



Asocaire[®]

Asociación Colombiana de
Acondicionamiento del Aire
y de la Refrigeración

**REFRIGERANTES
DE HIDROCARBUROS**

EDITA**ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y DE LA REFRIGERACIÓN - ACAIRE**

Calle 70 No. 12-85 Bogotá D.C., Colombia
Teléfonos: (057-1) 3131468 / 3455372 / 3455375
Fax: (057-1) 2489223
Correos: acaire@acaire.org
acairecolombia@etb.net.co
www.acaire.org

Miembros Junta de Dirección General Acaire 2008 - 2009

Fabio Clavijo, TECNAIRE LTDA. - Presidente
Giovanni Barletta, EMERSON ELECTRIC DE COLOMBIA - Vicepresidente
Andrés Velásquez, ISLATECH LTDA.
Camilo Botero
Mauricio Gleiser
Silvio Toro
Yohanna Alzamora, SERVIPARAMO S.A.
José Arias, REFRI - AUTO LTDA.
Laura Millán, DANFOSS S.A.
Luis Gay Salvino
Luis Fernando Espinosa, ESPINOSA INGENIERÍA
Mauricio Baena, THERMAL ENGINEERING LTDA.
Rodrigo Vásquez, COMERCIAL Y SERVICIOS LARCO CSL S.A
Rómulo Niño, UIS

Claudia Sánchez Méndez - Directora Ejecutiva

PRÓLOGO

Los documentos Buenas Prácticas de Ingeniería ACAIRE - responden a las necesidades, planteadas al interior de la Asociación desde hace varios lustros, de desarrollar guías (de buenas prácticas de ingeniería) que, aplicables a nuestro medio, aportarán a través de un lenguaje técnico sencillo, recomendaciones sobre temas específicos de la actividad de Calefacción, Ventilación, Aire Acondicionado y Refrigeración - CVAR - que hoy en día son de práctica regular a nivel mundial.

Este esfuerzo es resultado de la gestión y compromiso de la Junta de Dirección General de ACAIRE 2008 – 2009, y de manera especial del comité de normalización, cuyos miembros han aportado su tiempo y dedicación durante el proceso de múltiples revisiones y correcciones. A ellos nuestro agradecimiento y profundo reconocimiento

Este documento fue desarrollado con base en directrices formuladas por la JDG de ACAIRE y supervisado por el Comité de Normalización con el valioso aporte investigativo y de recopilación del señor David Gonzalo Rueda Méndez – estudiante de último semestre, en la Fundación Universitaria Los Libertadores, a lo largo del primer semestre del 2009.

Invitamos a los lectores a que evalúen los documentos, los apliquen y apoyen esta gestión con sus siempre bienvenidos comentarios y observaciones.

Nota: revisión agosto 2013, ingeniero Edgar Baquero.

LIMITACIONES

El contenido de los documentos no compromete en modo alguno a ACAIRE y su interpretación debe ser entendida como un esfuerzo para ofrecer criterios técnicos que mejoren el desempeño de los profesionales del sector en sus actividades.

Con la aplicación regular de estos documentos al trabajo de campo, se pretende beneficiar la calidad de las instalaciones, incrementar la vida útil de los equipos, optimizar la calidad de los diseños y aportar una mejor práctica en general de la actividad profesional de CVAR por parte de técnicos e ingenieros especializados.

Con base en lo anterior, ACAIRE no podrá ser sujeto de procesos legales o impugnaciones que atenten contra ella, sus directivos o autores.

El documento no puede ser reproducido para fines comerciales. En caso de utilización para fines académicos, se debe incluir el crédito de ACAIRE.

