

MANUAL DE BUENAS PRACTICAS EN REFRIGERACION



LIMITE DE RESPONSABILIDAD

La información y procedimientos técnicos contenidos en el presente manual están estructurados para cubrir el entrenamiento de técnicos a nivel nacional en “Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado”.

Los procedimientos técnicos aquí descritos solamente los podrán ejecutar personas que tengan las habilidades y capacidad técnica previa requerida.

Es responsabilidad del técnico seleccionar y aplicar el procedimiento adecuado para realizar el mantenimiento, reparación, reconversión y adecuación de cualquier sistema de refrigeración y aire acondicionado. Asimismo, es responsabilidad del técnico seguir y respetar las recomendaciones y procedimientos establecidos por los fabricantes de equipos de refrigeración, aire acondicionado, compresores y componentes utilizados para los servicios.

Indice

ACERCA DEL AUTOR
INTRODUCCION.....
CAPITULO 1
1.1- Capa de Ozono
1.2- Agotamiento de la Capa de Ozono
CAPITULO 2
2.1- Calentamiento Global de la Tierra
2.2- Contribución Directa de los CFCs
CAPITULO 3
3.1- Protocolo de Montreal.....
3.2- Enmiendas al Protocolo de Montreal
CAPITULO 4
4.1- Breve Historia de la Refrigeración.....
4.1.1- Refrigeración con Hielo.....
4.1.2- Refrigeración Mecánica por compresión de gases CFCs y HCFCs
4.2- Termodinámica
CAPITULO 5
5.1- Refrigerantes.....
5.2- Clasificación de Refrigerantes por sus componentes químicos
5.2.1- Clorofluorocarbonos (CFCs)
5.2.2- Hidroclorofluorocarbonos (HCFCs)
5.2.3- Hidrofluorocarbonos (HFCs)
5.2.4- Hidrocarburos (HCs).....
5.2.5- Compuestos inorgánicos (R-717, R-744).....
5.3- Clasificación de Refrigerantes por su numeración.....
5.3.1- Refrigerantes Puros
5.3.2- Refrigerantes Azeotrópicos.....
5.3.3- Refrigerantes Zeotrópicos.....
5.4- Seguridad de Refrigerantes.....
5.5- Refrigerantes Utilizados en la Industria Actual
5.6- Procedimientos de Sustitución de Refrigerantes.....
5.6.1- Cambio de un CFC a un HCFC sin cambio de aceite
5.6.2- Cambio de un CFC a un HCFC con cambio de aceite.....
5.6.3- Cambio de un HCFC a un HFC sin cambio de aceite
5.6.4- Cambio de un HCFC a un HFC con cambio de aceite
CAPITULO 6
6.1- Recuperación y Reciclado de Refrigerantes.....
6.2- Estándar ARI 700 (American Refrigeration Institute).....
6.3- Destrucción de Refrigerantes.....
6.4- Reutilización de refrigerantes en sitio.
6.5- Procedimientos Previos a la recuperación de Refrigerantes
6.6- Métodos para la Recuperación de Refrigerantes.....
6.6.1- Recuperar el refrigerante en fase líquida:
6.6.2- Recuperación en fase de Vapor-Líquido.....
6.6.2.1- Recuperar refrigerante en fase de vapor-líquido cuando el compresor no funciona.....
6.6.2.2- Recuperación cuando el compresor si está operando.....
6.6.3- Recuperación en fase de Vapor.
6.6.4- Método Push-Pull de recuperación Liquida

CAPITULO 7.....	
7.1.- Buenas Prácticas	
7.1.1 Humedad y ácidos	
7.1.2.- Corrosión	
7.1.3.- Síntomas de la presencia de humedad en el sistema.....	
7.2.- Purga de los sistemas.	
7.2.1.- Gases no condensables	
7.3.- Vacío en los sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado.	
7.3.1.- Vacío con el compresor del sistema	
7.3.2. - Bomba de vacío	
7.3.3.- Proceso del Vacío	
7.3.4.- Como evacuar un sistema	
7.3.5.- Proceso de Tres vacíos.....	
7.4.- Aceite en el sistema	
7.4.1 Aceite lubricante.....	
7.4.2.- Aceites existentes en la industria de la Refrigeración	
7.4.2.1.- Lubricantes Minerales	
7.4.2.2.- Lubricantes sintéticos a base de Alquilbenceno.....	
7.4.2.3.- Lubricantes sintéticos a base de Poliolester.....	
7.4.2.4.- Lubricantes sintéticos a base de Polialquil en Glicol	
7.5.- Cambio de aceite	
7.5.1.- Como recargar el aceite de un compresor hermético.....	
7.5.2.- Como agregar aceite a un compresor semi-hermético o abierto	
7.6.- Impacto de lubricantes en las medidas de recuperación.	
7.7.- Miscibilidad con los refrigerantes a base de HCFC	
7.8.- Higroscopia	
7.9.- Contaminación	
7.10.- Sistemas modernos.....	
7.10.1.- Medidas preventivas	
7.10.2.- Polvo	
7.10.3.- Materias extrañas.....	
7.10.4.- Formación de costras internas	
7.11.- Mantenimiento.....	
7.11.1 Detección de fugas	
7.11.2.- Fugas de refrigerante	
7.11.3.- Las causas de las fugas	
7.11.4 Lámpara de halón	
7.11.5.- Jabón	
7.11.6.- Detección electrónica.....	
7.11.7.- Lámpara de rayos ultravioleta.....	
7.11.8.- Detección de fugas de amoniaco (NH ₃)	
CAPITULO 8.....	
8.- Herramientas.....	
8.1.- Cortadores de Tubo.....	
8.2.- Dobladores de Tubo	
8.3.- Abocanadores de Tubería.....	
8.4.- Llave Matraca (Ratchet)	
8.5.- Expansor de tubo.....	
8.6.- Pinzas de Presión.....	
8.7.- Válvulas perforadoras de tubo	
8.8.- Termómetros.....	
ANEXOS.....	

PROLOGO

El presente manual tiene como objetivo brindar los conocimientos básicos para el buen manejo de los refrigerantes utilizados en el campo de la refrigeración y aire acondicionado doméstico, comercial e industrial.

A fin de evitar la destrucción de la capa de ozono causada por la emisión de diferentes sustancias a la atmósfera, donde algunos de los principales son los que se utilizan en el campo de la refrigeración y el aire acondicionado, se promueve la utilización de métodos y procedimientos adecuados orientados al manejo correcto de dichos gases.

La SEAM, en el marco del Plan de Eliminación de CFC, con el apoyo del PNUD y el PNUMA, está impulsando el Programa de Capacitación en Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración, el cual tiene por objetivo capacitar a los entrenadores o instructores de centros de formación técnica en refrigeración en buenos procedimientos para dicho sector, a la vez de dotar a estos centros de enseñanza de equipos y herramientas, tanto de recuperación, como también de reciclaje de refrigerantes. Luego de esta primera fase, los instructores nacionales ya capacitados, por un experto internacional del PNUMA, dictarán los cursos a los técnicos, con lo cual se espera lograr un efecto multiplicador.

Este manual, elaborado especialmente para la capacitación de técnicos de todos los niveles, ha sido elaborado por el Ing. Marco Calderón, consultor del PNUMA, habiendo sido validado en el ámbito del Comité Técnico de Buenas Prácticas en Refrigeración, con los conocimientos de docentes y la experiencia profesional de técnicos nacionales.

Ing. Ulises Lovera

*Director General de Control de la Calidad Ambiental y de los Recursos Naturales
SEAM*

ACERCA DEL AUTOR

Marco Antonio Calderón Hernández es ingeniero químico egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México con diplomado en Marketing en la Universidad Iberoamericana, tiene 26 años trabajando en áreas de la química del Flúor y sus aplicaciones desde la elaboración de la materia prima para fabricar refrigerantes hasta las aplicaciones de los compuestos fluorocarbonados en los diferentes sectores de consumo. Refrigerantes, Solventes para limpieza, Agentes Espumantes, Propelentes para la industria del aerosol y esterilizantes médicos.

En los últimos 17 años ha trabajado en el área de refrigeración y aire acondicionado principalmente en la substitución de los refrigerantes que dañan la capa de ozono.

Ha sido profesor del Diplomado de Refrigeración y aire Acondicionado en la Universidad Panamericana y ha impartido conferencias de manejo y sustitución de refrigerantes en la mayoría de los países de Latinoamérica.

Fue asignado como consultor en el Centro Mario Molina para el desarrollo del estudio de consumo de HCFC en México.

Miembro de la American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE Capítulo Ciudad de México. Presidente del Comité de Transferencia de Tecnología y miembro del comité de Refrigeración.

Actualmente se desempeña como Consultor de la Naciones Unidas para los proyectos de Eliminación de Sustancias Agotadoras de Ozono en el Paraguay, sin embargo ha participado en otros proyectos en diferentes países.

INTRODUCCION

En los últimos años el conocimiento de que algunos refrigerantes han estado deteriorando la capa superior de ozono, ha propiciado que los diferentes gobiernos hayan tomado acciones muy importantes para la eliminación de estas sustancias y la sustitución de las mismas.

Para esto se han desarrollado proyectos de capacitación de técnicos encaminados a la mejora en el uso de estos productos, a la recuperación de refrigerantes y su reutilización así como al mejoramiento de las prácticas de servicio a los sistemas.

Dentro de estas acciones un punto que ha sido importante es el de capacitar a los técnicos en la sustitución de refrigerantes Clorofluorocarbonos que son altamente perjudiciales a la capa estratosférica de ozono, esto se ha convertido en un trabajo habitual para aquellos técnicos que realizan servicios de mantenimiento en equipos de refrigeración principalmente.

Este manual pretende actualizar la información relacionada a los efectos ambientales de las sustancias agotadoras de ozono así como aumentar la información de los nuevos refrigerantes alternativos que se comercializan en la región para dar una idea de las opciones que tienen los técnicos en el momento que necesiten hacer una sustitución de refrigerantes.

También aborda temas de refrigeración básica que siempre es importante recordar para aquellos que ya lo dominan y que sirva de herramienta para los que apenas inician con este oficio.

Se entiende que muchos de los conceptos aquí tratados son parcialmente dominados por los técnicos de refrigeración y por esa razón no se describen muchos fundamentos termodinámicos que en cualquier curso básico de refrigeración son definidos y explicados con más detalle.

Y lo más importante se tratan temas de buenas prácticas en los servicios de reparación y mantenimiento de equipos de refrigeración y aire acondicionado que son fundamentales para disminuir la emisión de refrigerantes a la atmósfera que aportarán un beneficio a la reducción del deterioro ambiental que cada vez se observa mayor si no se toman las medidas necesarias.

MANUAL DE BUENAS PRACTICAS EN REFRIGERACIÓN

CAPITULO 1

1.1.- Capa de Ozono

La tierra como planeta está rodeada de varias zonas con diferentes composiciones químicas que constituyen la atmósfera terrestre y se encuentran localizadas a diferentes alturas, cada una de ellas tiene una función específica y de alguna manera influyen para que exista la vida en el planeta, en una de estas zonas que rodean la tierra se encuentra la capa de ozono que tiene una importancia fundamental en el desarrollo de la tierra.

Esta capa protectora de la atmósfera ha permitido preservar la vida sobre la tierra durante milenios. Dicha capa, compuesta de ozono, actúa como un escudo para proteger la tierra de la radiación ultravioleta perjudicial proveniente del sol. Por lo que sabemos, es algo propio y exclusivo de nuestro planeta. Si desapareciera, la radiación ultravioleta del sol esterilizaría la superficie del globo, aniquilando la mayor parte de la vida terrestre.



Fig. 1.1.- Diferentes zonas que rodean la tierra.

El ozono es una forma de oxígeno con tres átomos en vez de los dos habituales. El átomo adicional transforma el gas que respiramos en veneno; apenas un poco más de una mínima fracción del mismo es suficiente para causar la muerte en caso de

inhalación. A través de los procesos naturales de la atmósfera, las moléculas de ozono se crean y se destruyen sin cesar. La radiación ultravioleta del sol descompone las moléculas de oxígeno en átomos que seguidamente se combinan con otras moléculas de oxígeno

para formar el ozono. El ozono no es un gas estable y es particularmente vulnerable a la destrucción por los compuestos naturales que contengan hidrógeno, nitrógeno y cloro. Cerca de la superficie de la tierra (la troposfera) el ozono es un contaminante cada vez más nocivo, un constituyente del smog, la mezcla fotoquímica de niebla y humo, y de las lluvias ácidas. Pero inocuo en la estratosfera, de 11 a 48 Km. por encima de la superficie terrestre, el gas azul y de fuerte olor acre es tan importante para la vida como

el oxígeno mismo. El ozono forma un frágil escudo, curiosamente insustancial pero notablemente eficaz. Esta distribuido tan finamente en la estratosfera, de 35 Km. de profundidad, que si se pudiese concentrar en forma de cinturón alrededor de la tierra su espesor no sería más grueso que el de una suela de zapato (ó sea, unos 3mm). La concentración del ozono estratosférico puede variar con la altura pero únicamente constituye mucho más de una cienmilésima de la atmósfera circundante.

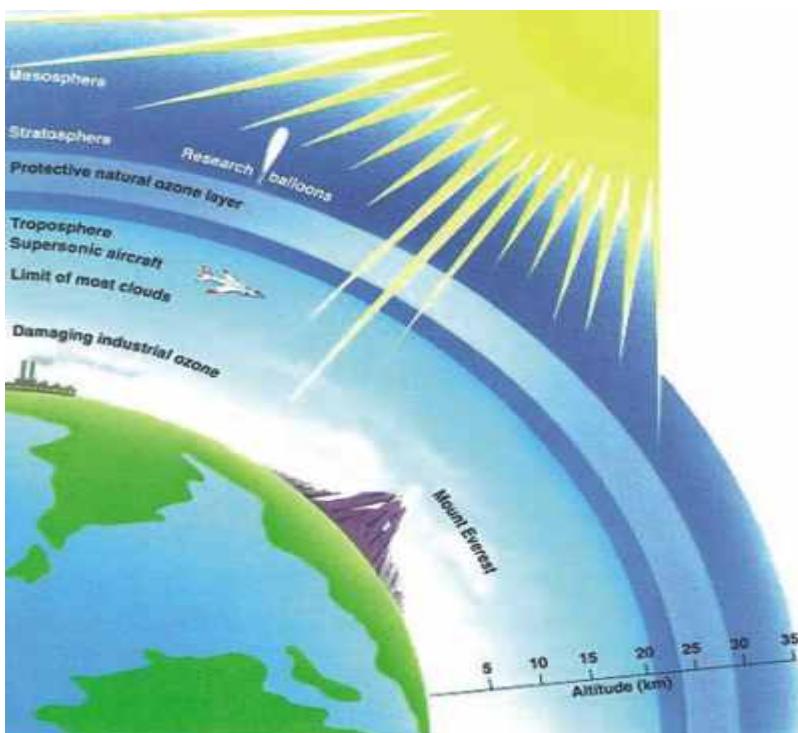


Fig. 1.2.- Imagen de la Capa de Ozono

Sin embargo, este filtro tan fino protege eficientemente de casi todos los peligrosos rayos ultravioleta de sol; la capa de ozono absorbe la mayor parte de la peligrosa radiación UV-B (la radiación entre UV-A que pasa a través y UV-C que es capturada principalmente por el oxígeno). Una pequeña disminución de la capa de ozono, según los datos actuales, podría aumentar de manera importante la incidencia de cáncer de la piel y podría conducir a la intensificación de una

forma rara pero más virulenta de cáncer conocida como melanoma maligno cutáneo. La UV-B podría aumentar la incidencia de afecciones oculares, lo cual incluye cataratas, deformación del cristalino y la presbicia. Se estima que la incidencia de cataratas, principal causa de ceguera en el mundo, aumente considerablemente.

La exposición a una mayor radiación UV-B podría también suprimir la acción del sistema

inmunitario organismo. La inmunosupresión por UV-B ocurre sea cual sea la pigmentación de la piel humana.

Una radiación UV-B podría también causar una disminución del rendimiento de las cosechas y dañar los bosques. Ello podría afectar a la vida en los océanos causando daño a los organismos acuáticos, partes de la cadena marina de alimentación, lo cual podría dar lugar a una disminución del pescado en la cadena alimenticia superior. Los materiales utilizados en las construcciones, pinturas, embalajes y otras innumerables sustancias, podrían degradarse rápidamente por un acrecentamiento de la UV-B.

En 1974 los destacados científicos Sherwood Rowland, Paul Crutzen y Mario Molina derivado de sus investigaciones advirtieron del daño que estaba sufriendo la capa de ozono. Esta teoría permitió detectar el peligro inesperado causado por la emisión de Clorofluorocarbonos y Halones a la atmósfera.

Los CFC han sido utilizados durante años como refrigerantes, disolventes o agentes de espumado principalmente y los halones como agentes de extinción de fuego.

La estructura estable de estos productos químicos, tan útiles en tierra, les permite atacar la capa de ozono. Sin sufrir modificaciones, derivan hacia la estratosfera, donde la intensa radiación UV-C destruye los enlaces químicos, liberando el cloro que separa un átomo de la molécula de ozono, transformándolo en oxígeno ordinario. El cloro actúa como catalizador, llevando a cabo esta destrucción sin sufrir el mismo ningún cambio permanente, de manera que puede continuar repitiendo el proceso.

Los más peligrosos de estos productos químicos tienen larga vida. El CFC-11 dura un promedio de 50 años en la atmósfera, el CFC-12 un promedio de 102 años y el CFC-13 un promedio de 85 años. Por lo tanto, las emanaciones de estas sustancias químicas influirán en el proceso de agotamiento del ozono durante muchísimos años.

Moléculas de CFC

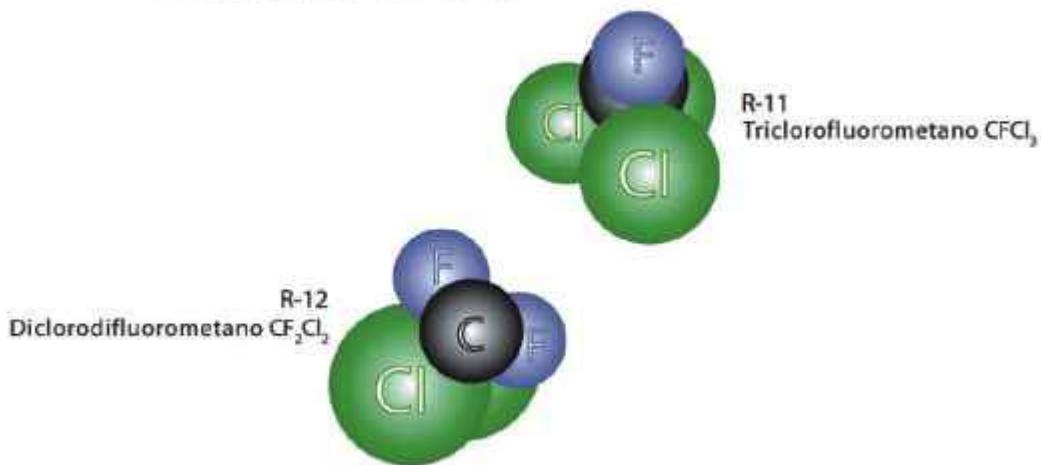


Fig. 1.3.- Moléculas del CFC-11 y CFC-12

De no haber dado estos científicos la señal de alerta, el ecosistema terrestre hubiera sufrido un daño irreparable ya que estas sustancias permanecen en la atmósfera alta (estratosfera) durante décadas enteras.

1.2.- Agotamiento de la capa de ozono

La radiación ultravioleta del sol separa las moléculas de oxígeno en átomos que seguidamente se combina con otras moléculas de oxígeno para formar el ozono. El cloro, liberado de las moléculas que lo contienen por la radiación, puede despojar a

la molécula de ozono de un átomo, dando lugar al ClO (monóxido de cloro) y al oxígeno normal. Por reacción con un átomo de oxígeno, el cloro puede liberarse nuevamente, volviendo a producir una molécula de oxígeno normal. De esta manera, el cloro actúa como catalizador, logrando esta destrucción sin que el mismo sufra ninguna modificación permanente, con lo cual el proceso continúa repitiéndose. Así pues, cada molécula de CFC destruye miles y miles de moléculas de ozono, alterando fuertemente el equilibrio natural.

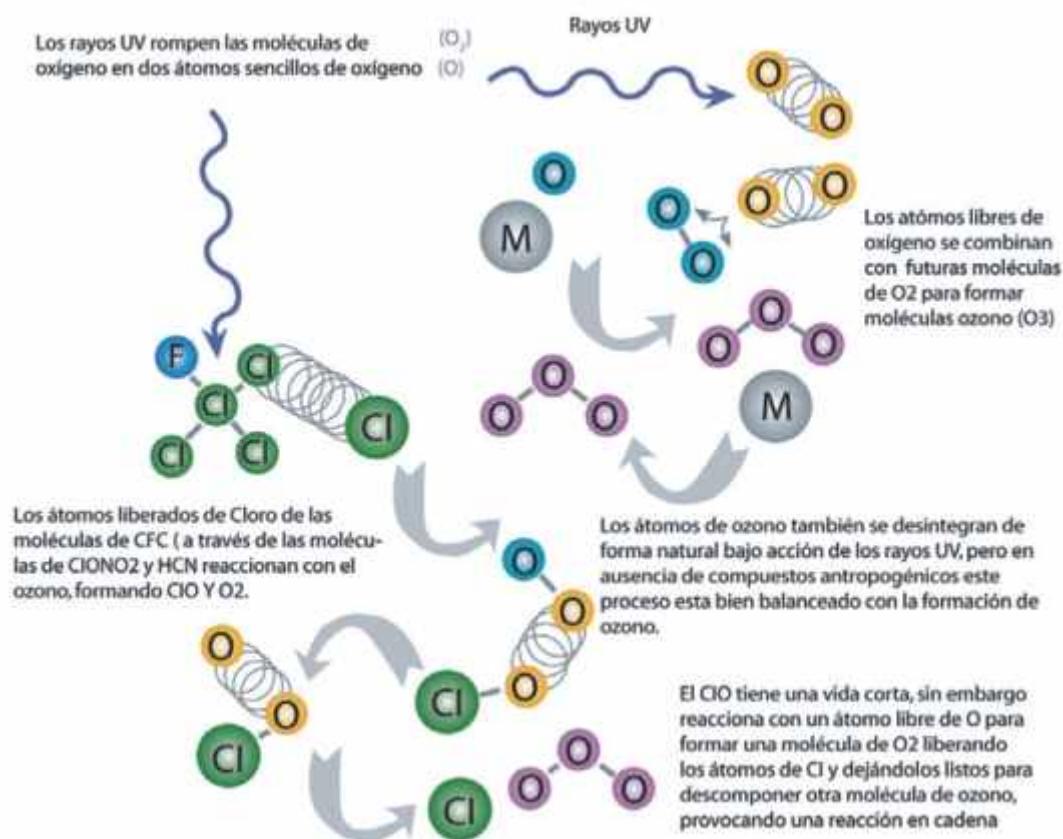


Fig. 1.4.- Mecanismo de destrucción de la Capa de Ozono.

Se ha comprobado también que los CFC – el cloro – constituyen la causa principal del fenómeno más dramático que se ha constatado en lo que atañe al agotamiento de la capa de ozono. Cada primavera, en el hemisferio sur, aparece un agujero en la capa de ozono sobre la Antártida, tan grande

como la superficie de los Estados Unidos. El agujero no es en realidad un agujero sino una región que contiene una concentración inhabitualmente baja de ozono.

En años recientes se han producido agujeros de la capa donde el ozono donde se calcula

que se ha agotado en más del 60% con respecto a las observaciones anteriores. El agotamiento se produce especialmente en alturas situadas entre 15 y 30 km sobre la superficie de la tierra, que son las que normalmente contienen la mayor cantidad de ozono. Cabe destacar que las condiciones

meteorológicas únicas de la zona, crean una masa de aire asilada, sumamente fría, alrededor del polo sur que provoca nubes estratosféricas, estas nubes contribuyen al deterioro de la capa principalmente en el otoño invierno y que en el 2004 alcanzó una área de 24.2 millones de metros cuadrados.

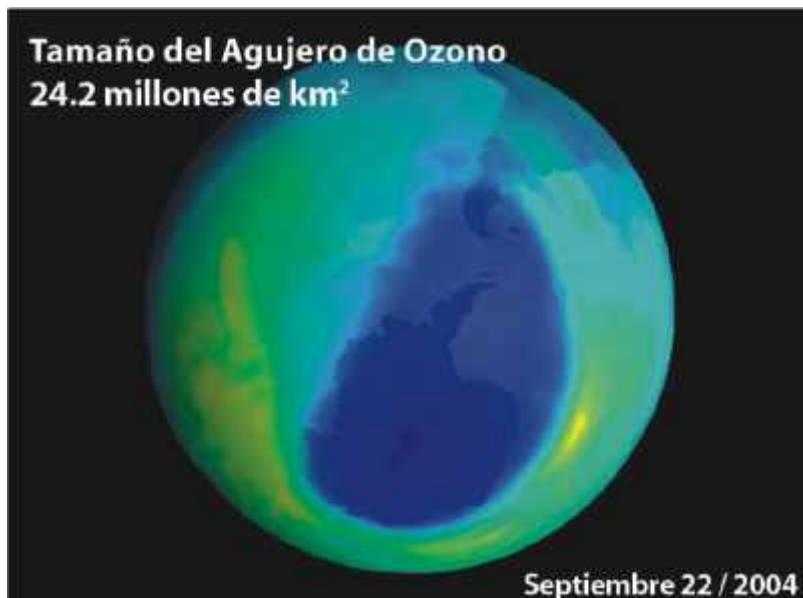


Fig. 1.5.- Tamaño de la destrucción de la Capa de Ozono en la Antártida

Las reducciones de la capa de ozono observadas en el hemisferio norte no son menos angustiantes. En los últimos años se ha observado un aumento en la concentración de radiación ultravioleta, la

diferencia alarmante es que en esta parte de la tierra puede afectar a más de 700 millones de habitantes incluyendo adicionalmente a la flora y la fauna de la región.



Fig. 1.6.- Agujero de Ozono Ártico.

CAPITULO 2

2.1.- Calentamiento Global de la Tierra.

