser tomada en cuenta.

Siempre hay que tener en cuenta las recomendaciones del fabricante del equipo para realizar una buena y completa prueba de presión del sistema.

3.1.2 Convertir el equipo ya existente

Si se ha decidido que el sistema de refrigerante CFC existente no puede seguir siendo utilizado, la segunda opción es convertir el sistema para que use un refrigerante que no sea CFC. Hay muchos factores que necesitan ser considerados cuando se convierte un equipo existente a nuevos refrigerantes. Entre ellas están

- Costos de conversión
- Desempeño del sistema
- Compatibilidad y estabilidad del lubricante
- Compatibilidad de materiales
- Cambios de partes
- Disposición del viejo refrigerante y lubricante

Todas estas consideraciones más una buena estrategia para la buena modificación del sistema, necesitan cuidadosa consideración. De otra manera la conversión del sistema podría llevar hacia una reducción significativa de la vida del sistema, eficiencia del sistema, y capacidad de enfriamiento.

La conversión de un sistema a un refrigerante HCFC o HFC es comparativamente más cara que preservar y mantener el equipo y refrigerante existente. Pero si los equipos existentes son viejos y no funcionan eficientemente, o están experimentando altas tasas de fugas, o si la instalación necesita remodelación, entonces es necesaria la conversión. Por otra parte si un sistema está en buenas condiciones y no experimenta fugas o tiene tasas de fugas bajas y el refrigerante usado está disponible, se puede seguir utilizando. Los sistemas que tienen altas tasas de fugas son los principales candidatos para la conversión simplemente porque el costo de recargarlos con refrigerante CFC podría costar con el tiempo, más que el costo de la conversión.

Como sucedía con equipos de aire acondicionado, la decisión de convertir sistemas de refrigeración comercial a refrigerantes HCFC o HFC es frecuentemente basada en respuestas corporativas a leyes ambientales, una respuesta a escasez real o aparente de refrigerante CFC, o ha habido una pérdida total de refrigerante CFC debida a una falla catastrófica.

Sin embargo, con sistemas de refrigeración comercial, la decisión está basada, en gran parte, en los costos a corto plazo. Ya que los supermercados y otros usuarios de sistemas de refrigeración comercial operan con muy pequeño margen de ganancias, algunas cadenas no pueden esperar por largos periodos de reembolso. Mientras que para otros estos periodos de reembolso no constituyen problema, y los costos de remodelar y conversión son sólo la manera de hacer negocios. Para diferentes compañías se hallarán una variedad de consideraciones económicas.

A pesar de que un sistema de refrigeración convertido, pueda perder algo de capacidad y usar más energía, el uso de un refrigerante en particular pudiera tener algunos beneficios.

Un plan de conversión debe de explorar cuestiones sobre capacidad y uso de la energía y pudiera detectar oportunidades de ahorro de energía como lo son el subenfriamiento, conversiones de iluminación, sistemas de control y otros que se pudieran agregar a la carga total de enfriamiento. Una inversión en la conversión de un sistema se pudiera justificar basadas en el uso de la energía, condiciones del equipo, y condiciones de la instalación a largo plazo.

Otros asuntos de conversión se relacionan a la condición física y componentes del sistema existente. Convertir un sistema existente saca a la luz estas interrogantes como lo son: compatibilidad y estabilidad del lubricante, ¿podrá el sistema y nuevo refrigerante funcionar con mezclas de aceite mineral y lubricante sintético?. Los materiales y componentes del sistema serán compatibles; en posibles cambios de partes, qué conversión será requerida. También el viejo lubricante y refrigerante deben ser manejados correctamente. Se pueden tener otros sistemas en los que se pueda hacer uso del lubricante y refrigerante desechados, después de ser reciclado o regenerado, en cualquier caso el refrigerante y lubricante viejo no deben de ser desechados en la atmósfera.

Existen dos opciones básicas de conversión: convertir el sistema para usar un refrigerante interino, como R-22 y otras mezclas que contengan HCFC, o convertir el sistema para usar refrigerantes alternativos a largo plazo o sea, que no contengan cloro, los HFC o mezclas que contengan HFC. En general, la vida del equipo y condición del sistema así como su aplicación serán los que influyan en esta decisión.

En algunas situaciones el refrigerante R-22 o mezclas que lo contengan serán la mejor opción como refrigerante alternativo a largo plazo, esto debido a que los equipos de refrigeración tienen ciclos de remodelación de aproximadamente siete a diez años. También el R-22 puede proveer bajos costos para sistemas que tengan altas tasas de fugas y siempre existe la posibilidad de que los refrigerantes HFC puedan tener problemas todavía no descubiertos.

Dadas estas dos opciones generales de conversión de sistemas de refrigeración comerciales, existen muchas variables en términos de refrigerante a usar y diseño del sistema.

3.1.3 Adquirir nuevo equipo

La tercera opción acerca del equipo ya existente es la compra de nuevo equipo de refrigeración y los componentes adicionales que se pudieran necesitar. Si el equipo existente está cerca del fin de su vida útil, hay posibilidades de que el equipo no esté operando eficientemente. Así que las tiendas o instalaciones con buen futuro, en vez de desperdiciar dinero en conversiones o mejoras a los viejos sistemas, puede ser que como mejor opción que tengan es la compra de nuevo equipo.

En algunos casos la remodelación entera de una instalación justifica la compra de nuevo equipo, en vez de la utilización del equipo existente. Cualquier configuración de un sistema nuevo debe de tener algo de flexibilidad para una expansión futura y debe de tener características que permitan la fácil reconfiguración.

Las nuevas opciones de refrigerante tendrán un impacto en la elección de maquinaria, diseño del sistema, eficiencia y tipo de compresor. Y de nuevo, un diseño específico del sistema y los refrigerantes usados dependerán de la aplicación, requerimientos de temperatura y otros factores.

Si se va a instalar un equipo nuevo de refrigeración comercial, un diseño de sistema paralelo (descrito posteriormente) que utilice uno de los nuevos refrigerantes alternativos a largo plazo ofrece la mejor alternativa tanto económica como ambiental. Este tipo de sistema puede requerir más gasto inicial, pero desde el punto de vista de energía es más eficiente, estudios han demostrado que estos ahorros de energía pueden pagar por el equipo en un tiempo de cinco a ocho años. Para una tienda de 30,000 a 40,000 pies cuadrado, los costos de utilizar un equipo nuevo se muestran a continuación:

Tabla VI. Costos típicos de un sistema nuevo de refrigeración

Costo de ejecución: \$ 220,000 a \$260,000
Ahorros anuales \$45,000 a \$50,000
Recuperación de la inversión: de 4.5 a 6.0 años

Fuente: Anne Hayner, *Planing to move to alternatives*, pag. 12

Los mejores candidatos para nuevos sistemas de refrigeración tienen las características mencionadas a continuación.

Tabla VII. Mejores candidatos para nuevos sistemas de refrigeración

La tienda se espera que permanezca en operación por 15 o más años	En general, cualquier tienda que piense en remodelar será un buen candidato. Un nuevo sistema puede ser dimensionado para permitir futuras reconfiguraciones de la carga.
Una tienda relativamente grande	La economía de energía será mejor en una tienda grande que en una tienda pequeña.
El equipo de refrigeración es completamente depreciable	Si el equipo de refrigeración es completamente depreciable, se evitará quitar del inventario las existencias.
El condensador u otro equipo necesita reemplazo	Cualquier equipo que necesite ser reemplazado hará más fácil la decisión, desde el punto de vista económico. Es mejor cubrir gastos de nuevo equipo que pagar un costo de evasión.
Alta tasas de fugas de refrigerante CFC y/o carga de refrigerante	Los refrigerantes CFC en un sistema con una alta carga de refrigerante pueden ser capturados y usados en equipos existentes en otras tiendas.

Fuente: Anne Hayner, *Planing to move to alternatives*, pag. 13

A continuación se discute el impacto que los nuevos refrigerantes tienen en el diseño de sistemas comerciales de refrigeración.

3.2 Tipos de sistemas de refrigeración

La utilización de nuevos refrigerantes tendrá un impacto sustancial en el diseño de equipo usado en sistemas de refrigeración de supermercados que proveen enfriamiento a los mostradores y cuartos fríos.

Existen dos tipos básicos de sistemas de refrigeración comercial.

- Sistema convencional o sistema uno a uno; este tipo tiene un mostrador conectado a un compresor.
- Sistema paralelo; este tipo tiene varios mostradores enfriados por diferentes compresores conectados a un distribuidor múltiple común.

3.2.1 Sistema convencional

Todos los supermercados tienen una mezcla de mostradores de baja, mediana o alta temperatura para hacer cumplir requerimientos específicos del producto. Algunos supermercados utilizan un mostrador abierto y otros pudieran usar mostradores con puertas de vidrio para sus productos de comida congelada. Un sistema de refrigeración comúnmente encontrado en tiendas es el tipo convencional.

Cada compresor del sistema de refrigeración convencional tiene su propio condensador/recibidor y cada compresor sirve a un mostrador o a varios mostradores pequeños con temperaturas de succión similares. Cada compresor también tiene sus propias líneas de succión y descarga. Los sistemas convencionales casi siempre utilizan refrigerantes CFC y muchos ya han pasado su vida útil. Para proveer la refrigeración necesaria, el compresor en un sistema de refrigeración comercial operara al 100% de su capacidad, de no ser así el compresor estará apagado.

El método más común usado para el proceso de refrigeración es el de compresión de vapor, a veces llamado ciclo de compresión simple. Los componentes principales de dicho proceso son el compresor, condensador, dispositivo de expansión y evaporador.

En el ciclo de compresión simple, el sistema mantiene una baja presión en el evaporador y una alta presión en el condensador. El refrigerante actúa como medio de transportación para mover el calor del evaporador al condensador donde el calor es disipado, ya sea al aire ambiente o si se trata de un sistema enfriado por agua a la torre de enfriamiento. Un cambio de estado de líquido a vapor y de regreso a líquido le permite al refrigerante absorber y desechar el calor.

En más detalle, el líquido a alta presión es alimentado desde el condensador a través de la línea de líquido, a través de un filtro secador, que extrae el agua o humedad del refrigerante, el refrigerante continúa hacia el dispositivo de expansión, que separa el lado de alta presión del evaporador de baja presión. El dispositivo de expansión produce una caída de presión y hace que el refrigerante se expanda hasta que alcanza su temperatura de saturación para su presión correspondiente.

A medida que el refrigerante a baja temperatura pasa a través del serpentín del evaporador, el calor fluye a través de la paredes del serpentín hacia el refrigerante, provocando que la acción vaporizante continúe hasta que el refrigerante está completamente vaporizado. El dispositivo de expansión regula el flujo a través del evaporador que es necesario para mantener una diferencia de temperatura preestablecida o sobrecalentamiento entre el refrigerante en proceso de evaporación y el vapor que deja el evaporador.

El vapor refrigerante que deja el evaporador viaja a través de la línea de succión hacia la admisión del compresor. El compresor toma el vapor de baja presión y lo comprime, incrementando la temperatura y presión, el gas de alta presión es forzado fuera del compresor a través de la válvula de descarga hacia el condensador.

A medida que el gas a alta presión pasa a través del condensador, es enfriado por algún medio externo. En sistemas enfriados por aire un ventilador es regularmente usado. En sistemas enfriados por agua un intercambiador de calor de refrigerante a agua es usualmente usado. A medida que la temperatura del vapor refrigerante alcanza la temperatura de saturación que corresponde a la alta presión en el condensador, el vapor cambia de estado a líquido y fluye de nuevo para repetir el ciclo.

A menudo se utiliza un condensador evaporativo que sirve a múltiples circuitos de enfriamiento, o un circuito cerrado de enfriamiento de líquido. De cualquier manera cada sistema convencional tiene un condensador enfriado por agua conectado por un circuito cerrado común al enfriador de agua. Ocasionalmente este circuito de agua cerrado es usado para calentamiento de la tienda por medio de un serpentín de agua en un sistema central de aire.

3.2.2 Sistema paralelo

Aunque muchos supermercados continúan utilizando sistemas convencionales, para nuevas instalaciones o conversiones, el sistema de refrigeración paralelo ha venido a ser la opción para la mayoría de supermercados en los últimos quince años.

Este tipo de sistema tiene diferentes mostradores que son enfriados por diferentes compresores conectados a un distribuidor común. Este método complejo es eficiente y más de acuerdo con la mejor tecnología disponible, y regularmente emplea un sistema altamente eficiente de disipación de calor, y subenfriamiento mecánico o ambiental.

Un sistema paralelo básicamente opera igual que un sistema convencional, excepto que usa múltiples compresores conectados a distribuidores comunes de succión o descarga. Consiste de tres o cuatro compresores dimensionados para que al estar todos juntos en operación puedan proveer la capacidad necesaria para la carga de refrigeración requerida. Por ejemplo, un sistema de tres compresores de la misma capacidad, puede tener cuatro variantes de capacidad: 100%, 67%, 33%, y estando todos fuera de servicio 0%. Esta configuración da flexibilidad para las diferentes demandas del sistema.

3.3 Compresores

En el sistema convencional, existen típicamente dos tipos de compresores que se clasifican en términos de la temperatura que mantienen: compresores de baja temperatura y compresores de mediana temperatura.

Los compresores de mediana temperatura son usados en sistemas que mantienen los productos refrigerados por encima de la temperatura de congelación. Estos productos incluyen productos lácteos, bebidas, carnes, frutas, vegetales, y otros productos que sin estar congelados no se descompongan. Los compresores de baja temperatura son usados para conservar comida congelada. La temperatura aproximada de un mostrador de comida congelada es de 0° F. La tabla VIII muestra la clasificación de compresores así como el rango de temperatura de succión saturada (TSS), que es la temperatura a la cual el refrigerante deja el evaporador.

Tabla VIII. Temperaturas típicas de refrigeración

	Compresores de mediana temperatura	Compresores de baja temperatura
Temperatura del producto	30° a 42° F	0° a -20° F
Temperatura de succión saturada	5° a 25° F	-15° a -40° F

Fuente: Delta T Solutions, *Refrigerant transition & recovery certification manual for technicians*, pag. 75

Los compresores de baja temperatura tienden a tener menos variación de temperatura que los compresores de mediana temperatura, esto debido a que la mayoría de mostradores de comida congelada son cerrados así las fluctuaciones de temperatura son menores.

Hay demasiadas interrogantes con respecto a que tipo de compresor debe ser usado en conversiones o nuevos sistemas. Algunos compresores viejos pueden ser usados en conversiones que usan nuevos refrigerantes. Por otro lado, otros compresores existentes no pueden manejar las presiones necesarias para operar, en este caso el compresor debe ser reemplazado por uno que sí pueda manejar los requerimientos de presión.

En el caso de un sistema convertido a un refrigerante con las mismas o similares presiones de operación que el refrigerante original, el compresor pudiera ser utilizado en esta situación. Como ejemplos, R-134a tiene aproximadamente la misma presión de operación que R-12; R-404A y R-507 tienen casi la misma presión de operación que R-502; R-407C tiene aproximadamente la misma presión de operación que R-22. En estos casos, el compresor y motor existentes pueden ser compatibles en sistemas convertidos, lo que permitirá el uso del compresor y motor.