CONTENIDO	PÁGINAS
1. PROPÓSITO	12
2. INTRODUCCIÓN	13
3. CALENTAMIENTO GLOBAL	16
4. PROTOCOLO DE MONTREAL	17
4.1. SUSTANCIAS AGOTADORAS DE LA CAPA DE OZONO (SAO)	17
5. AGUJERO EN LA CAPA DE OZONO	20
5.1. MEDIDA DE LA CAPA DE OZONO	21
5.2. AGUJERO DEL OZONO ANTÁRTICO	22
5.3. ADELGAZAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO	23
6. EFECTO INVERNADERO	24
7. GASES REFRIGERANTES	26
8. PROTOCOLO MONTREAL EN COLOMBIA	28
8.1 DISMINUCIÓN SAO 'S	29
8.1.1 ESTADO DE AVANCE DE COMPROMISOS DE COLOMBIA	30
8.2 DISTRIBUCIÓN CONSUMO DE SAO	32
8.2.1. LOGROS OBTENIDOS	32
9 USO RACIONAL DE LA ENERGÍA	33
10. REFRIGERANTES	36

10.1. TIPOS DE REFRIGERANTES	36
10.1.1. CLOROFLUOROCARBONOS CFC	37
10.1.1.1. REFRIGERANTES R-12	37
10.1.1.2. REFRIGERANTE R-11	37
10.1.2. HIDROCLOROFLUOROCARBONOS HCFC	38
10.1.2.1. REFRIGERANTE R22	38
10.1.3. MEZCLAS ZEOTROPICAS	38
10.1.3.1. MEZCLAS MP – 39 Y MP – 66	39
10.1.3.2. REFRIGERANTE 409A	39
10.1.4. MEZCLA AZEOTRÓPICA	40
10.1.4.1. REFRIGERANTE R-502	40
10.1.5. HIDROFLUOROCARBONOS	40
10.1.5.1. REFRIGERANTE R-134A	40
10.1.5.2. REFRIGERANTE R- 404A	40
10.1.5.3. REFRIGERANTE R-507	41
11. REFRIGERANTES DE HIDROCARBUROS	41
11.1. PROPIEDADES FÍSICAS E IMPACTO AMBIENTAL	42
11.2. INFLAMABILIDAD Y TOXICIDAD	44
11.3. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE REFRIGERANTES HC	44

11.4. MEZCLAS DE HIDROCARBUROS	47
11.5. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS	49
11.6. VENTAJAS DEL USO DE HIDROCARBUROS	49
11.7. LUBRICACIÓN	50
11.8. MATERIALES COMPATIBLES CON HC	51
12. CAMBIO DE REFRIGERANTES TRADICIONALES POR ALTERNATIVOS HC	51
12.1. ASPECTOS DE SEGURIDAD	52
12.2. ALMACENAMIENTO DE REFRIGERANTES: REGLAS, MEDIDAS Y CONTROL EN EL MANEJO SUSTANCIAS FRIGORÍFICAS	53
12.3. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD EN CILINDROS DESECHABLES	54
12.4. CILINDROS RECUPERADORES DE REFRIGERANTE	55
12.5. DETECCIÓN DE FUGAS	56
12.6. PURGA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	58
12.7. RECUPERADO Y RECICLAJE DE REFRIGERANTES	59
12.8. RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES	60
12.9. MÉTODOS DE RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES	62
12.10. MÉTODO DE RECUPERACIÓN DIRECTA	63
12.11. MAQUINAS DE RECUPERACIÓN Y RECICLAJE	64
12.12. RECUPERACIÓN POR PUSH/PULL	67

12.13. CARGA DE REFRIGERANTES DE HIDROCARBUROS	69
13. PROCESO DE DROP-IN CON HC	70
13.1. CARGA DE REFRIGERANTE ADMITIDA	71
13.2. EQUIVALENCIAS DE CARGA EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO	72
13.3. FACTORES A TENER EN CUENTA ANTES DE REALIZAR LA CARGA E INSTALACIÓN DEL SISTEMA	76
13.5 CARGA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN CON HC	77
BIBLIOGRAFÍA	84
LISTA DE TABLAS	86
LISTA DE FIGURAS	88
LISTA DE ANEXOS	90
ANEXOS	93
A1. TABLAS DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS	
A1.1. INFORMACIÓN SOBRE LA TUBERÍA DE SUCCIÓN PARA HC 12 α	
A1.1A. TABLA DE CAPACIDAD DEL EVAPORADOR PARA TUBERÍAS DE SUCCIÓN	
A1.1B. FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA CAPACIDAD DEL EVAPORADOR, CFCO' PARA LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL CONDENSADOR	
A1.1C. CAPACIDAD MÍNIMA DE REFRIGERACIÓN PARA EL ARRASTRE DE ACEITE EN LOS CONDUCTOS ASCENDENTES DE SUCCIÓN	
A1.2. INFORMACIÓN SOBRE LA TUBERÍA DE LÍQUIDOS PARA HC 12 α	