La temperatura de la tierra se mantiene debido a un equilibrio entre el calor de la radiación solar que fluye desde el espacio y el enfriamiento debido a la radiación infrarroja emitida por la superficie caliente de la tierra y la atmósfera que se escapa volviendo al espacio. El sol es la única fuente extrema de calor de la tierra. Cuando la radiación solar, en forma de luz visible, llega a la tierra, una parte es absorbida por la atmósfera y reflejada desde las nubes y el suelo (especialmente desde los desiertos y la capa de nieve). El resto es absorbido por la superficie que se calienta y a su vez recalienta la atmósfera. La superficie caliente y la atmósfera de la tierra emiten radiaciones infrarrojas invisibles.

Si bien la atmósfera es relativamente transparente a la radiación solar, la radiación infrarroja se absorbe en la atmósfera por muchos gases menos abundantes. Aunque presentes en pequeñas cantidades, estas trazas de gases actúan como un manto que impide que buena parte de la radiación infrarroja se escape directamente hacia el espacio. Al frenar la liberación de la radiación que provoca el enfriamiento, estos gases calientan la superficie terrestre.

En un invernadero, el vidrio permite entrar la luz solar pero impide que una parte de la radiación infrarroja se escape. Los gases en la atmósfera terrestre que ejercen un efecto similar se llaman gases de invernadero. No se trata ni de nitrógeno ni de oxígeno, los principales componentes de la atmósfera, sino de trazas de gases que incluyen, por ejemplo, el vapor de agua, el dióxido de carbono y el ozono. El vapor de agua es el

más importante gas natural de invernadero en la atmósfera. De los gases de invernadero artificiales, los más importantes son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y los halocarbonos de los cuales los clorofluorocarbonos son las más importantes. El ozono (O₃), principalmente en la parte inferior de la atmósfera, cuya concentración se ve afectada por las actividades humanas, es también un importante gas de invernadero. Aparte de los CFCs, estos gases existen de modo natural. El vapor de agua tiene un papel preponderante en la cuestión del efecto de invernadero debido a que su concentración está vinculada a la de los demás gases a través de un mecanismo de retorno. El recalentamiento, producido por los demás gases de invernadero, aumenta la evaporación y hace que la atmósfera puede retener más vapor de agua, aumentando a su vez el recalentamiento.

Los diferentes gases absorben y atrapan cantidades variables de radiación infrarroja. También persisten en la atmósfera por períodos diferentes e influyen en la química atmosférica (especialmente del ozono) de diferentes maneras. Por ejemplo, una molécula de CFC-12 tiene más o menos el mismo efecto sobre la radiación de 10,600 moléculas de CO₂. El efecto de una molécula de metano es igual aproximadamente al de 21 veces del efecto del CO₂, pero la vida útil de la misma es mucho más corta.

El potencial de calentamiento mundial en la atmósfera (GWP) es un índice que compara el efecto del recalentamiento en un lapso de tiempo para diferentes gases con respecto a emisiones iguales de CO₂ (por peso).

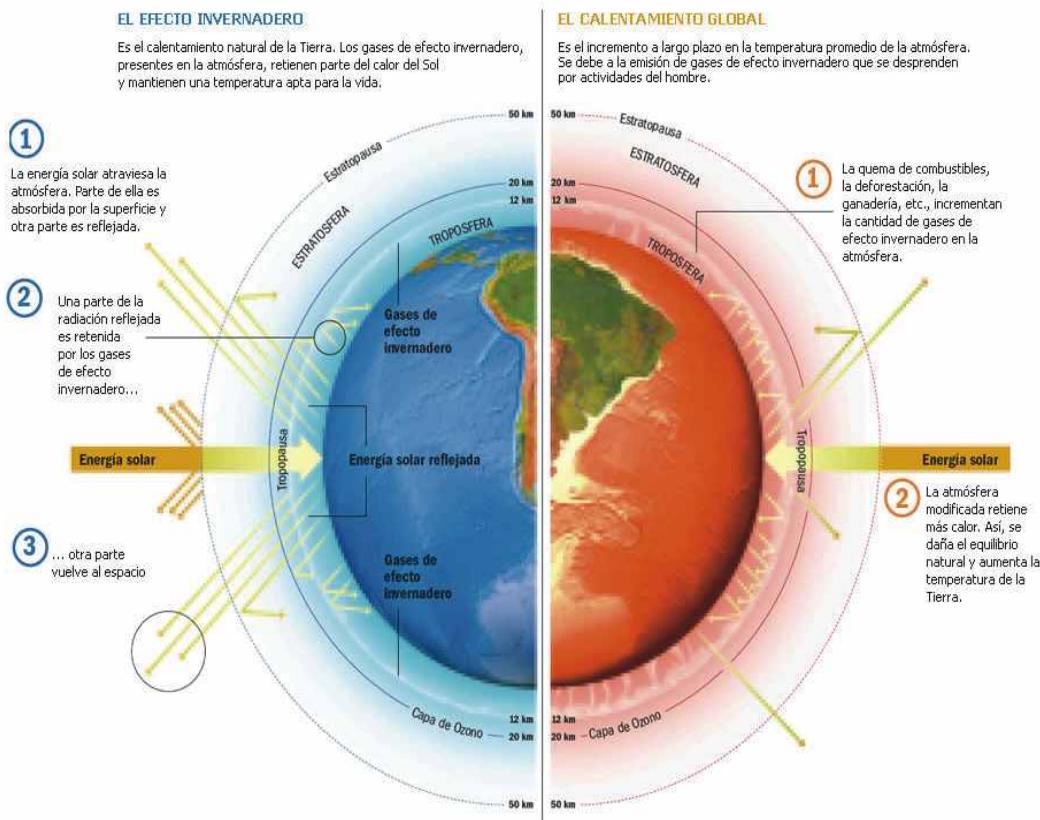


Fig. 2.1.- Calentamiento Global

2.2.- Contribución directa de los CFCs.

Dado que la vida útil de los gases es diferente de la del CO₂, se podrían calcular diferentes GWP, lo cual depende de la extensión de tiempo considerada. La vida útil del CO₂ es del orden de los 200 años en la atmósfera; si se compara con el CO₂, sobre un plazo corto, un gas cuya vida útil es muy corta, se da relieve al potencial de recalentamiento de este gas y se subestima el potencial de recalentamiento del CO₂. Tomando una extensión de tiempo de 500 años se pone el relieve del efecto del CO₂ y se subestima la influencia del gas de vida útil corta en el periodo de los primeros 20 a 50 años.

Normalmente se adopta una extensión de tiempo de 100 años. Reemplazar el CFC-12 por

el HFC-134a implicará una reducción por un factor de 6 en el calentamiento mundial de la atmósfera si hay emisión del refrigerante. Utilizando el GWP de los gases junto con sus concentraciones previstas en el futuro da por resultado escenarios de cambios climáticos en el próximo siglo, un aspecto que recibe mas y mas atención de los científicos y responsables de tomar decisiones en todo el mundo.

La contribución directa ya se está reduciendo gracias a la limitación de las emisiones tanto por los métodos más estrictos para evitar fugas en los sistemas de refrigeración como por la recuperación de los CFC.

En la siguiente tabla se encuentran los potenciales de agotamiento a la Capa de Ozono y potenciales de Calentamiento Global de diferentes substancias utilizadas en refrigeración y aire acondicionado.

Tabla 2.1.- Potenciales de Agotamiento a la Capa de Ozono y Calentamiento Global.

Refrigerante No. ASHRAE	Marca	Potencial de Agotamiento de Ozono *	Potencial de Calentamiento Global. Horizonte a 100 Años **	Años de vida en la atmósfera ***
CFCs				
R-11		1.000	4600	45.0
R-12		0.820	10600	100.0
R-13		1.000	14000	640.0
R-113		.900	6000	85.0
R-114		0.850	9800	300.0
R-115		0.400	7200	1700.0
HCFCs				
R-22		0.034	1700	11.9
R-123		0.012	120	1.4
R-124		0.026	620	6.1
R-141b		0.086	700	9.3
R-142b		0.043	2400	19.0
HFCs				
R-23		0	12000	260.0
R-32		0	550	5.0
R-125		0	3400	29.0
R-134a		0	1300	13.8
R-143a		0	4300	52.0
R-152a		0	120	1.4
ZEOTROPOS				
R-401A	MP39	0.027	1100	
R-401B	MP66	0.028	1200	
R-402A	HP81	0.013	2700	
R-402B	HP80	0.020	2300	
R-403A	RP69S	0.026	3000	
R-403B	RP69L	0.019	4300	

Refrigerante No. ASHRAE	Marca	Potencial de Agotamiento de Ozono*	Potencial de Calentamiento Global** Horizonte a 100 Años	Años de vida en la atmósfera***
ZEOTROPOS				
R-404A		0	3800	
R-407A		0	2000	
R-407B		0	2700	
R-407C		0	1700	
R-407D		0	1500	
R-408A	FX10	0.016	3000	
R-409A		0.039	1500	
R-409B		0.033	1500	
R-410A	AZ20	0	2000	
R-413A	RP49	0	1900	
R-414B		0.031	1300	
AZEÓTROPOS				
R-500		0.605	7900	
R-502		0.221	4500	
R-503		0.599	13000	
R-507A		0	3900	
R-508A		0	12000	
R-508B		0	12000	

*Potencial de Agotamiento a la Capa de Ozono (PAO) Capacidad de una sustancia de destruir la capa de ozono estratosférico sobre la base de su vida en la atmósfera, su nivel de reactividad y la cantidad de elementos que pueden atacar el ozono como el cloro y el bromo. Esta capacidad esta referenciada a la capacidad del CFC-11 con un PAO=1.

**Potencial de Calentamiento Global (PCG) Medida del efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce una liberación instantánea hoy de 1 kg de un gas efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO₂ en base a un tiempo horizonte de 100 años. El caso de la emisión de 1 kg de HCFC-22 equivale a 1.700 kg de CO₂.

***Años de Vida en la Atmósfera, tiempo estimado que una sustancia convive en la atmósfera una vez que ha sido liberada, las mezclas de refrigerantes no se especifica debido a que en su composición existen varios refrigerantes con diferentes tiempos de vida en la atmósfera.

CAPITULO 3

3.1. -El Protocolo de Montreal

Debido a los problemas que se presentaban con el uso de sustancias agotadoras de ozono en diferentes aplicaciones, la comunidad mundial adoptó las medidas acordadas en el Protocolo de Montreal que se firmó en Septiembre de 1987.

Originalmente el Protocolo de Montreal fue firmado por 24 países y la Comunidad Económica Europea.

El Protocolo de Montreal establece reducciones graduales en el uso de las SAOs

hasta su eliminación total, separando claramente los países desarrollados con los países en vías de desarrollo ya que su problemática es muy distinta y por consecuencia los calendarios de eliminación tendrían que ser diferentes.

En la tabla siguiente se muestra el acuerdo original de eliminación de SAOs para los diferentes países.

Tabla 3.1.- Regulación de las SAOs de acuerdo al Protocolo de Montreal.

Sustancia Agotadora de la capa de Ozono	Listadas en el Anexo-Grupo del Protocolo de Montreal	Línea Base	Compromiso de Reducción
CFCs	A-I	Consumo promedio de los años 1995-1997	50% a partir de 2005 85% a partir de 2007 100% a partir de 2010
Halones	A-II	Consumo promedio de los años 1995-1997	50% a partir de 2005 100% a partir de 2010
Bromuro de Metilo	E-I	Consumo promedio de los años 1995-1998	20% a partir de 2005 100% a partir de 2015
Otros CFCs	B-I	Consumo promedio de los años 1998-2000	20% a partir de 2003 85% a partir de 2007 100% a partir de 2010
HCFCs	C-I	Consumo promedio del año 2015	100% a partir de 2040

La tabla anterior mostraba el acuerdo original de la eliminación paulatina de los HCFCs en los países clasificados como artículo 5 (Países en vías de desarrollo), en la reunión del comité ejecutivo del Protocolo de Montreal se acordaron las siguientes fechas que modifica el plan original y convierte a la regulación en una acción acelerada para la

reducción y eliminación de HCFCs en los países A5.

Esta nueva regulación establece que se deben medir los consumos de los países en los años 2009 y 2010 y el volumen de consumo de estos dos años será promediado para establecer la base de consumo en el año 2013.

Esto indica que aún cuando se incremente el consumo de HCFCs en los países A5, en los años 2011 y 2012, en el año 2013 se debe cumplir con el consumo base establecido

llamado congelamiento de consumo y a partir del 2015 se inicia la reducción de los consumos con una disminución del 10% y así sucesivamente.

En la tabla 3.2 se muestra esquemáticamente la reducción del consumo de HCFCs en los países Artículo 5.

Tabla 3.2.- Programa nuevo de reducción de consumo de HCFCs países A5

Programa de Eliminación De HCFCs	Original	Nuevo
Línea Base	2015 2009-2010	
Congelamiento	2016	2013
Reducción de 10%	-----	2015
Reducción de 35%	-----	2020
Reducción de 67.5%	-----	2025
Reducción de 97.5%	-----	2030
Reducción de 100%	2040	2040

3.2.- Enmiendas al Protocolo de Montreal

El acuerdo original del Protocolo se modificó con la primera enmienda establecida en Londres en 1990 donde se incluía a los HCFCs como sustancias que deberían de ser reguladas, se ampliaron también las naciones firmantes a 55 países y se reforzaron las cláusulas de este acuerdo.

En 1992 se realizó la otra enmienda en la ciudad de Copenhague donde hubo algunas

modificaciones y en esa ocasión asistieron más de 90 países que acordaron cumplir con el Protocolo.

Estas enmiendas principalmente se han realizado por diferentes razones, para actualizar fechas de cumplimiento, para agregar o modificar cláusulas del acuerdo, cambiar especificaciones, etc.

En resumen al Protocolo de Montreal se le han hecho cuatro enmiendas:

- Enmienda de Londres
- Enmienda de Copenhague
- Enmienda de Montreal
- Enmienda de Beijing

3.3. Marco Legal e Institucional en Paraguay

El Paraguay, por la Ley N° 61/92, aprobó y ratificó el CONVENIO DE VIENA PARA LA PROTECCIÓN DE LA CAPA DE OZONO, adoptado en Viena, Austria, el 22 de marzo de 1985; y el PROTOCOLO DE MONTREAL RELATIVO A LAS SUSTANCIAS AGOTADORAS DE LA CAPA DE OZONO, concluido en Montreal, Canadá, el 16 de septiembre de

1987; y la ENMIENDA del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, adoptada en Londres, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, el 29 de junio de 1990, conocida como "ENMIENDA DE LONDRES".

Por la Ley N° 1507/99, se aprobaron las Enmiendas del Protocolo de Montreal

relativo a las Sustancias que agotan la Capa de Ozono, adoptadas en Copenhague, Dinamarca, el 25 de noviembre de 1992 y en Montreal, Canadá, el 17 de septiembre de 1997, conocidas como "ENMIENDA DE COPENHAGUE" y "ENMIENDA DE MONTREAL".

Por la Ley N° 2889/06 se aprobó la Enmienda del Protocolo de Montreal Relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono, adoptada el 3 de diciembre de 1999, en la ciudad de Beijing, República Popular de China, conocida como "ENMIENDA DE BEIJING".

La Ley N° 1561/00 estableció en su Artículo 14, inciso d) que la Secretaría del Ambiente (SEAM) adquiere el carácter de autoridad de aplicación de la Ley N° 61/92.

El 11 de agosto de 2008 el Poder Ejecutivo promulgó el Decreto N° 12.685/08 "Reglamento de Control de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono y el Uso de Tecnologías Alternativas", que establece medidas, requisitos, términos, condiciones y obligaciones, tanto para la SEAM como para la DNA, tendientes al mejor cumplimiento de los compromisos internacionales asumidos por la República del Paraguay establecidos en el Protocolo de Montreal aprobado y ratificado por Ley N° 61/92.

El principal objetivo de dicho Decreto es controlar y reglamentar la importación y/o exportación de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO), así como los equipos y/o productos que contienen dichas sustancias identificadas en los anexos, las cuales están sujetas a dicho control y reglamentación. Con este fin, se introducen entre otras cosas, restricciones en el consumo y producción de SAO, se instaura un sistema de licencias de importación y exportación creando un registro de importadores y exportadores y decretando prohibiciones de importar y exportar SAO y/o los equipos o productos que contengan las mencionadas sustancias controladas en determinadas circunstancias.

Actualmente, 196 naciones del mundo han ratificado el Convenio de Viena y el Protocolo de Montreal, comprometiéndose a cumplir las metas establecidas que tienen como objetivo eliminar la producción y el uso de los CFC, Halones y Bromuro de Metilo, cuya

presencia en la atmósfera es considerada la principal causa de la destrucción de la capa de ozono. Asimismo, a través de una enmienda se ha establecido también la eliminación gradual de los HCFC.

Para el cumplimiento de los compromisos emergentes de dichas disposiciones legales, en la SEAM se halla constituida una Unidad de Acción de Ozono, dependiente de la Dirección General de Control de la Calidad Ambiental y de los Recursos Naturales, la cual implementa las acciones necesarias para la gestión de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono, contando con el apoyo de proyectos financiados por el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal, canalizados a través de los organismos internacionales PNUD y PNUMA.

La Unidad de Acción de Ozono de la SEAM, cumple con las siguientes funciones:

- Difusión a nivel nacional, incluyendo la información relacionada con la situación actual de la capa de ozono y las acciones nacionales e internacionales encaminadas a su protección, con el fin de crear conciencia sobre dicha problemática ambiental.
- Desarrollo de medidas administrativas, en coordinación con la Dirección Nacional de Aduanas, consistentes en autorizaciones para el control de importaciones y exportaciones de SAO y equipos que las contienen.
- Establecimiento del Registro de Importadores y Exportadores de SAO y su mecanismo de inscripción.
- Verificación de las SAO ingresadas al país.
- Realización de visitas a locales comerciales, depósitos y todo otro establecimiento en que se comercialicen, almacenen o manejen SAO y solicitar la exhibición y/o el aporte de información y documentación.
- Recopilación de información y reporte de datos de consumo de SAO a los organismos internacionales.
- Promoción de las Buenas Prácticas en el sector de refrigeración.
- Acciones para la prevención del comercio ilegal de SAO.
- Aplicación de las regulaciones establecidas a las SAO.

CAPITULO 4

4.1.- Breve Historia de la Refrigeración.

Antes de que se introdujeran los sistemas de refrigeración mecánicos y térmicos, la gente enfriaba sus alimentos con hielo transportado desde las montañas. Las familias acaudaladas utilizaban de hielo, que consistían en fosas cavadas en la tierra y aisladas con madera y paja para almacenar el hielo. De este modo, la nieve y el hielo apisonados se podían conservar por meses. El hielo era el principal medio de refrigeración hasta comienzos del siglo XX y se utiliza todavía en algunos países. La gente que no disponía de hielo salaba o ahumaba los alimentos para conservarlos.

El primer sistema práctico de refrigeración mecánica fue inventado en 1884 por el físico estadounidense John Corrie para refrescar las salas de enfermos en un hospital de la Florida. El sistema utilizaba el método de circulación de aire para enfriar. Se consideraba de modo general que el hombre

4.1.1.- Refrigeración con hielo.

En una nevera o heladera común el calor que entra en el espacio refrigerado desde todas las diversas fuentes llega al hielo que se está derritiendo principalmente por una corriente de convección que se establece en el aire del espacio refrigerado. El aire en contacto con el producto tibio y las paredes del espacio se calientan por el calor que le llega a dichos materiales. A medida que el aire se calienta, se expande y sube a la parte superior del espacio, llevando consigo el calor a la parte superior del compartimiento del hielo. Al pasar por encima del hielo, el aire se enfriá a medida que el calor pasa del aire al hielo. Al enfriarse, el aire se hace más denso ya vuelve a caer en el espacio de almacenamiento, con lo cual absorbe más calor y el ciclo se repite.

El aire, al transportar el calor de las paredes tibias y de los productos almacenados al hielo que se va derritiendo, actúa como agente de transferencia térmica.

de negocios estadounidense Alexander C. Twinning fue el iniciador de la refrigeración comercial en 1856. Poco después, un australiano, James Harrison, introdujo la refrigeración por compresión del vapor en la industria cervecera y en los frigoríficos.

Posteriormente, en 1859, Ferdinand Carré desarrolló en Francia un sistema de refrigeración por absorción del amoniaco mediante un procedimiento térmico. Los refrigeradores de Carré fueron utilizados ampliamente en la industria.

No obstante, el costo, el tamaño y la complejidad de los sistemas de refrigeración de la época impedían el uso generalizado de refrigeradores en el hogar. La mayoría de las familias utilizaban heladeras en las que se colocaban casi diariamente bloques de hielo procedentes de una fábrica de hielo local.

Para asegurarse una circulación de aire adecuada dentro del espacio refrigerado, el hielo debería estar situado cerca de la parte superior del refrigerador y debería instalarse un deflector adecuado para proporcionar rutas directas y libres de obstáculos para la corriente de aire. Debería colocarse una cuneta de desagüe debajo del hielo para recoger el agua proveniente del hielo que se derrite.

El hielo presenta ciertas desventajas que limitan su utilidad como refrigerante. Por ejemplo, no es posible obtener con el hielo las bajas temperaturas necesarias en muchas aplicaciones de refrigeración.

Ordinariamente, 0°C es la temperatura mínima que se puede obtener al ir derritiéndose el hielo. En algunos casos, la temperatura de fusión del hielo puede disminuirse aproximadamente -20°C

agregando cloruro de sodio o de calcio para producir una mezcla congelante.

Algunas de las otras desventajas más obvias del hielo son la necesidad de reponerlo

4.1.2.- Refrigeración mecánica por compresión de gases CFCs y HCFCs.

En los años 30's del siglo pasado, después de la creación de los CFC, HCFC y de los pequeños motores eléctricos, la utilización de los refrigeradores a compresión en los hogares comenzó a desarrollarse considerablemente. En muchas casas también se utilizaban refrigeradores a gas en los que se empleaba el enfriamiento por absorción de amoniaco/vapor de agua y eran accionados por el calor de gas en vez de un motor. Estos refrigeradores se utilizan todavía en los vehículos llamados recreo. Actualmente, sin embargo, los refrigeradores a compresión por vapor son los utilizados más comúnmente en el hogar.

Los principios de funcionamiento de la refrigeración por compresión de vapor, en forma simplificada pueden dividirse en cuatro operaciones: evaporación, compresión, condensación y expansión.

Evaporación.- En esta etapa del ciclo de refrigeración el refrigerante llega al evaporador en estado parcialmente líquido y a baja presión, al ponerse en contacto con el medio que se desea enfriar, el refrigerante al absorber calor del medio, inicia su ebullición

frecuentemente, método que no es ni cómodo ni económico, y también el problema de eliminar el agua resultante del hielo derretido.

evaporándose a lo largo del evaporador hasta llegar a tener un sobrecalentamiento.

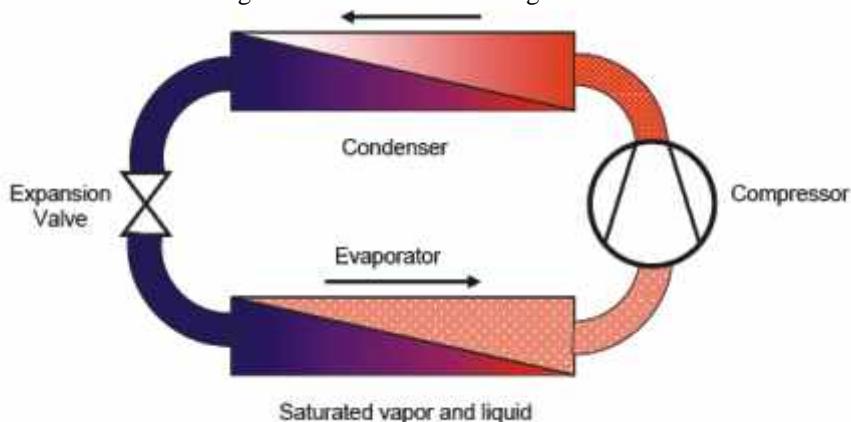
Compresión.- Una vez que el refrigerante abandona el evaporador, este se encuentra como vapor sobrecalentado y es dirigido hacia el compresor el cual succiona el refrigerante para comprimirlo y elevar su presión, generalmente los compresores son accionados por medios mecánicos obteniendo su energía de motores eléctricos integrados al compresor.

Condensación.- El refrigerante ahora se encuentra con una alta presión y un mayor grado de sobrecalentamiento y es enviado hacia el condensador donde puede entonces volver al estado líquido mediante la emisión de calor hacia el exterior, generalmente la fuente de enfriamiento es el aire sin embargo existen condensadores que utilizan agua como medio de enfriamiento.

Expansión.- El líquido de alta presión que abandona el condensador, se traslada hacia el dispositivo de expansión en donde se baja su presión y parte del líquido se evapora. En esta etapa, tenemos un refrigerante parcialmente líquido frío listo para comenzar todo el ciclo de nuevo.

Lo descrito anteriormente es el llamado ciclo de la refrigeración y se esquematiza en la figura siguiente:

Figura 4.1.- Ciclo de la Refrigeración



En algunos cursos de refrigeración se muestran los ciclos de refrigeración esquematizados en diagramas de presión vs entalpía, sin embargo no es tema de este manual mostrar el uso de esta herramienta de diseño para sistemas refrigerados.

También existen arreglos de sistemas más complejos de dos o más ciclos de refrigeración y refrigeración en cascada que no serán tocados en este manual.

Finalmente, en el paso de medio siglo, la climatización y la refrigeración han dejado de ser un lujo para acaudalados para convertirse en una necesidad para el desarrollo

económico y, en algunos casos, para la vida misma.

El desarrollo de métodos de fabricación de precisión, de líquidos refrigerantes aparentemente inocuos y de pequeños motores fiables ha dado lugar a la proliferación de los refrigeradores de la mayoría de los hogares en el mundo industrializado y a una rápida saturación en los países en desarrollo

Poca gente de los que están envueltos directamente en la industria son conscientes del importante papel que la climatización y la refrigeración han empeñado en el desarrollo del mundo que conocemos actualmente. Por ejemplo:

- La elaboración, el transporte y la conservación de los alimentos exige la refrigeración simplemente para poder alimentar a la población mundial. Sin refrigeración muchísima gente simplemente se moriría.
- El trabajo de precisión de maquinas y montajes no sería posible en gran parte del mundo haciendo que muchos productos de trabajo refinado del que disponemos actualmente fuese inferior o inexistente.
- La mayor parte de los plásticos actuales no podrían fabricarse.
- No podrían construir las computadoras actuales.
- La mayoría de los grandes edificios no podrían ocuparse durante el verano en muchas partes del mundo.