La industria de la refrigeración básicamente utiliza los siguientes tipos de compresores

- Compresores recíprocos (herméticos o semiherméticos, de una etapa o dos etapas)
- Compresores de tornillo
- Compresor espiral

La tabla IX describe los diferentes tipos de compresor. Cualquiera de los tipos listados puede ser usado en aplicaciones de mediana o baja temperatura.

Tabla IX. Características del compresor y tendencias de uso

Tipo	Tamaño	Características	Tendencias de uso
Recíproco hermético	1/3 a 5 HP	Bajo costo, tamaño pequeño.	Usado con sistemas de refrigeración pequeños y distribuidos.
Recíproco semihermético	1/3 a 60 HP	Confiable, gran rango de aplicación.	Establecido en alrededor del 95% del mercado.
Espiral	1/3 a 12 HP	Bajo costo, tamaño pequeño, operación silenciosa.	Poca penetración en el mercado.
Tornillo	15 a 80 HP*	Gran capacidad, operación simple.	Se está incrementando su uso.

*Los compresores de tornillo sobrepasan los 1,000 HP en versiones industriales

Fuente: Delta T Solutions, *Refrigerant transition & recovery certification manual for technicians* pag. 76

3.3.1 Compresor recíprocante

Los compresores recíprocantes son máquinas de desplazamiento positivo, que utilizan pistones para comprimir el refrigerante. El pistón se mueve dentro del cilindro para reducir el volumen del vapor en la cámara de compresión. Un compresor recíprocante puede tener uno o más pistones. Los pistones son usualmente movidos por una biela conectada al cigüeñal que es accionado por un motor eléctrico.

Los compresores recíprocantes pueden ser clasificados como herméticos y semiherméticos. Los compresores herméticos utilizan una cubierta alrededor del compresor y el motor. En este tipo, el motor es enfriado por el refrigerante. Los compresores semiherméticos, como en el tipo hermético, usan refrigerante para enfriar el motor, pero utilizan cubiertas atornilladas lo que permite ver su interior. Los compresores recíprocantes son típicamente usados con R-22 y R-502, y son el tipo más común. Este tipo de compresor se puede utilizar con cualquiera de los nuevos refrigerantes.

Los compresores recíprocantes pueden lograr la presión y temperatura de descarga requeridas en una sola etapa o dos etapas usando más de un compresor. También la presión y temperatura de descarga pueden ser alcanzadas mediante el uso de etapas múltiples en un solo compresor, o sea un compresor internamente compuesto de dos etapas.

Para aplicaciones de baja temperatura y de una etapa, el compresor debe de trabajar más duro para lograr el mismo radio de compresión. A medida que el radio de compresión se incrementa, la eficiencia decrece y el calor generado por la compresión aumenta.

El control de temperaturas de evaporación en un compresor de una etapa es limitado. Así que para mantener bajas temperaturas de evaporación e incrementar la eficiencia a bajas temperaturas, la compresión se puede realizar en dos etapas.

Un sistema de dos etapas utiliza dos compresores individuales o dos grupos de compresores para elevar la temperatura de condensación del refrigerante en dos etapas. El refrigerante es comprimido un poco en la primera etapa y luego comprimido más en la segunda etapa. En este sistema de dos compresores, la descarga de un compresor es bombeada hacia la línea de succión del segundo compresor. Este método reduce las temperaturas de descarga y la posibilidad de descomposición del lubricante que a menudo se encuentra en un compresor de una etapa.

El uso interino de R-22 se beneficia de la utilización de sistemas de compresión de dos etapas, con dos ciclos de compresión completas, o al menos requiere compresores diseñados para enfriamiento por inyección de líquido, u otros métodos para reducir las temperaturas de descarga y evitar la descomposición del lubricante y hacer más corta la vida del equipo.

Los compresores de inyección de líquido están diseñados para inyectar refrigerante líquido entre etapas. En este diseño, una cantidad controlada de refrigerante líquido saturado es aplicado por medio de un medidor dentro de la línea de succión del compresor, para así enfriar el gas succionado.

Con sistemas de dos etapas que utilizan dos compresores, algunas veces es difícil mantener los niveles de aceite apropiados en ambos compresores.

Otra forma por la que se puede lograr la compresión de dos etapas es mediante el uso de un compresor con múltiples cilindros interconectados. En estos compresores llamados, compresor internamente compuesto de dos etapas, la presión y temperaturas de descarga son alcanzadas usando etapas múltiples en un solo compresor. Por ejemplo, en un compresor reciprocante de seis cilindros, los cilindros del 1 al 4 efectúan la compresión de etapa baja mediante el incremento de la presión de succión de la carga hasta el primer nivel de compresión, y luego los dos cilindros restantes efectúan la compresión de etapa alta, incrementando la temperatura del vapor a niveles normales de descarga.

Un compresor de dos etapas está diseñado para que el gas de succión sea llevado directamente hacia los cilindros de etapa baja y luego descargado hacia los cilindros de etapa alta. Cada etapa de compresión tiene entonces un menor radio de compresión y la eficiencia del compresor es en gran medida incrementada.

3.3.2 Compresor de tornillo

Los compresores de tornillo han sido usados en la industria de la refrigeración, desde los años 70's y hasta ahora son considerados el estándar de diseño en este campo. Debido a la complejidad y tolerancias pequeñas requeridas para fabricar los tornillos, las máquinas pequeñas han sido demoradas de entrar al mercado.

En años recientes, dos fabricantes han alcanzado resultados significativos en la industria de refrigeración comercial.

Compresores fabricados por Bitzer están disponibles en tamaños tan pequeños como 25 HP para R-22 y refrigerantes alternativos a R-22. Carlyle Compressor Co. ofrece compresores de tornillo tan pequeños como 15 HP para R-22, R-134a, R-502 y R-404A.

Estos compresores tienen importantes diferencias en comparación con los compresores recíprocos. Para empezar aunque los compresores de tornillo usan grandes cantidades de lubricante no existe cárter del cigüeñal. El aceite se envía desde un separador de aceite en el lado de alta presión. La no-existencia del cárter del cigüeñal significa que el sistema debe de incluir filtros de aceite, enfriadores de aceite (dependiendo de la aplicación), y controles de seguridad adicionales. Para tener control de la capacidad con pequeños compresores de tornillo es común usar velocidades variables.

3.3.3 Compresor espiral

Los compresores espirales han logrado alcanzar a una gran parte del mercado de aire acondicionado residencial, ofreciendo una operación silenciosa, eficiente y confiable. Compresores espirales para aplicaciones de aire acondicionado son fabricados por Copeland en rangos de 1 ½ a 13 HP, mientras que los modelos de refrigeración están siendo ofrecidos hasta 5 HP.

Los compresores espirales han empezado a entrar en el mercado de refrigeración comercial como una alternativa a compresores herméticos recíprocos. Hussmann Refrigeration Co. ha usado exclusivamente el compresor espiral en su sistema Protocol™. Este sistema innovador distribuye los compresores por todo el supermercado, en diversos mostradores que son parte de un sistema paralelo de refrigeración enfriado por agua, y así reducir la carga de refrigerante.

3.3.4 Diseño de nuevos compresores

Los fabricantes de compresores han invertido bastante para desarrollar compresores que son compatibles con los nuevos refrigerantes HCF y los lubricantes asociados a ellos. La mayoría de los esfuerzos son dirigidos a la lubricación del compresor. En un sistema de refrigeración, siempre existe algo de refrigerante en el aceite lubricante. El contenido de cloro de las moléculas de refrigerante CFC mejoraba la lubricación de aceites minerales. Los refrigerante HCF y lubricantes de poliol éster tienen diferentes características, requiriendo grandes investigaciones para aumentar la vida de cojinetes.

R-134a fue el primer refrigerante que los fabricantes de compresores estudiaron, y todos los fabricantes mayores de compresores ofrecen compresores de diferente capacidad para R-134a. Los fabricantes más grandes también tienen ahora compresores para R-404A y R-507. Muchos han desarrollado compresores para R-407C para aire acondicionado o condiciones de mediana temperatura, como reemplazo para R-22.

Algunos fabricantes han desarrollado compresores para R-410A y R-410B, los cuales operan a presiones mucho más altas que cualquier refrigerante común anterior. Copeland está desarrollando compresores espirales para R-410A y R-410B, adicionalmente ha ser construidos para soportar presiones más altas. Estos compresores tienen desplazamientos más pequeños lo que hace que tengan motores más grandes, que los compresores previos. Hasta aquí los compresores para R-410A están limitados a compresores herméticos. En el futuro pudieran ser desarrollados compresores semi herméticos o de tornillo para explotar las ventajas de este refrigerante.

Después de desarrollar compresores adecuados para refrigerantes HFC, los fabricantes deben de efectuar pruebas extensas en los compresores con los nuevos refrigerantes para así obtener datos de operación de cada modelo. Millones de dólares han sido invertidos en este esfuerzo, así que los fabricantes no están ansiosos de desarrollar más cálculos de los necesarios para más refrigerantes que los necesarios.

Actualmente, la mayoría de fabricantes de compresores han publicado datos para R-134a, R-404A y R-507 en rangos de aplicación de baja y mediana temperatura. R-407A y R-407B es usado mayormente en Europa, así que los fabricantes han publicado datos y certificaciones en Europa.

3.4 Otras consideraciones en el diseño del sistema de refrigeración

Los nuevos refrigerantes tendrán un impacto en el diseño de sistemas de refrigeración ya sean nuevos o convertidos. Algunas consideraciones importantes son.

- Presión del sistema
- Diseño de la tubería
- Control y aplicación de válvulas, incluyendo válvulas de alivio, válvulas de expansión y válvulas solenoides.
- Subenfriamiento, incluyendo subenfriamiento ambiental y mecánico.
- Presión de descarga variante
- Consideraciones sobre códigos para nuevos sistemas

3.4.1 Presión del sistema

Los sistemas que son convertidos de refrigerantes CFC a alternativas HCFC o HFC, casi siempre tendrán que acomodar diferencias en presiones ya que los viejos refrigerantes por lo regular operan a menor presión.

Adicionalmente al compresor, los tanques recibidores, tubería, accesorios relacionados y equipo de seguridad como válvulas de alivio, deben ser compatibles al sistema convertido para usar un nuevo refrigerante.

Típicamente, la presión requerida está basada en el tipo de refrigerante y condensador usado. Ya que algunos de los nuevos refrigerantes operan a mayores temperaturas, cambiar de condensación por aire a condensación evaporativa puede ser considerada una opción para algunos sistemas convertidos, en vez de cambiar la tubería. Los condensadores evaporativos pueden mantener presiones más bajas, lo que significa que la vieja tubería seguirá funcionando con los nuevos refrigerantes.

Hay otras cuestiones similares a considerar para sistemas convertidos que operan a presiones mayores. Los interruptores de presión, particularmente los interruptores de alta presión, tendrían que ser cambiados para igualar los requerimientos de los nuevos refrigerantes. La aplicación de válvulas solenoides y reguladores para nuevos refrigerantes requiere de ajustes para las diferentes presiones y flujos de masa.

Los reguladores, usados principalmente en sistemas de refrigeración, deben de ser ajustados para igualar el flujo de refrigerante a nuevas presiones y nuevas tasas de flujo de masa. Los reguladores de succión y descarga podrían necesitar cambio, dependiendo de su rango de presión de diseño y la presión del nuevo refrigerante.

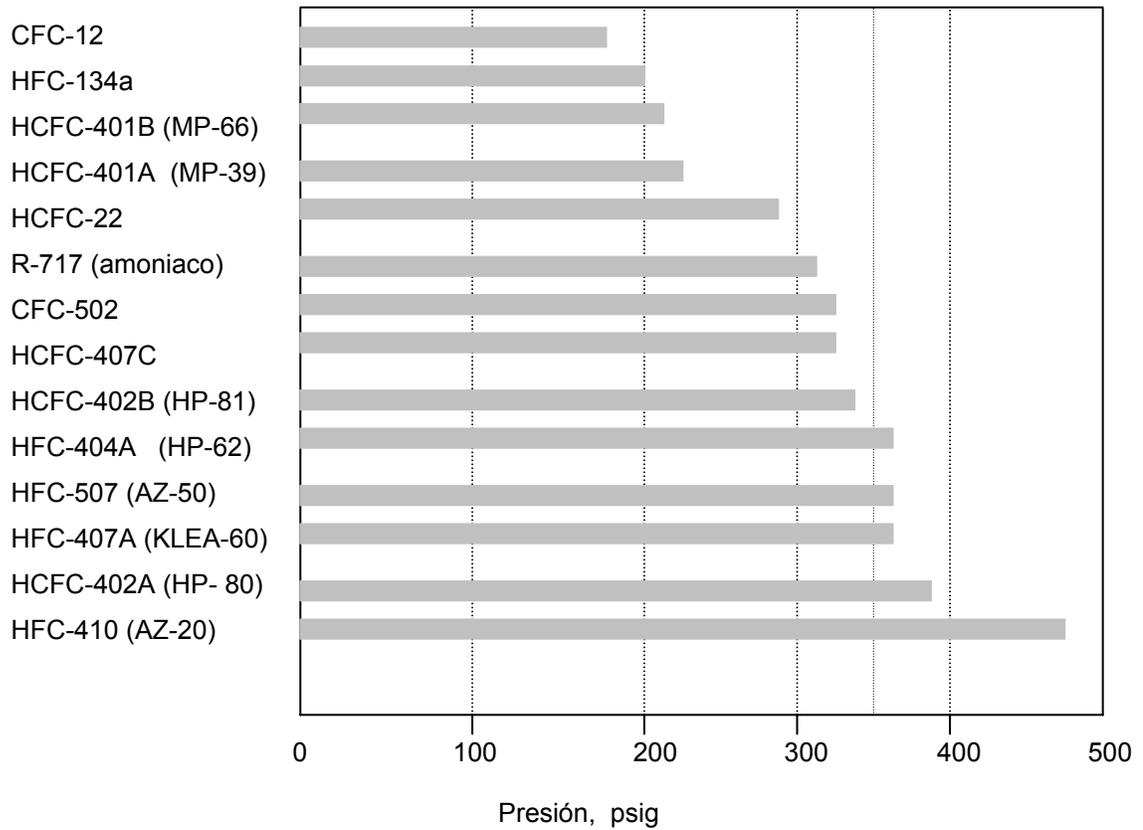
Presiones aceptables de diseño del sistema son dictadas por los varios códigos y estándares aplicables para un local en especial. Propietarios de equipos deben de estar al tanto de códigos regionales, así como los códigos para el modelo y directrices generales que sean aplicables en una región en particular.