- A1.2A. TABLA DE CAPACIDAD DEL EVAPORADOR PARA TUBERÍAS DE LÍQUIDOS
 - A1.2B. FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA CAPACIDAD DEL EVAPORADOR, CFTE PARA LA TEMPERATURA DE CONDENSACIÓN
 - A1.3. INFORMACIÓN SOBRE LA TUBERÍA DE DESCARGA PARA HC 12 α
 - A1.3A. TABLA DE CAPACIDAD DEL EVAPORADOR PARA TUBERÍAS DE DESCARGA
 - A1.3B. FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA CAPACIDAD DEL EVAPORADOR, CFTE PARA LA TEMPERATURA DE CONDENSACIÓN
 - A2. TABLAS DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS PARA HC 22 α
 - A2.1. INFORMACIÓN SOBRE LA TUBERÍA DE SUCCIÓN PARA HC 22 α
 - A2.1A. TABLA DE CAPACIDAD DEL EVAPORADOR PARA TUBERÍAS DE SUCCIÓN
 - A2.1B. FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA CAPACIDAD DEL EVAPORADOR, CF CO' PARA LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL CONDENSADOR
 - A2.1C. CAPACIDAD MÍNIMA DE REFRIGERACIÓN PARA EL ARRASTRE DE ACEITE EN LOS CONDUCTOS ASCENDENTES DE SUCCIÓN
 - A2.2 INFORMACIÓN SOBRE LA TUBERÍA DE LIQUIDO DE HC 22 α
 - A2.2A. TABLA DE CAPACIDAD DEL EVAPORADOR PARA TUBERÍAS DE LÍQUIDOS
 - A2.2B. FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA CAPACIDAD DEL EVAPORADOR, CFTE PARA LA TEMPERATURA DE EVAPORACIÓN
 - A2.3. INFORMACIÓN SOBRE LA TUBERÍA DE DESCARGA PARA HC 22 α
 - A2.3A. TABLA DE CAPACIDAD DEL EVAPORADOR PARA TUBERÍAS DE DESCARGA
 - A2.3B. FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA CAPACIDAD DEL EVAPORADOR, CFTE PARA
-

LA TEMPERATURA DE CONDENSACIÓN

A3. TABLAS DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS PARA HC 502 α

A3.1. INFORMACIÓN SOBRE LA TUBERÍA DE SUCCIÓN PARA HC 502 α

A3.1A. TABLA DE CAPACIDAD DEL EVAPORADOR PARA TUBERÍAS DE SUCCIÓN

A3.1B. FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA CAPACIDAD DEL EVAPORADOR, CF_{CO'} PARA LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL CONDENSADOR

A3.1C. CAPACIDAD MÍNIMA DE REFRIGERACIÓN PARA EL ARRASTRE DE ACEITE EN LOS CONDUCTOS ASCENDENTES DE SUCCIÓN

A3.2. INFORMACIÓN SOBRE LA TUBERÍA DE LÍQUIDOS PARA HC 502 α

A3.2A. TABLA DE CAPACIDAD DEL EVAPORADOR PARA TUBERÍAS DE LÍQUIDOS

A3.2B. FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA CAPACIDAD DEL EVAPORADOR, CF_{TE} PARA LA TEMPERATURA DE EVAPORACIÓN

A3.3. INFORMACIÓN SOBRE LA TUBERÍA DE DESCARGA PARA HC 502 α

A3.3A. TABLA DE CAPACIDAD DEL EVAPORADOR PARA TUBERÍAS DE DESCARGA

A3.3B. FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA CAPACIDAD DEL EVAPORADOR, CF_{TE} PARA LA TEMPERATURA DE CONDENSACIÓN

