



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

DIFERENCIAS ENTRE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN QUE UTILIZAN  
REFRIGERANTES CONVENCIONALES Y LOS QUE UTILIZAN REFRIGERANTES  
ECOLÓGICOS Y ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA MOLECULAR DE LOS  
REFRIGERANTES.

Juan Carlos Ríos Hernández  
Asesorado por Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta

Guatemala, mayo de 2004.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DIFERENCIAS ENTRE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN QUE UTILIZAN  
REFRIGERANTES CONVENCIONALES Y LOS QUE UTILIZAN  
REFRIGERANTES ECOLÓGICOS Y ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA  
MOLECULAR DE LOS REFRIGERANTES.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JUAN CARLOS RÍOS HERNÁNDEZ**

ASESORADO POR ING. FREDY MAURICIO MONROY PERALTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2004.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eliseo Flores Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. José Arturo Estrada Martínez
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:

DIFERENCIAS ENTRE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN QUE UTILIZAN  
REFRIGERANTES CONVENCIONALES Y LOS QUE UTILIZAN  
REFRIGERANTES ECOLÓGICOS Y ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA  
MOLECULAR DE LOS REFRIGERANTES.

Tema que fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 14 de mayo de 2004.

Juan Carlos Ríos Hernández.

## AGRADECIMIENTO

### A

- DIOS: Por iluminarme y darme la fortaleza para alcanzar esta meta.
- MI FAMILIA: Por su apoyo durante mi carrera.
- Silvia Dolores Moreno, por su apoyo y compañía incondicional en todo momento.
- Ing. Estuardo Carrillo, por brindarme su tiempo, conocimientos y apoyo para este proyecto.
- Ing. Fredy Monroy, por su ayuda y asesoría en la concepción de este trabajo.
- Mis compañeros de carrera y amigos, quienes colaboraron en la consecución de esta meta.
- A todas las personas que de una u otra forma me brindaron su apoyo.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VI
LISTA DE SÍMBOLOS.....	X
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XVIII
1. LA REFRIGERACIÓN.....	1
1.1 Procesos en la refrigeración.....	1
1.1.1 El ciclo de refrigeración.....	4
1.1.2 El ciclo de Carnot en la refrigeración.....	5
1.1.3 Función del compresor.....	7
1.1.4 Función del condensador.....	7
1.1.5 Función del evaporador.....	8
1.1.6 Función de la válvula de expansión termostática.....	9
1.2 Principios de la refrigeración.....	10
1.2.1 Leyes termodinámicas en la refrigeración.....	11
1.2.2 Ciclo de Carnot invertido.....	12
1.2.3 Ciclo Brayton invertido.....	14
1.3 Elementos principales de la refrigeración.....	16
1.3.1 El compresor.....	18
1.3.2 El condensador.....	24
1.3.3 El evaporador.....	28
1.3.4 Dispositivos de expansión.....	30

2.	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DE LOS REFRIGERANTES CONVENCIONALES Y ECOLÓGICOS.....	33
2.1	Refrigerantes convencionales.....	33
2.1.1	Historia.....	34
2.1.2	Propiedades químicas.....	35
2.1.3	Características de operación.....	38
2.2	Refrigerantes ecológicos.....	41
2.2.1	Historia.....	42
2.2.2	Propiedades químicas.....	43
2.2.3	Características de operación.....	48
3.	DIFERENCIAS ENTRE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN QUE UTILIZAN REFRIGERANTE CONVENCIONAL Y LOS QUE UTILIZAN REFRIGERANTE ECOLÓGICO.....	55
3.1	Diferencias entre componentes que integran los sistemas de refrigeración convencionales y ecológicos .....	55
3.1.1	Características de los compresores utilizados para sistemas de refrigeración convencionales.....	56
3.1.2	Características de los compresores utilizados para sistemas de refrigeración ecológicos.....	58
3.1.3	Características de los dispositivos de expansión de los sistemas de refrigeración convencionales y ecológicos....	63

3.1.4	Características de la tubería en los sistemas de refrigeración convencionales y ecológicos.....	64
3.2	Diferencias en condiciones de operación entre sistemas de refrigeración convencionales y ecológicos.....	65
3.2.1	Presiones de operación en sistemas de refrigeración convencionales.....	66
3.2.2	Presiones de operación en sistemas de refrigeración ecológicos.....	67
3.3	Rendimiento en sistemas de refrigeración .....	69
3.4	Efectos producidos por el uso de refrigerantes.....	72
3.4.1	Efectos del uso de refrigerantes convencionales.....	75
3.4.2	Efectos del uso de refrigerantes ecológicos.....	77
3.4.3	Efectos nocivos producidos por los refrigerantes....	78
4.	CONSIDERACIONES SOBRE LA CLASIFICACIÓN, MANEJO, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE LOS REFRIGERANTES.....	81
4.1	Asignación del número de refrigerante.....	81
4.2	Clasificación de los refrigerantes de acuerdo al grado de toxicidad e inflamabilidad.....	83
4.3	Etiquetas y marcas.....	85
4.3.1	Colores de los contenedores de refrigerantes.....	87
4.4	Verificación de los contenedores.....	90
4.4.1	Peso del contenedor.....	91
4.5	Transporte.....	92

5.	PLAN DE MANEJO DE LOS REFRIGERANTES .....	93
5.1	Estatutos sobre refrigerantes y medio ambiente.....	93
5.2	Plan de contingencia del uso de refrigerantes.....	95
5.3	Estrategia de adaptación y reemplazo de sistemas de refrigeración convencionales a sistemas ecológicos.....	99
5.4	Recuperación y reciclaje.....	105
5.4.1	Recuperación de refrigerante.....	106
5.4.1.1	Recuperación de refrigerante de baja presión.....	107
5.4.1.2	Recuperación de refrigerante de alta presión.....	110
5.4.2	Reciclaje de refrigerante.....	111
5.4.2.1	Reciclaje de refrigerante de baja presión.....	111
5.4.2.2	Reciclaje de refrigerante de alta presión.....	113
5.4.3	Tiempo de recuperación de los refrigerantes.....	116
5.4.4	Regeneración de refrigerantes.....	117
5.4.5	Pureza de los refrigerantes.....	117
5.4.6	Contenedores para refrigerantes recuperados y / o reciclados.....	118
5.4.6.1	Envases de almacenamiento de refrigerantes.....	119
5.4.6.2	Seguridad del cilindro del refrigerante.....	119

CONCLUSIONES.....	122
RECOMENDACIONES.....	125
BIBLIOGRAFÍA.....	127
ANEXOS.....	129

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Circuito de refrigeración	2
2	Diagrama temperatura-entropía del ciclo de refrigeración	4
3	Diagrama T-S de una máquina térmica de Carnot	6
4	Sistema simple de refrigeración	8
5	Ciclo de Carnot invertido	13
6	Ciclo de Brayton invertido	15
7	Diagrama T-S y de flujo de Brayton invertido	16
8	Componentes del circuito de refrigeración	17
9	Unidad compresora centrífuga	19
10	Compresor rotatorio	20
11	Compresor reciprocante	21
12	Compresor tipo abierto	22
13	Compresor semihermético	23
14	Compresor hermético	24
15	Condensador enfriado por aire	25
16	Condensador enfriado por agua	26

17	Condensador evaporativo	27
18	Evaporador	29
19	Válvula de expansión térmica	31
20	Curva de relación presión -temperatura del R-22	39
21	Curva de relación presión -temperatura del R-134a	44
22	Curva de temperatura - presión entre el R-502 y el R-404a	45
23	Curva de temperatura - presión entre el R-22 y el R-407c	46
24	Curva de temperatura – presión entre el R-410a y el R-22	47
25	Diagrama de la contribución de los CFC's al calentamiento global	75
26	Diagrama de la etiqueta del collar del contenedor	90
27	Dispositivo recuperador de líquido empujar / halar	108
28	Recuperador de vapor	109
29	Proceso de reciclaje	112
30	Reciclaje de baja presión	113
31	Reciclaje de alta presión	114
32	Sistema de pasos múltiples	115
33	Esquema de llenado de un contenedor	121

## TABLAS

I.	Propiedades físicas y químicas de los refrigerantes convencionales	36
II.	Características de operación de los refrigerantes convencionales	40
III.	Propiedades físicas y químicas de los refrigerantes ecológicos	43
IV.	Condiciones de operación de los refrigerantes ecológicos	48
V.	Características de operación del R-134a	49
VI.	Características de operación del R-404a	50
VII.	Características de operación del R407c	51
VIII.	Características de operación del R-410a	52
IX.	Característica físicas y condiciones de operación de los refrigerantes convencionales y ecológicos	53
X.	Características de los compresores convencionales y ecológicos	62
XI.	Diferencias en condiciones de operación de los sistemas convencionales y ecológicos.	68
XII.	Rendimiento de los refrigerantes	71
XIII.	Potencial de destrucción de la capa de ozono, potencial de calentamiento global y tiempo de vida en la atmósfera de los refrigerantes	74
XIV.	Grado de toxicidad e inflamabilidad de los refrigerantes	85
XV.	Etiquetas y marcas en los contenedores de los refrigerantes	86

XVI.	Color de contenedores para refrigerantes	88
XVII.	Costo y eficiencia, de acuerdo a las mejoras en el sistema	102
XVIII.	Propiedades físicas de los aceites Capella 32 y 68	129
XIX.	Propiedades físicas de los aceites Poliolester 32 y 68	130

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Bar</b>	$10^5 \text{Kg/m s}^2$
<b>Kg/Kg mol</b>	Peso molecular
<b>P</b>	Presión
<b>PPM</b>	Partes por millón
<b>Psi</b>	Libras fuerza por pulgada cuadrada
<b>S</b>	Entropía
<b>T</b>	Temperatura

## GLOSARIO

<b>Azeotrópico</b>	Mezcla de líquidos caracterizada por poseer un punto de ebullición constante y conservar durante dicha ebullición una composición uniforme.
<b>Bimetálico</b>	Dos metales distintos unidos que se expanden o contraen a temperaturas diferentes causando un efecto de arqueamiento.
<b>Calor latente</b>	Es el calor que sin afectar a la temperatura es necesario adicionar o sustraer a una sustancia para el cambio de su estado físico.
<b>Calor sensible</b>	Es el calor empleado en la variación de la temperatura de una sustancia, cuando se le comunica o sustrae calor.
<b>Cambio climático</b>	Se utiliza para referirse a los cambios ambientales de alcance planetario.
<b>Carga</b>	Cantidad específica de refrigerante o aceite, determinada por volumen o peso.
<b>Conducción</b>	Transmisión de calor a través de un sólido.

<b>Convección</b>	Transferencia de calor efectuada por medio de la circulación de un vapor o líquido.
<b>Efecto invernadero</b>	Fenómeno que se caracteriza por la elevación paulatina de la temperatura terrestre debido a la acumulación de gases tóxicos como el dióxido de carbono, metano y otros, procedentes, en su mayoría, de las combustiones industriales. El efecto se produce al permitir el paso de los rayos solares pero dificultar la dispersión del calor.
<b>Elastómero</b>	Cualquier polímero sintético que presenta en alguna medida las propiedades del caucho, en particular su elasticidad y su flexibilidad.
<b>Energía calorífica</b>	Es la energía liberada por la unidad de peso o de volumen de un fluido.
<b>Frío</b>	El frío no existe por definición. Es simplemente una sensación de falta de calor.
<b>Fosgeno</b>	Se conoce como dicloruro carbónico, es un gas extremadamente tóxico, que en altas concentraciones tiene un olor desagradable e irritante. Se obtiene por reacción de monóxido de carbono y cloro en presencia de un catalizador.

<b>Intercambiador de calor</b>	Dispositivo por medio del cual se transfiere calor de un líquido a otro, obedeciendo al principio que establece que el calor fluirá a un objeto menos caliente.
<b>Miscible</b>	Fluido capaz de mezclarse con otros para formar sustancias homogéneas.
<b>Proceso isotérmico</b>	Es en el que la temperatura del gas se mantiene constante, esto se logra manteniendo el gas en contacto con una fuente externa de calor.
<b>Proceso adiabático</b>	Es en el que se produce una caída de presión sin que se efectúe ningún trabajo.
<b>Proceso isoentrópico</b>	Es en el que se suponen nulas las pérdidas de transmisión de calor, así como los efectos producidos por los rozamientos.
<b>Punto de ebullición</b>	Temperatura a la que un líquido empieza a hervir a una presión dada.
<b>Radiación</b>	Transmisión de calor de una sustancia a otra atravesando sustancias intermedias, pero sin calentarlas.

**Refrigeración por absorción**

En ésta, una llama de gas calienta una disolución concentrada de amoníaco en agua. El amoníaco se desprende en forma de vapor y pasa a un condensador. Allí se licúa y fluye hacia el evaporador. Luego el amoníaco gaseoso se reabsorbe en la disolución diluida y parcialmente enfriada, para formar de nuevo una disolución concentrada de amoníaco.

**Refrigerante**

Compuesto químico utilizado en un sistema de refrigeración para producir el enfriamiento que se desea obtener.

**Serpentín**

Componente en la parte exterior de un sistema de aire acondicionado. Es el encargado de convertir el refrigerante de su estado gaseoso a líquido nuevamente. Al hacer esto, el calor contenido en el refrigerante es expulsado al exterior.

**Transductores**

Dispositivo al que se aplica una energía de entrada y devuelve una energía de salida; esta energía de salida suele ser diferente al tipo de energía de entrada.

## RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se exponen temas de refrigeración, como sus principios básicos y mecánicos, así como los dispositivos necesarios para que un sistema de refrigeración cumpla su objetivo. Estos dispositivos tienen algunas variaciones, por lo que existen diversos tipos de cada uno, los cuales también se detallan.

Se describen las diferencias entre componentes de los sistemas que utilizan refrigerantes convencionales y ecológicos. Algunos componentes pueden utilizarse para ambos tipos de sistemas, por ejemplo la tubería, de la cual se analizan los tipos que existen y las medidas manufacturadas. Se exponen las diferencias de condiciones de operación de ambos sistemas y su rendimiento general, así como las condiciones bajo las cuales realizan la refrigeración y si ésta es de buena calidad o no.

Se detallan los efectos que tienen el uso de los refrigerantes en los seres humanos y el medio ambiente. Además, se detallan algunos parámetros importantes, no sólo en el uso, sino, en la instalación de los sistemas, así como en la ubicación de los mismos, dentro de un edificio. Se analizan las propiedades químicas y físicas de los refrigerantes y se hace una reseña histórica de su evolución y en algunos casos su desaparición.

Por último se desarrolla un plan de manejo de refrigerantes, donde se describen normas morales y legales que debe tener una empresa que posee sistema de refrigeración. Se analiza el costo de la adaptación o reemplazo de los sistemas ya existentes, para cumplir con las normas internacionales de poca o ninguna contaminación y evitar así la degradación de la capa de ozono y / o el calentamiento global o efecto invernadero. Se describen las normas de clasificación, almacenamiento y transporte de los refrigerantes.

# OBJETIVOS

## General

Realizar un análisis de las diferencias entre sistemas de refrigeración que utilizan refrigerantes convencionales y ecológicos, así como establecer las propiedades químicas y físicas de los refrigerantes, tanto convencionales como ecológicos.

## Específicos

1. Establecer las diferencias entre componentes de sistemas de refrigeración convencionales y ecológicos.
2. Determinar las diferencias en las condiciones de trabajo entre sistemas de refrigeración convencionales y ecológicos.
3. Dar a conocer las diferencias de contaminación producida por sistemas de refrigeración convencionales y ecológicos.
4. Analizar la estructura molecular y las características de operación tanto de los refrigerantes convencionales y ecológicos.
5. Comparar las características de los refrigerantes ecológicos sobre las de los convencionales.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de refrigeración actuales han innovado su forma de trabajo en gran medida, respecto de los primeros sistemas utilizados. Cada uno de los componentes ha tenido mejoras, tanto de diseño, materiales y en cuanto a su interacción con los demás elementos.

Uno de los principales elementos es el refrigerante, su importancia radica en la capacidad que tiene de generar la ausencia de calor, ayudado, por supuesto, por los dispositivos del sistema.

Los primeros refrigerantes fueron utilizados sin ninguna regulación, a pesar de conocerse su capacidad para destruir la capa de ozono y generar el calentamiento global. El uso de estos fluidos fue observado por los organismos mundiales que velan por la salud del medio ambiente. Muchos estudios fueron realizados al respecto de este tema y se llegó a la conclusión de suspender el uso de éstos en forma progresiva.

En determinado momento se pensó en la prolongación del uso de los refrigerantes, pues las condiciones ambientales no eran tan desfavorables. Luego de posteriores estudios se observó que la degradación de la capa de ozono y el calentamiento global habían avanzado más de lo esperado.

Estas razones impulsaron a los químicos e ingenieros a realizar estudios para encontrar un fluido que cumpliera con los condiciones de refrigeración y no contaminara ni perjudicara la salud de los seres humanos. Esto llevó a la creación de varios químicos, llegando hasta los que hoy se conocen como refrigerantes ecológicos.

Estos refrigerantes además de no dañar el medio ambiente y a los seres humanos, generan mejores condiciones de trabajo, lo que los hace ideales para las exigencias actuales.

En los países desarrollados el uso y producción de los refrigerantes convencionales ya fue prohibido. En contraparte estos refrigerantes todavía están siendo usados en los países subdesarrollados, pacto acordado en las reuniones de Kyoto y en el protocolo de Montreal.

En algunos países todavía se utilizan estos sistemas. Para evitar la contaminación y no desechar los sistemas se debe llevar a cabo un plan de manejo de refrigerantes, para evitar la salida de éstos al medio ambiente.

Además, las normas de manejo, almacenamiento y transporte de contenedores o cilindros, con este tipo de químicos, se han vuelto más estrictas, evitando así la contaminación accidental, como daños a la salud de los trabajadores que realizan esta labor.

# 1. LA REFRIGERACIÓN

## 1.1. Los procesos de la refrigeración

La refrigeración es una forma de transferencia térmica que incluye tanto la producción como la utilización de temperaturas bajas en comparación a la del ambiente, en distintos procesos. Las sustancias se enfrían cuando transfieren su calor hacia medios sólidos, líquidos o gaseosos, los cuales están natural o artificialmente más fríos.

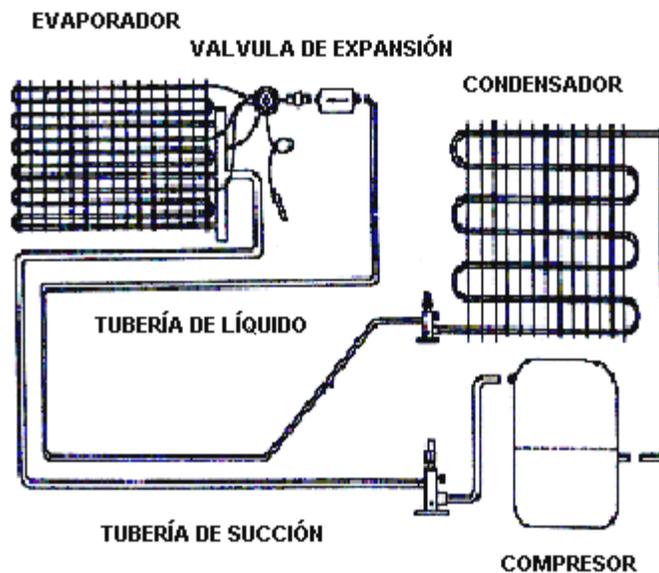
Teóricamente, casi cualquier líquido estable no corrosivo puede usarse como refrigerante si es apropiado para las condiciones deseadas de presión y temperatura.

En la figura 1 se muestran los elementos de un sistema de refrigeración por compresión. Al inicio del ciclo el refrigerante se encuentra en estado líquido a una presión y temperatura relativamente altas. Luego cambia de estado al pasar a través de un dispositivo de control de flujo. Con esto el refrigerante pierde presión y ésta llega a ser tan baja que una pequeña porción del refrigerante se evapora pasando al estado gaseoso.

Pero para evaporarse debe ganar calor el cual se toma de la porción del refrigerante que no se evaporó, con lo que se enfría la mezcla produciendo la baja temperatura. Luego, el fluido frigorífico pasa a través de un intercambiador de calor llamado evaporador, el cual tiene dos circuitos: uno por el que circula el refrigerante y otro por el que circula el fluido a enfriar, que generalmente es aire o agua.

El fluido a enfriar está a mayor temperatura que el refrigerante y por lo tanto le transfiere calor al mismo, con lo que se logra el enfriamiento deseado. El refrigerante hierve debido al calor que recibe en el evaporador y cuando sale de éste, está vaporizado por completo.

**Figura 1. Circuito de refrigeración.**



Fuente: Instituto de refrigeración y aire acondicionado. **Manual de refrigeración y aire acondicionado.** Pág. 89.

Cuando sale del evaporador el fluido frigorífico es un gas a baja temperatura y presión, por lo que para poder usarlo de nuevo y obtener el efecto de evaporación, debe regresar a sus condiciones iniciales. Para lograr esto, primero se debe aumentar la presión del refrigerante gaseoso utilizando un compresor.

Al comprimir el gas también se tiene un aumento de su temperatura. Al salir del compresor el refrigerante está en estado gaseoso a alta presión y temperatura. Para cambiar al estado líquido se debe desechar el calor lo que se logra con un intercambiador de calor conocido como condensador.

El refrigerante pasa a través de uno de los circuitos del condensador, en el otro circuito pasa un fluido de enfriamiento que puede ser aire o agua a menor temperatura que el refrigerante. Con esto el calor se transfiere del refrigerante al fluido de enfriamiento, con lo que el refrigerante se condensa y pasa a estado líquido.

En un sistema de refrigeración, el valor de la presión que se tiene en el evaporador es determinado por la temperatura que se desea mantener en el espacio enfriado.

La presión alta en el condensador es determinada en última instancia por la temperatura disponible del medio enfriador. El proceso se verifica de modo que el refrigerante absorbe calor a baja temperatura y entonces, por la acción de un trabajo mecánico, el refrigerante eleva su temperatura para permitir el rechazo de este calor.

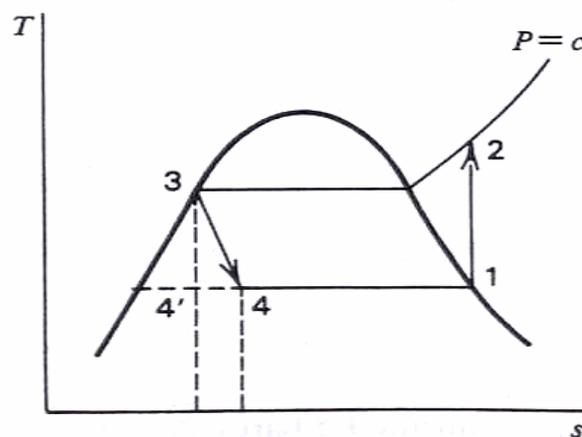
### 1.1.1. El ciclo de refrigeración

Los ciclos de refrigeración realizan cuatro pasos o etapas principales que se describen así:

- Generación de baja temperatura.
- Absorción del calor en el espacio a enfriar.
- Traslado del calor absorbido.
- Disipación del calor absorbido al ambiente.

Al cumplir con las cuatro etapas el refrigerante ha cumplido con el ciclo de refrigeración y vuelve a la fase inicial para repetir el ciclo una y otra vez. Las fases antes descritas son cubiertas idealmente por el ciclo de Carnot invertido tal y como se observa en la figura 2.

**Figura 2. Diagrama de la temperatura-entropía para un ciclo práctico de refrigeración.**



Fuente: Kenneth Wark. **Termodinámica**. Pág 735.