3.4.1.1 Selección de la tubería con base en la presión

Las figuras 4 y 5 muestran las presiones de saturación a 130° F para varios refrigerantes y la presión para un amplio rango de tamaños de tubería del Tipo L y Tipo K. Tipo L es el espesor de pared estándar para la tubería de refrigeración comercial, mientras que el Tipo K ha sido usado solo ocasionalmente en el pasado.

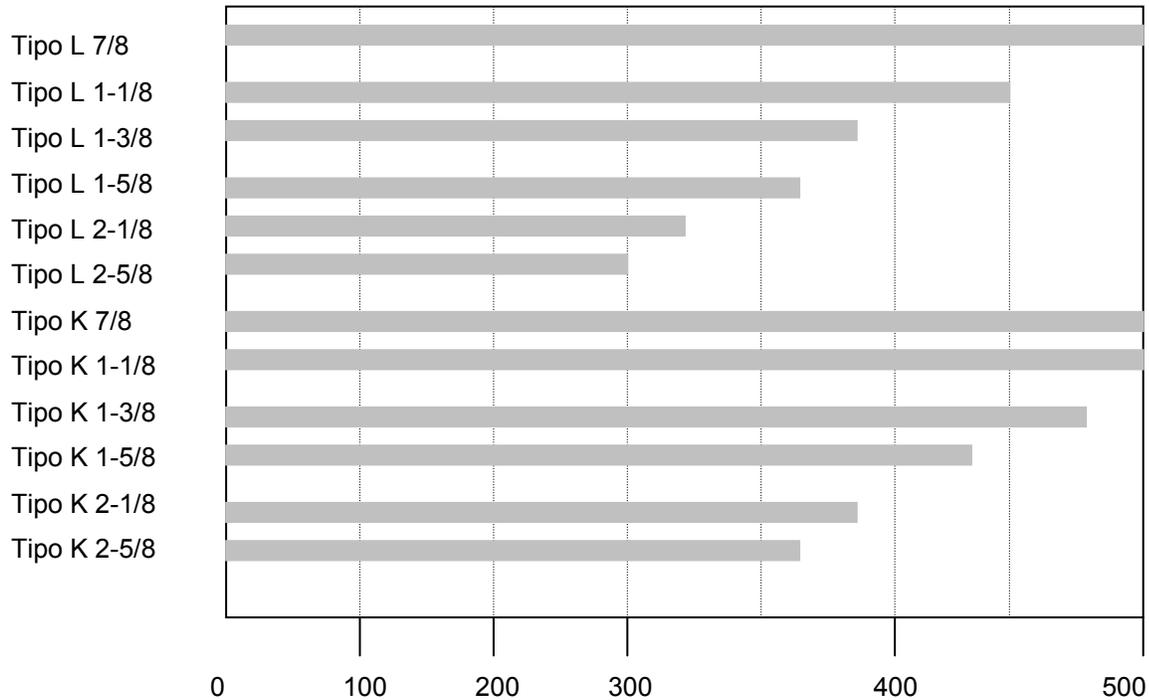
Por ejemplo, un sistema enfriado por aire que utiliza R-402A, cerca de 375 psig requerirá pared gruesa, tubería Tipo K en todas las líneas de descarga de 1-5/8" y más grande. Hay que hacer notar que muchos de los refrigerantes requieren de tubería Tipo K cuando el tamaño excede de 1-3/8".

Figura 4. Presiones de saturación de algunos refrigerantes a 130° F



Fuente: Roy Dossat, *Principles of refrigeration*, pag. 315

Figura 5. Presión en tubos, psig



Fuente: Roy Dossat, *Principles of refrigeration*, pag. 317

3.4.1.2 Consideraciones sobre la tubería

Para sistemas de refrigeración convertidos o nuevos, el diseño de la tubería debe de comprender cada esfuerzo posible por evitar fugas. Algunas directrices específicas son:

- Minimizar uniones roscadas.
- Utilizar sólo codos de radio largo y evitar los codos de 45° para reducir cambios bruscos de dirección.
- Instalar la tubería con juntas adecuadas de expansión o cambios de dirección para permitir la fácil contracción o expansión. Las aplicaciones comerciales deben de tener una junta de expansión doble de cinco pies o una sencilla de diez pies por cada 80 pies de tubería recta.

- Usar solamente soldadura de aleaciones de bronce de alta temperatura, no usar soldadura suave.
- Instalar válvulas de acceso y de doble paso, estratégicamente colocadas, al sistema de tubería. En vez de válvulas de acceso o válvulas de cierre automático pequeñas de 1/4", instalar válvulas de 3/8" o mayores en lugares diferentes. Esto ayuda a evacuar cada parte del sistema más rápidamente para permitir prestarle servicio o hacer nuevas instalaciones.

3.4.1.3 Control de flujo y válvulas

Adicionalmente a operar a presiones variantes, diferentes refrigerantes requieren diferentes tasas de flujo para proveer una tonelada de refrigeración. Los fabricantes de válvulas están desarrollando rápidamente válvulas para los refrigerantes comunes utilizados en sistemas convertidos o nuevos. Muchas válvulas ajustables en sistemas convertidos necesitarán reajustes y factores de corrección general para los componentes de la línea de líquido como las válvulas solenoides. Estas válvulas tienen un diferencial máximo de presión de operación. Si un sistema es cambiado a un refrigerante de mayor presión, la tasa de flujo debe ser revisada y el solenoide cambiado si no es adecuado. También, los componentes de la línea de descarga y succión requerirán cambio.

Las válvulas de alivio en sistemas de refrigeración comercial son utilizadas para purgar el refrigerante que está bajo presiones más allá de los parámetros de diseño, hacia la atmósfera, y así proteger los equipos.

Diferentes factores han hecho de las válvulas de alivio algo importante en la industria de la refrigeración, incluyendo: el alto costo del refrigerante y consideraciones ambientales, el uso de nuevos refrigerantes con presiones de operación mayores, y nuevos códigos de seguridad para refrigeración mecánica. Las válvulas de alivio son seleccionadas en términos de presión y capacidad de flujo de masa.

Las válvulas de expansión ajustan el flujo de refrigerante como si se tratara de un regulador. En sistemas convertidos las válvulas de expansión previamente existentes por lo regular están sobredimensionadas. También las válvulas viejas pueden tener un desgaste considerable. Muchos de los refrigerantes alternativos de largo plazo requerirán ajustes de la válvula de expansión. Se deben observar cuidadosamente los refrigerantes con variación de temperatura, ya que tienen diferentes características y se comportan de manera diferente. La válvula de expansión necesita ser ajustada de acuerdo al refrigerante.

3.4.2 Subenfriamiento

Existen dos tipos de subenfriamiento: líquido y mecánico.

El subenfriamiento mecánico se refiere al uso de un compresor extra para parcialmente enfriar el líquido caliente que regresa del condensador antes de ir hacia los mostradores, lo que reduce el trabajo efectuado por el compresor principal.

El subenfriamiento líquido toma algo del gas de succión del evaporador para enfriar la línea de refrigerante líquido en un intercambiador de calor.

La temperatura del refrigerante en la línea de líquido es reducida por debajo de la temperatura de saturación, o en el punto exacto en el que el refrigerante cambia de líquido a gas.

El objetivo del subenfriamiento es proveer más capacidad de enfriamiento. Los nuevos refrigerantes no conducen el calor tan eficientemente, lo que significa que hay una pérdida de capacidad de enfriamiento. Si el subenfriamiento es añadido al sistema, éste recuperará algo o toda la capacidad perdida y será un sistema más eficiente.

Los subenfriadores son usados sólo con sistemas de baja temperatura. Ambos métodos de subenfriamiento tienen un impacto significativo cuando son usados con los nuevos refrigerantes. Para los refrigerantes HCFC (como R-22), el subenfriamiento puede dar hasta 20% más de capacidad de enfriamiento. Para refrigerantes HFC (como R-404A o R-507), el subenfriamiento puede proveer hasta 40% más de capacidad de enfriamiento.

El subenfriamiento mecánico puede ser añadido a sistemas existentes o diseñado para nuevos sistemas. Puede ser aplicado en situaciones donde más capacidad es requerida o solamente para reducir costos de operación. La inversión en el subenfriamiento puede ser rápidamente recuperada al reducir los costos de energía. También para los nuevos sistemas, los compresores y válvulas de control pueden ser más pequeñas.

Hay que hacer notar que los subenfriadores no deben de ser instalados en sistemas sobre dimensionados, donde la capacidad de enfriamiento es más grande que la carga de enfriamiento. En este caso, los subenfriadores pueden reducir el ciclo del compresor, causando que el compresor pare y arranque repetidamente lo que pudiera dañar el compresor.

El subenfriamiento líquido tiene ventajas que incluyen

- Aumenta la capacidad efectiva de un compresor de dos etapas. Ya que el líquido que entra en el evaporador tiene un contenido menor de entalpía, tiene una capacidad mayor de absorción de calor y así se incrementa el número de BTU que cada libra de refrigerante puede absorber.
- Elimina el gas instantáneo dentro del sistema. Esto quiere decir, un uso más eficiente de la superficie del evaporador. Similarmente, el subenfriamiento elimina la necesidad de incrementar la superficie del evaporador para incrementar la capacidad causada por cargas mayores.
- Reduce el uso de electricidad, ya que un sistema de baja temperatura necesitaría menor potencia.
- Reduce el mantenimiento.
- Da mejor control de temperatura a los mostradores.
- Reduce el tiempo requerido para regresar a operar el sistema después de descongelarlo. En algunos casos este tiempo es la mitad del que es sin un subenfriador.
- Puede reducir los costos iniciales mediante la producción de la misma capacidad con equipo más pequeño.

- Permite tener presión de descarga variante. Esta presión es a menudo solamente posible con el subenfriamiento. Para sistemas paralelos, el subenfriamiento líquido es el único medio para conseguir una presión de descarga variante.

La presión de descarga variante se refiere a incrementar o reducir la presión de descarga del compresor. Mientras menor sea la presión de descarga, menos necesitará trabajar el compresor. Para tomar ventaja de una presión variable de descarga, un control del subenfriamiento es requerido. Con el subenfriamiento, las temperaturas de condensación variarán con los cambios en las condiciones del ambiente y la presión de descarga variante permite que la presión de descarga del compresor sea reducida a medida que la temperatura del ambiente baje. El subenfriamiento y una presión de descarga variante aseguran que solamente líquido entrará en el dispositivo de expansión.

El beneficio más importante de la presión de descarga variante es que se presentan ahorros en el uso de energía. La presión de descarga variante reduce el consumo de energía para todos los compresores usados en refrigeración, ya sea en sistemas con un condensador evaporativo o enfriado por aire. Sin embargo, para sistemas paralelos, la forma en que el calor es regenerado o el descongelamiento a gas son instalados puede limitar que tanto rango de fluctuación tenga la presión de descarga variante. Así que el subenfriamiento y la presión de descarga variante pueden presentar mayores beneficios con algunos de los nuevos refrigerantes.

3.5 Opciones de refrigerante para refrigeración comercial

3.5.1 Alternativas interinas

Las llamadas alternativas interinas son opciones de refrigerante para corto plazo ya que estos refrigerantes serán, en el futuro, dejados de fabricar. Sin embargo, en ciertas situaciones de conversión, especialmente para sistemas de refrigeración con algo de vida útil por delante, y en situaciones donde la instalación es remodelada con frecuencia, sería una buena alternativa, desde el punto de vista económico, convertir los sistemas existentes a refrigerantes interinos.

Una regla usada con frecuencia es la utilización de refrigerantes interinos para conversiones y refrigerantes alternativos a largo plazo para nuevo equipo. Una excepción para equipo nuevo pudiera ser el uso de R-22 con nuevo equipo, si se anticipa que la tienda va a ser remodelada y el equipo reemplazado antes de que la producción de R-22 termine.

El uso de algunos refrigerantes interinos en situaciones típicas de conversión significa bajos costos iniciales, pero a costa de costos más altos de energía. La eficiencia de energía de algunas mezclas interinas queda en duda. Para algunos, muy pocas pruebas en operación han sido efectuadas con la instrumentación necesaria para estar seguros del impacto de la eficiencia de energía. También algunas mezclas interinas tienen grandes variaciones de temperatura, lo que pudiera tener efectos impredecibles en el sistema e incrementar los costos de consumo de energía.

En principio todos los refrigerantes interinos incluyen R-22, un refrigerante HCFC puro que contiene cloro. A excepción del R-22, los refrigerantes interinos listados a continuación son para uso exclusivo en sistemas de refrigeración. Las opciones interinas de más uso son: R-401A, R-402A, R-22 y R-408A.

El R-401A (MP-39), es casi un sustituto exacto del R-12. Su composición es R- 22/152a/124, en porcentaje 53/13/34. Este refrigerante tiene una alta variación de temperatura, alrededor de 8° F, lo que hace su funcionamiento confiable en los intercambiadores de calor de sistemas existentes. En pruebas en el laboratorio a una temperatura de saturación de condensación de 90° F, R-401A fue menos eficiente que R-12 por 2%. El R-401A es relativamente fácil de instalar en sistemas convencionales existentes que utilizan R-12. Un simple cambio de aceite a un aceite AB y otros ajustes menores al sistema son requeridos. El costo estimado de conversión para una tienda convencional es de \$12,000 a \$15,000.

R-402A (HP-80) es casi un sustituto exacto de R-502. Su composición es R-125/290/22, en porcentaje 60/2/38, R-402A en alguna literatura se dice que es 4% menos eficiente que R-502, pero en otros ensayos en laboratorio, a una temperatura de saturación de condensación de 90° F, R-402A fue 11% menos eficiente que el R-502. El R-402A es relativamente fácil de instalar en sistemas convencionales existentes que utilizan R-502. Un cambio de aceite a un aceite AB y otros ajustes menores son requeridos. El costo estimado de conversión para una tienda convencional es de \$12,000 a \$15,000. Un aspecto importante del R-402A es su gran presión de operación, por lo cual no está recomendado para sistemas enfriados por aire en climas cálidos.

R-22, un posible reemplazo para R-12 y R-502, es un refrigerante interino HCFC que es reconocido por su comprobada operación y buena eficiencia.

Tiene características conocidas, buena operación en el compresor, y compatibilidad con aceites. R-22 tiene altas temperaturas de descarga que pudieran afectar la confiabilidad del equipo. Tiene la ventaja de ser más barato que las mezclas interinas. El bajo costo inicial del R-22 y el subsecuente costo de reponerlo por fugas puede resultar atractivo para ciertos sistemas. Potencialmente el costo se podría incrementar en un marco de oferta y demanda a medida que límites en su producción son impuestos. R-22 no es recomendado para sistemas convertidos convencionales.

- Convertir sistemas de R-12 a R-22 requiere de cambios en el compresor, dispositivo de expansión, y tubería. R-22 opera a presiones mayores y tiene 50% más de efecto refrigerante que R-12. Los compresores regularmente no pueden ser cambiados de R-12 a R-22.
- Sistemas convertidos de R-502 a R-22 requieren de equipo de succión que quite el sobre calor. Sin embargo, R-22 pudiera ser considerado para ciertos sistemas paralelos que utilizan R-502.