4.2.- Termodinámica

Para poder entender los conceptos básicos de la refrigeración, es importante dar un repaso a los diferentes conceptos de la termodinámica que algunos están ya definidos en muchos libros, sin embargo que solo sea para dar mención a los más importantes.

Una ley importante de la termodinámica es que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma.

Otra ley menciona que el calor como forma de energía siempre va a fluir de un cuerpo con temperatura más alta a otro con temperatura más baja, esta ley es

particularmente importante porque da lugar al proceso de refrigeración, donde los materiales a ser refrigerados desprenden su calor interno para dirigirlo a otro fluido o cuerpo con menor temperatura.

El calor que es una forma de energía y es definido en los anexos de este manual, siempre va a fluir de una substancia caliente a una más fría.

El calor provoca cambios de estado, un fluido líquido puede cambiarse a vapor solo con la absorción de calor y viceversa un vapor puede condensarse si se le extrae calor.

Formas de transmitir el calor:

- Por Conducción
- Por Convección
- Por Radiación

Conducción.- El calor es transferido de la parte más caliente del material a la parte más fría, este proceso de transferencia de calor ocurre principalmente en metales que son buenos conductores del calor. Esto explica porque la gran mayoría de metales a temperatura ambiente dan sensación de estar fríos.

Convección.- Este tipo de transferencia de calor ocurre exclusivamente en los fluidos en estado líquido o gaseoso y se realiza cuando un fluido se calienta y se expande haciéndose más liviano que la otra parte del fluido circundante, elevándose por encima de su entorno y dejando su lugar al fluido más frío. Este proceso se observa en el aire acondicionado.

Radiación.- El ejemplo clásico de este proceso de transferencia de calor es el fenómeno de calentamiento de la tierra por los rayos del sol que aún cuando se encuentra a una distancia considerable, se percibe el calor que emite

CAPITULO 5

5.1.- Refrigerantes

Un refrigerante es un fluido capaz de transportar el calor de un lado a otro en cantidades suficientes para desarrollar una trasferencia de calor. Los refrigerantes son los fluidos de trabajo en los sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor. Estos productos absorben el calor de un área como el espacio acondicionado de una sala y es expulsado en otra área exterior generalmente por conducto del evaporador y del condensador respectivamente.¹

A lo largo de la historia de la refrigeración, se han utilizado varios tipos de refrigerantes, algunos tóxicos, otros inflamables, algunos más con propiedades ambientales limitadas, etc. Lo que ha llevado a la conclusión de que

no existe hasta el momento un refrigerante ideal.

Para poder tener una mejor decisión de qué tipo de refrigerante se debe utilizar en una instalación de refrigeración y/o aire acondicionado, es importante considerar 4 factores básicos²:

- Factores Ambientales
- Factores Económicos
- Factores de Seguridad
- Factores de Desempeño

Cada uno de estos puntos puede influir en forma muy importante si las instalaciones de refrigeración y aire acondicionado pueden ser viables de ser operadas por largo tiempo.

Fig. 5.1.- Factores a considerar en la elección de un refrigerante



¹ Manual de Fundamentals ASHRAE 2001 pag. 19.1

Factores Ambientales

Factores como el Potencial de Agotamiento a la Capa de Ozono y el Potencial de Calentamiento Global pueden influir en forma determinante en si una instalación de refrigeración está operando en forma regular y que no va a tener problemas en el futuro para seguir operando. El caso más drástico en estas fechas es por ejemplo las instalaciones antiguas operando con R-12 un refrigerante que está fuertemente regulado en los países de la región y será muy difícil seguir operando sin hacer cambios de refrigerante apropiado.

Ahora bien, con los ajustes que se han realizado en la regulación de los HCFCs, las instalaciones operando con R-22 pueden ser amenazadas por la limitación de la oferta de este refrigerante en los próximos años.

Factores Económicos

El costo de la instalación es el adecuado para la inversión que se está haciendo o representa un fuerte gasto original.

El refrigerante puede ser manejado en forma adecuada sin hacer grandes inversiones en el manejo, almacenamiento y disposición o representa un gran gasto en la operación de los sistemas.

Factores de Seguridad

El refrigerante utilizado es seguro en su manejo, es tóxico o inflamable.

Si tiene alguna de estas propiedades sería importante revisar todos los manuales de seguridad para el manejo seguro del refrigerante debido que algunos refrigerantes no son permitidos en varias aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado.

Como ejemplo se puede citar a el amoniaco que es un buen refrigerante sin embargo no puede ser instalado en heladeras doméstica y comerciales.

Factores de Desempeño

El refrigerante utilizado cumple con su labor

o técnicamente es incapaz de poder desempeñar el trabajo en donde fue instalado.

Su coeficiente de desempeño (COP)² es apropiado para la aplicación en donde está instalado o está fuera de lugar según sus propiedades termodinámicas.

Como se comentó anteriormente, el análisis de estos factores es muy importante cuando se tenga que enfrentar a la decisión de instalar nuevas maquinas o hacer las mejores recomendaciones a los propietarios de sistemas para los siguientes años en donde la regulación de muchas sustancias puede hacer que los equipos dejen de operar aun cuando no hayan llegado a su vida útil.

5.2.- Clasificación de Refrigerantes por sus componentes químicos.

En la industria de la refrigeración y aire acondicionado se han utilizado múltiples substancias químicas con diferentes características, desde los que no son inflamables ni tóxicos hasta los que presentan índices de inflamabilidad y toxicidad que provocan un mayor cuidado en el uso de los equipos y la prevención de fugas, en la parte siguiente se especifican los más utilizados en los sectores de consumo.

5.2.1.-Clorofluorocarbonos (CFCs)

Compuestos altamente estables debido a su composición química basada principalmente en moléculas de cloro, flúor y carbono. Fueron introducidos al mercado en los años '30 del siglo pasado y tuvieron gran utilización en sectores de refrigeración, aire acondicionado, como solventes en la industria electrónica y metalmecánica, como agentes de espumado para la elaboración del poliuretano y poliestireno y como esterilizantes médicos.

5.2.2.- Hidroclorofluorocarbonos (HCFCs)

Compuestos estables de composición química similar a los CFCs pero con menos contenido de cloro en su molécula que

² COP – Es el coeficiente de desempeño del refrigerante y nos ofrece una idea de la capacidad del refrigerante para desarrollar el trabajo. El COP es el resultado de dividir el efecto refrigerante entre el calor de compresión.

provoca menores potenciales de agotamiento a la capa de ozono. Estos productos han sido utilizados en la refrigeración, aire acondicionado, como espumantes en la fabricación de poliuretano y como propelentes en la industria del aerosol.

5.2.3.- Hidrofluorocarbonos (HFCs)

Compuestos químicos libres de cloro que tienen cero potencial de agotamiento a la capa de ozono pero continúan teniendo altos índices de potencial de calentamiento global, estas substancias han sido elegidas para sustituir a las SAOs en las diferentes aplicaciones, sin embargo su futuro es incierto a largo plazo debido a la importancia que ha cobrado el problema de cambio climático en el mundo.

Estas substancias pueden ser utilizadas en todas las aplicaciones de los CFCs y HCFCs por lo que a corto plazo han sido una solución de sustitución de SAOs.

5.2.4.- Hidrocarburos (HCs)

Substancias con buena capacidad de refrigeración y termodinámicamente aceptables para ser utilizadas en refrigeración, aire acondicionado y como espumante de poliuretano y poliestireno así como propelente en la industria del aerosol.

Tienen propiedades ambientales muy aceptables debido a que no dañan la capa de ozono y tienen un bajo potencial de cambio climático, sin embargo su alta inflamabilidad los limita a ciertas aplicaciones por los altos costos de instalación y mantenimiento que son necesarios para aumentar la seguridad de los usuarios.

5.2.5.- Compuestos inorgánicos (R-717, R-744)

El amoniaco (R-717) es un excelente refrigerante que ha sido utilizado desde los principios de la refrigeración. Tiene una alta capacidad de refrigeración y su aceptación es muy amplia entre los usuarios.

Su limitante es su alto nivel de toxicidad que ha provocado que este refrigerante solo sea utilizado en la refrigeración industrial de grandes cargas y lejos de los usuarios finales para evitar el contacto de este refrigerante con las personas.

También es posible utilizarlo como refrigerante secundario en sistemas donde el diseño de los mismos permitan su instalación.

El Bióxido de Carbono (R-744) un refrigerante que ha sido probado en varias aplicaciones debido a sus excelentes propiedades ambientales.

La limitante de este refrigerante es su alta presión de operación que no permite hacer diseños en todas las aplicaciones, actualmente es instalado en heladeras domésticas y comerciales con compresores fraccionarios y también es utilizado en sistemas como refrigerante secundario.

5.3.- Clasificación de Refrigerantes por su numeración.

Existen diferentes tipos de refrigerantes que son utilizados en la industria de la Refrigeración y aire acondicionado actualmente, en seguida se hace una clasificación de los más comunes según la norma 34 del ASHRAE con la finalidad de no manejar nombres químicos para las sustancias.

5.3.1.- Refrigerantes Puros.- son aquellos que solo tienen un componente químico y su comportamiento está basado en sus propiedades termodinámicas propias de la sustancia como ejemplos se pueden citar el refrigerante 12(R-12), el refrigerante 11 (R-11), el propano (R-290), etc.

5.3.2.- Refrigerantes Azeotrópicos.- Son mezclas de refrigerantes principalmente de dos componentes los cuales se comportan como un compuesto puro debido que no tienen variación de temperatura y presión en los cambios de fase si se encuentran en su punto de azeotropía. Para casos prácticos su comportamiento es muy similar a un compuesto puro. Como ejemplo se puede

citar a los refrigerantes R-502, R-507, R-508B, etc.

5.3.3.- Refrigerantes Zeotrópicos.- Son mezclas de refrigerantes que si tienen variaciones de temperatura cuando existe un cambio de fase (condensación o evaporación) esto se debe principalmente a que los componentes que conforman la mezcla tienen diferentes puntos de ebullición. A esta variación de temperatura se le llama

deslizamiento de temperatura o "glide" que debe ser considerado cuando se instalen este tipo de refrigerantes en los sistemas.

Esta clasificación también se le llama series de refrigerantes donde los componentes puros son de la serie del metano y etano (decenas y centenas), Series 400 Refrigerantes Zeótropos y Series 500 Refrigerantes Azeótropos.

Tabla 5.1.- Series de Refrigerantes

Serie	Nombre	Gas
000	Metano	R-12
100	Etano	R-134a
400	Zeotropo	R-401A
500	Azeotropo	R-502

La metodología para encontrar los números de refrigerantes puros es la siguiente:

- El dígito de la extrema derecha se refiere a la cantidad de moléculas de flúor que tiene el compuesto.
- El dígito siguiente a la izquierda se refiere a la cantidad de moléculas de hidrógeno que tiene el compuesto más uno.
- El dígito de siguiente a la izquierda se refiere a la cantidad de moléculas de carbono que tiene el compuesto menos uno (cuando este dígito es cero no se escribe).
- El dígito a la extrema izquierda se refiere a los dobles enlaces que tienen las moléculas de carbono.

El ejemplo típico es el refrigerante 12 que químicamente se llama diclorodifluorometano y la fórmula es Cl₂F₂C (dos cloros, dos flúor y un carbono). Es un buen ejercicio hacer la práctica como llegar al número 12 partiendo de estos datos.

También es importante comentar que los refrigerantes hidrocarburos obtienen sus números partiendo de esta regla. Por ejemplo el propano no tiene moléculas de

flúor, tiene 8 hidrógenos y tres carbonos si seguimos la regla antes mencionada nos indica que el propano su número es el R-290, para el butano el número es R-600.

Asimismo se menciona que para los refrigerantes inorgánicos se le ha asignado la serie 700 solo agregando su peso molecular. Por ejemplo el CO₂ tiene como número de refrigerante R-744 (Peso Molecular del CO₂ =44), el amoniaco R-717.

La norma 34 de ASHRAE clasifica también a los refrigerantes por su toxicidad e inflamabilidad de acuerdo a las concentraciones que se presentan cuando un refrigerante es emitido a la atmósfera y entra en contacto con las personas.

Estas concentraciones de refrigerantes en el medio ambiente deben tener ciertos límites de seguridad que permitan que un trabajador se encuentre seguro en su lugar de trabajo. Estos índices son el TLV y el TWA.

TLV (Threshold Limit Value).- Concentración máxima permisible en la que un trabajador puede estar expuesto a la sustancia durante un periodo diario de 8 hrs. por cinco días a la semana durante 40 años sin tener ningún efecto negativo a su salud.

TWA.- Valor ponderado de concentración en el tiempo expresada en horas por día.

La tabla 5.2. Muestra gráficamente las diferentes clasificaciones de los refrigerantes según la norma 34 del ASHRAE.

Con el objeto de ser más claro se hacen las siguientes aclaraciones con respecto a lo que indica la norma:

La clasificación A1 establece que un refrigerante es no inflamable ni tóxico por encima de concentraciones de 400 partes por millón, generalmente los refrigerantes R-22,

R-134a, R-404A son clasificados como A1 debido a que no son inflamables.

Por ejemplo, el refrigerante R-123 es clasificado como un B1, es un refrigerante no inflamable pero debe mantenerse en concentraciones menores de 50 ppm para mantener las condiciones laborales en condiciones de trabajo seguro.

Así todos los refrigerantes son evaluados por sus características de toxicidad e inflamabilidad y en las hojas de seguridad de los mismos se puede observar cómo está clasificado el refrigerante que se desee utilizar

Tabla 5.2.- Seguridad de Refrigerantes Estándar 34 ASHRAE

Toxicidad		
Inflamabilidad Alta	A3 Hidrocarbonos	B3 Cloruro de Vinilo
Inflamabilidad Media	A2 R-412b, R-152a	B2 Amoniaco
Inflamabilidad Baja	A1 R-22, R-134a	B1 R-123
Baja Toxicidad (TLV ≥ 400 ppm)		Alta Toxicidad (TLV ≤ 399 ppm)

- ⊗ Clase A: TLV/TWA 400 ppm o mayor
- ⊗ Clase B: TLV/TWA 399 ppm o menor

La inflamabilidad también se clasifica:

- ⊗ Clase 1: no propaga la llama
- ⊗ Clase 2: baja propagación de llama
- ⊗ Clase 3: alta propagación de llama

5.4.- Seguridad de Refrigerantes

En la sección anterior se describieron las diferentes clasificaciones de los refrigerantes, algunas de sus características y como pueden identificarse por su número específico, sin embargo la forma de utilizarlos siempre es importante para evitar tener riesgos cuando se trabaje con estos productos, en seguida se especifican algunas de las precauciones que se deben seguir para evitar incidentes o accidentes laborales:

- Los refrigerantes halocarbonados generalmente son más pesados que el aire y por consecuencia, cuando se fugan de los sistemas se dirigen hacia las partes bajas del espacio donde se encuentran los sistemas. Es fundamental trabajar en áreas ventiladas que eviten altas concentraciones de refrigerantes.
- Siempre se debe leer la hoja de seguridad del refrigerante a utilizar, aun cuando aparentemente todos los refrigerantes son similares, algunos tienen diferencias significativas.
- Los refrigerantes causan quemaduras por congelación, para evitar quemaduras es importante el uso de guantes, gafas y en la medida de lo posible el uso de mangas largas para evitar contacto con la piel.
- Los cilindros desechables son diseñados para almacenar producto virgen que será vendido a los usuarios finales, no se debe utilizar para recuperar refrigerantes ni reutilizarlo para otros servicios.
- Los refrigerantes se descomponen a temperaturas de flama por lo que no se deben utilizar sopletes cuando existan fases de vapor de refrigerante en los sistemas, esto provocaría la generación de ácidos peligrosos para la salud humana.
- Nunca utilizar aire comprimido en presencia de refrigerantes para verificar fugas en sistemas porque la mezcla aire refrigerante a alta presión puede provocar un ambiente explosivo dentro del sistema, si se requiere verificar fugas se debe utilizar nitrógeno seco para este fin.

5.5.- Refrigerantes Utilizados en la Industria Actual

En esta parte se tratarán las características de los refrigerantes que son utilizados actualmente en la industria, muchos de estos productos han sido utilizados para la elaboración de diversos productos sin embargo en esta ocasión nos concentraremos en el uso como refrigerantes exclusivamente.

Algunos de los siguientes refrigerantes son conocidos tradicionalmente y tienden a ser eliminados en los meses próximos debido al Protocolo de Montreal pero algunos otros han sido utilizados como alternativas de sustitución para CFCs y HCFCs.

Refrigerante 12 (CFC-12)

Refrigerante tradicionalmente utilizado en heladeras domésticas y comerciales así como en el aire acondicionado automotriz, sus propiedades refrigerantes los llevaron a ser uno de los preferidos de los técnicos debido a su excelente estabilidad y buena capacidad calorífica.

Actualmente se encuentra en vías de eliminación por ser un CFC que tiene alto potencial de agotamiento a la capa de ozono.

Refrigerante 11 (CFC-11)

Un refrigerante líquido a temperatura ambiente que fue utilizado principalmente para los equipos centrífugos de aire acondicionado y como agente de limpieza para sistemas de refrigeración en general.

Actualmente se encuentra en vías de eliminación por ser un CFC que tiene alto potencial de agotamiento a la capa de ozono.

Refrigerante 22 (HCFC-22)

Refrigerante utilizado actualmente en la gran mayoría de los equipos de aire acondicionado unitario, en refrigeración comercial de media y baja temperatura.

Su alta demanda mundial se debe a varios factores; amplia disponibilidad, antigüedad en el mercado, versátil y con buena capacidad calorífica, su fecha de eliminación sigue

siendo distante y fue utilizado como sustituto desde el inicio de la regulación de los CFCs.

Refrigerante 502 (CFC-502)

Este refrigerante fue utilizado para la refrigeración de baja temperatura y en sistemas en cascada para equipos de laboratorio. Es una mezcla azeotrópica de R-115 y R-22 que está próximamente siendo eliminado por las regulaciones del Protocolo de Montreal debido a que es considerado como un CFC.

Refrigerante 401A (HCFC-401A)

Refrigerante mejor conocido como MP39 que ha sido un sustituto del R-12 en diversas aplicaciones y actualmente es utilizado en algunos mercados de la región como alternativa de sustitución, su limitante es su alta temperatura de descarga que en climas calurosos representa un problema si no se realizan ajustes en el condensador de los sistemas a ser reacondicionados.

Refrigerante 401B (HCFC-401B)

Este refrigerante solo se ha utilizado en algunos países como sustituto del R-12 en baja temperatura, es un buen refrigerante sin embargo su limitante son los escasos sistemas operando en condiciones de media presión y baja temperatura. También se le conoce a este refrigerante como MP66.

Refrigerante 402A (HCFC-402A)

Refrigerante conocido también como el HP80 que ha sido una alternativa de sustitución al R-502 en baja temperatura, el uso de este producto es limitado por varios factores, el principal es que no es muy conocido en los países de Latinoamérica.

Refrigerante 402B (HCFC-402B)

Refrigerante conocido como HP81 que ha sido utilizado principalmente en máquinas de hielo de pequeñas capacidades, un refrigerante eficiente que sustituyó al R-502 en esta aplicación.

Refrigerante R-406A (HCFC-406A)

Un refrigerante utilizado en algunos países para sustituir al R-12 en heladeras domésticas y comerciales así como en sistemas de refrigeración de mayor capacidad. Es un buen sustituto sin embargo en algunos países se ha encontrado con problemas de calidad. Debido a que es una mezcla zeotrópica su composición de la mezcla debe ser la especificada para este refrigerante.

Refrigerante 134a (HFC-134a)

Un refrigerante HFC que tiene cero potencial de agotamiento de ozono que ha sido sustituto del R-12 en diversas aplicaciones y que se ha utilizado como refrigerante alternativo para equipo nuevo, es un compuesto puro que tiene versatilidad y fácil manejo, para aplicarlo se debe utilizar lubricante sintético a base de poliolester. Es utilizado actualmente en la mayoría de los vehículos tanto en automóviles como en autobuses de pasajeros y en la gran mayoría de heladeras domésticas y comerciales.

Refrigerante 404A (HFC-404A)

Una mezcla zeotrópica con muy bajo deslizamiento de temperatura y muy versátil ya que puede trabajar para media y baja temperatura en sistemas de refrigeración comercial de diferentes capacidades, este refrigerante ha sido instalado en grandes cadenas de supermercados y en vehículos de transporte de carga refrigerada con muy buenos resultados.

Es un HFC con cero potencial de agotamiento de ozono pero continúa teniendo un elevado potencial de calentamiento global.

Refrigerante 507 (HFC-507)

Un refrigerante que es una mezcla azeotrópica que es muy similar al R-404A y generalmente ha sido instalado en cadenas de supermercados para baja temperatura.

Al igual que R-404A su potencial de agotamiento de ozono es cero pero continua teniendo elevado potencial de calentamiento global.

En la tabla 5.3 se especifican otras mezclas de refrigerantes HFCs que pueden ser buenos sustitutos a los HCFCs que tienden desde ya a ser sustituidos debido a la nueva regulación de estas sustancias acordada en las últimas reuniones del Protocolo de Montreal

Tabla 5.3.- Refrigerantes HFCs como sustitutos los CFCs y HCFCs sin cambio de aceite.

Número AHSRAE	Nombre Comercial	Sustituye	Tipo	Lubricante	Aplicación	Comentarios
R-423A	39-TC	R-12	Zeotrópico Mezcla	Alquilbenceno Polioléster	Enfriadoras de agua centrífugas diseñadas para R-12.	Cercano al R-12 con presión y temperatura de descarga similar al R-12.
Pendiente de asignar	MO-29	R-22		Mineral Alquilbenceno Polioléster	Enfriadoras de agua de expansión directa.	Cercano al R-22 con presión y temperatura de descarga menores al R-22.
R-417A	MO-59	R-22	Zeotrópico Mezcla	Mineral Alquilbenceno Polioléster	A/C residencial y comercial, enfriadoras de agua, aplicaciones en media temperatura.	Cercano al R-22 con presión y temperatura de descarga menores al R-22.
R-422A	MO-79	R-22 R-502 HP-80 HP-81 R-408A	Zeotrópico Mezcla	Mineral Alquilbenceno Polioléster	Aplicaciones comerciales e industriales en media y baja temperatura.	Cercano al R-22 presión y temperatura de descarga menores al R-22.
R-413A	MO-49	R-12 MP-39 MP-66 R-409A	Zeotrópico Mezcla	Mineral	A/C automotriz, A/C comercial, sistemas de refrigeración.	Cercano al R-12 temperatura de descarga similar al R-12.
Pendiente de asignar	MO-89	R-13B1		Mineral Alquilbenceno Polioléster	Baja y ultra baja temperatura (-40°F hasta -100°F)	Cercano al R-13B1.

5.6.- Procedimientos de Sustitución de Refrigerantes.

Hoy en día cuando la regulación de refrigerantes que dañan la capa estratosférica de ozono esta cada vez más cerca de eliminar a los CFCs y se inicia la regulación de HCFCs en los países Articulo 5 a los que pertenece Paraguay, se deben hacer cambios en los equipos que asegure la continuidad de la operación de los sistemas de refrigeración.

En este capítulo veremos los diferentes procedimientos de sustitución de refrigerantes en los diferentes campos y aplicaciones.

Existen en esencia 6 procesos de sustitución que describiremos brevemente para llevarlos a cabo en la práctica:

- Cambio de un CFC a un HCFC sin cambio de aceite.
- Cambio de un CFC a un HCFC con cambio de aceite.
- Cambio de un CFC a un HFC sin cambio de aceite.
- Cambio de un CFC a un HFC con cambio de aceite.
- Cambio de un HCFC a un HFC sin cambio de aceite.
- Cambio de un HCFC a un HFC con cambio de aceite.

5.6.1.- Cambio de un CFC a un HCFC sin cambio de aceite

Este procedimiento se lleva a cabo cuando las condiciones de retorno de aceite al compresor son adecuadas de tal forma que el cambio de refrigerante no afecte la cantidad de lubricante que contiene el compresor.

Este caso es el típico de un sistema de refrigeración autocontenido donde todas la partes del sistema se encuentran en una unidad, como heladeras domésticas y comerciales.

Aquí el retorno de aceite se presenta muchas veces por la fuerza gravidad debido a que el compresor se encuentra ubicado en la parte baja del sistema y no existen muchos obstáculos en la tubería que impidan el retorno del lubricante al compresor.

Este procedimiento ha sido utilizado para la sustitución de CFC-12 en muchos sistemas de refrigeración.

El procedimiento es sencillo y se define en los siguientes pasos:

- Verificar datos del sistema como opera cuando está trabajando con el CFC-12 para compararlos con los que se obtengan después del cambio de refrigerante. (si el sistema está vacío de refrigerante y no está operando, se debe recurrir a la experiencia de equipos similares para obtener los datos del sistema como presión de succión, temperatura del evaporador, amperaje del compresor, etc.).
- Parar el equipo y extraer el refrigerante CFC-12, la recuperación del refrigerante se debe realizar de acuerdo a los procedimientos descritos en este manual. Es posible que en este tipo de equipos solo exista una válvula de acceso al sistema como es la válvula de succión y por este conducto se debe hacer la recuperación.
- Cambiar el filtro deshidratador, esta práctica debe hacerse todas las veces que un sistema es abierto, actualmente todos los filtros son compatibles con la gran mayoría de los refrigerantes.
- Realizar el vacío y revisar las fugas del sistema, los procedimientos ya han sido descritos en este manual para llevar a cabo estas tareas en forma correcta. Es oportuno aclarar que los sistemas trabajando con CFCs contienen aceite mineral en el que se requiere alcanzar un vacío de 500 micrones para asegurar una operación correcta.