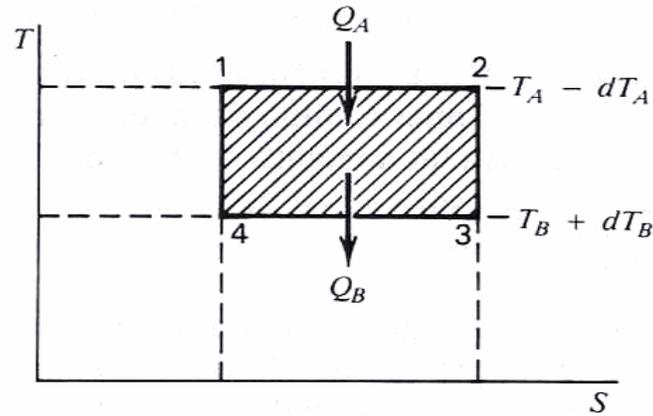
La figura 2 representa un diagrama de temperatura-entropía (T-S) para un ciclo práctico de refrigeración. La diferencia entre las temperaturas del punto de ebullición del refrigerante y de condensación, tiene influencia directa en la potencia mecánica del sistema. Entre menor sea la diferencia, menor será la potencia necesaria y mayor el efecto frigorífico producido.

### **1.1.2 El ciclo de Carnot en la refrigeración**

El ciclo de Carnot que se utiliza en refrigeración es el ciclo de Carnot invertido. A grandes rasgos se puede explicar que el ciclo de Carnot invertido es el que trabaja en forma totalmente reversible entre dos depósitos de calor; para que el ciclo sea totalmente reversible, todos los procesos deben ser internamente reversibles y todos los procesos de transferencia de calor se deben llevar a cabo de manera reversible.

Un ciclo de Carnot, que puede operar ya sea como un sistema de flujo estacionario o como un sistema cerrado, está compuesto por dos procesos isotérmicos reversibles y dos procesos adiabáticos reversibles.

**Figura 3. Diagrama T-S de una máquina térmica de Carnot.**



Fuente: Kenneth Wark. **Termodinámica**. Pág. 308.

1-2

Una expansión isotérmica reversible durante la cual se transfiere el calor  $Q_A$  del depósito de temperatura alta  $T_A$  al fluido de trabajo.

2-3

Una expansión adiabática reversible del fluido hasta que alcanza la temperatura  $T_B$  del depósito a temperatura baja.

3-4

Una compresión isotérmica reversible durante la cual se transfiere la cantidad de calor  $Q_B$  desde el fluido de trabajo hacia el depósito a la temperatura baja  $T_B$ .

4-1

Una compresión adiabática reversible del fluido de trabajo hasta que alcanza la temperatura  $T_A$  del depósito de temperatura alta.

### **1.1.3 Función del compresor**

El compresor tiene varias funciones como la de comprimir un gas y elevar la presión del fluido de trabajo para que pueda ser aprovechado en un determinado proceso. El transporte del gas natural y otros gases, se hace por medio de tuberías.

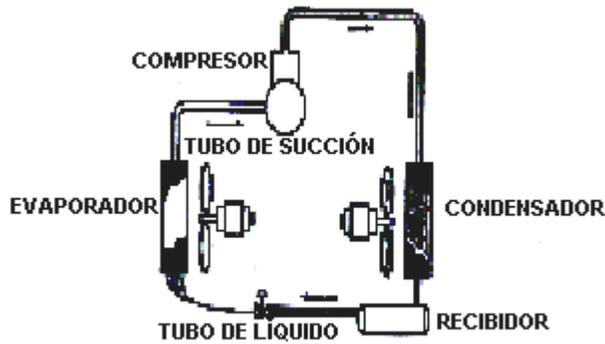
El compresor se utiliza para comprimir aire, que constituye un factor capital en el funcionamiento de taladros, martillos, chorros de arena, pulverizadores y bombas.

### **1.1.4 Función del condensador**

El condensador tiene como función, en un circuito frigorífico, condensar el vapor del refrigerante proveniente del compresor. La evacuación del calor absorbido por las instalaciones de refrigeración se efectúa en condensadores enfriados por aire o bien por agua, los cuales transforman el refrigerante del estado gaseoso al estado líquido como se observa en la figura 4.

En términos técnicos, la función que realiza un condensador es extraer el calor que trae el refrigerante, descargándolo ya sea en el agua de circulación o al aire ambiente. Esta operación se lleva a cabo, en el caso de aire, utilizando ventiladores, los cuales son movidos o impulsados por motores eléctricos haciendo pasar aire a temperatura ambiente por el serpentín extrayendo así el calor del refrigerante que circula por los tubos del serpentín.

**Figura 4. Sistema simple de refrigeración.**



Fuente: Instituto de refrigeración y aire acondicionado. **Manual de refrigeración y aire acondicionado.** Pág. 7.

### **1.1.5 Función del evaporador**

El evaporador tiene la función de sustraer el calor sensible y latente del aire aspirado. La principal función que realiza el evaporador es la extracción del calor ya sea a un líquido, verduras o simplemente a una habitación, recinto o alguna área en particular, ya sea para confort humano o para el acondicionamiento de un cuarto de máquinas.

Los evaporadores llevan a cabo la función de unidades enfriadoras. Los serpentines hacen posible mantener la velocidad apropiada y la caída de presión del refrigerante dentro de los límites definidos.

El evaporador realiza la distribución en forma uniforme del refrigerante, generalmente se coloca un medio de distribución, entre el dispositivo de expansión y las entrada del serpentín, lo que asegura que el refrigerante se distribuya equitativamente entre los alimentadores.

Este dispositivo de distribución debe ser útil tanto para el líquido como para el vapor, debido a que la entrada de refrigerante es una mezcla de los dos. Cuando el aire del espacio a enfriar tiene una temperatura superior a la del refrigerante, se pierde calor y por lo tanto se enfría, con esto entrega la energía calorífica al fluido frigorífico, el cual llega a la temperatura de ebullición, con lo cual pasa del estado líquido al gaseoso, transformándose en vapor.

#### **1.1.6 Función de la válvula termostática**

Este es un dispositivo de control de flujo. Es el dispositivo de restricción de flujo que provoca la caída de presión del refrigerante, regula también el flujo del mismo de acuerdo con la carga y se usa en los evaporadores de expansión seca o directa.

Su función es mantener un sobrecalentamiento constante en la salida del evaporador lo que permite tener el evaporador completamente lleno a cualquier carga y, además, evitar la posibilidad de que entre líquido al compresor. También permite y regula el paso del refrigerante líquido desde un estado de presión más alto a otro más bajo, utilizando el método de expansión de un líquido a elevada presión a una mezcla de líquido y gas húmedo a baja presión, en la proporción exacta a la velocidad de evaporación en el evaporador.

Regula también la velocidad de flujo del líquido refrigerante en el evaporador, en la proporción exacta a la velocidad de evaporación del líquido refrigerante (figura 4).

Un bulbo lleno con un fluido se fija al tubo de succión, para medir la temperatura del gas en la succión. Este bulbo se conecta con la válvula mediante un tubo de modo que la presión del fluido dentro del bulbo tiende a abrir más la válvula, contra la tensión de un resorte de cierre.

Si aumenta la carga del sistema, el refrigerante en el evaporador gana más calor y la temperatura del gas en la succión aumenta. La presión del fluido en el bulbo aumenta a medida que lo hace su temperatura y abre más la válvula. Con ello aumenta el flujo de refrigerante que se necesita para manejar la carga mayor. El caso inverso sucede cuando la carga de refrigeración disminuye.

## **1.2 Principios de la refrigeración**

Si la presión exterior se reduce lo suficiente, disminuye también la temperatura de saturación, y el refrigerante hierve a una temperatura menor. Así se logra la refrigeración. Se usa un líquido que hierva a baja temperatura con respecto a la presión que se puede alcanzar. La presión se reduce por debajo de la presión de saturación y el líquido hierve repentinamente.

Los fluidos en estado líquido absorben calor cuando hierven: su calor latente de evaporización. La absorción de calor de los alrededores a baja temperatura es lo que se llama refrigeración.

Sí se toma un líquido refrigerante, se confina en un recipiente y se coloca cerca de un objeto caliente, el líquido absorbe calor del objeto de mayor temperatura. Si el líquido refrigerante absorbe suficiente calor, entrará en ebullición y se vaporizará. Si el gas refrigerante vaporizado está lo bastante comprimido, entregará el calor que absorbió del objeto caliente a un medio más frío y se condensará en el fondo del recipiente en forma de líquido.

### **1.2.1 Leyes termodinámicas en la refrigeración**

Para analizar y comprender mejor la refrigeración, se hace necesario definir las leyes termodinámicas que influyen directamente en el ciclo de refrigeración; estas son la primera y segunda ley de la termodinámica.

La ley de conservación de energía, la cual es la primera ley, dice que la energía total asociada con una conversión de energía permanece constante. El calor constituye una forma de energía y puede ser transferido, este se encuentra presente en todas las sustancias, sobre una temperatura del cero absoluto. Este principio es común en el campo de la calefacción, ventilación y aire acondicionado, especialmente cuando se refiere a él como un equilibrio de la energía.

El cambio en la energía total de un sistema es igual a la energía agregada al sistema menos la energía eliminada del mismo.

La segunda ley de la termodinámica establece que la transferencia de calor se da en una sola dirección, de mayor a menor temperatura, y esto tiene lugar a través de tres modos básicos: por conducción, convección y radiación.

Es esta ley la que permite analizar dificultades en el uso eficiente de la energía. Esta ley implica que cuando la energía calorífica se emplea para efectuar trabajo, nunca está completamente disponible para fines útiles. Algo de esta energía se pierde y deja de ser disponible para determinado trabajo.

### **1.2.2 Ciclo de Carnot invertido**

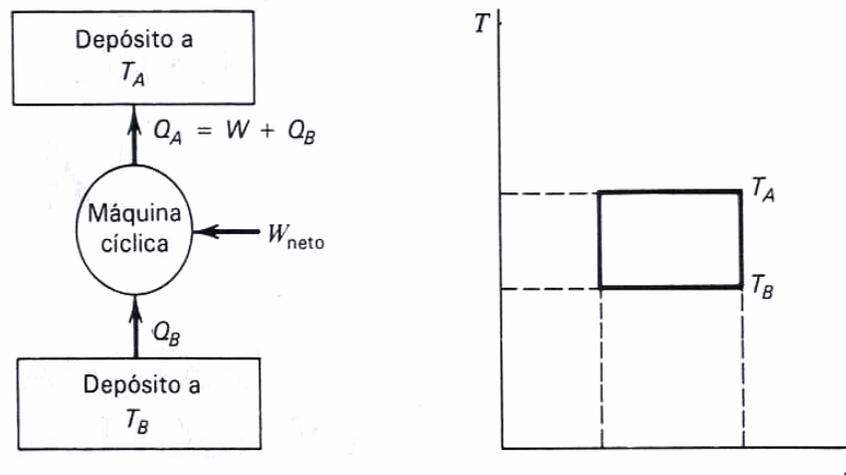
El ciclo de Carnot invertido es totalmente reversible y se compone de dos procesos isotérmicos reversibles y de dos procesos isoentrópicos; este ciclo genera la máxima eficiencia térmica para un rango determinado de temperaturas por lo que podría usarse como un ciclo modelo de otros procesos.

Como se sabe, cuando un ciclo es reversible los procesos que este comprende pueden invertirse. Cuando el ciclo de Carnot se invierte, también lo hacen las direcciones de todas las interacciones térmicas y de trabajo. Esto se conoce como ciclo de Carnot invertido.

Un ciclo de Carnot invertido comienza con la fase en la que el refrigerante absorbe calor isotérmicamente de una fuente de baja temperatura; luego se comprime, también isotérmicamente; para después rechazar calor isotérmicamente de un sumidero de alta temperatura, como último paso el refrigerante se expande isoentrópicamente hasta su estado inicial. Es decir, que durante el ciclo de Carnot, en el condensador, el refrigerante pasa de un estado de vapor saturado a líquido saturado.

El ciclo de Carnot invertido es el ciclo de refrigeración más eficiente que opera entre dos niveles específicos de temperatura, por lo que se considera como ideal, para refrigeradores y bombas de calor. Sin embargo, es inadecuado para los ciclos de refrigeración.

**Figura 5. Ciclo de Carnot invertido para refrigeración.**



Fuente: Keneth Wark. **Termodinámica**. Pág. 734.

### 1.2.3 Ciclo Brayton invertido

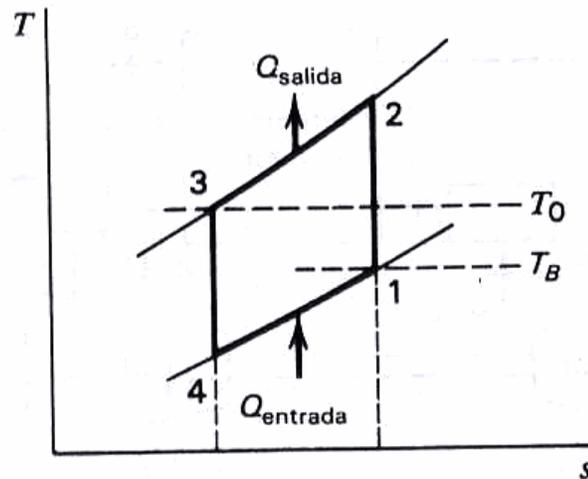
Para producir un efecto de refrigeración también puede utilizarse la expansión adiabática de los gases. Esto se consigue invirtiendo el ciclo Brayton, utilizado normalmente para los ciclos de potencia de gas. En la figura 6 se muestra un diagrama T-S del ciclo Brayton ideal invertido.

Este ciclo en su primer paso comprime el gas isoentrópicamente contando a esta altura del ciclo con una temperatura alta en relación a la del ambiente la cual se toma como inicial. Luego el gas pasa por un intercambiador de calor, en el cual la temperatura puede ser igual que la inicial (en la realidad el gas puede alcanzar hasta  $10^\circ$  por encima de la temperatura ambiente).

El gas pasa a través de un dispositivo que lo expande adiabáticamente, al igual que una turbina, generando trabajo y disminuyendo la temperatura por debajo de la temperatura fría del medio ambiente. Por lo tanto, se puede transferir calor desde el espacio frío hacia el gas por medio de un intercambiador de calor, el gas se calienta hasta la temperatura del ciclo.

El fluido completa el ciclo ideal de refrigeración en forma internamente reversible. En la figura 6 se muestra el calor extraído de la región fría (área bajo la curva 4-1) y la entrada neta de trabajo (1-2-3-4-1).

Figura 6. Diagrama T-S ciclo Brayton invertido

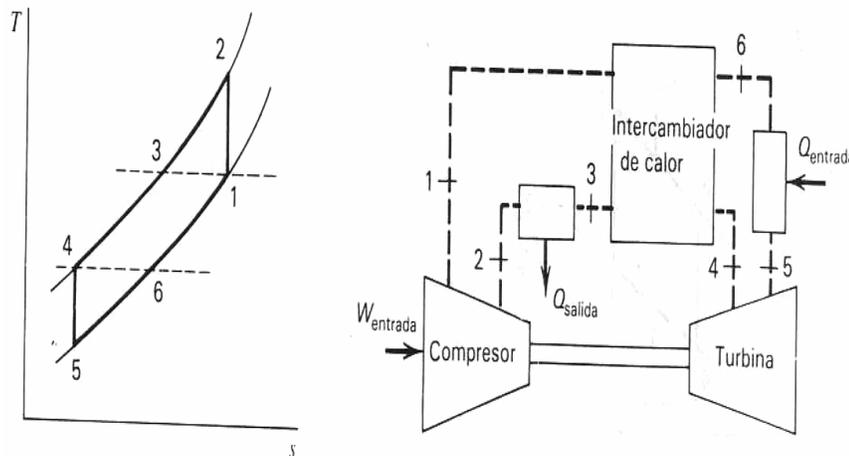


Fuente: Kenneth Wark. **Termodinámica**. Pág. 743.

La desventaja de este ciclo es la gran variación de temperatura que sufre el fluido durante los procesos de adición y eliminación de calor. En teoría es posible mejorar el ciclo mediante la utilización del gas a baja temperatura para enfriar el mismo y provocar una expansión que daría como resultado una menor temperatura con respecto a la final del ciclo.

Físicamente esta mejoría se logra mediante la inserción de un intercambiador de calor. Si al ciclo se le transfiere calor externamente, baja la temperatura, pero si se inserta un regenerador adicional enfría más el gas hacia el final del ciclo.

**Figura 7. Diagrama T-S y diagrama de flujo del ciclo Brayton invertido con regenerador.**



Fuente: Kenneth Wark. **Termodinámica**. Pág. 744.

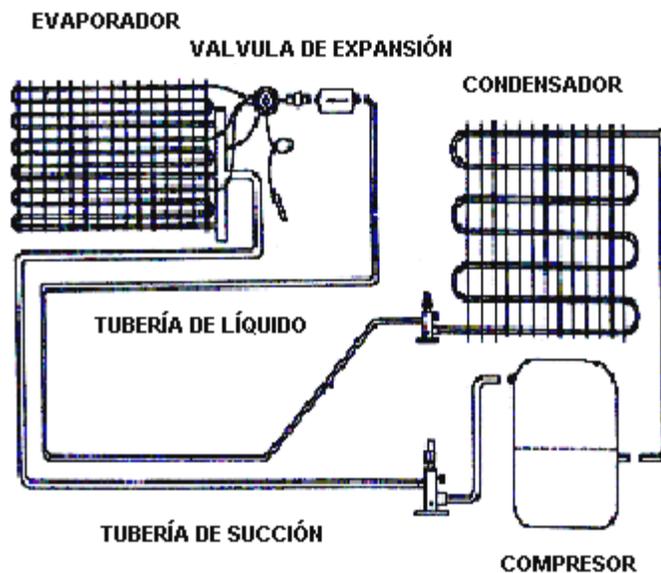
### 1.3 Elementos principales de la refrigeración

Los sistemas de refrigeración y aire acondicionado deben estar compuestos de dispositivos básicos, que se encuentran en todos los equipos y que son los que generan la producción de frío o calor añadiendo el sistema de impulsión de aire, con algún ingrediente particular o específico que les diferencie del resto de los modelos, en contadas ocasiones.

Todos los sistemas de refrigeración poseen cuatro dispositivos principales como se muestra en la figura 6. Los dispositivos en cuestión son:

- Compresor
- Condensador
- Evaporador
- Válvula termostática de expansión.

**Figura 8. Componentes del circuito de refrigeración.**



Fuente: Instituto de refrigeración y aire acondicionado. **Manual de refrigeración y aire acondicionado.** Pág. 89.

### 1.3.1 El compresor

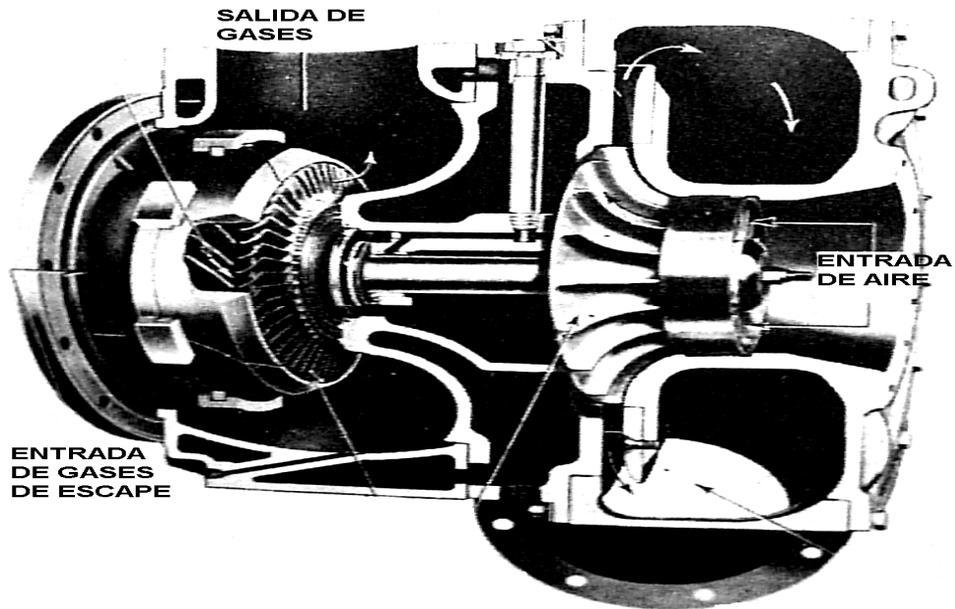
En la refrigeración por compresión este dispositivo realiza dos funciones: la primera es succionar el vapor refrigerante y reducir la presión en el evaporador a tal punto que se puede mantener la temperatura deseada de evaporación. La segunda función es elevar la presión del vapor del refrigerante lo suficiente para que la temperatura de saturación sea mayor a la temperatura del medio enfriante disponible, para la condensación del vapor refrigerante.

Existen tres tipos de compresores, que se clasifican así

- Compresores centrífugos.
- Compresores rotatorios.
- Compresores reciprocantes.

Los compresores centrífugos están formados por impulsores de paletas que giran dentro de una carcasa. Los impulsores tienen como función aumentar la velocidad del fluido, lo cual luego se convierte en un aumento de presión cuando se disminuye la velocidad. Estos compresores se utilizan en grandes sistemas centrales de acondicionamiento de aire.

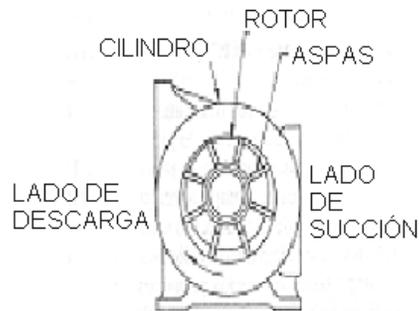
**Figura 9. Unidad compresora centrífuga.**



Fuente: Faires, Virgil. **Termodinámica**. Pág. 401.

Los compresores rotatorios poseen un rotor excéntrico con respecto a la carcasa; su mecánica de trabajo es la siguiente: cuando el rotor gira, reduce el volumen del gas y aumenta la presión. Poseen ventajas como: pocas partes, construcción sencilla, relativamente silenciosa y libre de vibraciones. Su aplicación está en refrigeradores domésticos y acondicionadores de aire de ventana.

**Figura 10. Compresor rotatorio.**

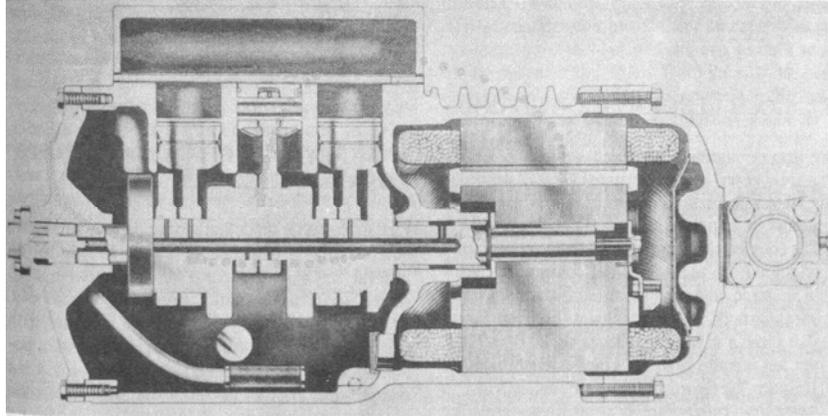


Fuente: Pita, Edward. **Acondicionamiento de aire, principios y sistemas.** Pág. 360.

Los compresores recíprocos tienen un diseño semejante al motor de un automóvil moderno. Posee un pistón accionado por un cigüeñal el cual realiza carreras alternas de succión y compresión, en un cilindro que tienen válvulas de succión y descarga. Este compresor es una bomba de desplazamiento positivo razón por la cual resulta apropiado para volúmenes de desplazamiento reducido, es muy eficaz a elevadas presiones de condensación y en altas relaciones de compresión.