R-22 fue básicamente la única opción disponible para refrigeración comercial, cuando la baja de producción de refrigerantes CFC inicio. La mayoría de usuarios convertían sistemas de baja temperatura de R-502 a R-22. Muchos de los sistemas de mediana temperatura estaban ya utilizando R-22 y si no, eran cambiados. Incluso cuando R-134a estaba disponible como opción de mediana temperatura, muchas aplicaciones como los supermercados, mantenían en uso R-22, más que todo debido a los grandes tamaños físicos de compresor y tubería asociados con R-134a. También el R-22 tiene buenas características de eficiencia en aplicaciones de mediana temperatura.

Para algunas aplicaciones de mediana temperatura, algunos de los nuevos refrigerantes HFC usados para reemplazar el R-502 no son tan eficientes como el R-22.

R-408A, un sustituto exacto de R-502 con un poco de variación de temperatura, tiene características que justifican futuras investigaciones, como los son: menor presión de operación que R-402A mayor eficiencia que R-502 y R-402A. R-408A tiene una variación de temperatura de 1° F. Aunque un cambio de aceite no es requerido para conversiones, un cambio a una mezcla de aceite mineral y alquilbenceno es recomendado. En un proyecto de demostración llevado a cabo en laboratorio, los resultados para R-408A fueron buenos. Los resultados demostraron que R-408A operó mejor que R-502 por 7 u 8% y demostró un incremento en capacidad de 6%.

3.5.2 Alternativas a largo plazo

Una alternativa para sistemas de refrigeración comercial es usar refrigerantes alternativos a largo plazo que no contengan cloro, como lo son refrigerantes HCF puros o mezclas que los contengan. Estas alternativas pueden ser usadas ya sea en sistemas convencionales o paralelos, en nuevo equipo y en algunos casos en sistemas convertidos.

Para sistemas paralelos existentes con tecnología más eficiente, es recomendado seguir utilizando el equipo existente, y utilizar refrigerantes alternativos a largo plazo cuando sea posible. Los sistemas de refrigeración que implementen el uso de alternativas a largo plazo tienen costos iniciales mayores, pero resultarán en mayores ahorros de costo de energía.

Las alternativas a largo plazo sin contenido de cloro incluyen: R-134a, R-404A, R-507, R-407A.

R-12 tiene un reemplazo sin contenido de cloro: HFC-134a. Este fue el primer refrigerante HCF producido en gran cantidad debido a su selección por los mayores fabricantes de automóviles. Su costo ha bajado debido a la creación de mejores instalaciones de producción. R-134a no es una buena alternativa para sistemas nuevos por razones prácticas como lo son: desplazamiento más grande del compresor, y el tamaño de la tubería, pero puede ser considerado como reemplazo de R-12 en sistemas existentes de mediana temperatura, en vez de R-401A.

R-134a tiene presiones similares, propiedades termodinámicas y otras características que el R-12. Para aplicaciones de refrigeración comercial de mediana temperatura, R-134a puede ser usado como un reemplazo de conversión de R-12, con pocos problemas. El requisito principal para la conversión es el cambio de aceite mineral a un lubricante de poliol éster, lo que requiere de múltiples cambios de aceite para reducir la concentración residual de aceite mineral a 5% o menos. Esta desventaja de múltiples cambios de aceite puede ser compensada por el bajo costo del refrigerante, y el hecho de que se trata de una solución permanente. Sin embargo, cuando R-134a es comparado con R-12, un descenso de eficiencia de 3% es hecho por DuPont y algunas pruebas de laboratorios muestran un descenso de 8% a una temperatura de saturación de condensación de 90° F.

R-134a fue instalado inicialmente en un número de supermercados como el primer refrigerante HCF incluido en sistemas nuevos. Estas eran aplicaciones de mediana temperatura, con R-22 usado para aplicaciones de baja temperatura.

Cuando las mezclas HFC estuvieron disponibles para sustituir a R-502 y R-22 en aplicaciones de baja temperatura, también fueron usadas inmediatamente para aplicaciones de mediana temperatura. La ventaja principal de las mezclas HFC sobre R-134a es una reducción del costo del sistema debido a compresores más pequeños y tamaños de la tubería. El uso de R-134a en nuevos sistemas de refrigeración comercial parece estar concentrado en sistemas pequeños de mediana temperatura.

Algunos materiales usados con R-12 no son compatibles con R-134a. También los compresores fabricados antes de 1975 tienen diferentes aislantes en el bobinado del motor que los modelos más recientes, que pudieren resultar no compatibles con R-134a.

Algunos problemas con conversiones con R-134a pueden ser el resultado de niveles altos de humedad o sistemas pobremente mantenidos fueron convertidos. La mezcla de lubricante de poliol éster con refrigerante HFC tiende a liberar depósitos existentes que pudieran contaminar los compresores, válvulas y otros componentes.

R-404A es una mezcla HCF compuesta de R-125/143a/134a, en porcentaje 44/52/4, que reemplaza al R-502 en aplicaciones de baja y mediana temperatura. R-404A es una de las opciones principales disponibles para nuevos sistemas de refrigeración comercial y está aprobada y examinada por los mayores fabricantes de compresores. Inicialmente introducida por DuPont, R-404A es ahora producido DuPont, AlliedSignal y Elf Atochem. R-404A tiene una variación de temperatura pequeña, pero un potencial de calentamiento global relativamente grande lo que podría tener impacto en su desarrollo como alternativa a largo plazo.

La eficiencia de R-404A es por lo general menor que R-502, particularmente a mayores temperaturas de condensación. Conversiones a R-404A requieren un cambio a lubricante de poliol éster, incluyendo cambios de aceite para reducir la concentración residual de aceite mineral a 5% o menos.

R-507 es una mezcla HFC de dos compuestos, que es ofrecida por AlliedSignal, que reemplaza a R-502 en aplicaciones de baja y mediana temperatura. Su composición es R-125/143a, en porcentaje 45/55. R-507 es otra de las principales opciones disponibles para nuevos sistemas de refrigeración comercial y está aprobada y examinada por los mayores fabricantes de compresores.

Algunas pruebas mostraron 5% mejor eficiencia cuando R-507 es comparado con R-404A. Sin embargo, muchos consideran que ambos refrigerantes son aproximadamente iguales. R-507 no tiene variación de temperatura y requiere cambios de lubricante de poliol éster para reducir la concentración residual de aceite mineral a 5% o menos.

R-407A (KLEA-60) está compuesto por R-32/125/134a, en porcentaje 20/40/40, es de interés por dos aspectos. Primero, tiene un potencial de calentamiento global menor que R-404A y R-507, que pudiera ser de importancia en el futuro. Segundo, tiene una variación de temperatura de 10° F, lo que pudiera ofrecer mejoras en la eficiencia si es correctamente aplicada y controlada. En ciertos sistemas enfriados por agua, las propiedades del R-407A en un intercambiador de contraflujo pudieran tener ventajas.

En ciertos casos R-22 pudiera ser considerado como una alternativa a largo plazo, adicional a R-404A o R-507. ¿Pero cuál es la mejor alternativa?

R-22 pudiera ser una alternativa para sistemas nuevos, especialmente en aquellos con altas tasas de fugas. Un cambio a R-22 pudiera bajar los costos, especialmente en aquellas instalaciones con ciclos de remodelación cortos. También los refrigerantes HFC pudieran tener problemas aun no descubiertos.

Muchos continúan utilizando R-22 en nuevos sistemas bajo las siguientes justificaciones:

- R-22 sigue siendo relativamente barato.
- Los problemas producidos por R-22 en los sistemas son conocidos, y algunos refrigerantes HFC producen dudas en cuanto a desempeño.
- Los costos de instalación son razonables ya que la tubería es relativamente pequeña.
- Se anticipa un futuro sustituto exacto para R-22.
- Para el término de la producción de R-22 faltan años.

Mientras que R-22 continua siendo un buen refrigerante, que seguirá disponible por lo menos otra década, la transición a refrigerantes HFC debe de ser considerada por estas razones.

- Los costos de R-22 pudieran incrementarse debido a la oferta y demanda, ya que la producción será limitada en el futuro.
- Existen altas temperaturas de descarga con sistemas de una etapa que usan R-22.
- Sistemas de R-22 con configuración de dos etapas, son más complejos y tienen costos de servicio más altos.
- Una alternativa sin contenido de cloro es deseable desde el punto de vista ambiental.

Si se continúa utilizando R-22, la tubería de refrigerante deberá ser dimensionada para los flujos de masa más grandes requeridos por refrigerantes alternativos HFC, como R-404A o R-507, que son cercanos a los tamaños de tubería requeridos por R-502. De esta manera, cualquiera que sea la alternativa futura usada no dejará sin utilizar la tubería existente. Así que la mejor opción depende de muchos factores para una situación dada.

3.6 Opciones de reconversión para equipo existente

En las siguientes páginas se encontrarán tablas que dan información acerca de las opciones de conversión para sistemas existente que utilizan R-12 y R-502. Estas tablas muestran factores y consideraciones acerca de cambios de R-12 y R-502 a otros refrigerantes, comparando características del sistema y dando algunas indicaciones de que tan apropiado puede resultar un refrigerante como alternativa. El énfasis es en alternativas interinas. Sin embargo, una conversión puede hacer uso de una alternativa a largo plazo, si así lo requiere una situación dada.

3.6.1 Sistemas de mediana temperatura que utilizan R-12

La tabla X describe las opciones existentes para R-12 en sistemas de refrigeración de mediana temperatura.

Tabla X. Opciones de conversión para sistemas existentes que utilizan R-12

Tipo de opción	Reemplazo de R-12	Factores y consideraciones
HCFC (interina)	R-22	<p>Presiones más altas, es requerido re-diseñar el sistema.</p> <p>No se requiere cambio de aceite.</p> <p>Es requerido un nuevo compresor.</p> <p>Nuevas válvulas de expansión y probablemente distribuidores.</p> <p>Regularmente requiere reducción del tamaño del elevador de presión de succión.</p>
Mezclas HCFC (interina)	R-401A (MP-39)	<p>Presiones similares, no hay cambio de compresor.</p> <p>Variación de temperatura de 9° F.</p> <p>Un cambio sencillo de aceite, a lubricante AB.</p> <p>Requiere cambio del tipo de filtro secador.</p> <p>No hay cambio de válvula de expansión termostática (TXV).</p> <p>Un incremento de 15-20% en la capacidad.</p> <p>Un decremento de 2-3% en eficiencia.</p>
	R-402A (MP-66)	<p>Similar a R-401A con mayores presiones.</p> <p>Conveniente para algunas máquinas de hielo y aplicaciones de baja temperatura de R-12.</p>
HFC, sin contenido de cloro, alternativa a largo plazo	R-134a	<p>Presiones similares, no necesita cambio de compresor.</p> <p>Sin variación de temperatura.</p> <p>Varios cambios de aceite a lubricante de poliol éster.</p> <p>Requiere cambio en el tipo de filtro secador.</p> <p>No se requiere cambio de TXV.</p> <p>Hay que revisar la compatibilidad de sellos en las válvulas.</p> <p>Sistemas con compresores Carlyle necesitan cambio de la bomba de aceite.</p> <p>Precaución en compresores fabricados antes de 1975.</p> <p>Revisar la compatibilidad de materiales.</p> <p>Regularmente sin cambios de capacidad.</p> <p>La eficiencia disminuye de 5-13%.</p>

continuación

Tipo de Opción	Reemplazo de R-12	Factores y consideraciones
Cambio completo del sistema	R-404A R-507 R-407A	Requiere de nuevo compresor, dispositivos de expansión y distribuidores. Varios cambios de aceite a lubricante de poliol éster. Podría necesitar cambios en la tubería en sistemas enfriados por aire.

Fuente: ARI, *Results for R-502 alternatives*, pag. 8

3.6.2 Sistemas que utilizan R-502

Los sistemas paralelos existentes son principalmente sistemas R-502. Generalmente, éstos experimentan los eventos donde se produce mayor pérdida de refrigerante, y por esta razón merecen atención especial. Las opciones de refrigerante para sistemas paralelos que utilizan R-502 incluyen: R-402A, R-404A, R-507 y R-407A.

En sistemas enfriados por agua, las presiones de operación se convierten en una preocupación. R-402A en particular excederá las presiones previstas para las tuberías más grandes en estos sistemas. Mientras el riesgo de que la tubería falle es bajo, el exponer la tubería a dichas presiones debe ser evitado, si hay alternativas que no excedan las presiones.

En sistemas paralelos, la presión de descarga variante está más directamente relacionada con las condiciones ambientales, requiere un poco más de control, pero ahorra energía. Esta opción debe ser incluida en el momento de una conversión.

A presiones más bajas de descarga, R-404A y R-507 parecen ofrecer buenas eficiencias, esencialmente las mismas que R-502, y posiblemente mejores en aplicaciones de mediana temperatura.

Una alternativa interesante para sistemas existentes de mediana temperatura que utilizan R-502, es R-22. Las presiones son más bajas, los compresores existentes podrán seguir trabajando y el costo del refrigerante es bajo. En sistemas en los cuales no se pueda evitar la pérdida de refrigerante, R-22 puede ser la mejor opción debido a sus costos. Sin embargo, con R-22 existe el riesgo de que los precios suban, debido a la oferta y demanda que pudiera existir por R-22 antes de que su producción termine.

Tabla XI. Opciones de conversión para sistemas existentes que utilizan R-502

Tipo de opción	Reemplazo de R-502	Factores y consideraciones
HFCCF (interina)	R-22	Presiones más altas, requiere rediseño. No necesita cambio de aceite. La capacidad del compresor es regularmente la adecuada. Requiere nuevas válvulas de expansión, y posiblemente distribuidor.
Mezclas HCFC (interina)	R-402A (HP-80)	Poca presión más alta, no necesita cambio de compresor. Cambio de aceite simple a alquilbenceno. Requiere cambio de tipo de filtro secador. No requiere cambio TXV. Los compresores Copeland necesitan una válvula especial de alivio. Posibles problemas con el diseño de la tubería en grandes sistemas enfriados por aire. Hay un incremento en la capacidad de 10-12%. La eficiencia se reduce de 6-16%.
	R-402B (HP-81)	Es muy parecido a R-402A, pero con presiones mayores. Recomendado para fabricación de hielo.

continuación

Tipo de opción	Reemplazo de R-502	Factores y consideraciones
Mezclas HCFC (interina)	R-408A	<p>Presiones similares, no necesita cambio de compresor.</p> <p>Tiene una variación de temperatura de 1° F.</p> <p>No requiere de cambio de aceite pero se recomienda un aceite MO/AB.</p> <p>No requiere cambio TXV.</p> <p>Incremento de la capacidad de 6%.</p> <p>Incrementa la eficiencia de 7-8%.</p>
HCF (sin contenido de cloro)	R-407A R-407B	<p>Similares a R-404A y R-507 a excepción que R-407A y R-407B tienen una variación de temperatura significativa, de 6-10° F, y pueden requerir de ajustes adicionales al dispositivo de expansión.</p> <p>R-407A: reducción de capacidad de 8-9%, reducción de la eficiencia de 6-8%.</p> <p>R-407B: reduce la capacidad de 1-2%, tiene una pequeña reducción de la capacidad.</p>
HCF (sin contenido de cloro)	R-404A R-507	<p>Presiones similares, no requiere cambio de compresor.</p> <p>Sin variación de temperatura o ésta es mínima.</p> <p>Requiere cambio del tipo de filtro secador.</p> <p>No requiere cambio TXV.</p> <p>Hay que revisar la compatibilidad de los sellos en las válvulas.</p> <p>Sistemas con compresores Carlyle necesitan cambio de la bomba de aceite.</p> <p>Precaución en compresores fabricados antes de 1975. Revisar la compatibilidad de materiales.</p> <p>R-404A: mínima diferencia de capacidad, reducción de la eficiencia de 2-12%.</p> <p>R-507: un pequeño incremento de capacidad, diferencia en la eficiencia de +1% a -5%.</p>

continuación

Tipo de opción	Reemplazo de R-502	Factores y consideraciones
Cambio completo de sistema	R-404A R-507 R-407A	Requiere de nuevo compresor, rediseño del sistema. Varios cambios de aceite a lubricante de poliol éster. Puede necesitar cambio de dispositivos de expansión y reducir los elevadores de succión, se añade subenfriamiento. Podría necesitar cambios de tubería en sistemas enfriados por aire.