- Una vez que se ha alcanzado el vacío y revisado que el sistema esté libre de fugas, se procede a romper el vacío con el refrigerante, recordemos que la mayoría de refrigerantes sustitutos HCFCs son mezclas que deben extraerse del cilindro en fase líquida para ser cargados a los sistemas. Entonces se rompe el vacío con una cantidad de refrigerante líquido de tal forma que se alcancen unas 30 psig de presión.
- Cuando se ha realizado la primer carga de refrigerante, procedemos a arrancar el sistema y ajustamos la carga, es importante recordar que debemos de extraer líquido del cilindro para cargarlo por la succión del compresor; esto puede representar un riesgo por el ingreso de líquido en el compresor por lo que se sugiere que el ajuste de carga del refrigerante se lleve a cabo por pasos, que se vaya ingresando poco a poco para permitir que el refrigerante que sale líquido del cilindro se evapore entre las mangueras, el manifold y el compresor. De esta forma aseguramos que no alimentamos líquido al sistema.
- Es oportuno comentar que el cilindro de refrigerante debe estar en una posición invertida para la extracción del refrigerante.
- Los refrigerantes mezclas de HCFCs que han servido para la sustitución de CFCs, generalmente utilizan entre el 85 y el 95% en peso de la carga original de CFC-12.

5.6.2.- Cambio de un CFC a un HCFC con cambio de aceite

Este procedimiento se lleva a cabo cuando las condiciones de retorno de aceite al compresor no son adecuadas debido a que tenemos un sistema dividido donde el condensador se encuentra a una distancia de varios metros de la posición del evaporador y a una altura diferente, estas condiciones nos permiten pensar que el retorno de aceite al compresor se puede dificultar si no existe

buenas miscibilidad entre el refrigerante y el aceite del sistema.

Por consecuencia en este tipo de sistemas si se requiere un cambio de aceite que nos asegure el buen retorno de aceite al compresor.

Este caso es de un sistema de refrigeración de almacenamiento de alimentos y bebidas en tiendas de pequeñas a medianas, en restaurantes, Hoteles, mercados, etc. Pueden ser media o baja temperatura.

Este procedimiento ha sido utilizado para la sustitución de CFC-12 en muchos sistemas de refrigeración para que trabaje con mezclas HCFCs y los pasos son los siguientes:

- Verificar datos del sistema como opera cuando está trabajando con el CFC-12 para compararlos con los que se obtengan después del cambio de refrigerante. (si el sistema está vacío de refrigerante y no está operando, se debe recurrir a la experiencia de equipos similares para obtener los datos del sistema como presión de succión, temperatura del evaporador, amperaje del compresor, etc.).
- Parar el equipo y extraer el refrigerante CFC-12, la recuperación del refrigerante se debe realizar de acuerdo a los procedimientos descritos en este manual. Es posible que en este tipo de equipos solo exista una válvula de acceso al sistema como es la válvula de succión y por este conducto se debe hacer la recuperación.
- Extraer el lubricante del sistema, se debe vaciar el contenido de aceite del compresor y no importa la cantidad de aceite residual en el sistema ya que la compatibilidad entre aceite mineral y aceite alquilbenceno es muy buena y pueden trabajar juntos hasta en un porcentaje de 50-50.
- Agregar aceite alquilbenceno al sistema, se sugiere agregar la misma cantidad de aceite que se extrajo del equipo, es

importante aclarar que lo más importante es llegar al nivel correcto de aceite según la mirilla del compresor para evitar dejar el sistema con un nivel bajo de lubricante.

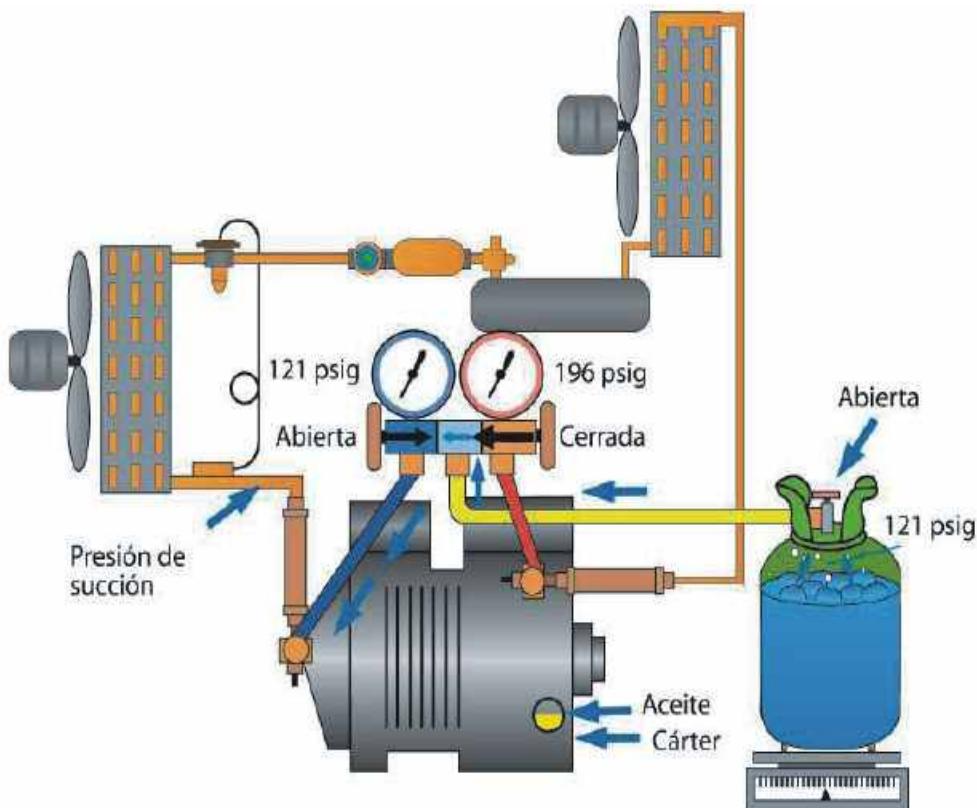
- Cambiar los filtros deshidratadores, esta práctica debe hacerse todas las veces que un sistema es abierto, actualmente todos los filtros son compatibles con la gran mayoría de los refrigerantes.
- Realizar el vacío y revisar las fugas del sistema, los procedimientos ya han sido descritos en este manual para llevar a cabo estas tareas en forma correcta. Debido a que el sistema contiene ahora lubricante alquilbenceno, se debe alcanzar un vacío de 500 micrones para asegurar una operación correcta.
- Una vez que se ha alcanzado el vacío y revisado que el sistema esté libre de fugas, se procede a romper el vacío con el refrigerante, recordemos que la mayoría de refrigerantes sustitutos HCFCs son mezclas que deben extraerse del cilindro en fase líquida para ser cargados a los sistemas. Entonces se rompe el vacío con una cantidad de refrigerante líquido, se sugiere inyectar el refrigerante por el lado de alta para agilizar el proceso de carga, con este procedimiento podemos asegurar que agregamos más del 50% de la carga original de refrigerante.
- Cuando se ha realizado la primer carga de refrigerante, procedemos a arrancar el sistema y ajustamos la carga, es importante recordar que debemos de extraer líquido del cilindro para cargarlo por la succión del compresor; esto puede representar un riesgo por el ingreso

de líquido en el compresor por lo que se sugiere que el ajuste de carga del refrigerante se lleve a cabo por pasos, que se vaya ingresando poco a poco para permitir que el refrigerante que sale líquido del cilindro se evapore entre las mangueras, el manífold y el compresor. De esta forma aseguramos que no alimentamos líquido al sistema.

- Es oportuno comentar que el cilindro de refrigerante debe estar en una posición invertida para la extracción del refrigerante en fase líquida debido a que la gran mayoría de refrigerantes sustitutos son de la serie 400 o sea mezclas zeotrópicas que tienen porcentajes de sus componentes en la fase líquida diferentes a los de la fase de vapor.
- Cuando el refrigerante es un producto puro o sea no es una mezcla, se permite extraer el refrigerante en fase de vapor como lo muestra la figura 5.2.
- Los refrigerantes mezclas de HCFCs que han servido para la sustitución de CFCs, generalmente utilizan entre el 85 y el 95% en peso de la carga original de CFC-12 o del R-502, por esa razón en algunos equipos es posible que el sistema ya esté bien cargado y sigan apareciendo burbujas en las mirillas (visor) del equipo.
- Para finalizar el proceso de cambio de un refrigerante se debe ajustar bien la carga del mismo y entonces se debe basar en el peso suministrado, en el amperaje del equipo, en la presión de succión y descarga y la temperatura del evaporador para saber si el equipo

ya está operando en forma adecuada.

Fig. 5.2.- Extracción de un refrigerante puro en fase de vapor.



5.6.3.- Cambio de un HCFC a un HFC sin cambio de aceite

Este procedimiento se lleva a cabo cuando las condiciones de retorno de aceite al compresor son adecuadas de tal forma que el cambio de refrigerante no afecte la cantidad de lubricante que contiene el compresor.

Los equipos trabajando con HCFCs autocontenidos, generalmente son aires acondicionados de ventana o portátiles en donde no existen muchos obstáculos en la tubería que impidan el retorno del lubricante al compresor.

Este procedimiento ha sido utilizado para la sustitución de HCFC-22 en muchos sistemas de aire acondicionado.

El procedimiento es sencillo y se define en los siguientes pasos:

- Verificar datos del sistema como opera cuando está trabajando con el HCFC-22 para compararlos con los que se obtengan después del cambio de refrigerante. (si el sistema está vacío de refrigerante y no está operando, se debe recurrir a la experiencia de equipos similares para obtener los datos del sistema como presión de succión, temperatura del evaporador, amperaje del compresor, etc.).
- Parar el equipo y extraer el refrigerante HCFC-22, la recuperación del refrigerante se debe realizar de acuerdo a los procedimientos descritos en este manual. Es posible que en este tipo de equipos solo exista una válvula de acceso al sistema como es la válvula de succión y por este conducto se debe hacer la recuperación. Si no existe válvula de succión se debe adaptar una

- válvula de perforación (piercing) para extraer el refrigerante.
- Cambiar el filtro deshidratador, esta práctica debe hacerse todas las veces que un sistema es abierto, actualmente todos los filtros son compatibles con la gran mayoría de los refrigerantes.
 - Realizar el vacío y revisar las fugas del sistema, los procedimientos ya han sido descritos en este manual para llevar a cabo estas tareas en forma correcta. Es oportuno aclarar que los sistemas trabajando con CFCs contienen aceite mineral en el que se requiere alcanzar un vacío de 500 micrones para asegurar una operación correcta.
 - Una vez que se ha alcanzado el vacío y revisado que el sistema esté libre de fugas, se procede a romper el vacío con el refrigerante, recordemos que la mayoría de refrigerantes sustitutos HFCs son mezclas que deben extraerse del cilindro en fase líquida para ser cargados a los sistemas. Entonces se rompe el vacío con una cantidad de refrigerante líquido de tal forma que se alcancen unas 30 psig de presión.
 - Cuando se ha realizado la primer carga de refrigerante, procedemos a arrancar el sistema y ajustamos la carga, es importante recordar que debemos de extraer líquido del cilindro para cargarlo por la succión del compresor; esto puede representar un riesgo por el ingreso de líquido en el compresor por lo que se sugiere que el ajuste de carga del refrigerante se lleve a cabo por pasos, que se vaya ingresando poco a poco para permitir que el refrigerante que sale líquido del cilindro se evapore entre las mangueras, el manifold y el compresor. De esta forma aseguramos que no alimentamos líquido al sistema.
 - Es oportuno comentar que el cilindro de refrigerante debe estar en una posición invertida para la extracción del refrigerante como se muestra en la figura 5.3.
 - Los refrigerantes mezclas de HCFCs que han servido para la sustitución de HCFCs, generalmente utilizan entre el 85 y el 95% en peso de la carga original de HCFC-22.
 - Con algunos sustitutos del HCFC-22 como el R-417A, el comportamiento del equipo es muy bueno de tal forma que la experiencia en campo predice un ahorro energético del 6 al 8 por ciento que es algo muy bueno.

CARGANDO ZEOTRÓPICOS



5.6.4.- Cambio de un HCFC a un HFC con cambio de aceite

El procedimiento es muy similar que el de la sección 5.6.2 y solo hay que revisar los lineamientos dictados por los fabricantes.

5.6.5.- Cambio de un CFC a un HFC sin cambio de aceite

Este procedimiento es muy parecido cuando se requiere cambiar de un HCFC a un HFC y es posible llevarlo a cabo cuando las condiciones de retorno de aceite al compresor son adecuadas de tal forma que el cambio de refrigerante no afecte la cantidad de lubricante que contiene el compresor.

Los equipos trabajando con CFCs autocontenidos, generalmente son heladeras domesticas y comerciales en donde no existen muchos obstáculos en la tubería que impidan el retorno del lubricante al compresor.

Este procedimiento ha sido utilizado para la sustitución de CFC-12 en muchos sistemas de refrigeración doméstica y comercial.

El procedimiento es sencillo y se define en los siguientes pasos:

- Verificar datos del sistema como opera cuando está trabajando con el CFC-12 para compararlos con los que se obtengan después del cambio de refrigerante. (si el sistema está vacío de refrigerante y no está operando, se debe recurrir a la experiencia de equipos similares para obtener los datos del sistema como presión de succión, temperatura del evaporador, amperaje del compresor, etc.).
- Parar el equipo y extraer el refrigerante HCFC-12, la recuperación del refrigerante se debe realizar de acuerdo a los procedimientos descritos en este manual. Es posible que en este tipo de equipos solo exista una válvula de acceso al sistema como es la válvula de succión y por este conducto se debe hacer la recuperación. Si no existe válvula de succión se debe adaptar una válvula de perforación (piercing) para extraer el refrigerante.
- Cambiar el filtro deshidratador, esta práctica debe hacerse todas las veces que un sistema es abierto, actualmente todos los filtros son compatibles con la gran mayoría de los refrigerantes.
- Realizar el vacío y revisar las fugas del sistema, los procedimientos ya han sido descritos en este manual para llevar a cabo estas tareas en forma correcta. Es oportuno aclarar que los sistemas trabajando con CFCs contienen aceite mineral en el que se requiere alcanzar un vacío de 500 micrones para asegurar una operación correcta.
- Una vez que se ha alcanzado el vacío y revisado que el sistema esté libre de fugas, se procede a romper el vacío con el refrigerante, recordemos que la mayoría de refrigerantes sustitutos HFCs son mezclas que deben extraerse del cilindro en fase líquida para ser cargados a los sistemas. Entonces se rompe el vacío con una cantidad de refrigerante líquido de tal forma que se alcancen unas 30 psig de presión.
- Cuando se ha realizado la primer carga de refrigerante, procedemos a arrancar el sistema y ajustamos la carga, es importante recordar que debemos de extraer líquido del cilindro para cargarlo por la succión del compresor; esto puede representar un riesgo por el ingreso de líquido en el compresor por lo que se sugiere que el ajuste de carga del refrigerante se lleve a cabo por pasos, que se vaya ingresando poco a poco para permitir que el refrigerante que sale líquido del cilindro se evapore entre las mangueras, el manifold y el compresor. De esta forma aseguramos que no alimentamos líquido al sistema.
- Es oportuno comentar que el cilindro de refrigerante debe estar en una posición invertida para la extracción del

refrigerante como se muestra en la figura 5.3.

- Los refrigerantes mezclas de HFCs que han servido para la sustitución de CFCs, generalmente utilizan entre el 85 y el 95% en peso de la carga original de CFC-12.

5.6.6.- Cambio de un CFC a un HFC con cambio de aceite

Este procedimiento se lleva a cabo cuando las condiciones de retorno de aceite al compresor no son adecuadas debido a que tenemos un sistema dividido donde el condensador se encuentra a una distancia de varios metros de la posición del evaporador y a una altura diferente, estas condiciones nos permiten pensar que el retorno de aceite al compresor se puede dificultar si no existe buena miscibilidad entre el refrigerante y el aceite del sistema.

Por consecuencia en este tipo de sistemas si se requiere un cambio de aceite que nos asegure el buen retorno de aceite al compresor.

Este procedimiento también aplica para cuando el lubricante mineral o alkilbenceno no es compatible con el HFC que se tenga para la sustitución.

Este caso es de un sistema de refrigeración de almacenamiento de alimentos y bebidas en tiendas de pequeñas a medianas, en restaurantes, Hoteles, mercados, etc. Pueden ser media o baja temperatura.

Este procedimiento ha sido utilizado para la sustitución de CFC-12 y R-502 en muchos sistemas de refrigeración para que trabajen con refrigerantes puros y/o mezclas de HFCs y los pasos son los siguientes:

- Verificar datos del sistema como opera cuando está trabajando con el CFC-12 para compararlos con los que se obtengan después del cambio de refrigerante. (si el sistema está vacío de refrigerante y no está operando, se debe recurrir a la experiencia de equipos similares para obtener los datos del

sistema como presión de succión, temperatura del evaporador, amperaje del compresor, etc.).

- Parar el equipo y extraer el refrigerante CFC-12, la recuperación del refrigerante se debe realizar de acuerdo a los procedimientos descritos en este manual. Es posible que en este tipo de equipos solo exista una válvula de acceso al sistema como es la válvula de succión y por este conducto se debe hacer la recuperación.
- Extraer el lubricante del sistema, se debe vaciar el contenido de aceite del compresor y es muy importante que no quede residuo del anterior lubricante en una concentración mayor al 5% porque los lubricantes minerales y a base de alkilbenceno no son compatibles con algunos refrigerantes HFCs.
- Cambiar los filtros deshidratadores, esta práctica debe hacerse todas las veces que un sistema es abierto, actualmente todos los filtros son compatibles con la gran mayoría de los refrigerantes.
- Realizar el vacío y revisar las fugas del sistema, los procedimientos ya han sido descritos en este manual para llevar a cabo estas tareas en forma correcta. Debido a que el sistema contiene ahora lubricante poliolester, se debe alcanzar un vacío de 250 micrones para asegurar una operación correcta.
- Una vez que se ha alcanzado el vacío y revisado que el sistema esté libre de fugas, se procede a romper el vacío con el refrigerante, recordemos que la mayoría de refrigerantes sustitutos HFCs son mezclas que deben extraerse del cilindro en fase líquida para ser cargados a los sistemas. Entonces se rompe el vacío con una cantidad de refrigerante líquido, se sugiere inyectar el refrigerante por el lado de alta para agilizar el proceso de carga, con este procedimiento podemos asegurar que agregamos más del 50% de la carga original de refrigerante.

- Cuando se ha realizado la primer carga de refrigerante, procedemos a arrancar el sistema y ajustamos la carga, es importante recordar que debemos de extraer líquido del cilindro para cargarlo por la succión del compresor; esto puede representar un riesgo por el ingreso de líquido en el compresor por lo que se sugiere que el ajuste de carga del refrigerante se lleve a cabo por pasos, que se vaya ingresando poco a poco para permitir que el refrigerante que sale líquido del cilindro se evapore entre las mangueras, el manifold y el compresor. De esta forma aseguramos que no alimentamos líquido al sistema.
- Es oportuno comentar que siempre que se cargue una mezcla serie 400 a los sistemas, los cilindros de refrigerante debe invertirse para extraer el refrigerante en fase líquida debido a que la gran mayoría de refrigerantes sustitutos son de la serie 400 o sea mezclas zeotrópicas que tienen porcentajes de sus componentes en la fase líquida diferentes a los de la fase de vapor.
- Cuando el refrigerante es un producto puro o sea no es una mezcla, se permite extraer el refrigerante en fase de vapor como lo muestra la figura 5.2.
- Los refrigerantes mezclas de HFCs que han servido para la sustitución de CFCs, generalmente utilizan entre el 85 y el 95% en peso de la carga original de CFC-12 o del R-502, por esa razón en algunos equipos es posible que el sistema ya esté bien cargado y sigan apareciendo burbujas en las mirillas (visor) del equipo.
- Para finalizar el proceso de cambio de un refrigerante se debe ajustar bien la carga del mismo y entonces se debe basar en el peso suministrado, en el amperaje del equipo, en la presión de succión y descarga y la temperatura del evaporador para saber si el equipo ya está operando en forma adecuada.

Tabla 5.4.- Refrigerantes Sustitutos HFCs para refrigeración de temperatura media y baja.

Número AHSRAE	Nombre Comercial	Sustituye	Tipo	Lubricante	Aplicación	Comentario
R-507 (125 / 143a)	AZ-50	R-502 R-22	Azeótropo	Polioléster	Equipo Nuevo. Adecuaciones de equipo instalado.	Casi igual al 502.
R-404A (125/143a/134a)	R-404A	R-502 R-22	Zeótropo Mezcla	Polioléster	Equipo Nuevo. Adecuaciones de equipo instalado.	Casi igual al 502.

Tabla 5.5.- Refrigerantes Sustitutos HCFCs para refrigeración de temperatura media y baja.

Número AHSRAE	Nombre Comercial	Sustituye	Tipo	Lubricante	Aplicación	Comentario
R-402A (22/125/290)	HP-80	R-502 R-22	Zeótropo Mezcla	Alquilbenzeno o Polioléster	Adecuaciones de equipo instalado.	Mayor presión de descarga que el 502.
R-408A (125/143a/22)	FX-10	R-502 R-22	Zeótropo Mezcla	Alquilbenzeno o Polioléster	Adecuaciones de equipo instalado.	Mayor presión de descarga que el 502.

Tabla 5.6.- Refrigerantes Sustitutos HCFCs para refrigeración de temperatura media.

Número AHSRAE	Nombre Comercial	Sustituye	Tipo	Lubricante	Aplicación	Comentarios
R-401A (22/ 152a/ 124)	MP-39	R-12	Zeotrópo Mezcla	Alquilbenceno Polioléster	Adecuaciones de equipo instalado.	Cercano al R-12 Usar donde la temperatura de evaporación sea mayor a -23° C.
R-401B (22/ 152a/ 124)	MP-66	R-12	Zeotrópo Mezcla	Alquilbenceno Polioléster	Adecuaciones de sistemas de transporte refrigerado.	Cercano al R-12 Usar donde la temperatura de evaporación sea mayor a -23° C.
R-409A (22/ 124/ 142B)	R-409A FX-59	R-12	Zeotrópo Mezcla	Alquilbenceno	Adecuaciones de equipo instalado.	Capacidad mayor al R-12. Similar al MP-66.

Tabla 5.7.- Refrigerantes Sustitutos HCFCs y HFCs para aire acondicionado comercial e industrial.

Número AHSRAE	Nombre Comercial	Sustituye	Tipo	Lubricante	Aplicación	Comentarios
R-123	R-123	R-11	Compuesto Puro.	Alquilbenceno Aceite Mineral	Enfriadoras centrífugas	Capacidad inferior al R-11
R-134a	R-134a	R-12	Compuesto Puro.	Polioléster	Equipo nuevo. Adecuaciones de equipo instalado.	Casi igual al R-12
R-134a	R-134a	R-22	Compuesto Puro.	Polioléster	Equipo nuevo.	Capacidad inferior. Requiere un equipo más grande.
R-410A (32/125)	AZ-20	R-22	Mezcla Casi-Azeotrópo	Polioléster	Equipo nuevo.	Eficiencia mayor que el R-22 y R-401B. Puede requerir rediseño del equipo.
R-407C (32/ 125/ 134a)	R-407C	R-22	Zeotrópo	Polioléster	Equipo nuevo. Adecuaciones de equipo instalado.	Eficiencia menor al R-22

En el Anexo H de este manual se especifican las páginas de Internet que se pueden consultar para mayor información.

CAPITULO 6

6.1.- Recuperación y Reciclado de Refrigerantes

Se debe mencionar en este capítulo que los procesos de recuperación, reciclado y regeneración de refrigerantes han evolucionado en gran forma los últimos años debido a las regulaciones ambientales que provocan que los usuarios cada vez más, recuperen sus refrigerantes y los reutilicen. Aquí las definiciones según el manual de refrigeración 2002 del ASHRAE

Recuperación.- Proceso que consiste en remover el refrigerante en cualquier condición de un sistema y almacenarlo en un contenedor externo, sin analizarlo ni procesarlo.

Reciclar.- Proceso que consiste en limpiar el refrigerante removiendo el aceite, la humedad, la acidez y la presencia de sólidos pasando el refrigerante por múltiples dispositivos como filtros deshidratadores con el objetivo de reutilizar el refrigerante.

El término reciclar usualmente se aplica a los procedimientos que se pueden implementar en sitio o en el taller de servicio.

Regenerar (Reclaim).- Es el reproceso de un refrigerante hasta que alcance las especificaciones de un refrigerante virgen. Este proceso utiliza en una de sus etapas la separación vía destilación y se requiere un análisis del producto final para asegurar que ha llegado a la especificación de producto nuevo. El término regenerar implica en la mayoría de los casos el uso de procesos que solamente se pueden ejecutar en un equipo de reproceso o en las plantas productoras de refrigerantes.

6.2.- Estándar ARI 700 (American Refrigeration Institute)

Este estándar nos brinda la información de las especificaciones que deben cumplir los refrigerantes regenerados para la gran

mayoría de los refrigerantes utilizados en la industria de la refrigeración y aire acondicionado.

Cuando un refrigerante pasa por un proceso de regeneración éste debe pasar por un análisis que determine la composición química y el grado de contaminantes que tiene el producto final, la norma 700 del ARI (American Refrigeration Institute) indica las cantidades máximas de contaminantes que debe tener un refrigerante para considerarlo un refrigerante nuevo.

6.3.- Destrucción de Refrigerantes

La tendencia del mercado de los refrigerantes es la reutilización de los mismos utilizando procesos de reciclado y regeneración, pero estos dos procesos no son posibles si se mezclan los refrigerantes.

Una mezcla de dos refrigerantes con diferente número de ASHRAE que sea mayor del 2% de concentración ya no es posible reciclarla ni regenerarla, por esa razón el proceso de recuperación de refrigerantes es de vital importancia para el reuso de los refrigerantes.

Como ejemplo a lo anterior se puede citar el caso en donde se tenga un cilindro de refrigerante R-22 y por descuido se agrega una cantidad de R-12, esta mezcla de refrigerantes no puede ser reciclada si la cantidad de R-12 en el volumen total de la mezcla es mayor al 2%.

Cuando se tienen mezclas de refrigerantes por ejemplo 40% de R-12 y 60% de R-134a o cuando un refrigerante por sus características no es posible su limpieza debido a su alta acidez o contenido de aceite, éstos deben ser destruidos; actualmente existen ya tecnologías disponibles para la destrucción de refrigerantes las cuales han sido aprobadas por el Panel de Evaluación Técnica y Económica (TEAP) del Protocolo de Montreal. En la siguiente tabla se mencionan las diferentes tecnologías aprobadas de destrucción de refrigerantes.

Fig. 6.1 Tecnologías de Destrucción de CFCs y HCFCs.