Las ventajas principales son su adaptabilidad a diferentes refrigerantes, la facilidad de desplazamiento que proporciona al líquido en la tuberías debido a la elevada presión generada por el compresor.

**Figura 11. Compresor recíprocante.**



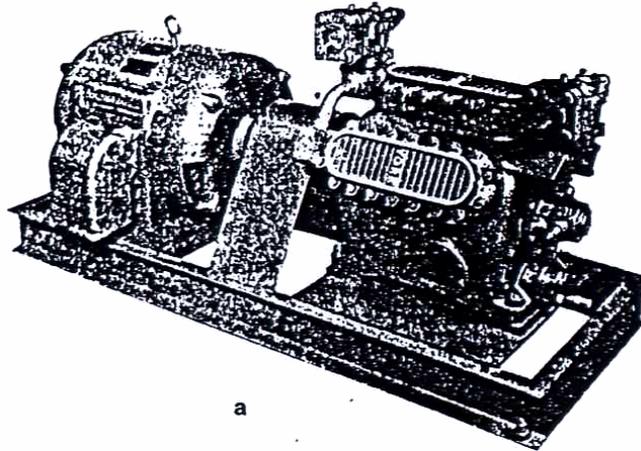
Fuente: Pita Edward. **Acondicionamiento de aire, principios y sistemas.** Pág. 359.

Los compresores están accionados por motores eléctricos, los cuales se pueden ser:

- Compresor abierto.
- Moto compresor semihermético.
- Moto compresor hermético.

Los compresores de refrigeración eran de tipo abierto, compuestos por pistones y cilindros sellados dentro de un recinto y un cigüeñal extendiéndose a través de un cuerpo hacia afuera para ser accionado por una fuerza externa.

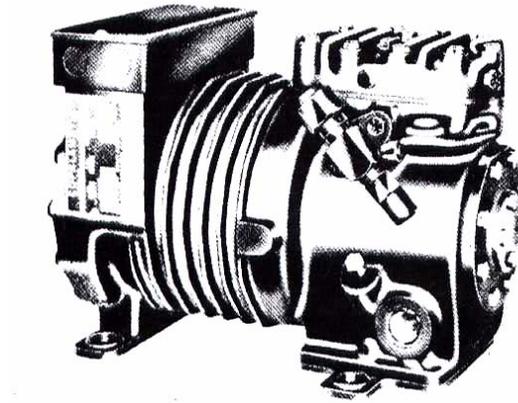
**Figura 12. Compresor de tipo abierto.**



Fuente: Instituto de refrigeración y aire acondicionado. **Manual de refrigeración y aire acondicionado.** Pág. 117.

El compresor semihermético está diseñado para reducir tamaño y costo y se utiliza como equipo unitario de poca potencia. Posee un motor eléctrico montado directamente en el cigüeñal del compresor, cuyo cuerpo es una carcasa metálica herméticamente sellada con soldadura. Este tipo de compresor no tiene mantenimiento interior pues se tendría que cortar la carcasa del mismo.

**Figura 13. Compresor semihermético.**



Fuente: Instituto de refrigeración y aire acondicionado. **Manual de refrigeración y aire acondicionado.** Pág. 118.

Los compresores herméticos son accionados por un motor eléctrico montado directamente en el cigüeñal del compresor, tiene todas sus partes, tanto del motor como del compresor, herméticamente selladas en el interior de una cubierta común.

**Figura 14. Compresor hermético.**



Fuente: Instituto de refrigeración y aire acondicionado. **Manual de refrigeración y aire acondicionado.** Pág. 119.

### **1.3.2 El condensador**

El condensador es un intercambiador de calor cuya función es hacer pasar el líquido refrigerante al estado gaseoso comprimido, esto debido a la dispersión del calor del aire del ambiente, a la atmósfera que lo rodea.

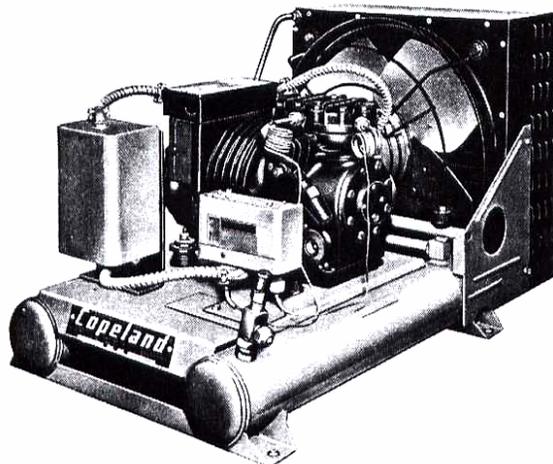
Los condensadores son los que aportan la superficie de calefacción en el sistema de refrigeración, a través de la cual se lleva a cabo la condensación del líquido frigorífico que sale del compresor.

El condensador elimina del sistema la energía absorbida en el evaporador y el compresor. Los dos medios utilizados para desechar el calor del sistema son: el agua y el aire atmosférico. Existen tres tipos de condensadores que son:

- Condensadores enfriados por aire
- Condensadores enfriados por agua
- Condensadores evaporativos

En el condensador enfriado por aire: el fluido frigorífico circula a través de un serpentín y el aire pasa por el exterior de los tubos. El movimiento del aire es originado por efectos de convección natural. Se puede colocar un ventilador para aumentar la velocidad de éste con lo que se aumenta la capacidad. Los condensadores enfriados por aire se instalan en el exterior.

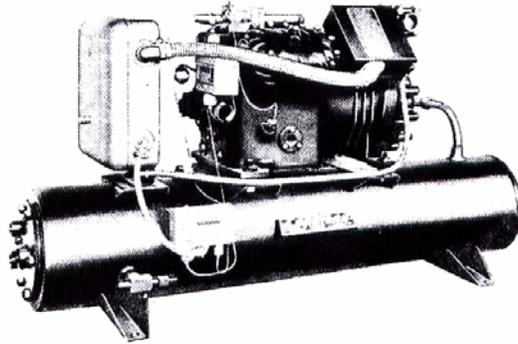
**Figura 15. Condensador enfriado por aire.**



Fuente: Copeland. **Manual de refrigeración.** Pág. 5-1.

Los condensadores enfriados por agua están compuestos generalmente por una coraza y tubos, similares a los evaporadores de coraza y tubos. Cuando se dispone de lagos, ríos y pozos se utiliza agua extraída de los mismos, a pesar de esto las fuentes naturales de agua no son suficientes y debe recircularse a través de una torre de enfriamiento.

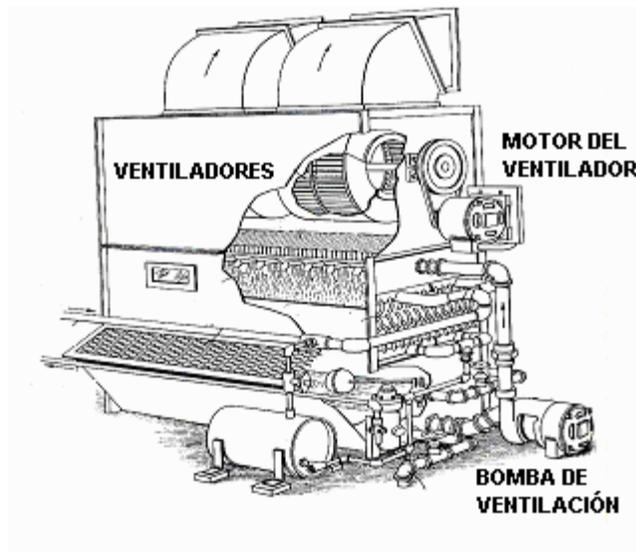
**Figura 16. Condensador enfriado por agua.**



Fuente: Copeland. **Manual de refrigeración.** Pág. 5-2.

Los condensadores evaporativos desechan el calor en la atmósfera, como lo hacen los enfriados por aire, pero a través de aspersion de agua sobre los serpentines. Se transfiere algo de calor al agua así como al aire, lo cual aumenta la capacidad del condensador, Los condensadores evaporativos pueden ser instalados en el interior o exterior.

**Figura 17. Condensador evaporativo.**



Fuente: Jennings, Burgess y Lewis, Samuel. **Aire acondicionado y refrigeración.** Pág. 638.

La capacidad de los condensadores debe ser controlada a fin de mantener la presión de condensación dentro de cierto rango de variación. Las altas presiones de condensación ocasionan mayor empleo de energía y pueden dañar el equipo. Sin embargo, si la presión es muy baja el dispositivo que controla el flujo no trabaja adecuadamente. Los condensadores enfriados por agua se controlan utilizando una válvula automática que regula el flujo de agua.

Los condensadores enfriados por aire se controlan reduciendo el flujo de aire a través de los serpentines, utilizando compuertas o activando o desactivando el ventilador. El control depende generalmente, de algún cambio de presión de condensación.

Es importante el tratamiento adecuado del agua el cual debe evitar la formación de costras que aumenten la resistencia térmica lo que ocasionaría una disminución en la capacidad de refrigeración y un aumento en el consumo de energía.

### **1.3.3 El evaporador**

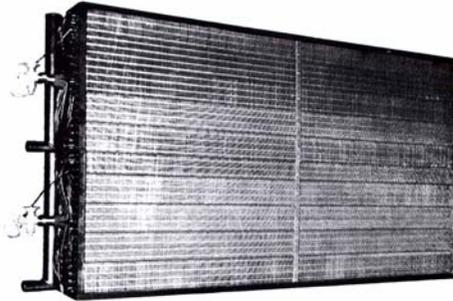
Este es el dispositivo donde el refrigerante hierve, con lo que se extrae el calor del medio que lo rodea. Para llevar a cabo su función, por lo general, el evaporador está arrollado en forma de embobinado, ida y vuelta o sobre sí mismo, varias veces.

En el evaporador la velocidad es esencial pues el refrigerante debe tener fuerza suficiente para vencer el rozamiento de las paredes del serpentín, a fin de evitar que se adhiera a las paredes una película de refrigerante y aceite lubricante.

Los evaporadores pueden ser:

- Tubos desnudos
- Tubos aletados
- Placas.

**Figura 18. Evaporador**



Fuente: Copeland. **Manual de refrigeración**. Pág. 6-1.

Mientras mayor es la superficie de conducción del calor desde el producto hasta el refrigerante en el evaporador, mayor será la transferencia posible de calor. Si el calor del producto llega al evaporador, pero no lo absorbe el refrigerante dentro del serpentín, la caja o la zona están a una temperatura mayor que la deseada. Al aumentar el área superficial de evaporador, se aumenta su capacidad.

Cuando el aire pasa por el serpentín de enfriamiento cede su calor y por lo tanto se enfría. Al enfriarse, se contrae, su volumen es menor y pesa más que un volumen igual de aire más caliente. Así se establecen las corrientes de convección de aire, que se llevan consigo el calor del producto que se va a enfriar.

### 1.3.4 Dispositivos de expansión

El dispositivo de expansión, de control o restricción de flujo que provoca la caída de presión del refrigerante también es el encargado de regular el flujo del mismo, el cual depende de la carga. Los dispositivos más comunes son:

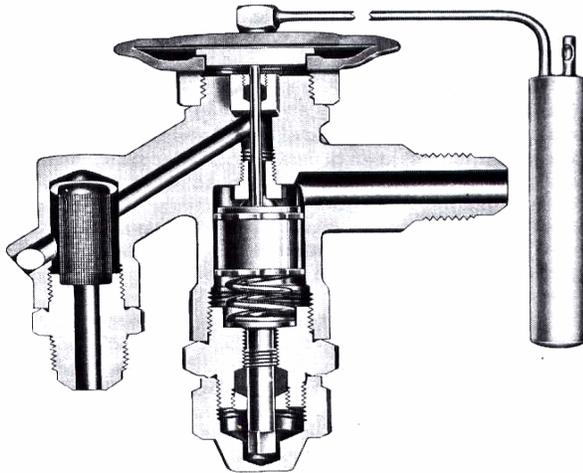
- El tubo capilar
- La válvula termostática de expansión

El tubo capilar es un tubo de diámetro muy pequeño y de longitud considerable con lo que se logra la caída de presión necesaria. Los tubos capilares tienen un mayor campo de aplicación en sistemas o unidades pequeñas como refrigeradoras domésticas y acondicionadores de aire de ventana, esto debido a un bajo costo y simplicidad.

La válvula de expansión termostática posee una abertura la cual provoca la caída de presión necesaria. Existe un tipo de válvula de expansión con ecualizadores internos que permite neutralizar el efecto de cualquier cambio en la presión del evaporador. Sin embargo, si hay una caída fuerte de presión en el evaporador se tendrá menor sobrecalentamiento, lo que puede solventarse utilizando una válvula con ecualizador externo, el cual está conectado con la salida del evaporador.

Debido a la excelente eficiencia y gran adaptabilidad en cualquier aplicación es el dispositivo de control que más se usa (figura 19). La válvula de expansión consiste en un fuelle conectado mediante un tubo a un bulbo térmico unido a la línea de succión del evaporador. Bulbo, fuelle y tubo están generalmente cargados con el mismo líquido refrigerante que se emplea en el evaporador.

**Figura 19. Válvula de expansión termostática.**



Fuente: Copeland. **Manual de refrigeración.** Pág. 7-1.

La válvula de expansión termostática trabaja en función de tres presiones fundamentales:

- P<sub>1</sub>: La presión del bulbo que actúa sobre un lado del diafragma, tiende a abrir la válvula.
- P<sub>2</sub>: La presión del evaporador opera en sentido opuesto, tendiendo a cerrar la válvula.
- P<sub>3</sub>: La presión del resorte de súper calor, ayuda a la acción de cierre.

Con el mismo refrigerante utilizado tanto en el elemento termostático (bulbo) como en el sistema de enfriamiento, cada uno ejerce igual presión cuando sus temperaturas son idénticas.



## **2. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DE LOS REFRIGERANTES CONVENCIONALES Y ECOLÓGICOS**

Los refrigerantes son fluidos de transporte que conducen la energía calorífica desde el nivel de baja temperatura, al nivel de alta temperatura, donde pueden ceder su calor. Este fluido, si es utilizado en un sistema de compresión, puede absorber calor al evaporarse a temperaturas y presiones bajas, y ceder calor al condensarse a temperaturas y presiones mayores.

Las características de un refrigerante deben ser tales que la temperatura de ebullición en el evaporador quede por debajo de la temperatura ambiente del recinto a enfriar o acondicionar y la temperatura de condensación quede por encima de la temperatura ambiente exterior o del ambiente al que se va desechar el calor. Estas condiciones son necesarias para que ocurra una adecuada transferencia de calor y proporcionar enfriamiento a la habitación.

### **2.1 Refrigerantes convencionales**

Termodinámicamente, en el ciclo ideal el rendimiento de todos los refrigerantes es el mismo, dentro de ciertos límites de temperaturas, pero en la realidad existen variaciones, las cuales se deben al movimiento del flujo en un solo sentido a través de las válvulas de expansión y el aumento relativo de la compresión en la región de sobrecalentamiento.

### 2.1.1 Historia

A fines de 1920 fue desarrollada una familia de refrigerantes con características excepcionales. Una de las principales cualidades era la de su baja toxicidad, lo cual redundó en la rápida aceptación de uno de estos refrigerantes, el cual sería utilizado en sistemas de aire acondicionado.

Los refrigerantes de este grupo son refrigerantes de sustitución en los que los átomos halógenos, principalmente el cloro y el fluro, son sustituidos en una estructura de hidrocarburos por átomos de hidrógeno.

Como refrigerantes convencionales se consideran los refrigerantes compuestos por clorofluorocarbonos y por hidroclofluorocarbonos. Estos refrigerantes tienen, debido a las iniciales de su nombre la nomenclatura de CFC, los que contienen clorofluorocarbonos y de HCFC los que contienen hidroclofluorocarbonos.

Los refrigerantes que se analizarán entonces, son los siguientes

- R-11 ó CFC11.
- R-12 ó CFC12.
- R-22 ó HCFC-22.
- R-502 ó CFC-502.
- R-717.

### **2.1.2 Propiedades químicas**

El análisis de las propiedades químicas de los refrigerantes es el que indica las características que éste pueda tener. Por ejemplo, podría indicar con qué tipo de químicos o elementos ya sea de otro ambiente o del mismo aire natural éste es capaz de reaccionar. A través de la estructura química se establecen cuáles son los resultados de las reacciones de los refrigerantes con otras sustancias.

En este caso se analizarán las propiedades químicas de los refrigerantes R-11, R-12, R-22, R-502 y el R-717, los cuales se conocen como refrigerantes convencionales. Esta designación se adjudica debido a que son refrigerantes que tienen elementos halógenos como el cloro y fluoro.

Estos elementos han sido motivo de gran debate en los foros que hablan acerca de la protección ambiental, ya que forman parte de la gran gama de químicos que causan la reducción de la capa de ozono.

En la siguiente tabla se describen las características químicas de los refrigerantes convencionales.

**Tabla I. Propiedades físicas y químicas de los refrigerantes convencionales.**

Refrigerante	Fórmula química	Peso molecular	Nombre científico
R-11	$\text{CCl}_3\text{F}$	137.4 kg/kg mol	Tricloromonofluorometano
R-12	$\text{CCl}_2\text{F}_2$	120.9 kg/kg mol	Diclorodifluorometano
R-22	$\text{CHClF}_2$	86.5 kg/kg mol	Monoclorodifluorometano
R-502		111.6 kg/kg mol	Clorodifluorometano y Cloropentafluoroetano
R-717	$\text{NH}_3$	17.0 kg/kg mol	Amoníaco

Fuente: *National Refrigerants*. **Ficha técnica de los refrigerantes.**

El refrigerante R-11 es uno de los llamados refrigerantes de vacío pues las temperaturas de refrigeración en el evaporador, pueden obtenerse sólo a presiones subatmosféricas. Este refrigerante no tiene olor y es relativamente tóxico, aun en altas concentraciones. El refrigerante R-11 no es corrosivo sobre los metales comunes de construcción, pero si afecta los empaques de hule.

El freón 12 era el que más se empleaba por su buen desempeño en general hasta su prohibición. Es miscible con el aceite mineral, tiene una buena temperatura de descarga, admite intercambiador de calor, se empleaban condensadores más pequeños. Este refrigerante absorbe poca humedad y por lo tanto forma poco ácido en comparación con los nuevos refrigerantes.

Conocido con el nombre de freón 22, se emplea en sistemas de aire acondicionado domésticos y en sistemas de refrigeración comerciales e industriales incluyendo: cámaras de conservación e instalaciones para el procesado de alimentos: refrigeración y aire acondicionado a bordo de diferentes transportes; bombas de calor para calentar aire y agua. Se puede utilizar en compresores de pistón, centrífugo y de tornillo.

El amoníaco o R-717 es el más utilizado en la industria y en refrigeración comercial. El amoníaco libre de agua se conoce como amoníaco anhidroso y cuando se mezcla con el agua se le llama agua amoniacal, este último utilizado en los sistemas de refrigeración por absorción.

Es importante mencionar también el R-502 el cual contiene R-22 y R-115, lo que lo hace un CFC. Posee el 48.8% del primer refrigerante y 51.2% del segundo. Este segundo refrigerante tiene como nombre científico el de cloropentafluoroetano.

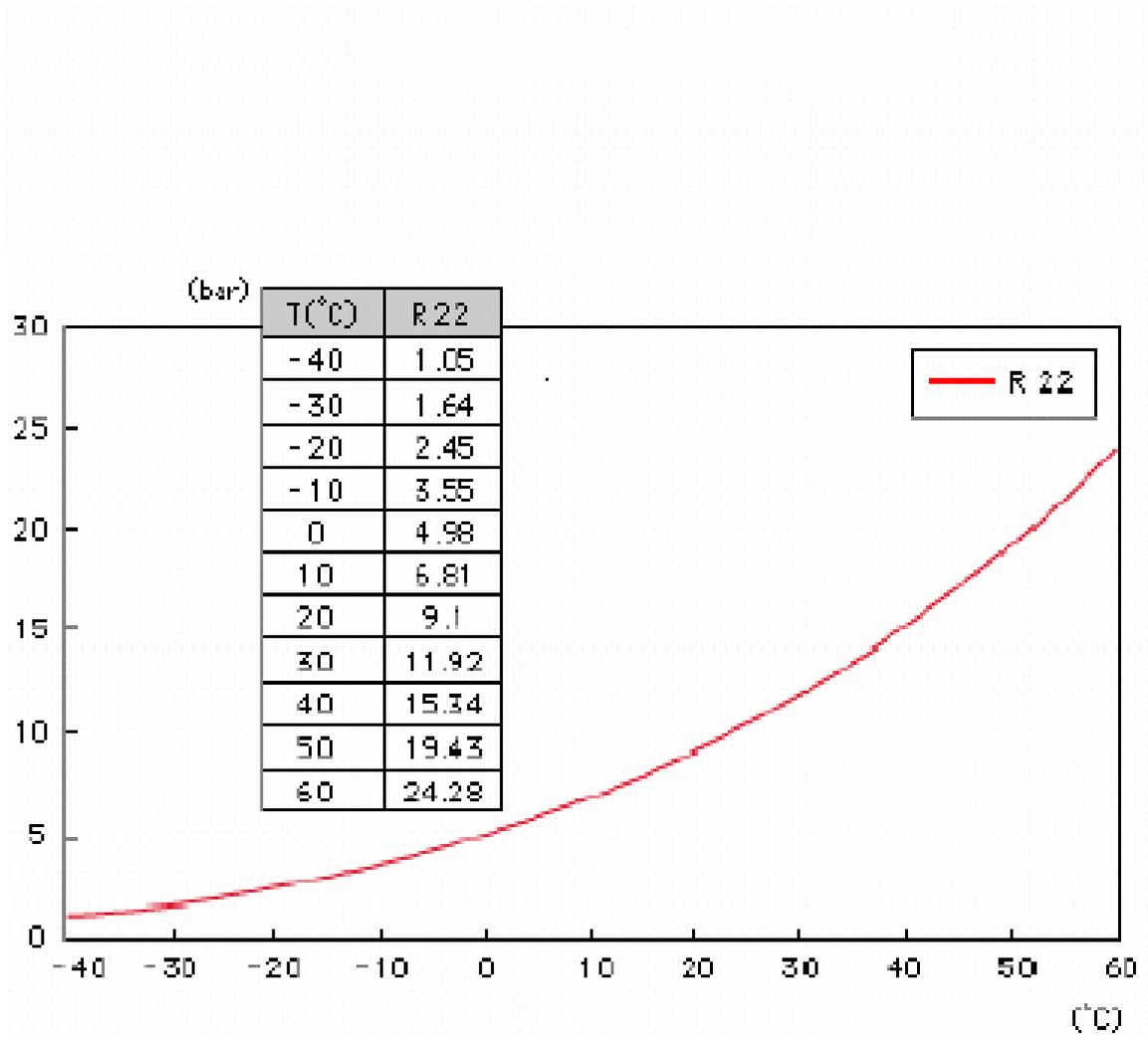
Este refrigerante se define como azeotrópico, lo que significa que es una mezcla consistente de uno o más refrigerantes de diferentes volatilidades que no hacen un cambio apreciable en la composición o temperatura a la que se evapora o condensa, con una presión constante.

El R-502 se utiliza en instalaciones de bajas y medias temperaturas. Tiene un punto de ebullición bajo y una alta presión de vapor, lo que permite trabajar a temperaturas bajas con gran eficiencia y bajo costo de operación al permitirle tiempos muertos periódicamente al compresor, debido a la generación de una buena refrigeración. Este refrigerante se utilizó luego del R-12 pues mejora la capacidad del sistema, al permitir mayor enfriamiento en sistemas industriales de congelación.

### **2.1.3 Características de operación**

La presión ejercida por un refrigerante gaseoso está relacionada a la temperatura del refrigerante. La siguiente figura muestra cómo la temperatura se incrementa cuando la presión también se incrementa.