Fuente: ARI, *Results for R-502 alternatives*, pag. 12

3.7 Opciones para equipo nuevo

La instalación de nuevo equipo de refrigeración abre las puertas a muchas posibilidades y provee una hoja en blanco con la cual comenzar. Un sistema convencional pudiera ser considerado junto con un refrigerante alternativo a largo plazo, o un nuevo sistema paralelo con un refrigerante alternativo a largo plazo.

A continuación se discuten algunas opciones para nuevos sistemas de mediana y baja temperatura.

3.7.1 Nuevos sistemas de mediana temperatura

El proceso de seleccionar equipo nuevo para sistemas de mediana temperatura es similar al de seleccionar sistemas anteriores que utilizaban R-12, excepto que hay cambios en la capacidad del compresor, potencia y cambios en el tamaño de la tubería que deben de ser considerados.

Tabla XII. Opciones para sistemas nuevos de mediana temperatura

Tipo de opción	Reemplazo de R-12	Factores y consideraciones
HCFC (interina)	R-22	Operación comprobada, buena eficiencia. Tubería lo suficientemente grande para acomodar cambios futuros a refrigerante HFC. Consultar al fabricante del compresor con respecto a la selección de aceite y cambios futuros a refrigerante HFC.
HFC (sin contenido de cloro)	R-134a	Requiera lubricante de poliol éster. Requiera de grandes desplazamientos del compresor y de las tuberías grandes similares a las usadas por R-12. Reducción de la eficiencia.
	R-404A R-507 R-407A	Requiera lubricante de poliol éster. Puede necesitar el uso de tubería de pared gruesa es sistemas enfriados por aire, para cumplir con códigos existentes.
	R-407C	Similar a los anteriores con variación de temperatura de 6-10° F. Posibles aumentos en la eficiencia, con optimización del intercambiador de calor.
Opciones futuras	R-410A (AZ-20)	Opera a muy altas presiones.
	R-717 (NH ₃)	Requiere de sistemas indirectos, utiliza energía adicional. Algunas consideraciones en códigos están sin resolver.

Fuente: ARI, *Results for R-502 Alternatives*, pag. 21

Aunque R-22 será dejado de producir en el futuro, se listó como una opción para sistemas nuevos, ya que puede ser una alternativa razonable en algunos casos.

3.7.2 Nuevos sistemas de baja temperatura

Los nuevos sistemas de baja temperatura proveen opciones adicionales para considerar. Existen varios criterios de selección que incluyen: eficiencia del sistema, simplicidad, costo inicial, costo de mantenimiento, y otros. Algunas opciones incluyen.

Sistemas de una etapa con inyección de líquido. Estos pueden ser usados con unidades convencionales o sistemas paralelos, además los compresores existentes pueden ser modificados para la inyección de líquido.

Sistemas de dos etapas para aplicaciones de refrigeración industrial. Existen costos iniciales altos, pero los sistemas de dos etapas recuperan la inversión inicial al estar en funcionamiento. Pueden existir costos adicionales de mantenimiento debido a los componentes adicionales y la complejidad de controlarlos. Compresores internamente compuestos usados con sistemas convencionales o paralelos.

Tabla XIII. Opciones para sistemas nuevos de baja temperatura

Tipo de opción	Reemplazo de R-12	Factores y consideraciones
HCFC (interina)	R-22	Inyección de líquido, compresores compuestos o sistemas de dos etapas son recomendados, debido a la temperatura alta de descarga. Tuberías suficientemente largas para futuros cambios a refrigerante HFC. Consultar al fabricante del compresor con respecto a la selección de aceite y cambios futuros al refrigerante HFC.
HFC (sin contenido de cloro)	R-404A R-507 R-407A	Utilizan lubricante de poliol éster. Puede necesitar cambios de tubería en sistemas enfriados por aire, para cumplir con códigos existentes.

continuación

Tipo de	Reemplazo	Factores y consideraciones
---------	-----------	----------------------------

opción	de R-12	
Opciones futuras	R-410A (AZ-20)	Opera a presiones muy altas.
	R-717 (NH ₃)	Requiere de sistemas indirectos, utiliza energía adicional. Algunas consideraciones en códigos están sin resolver. Dificultad para trabajar con fluidos indirectos de baja temperatura.

Fuente: ARI, *Results for R-502 Alternatives*, pag. 26

3.7.3 Sistemas de refrigeración indirectos

Un sistema experimental, pero interesante como alternativa a largo plazo es el uso de refrigerantes indirectos en supermercados.

En vez de bombear el refrigerante directamente a los serpentines, el refrigerante es utilizado para enfriar una salmuera, o cualquier otro fluido indirecto que será bombeado a los mostradores a través de un circuito secundario. La carga de refrigerante para la tienda completa puede ser reducida a 300 libras o menos. También con este tipo de sistema se mejorará la eficiencia, al ser comparados con nuevos refrigerantes halocarbones y será libre de halógenos. El enfriamiento indirecto es un área en la cual se están haciendo investigaciones en Europa y Estados Unidos, pero hasta este momento se encuentra sólo en etapas conceptuales y de experimentación.

El reto principal es identificar un fluido indirecto apropiado que pueda ser bombeado económicamente. Esta tecnología requerirá de nuevos mostradores y algunas cuestiones como los son: la energía necesaria para tuberías más largas, necesidades de bombeo, etc. Sin embargo, en un futuro no distante, conversiones a sistemas indirectos pueden ser una alternativa.

El amoníaco tiene un número atractivo de características que incluyen

- Cero potencial de reducción de la capa de ozono
- Cero potencial directo de calentamiento global o efecto invernadero
- Bajo costo
- Alta eficiencia teórica
- Bajo flujo de masa por tonelada de refrigeración

El uso del amoníaco en aplicaciones de refrigeración comercial está restringido por códigos, más que todo debido a que es inflamable y tóxico. Los que proponen al amoníaco para ser usado en sistemas indirectos muchas veces se valen de las siguientes afirmaciones: baja carga de refrigerante y sistemas de ventilación especiales. El manejo de liberaciones accidentales incluyen varios métodos de absorber el amoníaco antes de que resulte perjudicial para las personas. Las posibilidades incluyen sistemas de difusión, donde el amoníaco es desviado a un tanque con agua, o sistemas de inundación, donde el agua es rociada sobre el amoníaco y el área expuesta.

Tradicionalmente, el amoníaco ha sido utilizado en grandes plantas. La falta de compresores pequeños y de costo aceptable y otros componentes apropiados para sistemas comerciales pequeños, limita de alguna manera el uso del amoníaco. El amoníaco también tiene temperaturas altas de descarga. Los sistemas enfriados por aire típicamente utilizan compresores de tornillo que mitigan la alta temperatura mediante el uso de enfriadores de aceite.

Cobre no puede ser usado con el amoniaco, así que todos los intercambiadores de calor y sistema de tubería deben de usar tubería de acero o aluminio. También compresores semiherméticos no son posibles de usar, lo que significa que los sistemas que utilizan amoniaco tendrán que utilizar un compresor de transmisión abierta.

En Alemania existe un sistema de supermercado que utiliza amoniaco para enfriar una solución, la cual enfría los mostradores de baja y mediana temperatura.

4. OTRAS CONSIDERACIONES

4.1 Costo y disponibilidad de los refrigerantes

El costo y disponibilidad de los refrigerantes, en especial refrigerantes CFC, puede ser un aspecto importante del análisis completo para encontrar una alternativa. El costo de refrigerantes CFC se ha incrementado drásticamente en los pasados años, debido a la demanda que existe por ellos y que ya no son producidos. R-12 costaba aproximadamente \$1.50 por libra hace 15 años. Pero actualmente R-12 y R-502 cuestan alrededor de \$8.00 por libra.

Así que si se planea conservar equipo que utiliza refrigerantes CFC, y este equipo tiene altas tasas de fugas, los costos de mantenimiento se pueden incrementar. Además, si se decide a conservar equipo que utiliza refrigerantes CFC, se tiene que tener un suministro estable de estos refrigerantes, ya que hay que recordar que estos refrigerantes no se producen más.

La mayor preocupación en cuanto a escasez de refrigerante es sobre refrigerante R-12, ya que éste es usado en automóviles y en unidades enfriadoras centrífugas para aire acondicionado. El gran número de automóviles con R-12 es un problema, los sistemas centrífugos no pueden ser convertidos a un paso que elimine la escasez. Estos dos factores continuarán limitando las reservas de R-12 e incrementando su costo.

La cantidad correcta de refrigerante en reserva no es conocida, pero no hay indicaciones de que grandes cantidades pudieran estar almacenadas. Los esfuerzos de recuperación de refrigerante han provisto de cierta cantidad de refrigerante usado.

R-502, usado principalmente por la refrigeración comercial, pudiera presentar mayores problemas en cuanto a reservas que R-12. R-502 ha recibido menos atención que R-12 y existe probablemente una mayor cantidad instalada de R-502. Existen actualmente amplias reservas de refrigerantes HFC para cubrir la necesidad de alternativas para R-502.

R-22, que es el único refrigerante HCFC de preocupación para la industria de los supermercados, estará disponible bajo los tratados existentes, en cantidades para servicio hasta el año 2020. Sin embargo, la producción fue limitada a niveles de 1989 en el año 1996 y las cantidades de producción empiezan a reducirse en el año 2004.

Tabla XIV. Precios de los refrigerantes

Refrigerante	Costo Aproximado
R-12	De \$2.65 a \$5.65
R-134a	De \$ 3.75 a \$4.60
R-123	De \$4.00 a \$7.00
R-22	\$1.45 a \$2.00
R-407C	Aproximadamente \$9.00
R-502	De \$6.55 a \$8.40
R-401A (MP-39)	De \$4.30 a \$4.75
R-402A (HP-80)	De \$6.75 a \$7.20
R-404A	De \$6.70 a \$\$8.50
R-507 (AZ-50)	De \$7.25 a \$7.50
R-407A	Aproximadamente \$6.75
R-410A	Aproximadamente \$14.00

Fuente: www.epa.gov

Como parte de un análisis de alternativas para sistemas de refrigeración comercial, los factores de disponibilidad y costo de refrigerantes deben de ser tomados en cuenta, especialmente si existen diferentes sistemas.

4.2 Consideraciones para comparar alternativas

Para tomar una decisión acerca de que alternativa es la más adecuada, se pueden comparar las alternativas en términos de

- Requerimientos de capital inmediatos, a mediano y largo plazo
- Costos de instalación, operación, mantenimiento y energía
- Precios actuales y futuros de refrigerante
- Los costos antes y después de la conversión, incluyendo los costos de reparaciones y conversión
- Costos de mejoras de equipo o equipo adicional
- La posible exposición a riesgos

Por ejemplo, ¿ cuál es el impacto potencial de la falla del sistema con un equipo específico? ¿ cuáles serán las alternativas si no se está en disposición de suministrar el refrigerante requerido?

Otros factores a considerar cuando se comparan alternativas ya sea que se conserve el equipo y refrigerante existentes, se convierta a un refrigerante libre de cloro o se adquiera equipo nuevo son:

- El potencial de reducción de la capa de ozono y el potencial de calentamiento global de los refrigerantes existentes y los reemplazos de éstos.
- Las fechas estimadas de fin de la producción de los refrigerantes y varias regulaciones concernientes.
- La anticipada disponibilidad de refrigerantes y equipo y qué alternativas estarán disponibles.

- La edad y vida útil restante de los equipos existentes y su historia de mantenimiento y reparaciones.
- La cantidad de tiempo que el equipo está en operación.
- Posibles cambios entre capacidad, utilización de energía y eficiencia.
- Cualquier remodelación a las instalaciones o edificios o modificación al cuarto del equipo.
- Costos de construcción de nuevo equipo.

Como parte del análisis de alternativas, hay que mantener presente que existen muchas maneras de mitigar el costo de convertir un sistema para usar un refrigerante diferente. Se pueden mejorar las unidades enfriadoras o sistemas de refrigeración con características que provean con el tiempo ahorros de energía. Adicionalmente, hay ciertos pasos que se pueden tomar en cualquier momento, ya sea que se esté cambiando refrigerante o no, que pueden reducir el costo total de energía.

Para sistemas de refrigeración o aire acondicionado, al mismo tiempo en que se está cambiando refrigerante, hay que tomar ventaja de la oportunidad de implementar características de ahorro de energía tales como.

- Control de velocidad variable del motor
- Presión de descarga variante
- Control del compresor por medio de un microprocesador

Otras opciones que se pueden implementar en cualquier momento, pero especialmente tienen sentido si se está cambiando de refrigerante o reconstruyendo un sistema de aire acondicionado o refrigeración son.

- Instalar un sistema enfriador de etapas múltiples
- Convertir condensadores enfriados por aire a condensadores evaporativos

4.3 Lubricantes

Todos los equipos de refrigeración requieren de aceites altamente especializados y de alta calidad para proveer la lubricación necesaria al compresor. Algo del aceite circula constantemente en el sistema, junto con el refrigerante. La alta calidad del aceite es importante ya que un cambio de aceite pudiera ser utilizado durante toda la vida útil del sistema.

El tipo particular de lubricante utilizado en el sistema de refrigeración, depende del refrigerante y aplicación del sistema, ya que el refrigerante opera a diferentes presiones y temperaturas, el lubricante debe de tener propiedades compatibles. Muchos de los nuevos refrigerantes requieren ser usados con lubricantes que son muy distintos de los aceites convencionales.