Tecnología de destrucción de refrigerantes CFCs y HCFCs	Dictamen de la evaluación del TEAP
Eficacia de Destrucción y Eliminación (EDE)**	99.99%
Hornos de cemento	Aprobada
Incineración por inyección líquida	Aprobada
Oxidación de gases/humos	Aprobada
Craqueo en reactor	Aprobada
Incineración en horno rotatorio	Aprobada
Arco de plasma de argón	Aprobada
Plasma de radiofrecuencia inductivamente acoplado	Aprobada
Plasma de microondas	Aprobada
Arco de plasma de nitrógeno	Aprobada
Deshalogenación catalítica en fase gaseosa	Aprobada
Reactor de vapor supercalentado	Aprobada

**El criterio relativo a la EDE se refiere a la capacidad de la tecnológica sobre la base a la cual se aprueba esa tecnología. No siempre refleja el rendimiento diario logrado, factor que estará controlado por las normas mínimas nacionales.

6.4.- Reutilización de refrigerantes en sitio.

Existen dos procedimientos con los cuales los técnicos pueden reutilizar el refrigerante sin salir del taller de servicio,

- Recuperar el refrigerante y recargarlo en el mismo equipo.- Esta práctica es aceptada cuando las condiciones del refrigerante son buenas porque se presume que el equipo donde estaba contenido operaba normalmente antes de extraer el refrigerante.
- Recuperar el refrigerante y reciclarlo.- Es una práctica común entre muchos técnicos de refrigeración y aire acondicionado, solo se debe tener una máquina recicladora de refrigerantes en el sitio para poder lograr la limpieza correcta del refrigerante, es importante insistir que si mezclas dos refrigerantes con diferente numero de ASHRAE por

más de una relación 98/2 en porcentaje en peso, esta mezcla sería imposible reciclar.

6.5.- Procedimientos Previos a la recuperación de Refrigerantes

- Antes de iniciar cualquier procedimiento de recuperación de refrigerantes de un sistema, se debe identificar el tipo de refrigerante que se va a extraer. Existen procedimientos específicos para identificar los refrigerantes pero mucho cuenta la experiencia del técnico para saber que tipo de refrigerante esta en el sistema. Es importante la identificación porque no se deben mezclar refrigerantes.
- El cilindro de recuperación debe ser apropiado para esta tarea, no se recomienda utilizar cilindros desechables para este fin porque estos envases están diseñados para usarse solo una vez. Los

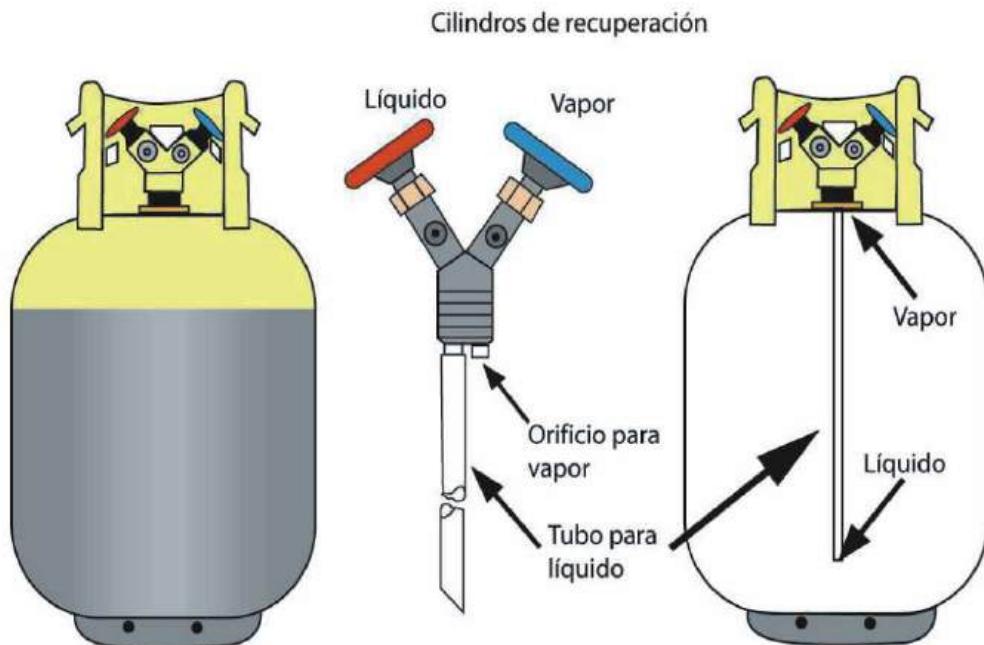
cilindros de recuperación de refrigerantes deben de cumplir con las normas DOT donde se especifique la presión máxima de trabajo la fecha de construcción del envase y la fecha recomendada para realizar pruebas de resistencia. En la figura 6.2 se observa un envase para recuperación con doble válvula y deben estar pintados de color amarillo en la parte superior y de gris en la parte inferior.

- Si el cilindro está vacío, se recomienda que se le realice un vacío de 1,000 micrones para asegurar que no contenga humedad u otros contaminantes el envase.
- Si el cilindro no está vacío, se debe estar

seguro que refrigerante contiene para evitar contaminación cruzada si se le agrega otro tipo de refrigerante. En este caso es importante utilizar un medio de enfriamiento que ayude al traspaso de refrigerante del sistema al cilindro, esto puede ser colocando el cilindro en una cama de hielo para bajar la temperatura del mismo y de esa forma mantener una presión baja en el cilindro facilitando la transferencia de refrigerante del sistema al cilindro.

- La máquina recuperadora que se utilice puede ser con aceite o libre de aceite, realmente no hay mucha diferencia en el refrigerante recuperado si se utiliza una u otra.

Fig. 6.2.- Cilindro de Recuperación de Refrigerantes



6.6.- Métodos para la Recuperación de Refrigerantes

Cuando se va a realizar un servicio de mantenimiento o reparación de un equipo, en la mayoría de los casos se debe recuperar el refrigerante que representa el primer paso del trabajo a realizar. Como se menciono anteriormente este proceso consiste en extraer el refrigerante del equipo y trasladarlo a un recipiente externo diseñado especialmente para almacenar refrigerante usado. Existen cuatro métodos principales para la recuperación de refrigerantes,

6.6.1.- Recuperar el refrigerante en fase líquida.

El tipo de recuperación en fase liquida generalmente se utiliza cuando los equipos son muy grandes y el volumen de refrigerante es también considerable. En algunos casos se puede extraer el refrigerante del tanque receptor con bombas centrifugas o bombas neumáticas y enviarlas directamente a los tanques de recuperación.

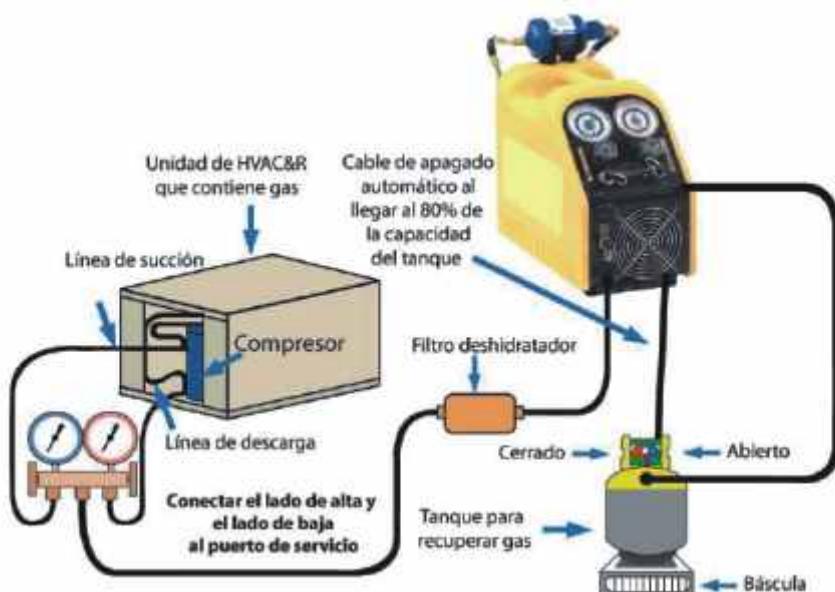
Debido a que cuando se recupera en fase liquida siempre queda una fase de vapor, en los siguientes capítulos se trata un poco más a detalle las diferentes formas de recuperación en fase de vapor que de alguna forma se relacionan con la recuperación en fase liquida.

6.6.2.- Recuperación en fase de Vapor-Líquido.

Es un proceso sencillo que puede ser utilizado en cualquier sistema siempre que no contenga cantidades de refrigerante mayores a los 9 Kg. de carga, para los sistemas de cargas superiores se sugiere el procedimiento "push-pull" que se explicará en las siguientes secciones de este capítulo.

Para llevar a cabo este procedimiento se recomienda quitar los pivotes de las válvulas para acelerar el proceso de extracción y como en todas las otras variedades de extracción de refrigerante también se recomienda utilizar mangueras con válvulas de bola manuales integradas a las mangueras para evitar mayores derrames de refrigerante. En la figura siguiente se muestra el arreglo de conexiones para realizar este proceso.

Fig. 6.3.- Método Recuperación Líquido Vapor



6.6.2.1.- Recuperar refrigerante en fase de vapor-líquido cuando el compresor no funciona, en este proceso se recomienda calentar el sistema con lámparas para

evaporar el refrigerante diluido en el aceite del sistema. El presente diagrama muestra la forma de conectar el sistema para la recuperación.

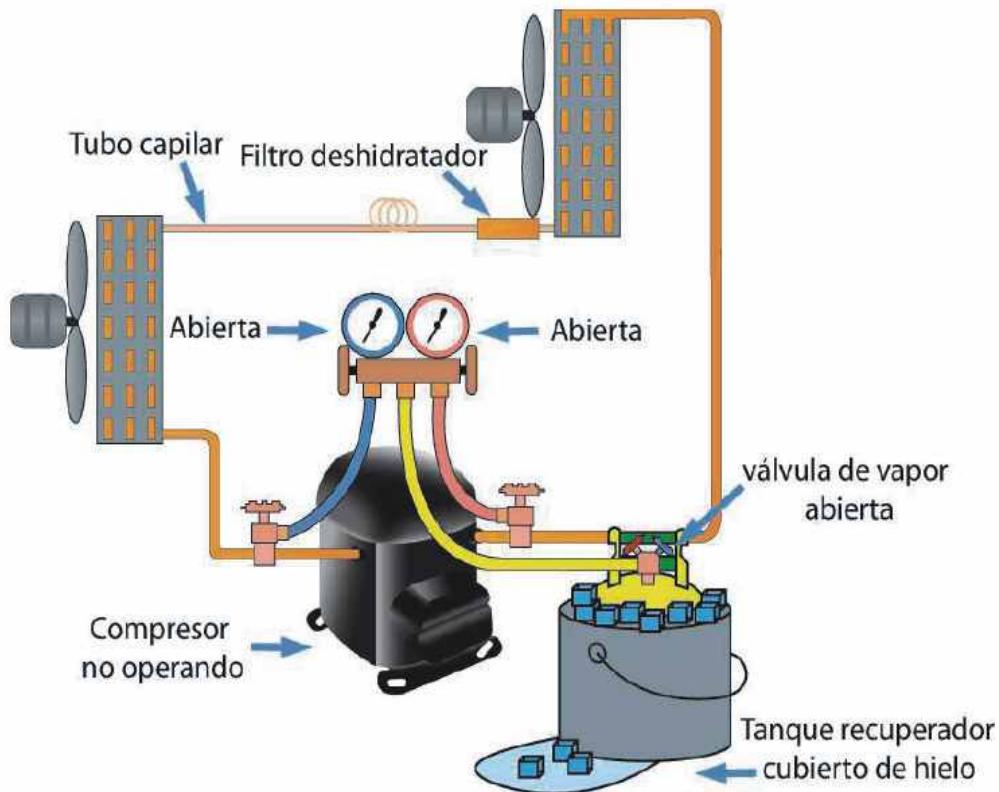


Fig. 6.4.- Recuperación de vapor cuando el compresor no trabaja.

Se debe tomar en cuenta algunas observaciones en este proceso:

- Se deben instalar válvulas del lado de alta y baja presión el refrigerante se extrae y se condensa en el cilindro recuperador, este proceso está aprobado por la EPA.
- Se estima una recuperación del 80% del refrigerante debido que parte del refrigerante se recupera en fase líquida y otra parte en fase de vapor.
- Es importante extraer el refrigerante de ambos lados.

6.6.2.2.- Recuperación cuando el compresor si está operando, en este proceso se aprovecha la fuerza del compresor para la extracción del refrigerante, no es necesario calentar el sistema porque la presión del compresor mueve el refrigerante hacia fuera del sistema.

- Solo se instala una válvula del lado de alta presión.
- Este proceso también está aprobado por la EPA y recupera más del 90% del refrigerante del sistema.

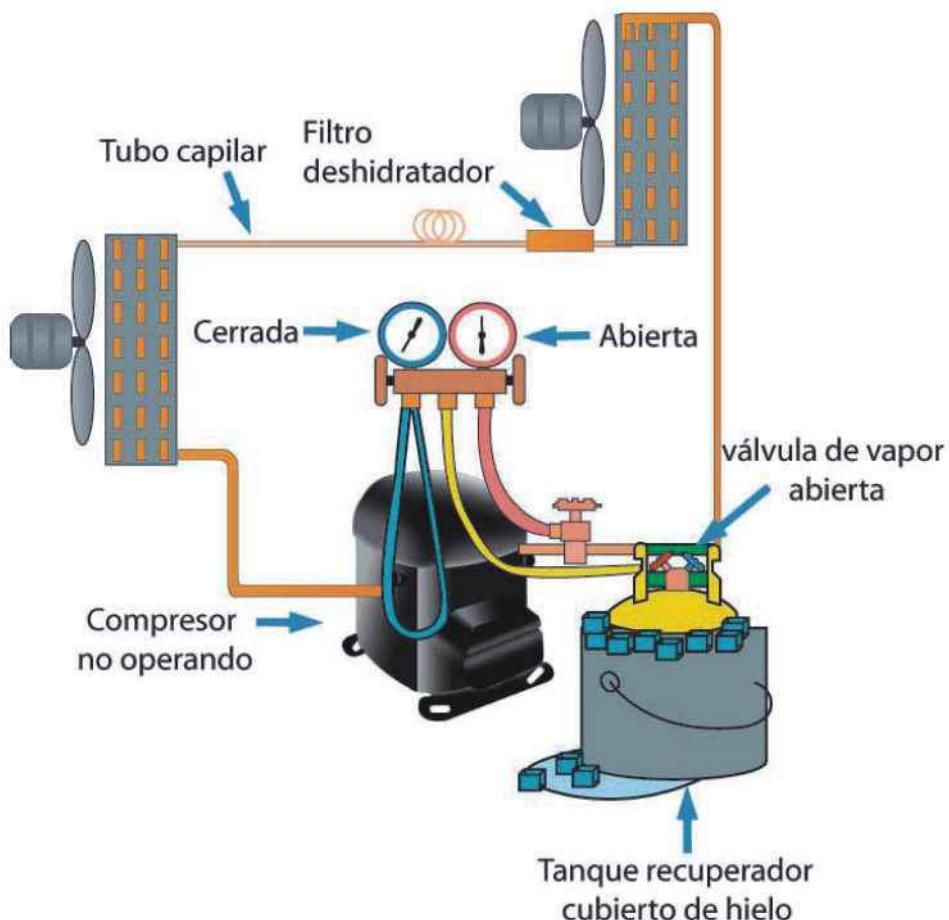


Fig. 6.5.- Recuperación de vapor cuando el compresor está operando.

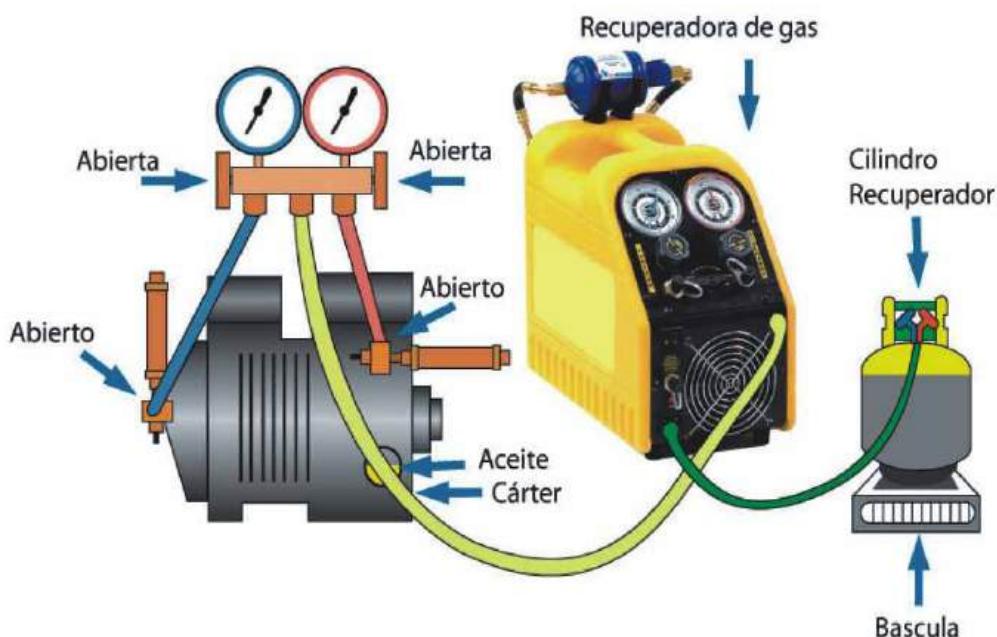
6.6.3.- Recuperación en fase de Vapor.

La recuperación de refrigerantes en fase de vapor es un poco más lenta y por consecuencia involucra un mayor tiempo para evacuar sistemas. Cuando los sistemas son grandes y en el diseño existen largos tramos de tubería la práctica de recuperación en fase de vapor no es recomendada pero en sistemas pequeños fraccionarios y hasta de 5 toneladas de refrigeración la recuperación en vapor puede ser una solución.

Para este proceso se requiere que las mangueras tradicionales de $\frac{1}{4}$ " de diámetro deban ser sustituidas por mangueras de $\frac{3}{8}$ " de diámetro que ayudaran al proceso de recuperación.

En este proceso se utilizará una maquina recuperadora que absorberá el refrigerante en fase de vapor y lo condensará para trasladarlo al cilindro de recuperación.

Fig. 6.6.- Recuperación en fase de vapor.



6.6.4.- Método Push-Pull de recuperación Liquida

Este proceso es utilizado cuan se tienen equipos de gran tamaño donde la extracción del refrigerante puede involucrar un tiempo considerable por la cantidad contenida en el sistema.

La operación de “jalar/empujar” se lleva a cabo utilizando el vapor del cilindro para empujar el refrigerante liquido fuera del sistema. Se conecta una manguera desde el lado del liquido de la unidad cuyo refrigerante se desea extraer a la válvula del liquido del cilindro de recuperación.

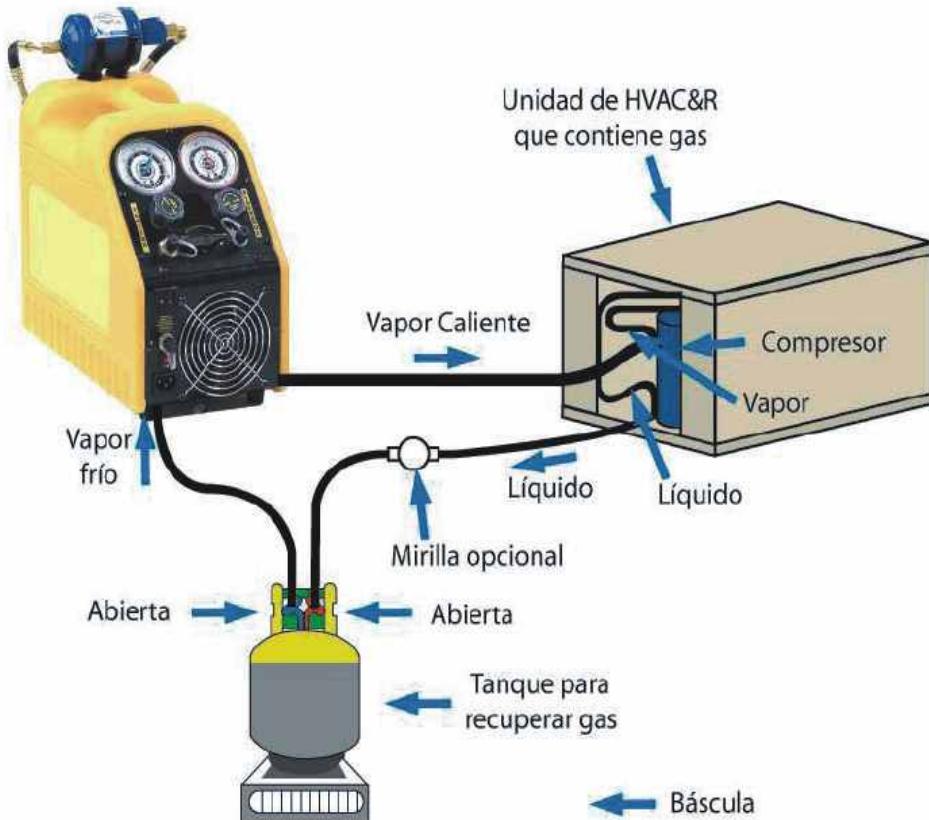
Se conecta otra manguera de la válvula de vapor del cilindro recuperador hacia la

En la Fig. 6.7 se observa el esquema de conexión de este tipo.

succión de la maquina recuperadora y una tercer manguera se conecta de la descarga de la maquina recuperadora hacia el puerto de vapor del sistema.

Se debe asegurar que el sistema debe estar fuera de operación para llevar a cabo este trabajo que consiste en arrancar la maquina recuperadora que succionará el vapor del cilindro de recuperación que a su vez retirará el liquido del equipo. El vapor succionado por la maquina será comprimido y enviado al sistema “empujando” el refrigerante liquido al cilindro recuperador, así seguirá hasta conseguir recuperar cerca del 90% del refrigerante. Es importante tomar en cuenta que cuando el líquido ya se ha extraído en su totalidad, se debe hacer un arreglo de tubería para extraer el vapor residual del sistema.

Fig. 6.7.- Diagrama de recuperación Push-Pull



Se tienen algunas observaciones para aplicar este procedimiento:

- Es importante utilizar un visor (mirilla) para observar cuando el líquido sea removido.
- Se utilizará en este proceso las tres mangueras del manifold.

- No se debe utilizar si la carga de refrigerante del equipo es menor de 9 Kg.
- No se debe utilizar si el equipo es una bomba de calor u otro sistema donde el refrigerante pudiera quedar aislado.

CAPITULO 7

7.1.- Buenas Prácticas

En este capítulo se analizan los aspectos principales de los problemas en un sistema de refrigeración o de aire acondicionado de compresión de vapor, así como las precauciones principales que deben tomarse al proceder el servicio de nuevas instalaciones o al abrir el equipo para fines de servicio. Este capítulo permitirá capacitar al ingeniero o al técnico para evaluar los síntomas de la presencia de humedad y suciedad (o sea, de contaminantes) en el sistema, analizar los problemas relacionados con el lubricante, verificar si hay fugas y tomar precauciones en materia de seguridad.

7.1.1 Humedad y ácidos

La humedad es la causa de varios problemas de funcionamiento en los sistemas de compresión de vapor y es importante entender en que se basan estos problemas. Básicamente, la humedad puede clasificarse como visible e invisible. La humedad "visible" consiste en una alta concentración de agua y puede constatarse a simple vista, presentándose en forma de líquido. Ocasionalmente se encuentra agua en forma líquida en los sistemas, pero esto es un tanto raro.

La humedad "invisible" es una baja concentración de agua y no se puede constatar a simple vista (esta en forma de vapor). Esta forma de humedad existe en todas partes, en todos los sólidos, líquidos y gases. Su contenido en el aire se expresa en términos de humedad relativa. En los sistemas de refrigeración, esta es habitualmente la fuente de los problemas.

Una simple gota de agua puede parecer algo inofensivo, pero para un sistema de refrigeración es un monstruo, el enemigo número uno a combatir por los especialistas del servicio de refrigeración. Y lo que lo hace un enemigo tan formidable es el hecho de

que la humedad puede entrar fácilmente en un sistema y es difícil de eliminarla.

¿Qué puede hacer la humedad en un sistema?

- La humedad dentro de un sistema puede "congelarse" y detener el flujo del refrigerante. La humedad entrara por lo general en el flujo del refrigerante y podrá ser llevada por el líquido cerca del dispositivo de expansión y transformarse en hielo causando una restricción o incluso el bloqueo completo del flujo.
- A medida que la válvula de expansión de calienta, debido a la falta de refrigerante, el hielo se funde y la humedad vuelve a la válvula de expansión y una vez más genera un enfriamiento intermitente.
- Que se produzca o no realmente una "congelación" depende sobre todo de la cantidad de agua y del tamaño de las partículas de hielo formadas. Pero un taponamiento por "congelación" no es el único problema provocado por la humedad.
- Con los nuevos sistemas de refrigeración y aire acondicionado operando con lubricantes sintéticos a base de poliolester, el problema de la humedad es todavía más grande debido a que estos lubricantes son altamente higroscópicos y absorben la humedad con una velocidad mucho mayor a los lubricantes tradicionales.

7.1.2.- Corrosión

La humedad induce también a la corrosión que puede crear graves problemas debido a menudo, a que los efectos de ésta no son evidentes sino después de haberse producido graves daños. Por ejemplo, la humedad en forma de agua sola puede causar herrumbre después de cierto tiempo. No obstante, la humedad con el refrigerante crea mucha mas corrosión. Un refrigerante como el CFC-12 que contiene cloro se hidrolizara más lentamente con el agua y formara ácido

clorhídrico. Este ácido aumenta enormemente la corrosión de los metales.

Humedad + Refrigerante = Ácido

Figura 7.1.- Corrosión y lodos en partes del compresor.



El calor aumenta el ritmo de la corrosión provocada por los ácidos debido a que a altas temperaturas el proceso de formación de ácido se acelera. Este ácido por supuesto, ataca a todos los materiales con los que entra

en contacto, el ritmo de corrosión de cada material está determinado por sus cualidades de resistencia a la corrosión. El acero generalmente se corroerá a niveles de humedad inferiores a los del cobre o bronce.