A4. TABLAS DE SATURACIÓN DE REFRIGERANTES DE HIDROCARBUROS

1. PROPÓSITO

Dar a conocer los efectos nocivos de los refrigerantes tradicionales que afectan al medio ambiente, generando calentamiento global y la disminución de la capa de ozono del planeta, además mostrar a los técnicos la necesidad de realizar buenas prácticas en refrigeración utilizando métodos seguros de carga y descarga de refrigerantes, todo enfocado al reemplazo de CFC´s por refrigerantes alternativos HC, que poseen características de baja emisión de gases de efecto invernadero y no desgastan el ozono de la atmósfera. También exponer sus propiedades físicas, químicas termodinámicas y su manejo seguro en la implementación de sistemas de refrigeración doméstica y comercial.

2. INTRODUCCIÓN

Los refrigerantes son los fluidos de trabajo utilizados en los ciclos de sistemas frigoríficos; estos funcionan como agentes que permiten la absorción del calor del medio a enfriar. En la historia se han utilizado diferentes sustancias como agentes de enfriamiento. El Agua, por ejemplo, ampliamente utilizada hasta nuestros tiempos, era utilizada para mantener a bajas temperaturas algunos alimentos y bebidas. En China y Roma se utilizaba nieve y hielo natural como agentes de enfriamiento. Pero no fue sino hasta el siglo XVII, donde se desarrolló una mezcla de hielo con sal que permitía un mayor y mejor enfriamiento que con hielo natural. Sustancia que permitía refrigerar durante largos periodos de tiempo.

A principios del siglo XIX se desarrollaron diferentes máquinas de compresión de vapor y se utilizaron muchos fluidos como refrigerantes tales como el amoníaco, bióxido de carbono, bióxido de azufre, cloruro de metilo, entre otros. El amoníaco es uno de los refrigerantes utilizados con más frecuencia gracias a sus características termodinámicas que facilitan el ciclo de enfriamiento, es muy utilizado en almacenes frigoríficos, en el sector industrial y en grandes plantas.

A principios del siglo XX, se comenzaron a desarrollar unidades domésticas de enfriamiento, que funcionaban de manera poco eficiente y bastante peligrosa. Utilizaban refrigerantes antiguos, los cuales eran altamente tóxicos, inflamables o trabajaban a presiones muy altas. Posteriormente se utilizó el bióxido de azufre, como agente enfriador, ya que trabajaba a presiones más bajas y generaba mayor eficiencia energética que los demás. Bajo estas condiciones se construyeron miles de unidades que utilizaban bióxido de azufre, éste al igual que otros refrigerantes eran altamente tóxicos y después de un tiempo de su utilización producían corrosión en los diferentes dispositivos del equipo, y además al presentarse fugas en las tuberías, producía una tos violenta y ahogamiento.

Para 1928, el vicepresidente de una compañía de automóviles, C.F. Kettering, decidió desarrollar diferentes tipos de refrigerantes que fueran más estables, no tóxicos, no inflamables y que no generaran corrosión en los sistemas del ciclo. Para ello reunió un grupo de químicos para que se encargaran de crear un refrigerante que cumpliera con estas características. Sabían que las combinaciones de fluor eran altamente estables, así que practicaron con algunos compuestos como el carbono, cloro e hidrogeno, sustituyendo los átomos de cloro e hidrogeno por átomos de fluor. Así en poco tiempo consiguieron crear el diclorodifluorometano, un compuesto no inflamable y que poseía una toxicidad aceptable.

Para la producción del nuevo refrigerante, en 1929, se le pidió a una empresa química que desarrollara un proceso para comercializar dicho refrigerante. Bajo este desarrollo salieron al mercado los nuevos refrigerantes halogenados, que sustituían a los utilizados normalmente. Entre los más utilizados se encuentra el Freón 12, utilizado ampliamente en variados sistemas de enfriamiento. Posteriormente salieron al mercado otros freones como el Freón 11, Freón 21, Freón 114 y Freón 22, cada uno con características especiales para diferentes aplicaciones frigoríficas.