Los lubricantes se deben de mezclar de una manera apropiada con el refrigerante, a esto se le llama mezclabilidad del aceite. A medida que el aceite circula con el refrigerante, está presente en el evaporador y condensador del sistema. Si los dos fluidos se mezclan adecuadamente, el aceite es llevado de regreso al depósito del compresor. Si el refrigerante y aceite no se mezclan adecuadamente, problemas de operación pueden ocurrir, ya que el aceite se puede acumular en el condensador o evaporador. Aceite sin mezclar en el intercambiador de calor, puede reducir la tasa de transferencia de calor y reducir el flujo de refrigerante. También en aplicaciones de baja temperatura, el aceite se puede congelar cerca del dispositivo de expansión y causar problemas de operación.

Una mezcla refrigerante es hecha de dos o más componentes, ya que cada componente tiene diferentes propiedades, el punto al cual el aceite lubricante sea capaz de mezclarse con cada uno será diferente. Para sistemas que tengan una pequeña carga de refrigerante comparada con el volumen de aceite, estas diferencias pueden influenciar las propiedades físicas de la mezcla y afectar negativamente la operación del sistema.

Hay diferentes tipos de lubricantes usados en sistemas de refrigeración. Los más comunes son: aceite mineral; alquilbenceno (AB); mezcla de alquilbenceno con aceite mineral (AB/MO); lubricante de poliol éster (POE).

4.3.1 Aceite minerales

Aceite mineral altamente refinado ha sido usado tradicionalmente con sistemas que utilizan refrigerantes CFC y HCFC.

Ya que los refrigerantes HFC tienen diferentes propiedades, el aceite mineral no puede ser usado con estos refrigerantes, ya que la mezclabilidad y solubilidad para refrigerantes HFC y aceite minerales es diferente a la existente con refrigerantes CFC y HCFC. Los aceite minerales y refrigerantes HFC no pueden ser usados juntos, ya que el retorno de aceite al compresor, la transferencia de calor en el condensador y evaporador se ven afectados negativamente.

4.3.2 Alquilbenceno (AB)

Los aceites de alquilbenceno han sido introducidos en años recientes, AB es una parte aceites sintéticos y una parte aceites naturales.

Marcas específicas de AB han sido recomendadas para ser utilizadas en mezclas con aceite mineral, cuando se utilizan las mezclas interinas, como R-401A, R-401B, R-402A y R-408A (MP-39, MP-66, HP-80 y FX-10).

4.3.3 Mezcla de alquilbenceno con aceite mineral (AB/MO)

Otro lubricante común es la mezcla de alquilbenceno con aceite mineral (AB/MO). Si esta mezcla va a ser usada en una situación de conversión, todo el aceite mineral existente debe ser evacuado antes de que el sistema vuelva ser cargado con estos productos. Esto es hecho con la intención de que el aceite tenga un mínimo de 50% de alquilbenceno. Específicamente las mezclas interinas R-401A y R-402A requieren un mínimo de 50% de alquilbenceno en el sistema para estar seguros de que el aceite circula adecuadamente con el refrigerante y asegurar el retorno adecuado del aceite. Una vez que se cambie el aceite es suficiente. AB/MO es aceptable con los refrigerantes CFC tradicionales, preferido con refrigerantes HCFC pero no aceptable con refrigerantes HFC.

4.3.4 Lubricantes de poliol éster (POE)

Los lubricantes de poliol éster son típicamente usados con refrigerantes HFC. POE han sido usados como lubricantes de motores de jet por muchos años debido a que tienen un rango muy amplio de operación de temperatura, son bastante estables y lubrican bien.

Los aceites de poliol éster pueden ser mezclados con aceites minerales cuando son usados en sistemas con refrigerantes tradicionales o mezclas interinas. Son compatibles con refrigerantes tradicionales como R-12, R-22 o R-502.

Muchos POE tienen una excelente mezclabilidad con refrigerantes HFC y aceites de refrigeración convencionales.

POE son derivados de muchas sustancias, lo que quiere decir que sus propiedades físicas y composición puede variar ampliamente dependiendo de lo que es usado exactamente para fabricarlos. También, los POE requieren de aditivos para mejorar su operación. Los paquetes aditivos contienen componentes de recubrimiento de metal, para evitar el desgaste del sistema y prevenir la corrosión. Cuando los POE se utilizan con refrigerantes HFC, aditivos especiales son necesarios para la estabilidad, los diferentes fabricantes de compresores recomiendan diferentes fórmulas.

Los sistemas con refrigerantes HFC no toleran ni en mínimas cantidades el aceite mineral. Cuando un sistema existente es convertido para usar refrigerante HFC, el aceite mineral debe ser removido y sustituido por POE para tener una mezclabilidad aceptable entre el refrigerante HFC y el lubricante. La cantidad máxima aceptable de aceite mineral residual es de 5% o menos. Para alcanzar esta concentración se requieren de 3 a 5 cambios de aceite en un periodo de varias semanas.

Para conversiones de R-12 a R-134a los POE son necesarios. Cualquier residuo de aceite mineral puede ser removido mediante el lavado del sistema con POE. Cualquier cantidad pequeña de R-12 que pudiera permanecer en el sistema tendrá un efecto mínimo en el funcionamiento del refrigerante y lubricante. Los POE no deben ser usados como lubricantes en los sistemas de refrigeración de amoníaco.

Los POE son bastante higroscópicos, lo que quiere decir que dada la oportunidad absorberán agua. Esta característica hace que se tenga un manejo especial para estar seguros de que humedad en exceso no entre al sistema. Si se da el caso en que mucha humedad entra al sistema y por lo tanto se mezcle con el aceite, existe el riesgo de formación de ácidos, que pudiera atacar a los componentes del sistema. POE usado junto a algunos refrigerantes, a menudo liberarán depósitos que se han acumulado en el sistema debido al desgaste del compresor y motor y de contaminantes externos que han entrado al sistema durante el servicio u otra manera. Estos factores podrían causar problemas en sistemas convertidos. Los depósitos son disueltos y recolectados en la válvula de expansión, y pueden llegar a bloquear el flujo de refrigerante. Ambos problemas, absorción de humedad y bloqueo de la válvula, pueden ser prevenidos colocando un filtro secador apropiado en la línea de líquido.

Tabla XV. Lubricantes apropiados para varios refrigerantes

Tipo de refrigerante	Lubricante apropiado		
R-11		AB	MO
R-12	POE	AB	MO
R-22	POE	AB	MO
R-123		AB	MO
R-134a	POE, PAG*		
R-401A	POE	AB	
R-401B	POE	AB	
R-401C	POE	AB	
R-402A	POE	AB	MO
R-402B	POE	AB	MO

continuación

Tipo de refrigerante	Lubricante apropiado		
	POE	AB	MO
R-403B	POE	AB	MO
R-404A	POE		
R-407A	POE		
R-407B	POE		
R-407C	POE		
R-410A	POE		
R-500	POE	AB	MO
R-502	POE	AB	MO
R-503	POE	AB	MO
R-507A	POE		
R-717			MO

Fuente: Andrew Althouse, *Modern refrigeration and air conditioning*, pag. 362

*PAG: usado principalmente en la industria automotriz. POE= poliol éster. AB= alquilbenceno. MO= aceite mineral. PAG= glicol polialcalino.

4.4 Métodos de recuperación de refrigerantes

Debido a los tratados que existen en el ámbito internacional, y que prohíben que los refrigerantes CFC sean liberados en la atmósfera. Se han desarrollado métodos de recuperar, reciclar y regenerar estos refrigerantes. En la industria se han adoptado definiciones específicas para estos términos.

4.4.1 Recuperación de refrigerante

Recuperación de refrigerante quiere decir que el refrigerante va a ser removido en cualquier condición en que se encuentre, de un sistema ya sea de una manera activa o pasiva y almacenado en un contenedor exterior sin necesidad de procesarlo o examinarlo de ninguna manera para poder volverlo usar, reciclar, regenerar o transportarlo.

La recuperación pasiva es recuperar refrigerante de un sistema empleando la presión interna del sistema y/o el compresor del sistema como un ayudante del proceso de recuperación, para bombear el refrigerante hacia un cilindro de recuperación. El equipo utilizado para la recuperación pasiva normalmente no debe de ser utilizado con sistemas que contengan más de 15 libras de refrigerante.

El método más común de remover refrigerante de un sistema es el método activo, que se realiza a través del uso de máquinas certificadas conocidas como unidades de recuperación, las cuales incluyen un compresor. Estas máquinas son capaces de remover líquido y vapor del sistema. El primer paso es el de remover el refrigerante en estado líquido para incrementar la eficiencia de la recuperación de refrigerante. Una temperatura ambiental alta facilita también la recuperación de refrigerante debido a la alta presión de vapor interna del sistema.

4.4.2 Reciclaje de refrigerante

El reciclaje de refrigerante se refiere a limpiar el refrigerante para poder volverlo a utilizar. La cantidad de contaminantes es reducida por separación de aceite, remoción de agentes no condensables, o por procesos de etapa sencilla o múltiple, que remueven humedad, acidez, y partículas contaminantes. El reciclaje es efectuado por lo regular en el sitio de servicio o en un taller.

La mayoría de contaminantes del sistema están atrapados en la carga de aceite del compresor. Aunque muchos de estos contaminantes se mantienen dentro de los componentes del sistema, partículas contaminantes, lodos y ácidos orgánicos son removidos cuando el aceite es separado del refrigerante recuperado. Lo que es dejado dentro del sistema son sólo residuos. Si el compresor es removido mucha de la contaminación del sistema es también removida. A medida que el refrigerante es reciclado en máquinas diseñadas para este propósito, el aceite es separado y el refrigerante es conducido a través de filtros secadores antes de que sea devuelto al cilindro de recuperación.

4.4.3 Regeneración del refrigerante

Regeneración del refrigerante es la acción de procesar el refrigerante removido de un sistema de aire acondicionado o refrigeración, a especificaciones de producto nuevo por cualquier tipo de medios, que pueden incluir la destilación. Este refrigerante debe de ser analizado químicamente para asegurar que las especificaciones propias del refrigerante son cumplidas. Todo el refrigerante regenerado debe estar en cumplimiento del estándar ARI-700 de pureza. Este procedimiento por lo regular se lleva a cabo en instalaciones de procesamiento o fabricación de refrigerante.

Tabla XVI. Estándar ARI-700

Contaminante	Niveles máximos
Acidez	1 ppm por peso
Humedad	De 10 a 20 ppm por peso *
Rango de ebullición	Varia con el refrigerante
Iones de cloruro	Aprobación por medio de prueba especial
Residuo de ebullición alta	0.01 % por volumen
Partículas/sólidos	Aprobación por medio de prueba visual
No condensables	1 ½ % por volumen
Otras impurezas inorgánicas	0.50% por peso

*Varía con el refrigerante

Fuente: ***Delta T solutions, Refrigerant transition & recovery certification program manual for technicians***, pag 105.

El refrigerante reciclado no necesita cumplir con los estándares del refrigerante regenerado. Es por los diferentes niveles de pureza requeridos que

- El refrigerante reciclado puede ser usado de nuevo en las mismas máquinas que pertenezcan al mismo dueño.
- El refrigerante regenerado puede ser vendido a un nuevo propietario y ser usado en un sistema completamente diferente de máquinas.

CONCLUSIONES

1. Los nuevos refrigerantes obligarán a las empresas a tomar tres decisiones básicas en cuanto a sus sistemas de aire acondicionado o refrigeración: conservación del equipo y refrigerante CFC existente, conversión del equipo y refrigerante CFC existente a refrigerantes HCFC o HFC y adquisición de equipo nuevo diseñado para utilizar nuevos refrigerantes.
2. La conservación del equipo y refrigerante CFC ya existente, es una solución a corto plazo, ya que estos refrigerantes han dejado de ser producidos desde hace varios años, lo que implica que en estos momentos las cantidades de refrigerante CFC son limitadas y dejarán de existir en un futuro. Es mejor tomar una de las opciones restantes, para no incurrir en gastos innecesarios y que con el tiempo se tenga de cualquier modo que convertir el equipo existente o adquirir equipo nuevo, por la falta de refrigerantes CFC.
3. La conversión de equipo de aire acondicionado o refrigeración se hace con la finalidad de utilizar refrigerantes que no sean reductores de la capa de ozono o que influyan lo menos posible en el calentamiento global.
4. Las opciones básicas para convertir equipo y refrigerante CFC existente, son dos: conversión a refrigerantes HCFC y conversión a refrigerante HFC. El tipo de opción que se elija dependerá de la situación específica de aplicación del sistema convertido.

5. La conversión del equipo y refrigerante CFC existente implica gastos, ya que no existe un refrigerante alternativo el cual pueda ser usado en un equipo existente sin que a éste se le realice algún tipo de cambio.

6. La adquisición de equipo nuevo implica costos adicionales a la compra misma del equipo, ya que la mayoría de estos equipos por estar diseñados para nuevos refrigerantes, requieren de mayor mantenimiento al contar con tecnología y equipos creados para el mejor aprovechamiento de las características de los nuevos refrigerantes. Estos costos sin embargo, son recuperables ya que esta tecnología da por resultado ahorros en energía y mayor eficiencia de los equipos.