Fig. 7.2.- Piedra de filtro saturada de humedad y corrosión del sistema



El lubricante presenta otro problema que plantea la humedad. El lubricante sintético a base de poliolester es una excepción a la regla de que el aceite y el agua no se mezclan. De hecho, este tipo de lubricante tiene una afinidad con la humedad y la absorberá rápidamente si es expuesto a la atmósfera solo algunos minutos. Los lubricantes minerales no se mezclan con el agua en las mismas condiciones que los lubricantes de poliolester, sin embargo como vienen deshidratados y preparados para ser instalados en sistemas de refrigeración, estos lubricantes también tienen el poder de absorber humedad en forma muy rápida.

El agua transformada en ácido se emulsiona con los lubricantes refrigerantes, formando ambos una mezcla íntima de glóbulos sumamente finos. Se denomina a este efecto "enlodamiento" del aceite y reduce grandemente su capacidad de lubricación.

El lodo o los sedimentos pueden tomar la forma de líquidos fangosos, polvos finos, sólidos granulosos o sólidos pegajosos, y provoca una variedad de problemas. Estas formas pueden tapar filtros finos, válvulas de expansión y tubos capilares. Y debido a que habitualmente contienen ácidos, corroen cualquier cosa a la que se adhieren, acelerando el daño.

Para eliminar problemas de humedad es necesario tomar precauciones y medidas que garanticen la ausencia de la misma en el sistema. El modo más eficaz de eliminar la humedad de un sistema es utilizar una bomba de vacío apropiadas para este proceso y el elemento clave el nivel de vacío. El nivel recomendado de vacío es de 250 micrones para sistemas que contengan lubricantes poliolester y de 500 micrones para los sistemas que contengan lubricantes minerales o sintéticos a base de alkibenceno. Este nivel de vacío debe mantenerse durante 10 minutos sin la ayuda de una bomba de vacío.

7.1.3.- Síntomas de la presencia de humedad en el sistema

La humedad en el sistema de refrigeración afectara al aceite y podría provocar

desperfectos a la unidad y que el compresor hermético se queme. Las oportunidades más comunes de que pueda penetrar humedad en el sistema se presentan cuando hay fugas al ambiente, o durante el servicio y las reparaciones, al efectuar cambios de filtros o lubricantes.

La humedad forma hielo en el dispositivo de control de refrigerante. Esto sucede en el punto en que se está expandiendo en el evaporador. La formación de hielo cierra la abertura, bloqueando el flujo hacia el evaporador. Esta condición puede reconocerse por varias observaciones:

- El sistema se descongelara completamente. Seguidamente, dado que la formación de hielo que causó el bloqueo ha desaparecido, la unidad volverá a trabajar correctamente. Pero solo por un rato antes de que se forme nuevamente el hielo en el control de refrigerante
- Otro síntoma es la disminución de presión. El manómetro de presión de succión muestra una disminución constante en el transcurso de varias horas – llegando incluso hasta el vacío completo. Seguidamente, la presión vuelve a ser normal repentinamente. Este ciclo anormal continuara repitiéndose.
- Si durante el cierre del sistema, se calienta el dispositivo de control de refrigerante con un calentador de resistencia, una almohadilla caliente o un bulbo de calor radiante, el hielo se fundirá. Si el sistema comienza entonces a funcionar correctamente, es signo seguro de que hay humedad en el refrigerante.

7.2.- Purga de los sistemas.

Purga es el término que se utiliza para describir el proceso de extracción del aire, vapores, polvo o humedad que se quiere eliminar del sistema. Se permite a un gas neutro como el nitrógeno que circule a través de la parte del refrigerador o de la tubería, forzando hacia fuera el aire y los vapores que hay que eliminar.

7.2.1.- Gases no condensables

Los gases no refrigerantes son contaminantes que se encuentran frecuentemente en los sistemas de aire acondicionado y de refrigeración. Estos gases se infiltran en los sistemas herméticos del siguiente modo:

- Hay gases no condensables presentes durante la fabricación de los sistemas y permanecen debido a una evacuación incompleta.
- Los gases no condensables se desabsorben de diversos materiales del sistema o se forman por descomposición de los mismos a elevadas temperaturas durante el funcionamiento del sistema.
- Los gases no condensables entran debido a perdidas en el lado que baja (presión inferior a la atmosférica)
- Se forman gases no condensables a partir de reacciones químicas entre los refrigerantes, lubricantes y otro material durante el funcionamiento. Los gases reactivos químicamente, como, por ejemplo el cloruro de hidrógeno, atacan a otros componentes en el sistema de refrigeración. En casos extremos, la unidad refrigerante falla.

Los gases químicamente inertes en el sistema, que no se condensan en el condensador,

disminuyen la eficiencia del enfriamiento. La cantidad de gas inerte no condensable que es perjudicial depende del diseño y del tamaño del sistema de refrigeración y del tipo de refrigerante. Su presencia contribuye a tener presiones de descarga superiores a los normales y a la consiguiente temperatura de descarga más elevada. Las temperaturas más elevadas aceleran las reacciones químicas indeseables. Los gases que se pueden encontrar en las unidades de refrigeración herméticas incluyen al nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano e hidrógeno. Los primeros tres gases enumerados provienen de la evacuación incompleta del aire o de una fuga en el lado de baja del sistema. El dióxido de carbono y el monóxido de carbono habitualmente se forman cuando se recalientan los materiales aislantes orgánicos. Se ha detectado hidrógeno cuando el compresor está sufriendo mucho desgaste en los rodamientos. En un equipo bien diseñado y que funciona debidamente se encuentran solo trazas de estos gases.

El efecto de gases no condensables en un sistema de refrigeración provoca altas temperaturas y se puede percibir el daño en la siguiente imagen.

Figura 7.3. - Plato de válvulas con un sobrecalentamiento



7.3.- Vacío en los sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado.

Como se ha subrayado anteriormente, el refrigerante es muy sensible a la humedad en el sistema. Para entender cómo se comporta el agua y como hay que secar un sistema, debe comprenderse la siguiente ley natural. El punto de ebullición del agua varía según la presión. En unidades de ingeniería, las presiones están expresadas en libras por pulgada cuadrada absoluta (psia). La presión atmosférica normal es de 14,7 psia. Pero por razones prácticas de ingeniería, los manómetros a menudo se calibran a 0 psig libras por pulgada cuadrada manométrica para la indicar la presión atmosférica. Las presiones inferiores a la atmosférica se denominan vacíos parciales. El 0 en la escala

absoluta de presiones corresponde a una presión que no puede reducirse más. Un vacío perfecto es de 0 micrones.

El micrón se utiliza para medir vacíos cercanos al vacío absoluto. Es también importante que se comprenda la relación entre la presión absoluta y la manométrica cuando se procede a la extracción del fluido del sistema (procedimiento de vacío). Los manómetros están calibrados normalmente de manera que el 0 corresponda a la presión atmosférica.

Al evacuar un sistema habrá necesidad de un manómetro especial de vacío para controlar el vacío real en el sistema. Estos dispositivos de medición de vacío se les nombre vacuómetros y se encuentran disponibles en la industria.

Figura 7.4.- Vacuómetro digital



En los procedimientos normales de servicio es importante saber qué nivel de vacío se requiere para cada sistema y esto muchas veces depende del tipo de lubricante que contiene el equipo (compresor).

La compañía Emerson en su división de compresores Copeland opina que el vacío de un sistema debe medirse con un vacuómetro digital y deben alcanzarse las siguientes cantidades de vacío para cada sistema:

Si el sistema contiene aceite mineral o alkilbenceno es suficiente alcanzar los 500 micrones de vacío para asegurar que el nivel de humedad no afecte la operación del equipo.

Si el sistema contiene aceite sintético a base de Poliolester el vacío que se debe alcanzar es de 250 micrones.

7.3.1.- Vacío con el compresor del sistema

En forma por demás equivocada, muchos técnicos de refrigeración utilizan el compresor del sistema para realizar “el vacío” al sistema, sin percatarse que este procedimiento puede dañar definitivamente su compresor y no se va a alcanzar el nivel de vacío correcto debido a que los compresores no son equipos diseñados para hacer este trabajo, en seguida se explican algunas de las consecuencias de hacer esta mala práctica:

- En compresores herméticos y semiherméticos es muy probable que el aislante se dañe ya que una de las características de estos compresores es que el refrigerante es el medio de enfriamiento, si se ponen a trabajar estos equipos sin su medio de enfriamiento, los devanados del motor se calientan y se daña todo el equipo.

- Cuando se hace vacío a una bobina eléctrica, éstas hacen un arco eléctrico solo porque se hace circular una corriente eléctrica a través de ellas.
- Como ya se comentó, el vacío que se logra al hacer esta práctica no es de ninguna forma el adecuado para ningún tipo de sistema.
- *No se debe hacer vacío con el compresor del sistema!!*

7.3.2. - Bomba de vacío

Para poder evacuar debidamente un sistema, hace falta una buena bomba de vacío y la misma debe tener las siguientes características:

- Régimen de flujo apropiado para el sistema a evacuar
- Ser de dos etapas
- Tener una eficiencia de bombeo elevada
- Tener un regulador de gas para eliminar la condensación de vapor dentro de la entrada de la bomba y el filtro de escape.

Se debe elegir la bomba de vacío adecuada para la capacidad del equipo que deseamos evacuar, es importante mencionar que el proceso de vacío también se ve afectado por la altura sobre el nivel del mar donde se efectúe el proceso de vacío, así una ciudad que se encuentre a nivel del mar requerirá menos tiempo para lograr el vacío adecuado.

La longitud de las tuberías es posible que afecte en el tiempo de vacío sin embargo con una bomba adecuada las longitudes no ejercen gran influencia en el proceso de vacío.

Figura 7.5. - Bombas de vacío con diferentes caudales de flujo.



La temperatura ambiente si es un factor que puede influir en el proceso de vacío, por esa razón se recomienda que los sistemas se calienten con lámparas incandescentes para acortar el proceso.

Para saber si la bomba de vacío que estoy utilizando es la bomba apropiada se debe seguir una regla muy sencilla, los principales fabricantes de bombas de vacío mencionan que una bomba de 1 c.f.m. (cubic foot/minute) es capaz de hacer un buen vacío a un equipo con capacidad hasta de 7 toneladas de refrigeración. Así que si se tiene un sistema de 40 toneladas de refrigeración se requerirá una bomba de:

$$40 / 7 = 5.71 \rightarrow 6 \text{ c.f.m. de capacidad.}$$

Es importante insistir que el proceso de vacío de un sistema debe medirse con un vacuómetro que es el instrumento que nos ayuda a saber exactamente el nivel que tenemos de vacío en el sistema.

El vacío de un sistema no se mide por tiempo, se mide por la cantidad de micrómetros, milí pascales o cualquier otra medida de vacío que se maneje con mayor familiaridad.

Siguiendo esta regla es muy posible que nuestros tiempos de servicio y/o mantenimiento en equipos se reduzca debido a que se tiene la idea que lograr un buen

vacio requiere de muchas horas de estar haciendo el proceso y es una idea equivocada ya que con el vacuómetro se puede observar en forma muy sencilla si he llegado al vacío adecuado y en la mayoría de los casos es en menor tiempo de lo que se espera.

7.3.3.- Proceso del Vacío

Un sistema de refrigeración debe contener únicamente el refrigerante en estado líquido o gaseoso junto con aceite seco. Todos los vapores, gases y fluidos deben ser eliminados. Estas sustancias generalmente son eliminadas conectando el sistema a una bomba de vacío y permitiendo que la bomba funcione continuamente hasta llegar a un vacío profundo en el sistema. A veces es necesario calentar las partes a 49 grados Celsius mientras se está haciendo el vacío profundo; a fin de eliminar toda la humedad indeseable, caliente las partes utilizando aire caliente, lámparas para calentar o agua caliente.

¡¡¡Jamás utilizar una boquilla a fuego directo sobre las partes del equipo!!!

Evacue el sistema siempre que éste sea abierto para un servicio o como cuando pase lo siguiente:

- Al reemplazar un compresor, condensador, secador, evaporador, etc.

- Cuando el sistema no tiene refrigerante
- Cuando el refrigerante está contaminado
- Cuando se carga lubricante

La utilización de un múltiple de evacuación y carga (Manifold) es una buena práctica al llevar a cabo la evacuación y/o la carga del sistema.

7.3.4.- Como evacuar un sistema

Existen varios procesos para llegar al vacío que requiere un sistema, iniciaremos con el proceso más sencillo que es el del vacío directo conectando la bomba de vacío hasta llegar a la cantidad de micrones requerida según el tipo de lubricante que tengo en el sistema. Esto es alcanzar los 500 micrones si el sistema contiene lubricante alkilbenceno y/o mineral. O alcanzar los 250 micrones si el sistema contiene un lubricante sintético a base de poliolester.

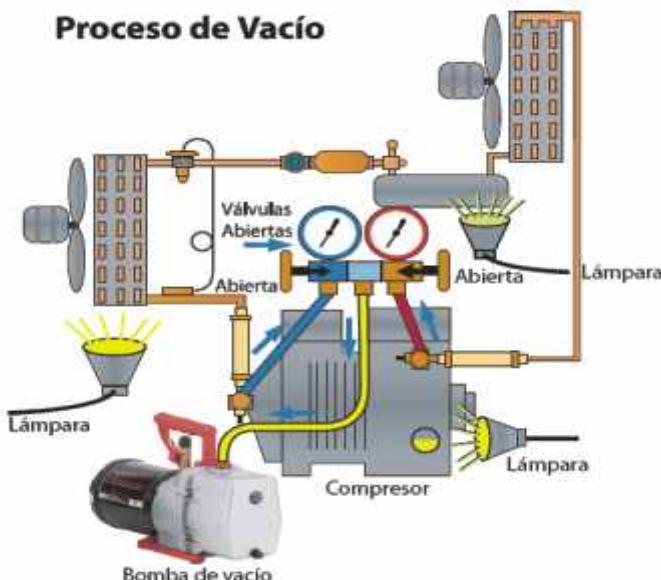
Se puede hacer un proceso de vacío más estricto que involucra un tiempo adicional pero es más seguro y es especialmente adecuado en sistemas grandes. Como sigue:

- 1) Como primer paso podemos hacer un arrastre de nitrógeno seco en el sistema,

esto va a permitir que gran parte de la humedad que se encuentra en el sistema pueda ser absorbida por el nitrógeno. Es muy importante asegurarse de utilizar un regulador de presión para el manejo de este tipo de gas (ver Fig. 7.7)

- 2) Presurizar el sistema con nitrógeno (N₂). Verificar si hay fugas y mantener la presión durante un lapso y ver si el manómetro indica un cambio.
- 3) Cuando se constate que el sistema no tiene fugas eliminar el N₂. Conectar una bomba de vacío adecuada tanto del lado de aspiración como del lado de descarga del compresor. Abrir todas las válvulas, al igual que las válvulas solenoides. Utilizar un múltiple de manómetros y vacuómetro. Dar tiempo para la difusión del vapor de agua y de aire.
- 4) Se sugiere que se conecten los manómetros de los dos lados del sistema para hacer más rápido el proceso.
- 5) También es importante que se caliente el sistema para hacer que la humedad sea removida con mayor facilidad. En la figura 7.6 se puede observar un arreglo de un sistema para realizar el vacío.

Fig. 7.6.- Diagrama típico de cómo realizar el vacío en un sistema



- 6) Cuando se haya logrado un vacío satisfactorio (500 micrones) detener la bomba y dejarla por algún tiempo (media hora) para ver si la aguja se mueve hacia el lado de presión atmosférica. Si sucede esto, podría deberse a dos razones; o bien hay una fuga, o bien hay todavía humedad en el sistema. Si la presión (vacío) se mantiene considerablemente pareja durante el

mismo lapso de tiempo, el circuito está evacuado correctamente y está seco y libre de fugas.

- 7) Ahora puede empezarse a cargar el refrigerante rompiendo el vacío, ya sea directamente hacia el lado del líquido de alta presión, o hacia el lado de la aspiración cuando el compresor no esté funcionando.

Fig. 7.7. – Regulador de nitrógeno.



7.3.5.- Proceso de Tres vacíos

En casos muy drásticos de contaminación de agua en sistemas como cuando se tienen condensadores enfriados por agua en el que por alguna razón haya tenido contacto del refrigerante con una gran cantidad de humedad, se requiere hacer un proceso llamado de tres vacíos para asegurar que eliminemos la humedad del sistema.

Para realizar esto se debe seguir la siguiente secuencia:

1. Conectar la bomba de vacío apropiada al sistema.
2. Poner en marcha la bomba.
3. Detener la bomba cuando se tenga una lectura de 1.500 micrones.
4. Romper el vacío con nitrógeno y presurizar el sistema a 3 libras/pulg² y esperar de 30 a 60 minutos.

5. Liberar el nitrógeno del sistema.
6. Arrancar de nuevo la bomba de vacío.
7. Detener la bomba cuando se tenga una lectura de 1.500 micrones.
8. Romper el vacío con nitrógeno y presurizar el sistema a 3 libras/pulg² y esperar de 30 a 60 minutos.
9. Liberar el nitrógeno del sistema.
10. Arrancar de nuevo la bomba de vacío.
11. Detener la bomba cuando se tenga una lectura de 500 ó 250 micrones según el tipo de lubricante del sistema.
12. Romper el vacío con el refrigerante del sistema.
13. Completar la carga de refrigerante al sistema.

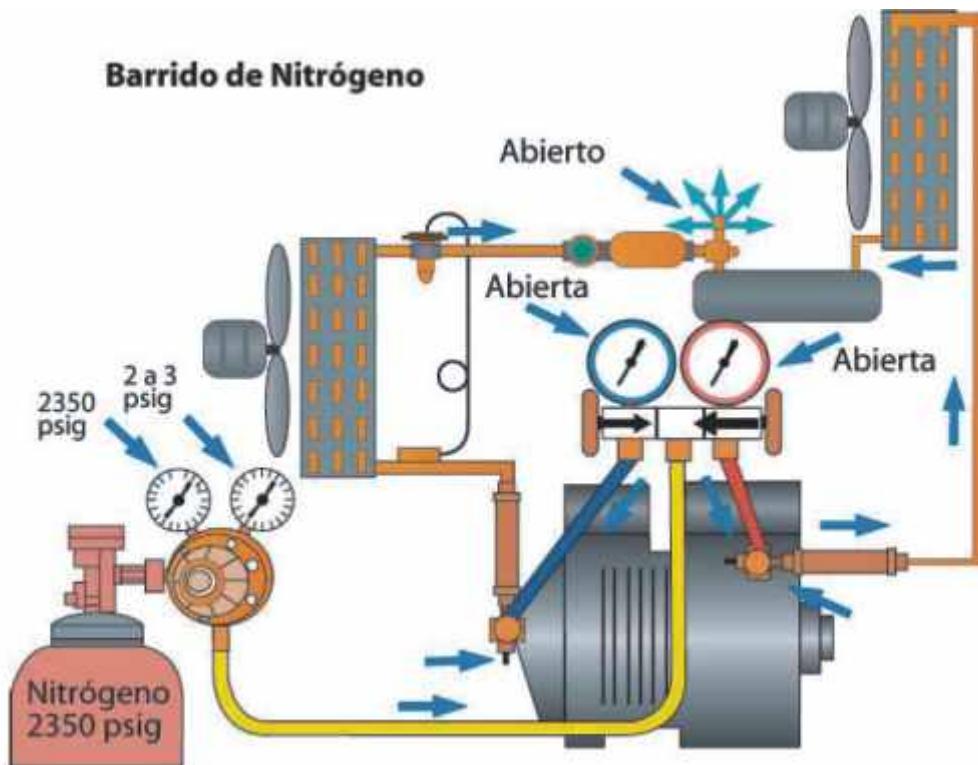


Fig. 7.8.- Esquema de un barrido del sistema con nitrógeno.

Nota: Recordar que se debe utilizar un regulador de presión apropiado para el uso del nitrógeno, no se debe regular con la válvula del cilindro.

7.4.- Aceite en el sistema

Para la lubricación de los compresores de refrigeración se utilizan aceites especiales. La marca de aceite proporcionado originalmente se especifica a menudo sobre una placa de datos relativos al aceite y es apropiado para las condiciones de funcionamiento pertinente. Si hay que añadir aceite, debe utilizarse la misma marca. Evítense mezclar diferentes marcas de aceite. Los aceites para motores no pueden utilizarse en un sistema de compresores a base de CFC-12 o HCFC-22 ni se puede utilizar aceite usado incluso cuando es regenerado. El aceite utilizado absorbe humedad del aire y también provoca corrosión en el compresor, especialmente en los compresores de amoniaco.

El aceite debe almacenarse en un lugar libre de humedad en recipientes cerrados herméticamente usando únicamente envases secos para el relleno es aconsejable colocar un cartucho secador en la ventilación de aire del recipiente de almacenamiento para impedir la entrada de humedad cuando se extrae el aceite

7.4.1 Aceite lubricante

Dentro de los sistemas herméticos el lubricante está en contacto íntimo con el bobinado de los motores eléctricos. El aceite debe por lo tanto tener gran compatibilidad con los materiales y gran estabilidad térmica.

Las propiedades de miscibilidad de aceite y refrigerante son indispensables para garantizar un mantenimiento mínimo del sistema y retorno de lubricante al compresor evitando de esa manera la condición extrema de agotamiento del aceite del compresor. Las propiedades combinadas de viscosidad

características de humedecimiento de las superficies y solubilidad de refrigerante (para mantener la fluidez del aceite de baja temperatura) no solamente contribuyen a la circulación del lubricante si no que afectan también a las características de la películas sobre las superficies de transferencia de calor y, posteriormente a la eficiencia energética. Un buen aceite lubricante tiene las siguientes propiedades.

1. bajo contenido parafínico, la separación de la parafina de la mezcla del aceite lubricante puede tapar los orificios de control.
2. buena estabilidad térmica. No deben formarse depósitos duros de carbón en los puntos calientes del compresor.
3. buena estabilidad química. No debe hacer ninguna reacción química con el refrigerante ni los materiales que habitualmente se utilizan en los sistemas.
4. bajo punto de fluidez. Capacidad del aceite de mantenerse fluido a la más baja temperatura del sistema
5. baja viscosidad. Capacidad de lubricante de mantener buenas propiedades de lubricación a temperaturas elevadas y buena fluidez a bajas temperaturas; de proporcionar una buena película lubricante en todo tiempo.

A fin de mejorar la eficacia del aceite, muchos fabricantes añaden mas sustancias químicas que están destinadas a inhibir la formación de lodo o espuma (el aceite que contenga humedad o aire formara lodo o barnices y puede provocar daños a la unidad). El aceite sucio de un sistema hermético puede volverse ácido y provocar quemaduras en las manos. Cambiar siempre los filtros cuando esto haya sucedido para mantener limpio el nuevo aceite.

7.4.2.- Aceites existentes en la industria de la Refrigeración

Se tienen actualmente disponibles diferentes tipos de lubricantes en la industria de la

refrigeración cada uno de ellos reúne características diferentes que ayudan a los sistemas a operar en forma adecuada, en términos muy sencillos se describen cada uno de los tipos de lubricantes:

7.4.2.1.- Lubricantes Minerales son los aceites que son obtenidos de la destilación del petróleo, también llamados lubricantes nafténicos y son utilizados principalmente para los refrigerantes CFCs existentes en el mercado. (R-12)

7.4.2.2.- Lubricantes sintéticos a base de Alquilbenceno son los aceites que han sido introducidos al mercado para ser utilizados con los refrigerantes alternativos HCFCs ya sea mezclas de refrigerantes o compuestos puros.

7.4.2.3.- Lubricantes sintéticos a base de Poliolester son los aceites que fueron creados para ser utilizados con los refrigerantes libres de cloro como los HFCs y que son altamente higroscópicos. Para el manejo de estos aceites es importante tener cuidado para evitar la saturación de humedad de estos aceites. Para el uso de estos aceites se recomienda:

- Una vez abierto el envase de este lubricante se debe utilizar todo, si no se utiliza la totalidad del producto, el lubricante debe ser desechar en una forma apropiada.
- Debido a que estos aceites tienen alta higroscopia, este aceite tiene niveles de saturación de humedad de más de 1.000 ppm de agua por lo que se debe tener mucho cuidado en su manejo.
- Se requiere utilizar bombas de aceite para su inyección a los sistemas.

7.4.2.4.- Lubricantes sintéticos a base de Polialquilen Glicol, estos aceites fueron originalmente instalados en los sistemas de aire acondicionado automotriz, sus características son muy buenas pero tiene también el problema de ser altamente higroscópicos y su uso ha sido limitado ya en solo algunas marcas de autos trabajando con R-134a.

7.5.- Cambio de aceite

No hay modo de determinar el aceite de la mayoría de los compresores herméticos soldados. Este tipo de compresor está destinado principalmente a su instalación en sistemas diseñados, armados y cargados en fábricas en que la carga de aceite puede medirse con precisión en el sistema en el momento del montaje original. En caso de fuga, si la cantidad de aceite perdida es pequeño y puede calcularse razonablemente, esta cantidad debe añadirse al compresor pero si existe una pérdida importante de aceite, el técnico de servicio debe retirar el compresor, purgar el aceite y añadir la medida correcta de carga antes de volver a colocar el compresor.

Los compresores semiherméticos y de tipo abierto están equipados normalmente con mirillas de cárter, el nivel de aceite debe mantenerse por encima, o ligeramente por encima del centro de la mirilla mientras está funcionando. Un nivel de aceite anormalmente bajo puede resultar en una pérdida de lubricación, mientras que un nivel de aceite excesivamente elevado puede resultar en un empaste de aceite y posibles daños a las válvulas de compresor o una excesiva circulación de aceite. El nivel de aceite puede variar considerablemente en la puesta inicial en marcha si hay refrigerante líquido presente en el cárter y debe verificar el nivel de aceite con el compresor en marcha después de haber llegado a una condición estabilizada.

Nota:

El aceite absorberá siempre algo de refrigerante y para evitar la emisión de refrigerante una alternativa podría consistir en instalar un calentador de aceite o utilizar una unidad de recuperación antes de abrir la conexión de aceite un procedimiento posible seria:

- 1) hacer funcionar el calentador de aceite
- 2) descargar el refrigerante gaseoso
- 3) descargar el aceite en recipientes apropiados y marcados, de ser necesario con ayuda de nitrógeno.