Este nuevo producto no fue muy bien recibido por los productores de refrigeración y aire acondicionado, ya que era mucho más costoso que el Bióxido de Azufre y era bastante difícil detectar fugas en las tuberías, al no percibir olores. También, algunas grandes compañías se rehusaban a modificar sus diseños para que se ajustasen a las propiedades termodinámicas de los freones.

A causa de este problema algunas industrias comenzaron a desarrollar y diseñar mejores dispositivos de trabajo, compresores, unidades condensadoras, evaporadores e intercambiadores. También se mejoraron los diseños de dispositivos haciendo uniones de tuberías mas cortas, y seguras para el escape de fugas y los técnicos se especializaron en la reparación de tales sistemas.

Así entró en vigencia la utilización de los freones como sustancia refrigerante en equipos pequeños de refrigeración. Con el tiempo, se fueron desarrollando otros compuestos halogenados y creció la familia de los freones. Además de refrigerantes, a los freones se les encontraron otras aplicaciones, tales como propelentes, solventes, extinguidores de fuego, agentes espumantes y otros. Algunos años más tarde, otras compañías comenzaron a fabricar los compuestos halogenados con otros nombres comerciales.

Durante mucho tiempo se tuvieron sospechas sobre la contaminación que pudieran producir estos refrigerantes de clorofluocarbono sobre la estratosfera, donde se encuentra ubicado el filtro de ozono que protege al planeta de los rayos ultravioleta. No fue hasta que la NASA, a principio de los años ochenta realizó una investigación y con ayuda de satélites, descubrieron que la capa de ozono de la estratosfera se había desgastado en las últimas décadas. Estudios posteriores demostraron que ese adelgazamiento en su mayor parte era causado por los compuestos halógenos, CFC`s, y principalmente compuestos que contienen bromo y cloro.

En 1989 después de años de negociaciones, se llevó a cabo un acuerdo internacional en Montreal – Canadá, llamado el Protocolo de Montreal, en el cual se hizo un acuerdo entre Gobiernos, industrias, organizaciones y grupos ecologistas, para disminuir las emisiones

contaminantes de compuestos de Clorofluorocarbonados (CFC) de manera gradual para cumplir con su total desaparición para el año 2010.

Posteriores investigaciones, por parte de científicos para buscar un sustituto benéfico para los refrigerantes CFC, trajo consigo un nuevo compuesto que incluía hidrogeno en vez de cloro (principal agente destructivo del ozono), llamado refrigerantes HFC (hidrofluorocarbonos), los cuales no afectan la capa de ozono y poseen las mismas características termodinámicas que sus predecesores. Estos son ampliamente utilizados como sustituto ideal de refrigerantes como el R12 y R11. Se han ido desarrollando variados compuestos de HCFC, para diferentes sistemas de refrigeración como el R 124 para sustituir al R 114. Pero así como los CFC destruyen la capa de ozono, recientes investigaciones encontraron que uno de los principales compuestos que generan el llamado efecto invernadero sobre el planeta, en un alto porcentaje es generado por los hidrofluorocarbonos HFC sustitutos de los CFC. Por lo cual se busca ahora a principios del siglo XXI buscar refrigerantes que sustituyan al R – 134a, al R - 502, entre otros utilizados ampliamente en el mercado de Refrigeración y Aire acondicionado.

En estos tiempos se habla muy seriamente de los efectos nocivos producidos por emisiones de gases de compuestos y combustibles utilizados para la generación y aprovechamiento de la energía, y además las consecuencias que éstos pueden traer en un futuro sobre el calentamiento global. Es importante tener en cuenta que uno de los agentes más destructivos, como ya se mencionó, son los fluidos refrigerantes utilizados en sistemas de refrigeración. El mal manejo de estos productos ha traído consigo efectos altamente graves sobre nuestro planeta, causando cambios extremos en el equilibrio natural del medio ambiente.