RECOMENDACIONES

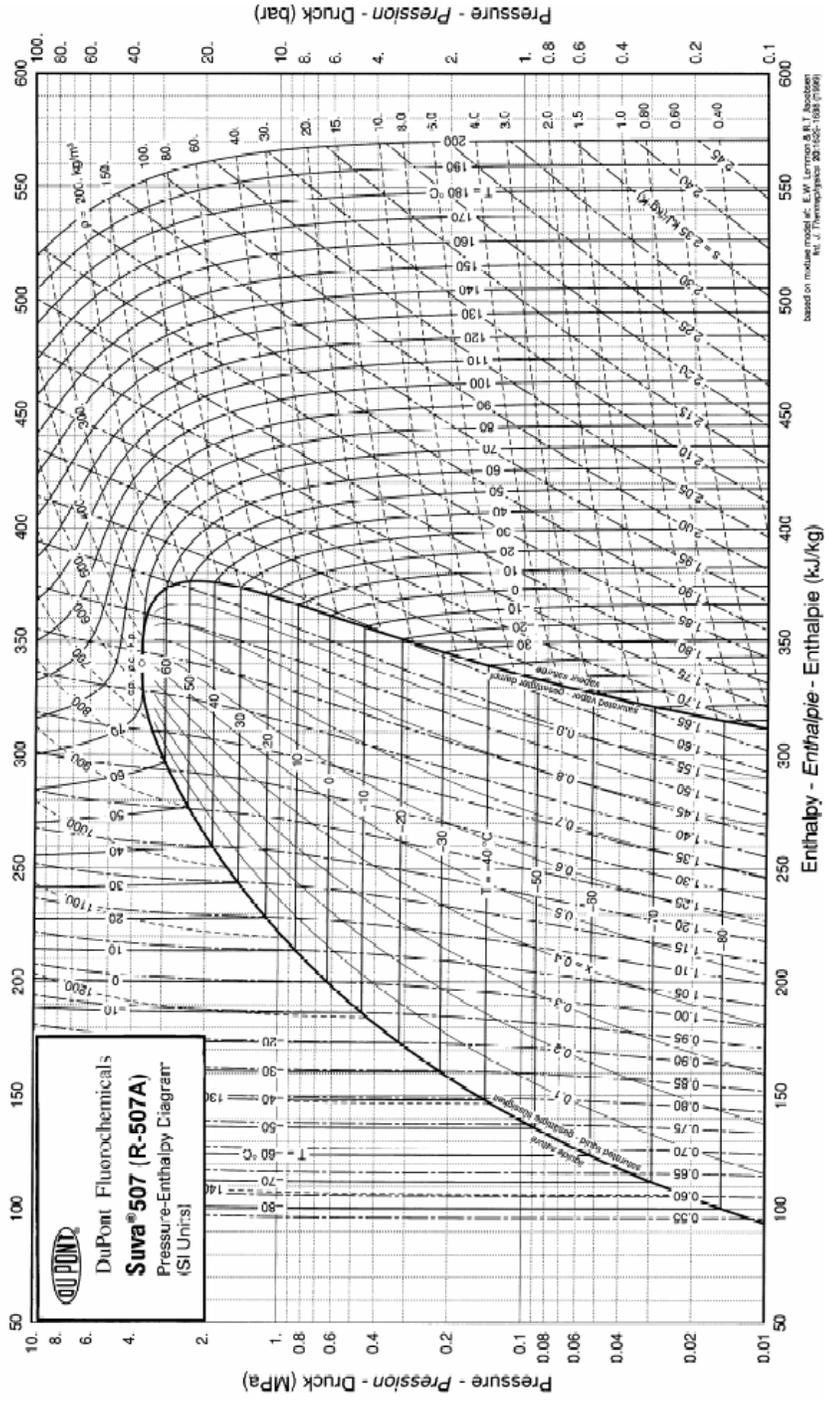
1. Cuando se seleccione equipo nuevo de aire acondicionado o refrigeración, en lo posible debe de tratarse de escoger un refrigerante sin contenido de cloro (HFC), ya que de esta manera se evitan gastos posteriores de conversión y al mismo tiempo se obtiene una solución permanente al problema de suministro de refrigerante CFC.
2. El problema de sustituir un refrigerante CFC por un refrigerante HCFC o HFC no tiene una fácil solución, así que en muchos casos lo mejor es consultar al fabricante del equipo que se piensa convertir o a una persona especializada en conversión de equipos de aire acondicionado o refrigeración.
3. Al escoger refrigerantes alternativos con estructura molecular HCFC, se debe ser cuidadoso ya que estos refrigerantes en su mayoría dejarán de ser producidos en el año 2030 (algunos de ellos ya han sufrido restricciones en cuanto a cantidad producida y dejarán de ser producidos antes de dicho año), y se pueden correr riesgos innecesarios como lo son: escasez o falta total del refrigerante, precios muy altos debido a poca producción y gran demanda.
4. Cuando se tenga equipo que utiliza refrigerantes CFC, hay revisar que no hallan fugas existentes en el sistema de aire acondicionado o refrigeración, ya que la liberación de estos refrigerantes a la atmósfera está prohibida por tratados internacionales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Althouse, Andrew et. al. ***Modern Refrigeration and Air Conditioning***. E.E.U.U.: The Goodheart-Wilcox Company, INC. , 2000.
2. ARI. “*Results for R-502 alternatives*”. **AREP**. (E.E.U.U.) s.a.
3. Carrier y United Technologies. “*Technological Leadership*”. s.l. s.a.
4. Delta T. Solutions. ***Refrigerant Transition & Recovery Certification Program Manual for Technicians***. E.E.U.U.: Delmar Publishers, 2001.
5. Dossat, Roy y Horan, Thomas. ***Principles of Refrigeration***. 5ª ed. E.E.U.U.: Prentice Hall, 2002.
6. Hayner, Anne. “*Planing to move to alternatives*”. **Engineered Systems**. s.l.: abril 1993.
7. Miller, Katharine et. al. ***Strategies for managing ozone-depleting refrigerants: confronting the future***. E.E.U.U.: Battelle Press. 1995.
8. Smithart, Eugene y Crawford, James. “*R-123: A balanced selection for low pressure systems*” **ASHRAE Journal**. (E.E.U.U.): mayo 1993.
9. Whitman, William et. al. ***Tecnología de refrigeración y aire acondicionado***. s.l.: Boixareu Editores, 1997.