7.5.1.- Como recargar el aceite de un compresor hermético

Para recargar una cantidad determinada de aceite, el compresor debe retirarse del sistema y el aceite debe extraerse de la línea de aspiración inclinando el compresor. La cantidad exacta de aceite debe de saberse claramente antes de comenzar la recarga verifíquese el manual de instrucción para la recarga completa.

Para evitar que haya demasiada mezcla de refrigerante en el aceite y evitar la emisión de refrigerante podría instalarse un calentador de aceite.

Después de haberse reinstalado el compresor, el sistema debe ser evacuado entonces mediante una válvula de acceso o el tubo de proceso antes de recargarlo con el refrigerante y hacerlo funcionar. No utilizar nunca aceite de botellas o tambores que han quedado abiertos.

7.5.2.- Como agregar aceite a un compresor semihermético o abierto.

Método del sistema abierto:

Si el compresor está equipado con un orificio para rellenado de aceite en el cárter, el medio más simple e añadir aceite es aislar el cárter del compresor y verter, o bombear en el mismo la cantidad exacta de aceite. Si el sistema no contiene ningún refrigerante o si el compresor está abierto para reparaciones no hace falta ninguna precaución especial aparte de las medidas normales de mantener el aceite limpio y seco, dado que el sistema debe evacuarse antes de hacerlo funcionar.

Si el compresor contiene una carga de refrigerante cerrar la válvula de aspiración del compresor y reducir la presión del cárter a aproximadamente uno o dos Psig. De tener el compresor y cerrar su válvula de descarga.

Método de la bomba de aceite:

Muchos técnicos de servicio o bien ya han fabricado o bien ya han comprado una pequeña bomba de aceite para añadir aceite a los compresores. La bomba es muy similar a un pequeño inflador de bicicleta y permite añadir aceite a un compresor en funcionamiento a

través del punto de acceso de servicio en caso de necesidad o puede utilizarse para añadir aceite directamente al cárter cuando el espacio no pueda permitir una alimentación por gravedad cuando el compresor está funcionando, la válvula de verificación de la bomba impide la perdida de refrigerante permitido al mismo tiempo que el técnico de servicio desarrolle suficiente presión para superar la presión de aspiración en marcha y

añadir aceite según la necesidad. En caso de emergencia en que no se disponga de bomba de aceite y que no se pueda tener acceso al compresor el aceite puede introducirse en el compresor a través de la válvula de servicio de aspiración.

ADVERTENCIA: Hay que tener sumo cuidado para asegurarse que no se introduce aire en el compresor.

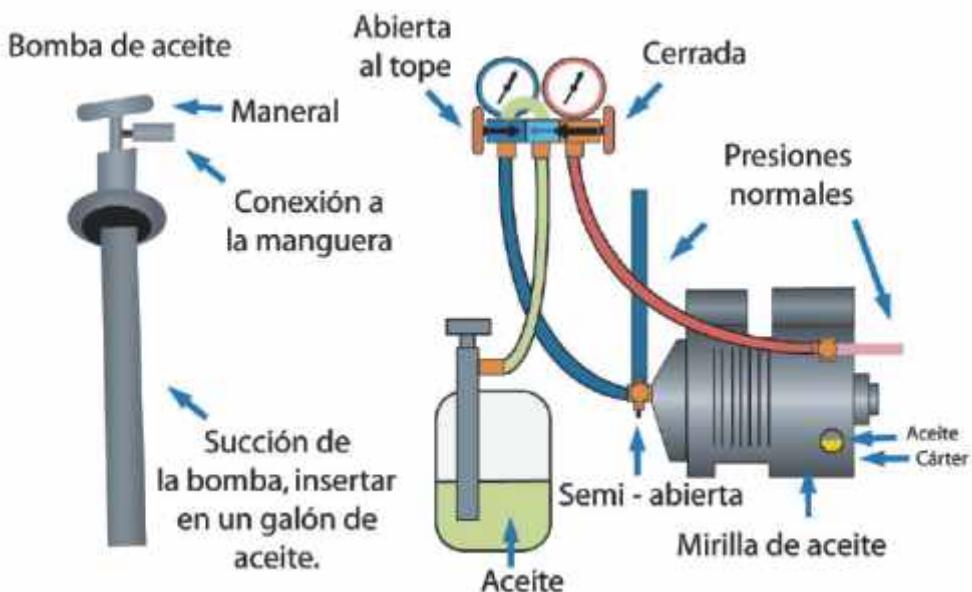


Fig. 7.9.- Esquema de cómo se debe utilizar la bomba de aceite.

7.6.- Impacto de lubricantes en las medidas de recuperación.

Desde la aparición de los nuevos refrigerantes a base de hidrofluorocarbono (HFC)

que no agotan la capa de ozono, y que no son compatibles con los aceites normales, los fabricantes de aceites han estado trabajando para crear una nueva serie de lubricantes miscibles con HFCs.

Los lubricantes de compresor convencionales son miscibles con los refrigerantes CFCs y HCFCs pero no lo son con los HFCs sustitutivos que no agotan la capa de ozono. La utilización de un lubricante convencional que no sea miscible conjuntamente con el HFC-134a afecta

negativamente a la eficiencia de la unidad refrigerante. En ese caso, el aceite no miscible se separa en masas congeladas del refrigerante dentro del condensador y de esa manera impide el flujo, especialmente a través de los dispositivos de expansión (Tubos capilares o válvulas de expansión) causando a menudo taponamientos en los sistemas.

Después de haber pasado a través del dispositivo de expansión, el aceite no miscible se depositara en el fondo de los tubos del evaporador causando nueva degradación del flujo y de la transferencia de calor. En algunos casos la falta de aceite de retorno al compresor puede aumentar el desgaste de los componentes y, en su momento, desperfectos debidos a la subalimentación de lubricante.

7.7.- Miscibilidad con los refrigerantes a base de HCFC

Los fabricantes de lubricantes han desarrollado una amplia gama de nuevos lubricantes sintéticos a base de poliolester, que han sido sintetizados específicamente para proporcionar la miscibilidad con los HCFs como el HCF-134a, en especial para una amplia gama de temperaturas. Los lubricantes han sido probados con muchos gases refrigerantes y se ha constatado que son miscibles con la mayoría de los CFC HCFC y el HCF-134a.

7.8.- Higroscopia

Los lubricantes de poliolester son más higroscópicos que los aceites minerales nafténicos. Se saturan aproximadamente a mil ppm de la humedad atmosférica, en comparación con unas cien ppm para los aceites minerales por esa razón no deben estar más de 12 minutos expuestos al medio ambiente para evitar su saturación de humedad.

7.9.- Contaminación

Es necesario hacer hincapié en el que el interior del sistema de refrigeración debe estar rigurosamente limpio en todo tiempo. Cualquier clase de contaminación puede provocar desperfectos continuos y daño permanente a las partes metálicas internas. Mientras que en las líneas de producción en fábrica se practican procedimientos metódicos de limpieza, disponiéndose incluso de salas de montajes climatizadas las instalaciones que se llevan a cabo en el terreno carecen naturalmente de estas facilidades. La posible entrada de aire y de polvo cuando se abren los extremos de tubos, válvulas y otras partes representan un grave peligro, por esta razón se debe tener sumo cuidado en todas las etapas para evitar más tarde costosas reparaciones.

7.10.- Sistemas modernos

Hay que tener presente que los sistemas modernos son más susceptibles a desperfectos ocasionados por la contaminación. Los

compresores están construidos para tolerancias más finas que hasta ahora, se han aumentado las velocidades y las temperaturas de funcionamiento. Además, con la introducción de unidades herméticas de potencia cada vez mayor, el bobinado de los motores también está expuesto a los peligros de los contaminantes y dado que la proporción de elementos herméticos en uso ha aumentado, también ha aumentado más y más la importancia de tener mayor cuidado en la instalación. El contaminante más evidente es el aire húmedo. La humedad y el aire provocan la corrosión metálica además del resultado más obvio de obstruir la válvula de expansión con cristales de hielo. Cuando la instalación se extiende por varios días el aire tiene amplia oportunidad de entrar en el extremo abierto de la tubería de cobre, en las válvulas del compresor y en el evaporador especialmente la atmósfera húmeda de un edificio en construcción.

7.10.1.- Medidas preventivas

Para evitar los problemas que plantea el aire, es de suma importancia adoptar medidas preventivas estrictas. Las mismas consisten en tapar los extremos de los puntos de cobre en cada etapa, completando lo más rápidamente el trabajo de una sección de tubería y planificando con anticipación, de manera que, una válvula de compresor quede abierta apenas lo suficiente para conectar la tubería de cobre. Las líneas de cobre deben purgarse con nitrógeno antes de conectarse al sistema y cuando se ejecute un emboquillado debe taparse si no está conectado inmediatamente.

7.10.2.- Polvo

Un peligro para el sistema lo representan también las partículas de polvo, lo cual significa toda materia sólida que se ha introducido a los tubos, válvulas y otras partes abiertas. De nuevo, esta posibilidad existe especialmente cuando se están realizando renovaciones o cuando se están construyendo locales nuevos. El polvo que se ve acumularse sobre las superficies exteriores es prueba de lo que está sucediendo adentro si se permite lo mismo. Para impedir este riesgo es necesario tapar

rápidamente tapar las líneas abiertas, así como eliminar el aire e las mismas.

7.10.3.- Materias extrañas

Otro riesgo es la introducción de materias extrañas debido al descuido. Por ejemplo, al limpiar los extremos de los tubos antes de soldarlos puede suceder que se deje entrar limaduras en la tubería de cobre. Obviamente hay que tomar precauciones para que esto no ocurra ya sea asiendo el relleno con la punta del tubo apuntando hacia abajo, o si esto no fuera posible, tapando el tubo con un trapo limpio. Otra eventualidad es que se utilice la soldadura de manera que fluya en exceso a través de la junta del tubo, donde puede solidificarse formando partículas móviles de diferente tamaño, si esto sucede en la parte de la aspiración, existe un verdadero peligro de que dichas partículas causen muchísimo daño. En todo caso, el filtro puede ocultar obstruido.

7.10.4.- Formación de costras internas

Durante la soldadura, pueden producirse costras internas que serán desplazadas por el paso del refrigerante siendo esta otra posible causa de obstrucción para impedir esto, debe introducirse una columna finísima de nitrógeno seco y exenta de oxígeno dentro de la tubería mientras se está soldando, esto elimina el oxígeno e impide la formación de escamas. Incluso con todas las precauciones que se estén tomando sigue siendo una buena práctica insertar filtros de paño en la aspiración del compresor para recoger todo residual restante antes de que pueda llegar al compresor. Estos filtros no deben dejarse de modo permanente, dado que restringirán el flujo de refrigerante y deben retirarse después de más o menos un día de uso. La cantidad de materia recogida de esta manera es prueba evidente de su utilidad.

7.11.- Mantenimiento

Los sistemas de refrigeración deben inspeccionarse y mantenerse de manera regular y minuciosa. Para minimizar las emisiones, el refrigerante y el aceite deben ser transferidos con la mínima pérdida posible. La frecuencia de las inspecciones y mantenimiento necesarios

depende de la intensidad de luz o uso del sistema de la carga del refrigerante y del carácter del sistema toda fuga detectada debe ser subsanada inmediatamente para eliminar fugas, la sección correspondiente al sistema debe aislarse, y el refrigerante que contiene esta última debe transferirse o bien dentro del sistema o bien a un recipiente del servicio para refrigerante. El mantenimiento incluye una verificación de la debida función y del reglaje correcto de los controles y dispositivos de seguridad. Las tareas completas de mantenimiento se explican en el capítulo cinco, por aplicaciones.

7.11.1 Detección de fugas

Cuando se sospeche que un sistema tiene fugas, debe verificarse la totalidad del mismo marcándose las fugas constatadas para su rectificación, nunca debe suponerse que un sistema tiene una sola fuga.

Cabe notar que las lámparas de halón tradicionales no pueden utilizarse con los HFCs como por ejemplo, el R-134a, por cuanto exigen la presencia de cloro para producir una llama de color. La detección puede efectuarse electrónicamente. Muchos sensores utilizan el diodo calentado o descarga de corona como método de detección. Estos sensores han sido ajustados para medir el contenido de cloro. Con la introducción de los HFC a base de flúor, el cloro ha sido eliminado por completo. Hacen falta aproximadamente 120 partes de flúor para igualar a una parte de cloro. Por consiguiente es necesaria mucha amplificación para producir una señal de alarma fiable.

7.11.2.- Fugas de refrigerante

El refrigerante en un sistema de refrigeración nunca se consume totalmente. Si se ha determinado que la cantidad de refrigerante en un sistema está bajo debe verificarse si el sistema tiene fugas seguidamente repararlo y recargarlo. Hay varios problemas que pueden plantearse en un sistema de aire acondicionado que tendrían los mismos síntomas que una fuga de refrigerante. Por ejemplo, el ventilador, el compresor y diversos mandos podrían estar funcionando pero el sistema no enfriaría determinarse siempre las posibilidades antes de proceder a la recarga de refrigerante. Una

carga de refrigerante que ha disminuido es probable de fugas. Agregar refrigerantes sin localizar primero las fugas y subsanarlas constituye una solución temporal, costosa e incorrecta desde el punto de vista ambiental. Agregar refrigerante no rectificara de manera permanente la dificultad. Hay que tratar de determinar donde se produce la fuga antes de recuperar refrigerante para evitar contaminar el aire circundante con el refrigerante de un sistema recientemente abierto. La presencia de aceite alrededor de una junta de la tubería indica habitualmente que hay fugas pero no hay que considerar es un factor determinante. Verifique siempre el área con un detector de fugas.

7.11.3.- Las causas de las fugas

Toda fuga de refrigerante es provocada por una falla del material. El mecanismo que crea la falla de material es atribuible normalmente a uno o más de los siguientes factores:

- Vibración- La vibración es un factor importante en la falla de material y es responsable del endurecimiento del cobre, la desalineación de las selladuras, el aflojamiento de los pernos que se afirman en los rebordes, etc.
- Cambios de presión- Los sistemas de refrigeración dependen de los cambios de presión para su funcionamiento. El régimen del cambio de presión tiene diferentes efectos sobre los diversos componentes del sistema lo cual resulta en esfuerzos del material y una expansión y contracción diferencial del mismo.
- Cambios de temperatura- Los sistemas de refrigeración constan frecuentemente de materiales diferentes de diferente espesor. Los rápidos cambios de temperatura resultan en esfuerzos del material y una expansión y contracción diferencial del mismo.
- Desgaste por fricción- Hay muchos casos de desgaste por fricción que provocan falla del material y pueden deberse tanto como a un trabajo al hecho en la tubería fija como a las empaquetaduras de los tubos.

- Selección incorrecta de material- En varios casos se han seleccionados varios materiales que son inapropiados; por ejemplo, ciertos tipos de mangueras flexibles adolecen de una incidencia de fugas conocida y se han utilizado materiales que se sabe que fallan en determinadas condiciones de vibración, presión y cambios de temperatura.
- Control de calidad malo- A menos que los materiales utilizados en el sistema de refrigeración sean de una norma elevada y constantes los cambios de la vibración, presión y temperatura provocaran fallas.
- Accidentes- Esto se produce raramente pero hay que tener cuidado de proteger de accidentes a los sistemas presurizados.

Las principales causas de fuga de refrigerante han sido detalladas más arriba, pero las tres causas más comunes son:

- Vibración
- Cambio de temperatura
- Cambio de presión

Como todas estas características están presentes en los sistemas de refrigeración, la posibilidad de fugas de refrigerante debidas a falla del material está siempre presente. La fuente más probable de fugas es una junta mecánica donde se unen invariablemente materiales diferentes.

7.11.4 Lámpara de halón

La detección de fugas más ampliamente utilizada para el servicio del terreno es la lámpara de halón consiste en un pequeño tanque portátil de propano o gas de petróleo líquido, una manguera de inspección y un quemador especial que contiene un elemento de cobre.

El gas alimenta una pequeña llama en el quemador, provocando un pequeño vacío en la manguera husmeadora. Cuando la manguera pasa cerca de una fuga, el refrigerante es absorbido por la manguera y se inyecta en el quemador que está debajo del elemento de

cobre. Una pequeña cantidad de refrigerante que se quemé en presencia del cobre tendrá un color verde brillante.

Una cantidad mayor se quemara con una llama

de color violeta. Al verificar fugas con la lámpara observe siempre la llama para ver si existe el menor cambio de color. Debido a su baja sensibilidad ya no se recomienda su utilización.

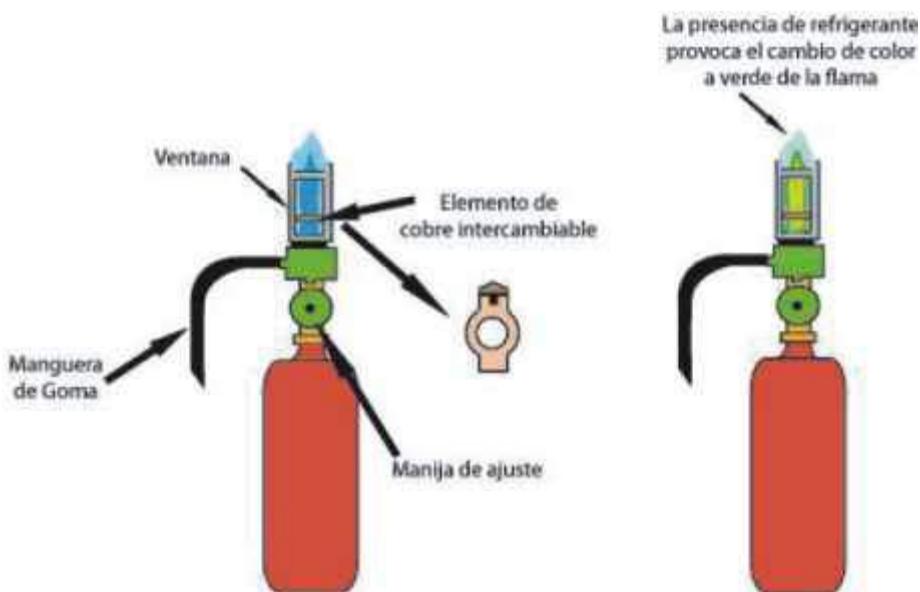


Fig. 7.8.- Lámpara de Halón

7.11.5.- Jabón

El método más simple y más antiguo de detección de fugas es la utilización de burbujas de jabón. Moje con jabón líquido o detergente el

punto donde se sospecha que haya fugas y si las hay aparecerán burbujas. A pesar de su simplicidad el método de la burbuja de jabón puede ser sumamente útil para determinar una fuga que sea difícil de localizar.

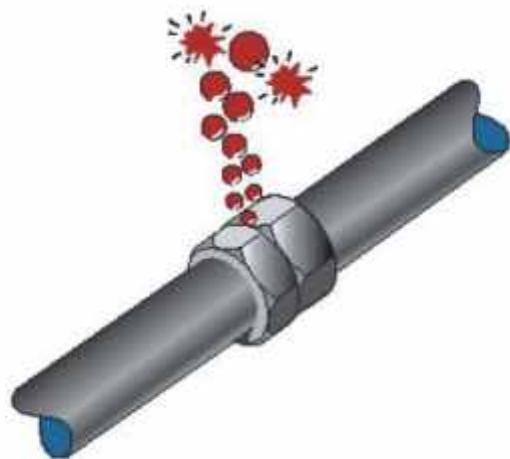


Fig. 7.7.- Detección de fugas por método de espuma de jabón

7.11.6.- Detección electrónica

El detector de fugas electrónico es el tipo más sensible disponible. Los hay de costo razonable y puede detectar diversas fugas de una fracción de 100 ppm, +/- 5ppm, que a menudo escapan a la detección con otros métodos. Debido a su

extrema sensibilidad los detectores electrónicos pueden utilizarse únicamente en una atmósfera limpia no contaminada por vapor de refrigerante ni humo, ni vapor de tetracloruro de carbono ni otros disolventes que puedan dar una reacción falsa.



Fig. 7.8.- Detectores electrónicos de fugas

7.11.7.- Lámpara de rayos ultravioleta

El método de la fluorescencia ultravioleta detecta el material (tinte trazador) que se agrega al aceite lubricante. Algunos aceites lubricantes están siempre mezclados con el refrigerante y cuando la lámpara ultravioleta apunta hacia el sistema donde hay una fuga, la traza que está escapando brillara. La detección

de fugas por fluorescencia mediante rayos ultravioleta revela la fuente exacta de las fugas de refrigerante, este tipo de equipo de verificación de fugas de refrigerante se utiliza únicamente en sistemas con aceite mineral y aceites a base de esteres. No se recomienda a la luz directa del sol en la sala donde se está llevando a cabo la verificación de fugas.



7.11.8.- Detección de fugas de amoniaco (NH₃)

Las fugas pueden detectarse pasando una botella abierta o una comprimible de ácido clorídrico concentrado en la proximidad de la presunta fuga.

En el punto de la fuga se formará un humo blanco denso de cloruro de amoniaco. El papel de tornasol rojo o el de fenolftaleína sufrirá un cambio de color en una atmósfera de amoniaco sirviendo para ayudar a detectar pequeñas fugas de amoniaco.

Las fugas importantes que no pueden detenerse en un plazo razonable deben

remojarse con agua que absorberá el amoniaco e impedirá que la atmósfera se contamine. Las válvulas de los cilindros pueden sufrir pérdidas a través de la empaquetadura, las que pueden detenerse apretando la tuerca de la empaquetadura.

El equipo destinado a la detección de fugas de amoniaco y de refrigerantes a base de fluorocarbono es completamente diferente y nunca deben confundirse por lo tanto, no es posible utilizar una, lámpara de verificación de alógeno o un detector electrónico de fugas para el amoniaco.

CAPITULO 8

8.- HERRAMIENTAS

En este manual ya se ha hablado de algunas herramientas que son necesarias para realizar los trabajos de mantenimiento e instalación de equipos de refrigeración y aire acondicionado, este capítulo es solo para complementar el uso de herramientas.

8.1.- Cortadores de Tubo

Esta herramienta es importante porque los técnicos al realizar instalación de los equipos deben utilizar el cortador de tubo para evitar dejar rastros de metal en el interior del tubo, los cortadores de tubo son herramientas que cortan paulatinamente el cuerpo haciendo girar alrededor del diámetro de la tubería y cortando poco a poco para no dejar rastros de metal. Existen en el mercado, cortadores de diferente tamaño para una gran variedad de diámetros de tubería.



Fig. 8.1.- Cortadores de Tubería.

8.2.- Dobladores de Tubo

Esta herramienta es necesaria para hacer los dobleces de tubería rígida según las rutas de

instalación, es importante no forzar la tubería para evitar tener fugas en los sistemas.

Con esta herramienta es posible realizar dobleces hasta de 180° y de diferentes diámetros.



Fig. 8.2.- Doblador de Tubo.

8.3.- Viroladores de Tubería

Esta herramienta se utiliza para hacer las conexiones flare en tubería.



Fig. 8.3.- Virolador de Tubería

8.4.- Llave Criquet (Ratchet)

Es herramienta es ampliamente utilizada para abrir y cerrar válvulas de compresores y para diversas aplicaciones.



8.4.- Llave Criquet (Ratchet)

8.5.- Escariador de tubo

También se requieren herramientas como los escariadores que se utilizan para quitar las

pequeñas basuras que dejan los cortadores de tubo y permiten hacer una limpieza interna justo en donde se va a soldar la tubería.



Fig. 8.5.- Escariador de Tubo

8.6.- Pinzas de Presión

Herramienta muy utilizada para sujetar partes de los sistemas con el objeto de fijar o remover partes de los equipos.



Fig. 8.6.- Pinzas de presión

8.7.- Válvulas perforadoras de tubo

Son utilizadas para tener acceso al sistema cuando no existen válvulas en el sistema, por ejemplo en muchos equipos de aire

acondicionado no existen válvulas de acceso y si se requiere hacer un servicio o cargar refrigerante se necesita una válvula como esta.



Fig. 8.7.- Perforadora de Tubo

8.8.- Termómetros

Aún cuando se pudiera pensar que el uso del termómetro es obvio para un técnico de refrigeración, en la práctica se ha observado que los técnicos no utilizan todas las herramientas necesarias para realizar el trabajo.

El termómetro me da con un nivel alto de certidumbre la temperatura de las diferentes partes del sistema de refrigeración y/o aire

acondicionado, si bien es cierto que muchos técnicos utilizan las manos para determinar la temperatura correcta en los sistemas, también es importante determinar el nivel de temperatura de las secciones del sistema.

Hay en la industria termómetros de todos tipos, algunos análogos otros electrónicos, algunos de bolsillo otro muy sofisticados pero todos son útiles para desarrollar un buen trabajo.

Fig. 8.8.- Termómetros de bolsillo y láser.



8.9.- Recovery mate

Este equipo es una novedad en la industria que permite realizar una recuperación de refrigerante con mayor limpieza, este instrumento es principalmente para aquellos

técnicos que utilizan generalmente un solo refrigerante como en el aire acondicionado o el aire acondicionado de automóviles.



Fig. 8.9.- Recoverymate.

8

.10.- Básculas

Las básculas son poco utilizadas por los técnicos de refrigeración pero son muy útiles para cuando se desean realizar cargas de refrigerante precisas a los sistemas,

generalmente los equipos traen señalada la cantidad de refrigerante que requiere para operar en forma adecuada y la mayoría de los técnicos utiliza otras formas para cargar los equipos.



Fig. 8.10.- Bascula Electrónica.

8.11.- Herramientas varias

También se utilizan una serie de herramientas que hacen más fácil el trabajo de los técnicos

en refrigeración. Se mencionan algunas adicionales:



Anexo A

DEFINICIONES

Existen varios términos y expresiones que son de uso común en refrigeración. A continuación se proporciona una lista de los mismos en el orden alfabético con una breve explicación.

Absorción

Es la extracción de uno o más componentes de una mezcla de gases cuando los gases y los líquidos entran en contacto. El proceso se caracteriza por un cambio en el estado físico o químico de los componentes.

Acondicionamiento del aire

Control simultaneo de la temperatura, humedad, composición, movimiento y distribución del aire para hacer confortable el entorno o para fines industriales.

Alta, lado de

La parte de un sistema de refrigeración que está bajo la presión del condensador.

Baja, lado de

La parte de un sistema de refrigeración que está bajo la presión del evaporador.

Caballo de fuerza (hp)

Unidad de potencia (o fuerza): 1 hp = 745,7 W.

Caballo de potencia (hp)

Unidad de potencia (o fuerza): 1 hp = 745,7 W.