Figura 20. Curva de relación presión-temperatura del R-22.



Fuente: Gas-Servei S.A. **Fichas técnicas.**

Aun pequeños cambios hechos en los refrigerantes pueden causar una gran diferencia en sus características físicas. Estas características físicas dependen también del tipo de refrigerante que se utilice, por lo que a continuación se muestra una tabla con algunas propiedades físicas, importantes en la descripción de los refrigerantes.

**Tabla II. Características de operación de los refrigerantes convencionales.**

Refrigerantes	Punto de ebullición a	Punto de congelación	Presión de vapor	Temperatura crítica	Presión crítica
R-11	23.8°C	-75.5°C	--	197.8°C	635.26 psi
R-12	-29.8°C	-122.2°C	84.9 psi 21°C	112.2°C	597 psi
R-22	-40.8°C	-124.4°C	136 psi a 21°C	96.1°C	715.91 psi
R-502	-45.6°C	--	151.3 psi 21°C	70.9°C	549.70 psi
R717	-33°C	-42.2°C	--	132.8°C	1657.1 psi

Fuente: *National Refrigerants*. **Ficha técnica de los refrigerantes.**

## 2.2 Refrigerantes ecológicos

Las restricciones en cuanto a la producción y comercialización de productos químicos, los cuales incluyen a los refrigerantes, debido a la creciente y acelerada contaminación del medio ambiente y especialmente del deterioro de la capa de ozono, así como del aumento de la temperatura de la tierra, más conocido como efecto invernadero; son algunas de las medidas tomadas para proteger al planeta de la contaminación, así como de los efectos que puede sufrir la humanidad.

Estas restricciones conllevan a la investigación y fabricación de nuevos productos químicos, como los refrigerantes, los cuales deben de tener características especiales que cumplan con la misión de refrigerar o enfriar determinado ambiente pero a la vez protejan el medio ambiente y al ser humano de los efectos nocivos.

Estos refrigerantes son los ecológicos y se clasifican así

- R-134A.
- R-404a.
- R-407b.
- R-410A.

### **2.2.1 Historia**

En septiembre de 1987 se esbozo el protocolo de Montreal el cual trata acerca de sustancias que reducen la capa de ozono. Este documento fue guiado por el Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas.

Este protocolo identifica los refrigerantes convencionales (R-11, R-12, R-22, R-502 y R-717) como reductores de la capa de ozono y establece límites específicos en sus niveles de producción en el futuro.

En junio de 1990 hubo una nueva reunión en la que ventilaron hallazgos científicos que mostraban que la capa de ozono se estaba deteriorando más rápido de lo establecido originalmente.

En vista de esto se impusieron fuertes restricciones en la producción y consumo de sustancias que son nocivas al medio ambiente. En una tercera reunión en noviembre de 1992, fue acelerada la agenda para desplazar el uso de refrigerantes que contienen clorofluorocarbonos y las fechas para el desplazamiento de los refrigerantes con hidroclorofluorocarbonos fueron establecidas.

Todas estas medidas redundaron en la orden tácita de usar, únicamente, refrigerantes ecológicos ya que éstos no contienen ni clorofluorocarbonos, ni hidroclorofluorocarbonos sino solamente hidrofluorocarbonos o HFC.

### 2.2.2 Propiedades químicas

Los refrigerantes hidrofluorocarbonos son los que están compuestos por uno o más átomos de carbonos, a los cuales rodean átomos de fluro y de hidrógeno. Estos refrigerantes no tienen cloro o bromuro lo cual los hace no dañinos a la capa de ozono.

Los componentes halógenos de los químicos que se utilizan en refrigeración, como el cloro y el fluro, son los responsables del deterioro de la capa de ozono. Estos refrigerantes llamados ecológicos no tienen estos compuestos por lo tanto son los únicos que pueden utilizarse conforme a los acuerdos logrados. Las características químicas de los refrigerantes ecológicos son las que permiten analizar los mismos, para conocer su nivel de contaminación.

**Tabla III. Propiedades físicas y químicas de los refrigerantes ecológicos.**

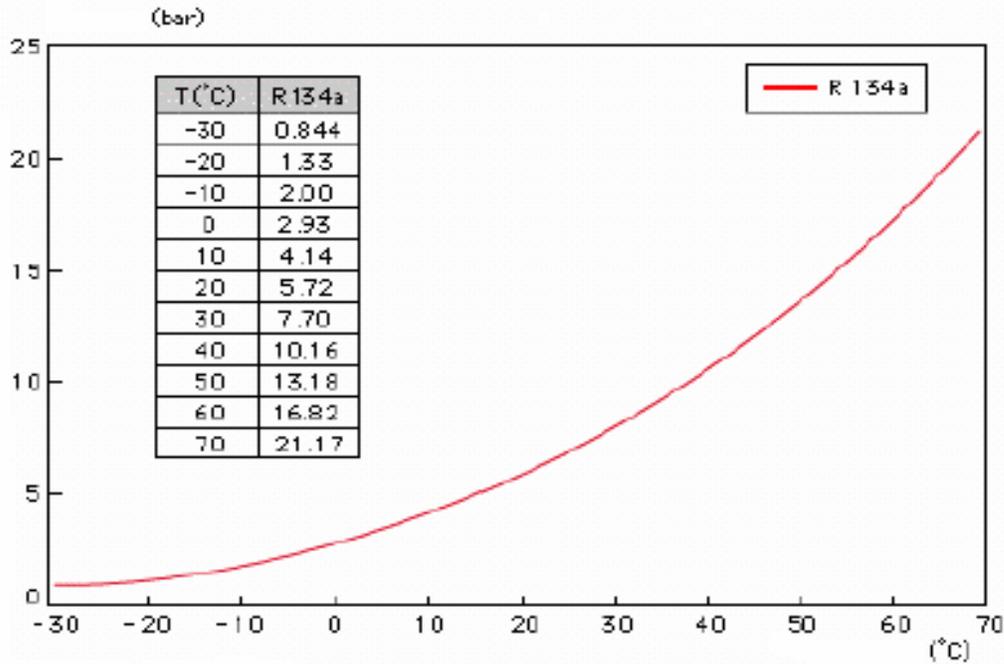
Nombre	Formula química o composición	Peso molecular	Sustituye a:
R-134a ó Tetrafluoretano	$\text{CH}_2\text{F}-\text{CF}_3$	102 kg/kg mol	R-12
R-404A	R-125/R-143a/R-134a	97.61 kg/kg mol	R-502
R-407C	R-32/R-125/R-134A	86.2 kg/kg mol	R-22
R-410A	R-32/R-125	72.6 kg/kg mol	R-22

Fuente: *National Refrigerants*. **Ficha técnica de los refrigerantes.**

El R-134 es un refrigerante hidrofluorocarbono para la sustitución del R-12 en instalaciones nuevas, o la adaptación de las ya existentes. Es un refrigerante HFC, por lo que no produce ningún daño a la capa de ozono. Posee una gran estabilidad térmica y química.

Este refrigerante se utiliza en aire acondicionado de automóviles y en refrigeradores domésticos, así como en enfriadores industriales, comerciales y en el transporte refrigerado.

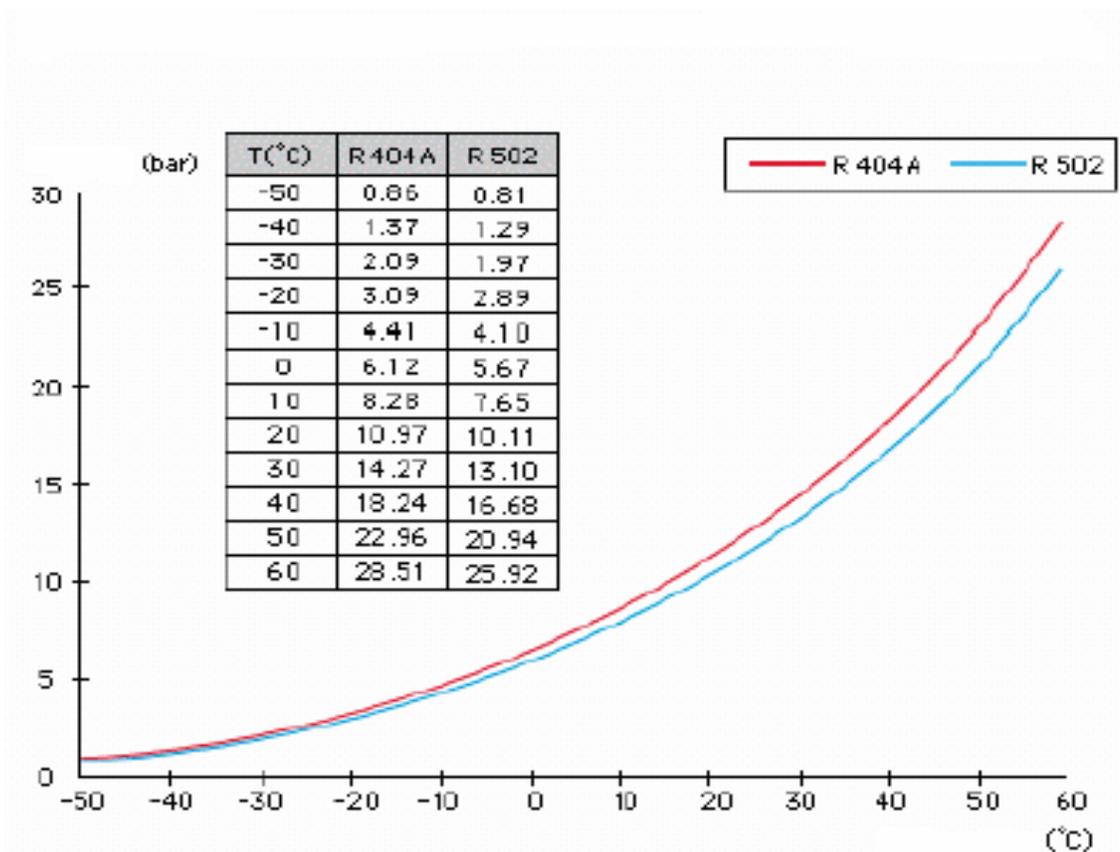
**Figura 21. Curva de relación presión -temperatura del R-134a.**



Fuente: Gas-Servei S.A. **Fichas técnicas.**

R-404a como ya se observó en las tablas anteriores es una mezcla ternaria del R-125, R-143a y R-134a. Tiene características para sustituir el R-502 para instalaciones de bajas y medias temperaturas. Posee una gran estabilidad química. Además, es utilizado para la conversión de sistemas que trabajan con R-502 teniendo que eliminar el aceite de este sistema y sustituirlo por el poliolester.

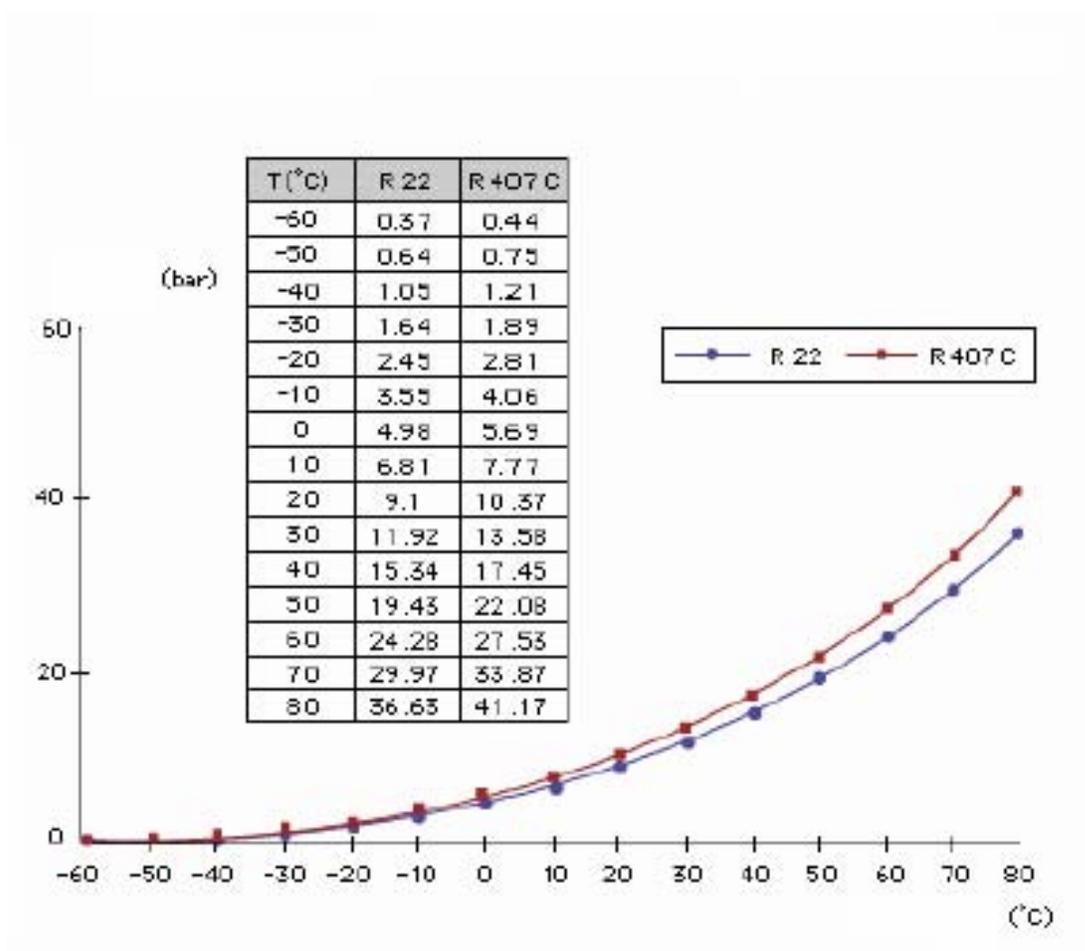
**Figura 22. Curva de temperatura - presión entre el R-502 y el R-404a.**



Fuente: Gas-Servei S.A. **Fichas técnicas.**

El R-407C es una mezcla ternaria no azeotrópica, formada por el 23% de R-32, el 25% del R-125 y el 52% del R-134A. Este refrigerante es el sustituto definitivo del R-22, su desempeño es similar a este. Este refrigerante se utiliza en enfriadores de agua de mediana y pequeña potencia, además, equipos *split* (partidos).

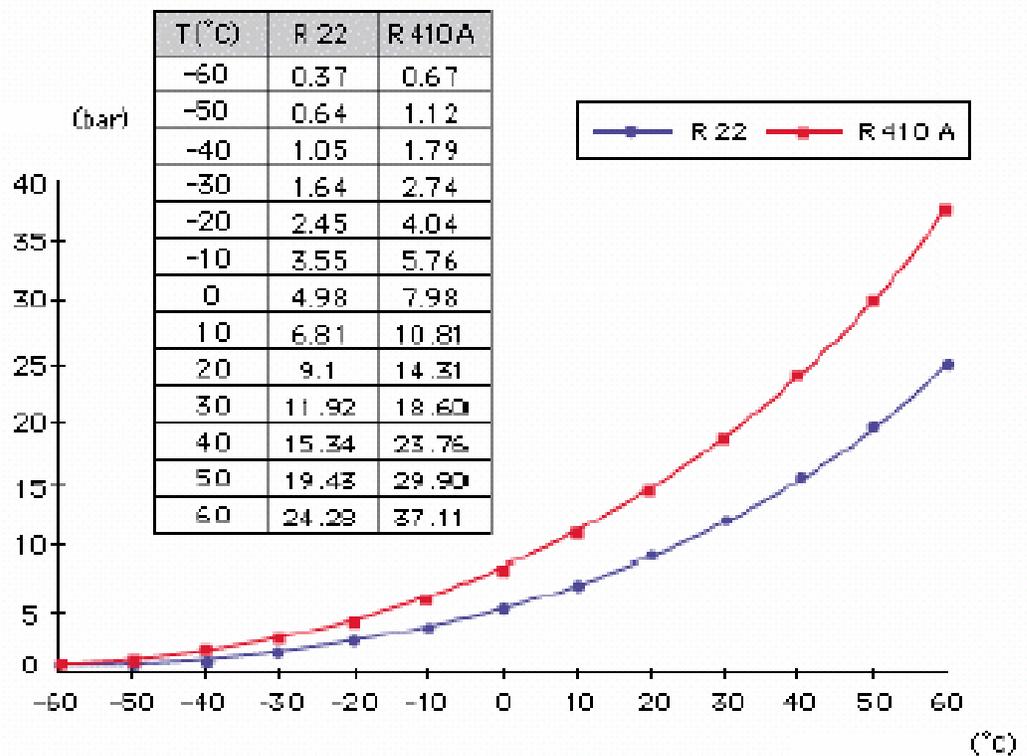
**Figura 23. Curva de temperatura - presión entre el R-22 y el R-407c.**



Fuente: Gas-Servei S.A. Fichas técnicas.

El refrigerante R-410A es una mezcla no azeotrópica compuesta por el 50% de R-125 y el 50% de R-32, es el que sustituye al R-22, posee una buena estabilidad química. El R-410A tiene capacidades de refrigeración y presiones mayores que el R-22, por lo que deben utilizarse compresores modernos. Este refrigerante se utiliza en equipos *split* (partidos).

**Figura 24. Curva de temperatura - presión entre el R-410a y el R-22.**



Fuente: Gas-Servei S.A. **Fichas técnicas.**

El refrigerante R-32, el cual no contribuye al efecto invernadero, sería buen sustituto del R-22, mas no es utilizable debido a su inflamabilidad, por lo que sólo se utiliza mezclado.

El refrigerante R-125 posee propiedades similares al R-502 y al R-22, pero su acción sobre la tierra respecto al efecto invernadero es tres veces mayor que los demás.

### 2.2.3 Características de operación

La búsqueda del refrigerante ideal que no contamine, sea eficiente en los sistemas de enfriamiento, no dañe la salud, sea económico y haga económico el sistema, ha impulsado la investigación de diferentes productos químicos.

**Tabla IV. Condiciones de operación de los refrigerantes ecológicos.**

Refrigerantes	Punto de ebullición	Presión de vapor
R-134	-26.4°C	96.16 psi a 25°C
R-404	-47.8°C	201.90 psi a 25°C
R-407	-44.2°C	172.59 psi a 25°C
R-410	-45.6°C	239.31 psi a 25°C

Fuente: *National Refrigerants*. **Ficha técnica de los refrigerantes.**

El análisis de las propiedades químicas proporciona información sobre los posibles daños que los refrigerantes puedan causar al medio ambiente y la salud, así como información sobre las características que éstos podrían tener en condiciones de trabajo.

A continuación se muestran las tablas de cada uno de los refrigerantes, las cuales refieren las características de operación a las que trabajan los refrigerantes ecológicos.

**Tabla V. Características de operación del R-134a.**

Punto de ebullición	-26.2°C
Punto de congelación	-101°C
Temperatura crítica	101.1°C
Presión crítica	589.87 psi
Densidad crítica	0.51kg / l
Densidad del líquido a 25°C	1.206 kg / l
Densidad del líquido a 0°C	1.293 kg / l
Densidad del vapor a 25°C	32.25 kg / m <sup>3</sup>
Densidad del vapor 0°C	14.41 kg m <sup>3</sup>
Presión de vapor a 25°C	96.55 psi
Presión de vapor a 0°C	3138.62 psi
Viscosidad del líquido a 25°C	0.202 cP
Presión superficial a 25°C	7.9 mN / m
Capacidad volumétrica de refrigeración	1192.11 kg / m <sup>3</sup>
Inflamabilidad	No

Fuente: Gas-Servei S.A. **Fichas técnicas.**

**Tabla VI. Características de operación del R-404a.**

Punto de ebullición	-46.7°C
Temperatura crítica	73°C
Presión crítica	541.72 psi
Densidad crítica	485kg / l
Densidad del líquido a 25°C	1.05 kg / l
Densidad del líquido a 0°C	1.24 kg / l
Densidad del vapor	5.3 kg / m <sup>3</sup>
Presión de vapor a 25°C	185.65 psi
Presión de vapor a -25°C	40.61 psi
Calor latente de evaporación	199 Kj 7Kg
Límite de inflamabilidad	Ninguno

Fuente: Gas-Servei S.A. **Fichas técnicas.**

**Tabla VII. Características de operación del 407C.**

Punto de ebullición	-44.2°C (burbuja)
Punto de ebullición	-36.8°C (rocío)
Temperatura crítica	87°C
Presión crítica	790.46 psi
Densidad del líquido a 25°C	1.15 kg / l
Densidad del líquido a -25°C	1.34 kg / l
Densidad del vapor	4.6kg / m <sup>3</sup>
Presión de vapor a 25°C	172.60 psi
Presión de vapor a -25°C	33.50 psi
Calor de vaporización	253 Kj / Kg
Límite de inflamabilidad	Ninguno

Fuente: Gas-Servei S.A. **Fichas técnicas.**

**Tabla VIII. Características de operación del R-410A.**

Punto de ebullición	-52°C
Temperatura crítica	72.5°C
Presión crítica	717.94 psi
Densidad del líquido a 25°C	1.07 kg / l
Densidad del líquido a -25°C	1.27 kg / l
Densidad del vapor	4.2 kg / m <sup>3</sup>
Presión de vapor a 25°C	239.31 psi
Presión de vapor a -25°C	48.44 psi
Calor de vaporización	257 Kj / Kg
Capacidad calorífica del líquido a 25°C	1.71 Kj / kg K
Capacidad calorífica del vapor a 25°C	1.28 Kj / kg K
Límite de inflamabilidad	Ninguno

Fuente: Gas-Servei S.A. **Fichas técnicas.**

**Tabla IX. Características físicas y condiciones de operación de los refrigerantes convencionales y ecológicos.**

Refrigerante	Fórmula química	Peso molecular	Nombre científico	Punto de ebullición	Presión de vapor a 25°C	Sustituto de:
R-11	CCl <sub>3</sub> F	137.4 kg/kg mol	Tricloromono fluorometano	23.8°C	--	--
R-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	120.9 kg/kg mol	Diclorodifluoro metano	-29.8°C	101.07 psi	--
R-22	CHClF <sub>2</sub>	86.5 kg/kg mol	Monoclorodi fluorometano	-40.8°C	151 psi	--
R-502	--	111.6 kg/kg mol	Clorodifluoro metano y Cloropenta fluoroetano	-45.6°C	180 psi	--
R-717	NH <sub>3</sub>	17.0 kg/kg mol	Amoniaco	-33°C	--	--
R-134a	CH <sub>2</sub> F-CF <sub>3</sub>	102 kg/kg mol	Tetrafluoro etano	-26.4°C	96.16 psi	R-12
R-404 <sup>a</sup>	R-125/R-143a/R-134 <sup>a</sup>	97.61 kg/kg mol	Pentafluoro etano, Tetrafluoro etano y Trifluoroetano	-47.8°C	201.90 psi	R-502
R-407c	R-32/R-125/R-134A	86.2 kg/kg mol	--	-44.2°C	172.59 psi	R-22
R-410a	R-32/R-125	72.6 kg/kg mol	--	-45.6°C	239.31 psi	R-22

Fuente: *National Refrigerants*. **Ficha técnica de los refrigerantes.**



### **3. DIFERENCIAS ENTRE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN QUE UTILIZAN REFRIGERANTE CONVENCIONAL Y LOS QUE UTILIZAN REFRIGERANTE ECOLÓGICO**

Los objetivos de este análisis rondan en la calidad de los refrigerantes así como el funcionamiento de los sistemas que se utilizan para refrigeración. A continuación se hará una comparación de los dispositivos y su funcionamiento en cada uno de los respectivos sistemas. Además se analizarán los parámetros o condiciones de trabajo que tiene estos dispositivos y se comparará su funcionamiento en comparación con los ecológicos.