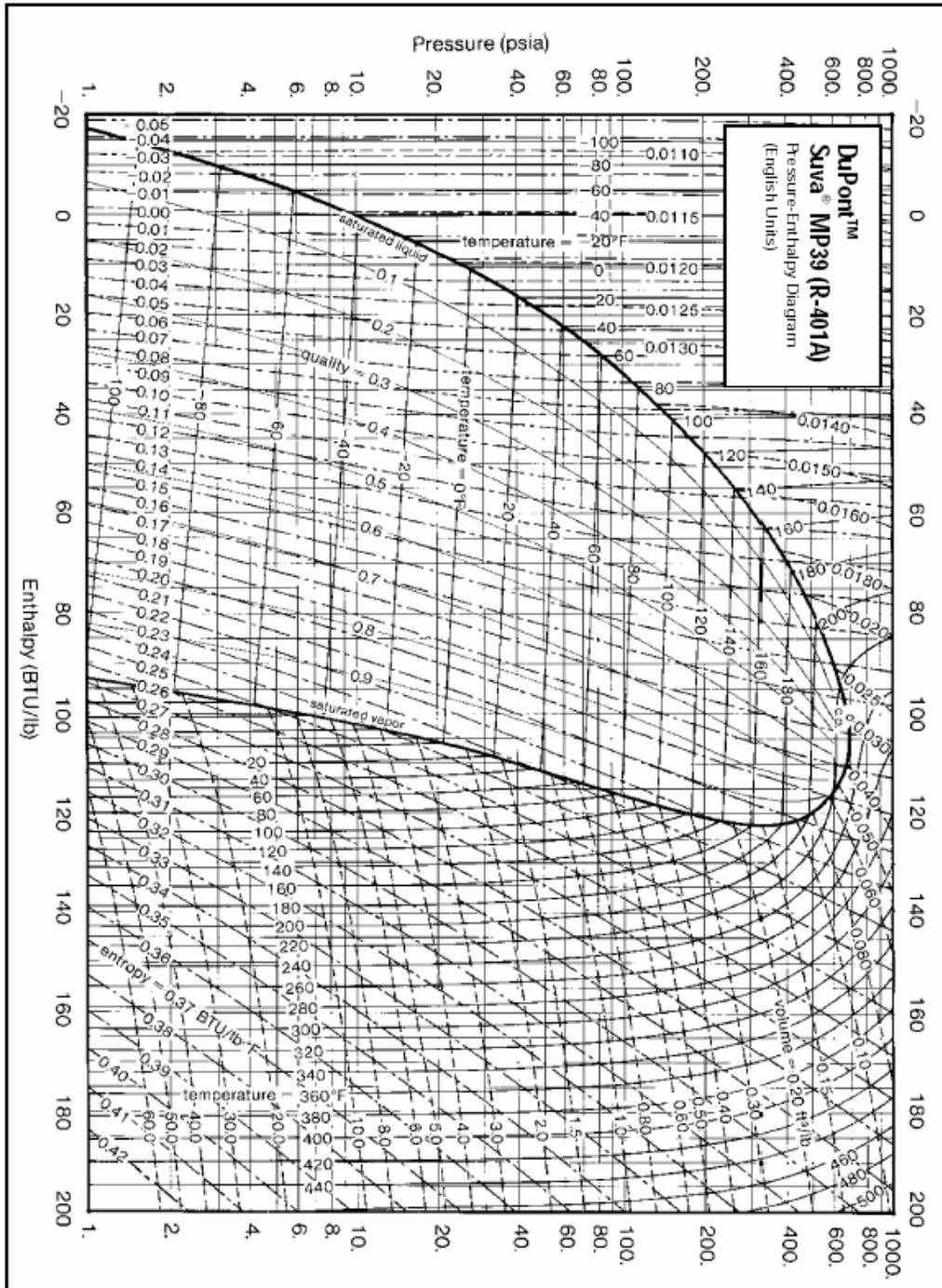
ANEXOS

Figura 6. Diagrama de presión-entalpía del refrigerante 507



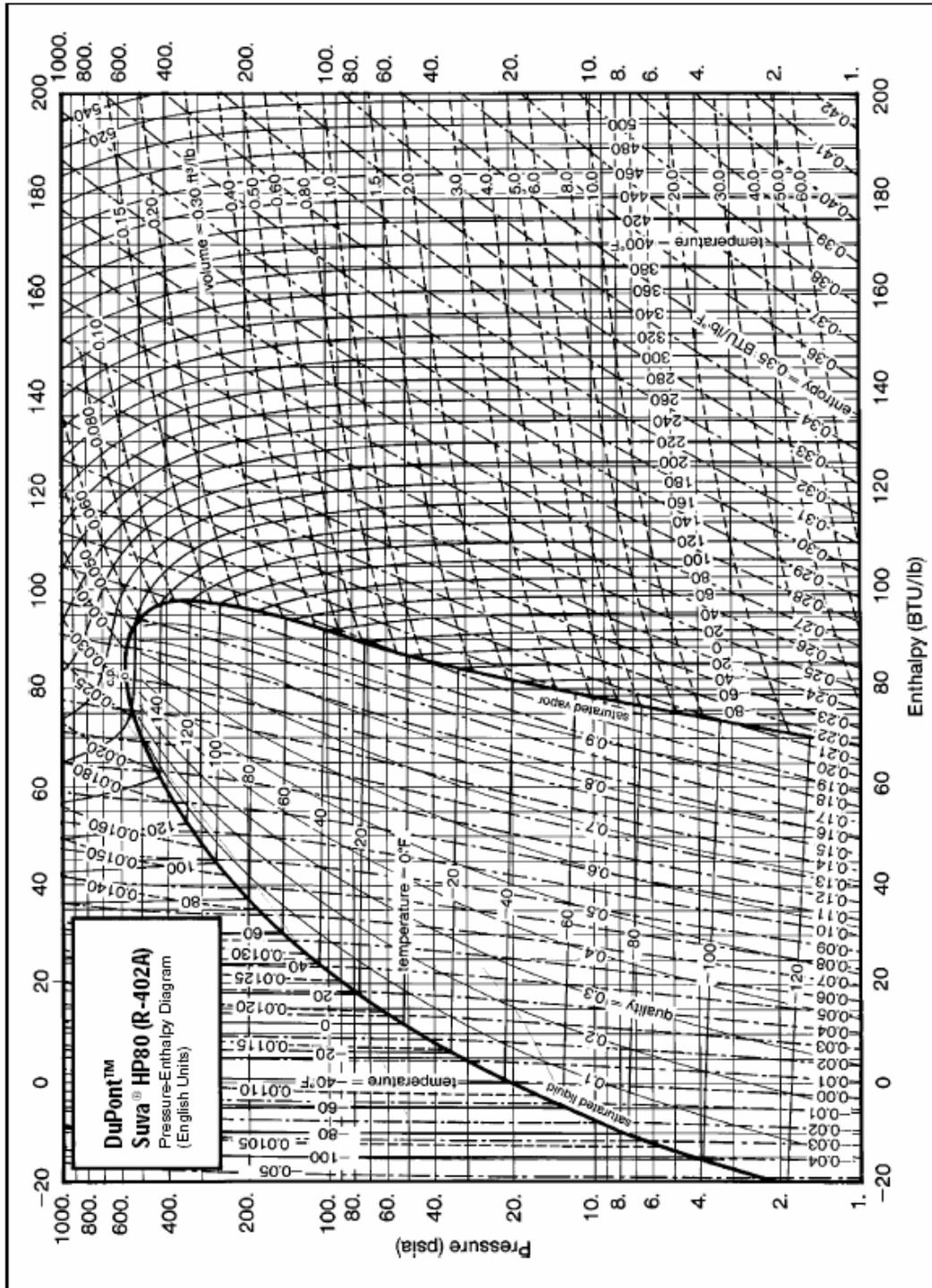
Fuente www.dupont.com

Figura 7. Diagrama de presión entalpía del refrigerante 401A



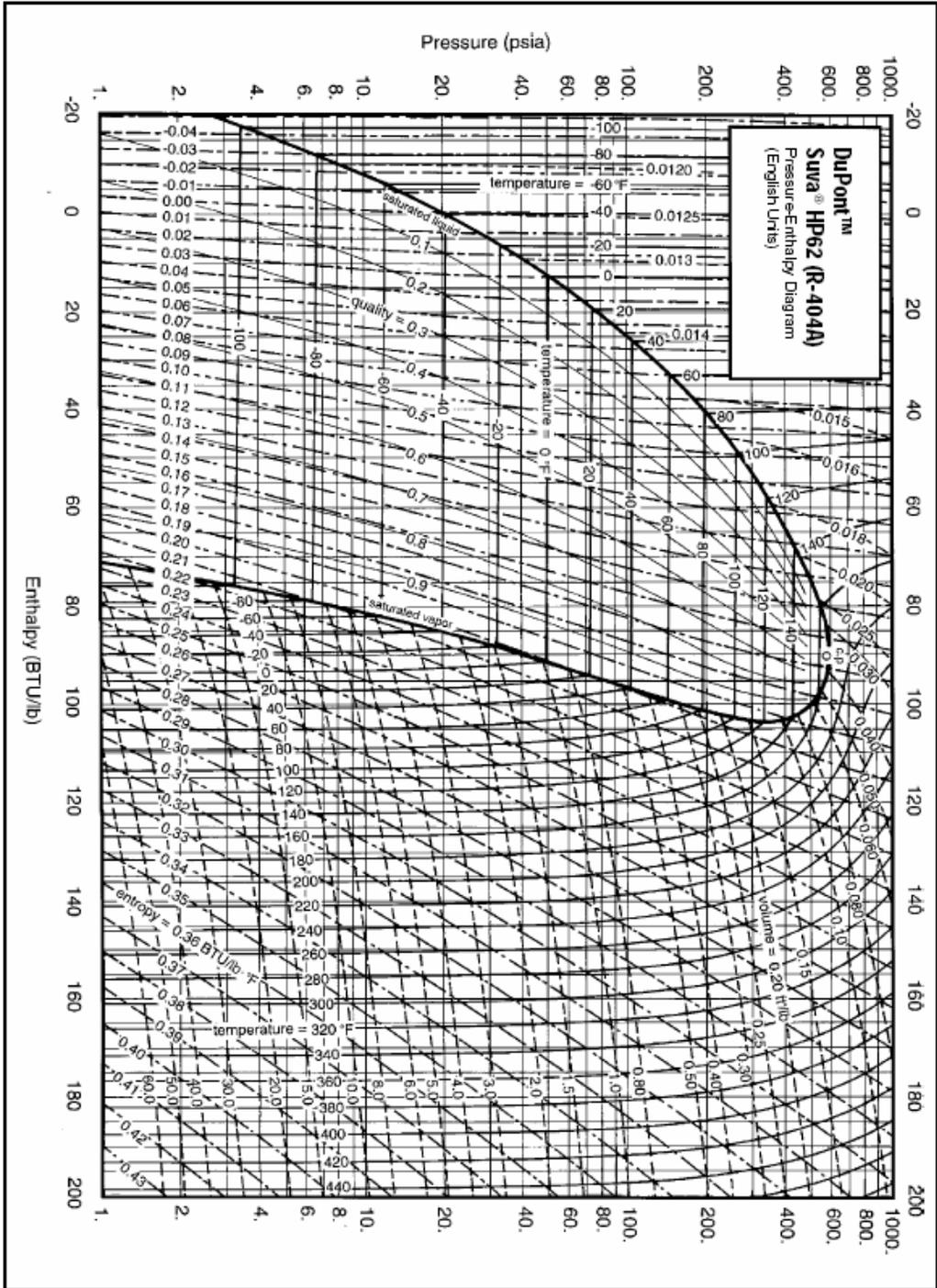
Fuente www.dupont.com

Figura 8. Diagrama de presión-entalpía del refrigerante 402A



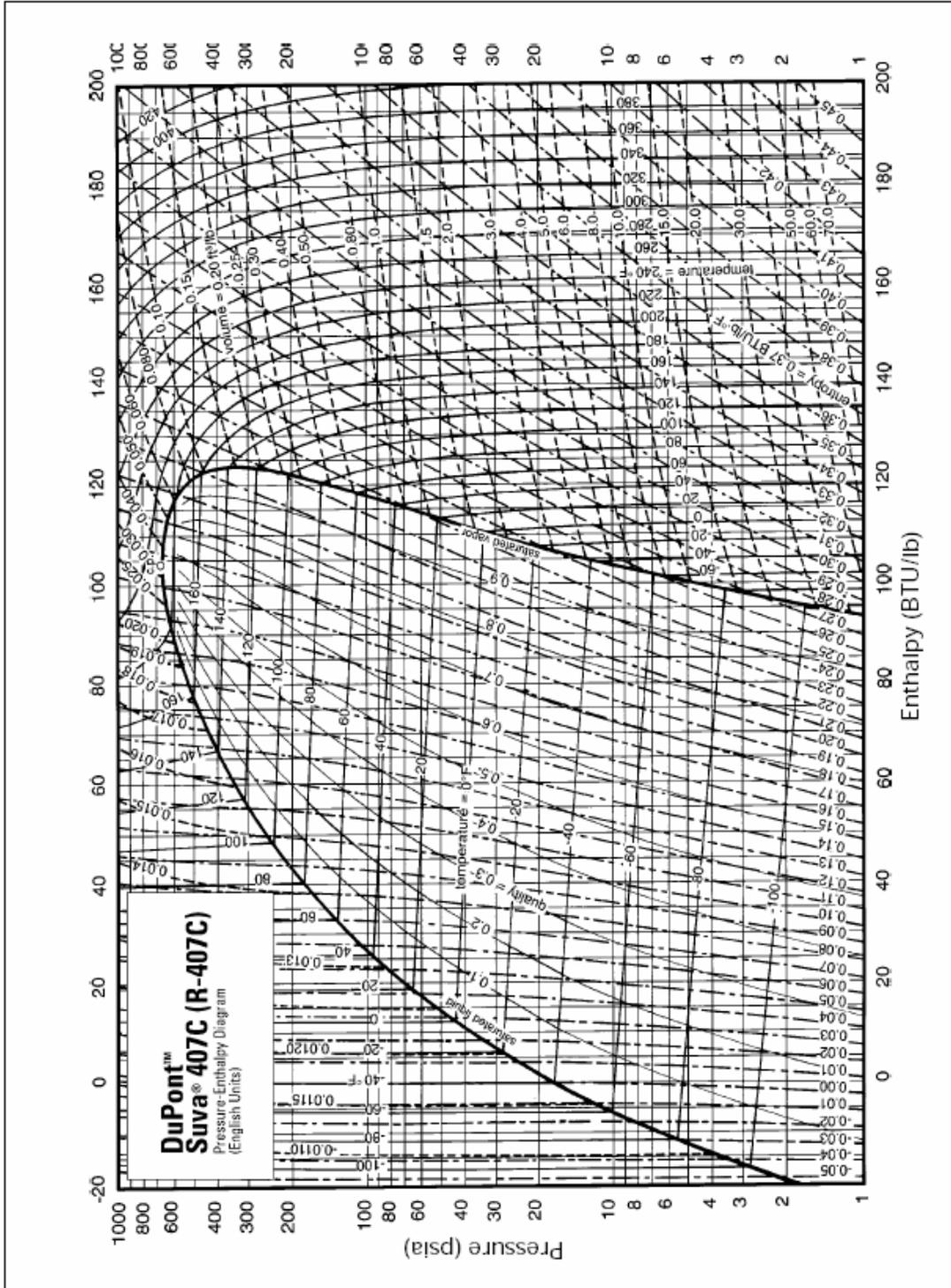
Fuente www.dupont.com

Figura 9. Diagrama de presión-entalpía del refrigerante 404A



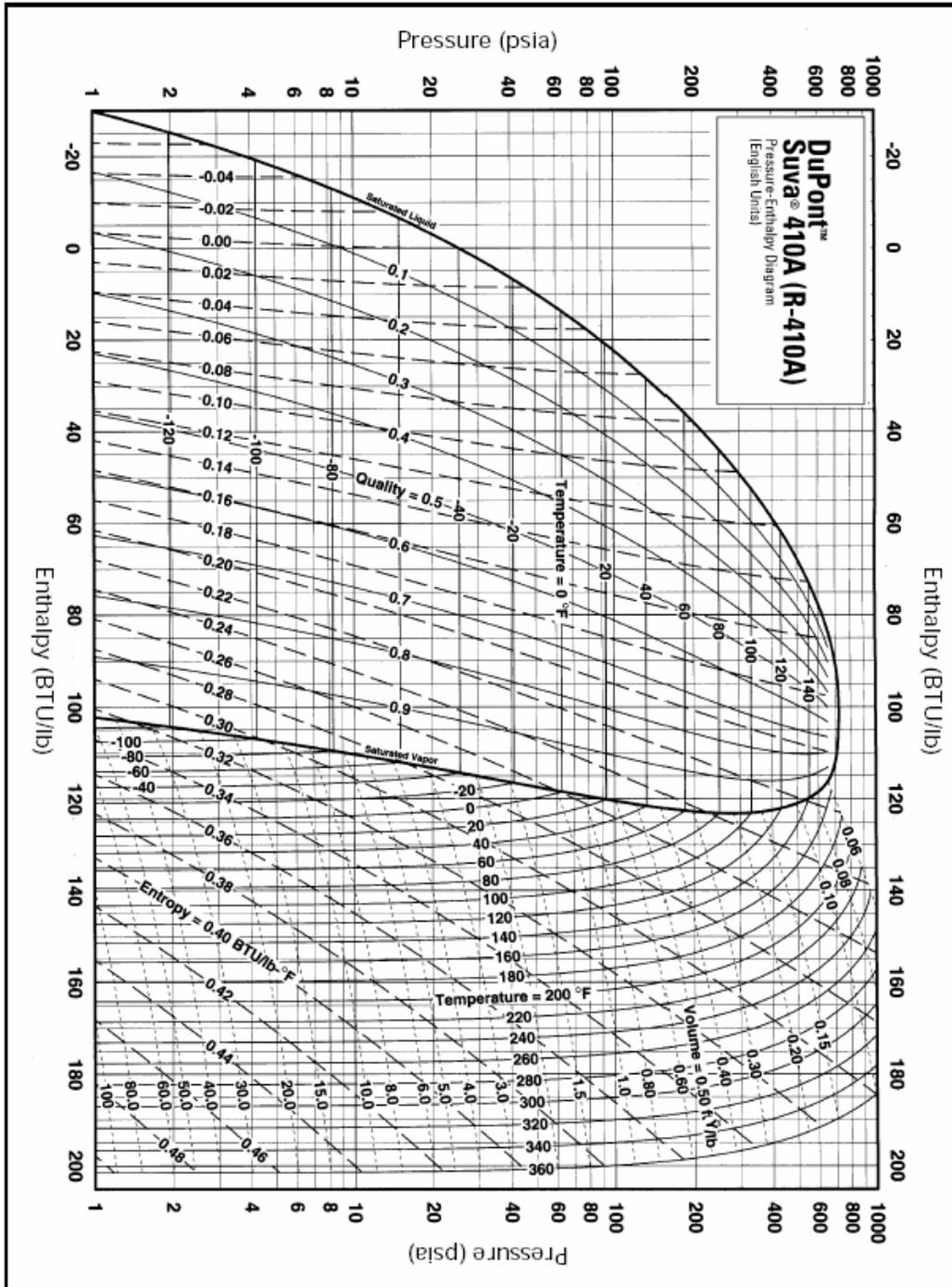
Fuente www.dupont.com

Figura 10. Diagrama de presión-entalpía del refrigerante 407C



Fuente www.dupont.com

Figura 11. Diagrama de presión-entalpía del refrigerante 410A



Fuente www.dupont.com

Tabla XVII. PROPIEDADES DE LOS REFRIGERANTES

Número de refrigerante	R-11	R-123	R-12	R-134a	R-401A	R-22
Reemplaza	--	R-11	--	R-12	R-12	--
Fórmula química/composición	CCL ₃ F	CHCL ₂ CF ₃	CCl ₂ F ₂	CH ₂ FCF ₃	R22/R152a/R124 53/13/34 % peso	CHClF ₂
Peso molecular	137.58	152.93	120.93	102.3	94.4	86.47
Punto de ebullición a 1 atm, °F(°C)	74.87 (23.81)	82 (27.8)	-21.62 (-29.79)	-15.7 (-26.5)	-27.3 (-33)	-41.4 (-40.8)
Densidad del líquido a 25° C (77° F) lb/ft ³ (kg/m ³)	92.14 (1476)	91.3 (1463)	81.84 (1311)	75.02 (1210)	74.5 (1194)	74.53 (1195)
Presión de vapor a 25° C (77° F) psia (kPa)	15.3 (105.5)	13.24 (91.29)	94.6 (652.1)	96 (661.9)	112.1 (772.9)	151.4 (1043)
Capacidad térmica del líquido a 25° C (77° F)	0.208 (0.871)	0.235 (0.984)	0.232 (0.971)	0.339 (1.42)	0.310 (1.3)	0.296 (1.24)
Capacidad térmica del vapor a 1 atm y 25° C (77° F) Btu/lb°F (kJ/kgK)	0.142 a 100°F (0.595 a 38° C)	0.172 (0.72)	0.145 (0.617)	0.204 (0.854)	0.176 (0.737)	0.157 (0.657)
Conductividad térmica del líquido a 25° C (77° F), Btu/hr ft°F (W/m°K)	0.0506 (0.087)	0.0471 (0.081)	0.0405 (0.0743)	0.0478 (0.0824)	0.0517 (0.09)	0.0458 (0.0849)
Conductividad térmica del vapor a 1 atm (101.3 kPa) Btu/hr ft°F (W/m°K)	0.00451 (0.00776)	0.0064 (0.0112)	0.00557 (0.00958)	0.00836 (0.0145)	0.00688 (0.0119)	0.00621 (0.01074)
Temperatura crítica, °F (°C)	388.4 (198)	362.6 (183.7)	233.6 (112)	213.9 (101.1)	226 (108)	205.24 (96.24)
Presión crítica, psia (kPa)	639.5 (4409)	532 (3668)	596.9 (4116)	588.9 (4060)	668 (4604)	722.39 (4981)
Limite de exposición aceptable AEL (8- y 12- hr TWA) ppm	1000 max	50	1000	1000	1000	1000
ODP, CFC-12 = 1	1	0.02	1	0	0.03	0.05
GWP, CO ₂ = 1	4000	93	8500	1300	973	1500
Clasificación ASHRAE de seguridad	A1	B1	A1	A1	A1/A1	A1

Fuente: www.dupont.com

Tabla XVII. PROPIEDADES DE LOS REFRIGERANTES (continuación)

Número de refrigerante	R-502	R-402A	R-404A	R-507	R-407C	R-410A
Reemplaza	---	R-502	R-502, R-22	R-502, R-22	R-22	R-22
Fórmula química/composición	R22/R115 48.8/51.2 % peso	R22/R125/R290 39/60/2 % peso	R125/R143a/R134a 44/52/4 % peso	R125/R143a 50/50 % peso	R32/R125/R134a 23/25/52 % peso	R32/R125 50/50 % peso
Peso molecular	11.64	101.55	97.6	98.9	86.2	72.58
Punto de ebullición a 1 atm, °F(°C)	-49.8 (-45.4)	-56.5 (-49.2)	-51.6 (-46.5)	-52.1 (-46.7)	-46.4 (-43.56)	-60.76 (-51.53)
Densidad del líquido a 25° C (77° F) lb/ft ³ (kg/m ³)	75.95 (1217)	71.86 (1151)	65.45 (1048)	65.36 (1047)	70.8 (1134)	66.32 (1062)
Presión de vapor a 25° C (77° F) psia (kPa)	168.6 (1162)	194 (1337)	182 (1255)	187 (1287)	170.3 (1174)	239.7 (1653)
Capacidad térmica del líquido a 25° C (77° F)	0.293 (1.23)	0.328 (1.37)	0.367 (1.54)	--	0.367 (1.54)	0.44 (1084)
Capacidad térmica del vapor a 1 atm y 25° C (77° F) Btu/lb°F (kJ/kgK)	0.164 (0.687)	0.181 (0.758)	0.207 (0.867)	--	0.198 (0.829)	0.199 (0.833)
Conductividad térmica del líquido a 25° C (77° F), Btu/hr ft°F (W/m°K)	0.0373 (0.0642)	0.04 (0.0691)	0.0394 (0.0683)	--	0.0455 (0.0819)	0.0511 (0.0886)
Conductividad térmica del vapor a 1 atm (101.3 kPa) Btu/hr ft°F (W/m°K)	0.0067 (0.0115)	0.00732 (0.01266)	0.00778 (0.01346)	--	0.00758 (0.01314)	0.00772 (0.01339)
Temperatura crítica, °F (°C)	179.9 (82.2)	167.9 (75.5)	161.7 (72.1)	159.6 (70.9)	188.13 (86.74)	161.83 (72.13)
Presión crítica, psia (kPa)	591 (4075)	599.7 (4135)	541.2 (3732)	550 (3794)	669.5 (4619)	714.5 (4926.5)
Limite de exposición aceptable AEL (8- y 12- hr TWA) ppm	1000	1000	1000	1000	1000	1000
ODP, CFC-12 = 1	0.307	0.02	0	0	0	0
GWP, CO ₂ = 1	5494	2250	3260	3300	1526	1725
Clasificación ASHRAE de seguridad	A1/A1	A1/A1	A1/A1	A1/A1	A1/A1	A1/A1

Fuente: www.dupont.com