Calidad

Porcentaje (%) en peso de vapor en una mezcla de líquido y vapor.

Calor

Forma básica de energía que se caracteriza por su capacidad de pasar de un cuerpo a una temperatura dada únicamente a un cuerpo a una temperatura inferior. Puede manifestarse como calor sensible o calor latente. La unidad, en ingeniería, es el joule, J.

Calor de condensación (licuefacción)

Energía térmica producida por un vapor o gas puro durante el cambio a un estado líquido a temperatura y presión constantes.

Calor latente

Energía térmica liberada o absorbida en un cambio de estado a temperatura y presión constantes de una sustancia pura. El ser humano no puede percibirlo con sus sentidos y

por lo tanto se dice que es un calor latente u oculto.

Calor sensible

Energía térmica que se caracteriza por el cambio de la temperatura y por lo tanto, el ser humano puede percibirlo con sus sentidos.

Cambio de estado.

Proceso por el que la materia cambia de un estado a otro como, por ejemplo, del estado sólido al líquido, o del estado líquido al gaseoso o al de vapor.

Capacidad térmica

La cantidad de energía térmica necesaria para elevar la temperatura de una masa de material en un grado.

Ciclo

Trayectoria cerrada en un sistema termodinámico por la que el fluido activo retorna después de una serie de cambios a las condiciones originales de temperatura, presión y entalpía.

Climatización

Control simultaneo de la temperatura, humedad, composición, movimiento y distribución del aire para hacer confortable el entorno o para fines industriales.

Coeficiente de rendimiento

Medida de la eficiencia de un sistema de refrigeración. Numéricamente, la cantidad de calor extraído del refrigerador, dividida por el gasto de trabajo.

Coeficiente de transferencia térmica

Cantidad de calor transmitido a través de un cuerpo de longitud y área de sección transversal unitario en 1 unidad de tiempo, cuando el gradiente térmico a lo largo de la dimensión longitudinal es de 1 unidad. Se expresa comúnmente en W/m²K y las letras utilizadas a menudo son K o valor U.

Condensador

Recipiente o disposición de tubos en el que el vapor caliente se enfriá y se licua por extracción del calor.

Condensador enfriado por evaporación

Condensador que se enfriá por la evaporación continua de agua sobre las superficies condensadoras.

Conducción

El proceso de trasmisión de calor de molécula a molécula a través de un material.

Conductividad térmica

Cuando hay diferencias de temperatura en toda materia, el calor fluye de las regiones calientes a las frías hasta que las temperaturas se hacen iguales. La conductividad térmica se expresa en $L = W/Mk$. Por ejemplo, el aislamiento de poliuretano varía entre 0,017 y 0,027 W/Mk .

Contracorriente

Intercambio de calor entre dos fluidos que fluyen en direcciones opuestas de manera que la porción más caliente de un fluido se encuentra con la porción más caliente del otro.

Convección

El proceso de trasferencia de calor por el movimiento de gas, vapor o líquido calentado.

Densidad

Peso o masa por unidad de volumen; se expresa habitualmente en $Kg./m^3$.

Energía

La capacidad de realizar un trabajo. En ingeniería, la unidad de energía térmica es el Joule, J, la Calor, o el Kwh para la energía eléctrica.

Energía interna

Energía que posee un cuerpo o un sistema de cuerpos en virtud de movimientos y la energía potencial de las moléculas.

Enfriador de salmuera

Evaporador para enfriar la salmuera mediante la evaporación de un refrigerante primario.

Entalpía

Denominada igualmente contenido de calor y calor total, es la suma de la energía interna más el producto de la presión por el volumen. Sirve específicamente para determinar la energía adquirida o perdida por un fluido activo al pasar a través de una pieza de un aparato; dicha energía es el cambio de entalpía del fluido.

En ingeniería, la unidad de la entalpía kJ/kg se representa por "L" o, mas comúnmente, por "H".

Evaporador

Componente de un sistema de refrigeración en el que el refrigerante líquido absorbe el calor y se cambia a vapor.

Evaporador inundado

Evaporador en el que las superficies de transferencia térmica están siempre humedecidas por la evaporación del refrigerante líquido

Fase

En el sentido físico, se apila a uno de los estados de la materia como, por ejemplo, la fase sólida, líquida o gaseosa.

"Flash gas" (gas desprendido durante el enfriamiento del líquido refrigerante)

El vapor formado como resultado de una reducción en la presión de un líquido volátil que no tiene subenfriamiento.

Gas desprendido durante el enfriamiento del líquido refrigerante ("Flash gas")

El vapor formado como resultado de una reducción en la presión de un líquido volátil que no tiene subenfriamiento.

Grado de sobrecalentamiento

La diferencia entre la temperatura de un vapor a una presión dada y la temperatura de saturación a dicha presión.

Hidrómetro

Instrumento para medir la gravedad específica o la densidad de un líquido.

Humedad absoluta

Peso del vapor de agua en una mezcla con 1 unidad de peso de aire. Se expresa habitualmente como Kg de vapor / Kg de aire seco

Humedad relativa

Relación entre la presión parcial del vapor de agua en el aire a una temperatura dada y la presión de saturación del vapor de agua a la misma temperatura. Esta relación no depende de la presión atmosférica.

Intercambiador de calor

Dispositivo en el que el calor se transfiere de un fluido que tiene determinada temperatura a otro fluido que tiene una temperatura inferior.

Intercambiador térmico

Dispositivo en el que el calor se transfiere de un fluido que tiene determinada temperatura a otro fluido que tiene una temperatura inferior

Lado de alta

La parte de un sistema de refrigeración que está bajo la presión del condensador.

Lado de baja

La parte de un sistema de refrigeración que está bajo la presión del evaporador.

Ley de Dalton

La presión total de una mezcla de gases en un recipiente cerrado es la suma de las presiones que cada gas separado ejercería si los otros no estuvieran presentes.

Licuefacción (calor de condensación)

Energía térmica producida por un vapor o gas puro durante el cambio a un estado líquido a temperatura y presión constantes.

Mezclas

Se utiliza para describir mixturas que son zeotrópicas o casi azeotrópicas. Las mezclas son mixturas y no compuestos puros. Por lo tanto, puede haber dos o tres moléculas presentes mientras que en un compuesto puro hay una sola molécula.

Mezcla azeotrópica

Mezcla cuyas fases líquida y gaseosa tienen la misma composición a una temperatura específica. Una mezcla puede ser azeotrópica únicamente a una temperatura. A los efectos prácticos, si al cambiar la temperatura, el cambio en la composición del azeótropo es un pequeño, se puede considerar que se trata de un solo fluido y no de una mezcla.

Mezcla zeotrópica/no azeotrópica

Mezcla que manifiesta cambios importantes en las composiciones de vapor y líquido con la temperatura. Se evapora y se condensa dentro de una gama de temperatura. Los cálculos y el diseño de la unidad deben tener esto en cuenta. Se llama también "mezcla de amplios puntos de ebullición".

Potencia

Energía (fuerza) por unidad de tiempo; las unidades que se utilizan en ingeniería son:

El caballo de potencia: hp; el kilovatio: Kw.

Presión

La fuerza ejercida por un fluido sobre 1 unidad de superficie de la pared de un recipiente. Unidades utilizadas en ingeniería: bar, pa y torr (mm Hg).

Presión absoluta

Presión que sobrepasa a un vacío absoluto o perfecto. Numéricamente, es la presión manométrica más la presión barométrica expresada en bares, psia.

Presión crítica

La presión observada en el punto crítico de una sustancia.

Presión parcial

Fracción de la presión total de una mezcla de gases que aporta determinado componente.

Propiedades termodinámicas

La relación entre la temperatura, la presión, el volumen específico, la entalpía y la entropía de un fluido bajo diversas condiciones.

Punto crítico

Un punto de estado en el que el estado líquido y el gaseoso tienen propiedades idénticas.

Punto de fusión

La temperatura a la que, a una presión dada, una sustancia sólida pasa al estado líquido.

Refrigerante primario

Todo fluido que se utiliza en un ciclo termodinámico para remover el calor del evaporador y llevarlo al condensador donde es eliminado.

Refrigerante secundario

Todo fluido que se utiliza para transmitir calor de lo que ha de enfriarse hacia el evaporador.

Salmuera

Solución acuosa de sales, que tienen un punto de congelación inferior al del agua pura. Asimismo, cualquier líquido que se utiliza en el sistema de refrigeración para transferir calor.

Salmuera eutéctica

Solución compuesta por una o más sustancias disueltas en agua en proporciones tales que se obtiene el punto de congelación más bajo

possible. La salmuera eutéctica contiene 23.3% de cloruro de sodio seco y se congela a -25° C. La salmuera eutéctica de cloruro de calcio contiene 29,6% de cloruro de calcio anhídrido y se congela a -51° C.

Sistema de refrigeración por absorción

Sistema en el que la compresión del refrigerante se procura por medios térmicos. Esto se logra habitualmente por un fluido absorbente que captura el refrigerante vaporizado, reduciendo su volumen por cambio de fase, utilizando una pequeña bomba para elevar los fluidos combinados a la presión de condensación, destilando el refrigerante del fluido absorbente mediante el calor y enviando el vapor refrigerante fuera del condensador y haciendo volver el fluido absorbente al absorbedor.

Sistema de refrigeración por compresión

Sistema en el que el gas o el vapor refrigerante se comprimen mediante un dispositivo mecánico.

Subenfriamiento

El enfriamiento de un líquido por debajo de su temperatura de condensación o saturación.

Sublimación

El cambio de estado de un sólido que pasa directamente al estado gaseoso sin pasar por la fase líquida.

Temperatura absoluta

Es la temperatura que sobrepasa el cero termodinámico, que es la temperatura en la que no hay ninguna energía térmica.

Numéricamente, es la temperatura en grados Celsius superior a -273,15°C.

La temperatura absoluta se expresa habitualmente en grados kelvin 0° K=-273,15°C

Temperatura crítica

La temperatura observada en el punto crítico de una sustancia.

Temperatura de saturación

La temperatura a la que la fase líquida está a la temperatura y presión especificadas.

Unidad térmica –SI

La energía térmica necesaria para elevar en 1 grado Celsius la temperatura de 1 kilogramo de agua en estado líquido, unidad que es suficientemente precisa para cálculos normales de ingeniería.

Válvula de expansión

Válvula que controla el flujo del refrigerante de alta presión hacia el evaporador.

Vapor

Este término se aplica a un gas que está cercano a la temperatura y a la presión de saturación. En general, se utiliza para gases a temperaturas inferiores a la crítica.

Vapor saturado

Vapor que está en equilibrio con su fase líquida a la temperatura y presión específicas.

Vapor sobrecalegado

Vapor cuya temperatura es más elevada que la temperatura de saturación para la presión especificada.

Anexo B

Composición de las mezclas de refrigerantes

Azeotrope mixtures				
Refrigerant number	Component 1		Component 2	
R500	CFC12	74%	HCFC152a	26%
R501	HCFC22	75%	CFC12	25%
R502	HCFC22	49%	CFC115	51%
R503	HFC23	40%	CFC13	60%
R504	HFC32	48%	CFC115	52%
R505	CFC12	78%	HCFC31	22%
R506	HCFC31	55%	CFC114	45%
R507	HCFC124	50%	HCFC143a	50%
R509	HCFC22	44%	FC218	56%

Anexo C

Asignacion de Colores según el ARI

ASHRAE Number	PMS Number	Assigned colour (ARI Guideline N)	ASHRAE Number	PMS number	Assigned colour (ARI Guideline N)
R-11	021	Orange	R-407b	156	Cream
R-12	-	White	R-407c	471	Medium Green
R-13	2975	Light Blue (Sky)	R-407e	*	Unassigned
R-13B1	177	Pinkish-Red (Coral)	R-408a	248	Medium Purple
R-14	124	Yellow-Brown (mustard)	R-409a	465	Medium Brown (Tan)
R-22	352	Light green	R-409b	*	Unassigned
R-23	428	Light Blue-Grey	R-410a	507	Rose
R-32	* F	Unassigned	R-410b	194	Maroon
R-50	* F	Unassigned	R-411a	226F	Dark Purple (Violet)
R-113	266	Dark Purple (Violet)	R-411b	326F	Blue-Green (Teal)
R-114	302	Dark Blue (Navy)	R-412a	* F	Unassigned
R-115	*	Unassigned	R-413a	* F	Unassigned
R-116	424	Dark Grey (Battleship)	R-414a	*	Unassigned
R-123	428	Light Blue-Grey	R-414b	2995	Medium Blue
R-124	335	Deep Green (DOT Green)	R-416a	381	Yellow-Green (Lime)
R-125	465	Medium Brown (Tan)	R-500	109	Yellow
R-134a	2975	Light Blue (Sky)	R-501	*	Unassigned
R-141b	*	Unassigned	R-502	251	Light Purple (Lavender)
R-142b	* F	Unassigned	R-503	3268	Blue-Green (Aqua)
R-143a	* F	Unassigned	R-504	*	Unassigned
R-152a	* F	Unassigned	R-505	*	Unassigned
R-170	* F	Unassigned	R-506	*	Unassigned
R-218	*	Unassigned	R-507a	326	Blue-Green (Teal)
R-225	*	Unassigned	R-507b	*	Unassigned
R-236fa	*	Unassigned	R-508a	*	Unassigned
R-245fa	*	Unassigned	R-508b	302	Dark Blue (Navy)
R-290	* F	Unassigned	R-509	*	Unassigned
R-401a	177	Pinkish-Red (Coral)	R-509a	*	Unassigned
R-401b	124	Yellow-Brown (Mustard)	R-600	* F	Unassigned
R-401c	3268	Blue-Green (Aqua)	R-600a	* F	Unassigned
R-402a	461	Light Brown (Sand)	R-717	* F	Unassigned
R-402b	385	Green-Brown (Olive)	R-1140	* F	Unassigned
R-403a	*	Unassigned	R-1150	* F	Unassigned
R-403b	*	Unassigned	R-1270	* F	Unassigned
R-404a	021	Orange			
R-405A	*	Unassigned			
R-406a	* F	Unassigned			
R-407a	368	Lime Green			

PMS.- Pantom® Matching System (código de colores)

* Refrigerantes con poca producción que no se le asignan colores específicos

F Refrigerantes Inflamables, deben ser envasados en cilindros apropiados.

Anexo D

Asignación de color de envase para refrigerantes

PMS Number	Assigned colour	Class I	Class II	Class III	Class IV
None	White		R-12		
Black C	Black (Print Black)				
021	Orange	R-11		R-404a	
109	Yellow		R-500		
124	Yellow-Brown		401b	R-14	
156	Cream			R-407b	
177	Pinkish-Red (Coral)		R-401a	R-13B1	
185	Red (DOT Red)				Note 1
194	Maroon			R-410b	
248	Medium Purple (Purple)			R-408a	
251	Light Purple (Lavender)		R-502		
266	Dark Purple (Violet)	R-113			R-411a
302	Dark Blue (Navy)		R-114	R-508b	
326	Blue-Green (Teal)			R-507a	R-411b
335	Deep (DOT) Green			R-124	
352	Light Green		R-22		
368	Lime Green			R-407a	
381	Yellow-Green (Lime)		R-416a		
385	Green-Brown (Olive)			R-402b	
413	Light Green-Grey	Note 2	Note 2	Note 2	Note 2
424	Dark Grey (Battleship)			R-116	
428	Light Blue-Grey	R-123		R-23	
450	Dark Brown (Chocolate)			R-407d	
461	Light Brown (Sand)			R-402a	
465	Medium Brown (Tan)		R-409a	R-125	
488	Light Tan		Reserved		
471	Medium Brown (Brown)			R-407c	
507	Rose			R-410a	
2975	Light Blue (Sky)		R-134a	R-13	
2995	Medium Blue (Blue)		R-414b		
3268	Blue-Green (Aqua)		R-401c	R-503	

Nota 1: Color reservado para refrigerantes inflamables

Nota 2: Color reservado para los refrigerantes que no tienen color asignado.

Anexo E

Tabla presión temperatura de CFCs.

TEMP. °C	TEMP. °F	11	114	12	500	502	13	503
-40.0	40.0 -	28.3	28.0	19.0	17.0	7.2	43.9	67.3
-37.2	35.0 -	28.0	27.1	15.4	12.8	0.2	57.6	86.1
-34.4	30.0 -	27.7	26.1	11.0	7.6	4.1	73.3	107.8
-31.6	25.0 -	27.4	25.4	8.4	4.6	6.5	82.2	119.9
-28.8	20.0 -	26.9	24.7	5.5	1.2	9.2	91.6	132.8
-26.1	15.0 -	26.5	23.8	2.3	1.2	12.1	101.7	146.7
-23.3	10.0 -	25.9	22.9	0.6	3.2	15.3	112.5	161.4
-20.5	5.0	25.3	21.8	2.5	5.4	18.8	123.9	177.1
-17.7	0.0	24.6	20.6	4.5	7.8	22.6	136.1	193.9
-15.0	5.0	23.9	19.3	6.7	10.4	26.7	149.1	211.6
-12.2	10.0	23.0	17.8	9.2	13.3	31.1	162.9	230.5
-9.4	15.0	22.1	16.2	11.8	16.4	35.9	177.4	250.5
-6.6	20.0	21.0	14.4	14.7	19.7	41.0	192.8	271.7
-3.8	25.0	19.8	12.4	17.7	23.3	46.5	209.1	294.1
-1.1	30.0	18.5	10.2	21.1	27.2	52.5	226.3	317.8
1.6	35.0	17.1	7.8	24.6	31.4	58.8	244.4	342.8
4.4	40.0	15.5	5.1	28.5	36.0	65.6	263.5	369.3
7.2	45.0	13.8	2.2	32.6	40.8	72.8	283.6	397.2
10.0	50.0	12.0	0.4	37.0	46.0	80.5	304.8	426.6
12.7	55.0	9.9	2.1	41.7	51.6	88.7	327.1	457.5
15.5	60.0	7.7	3.9	46.7	57.5	97.4	350.4	490.2
18.3	65.0	5.3	5.9	52.1	63.8	106.6	375.0	524.5
21.1	70.0	2.7	8	57.8	70.6	116.4	400.9	560.7
23.8	75.0	0.1	10.3	63.8	77.7	126.7	428.1	598.7
26.6	80.0	1.6	12.7	70.2	85.3	137.6	456.8	
29.4	85.0	3.2	15.3	77.0	93.4	149.1	487.2	
32.2	90.0	4.9	18.2	84.2	101.9	161.2	519.4	
35.0	95.0	6.8	21.2	91.7	110.9	174.0		
37.7	100.0	8.8	24.4	99.7	120.5	187.4		
40.5	105.0	10.9	27.8	108.2	130.5	201.4		
43.3	110.0	13.2	31.14	117.0	141.1	216.2		
46.1	115.0	15.7	35.3	126.4	152.2	231.7		
48.8	120.0	18.3	39.4	136.2	163.9	247.9		
51.6	125.0	21.1	43.8	146.5	176.3	264.9		

Anexo F

Tabla presión temperatura de Refrigerantes Alternativos.

TEMP	TEMP		(liq.)	(vap.)	(liq.)	(vap.)		(liq.)	(vap.)	
° C	° F	22	407C	407C	404A	404A	507	HP80	HP80	410A
-40.0	-40.0	0.60	3.3	3.2	5.1	4.7	5.5	8.5	7.1	11.6
-37.2	-35.0	2.60	5.7	0.3	7.6	7.2	8.2	11.3	9.9	14.9
-34.4	-30.0	4.90	8.3	2.3	10.3	9.9	11.1	14.5	13.0	18.5
-31.6	-25.0	7.50	11.1	4.6	13.3	12.9	14.3	17.9	16.2	22.5
-28.8	-20.0	10.20	14.3	7.1	16.6	16.2	17.8	21.6	19.9	26.9
-26.1	-15.0	13.20	17.7	9.8	20.2	19.8	21.7	25.7	23.8	31.6
-23.3	-10.0	16.50	21.4	12.9	24.1	23.7	25.8	30.1	28.1	36.8
-20.5	-5.0	20.10	25.5	16.2	26.3	27.9	30.3	34.8	32.8	42.5
-17.7	0.0	24.00	29.9	19.8	33.0	32.5	35.2	40.0	37.8	48.6
-15.0	5.0	28.30	34.7	23.8	37.9	37.5	40.5	45.6	43.3	55.2
-12.2	10.0	32.80	39.9	28.2	43.3	42.9	46.2	51.6	49.2	62.3
-9.4	15.0	37.80	45.5	32.9	49.1	48.6	52.2	58.0	55.5	70.0
-6.6	20.0	43.10	51.6	38.0	55.3	54.9	58.8	65.0	62.3	78.3
-3.8	25.0	48.80	58.1	43.6	62.0	61.6	65.8	72.4	69.6	87.3
-1.1	30.0	54.90	65.1	49.6	69.2	68.8	73.3	80.4	77.4	96.8
1.6	35.0	61.50	72.5	56.0	76.1	76.5	81.3	88.9	85.8	107.1
4.4	40.0	68.50	80.6	63.0	85.1	84.7	89.8	97.9	94.8	118.0
7.2	45.0	76.10	89.1	70.6	93.9	93.6	98.9	107.6	104.3	129.7
10.0	50.0	84.10	98.3	78.6	103.2	103.0	108.6	117.8	114.5	142.2
12.7	55.0	92.60	108.0	87.3	113.2	113.0	118.8	128.8	125.3	155.5
15.5	60.0	101.60	118.4	96.6	123.7	123.6	129.7	140.3	136.7	169.6
18.3	65.0	111.30	129.4	106.5	134.9	134.9	141.3	152.6	148.9	184.6
21.1	70.0	12.14	141.0	117.1	146.8	146.9	153.6	165.6	161.8	200.6
23.8	75.0	132.20	153.4	128.4	159.4	159.6	166.6	179.3	175.4	217.4
26.6	80.0	143.70	166.4	140.4	172.7	173.0	180.3	193.8	189.9	235.3
29.4	85.0	155.70	180.2	153.2	186.7	187.2	194.8	209.0	204.4	254.1
32.2	90.0	168.40	194.8	166.8	201.5	202.1	210.2	225.1	221.0	274.1
35.0	95.0	181.80	210.2	181.2	217.1	217.9	226.4	242.0	237.8	295.1
37.7	100.0	196.00	226.3	196.5	233.5	234.5	243.5	259.8	255.6	317.2
43.3	110.0	226.40	261.1	229.7	268.8	270.3	280.6	298.0	293.7	365.0
48.8	120.0	260.00	299.5	266.7	307.1	309.8	321.9	339.9	335.6	417.7
54.4	130.0	297.00	341.5	307.7	350.3	353.1	367.8	385.8	331.5	475.6
60.0	140.0	337.40	387.4	353.1	396.9	400.0	418.7	435.8	431.5	538.9
65.5	150.0	381.70	437.3	403.1	447.5	452.0	475.3	490.1	485.8	608.1

Anexo G

Tabla presión temperatura de otros refrigerantes alternativos.

			(liq.)	(vap)	(liq.)	(vap.)	(liq.)	(vap.)
TEMP. °C	TEMP. °F	134a	MP39	MP39	MP66	MP66	409A	409A
-40.0	-40.0	14.7	3.8	12.5	7.2	11.3	5.2	13.2
-37.2	-35.0	12.3	2.3	10.1	4.0	8.7	1.9	10.7
-34.4	-30.0	9.7	0.7	7.3	0.4	5.9	0.9	7.9
-31.6	-25.0	6.8	1.1	4.3	1.8	2.7	2.9	4.8
-28.8	-20.0	3.6	3.1	0.9	3.9	0.4	5.1	1.4
-26.1	-15.0	0.0	5.3	1.4	6.3	2.3	7.4	1.2
-23.3	-10.0	2.0	8.9	3.4	8.9	4.4	10.0	3.2
-20.5	-5.0	4.1	10.3	5.6	11.7	6.7	12.9	5.5
-17.7	0.0	6.5	13.2	8.0	14.8	9.3	16.0	8.0
-15.0	5.0	9.1	16.3	10.6	18.2	12.0	19.3	10.6
-12.2	10.0	12.0	19.7	13.5	21.9	15.0	22.9	13.6
-9.4	15.0	15.1	23.3	16.7	25.9	18.3	26.8	16.8
-6.6	20.0	18.4	27.3	20.1	30.2	21.8	31.0	20.0
-3.8	25.0	22.1	31.6	23.8	34.9	25.7	35.5	24.0
-1.1	30.0	26.1	36.2	27.8	39.9	29.8	40.4	28.0
1.6	35.0	30.4	41.1	32.2	45.3	34.3	45.6	32.4
4.4	40.0	35.0	46.4	36.8	51.0	39.1	51.1	37.1
7.2	45.0	40.0	52.1	41.9	57.2	44.3	57.1	42.1
10.0	50.0	45.4	58.2	47.3	63.8	49.9	63.4	47.6
12.7	55.0	51.2	64.7	53.1	70.8	55.9	70.1	53.4
15.5	60.0	57.4	71.6	59.4	78.3	62.3	77.3	59.6
18.3	65.0	64.0	79.0	66.0	86.3	69.1	84.9	66.2
21.1	70.0	71.1	86.9	73.2	94.8	76.4	92.9	73.2
23.8	75.0	78.6	95.2	80.8	103.7	84.2	101.5	80.7
26.6	80.0	86.7	104.0	88.9	113.2	92.5	110.5	88.7
29.4	85.0	95.2	113.4	97.5	123.2	101.3	120.0	97.2
32.2	90.0	104.3	123.3	106.7	133.7	110.6	130.0	106.2
35.0	95.0	113.9	133.7	116.4	144.8	120.6	140.6	115.7
37.7	100.0	124.1	144.7	126.8	156.4	131.1	151.7	125.8
43.3	110.0	146.3	168.5	149.2	181.5	153.9	175.7	147.6
48.8	120.0	171.1	194.8	174.3	209.0	179.4	202.1	171.9
54.4	130.0	198.7	223.7	202.2	238.9	207.6	231.1	198.9
60.0	140.0	229.2	255.3	233.1	271.5	238.8	262.7	228.6
65.5	150.0	262.8	289.8	267.1	306.6	273.2	297.1	261.3

Anexo H

Páginas de Internet que se pueden consultar para soporte de este manual:

www.epa.gov

www.nasa.gov

www.ashrae.org

www.ari.org

www.unep.org

www.refrigerants.dupont.com

www.quimobasicos.com.mx

www.forane.com

www.rsesjournal.com