#### **3.1 Diferencias entre componentes que integran los sistemas de refrigeración convencionales y ecológicos**

El cambio en la utilización de un refrigerante convencional, obedece especialmente a los niveles de contaminación mundial, que a estas alturas son importantes. El calentamiento global y el debilitamiento de la capa de ozono son los mayores problemas provocados en parte por la utilización de estos refrigerantes conocidos como convencionales.

El proceso de transición para un sistema de refrigeración es hasta cierto punto problemático y costoso, por lo que se debe analizar con detenimiento. Para evitar la contaminación con estos gases refrigerantes existen dos opciones, ambas viables.

Una es la implementación de políticas de control y reciclamiento en los sistemas que utilizan gases refrigerantes convencionales y la otra es la transformación del sistema convencional a sistema ecológico.

Las políticas de control son medidas que para ciertos refrigerantes convencionales quedaron obsoletas hace un tiempo y para otros quedarán en corto plazo. Por lo que la mejor opción a largo plazo es la transformación del equipo a condiciones ecológicas. Esta razón es la que lleva al análisis de los componentes principales de un sistema de refrigeración.

### **3.1.1 Características de los compresores utilizados para sistemas de refrigeración convencionales**

Los compresores convencionales son los que tienen como fluido de trabajo un refrigerante convencional ya sea clorofluorcarbonado o fluorcarbonado, entre los que están: El R-11, R-12, R-22 y R-502. Los cuales son los más utilizados dependiendo del fin que se busca ya sea refrigeración doméstica, comercial, industrial, automotriz, enfriamiento o congelamiento.

En un compresor se observan dos tipos de presiones, las cuales son las de entrada y salida, que también son conocidas como presión de baja y presión de alta, respectivamente. En un compresor para un sistema de enfriamiento por ejemplo, se registra una presión de baja de 55 psi y una presión de alta de 225 psi.

Los compresores convencionales pueden tener dos tipos de válvulas de compresión, los cuales son

- De lengüeta
- Circular

Los sistemas de enfriamiento con refrigerante convencional pueden alcanzar una temperatura de hasta  $-40^{\circ}\text{C}$ . El tipo de aceite que utilizan los sistemas de refrigeración debe ser compatible con el refrigerante que se utiliza y con el tipo de válvula del compresor, así: el aceite utilizado para válvulas circulares es el Suniso 3GS y el aceite utilizado para válvulas de lengüeta es el Capella B y D.

El aceite en el depósito (*carter*) del compresor debe enfriarse y para esto pasa a un radiador, el cual es un disipador de calor, que es enfriado por el aire recibido de los ventiladores colocados en la cabeza de los pistones.

La sobre presión en un sistema de refrigeración es un factor que debe ser controlado para evitar que se transfiera a la tubería por lo que los compresores tienen una válvula de alivio que permite la recirculación del refrigerante dentro del mismo pistón. Esta válvula de alivio es activada con un dispositivo bimetalico sensible a la presión. Los compresores deben tener un filtro de succión que evita la entrada de basura al compresor.

Uno de los factores importantes dentro de un sistema de refrigeración es la instalación del equipo; ésta en los sistemas convencionales debe seguir normas establecidas para que el sistema esté exento de cualquier cuerpo extraño, como soldadura o tubería.

Las fallas en los compresores convencionales son provocadas por el paso de líquido en el lado de baja del compresor. Se debe señalar que el líquido que entra al compresor es aceite que va mezclado con el refrigerante. Esta falla ocasiona la falta de lubricación en el compresor, la cual incide en el desgaste de los componentes: biela-manivela, cigüeñal, pistones.

La protección del compresor la llevan a cabo varios dispositivos que son: la válvula de alivio, vaporizadores, filtros. Los vaporizadores son elementos que están colocados en la entrada del compresor, son resistencias eléctricas cuya labor es la de vaporizar el líquido que llegue hasta ese punto, con esto se evita el ingreso de líquido al compresor.

Otro factor de protección para el sistema y por consiguiente para el compresor es el límite de carga permisible que indica la cantidad de refrigerante específico dentro del sistema.

### **3.1.2 Características de los compresores utilizados para sistemas de refrigeración ecológicos**

Los compresores ecológicos son los que tienen como fluido de trabajo un refrigerante que contiene componentes químicos hidrofluorocarbonados entre los que están el R-134a, R-404a, R-407c, R-410a.

Uno de los refrigerantes ecológicos más utilizados es el R-404a, pues sus características le permiten cubrir un rango amplio de presiones y temperaturas de trabajo. Este refrigerante se utiliza sólo en equipos de refrigeración comercial e industrial.

Los compresores de los sistemas ecológicos implican más exigencias de trabajo debido a que la compresión del refrigerante dentro de éstos es mayor que en el compresor convencional, por lo que sus componentes como: válvulas de compresión, anillos, pistones, cilindros, cigüeñal, biela-manivela, son robustos en comparación a los mismos de los compresores convencionales.

Las válvulas de los compresores ecológicos también cambian, como se mencionó, el compresor convencional puede tener dos tipos de válvulas; el compresor ecológico puede utilizar únicamente la válvula circular.

Las propiedades de los refrigerantes ecológicos permiten que el sistema trabaje a más bajas presiones pudiendo alcanzar temperaturas de hasta  $-60^{\circ}\text{C}$ . Las bajas presiones generan menor operación del compresor y mayor eficiencia de enfriamiento, con lo que se reduce el costo de operación.

La transición de un sistema convencional a un ecológico implica el cambio del aceite del equipo, pues como se dijo anteriormente, este debe ser compatible con el refrigerante. Tomando en cuenta esto los aceites que se usan con los refrigerantes ecológicos son

- Poliolester
- Zerice.

El aceite en el depósito de aceite (*carter*) del compresor debe enfriarse y como en el sistema convencional utilizan el sistema de enfriamiento con el disipador de calor y los ventiladores dispuestos en la cabeza de los pistones.

La presión del aceite en los compresores ecológicos es monitoreada y regulada por el controlador de presión de aceite, el cual puede ser:

- Mecánico.
- Análogo.
- Electrónico.

Este dispositivo consta de una sonda de dilatación bimetálica y registra la presión de la salida de la bomba de aceite la cual no debe ser menor de 10 psi. Si la presión es menor, el compresor se detiene por lo menos durante dos minutos para reestablecer la presión.

La sobre presión del líquido refrigerante también es controlada por la válvula de alivio, que es un dispositivo bimetálico sensible a la presión. El filtro en el compresor es un componente inherente a todos los sistemas de refrigeración de gran capacidad, pues evitan la entrada de suciedad al compresor.

La instalación de un sistema de refrigeración con gas ecológico debe ser bajo estrictas normas, al igual que el convencional pero además es necesario que éste se limpie con nitrógeno seco.

Las fallas en éstos compresores son las mismas que en los compresores convencionales debiendo evitar la compresión de líquido, falta de lubricación así como especificar la carga límite dentro del sistema. Pero debido al manejo de presiones muy bajas, debe monitorearse la sobre presión en el equipo. Debido a la similitud de las fallas la protección que debe tener el sistema es la misma.

Otra diferencia de los sistemas de refrigeración convencional y ecológico es la forma en que se carga el refrigerante dentro del equipo, pues en los sistemas convencionales la carga puede ser tanto en estado líquido como gaseoso y en los sistemas ecológicos la carga debe hacerse en estado líquido, pues el refrigerante tiende a evaporarse rápidamente, ya que su temperatura de evaporación es menor.

**Tabla X. Características de los compresores convencionales y ecológicos.**

<b>Características</b>	<b>Compresor convencional</b>	<b>Compresor ecológico</b>
Presiones de entrada	55 psi	10 psi
Presión de salida	225 psi	185 psi
Tipos de válvulas de compresión	Circular y lengüeta	Circular
Temperatura alcanzada	-40°C	-60°C
Tipos de aceite lubricante	Suniso 3Gs Capella B y D	Poliéster y zerice
Tipos de enfriamiento de aceite	Radiador, ventiladores	Radiador, ventiladores
Actuador de la válvula de alivio	Bimetálico	Bimetálico
Filtro de succión	Sí	Sí
Controlador de presión de aceite	No	Mecánico, análogo o electrónico.
Factores de instalación	Standard	Humedad exterior limpieza interna del sistema
Tamaño de los componentes	Standard	Robustos
Fallas	Compresión de líquido, falta de lubricación y sobre presión.	Compresión de líquido, falta de lubricación y sobre presión.
Protección	Válvula de alivio, vaporizadores, carga límite permisible	Válvula de alivio, vaporizadores, carga límite permisible.

Fuente: *National Refrigerants*. **Ficha técnica de los refrigerantes.**

### **3.1.3 Características de los dispositivos de expansión de los sistemas de refrigeración convencionales y ecológicos**

Los dispositivos de expansión permiten que el gas refrigerante líquido cambie de estado pasando a ser gas justo en la entrada del evaporador. Esta evaporación a bajas presiones es la que permite la disminución en la temperatura de un ambiente, fluido o cualquier tipo de materia, ya sea orgánica e inorgánica.

Se analizaron con anterioridad los dos dispositivos de expansión más comunes en los distintos sistemas de refrigeración. Estos son el tubo capilar y la válvula de expansión termostática. El tubo capilar es un tubo cuyo largo y diámetro es fijo pues está diseñado para cada uno de los sistemas que lo utilizan. En cambio la válvula de expansión termostática es regulable y esta graduación depende de la temperatura que registre un bulbo colocado a la salida del evaporador.

Al igual que un tubo capilar, la válvula de expansión termostática puede utilizarse con ambos tipos de refrigerante. En el caso de la válvula de expansión, debe considerarse el rango de temperaturas y / o presiones para las que esté diseñada y debe utilizarse un bulbo adecuado para las temperaturas y presiones de la válvula de expansión.

### **3.1.4 Características de la tubería en los sistemas de refrigeración convencionales y ecológicos**

La tubería es el dispositivo de conducción del fluido de trabajo, es la conexión entre los dispositivos que coordinados llevan a cabo el fenómeno de la refrigeración. La tubería puede ser

- Blanda.
- Liviana
- Pesada.

La tubería blanda es un tubo de cobre que puede soportar presiones de hasta 120 psi. La tubería liviana es, también, un tubo de cobre y puede usarse tanto para refrigerante convencional como ecológico y soporta presiones de hasta 400 psi.

La tubería pesada tiene un diámetro de 2 ½ " y soporta presiones de hasta 600 psi.

Dependiendo de la utilidad que se le vaya a dar estas tuberías pueden ser:

- Rígidas
- Flexibles

Las tuberías rígidas se usan para sistemas industriales y las tuberías flexibles para sistemas comerciales.

Las tuberías pueden ser de varias medidas según las demandas del sistema, así el fabricante manufactura tuberías de:  $\frac{1}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{5}{8}$ ",  $\frac{3}{8}$ ",  $\frac{5}{16}$ ",  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{7}{8}$ ",  $1 \frac{1}{8}$ ",  $1 \frac{1}{4}$ ",  $2 \frac{1}{8}$ ",  $2 \frac{3}{8}$ ",  $2 \frac{5}{8}$ " hasta 3".

La carga del sistema y la distancia del compresor al evaporador son las que determinan el diámetro de la tubería. El largo de las tuberías flexibles es de 0 a 50' y el de la tubería rígida es de 0 a 18'.

Las conexiones entre tuberías se hacen por medio de soldaduras, pero los dispositivos van roscados. Las tuberías en ambos sistemas de refrigeración son las mismas pues no existe ninguna razón para que deba utilizarse una u otra para determinado tipo de refrigerante.

### **3.2 Diferencias en condiciones de operación entre sistemas de refrigeración convencionales y ecológicos**

El buen funcionamiento de los sistemas de refrigeración es un factor influyente en el costo de operación, lo que obliga a comparar las condiciones bajo las cuales trabaja cada uno de los sistemas.

Si un sistema de refrigeración no tiene un funcionamiento normal, su resultado se verá, en el incremento del costo de operación pues éste estará trabajando demás, se disminuirá la vida útil del equipo y no estará cumpliendo la función para la que fue adquirido, como lo es enfriar o congelar, cualquiera que sea el caso.

### **3.2.1 Presiones de operación en sistemas de refrigeración convencionales**

Las presiones que se observan en algunos sistemas difieren de otros de acuerdo al nivel de enfriamiento o congelamiento alcanzado, así como de las presiones que el refrigerante pueda alcanzar.

Por ejemplo, si se utiliza un refrigerante R-12 (para refrigeración doméstica), para alcanzar una temperatura de  $T = 0^{\circ}\text{C}$ , se observa una presión en el lado de baja de 8 psi y de 125 psi en el lado de alta. Esta presión de alta se mantiene durante todo el circuito debido a que no tiene depósito de refrigerante líquido y además los sistemas domésticos utilizan como dispositivo de expansión un tubo capilar.

En cambio en un cuarto frío de carácter comercial, con refrigerante R-22, (para congelación), se tiene una presión de baja de 34 psi y a la salida del compresor una presión de 225 psi. El fluido pasa por el condensador y conserva la misma presión. Ésta debe tener una reducción de hasta 10 psi en el depósito del refrigerante, que es necesario en los sistemas comerciales e industriales. Sale del depósito con 220 psi, presión que debe mantenerse hasta la entrada de la válvula de expansión. Luego de la expansión la reducción de la presión puede ser de hasta 200 psi, por lo tanto la presión que sale del evaporador debe mantenerse hasta la entrada del compresor, siendo ésta de aproximadamente 20 psi.

Para un sistema de enfriamiento industrial que maneja R-12, la presión en el lado de baja debe ser de 20 psi y en el lado de alta es de 175 psi. Pasa por el condensador sin cambiar su presión, reduciéndola en el depósito de refrigerante un máximo de 5 psi. Esta presión debe mantenerse hasta la entrada de la válvula de expansión, paso que le genera una reducción de hasta 150 psi, saliendo del evaporador a 20 psi, éstas deben mantenerse hasta la entrada del compresor.

### **3.2.2 Presiones de operación en sistemas de refrigeración ecológicos**

En este caso se analiza un cuarto frío con R-404, a una temperatura deseada de  $T = -30^{\circ}\text{C}$ . Se observa una presión en la entrada del compresor de 10 psi y una presión de salida de 185 psi. Como ya se estableció el condensador no cambia la presión. Llega al depósito de líquido y baja un promedio de 0 a 5 psi, es decir, se observa una presión de 180 psi, ésta debe mantenerse hasta llegar a la válvula de expansión. Al salir del evaporador el fluido lleva una presión de 8 psi, registrando una temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$ . Luego del evaporador el fluido pasa a través de un filtro de succión, (que limpia el sistema para evitar impurezas dentro del compresor), éste eleva la presión del gas, llevándola hasta 12 psi, presión a la que el refrigerante entra al compresor.

Para una fábrica de hielo se necesita un sistema con R-404, para alcanzar una temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$ . La presión en el lado de baja es de 35 psi y en la salida del compresor es de 225 psi.

Este es un sistema simple que no cuenta con depósito de refrigerante, por lo que la presión que sale del compresor es la misma pasando por el condensador hasta la entrada de la válvula de expansión y registra una presión de 20 psi en la salida del evaporador, misma que se mantiene hasta la entrada del compresor.

Hay que hacer notar que la presión que se señala como de baja es la que tiene el refrigerante en la primera carga, es decir es el primer ciclo que realiza esa carga de refrigerante en ese sistema.

**Tabla XI. Diferencias en condiciones de operación de los sistemas convencionales y ecológicos.**

Refrigerante	Sistema	Temperatura	P <sub>entrada</sub>	P <sub>salida</sub>	P <sub>entrada VET u otro.</sub>	P <sub>entrada Evaporador</sub>	P <sub>entrada Compresor</sub>
R-12	Refrigeración doméstica	0°C	8 psi	125 psi	125 psi	125 psi	125 psi
R-12	Enfriamiento industrial	-25°C	20 psi	175 psi	170 psi	20 psi	20 psi
R-22	Cuarto frío	-30°C	34 psi	250 psi	220 psi	20 psi	20 psi
R-404	Cuarto frío	-30°C	10 psi	185 psi	180 psi	8 psi	12 psi Filtro de succión
R-404	Fábrica de hielo	0°C	35 psi	225 psi	225 psi	20 psi	20 psi

Fuente: *National Refrigerants. Ficha técnica de los refrigerantes.*

### 3.3 Rendimiento en sistemas de refrigeración

El refrigerante debe operar dentro del intervalo de temperaturas y presiones requeridas para llevar a cabo la tarea que se le asigne. Por ejemplo, un refrigerador doméstico debe ser capaz de mantener temperaturas del orden de 4 a 7°C. La temperatura de evaporación del refrigerante debe estar en un margen de -4 a -1°C, lo que significa 8°C por debajo de la temperatura del recipiente. Utilizando un condensador enfriado por aire, la temperatura de condensación típicamente estará en el orden de 49 a 55°C, lo que equivale a 17°C por encima del aire ambiente. A estas temperaturas, las presiones deben quedar en un orden posible de alcanzar, utilizando un compresor estándar.

Utilizando un compresor con presiones de 250 psi con R-12, la presión de evaporación será de 24.6 a 28.4 psi. La presión de condensación será de 157.6 a 181 psi. Si se utiliza un sistema con estas mismas características pero con R-134a, la presión de evaporación será de 36.7 a 40.7 psi, con una presión de condensación de 185.8 a 199.2 psi.

Otra forma de analizar el rendimiento de los sistemas es analizar las temperaturas de ebullición de éstos. Por ejemplo, las temperaturas de ebullición del R-12 que es de -29.8°C, permite utilizarlo en un rango de temperaturas moderadamente alto. Este gas era uno de los convencionales con mejor rendimiento alcanzando una temperatura hasta de -30°C e un óptimo nivel de trabajo. Teniendo una presión en la entrada del compresor de 8 psi y 190 psi en la salida.

El R-502 se usó luego del R-12, proporcionando temperaturas muy bajas en sistemas industriales de congelación. Tiene una temperatura de ebullición de  $-45.6^{\circ}\text{C}$ . Con este refrigerante el enfriamiento se logra más rápidamente que con el R-12, tiene una presión del lado de baja de 35 psi y de 250 psi en el lado de alta.

El R-22 se utiliza para temperaturas bajas, medias y altas, tiene una temperatura de ebullición de  $-40.8^{\circ}\text{C}$ , puede utilizarse de manera eficiente llegando hasta  $-60^{\circ}\text{C}$ .

Existe otra forma de determinar el rendimiento de los refrigerantes, esto se hace mediante el COP o coeficiente de rendimiento. Este se obtiene con la siguiente fórmula  $\text{COP} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$ . En esta fórmula se define a  $T_1$  como la temperatura absoluta del evaporador y a  $T_2$  como la temperatura de condensación. Es importante mencionar que el rendimiento real siempre será menor que el teórico; esto se debe a que la reversibilidad no existe.

**Tabla XII. Rendimiento de los refrigerantes.**

Refrigerante	Temperatura de ebullición	Presión de entrada	Presión de salida	Temperatura alcanzada	COP
R-12	-29.8°C	8 psi	190 psi	-30°C	6.91
R-22	-40.8°C	34 psi	225 psi	-25°C	7.06
R-502	-45.6°C	35 psi	250 psi	-30°C	6.53
R-404	-46.7°C	3 psi	175 psi	-60°C	6.18

Fuente: *National Refrigerants*. **Ficha técnica de los refrigerantes.**

### **3.4 Efectos producidos por el uso de refrigerantes**

Existen en el mundo dos problemas ambientales diferentes pero interrelacionados en diversos puntos: cambio climático y el agotamiento de la capa de ozono. Ambos son atribuidos a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial. Además, productos químicos destructores de la capa de ozono también contribuyen al calentamiento global porque varios de éstos son gases de efecto invernadero. El mundo entero se ha visto en la necesidad de buscar soluciones a esta problemática.

Los clorofluorocarbonos (o CFC's) son sustancias que se utilizan como refrigerantes. Estos, además de ser reductores de la capa de ozono, son gases de efecto invernaderos miles de veces más potentes que el CO<sub>2</sub>.

En virtud del Protocolo de Montreal, en el año 1996 se eliminó totalmente la producción y/ o consumo de los CFC's en los países industrializados. Para los países en desarrollo esta congelación deberá hacerse en el año 2010, aunque ya se está regulando el consumo de estos gases [Programa Acción Ozono, PNUMA TIE, 1999].

En la mayoría de estos países, los sistemas de refrigeración doméstica existentes y los de los aires acondicionados de vehículos están basados en el CFC-12.

Todo esto obliga a buscar alternativas a estos refrigerantes. La alternativa fomentada en el pasado por el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal ha sido el uso del hidrofluorocarbono 134-a (HFC-134a) como sustituto del clorofluorocarbono R-12 (CFC-12).

Lamentablemente el HFC-134a aunque no destruye la capa de ozono es un gas refrigerante que posee un elevado potencial de efecto invernadero, tanto así que el Protocolo de Kyoto (1997) lo incluyó en la lista de gases de efecto invernadero a ser controlados. Además, convertir un equipo a HFC-134a es costoso y complicado ya que conlleva el cambio de componentes.

Si se observa el potencial de destrucción de la capa de ozono (PDO) y el potencial de calentamiento global (PCG) para algunos gases refrigerantes resalta que el PDO de los refrigerantes naturales y del HFC-134a es de 0 (no afectan en nada a la capa de ozono), en contraposición a los otros refrigerantes presentados.

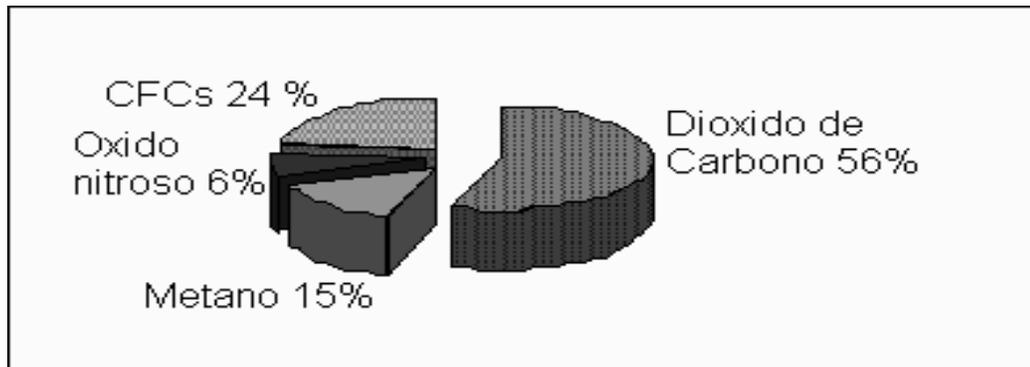
Por otro lado, el PCG de los hidrocarburos es insignificante en comparación con el de los otros refrigerantes (exceptuando el amoníaco). Por ejemplo, el PCG del HFC-134a (alternativa fomentada en el pasado) es de 1300, mientras que el PCG de los hidrocarburos es de 3.

**Tabla XIII. Potencial de destrucción de la capa de ozono, potencial de calentamiento global y tiempo de vida en la atmósfera de los refrigerantes.**

Gases refrigerantes	PDO	PCG	Tiempo de vida
Dióxido de carbono (R744)	0	1	--
CFC-11	1	4600	45
CFC-12	1	10600	100
CFC-115	0.6	7200	1700
HCFC-22	0.055	1700	11.9
HFC-134a	0	1300	13.8
HCFC-141b	0.11	700	9.3
HCFC-142b	0.065	2400	19
Amoniaco (R717)	0	0	--
Isobutano (HC-600a)	0	3	>1
Propano (HC-290)	0	3	>1
Ciclopentano	0	3	>1

Fuente: José A. Madé. : **Reconversión de refrigeradores domésticos basados en CFC-12 (R-12) a hidrocarburos (HC).** Pág. 3.

**Figura 25. Diagrama de la contribución de los CFC's al calentamiento global.**



Fuente: José A. Madé. : **Reconversión de refrigeradores domésticos basados en CFC-12 (R-12) a hidrocarburos (HC)**. Pág. 3.

### **3.4.1 Efectos del uso de refrigerantes convencionales**

Como ya se mencionó hay dos clases de refrigerantes convencionales que son los clofluorocarbonados y los hidroclorofluorocarbonados. Las dos clases de refrigerantes contribuyen a la disminución de la capa de ozono y al aumento del calor global que se conoce como efecto invernadero.

El refrigerante R-12, es un CFC (clorofluorcarbonado). Tiene a su favor que no es inflamable y no tiene punto de autoignición especificado. Entre los factores en contra está la inestabilidad química y térmica que tiene y el factor que contribuye a hacerlo inestable es la exposición a temperaturas mayores a 425°C o al fuego.

A esta temperatura el refrigerante empieza a descomponerse e elementos como: fluoruro de hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, cloro y cloruro de hidrógeno.

El refrigerante R-22 es también un CFC. Al igual que el R-12 es inflamable; su punto de autoignición es de 632°C o 1170°F. Entre los factores de inestabilidad está la exposición a calor con una temperatura mayor de 425°C o al fuego. La descomposición de este refrigerante tiene elementos como fluoruro de hidrógeno, cloruro de hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y cloro.

El refrigerante R-502 es un CFC. No es inflamable y al igual que el R-12 no tiene punto de autoignición especificado. El factor que lo lleva a la inestabilidad química es el calor a una temperatura mayor de 425°C o el fuego. La inestabilidad de este fluido induce la descomposición del mismo en: fluoruro de hidrógeno, cloruro de hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y cloro.

### **3.4.2 Efectos del uso de refrigerantes ecológicos**

Los refrigerantes ecológicos también tienen efectos sobre el planeta, aunque diferentes y algunos en mínima parte en comparación con los refrigerantes convencionales. Por ejemplo, hace un tiempo se encontró el sustituto del R-12, el cual era el R-134a. Este gas no tiene incidencia en la disminución de la capa de ozono, pero tiene un gran potencial para contribuir al calentamiento global.

El refrigerante R-134a es un HFC o hidrofluorcarbonado. Este refrigerante no daña la capa de ozono, pero contribuye al efecto invernadero. Tiene una gran estabilidad térmica y química y no es inflamable.

El refrigerante R-404 es un HFC. Este refrigerante no es inflamable y tampoco tiene punto de autoignición especificado. Es químicamente estable bajo condiciones normales y preestablecidas de almacenamiento y manejo. Sin embargo, es necesario evitar flamas, arcos de soldadura u otras fuentes de ignición potencial, altas temperaturas o aquellas que induzcan a la descomposición térmica. Esta descomposición térmica incluye: fluoruro de hidrógeno, monóxido de carbono, y dióxido de carbono.

Una característica común entre los refrigerantes es la incompatibilidad con algunos metales, en específico con metales alcalinos, aluminio, magnesio, zinc, oxidantes fuertes, pues podrían hacerlos reaccionar o acelerar el proceso de descomposición térmica, tan dañino para el medio ambiente y los seres humanos.

Por otro lado los refrigerantes son compatibles con la mayoría de materiales plásticos, muy utilizados en la refrigeración.

### **3.4.3 Efectos nocivos producidos por los refrigerantes**

Existen básicamente tres efectos nocivos, inherentes a los refrigerantes. Estos efectos son dañinos para los seres humanos y para el medio ambiente. Estos son:

- Toxicidad
- Inflamabilidad
- Descomposición

La toxicidad produce sensibilidad e irritación de la piel y el corazón. Un parámetro de toxicidad es el LC50 que es la cantidad que mata a los animales en corto tiempo. Se hacen pruebas en animales, por períodos largos de tiempo y se analizan los problemas crónicos como la mutagenicidad o el cambio de células; la carcinogenicidad, que es el cáncer causado.

La exposición es la cantidad de tiempo que puede someterse una persona al refrigerantes sin efectos adversos, para esto se han desarrollado parámetros como la TLV-TWA que simboliza el límite de químico al que una persona puede exponerse durante 8 horas en un día, 40 horas a la semana, sin efectos. El máximo valor adverso para cualquier químico es 1000PPM.

Existen varios parámetros como: el límite de exposición ambiental en el lugar de trabajo, el límite de exposición permisible, el límite de exposición aceptable. El límite corto de exposición que se basa en 15 minutos de exposición cualquier día. Estos parámetros se usan como guía de los requisitos para un cuarto de máquinas, ventilación o alarmas de emergencia o situación de escape.

Los refrigerantes representan un peligro inmediato cuando están en el aire, ya que se pueden combinar con éste a presión atmosférica y pueden encenderse, causando una llama o explosión. Debido a esto los refrigerantes inflamables pueden manipularse sólo en ambientes controlados, que tienen ventilación, equipo a prueba de explosión y pocas personas cerca del sistema de refrigeración. Algunos refrigerantes pueden quemarse con oxígeno pero a una presión y temperatura mayor que las de las condiciones atmosféricas. Algunos gases son prácticamente inflamables como el R-22 y el R-134.

El R-22 fue causa de combustión en una prueba de gotera presurizada con aire. Por eso con la mayoría de refrigerantes debe usarse nitrógeno presurizado para la comprobación de la gotera. Los refrigerantes como el R-12 generan más de 500 psi a temperaturas de 200°F y el R-502, las mismas presiones a 150°F

La descomposición puede ocurrir con cualquier refrigerante cuando se calienta por encima de los 800°F. Esta puede ocurrir en contenedores expuestos al fuego o a un calor extremo. Obviamente los contenedores o sistemas cargados no deben ser intencionalmente expuestos a una llama. Cuando un refrigerantes se descompone los productos primarios son ácidos como: clorhídrico (HCl), si el refrigerante contiene cloro y fluoruro de hidrógeno, si contiene fluor.

Estos productos se forman cuando está presente el hidrógeno, como en fallas por aceite, agua o si el refrigerantes está formado por hidrógeno, con en el R-22 y el R-134. Si el oxígeno también está presente, ya sea en el aire o agua, entonces es posible la formación de monóxido de carbono, dióxido de carbono y varios compuestos carbónicos saturados, de los cuales el más común es el fosgeno, siendo extremadamente tóxico en cantidades pequeñas.

La formación de fosgeno es una preocupación durante la descomposición de los refrigerantes convencionales como el R-11, R-12, R-113 y R-114. El fosgeno contiene dos átomos de cloro y uno de oxígeno. Si el oxígeno está presente y el refrigerante contiene cloro se producirá el fosgeno.

#### **4. CONSIDERACIONES SOBRE CLASIFICACIÓN, MANEJO, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE LOS REFRIGERANTES**

Estas consideraciones sobre todo en lo concerniente a los refrigerantes tienen que ver con seguridad industrial, rubro que observa la clasificación manejo y almacenamiento de todo lo referente a la industria. Se analizaron las consideraciones existentes en los manuales de seguridad de los refrigerantes y equipos y a se plantearon las regulaciones y normas que rigen el trato de los refrigerantes.

##### **1.1 Asignación del número del refrigerante**

Cuando se piensa en un refrigerante se tiende a pensar en éste como un único componente químico. De hecho los refrigerantes de uso común están compuesto por un solo químico, incluyendo algunos fluidos frigoríficos que reemplazan a los convencionales. Los refrigerantes compuestos por un solo químico están designados por una R, seguidos por dos o tres dígitos los cuales indican su composición.

En los refrigerantes de tres dígitos, el primero más la unidad indica los átomos de carbono que contiene la molécula. Si la molécula contiene un solo átomo de carbono el primer dígito es omitido.

Al restar la unidad al segundo dígito se obtiene el número de átomos de hidrógeno que contiene la molécula. El tercer dígito como tal indica el número de átomos de fluro contenidos en la molécula.

A continuación como ejemplo, se muestra la descripción de átomos del refrigerante ecológico R-134a.

R: Refrigerante

1: $1+1 = 2$	Dos átomos de carbono.
3: $3-1 = 2$	Dos átomos de hidrógeno.
4: 4	Cuatro átomos de fluro.
A:	Indica un isomero.

Algunos refrigerantes están compuestos por dos o más químicos. Las combinaciones de químicos que actúan como un solo refrigerante son llamados azeotropos. Estos son designados también por tres dígitos empezando con el número "5", como es el caso del R-500 o R-502.

Existen también los zeotropos los cuales mantienen algunas de sus características originales. Los refrigerantes de un solo químico tienen un solo punto de ebullición al igual que los azeotropos. En cambio los zeotropos tienen un rango amplio de temperaturas de ebullición los cuales dependen de las de sus componentes.

## **4.2 Clasificación de los refrigerantes de acuerdo al grado de toxicidad e inflamabilidad**

El efecto en la salud humana y la seguridad en el manejo de los refrigerantes son otras consideraciones a tomar en cuenta para determinar si éste es aceptable o no. Muchos químicos, incluyendo los refrigerantes, pueden ser peligrosos si son usados inapropiadamente. Dos categorías importantes de salud y seguridad son la toxicidad y la inflamabilidad.

La toxicidad puede ser medida en varias formas. Generalmente se tienen límites acerca de cuanto refrigerante puede tolerar con efectos temporales o permanentes. Se han llevado a cabo pruebas bajo el programa de toxicidad de fluorocarbonos alternativos, las cuales han conducido pruebas tóxicas extensas en refrigerantes HCFC y HFC.

Con estos resultados se han recomendado concentraciones que los humanos pueden tolerar por determinado tiempo sin sufrir daños a la salud, a esto se le conoce como límites permisibles de exposición. Estos valores están dados en partes por millón (ppm), indicando la cantidad máxima de refrigeración que puede ser tolerado.

Según su toxicidad los refrigerantes se dividen en:

- Clase A
- Clase B

Los refrigerantes de clase A son tóxicos en concentraciones arriba de 400ppm, por lo que se consideran de baja toxicidad. Los refrigerantes clase B son tóxicos en concentraciones por debajo de las 400ppm por lo que son altamente tóxicos.

La inflamabilidad es la capacidad que tiene un fluido de arder. Los refrigerantes, al ser fluidos, pueden ser Inflamables y clasificarse en:

- No inflamables.
- De baja inflamabilidad.
- De alta inflamabilidad.

Estas propiedades se determinan al establecer cuanta concentración de refrigerantes se necesita para sostener una llama. La designación de los frigoríficos según su flamabilidad se da en tres diferentes grupos, como sigue:

- Grupo 1: no inflamables.
- Grupo 2: baja inflamabilidad.
- Grupo 3: alta inflamabilidad.

A continuación se muestra una matriz que combina la toxicidad y flamabilidad de los refrigerantes convencionales y ecológicos.

**Tabla XIV. Grado de toxicidad y flamabilidad de los refrigerantes.**

Grupo 3	--	--
Grupo 2	HFC-32	R-717 Amoníaco
Grupo 1	CFC-11, CFC-12, HCFC-22, HFC-134A, HFC-407A, HFC-410A, HFC-125	--
--	A	B

Fuente: UNEP. *Chillers and refrigerant management, manual training*. Pág. 3-8.

### 4.3 Etiquetas y marcas

Cada cilindro debe mostrar una etiqueta de gas no inflamable o inflamable que debe tener un tamaño de 4" X 4" y debe ser de color verde y estar colocada en la válvula de seguridad del cilindro. Cada cilindro debe ser marcado con su nombre y número de identificación, este rótulo debe ser de 2" de alto. Además de estos datos los cilindros deben mostrar el nombre y dirección del encargado o propietario, así como el nombre del operario que lo llena, dirección y datos de llenado.

**Tabla XV. Etiquetas y marcas en los contenedores de los refrigerantes.**

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre químico</b>	<b>Número de identificación</b>
Refrigerante 12	Diclorodifluorometano	UN 1028
Refrigerante 22	Clorodifluorometano	UN 1018
Refrigerante 502	Clorodifluorometano y cloropentafluoroetano	UN 1973
Refrigerante 134a	Tetrafluoroetano	UN 3159
Refrigerante 404a	Pentafluoroetano, trifluoroetano y tetrafluoroetano	UN 3337

Fuente: *National Refrigerants*. **Ficha técnica de los refrigerantes.**

#### **4.3.1 Colores de los contenedores de refrigerantes**

Es esencial saber qué refrigerantes está en determinado cilindro. Por consiguiente se recomienda seguir un lineamiento establecido para etiquetar cilindros de refrigerantes. La guía ARI N-1992. Asignación de colores a contenedores de refrigerantes es la que establece los colores de los refrigerantes existentes, nuevos y regenerados.

Esta guía divide a los refrigerantes en cuatro clasificaciones básicas, la primera para líquidos con punto de ebullición por encima de 20°C (68°F), el segundo grupo es de refrigerantes de baja presión, el tercer grupo es para refrigerantes de alta presión y el cuarto grupo corresponde a refrigerantes inflamables o mezclas potencialmente inflamables y le asigna un color único a cada refrigerante entre las clases descritas.

El color del contenedor del refrigerante, debe usarse para verificar el contenido de la etiqueta. Si no hay etiqueta o si el refrigerante etiquetado no coincide con el color del contenedor, se debe consultar al fabricante o al proveedor del producto.

**Tabla XVI. Color de los contenedores para refrigerantes.**

Refrigerantes	Color
CFC-11	Naranja
CFC-12	Blanco
HCFC-22	Verde claro
HCFC-123	Azul gris claro
HFC-134a	Azul claro
R-500	Amarillo
R-502	Morado claro
Recuperado	Amarillo / gris

Fuente: UNEP. *Chillers and refrigerant management, manual training*. Pág. 5-28.

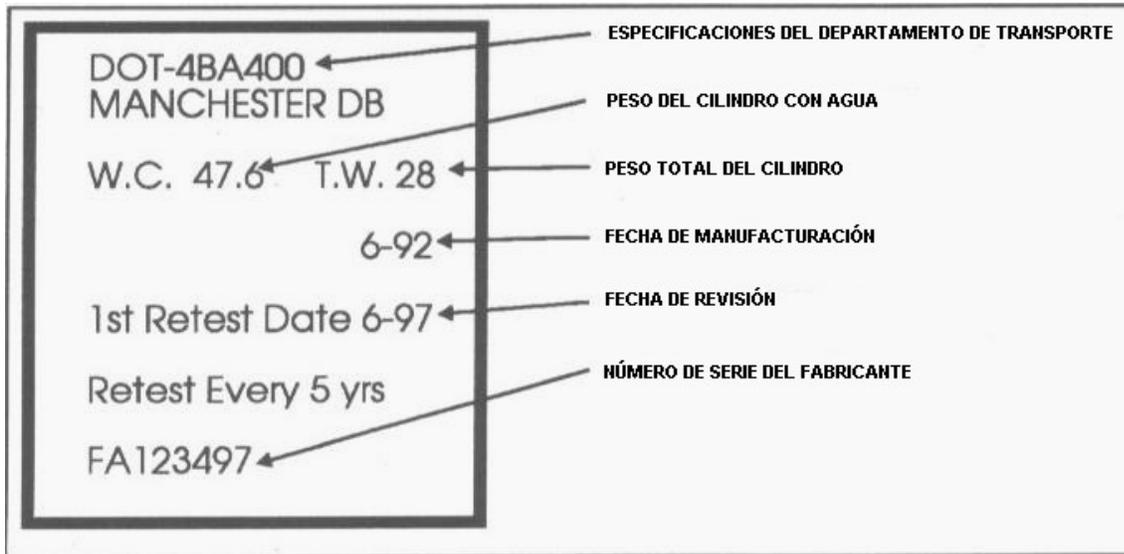
Los contenedores para refrigerantes recuperados deben ser coloreados de acuerdo a los lineamiento de la norma ARI K-1990. Contenedores para refrigerantes fluorocarbonados recuperados. Este lineamiento recomienda un esquema de color gris con tapón amarillo.

Desde que se aplica para todos los refrigerantes recuperados, es imperativo que los contenedores de refrigerantes recuperados sean marcados o etiquetados para evitar recuperar diferentes refrigerantes en ese mismo contenedor. Cuando se recupera refrigerante, se debe estar seguro de almacenarlo en un contenedor del color apropiado y marcado como un refrigerante recuperado.

Si un refrigerante es recuperado dentro de un contenedor que contiene un refrigerante diferente, ambos refrigerantes se contaminarán y la mezcla será inaceptable para el uso en cualquier equipo. Además, no es recomendable llevar a cabo la separación de refrigerantes por lo que la mezcla debe ser destruida.

Otra información que puede hallarse en los contenedores de refrigerante es la máxima presión de servicio, la capacidad de agua del tanque, el peso del tanque vacío, la fecha de fabricación y el número de serie del fabricante.

**Figura 26. Diagrama de la etiqueta del collar del contenedor.**



Fuente: UNEP. *Chillers and refrigerant management, manual training*. Pág. 5-29.

#### 4.4 Verificación de los contenedores

Los contenedores se deben llenar solo si no han pasado más de 5 años luego de la fecha de prueba en el contenedor. La fecha debe estar estampada en el hombro o collar del cilindro de la siguiente forma:

A1  
08                      94  
32

Este ejemplo indica que el cilindro fue aprobado en Agosto de 1994, pertenece a la clasificación A1 y fue evaluado por el encargado Num.32.

#### 4.4.1 Peso del contenedor

El peso bruto máximo permitido debe ser marcado en cada cilindro o depósito y debe ser indicado en libras. El peso bruto máximo permitido se determina así:

$$\begin{array}{r} \text{Peso bruto máximo permitido (0.8 X capacidad de peso de agua)} \\ \text{Peso del cilindro incluyendo la válvula} \qquad \qquad \qquad + \\ \hline \text{Peso bruto máximo permitido} \end{array}$$

Durante el llenado de un cilindro, éste debe ser pesado con el fin de asegurar que no se sobrepase el bruto máximo. Deben ser revisados para determinar si tienen o no fugas. Los depósitos o cilindros que hayan sido utilizados para un determinado refrigerante únicamente pueden almacenar el mismo y no puede utilizarse ningún agente limpiador.

## 4.5 Transporte

Debe ser la compañía de transporte quien lleve a cabo las averiguaciones en cuanto a las regulaciones se refiere. Las regulaciones generales que deben cumplirse son las siguientes:

- Limitar la cantidad y tipo de contenedores a transportarse.
- Especificar el peso bruto total del refrigerante.
- Identificar los refrigerantes por su nombre.
- Especificar si los refrigerantes transportados son inflamables o no.
- Identificar los refrigerantes de acuerdo a su clasificación.

## **5. PLAN DE MANEJO DE LOS REFRIGERANTES**

Cuando los productores de refrigerantes alrededor del mundo empiecen a reducir y eventualmente a detener la producción de refrigerante CFC puro, las reservas disponibles empezarán a terminarse y escasear con lo que aumentarán su costo.

La solución a este problema no es fácil, mas se debe dar un paso crucial, siendo este el plan de manejo de refrigerante, el cual debe contener

- Estatutos sobre refrigerantes y medio ambiente.
- Plan de contingencia del uso de los refrigerantes.
- Estratégias de adaptación y reemplazo de equipo.

### **5.1 Estatutos sobre los refrigerantes y el medio ambiente**

Éstos deben estar ya establecidos en la empresa en forma escrita y deben utilizarse como un banco de marca para todas las decisiones que se tomen al respecto. Los estatutos no sólo sirven como una guía a los empleados, sino, deben seguirlos también proveedores de servicios y vendedores.

El plan de manejo del refrigerante debe especificar los procedimientos de seguridad y documentar los datos del equipo de enfriamiento, los requerimientos de refrigeración, el stock (paquetes de reparación) de refrigeración y sus movimientos.

El plan de manejo de refrigerantes debe incluir una agenda de operación y mantenimiento, la cual especifique las estrategias a seguir. Los designados a llevar a cabo el plan de manejo de refrigerante son el encargado de refrigerante y su equipo de trabajo; los cuales son los encargados de desarrollar el plan.

El equipo de manejo de refrigerante tienen tareas como

- Compilar datos del refrigerante y equipo.
- Revisar la información de seguridad.
- Revisar el equipo de contingencia y las prácticas de mantenimiento.

Luego de estos pasos el equipo de manejo de refrigerante debe recomendar la actualización o establecimiento de estatutos a fin de encaminar el tratamiento debido del refrigerante y la protección del medio ambiente. Los estatutos deben designar personal responsable del manejo, conducir y desarrollar entrenamiento de seguridad en el manejo del refrigerante.

Estos documentos deben expresar la filosofía de la empresa con respecto al apropiado manejo y conservación de los refrigerantes. Los estatutos sobre los refrigerantes y medio ambiente constan de pólizas de protección a éste, las que están encaminadas a eliminar o disminuir la emisión de los refrigerantes, de acuerdo a los tratados internacionales.

Dentro de los estatutos de la empresa debe haber una guía de operación, mantenimiento y procedimiento de servicios. Esto ayudará a entender la necesidad de reducir la emisión de gases, identificar las pérdidas máximas de refrigerante, asignar responsabilidades de monitoreo de las pérdidas y ordenar reparaciones cuando las pérdidas son significativas, Además, dirige la seguridad del personal de servicio y los ocupantes del edificio.

En los servicios de mantenimiento de los sistemas de enfriamiento se debe establecer una salida intencional a los refrigerantes. Para el servicio de los enfriadores se debe contratar técnicos calificados para el uso de equipos de recuperación y reciclamiento, así como la reparación de fugas.

Los enfriadores nuevos deben tener una guía sobre refrigerantes, rangos de emisiones y eficiencias mínimas cuya demanda sea aceptable para estos equipos. Los estatutos de las empresas y las normas que rigen el manejo de los refrigerantes no pueden actuar por sí solos, por lo que es necesario educar a toda la fuerza de trabajo sobre su contenido.

## **5.2 Plan de contingencia del uso de refrigerantes**

Las medidas de moderación en el uso de los refrigerantes pueden ser deficientes financieramente hablando, las cuales un propietario u operador puede tomar para reducir las emisiones de CFC. Estas pueden ser tan simples como adoptar buenas prácticas de mantenimiento y servicio o puede ser también la instalación de equipos de detección de fugas y equipos especializados en limitar el uso de los refrigerantes clorofluorcarbonados.

Los procedimientos para detener el uso y producción de refrigerante debe ser implementado tan pronto como sea posible. Sin embargo, el costo de la instalación de equipo de moderación debe ser comparado con la reducción de emisiones de CFC esperadas y el costo del reemplazo de sistemas de enfriamiento existentes con uno nuevo, el cual elimina el total de emisiones.

Sí el costo de un equipo de moderación para un enfriador convencional es alto y la reducción de emisiones es baja, entonces podría ser más efectivo retirar el equipo convencional y reemplazarlo con uno nuevo, ecológico.

Es importante tener un programa completo de entrenamiento, apoyado por buenas prácticas de servicio las cuales detallen lo que se debe o no hacer para un manejo seguro del refrigerante. El último objetivo es elevar las prácticas de servicio de la organización particularmente en nuevos refrigerantes, equipos y en lo que a seguridad concierne.

A continuación se muestra una lista de lo que se debe hacer en buenas prácticas de servicio:

- Pensar en la conservación y seguridad de CFC.
- Seguir y usar los procedimientos y equipos recomendados para el manejo de refrigerantes.
- Reemplazar y ajuste todos los sellos en las válvulas después de su servicio.
- Apagar el equipo y realice las reparaciones cuando hayan fugas.
- Usar un equipo de transferencia adecuado cuando remueva, cargue o almacene los refrigerantes.
- Recuperar el vapor y refrigerante líquido de la tubería de carga.

- Realizar pruebas de fugas en equipos de carga y de manejo de refrigerante.
- Llevar a cabo el aislamiento de las válvulas para limitar la pérdida de refrigerante durante los mantenimientos y purgas.
- Eliminar juntas mecánicas innecesarias. Utilice soldadura o abrazaderas.
- Establecer rutinas apropiadas para la detección de fugas.
- Seguir los procedimientos apropiados en la detección de fugas.
- Utilizar equipo y herramientas aceptadas en la industria para la detección de fugas.
- Confirmar el ajuste total de los sellos a través de pruebas de vacío.
- Luego dar un servicio mayor evacúe y deshidrate a un mínimo de 757mm, usando un aspirado profundo o el método de evacuación triple.
- Instalar purgas más eficientes que recuperen el vapor de descarga.
- Instalar filtros de aceite externos.
- Utilizar únicamente cilindros o contenedores apropiados para almacenar los refrigerantes.
- Instalar válvulas rápidas de carga.
- Enfriar los contenedores de refrigerante a presión atmosférica antes de abrirlos.
- Instalar sensores cerca de los sistemas de refrigerante.
- Recuperar y/o reciclar todo el refrigerante.
- Utilizar un gas no clorofluorcarbonado para realizar las pruebas de fugas.
- Instalar sistemas de alarma que adviertan de presión excesiva durante el cierre.
- Usar un compresor de purga o un dispositivo portátil de evacuación para recuperar líquido o vapor de los contenedores de refrigerante.

- Cargar o adherir refrigerante cuidadosamente para evitar sobre cargas.
- Realizar inspecciones para determinar si existen vibraciones anormales.
- Implementar un tratamiento efectivo de agua.
- Utilizar apropiadamente los contenedores de refrigerante.

A continuación se describen lo que no se debe hacer durante los servicios a los sistemas de refrigeración

- No use refrigerantes como solventes limpiadores.
- No abra el sistema del lado del refrigerante a menos que sea absolutamente innecesario.
- No use un refrigerante clorofluorcarbonado para las pruebas de detección de fugas.
- No expulse el aire o los gases no condensables a la atmósfera.
- No sople los contenedores vacíos.
- No sople el vapor que todavía está en el enfriador después de la remoción del líquido.
- No presurice el enfriador con aire si el refrigerantes está dentro.
- No tire el refrigerante.
- No contamine los refrigerantes recuperados con otros refrigerantes, solventes, lubricantes u otros materiales.
- No exceda las presiones recomendadas por el refrigerante en pruebas de detección de fugas.
- No exceda el nivel al llenar los contenedores, cilindros, receptores o las unidades recuperadoras.
- No intercambie el refrigerante al almacenarlo en cualquier cilindro.

- No substituya los refrigerantes alternativos en sistemas convencionales sin análisis y aprobaciones.

Se debe hacer una revisión del equipo de moderación y de los servicios y realizar los cambios apropiados.

Un plan de moderación de refrigerantes convencionales es esencial en la emisión de CFC, sin embargo no se pueden eliminar completamente las emisiones. Esto se puede lograr con un cambio eventual del sistema completo, al reemplazarlo por otro que utilice un refrigerante alternativo.

### **5.3 Estrategia de adaptación y reemplazo, de sistemas de refrigeración convencionales a sistemas ecológicos**

El objetivo de la estrategia de adaptación o reemplazo de equipo es eliminar los refrigerantes CFC, a través de un ajuste en los sistemas de enfriamiento o el recambio de éstos por otros nuevos que utilicen refrigerantes alternativos ambientalmente aceptados.

Esta estrategia debe basarse en un análisis económico de las opciones disponibles. Sin embargo, la meta principal debe ser procurar enfriadores nuevos, no CFC, en instalaciones nuevas o para reemplazar a los existentes. Un enfriador adaptado incluye el reemplazo de la mezcla refrigerante-lubricante, por otra. Esto normalmente implica el cambio de algunos sellos y otros materiales incompatibles.

La adaptación del equipo podría requerir el reemplazo del sistema completo de lubricación. A pesar de todos los cambios que conlleva una adaptación la mayoría de los equipos quedan intactos. Generalmente las adaptaciones pueden ser de tres tipos, dependiendo de su complejidad

- Adaptación simple.
- Optimización del sistema.
- Adaptación de la línea de conducción.

La adaptación simple consiste en desechar partes menores, sacando y recuperando la mezcla del refrigerante-lubricante y cargando al sistema una mezcla alternativa de refrigerante-lubricante. Algunas adaptaciones son más factibles en equipos nuevos. Algunos empaques y otros materiales usados en sistemas viejos pueden ser incompatibles con químicos alternativos. Estos materiales deben ser reemplazados durante el proceso. Con la adaptación simple se puede experimentar pérdida de eficiencia y capacidad, la cual podría resultar en el incremento de costos de operación.

Una optimización del sistema o una adaptación diseñada puede compensar para algunos, la capacidad y eficiencia perdidas, las cuales son resultado de las diferentes propiedades termodinámicas de un fluido alternativo. Una optimización típica del sistema puede incluir el cambio de los impulsores, los cuales están diseñados para un desempeño óptimo con el refrigerante alternativo. Las adaptaciones más elaboradas pueden incluir cambios en intercambiadores de calor para aumentar la capacidad del sistema.

Una adaptación de la línea de conducción reemplaza las unidades completas del motor de conducción por nuevas o reconstruidas. Este es uno de los tipos de adaptación a refrigerantes ecológicos más costosos y puede hacerse necesario con sistemas herméticos, los cuales tienen materiales que son incompatibles con la mezcla alternativa de refrigerante-lubricante.

El reemplazo de un sistema envuelve la recuperación del refrigerante; la remoción y disposición del sistema actual, así como la instalación de un nuevo equipo destinado a usar refrigerante alternativo. La adaptación y reemplazo representa considerables sumas de dinero invertido por el propietario. Una estrategia de reemplazo o adaptación de largo alcance es esencial para una inversión económica.

Sin embargo, el costo del equipo de adaptación o reemplazo varía de sistema en sistema y tiene factores a tomar en cuenta como

- Compatibilidad de materiales.
- Eficiencia y capacidad del sistema.
- Tipo de conducción.
- Fugas.

La decisión de la adaptación o reemplazo debe ser hecha dependiendo del sistema. Debe hacerse el planeamiento y presupuesto, pero la ejecución de la adaptación y reemplazo debe hacerse cuando es financieramente sensato para cada sistema. Evitar el uso de refrigerantes nocivos a la salud y el medio ambiente es la primera medida a tomar para aquellos sistemas nuevos, los cuales tienen buenas eficiencias y bajo índice de fugas. Esta medida puede tomarse hasta que todo lo relacionado con los refrigerantes CFC sea prohibido, entonces la adaptación o reemplazo de éstos será inevitable.

**Tabla XVII. Costo y eficiencia, de acuerdo a las mejoras en el sistema.**

Tipo de modificación al sistema de refrigeración	Porcentaje del costo de modificación (relacionado al reemplazo total)	Eficiencia
Adaptación simple	20-30%	Mala
Adaptación optimizada	40-60%	Regular
Adaptación de la línea de conducción	60-80%	Buena
Reemplazo	100%	Excelente

Fuente: UNEP. *Chillers and refrigerant management, manual training*. Pág. 4-10.

Es importante señalar que a pesar de los planes de adaptación o reemplazo de los equipos viejos la no utilización de refrigerantes convencionales debe implantarse tan pronto como sea posible para todo equipo.

Todo equipo tiene una vida útil después de la cual debe ser reemplazado. Sin embargo, los sistemas nuevos son más eficientes y tienen costos de operación más bajos que los viejos. La disminución en los costos de operación y mantenimiento de los equipos nuevos podría justificar el reemplazo anticipado de un equipo.

Las naciones desarrolladas estarán enfrentando en poco tiempo las limitaciones en el uso de refrigerantes CFC. La adaptación de sus equipos actuales con refrigerantes alternativos es una opción viable para que el equipo continúe en vida de servicio. Pero, desde que las naciones en desarrollo están autorizadas para producir y usar refrigerantes convencionales diez años más que los países desarrollados, se sabía que las limitaciones no deben ser tan fuertes como serán en los países desarrollados.

Con adecuadas prácticas de moderación, los sistemas CFC podrían quedar en servicio usando refrigerantes convencionales durante su vida útil, antes que las limitaciones se vuelvan una preocupación mayor. En las naciones en desarrollo, la moderación en el uso de los refrigerantes convencionales y la eventual sustitución por sistemas ecológicos es la base para la estrategia de adaptación o reemplazo.

Al evaluar las opciones para adaptación o reemplazo, se necesitan algunos cálculos para mostrar qué curso de acción retribuye a futuro la mejor inversión. En el análisis se deben incluir los siguientes rubros

- Vida útil del sistema.
- Costos del servicio.
- Costos de mantenimiento.
- Costos energéticos.
- Equipos auxiliares.
- Infraestructura en la actualización.

A continuación se muestra un ejemplo ficticio de los cálculos que se deben hacer para determinar las ventajas o desventajas financieras que trae la adaptación o reemplazo del sistema.

Diferencias en el consumo de energía del sistema actual	0.23kW / kW (0.8 kW / ton)
Sistema nuevo con refrigerante ecológico	0.18 kW / kW (0.62 kW / ton)
Ahorro en el consumo de energía	0.5 kW / kW (0.18 kW / ton)

El ahorro anual en el consumo de energía podría calcularse de la siguiente forma:

Ahorro en consumo de energía X horas del sistema X carga total equivalente X costo de electricidad X capacidad

$$\text{Ahorro anual} = (0.5\text{kW/kW}) \times (4380\text{hrs/años}) \times (0.75) \times (Q0.20\text{Kw-hr}) \times (2000\text{kW})$$

$$\text{Ahorro anual} = Q65,700/\text{año}.$$

Si el costo del sistema nuevo es de Q365,000. Entonces el periodo para recuperar el costo se calcula así:

Costo del sistema ecológico / ahorro anual

$$= Q 365,000 / 65,700 (\text{por año})$$

$$=5.56 \text{ años}$$

El análisis del costo global debe apoyar la decisión de reemplazar un sistema. La seguridad y una valoración de riesgo-obligación son otras consideraciones sobre las que un plan de manejo de refrigerante debe fundamentarse.

Los objetivos de las normas están haciéndose más severos. Es por esto que cada plan de manejo de refrigerantes debe contener un plan de entrenamiento programa y una estrategia de largo plazo, en lo que a mantenimiento se refiere, el cual alcance niveles seguros.

El desarrollo de un plan de manejo de refrigerantes es directo pero complejo. Sin embargo, tanto el impacto financiero como el ambiental son profundos, siendo estos dos los motivos fundamentales para implementar este plan para un futuro libre de clorofluorocarbonos. Los fabricantes de sistemas de enfriamiento y consultores pueden ayudar en esta tarea tan importante proveyendo especialización y asesoramiento objetivo de las condiciones actuales e implicaciones de los sistemas actuales.

#### **5.4 Recuperación y reciclaje**

Al hablar de refrigerante reciclado se refiere a uno que fue captado en una instalación de servicio. Por otro lado un refrigerante recuperado es un fluido frigorífico que ha sido transferido a una instalación de recuperación. Es importante mencionar que las regulaciones para un refrigerante recuperado son más estrictas que para uno reciclado.

El equipo de reciclaje también debe ser controlado periódicamente con el fin de evitar pérdidas. Como en todas las máquinas se debe llevar un registro sobre el mantenimiento, así como cambios de filtros de equipo según las recomendaciones del fabricante.

Todas estas prácticas de mantenimiento redundan en el cumplimiento de las normas de pureza de un refrigerante reciclado. Al emplear equipo de recuperación o reciclaje de refrigerante se deben seguir procedimientos generales para el servicio de mantenimiento así como las instrucciones que ofrezca el fabricante del equipo.

Los equipos de recuperación o reciclaje no están diseñados para reciclar o separar refrigerantes contaminados. Se debe sacar el refrigerante contaminado o desconocido del sistema usando equipos de recuperación diferentes y se debe desechar en forma adecuada.

#### **5.4.1 Recuperación de refrigerante**

Existen tres tipos de dispositivos de recuperación disponibles. Estos son:

- Sistema autosuficiente
- Sistema dependiente
- Pasivo.

Una unidad de recuperación autosuficiente tiene su propio compresor (u otro mecanismo de transferencia) para bombear el refrigerante fuera del enfriador. Este no requiere ayuda de ningún otro componente del cual se está recuperando el refrigerante.

El equipo de recuperación dependiente utiliza el compresor o la presión del sistema para asistir en la recuperación del refrigerante.

La recuperación pasiva se refiere a bolsas desinfladas de carbón activado el cual es usado para almacenar pequeñas cantidades de refrigerante cerca o por encima de la presión atmosférica.

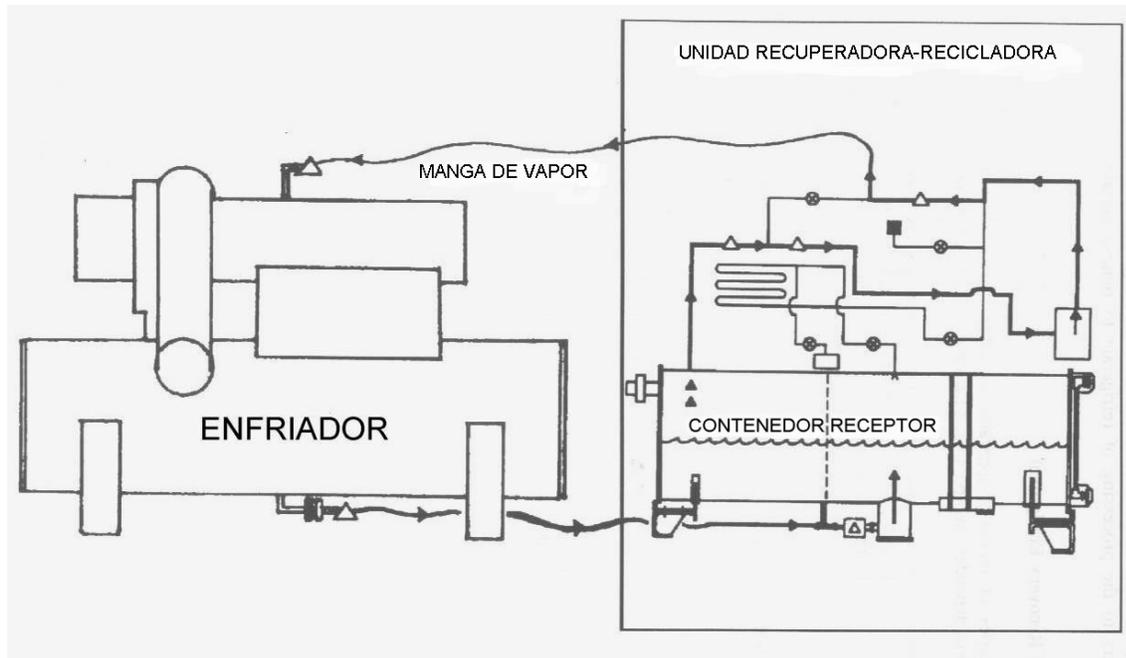
El método de recuperación del refrigerante depende del tipo de refrigerante a ser recuperado. Estos usualmente se dividen en dos grupos: de alta presión, donde el punto de ebullición del refrigerante está entre  $-50^{\circ}\text{C}$  y  $10^{\circ}\text{C}$  a presión atmosférica y el de baja presión, donde el punto de ebullición está por encima de  $10^{\circ}\text{C}$  a presión atmosférica. Los refrigerantes de alta presión son: R-12 y R-134, mientras los de baja presión son: el R-11 y el R-123.

#### **5.4.1.1 Recuperación de refrigerantes de baja presión**

Cuando se recuperan refrigerantes de baja presión, el refrigerante líquido es recuperado primero. Los refrigerantes de baja presión pueden ser transferidos o recuperados usando una bomba de líquido. El método de empujar y halar es el más rápido, con tal que el volumen barrido del compresor sea el adecuado y es el método preferido para la recuperación o la transferencia líquido de refrigerante a baja presión.

El método de empujar y halar impulsa el refrigerante fuera del enfriador bajando la presión en el envase receptor e incrementando la presión en el enfriador. El lado de alta presión del dispositivo de recuperación está conectado al lado de alta del enfriador. Este arreglo crea alta presión que empuja al refrigerante fuera del enfriador mientras lo succiona dentro del envase receptor.

**Figura 27. Dispositivo recuperador de líquido empujar / halar.**



Fuente: UNEP. *Chillers and refrigerant management, manual training*. Pág. 5-14.

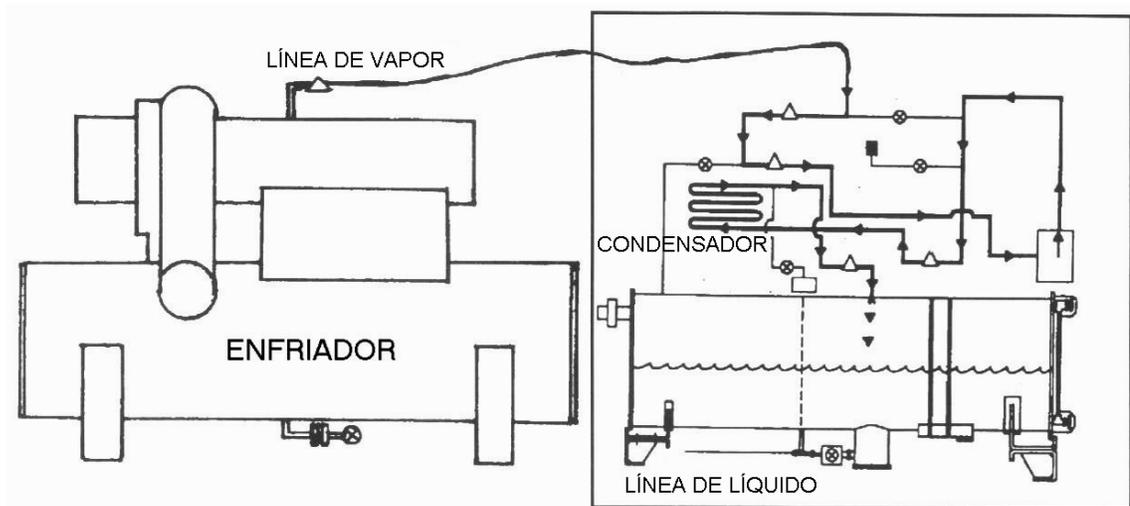
Se debe tener cuidado para no sobrepasar la presión en el enfriador. Los enfriadores de baja presión tienen discos de seguridad que están diseñados para estallar a 15 psi. Los técnicos de recuperación deben ser cuidadosos de no exceder esta presión.

Una vez todo el líquido haya sido recuperado se debe recuperar el vapor del refrigerante. Este es recuperado generando un vacío en el enfriador. En este procedimiento la unidad de recuperación saca el vapor, lo condensa y deposita en el envase de recuperación.

El agua municipal circula a través de los dispositivos de recuperación para proporcionar la temperatura necesaria para la condensación. Los enfriadores de baja presión necesitan un vacío de 0.5 psi. A bajas presiones el vapor de refrigerante puede ser tan frío como son a  $-20^{\circ}\text{C}$ .

A estas temperaturas, pequeñas cantidades de agua presente en el enfriador se congelarán y pueden causar daño. Los técnicos de recuperación deben mantener el flujo de agua a través del evaporador del enfriador lo cual evitará el congelamiento.

**Figura 28. Recuperador de vapor.**



Fuente: UNEP. *Chillers and refrigerant management, manual training*. Pág. 5-16

#### **5.4.1.2 Recuperación de refrigerantes de alta presión**

Algunos sistemas de enfriamiento de alta presión están equipados con sistemas de bombeo exterior. El propósito de estos sistemas es evacuar la carga de refrigerante hacia un envase interno de presión. Estos sistemas son, en efecto, dispositivos de recuperación. Para sistemas de enfriamiento no equipados con sistemas de bombeo exterior puede ser utilizado un dispositivo portátil de recuperación.

La recuperación de refrigerantes de alta presión en enfriadores centrífugos utilizan el método empujar / halar. Sin embargo, en este caso, el dispositivo de recuperación (incluyendo compresor, condensador y tubería) está diseñado específicamente para sistemas de alta presión.

Como en el caso de sistemas de baja presión, la recuperación de refrigerantes de alta presión se completa succionando el refrigerante desde los puntos bajos del enfriador hacia el envase de almacenaje, mientras se presuriza el enfriador. Para enfriadores de alta presión, el nivel de evacuación de vacío es de 7.31 psi.

Los técnicos deben ser concientes que la formación de escarcha en las superficies del enfriador puede ser una señal de un remanente de refrigerante líquido entrampado en el sistema. Este refrigerante puede ser entrampado en aceite. Todo el refrigerante debe ser removido. Los métodos para lograrlo incluyen la localización de calor y taladrado con un mazo de goma. El flujo de agua a través del evaporador y condensador debe estar presente durante todo el proceso.

## **5.4.2 Reciclaje de refrigerante**

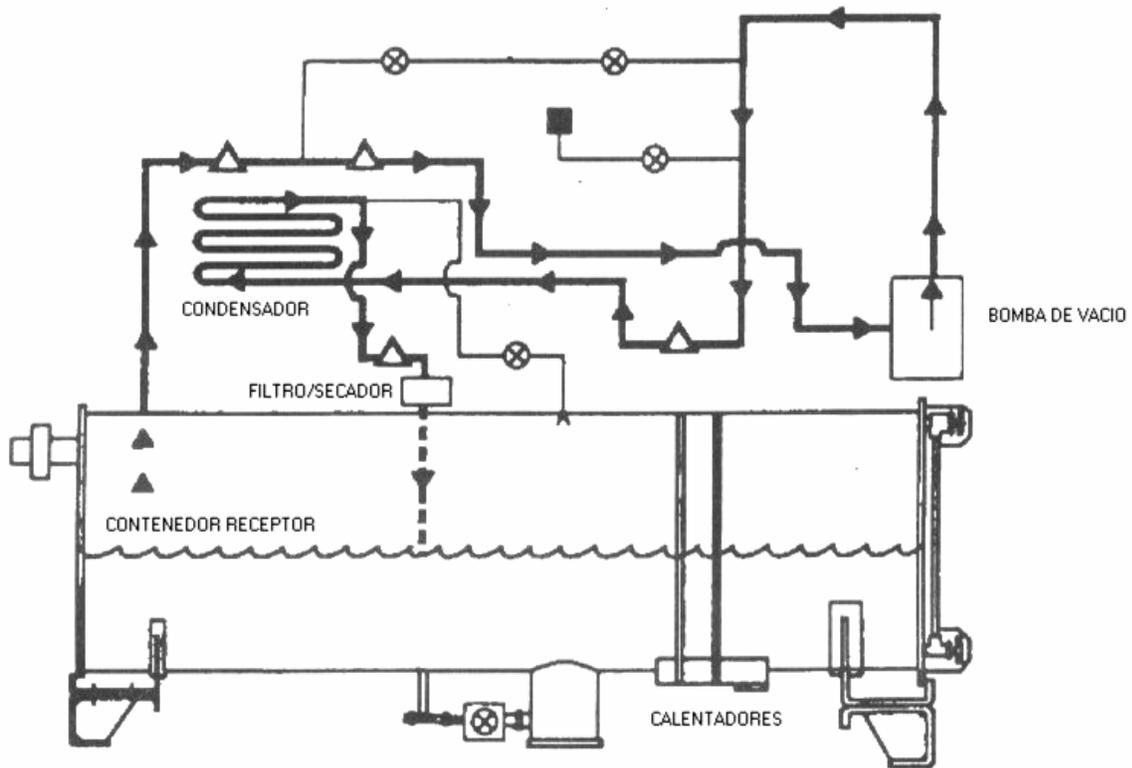
Mientras los métodos de recuperación simplemente remueven el refrigerante del enfriador y lo almacenan en un contenedor externo, el reciclaje del refrigerante es un esfuerzo para remover algunos contaminantes y regresar el refrigerante más limpio que cuando fue recuperado.

### **5.4.2.1 Reciclaje de refrigerante de baja presión**

En este tipo de reciclaje se saca primero el vapor de refrigerante, el cual es recuperado en un envase y se le agrega calor a este envase. Con este proceso muchos contaminantes como aceite, agua y otras partículas son dejadas en el tanque de recuperación. El refrigerante es condensado en el dispositivo de reciclaje. Pueden ser usados algunos filtros para reducir los niveles de ácido y reducir la humedad.

El refrigerante líquido es reintroducido al enfriador o puesto en un contenedor apropiado. En algunas ocasiones el refrigerante es reintroducido al mismo envase. Este sistema es un aparato de reciclaje de pasos múltiples. El aceite contaminado es almacenado en un envase que necesita ser dispuesto apropiadamente.

Figura 29. Proceso de reciclaje.

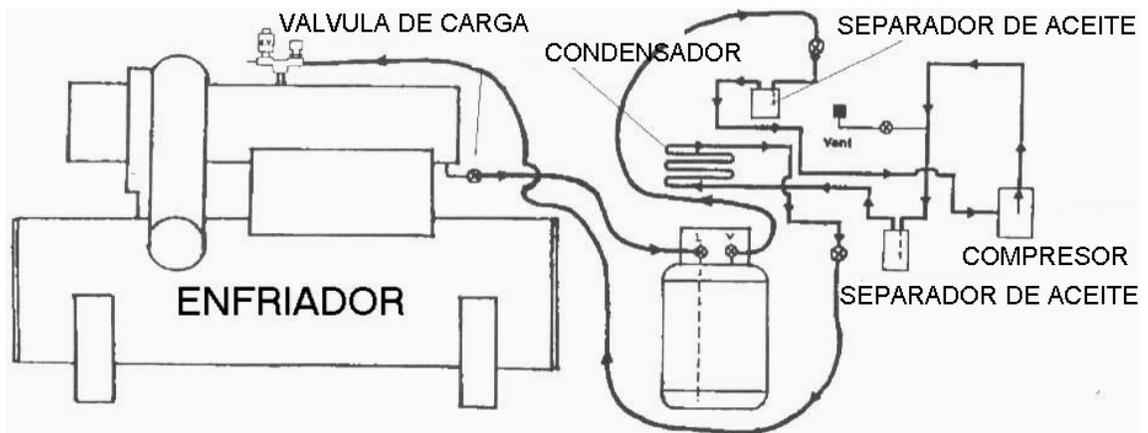


Fuente: UNEP. *Chillers and refrigerant management, manual training*. Pág. 5-18

### 5.4.2.2 Reciclaje de refrigerante de alta presión

Un arreglo para reciclaje de un refrigerante de alta presión es similar al descrito anteriormente.

**Figura 30. Reciclaje de baja presión.**

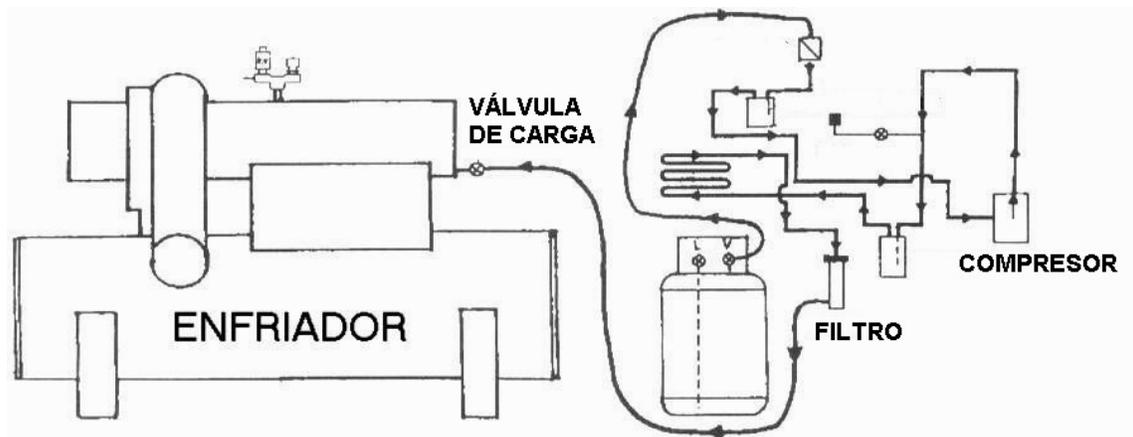


Fuente: UNEP. *Chillers and refrigerant management, manual training*. Pág. 5-19.

El equipo de reciclaje se divide en dos tipos: de paso único y de paso múltiple, el cual se refiere al hecho que, el refrigerante pase a través del equipo una sola vez o varias. Este equipo está disponible para reciclar en la fase de vapor o en la fase líquida.

Para el reciclaje en fase de vapor, el vapor de refrigerante es enviado a un dispositivo de reciclaje, el aceite es extraído, filtrado y generalmente reintroducido dentro del enfriador. El refrigerante reciclado puede ser introducido dentro del envase original. En este caso, este será recirculado a través del dispositivo de reciclaje varias veces.

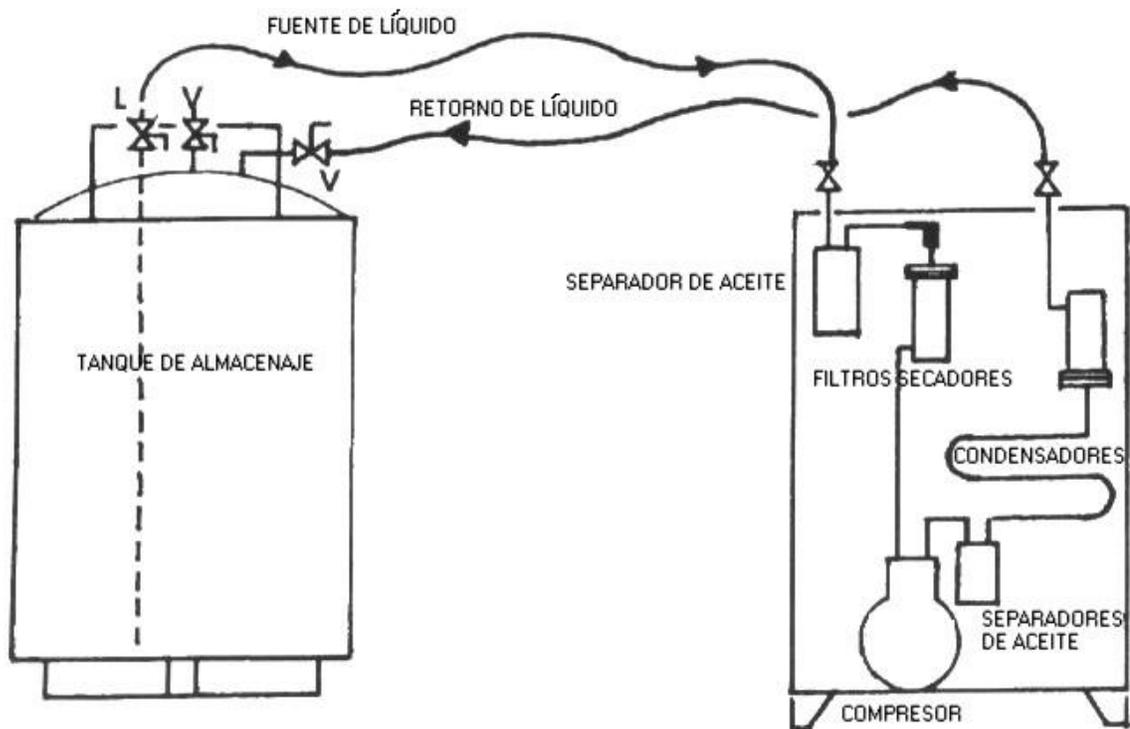
**Figura 31. Reciclaje de alta presión.**



Fuente: UNEP. *Chillers and refrigerant management, manual training*. Pág. 5-19

Para el reciclaje en fase líquida, el refrigerante es extraído a través de la válvula de líquido del envase de recuperación y se introduce dentro del dispositivo de reciclaje donde el refrigerante es evaporado y el aceite es separado. Entonces, el refrigerante pasa a través de filtros donde es limpiado, condensado y generalmente introducido dentro de un envase limpio para almacenarlo o es introducido al enfriador. Existe la alternativa, en los sistemas de pasos múltiples, que el refrigerante reciclado regresa al envase de recuperación.

**Figura 32. Sistema de pasos múltiples.**



Fuente: UNEP. *Chillers and refrigerant management, manual training*. Cap. 5, Pág.20.

El refrigerante que ha sido contaminado como resultado de una ruptura de motor no debe ser reciclado. Este refrigerante deberá ser regenerado o destruido.

### **5.4.3 Tiempo de recuperación de los refrigerantes**

La recuperación de refrigerante de un enfriador puede tomar algunas horas. El tiempo requerido desde el comienzo de la recuperación al vacío final depende de ciertos factores como

- Equipo usado
- Carga inicial de refrigerante dentro del sistema
- Temperatura del enfriador, envase de recuperación y ambiente
- Condiciones mecánicas del enfriador (cantidad de goteo)

#### **5.4.4 Regeneración del refrigerante**

La regeneración es un proceso de purificación de refrigerantes, hacia condiciones conocidas, las cuales son las mismas que las de un refrigerante nuevo. La regeneración del refrigerante debe ser evaluada para verificar la concordancia con los estándares establecidos.

#### **5.4.5 Pureza de los refrigerantes**

El propósito del reciclaje y la regeneración de refrigerantes es el de reducir contaminantes, esto incluye:

- Agua: la cual puede llevar a corrosión, congelación y ácidos.
- Ácidos: los cuales promueven la corrosión y degradación del refrigerante.
- Partículas: las cuales aceleran el revestimiento y taponamiento de pequeñas aberturas en el sistema
- Cloros: indica presencia de ácidos
- Otros refrigerantes: los cuales pueden afectar el comportamiento del sistema
- No condensables (aire): que afectará las presiones del sistema y el comportamiento general

- Residuos de alta ebullición: inhiben la transferencia de calor y pueden taponar los evaporadores.
- El equipo de reciclaje está destinado a reducir los niveles de estos contaminantes. Los procedimientos de regeneración son destinados a reducir los contaminantes a niveles preestablecidos.

#### **5.4.6 Contenedores para refrigerantes recuperados y / o reciclados**

La mayoría de los refrigerantes son potencialmente peligrosos para la salud y la seguridad de aquellas personas quienes están en contacto con ellos, y puede ser peligroso para el medio ambiente. Por esta razón se hace necesario el manejo apropiado y almacenamiento de los refrigerantes. Además, debido a la subida de los precios de los refrigerantes, el manejo apropiado reduce costos.

#### **5.4.6.1 Envases de almacenamiento de refrigerantes**

Los refrigerantes son almacenados y enviados en varios tipos de envases, tales como barriles, cilindros, tanques de media y una tonelada, e incluso en tanques de camiones. Estos envases son clasificados como disponibles o contenedores fiables.

Siempre es importante saber qué tipo de contenedor se está usando. Si existe alguna duda, se debe consultar la persona o compañía que proporcionó el contenedor. Únicamente contenedores fiables deben ser usados para recuperación de refrigerantes.

#### **5.4.6.2 Seguridad del cilindro de refrigerante**

Los cilindros disponibles deben ser desechados una vez el refrigerante ha sido evacuado dentro de un equipo u otro recipiente apropiado para su almacenamiento. Antes de hacerlo, el técnico debe asegurarse que todo el refrigerante ha sido removido. Como una medida de seguridad extra, la válvula de alivio del contenedor debe ser picada hacia fuera (luego que se ha removido todo el refrigerante), para que otras personas no llenen el contenedor.

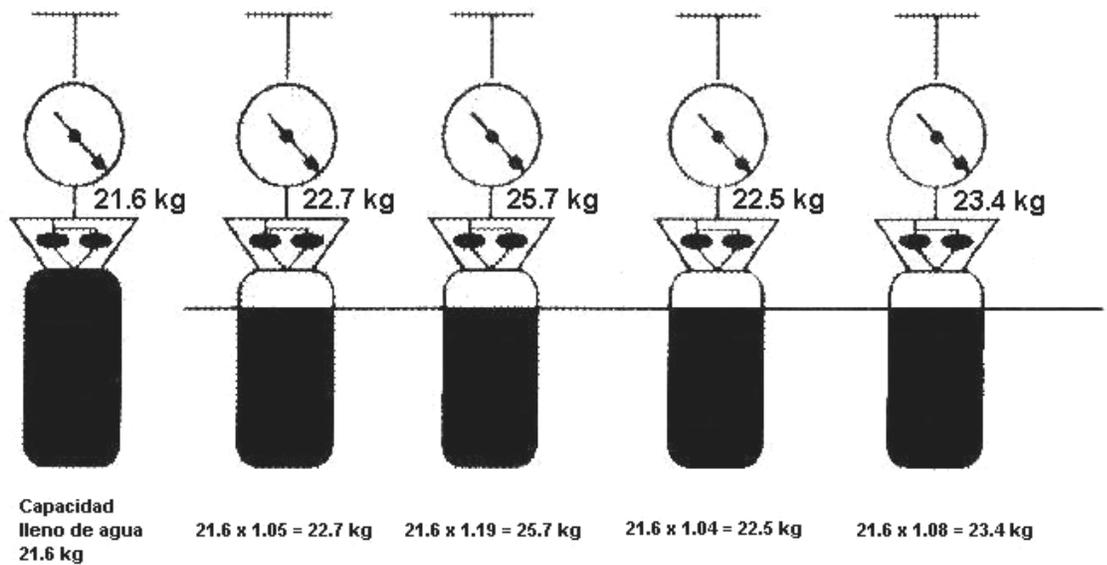
Los contenedores confiables están destinados a ser llenados tantas veces como sea necesario. Estos contenedores permiten refrigerante para ser almacenado en forma segura, mientras se lleva a cabo un servicio de mantenimiento o se remueve el equipo.

Este procedimiento permite ahorro en costos al evitar comprar refrigerante nuevo y es seguro para el medio ambiente desde que evita que el refrigerante se escape al medio ambiente. Si el refrigerante no desea utilizar el refrigerante recuperado éste debe ser regenerado o enviado al fabricante.

Debe de seguirse un lineamiento con los contenedores para refrigerantes. Un contenedor para rellenar no debe ser recargado si hay sospechas de fuga, si está amellado, tiene agujeros, si hace crujidos, lugares oxidados, pliegues u otra debilidad estructural. También se debe tener cuidado que el cilindro a rellenar no contenga otro refrigerante.

Es recomendable que el cilindro no debe ser llenado en más de un 80% de su capacidad volumétrica. Incluso algunos contenedores contienen válvulas de alivio y flotes que evitan la sobre presión, sin embargo, estos dispositivos de seguridad pueden ser menos comunes en contenedores de media o una tonelada, que son usados en sistemas de enfriamiento de gran tamaño.

Figura 33. Esquema de llenado de un contenedor.



Fuente: UNEP. *Chillers and refrigerant management, manual training*. Pág. 5-26.

Para asegurar la integridad estructural de los cilindros, estos deben ser revisados periódicamente, aproximadamente cada 5 años; un cilindro que no haya sido revisado en 5 años no debe ser utilizado.

## CONCLUSIONES

1. Se ha determinado que la utilización de los sistemas convencionales que presentan fugas de refrigeración y lo liberan a la atmósfera son en buena parte los causantes de los elevados índices de contaminación. Estos se debe a los componentes químicos que los forman. En contraparte los sistemas que trabajan con refrigerante ecológicos podrían liberar niveles casi imperceptibles de contaminación.
2. La transición de un sistema convencional a un sistema ecológico conlleva algunos cambios de instalación, tipo de aceite, tamaño de algunos componentes, implementación de otros dispositivos y tipos de transductores.
3. Los sistemas que utilizan refrigerantes ecológicos generan presiones más bajas, debido a las propiedades de los frigoríficos. Esto implica menor tiempo de operación del compresor y reducción en el costo de operación.
4. Los sistemas convencionales utilizan refrigerantes conocidos como clorofluorcarbonados e hidroclorofluorcarbonados, los cuales provocan la disminución de la capa de ozono y contribuyen al calentamiento global. Los sistemas ecológico no dejan de tener efectos nocivos al medio ambiente, mas estos efectos son mucho menores que los de los refrigerantes convencionales, sino inexistentes.

5. Los refrigerantes convencionales están compuestos de halógenos como: clorofluorcarbonados y por hidroclofluorcarbonados. Como su nombre lo indica los primeros (CFC) están formados por cloro, fluro y carbono; los últimos (HCFC) por hidrógeno, además de cloro, fluro y carbono. El cloro y el bromuro son los que dañan la capa de ozono. Los refrigerantes ecológicos son los conocidos como: hidrofurocarbonos o HFC, que están compuesto por hidrógeno, fluro y carbono.
6. Los refrigerantes poseen características importantes, entre éstas están la inflamabilidad, que es casi nula, sin embargo son inestables térmica y químicamente a temperaturas mayores a los 425°C. Los refrigerantes convencionales se descomponen en: fluro y cloruro de hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y cloro. Los refrigerantes ecológicos se descomponen en: fluro de hidrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono. Además, los refrigerantes son incompatibles con metales alcalinos, aluminio, magnesio, zinc y oxidantes que aceleran el proceso de descomposición y son compatibles con la mayoría de los plásticos que se utilizan en refrigeración.
7. En cualquier sistema de refrigeración, el valor de la presión en la entrada del evaporador es determinada por la temperatura que se desea mantener en el ambiente enfriado.
8. La transición del sistema convencional a ecológico implica el cambio del aceite lubricante, pues este debe ser miscible con el refrigerante así como adecuado para las válvulas.

9. Si el oxígeno y el cloro están presentes en la descomposición de un refrigerante, puede darse la formación de compuestos carbónicos, de los cuales el más peligroso es el fosgeno, altamente tóxico en cantidades pequeñas.
10. El refrigerante ecológico más utilizado en las industrias es el R-404, debido a que tiene gran eficiencia de enfriamiento en sistemas de bajas y medias temperaturas.
11. La estrategia de adaptación y reemplazo de sistemas convencionales a ecológicos debe basarse en un análisis económico de las opciones existentes.
12. El reemplazo de un sistema de refrigeración envuelve la recuperación del refrigerante, la remoción y disposición del sistema actual, así como la instalación de un nuevo equipo con refrigerantes alternativos.

## RECOMENDACIONES

1. Revisar, reparar y controlar las fugas de refrigerante en los sistemas convencionales, mientras sea económicamente factible el cambio a un sistema ecológico.
2. Realizar el cambio a sistemas ecológicos tan pronto como sea posible (a fin de reducir o eliminar los efectos producidos por los refrigerantes convencionales contra el medio ambiente). Estos gastos generados por la transición al nuevo sistema serán compensados al reducir el costo de operación del mismo, debido a las propiedades del refrigerante ecológico.
3. Evitar la exposición de estos químicos a temperaturas mayores de 425°C, ya que de suceder esto se produciría la descomposición térmica y química de los frigoríficos; lo que generaría gases dañinos a la atmósfera y seres humanos.
4. Evitar el contacto con metales alcalinos, aluminio, magnesio, zinc y oxidantes que aceleren el proceso de descomposición.
5. Planificar una estrategia de adaptación o reemplazo de largo alcance para una buena inversión económica y llevarlo a cabo cuando sea financieramente posible.

6. Debe elevarse el nivel de exigencia en el mantenimiento y servicio de los sistemas de refrigeración con el objetivo de manejar el refrigerante y los equipos de una manera segura.
7. Comparar el costo de un equipo de moderación, con el de uno completamente ecológico, esto para determinar si las emisiones de CFC son bajas como para no invertir en el equipo ecológico.
8. Un plan de manejo de refrigerante debe contar con regulaciones sobre refrigerantes y medio ambiente, plan de contingencia en el uso de refrigerantes y estrategias de adaptación y reemplazo.
9. Tomar en cuenta la compatibilidad de materiales, eficiencia, y capacidad del sistema para la adaptación o reemplazo de sistemas convencionales a ecológicos. Considerar factores del equipo nuevo como la vida útil, costo de servicio, costo de mantenimiento, costo energético, equipos auxiliares e infraestructura en la actualización.

## BIBLIOGRAFIA

1. Copeland. **Manual de refrigeración.** U.S.A 1997.68pp.
2. Dwiggin, Boyce. **Aire acondicionado para automóviles.** 2a ed. México: Editorial Continental. 1982. 375pp.
3. Jennings, Burgess y Lewis, Samuel. **Aire acondicionado y refrigeración.** 14a ed. México: Editorial Continental, 1988.
4. Pita, Edward. **Acondicionamiento de aire principios y sistemas.** 2a ed. México: Editorial Continental, 1994.
5. Sporlan. **Válvulas de expansión termostática.** U.S.A 1997. 16pp
6. Theodore Baumeister, Eugene A. Avallone y Theodore Baumeister III. **Manual del ingeniero mecánico.** 3a ed. Español. México Editorial McGraw-Hill. 1995.
7. UNEP. **Chillers and refrigerant management, training manual.** Canada: *Multilateral fund for the implementation of the Montreal protocol.* 1994. 267pp
8. Wark, Kenneth. **Termodinámica.** 5a ed. México: Editorial McGraw-Hill, 1991. 923pp.
9. Yunus A. Cengel y Michael A. Boles. **Termodinámica.** 4a. Ed. México: Editorial McGraw-Hill, 2003.

## ANEXOS

La Criogenia es el estudio y utilización de materiales a temperaturas muy bajas. No se ha acordado un límite superior para las temperaturas criogénicas, pero el Instituto Nacional de Modelos y Tecnología de Estados Unidos ha sugerido que se aplique el término Criogenia para todas las temperaturas inferiores a  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $123\text{ K}$ ).

Algunos científicos consideran el punto de ebullición normal del oxígeno ( $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) como límite superior (véase cero absoluto). Las temperaturas criogénicas se obtienen por la evaporación rápida de líquidos volátiles o por la expansión de gases confinados a presiones de entre 150 a 200 atmósferas.

La expansión puede ser simple, es decir, a través de una válvula que comunica con una región de menor presión, o tener lugar en el cilindro de un motor alternativo, donde el gas impulsa el pistón del motor. El segundo método es más eficiente, pero también es más difícil de aplicar.

A continuación se muestran las tablas de las propiedades físicas de los aceites lubricantes utilizados con los sistemas de refrigeración mencionados en el presente trabajo.

**Tabla XVIII. Propiedades físicas de los aceites Capella 32 y 68.**

<b>Propiedad</b>	<b>Capella 32</b>	<b>Capella 68</b>
Punto de ebullición	No determinado	No determinado
Gravedad específica	0.8916	0.895
Densidad de vapor	No determinada	No determinada
Solubilidad en el agua	<0.1%	<0.1%
Color	Amarillo claro	Amarillo claro
Olor	Suave	suave
Viscosidad	30.1cSt a 40°C	64.6cSt a 40°C
Punto de encendido	165°C	179°C
Punto de auto ignición	No determinado	No determinado

Fuente: *National Refrigerants*. **Ficha técnica de los refrigerantes.**

**Tabla XIX. Propiedades físicas de los aceites Poliolester 32 y 68.**

Propiedades	Poliolester 32	Poliolester 68
Punto de ebullición	No determinado	No determinado
Gravedad específica	<1.0 g /cc a 25°C	< 1.0g /cc a 25°C
Densidad de vapor	No determinada	No determinada
Solubilidad en el agua	Despreciable a 25°C	Despreciable a 25°C
Color	Ambar	Ambar
Olor	Químico	Químico
Descomposición	CO	CO <sub>2</sub>
Punto de encendido	> 260°C	> 260°C
Punto de auto ignición	No determinado	No determinado

Fuente: *National Refrigerants*. **Ficha técnica de los refrigerantes.**