Este documento se realiza con el fin de dar a conocer los refrigerantes alternativos de hidrocarburos, sus beneficios económicos y medioambientales, así como los procesos que se deben llevar para su manejo seguro y eficiente. Su implementación es importante ya que acuerdos internacionales como el protocolo de Montreal, buscan sacar de circulación la utilización de CFC´s en la industria de la refrigeración y aire acondicionado, así como la industria de las espumas. También la eliminación de sustancias agotadoras de la capa de ozono SAO´s. Además otro acuerdo importante es el Protocolo de Kioto que busca eliminar la producción, utilización y manejo de sustancias generadoras de efecto invernadero, entre las cuales se encuentran los HFC Y HCFC`s.

3. CALENTAMIENTO GLOBAL

El aumento desproporcionado de la temperatura en la atmósfera de la Tierra es un tema del cual se ha hablado desde hace mucho tiempo. La temperatura promedio que se mantiene en la atmósfera terrestre es causada por gases de efecto invernadero, que son emitidos por diferentes sistemas naturales del planeta, aunque a estas emisiones se suman las generadas por la tecnología humana. Se sabe que la fuente de energía principal del planeta Tierra es el Sol; una muy pequeña parte de esta energía transferida por los rayos UV e infrarrojos penetra a la atmósfera, otra es disipada de forma natural por diferentes factores y otra se acumula en la atmósfera; este calor permite que se mantenga una temperatura promedio para mantener la vida en la Tierra. Como veremos mas adelante, las emisiones de combustibles fósiles y el mal manejo de sustancias refrigerantes, ha causado un desequilibrio casi irreversible de las condiciones de temperatura de nuestro planeta, generando grandes cambios climáticos.

Durante el siglo XIX, en el área de refrigeración y aire acondicionado se comenzaron a utilizar compuestos a base de cloro, los cuales actúan en la atmósfera como agente destructivo del ozono, además de otros como los combustibles fósiles que emiten CO₂, generando el llamado efecto invernadero. Estos entre muchos productos más se comenzaron a producir y a utilizar en masa en diferentes sistemas.

El efecto invernadero ha producido un aumento en la temperatura promedio del planeta, afectando el equilibrio dinámico del clima a escalas muy grandes. Uno de los problemas más visibles es el derretimiento de los casquetes polares, que ha producido un aumento en el nivel del agua oceánica, trayendo consecuencias en las costas marítimas de todo el mundo, inundando grandes zonas costeras, y afectando plantaciones agrícolas en varios sectores.

4. PROTOCOLO DE MONTREAL

Mediante un acuerdo internacional realizado y concretado a mediados de 1989, en la ciudad de Montreal – Canadá, en la que participaron 24 países y la Comunidad Económica Europea (CEE), se trabajó el tema sobre las SAO (sustancias agotadoras del ozono), mediante el cual se fijaron fechas y programas para la eliminación de estas sustancias. Al conocer sobre los problemas ambientales que producían los refrigerantes CFC, todos los países, en su mayoría productores mayoristas de este producto, firmaron este acuerdo para eliminar estas sustancias. Este acuerdo consistía en eliminar los CFC´s, principales destructores de la capa de ozono, antes del 2000 para los países desarrollados, y diez años más de plazo para los países en desarrollo.

En 1990, en Londres también se expandió el programa de eliminación de CFC´s y se agregó al acuerdo la eliminación de los refrigerantes HCFC. En 1992, en la reunión en Copenhague, asistieron más de 90 países, mostrando así la preocupación mundial por los efectos nocivos de estas sustancias y su interés por eliminarlas.

El convenio define las enmiendas como los cambios a alguna o algunas condiciones del tratado, que pueden afectar los estados firmantes del convenio. También se hacen con el fin de agregar alguna sustancia agotadora del ozono, para fijar plazos o aumentarlos, para mejorar acuerdos ya tratados y mejorarlos para que sean mas exactos; obteniendo así un protocolo más completo, con propósitos encaminados a la globalización y concientización del medio ambiente.

4.1. SUSTANCIAS AGOTADORAS DE LA CAPA DE OZONO (SAO)

Las sustancias que de alguna manera al ser expulsadas al medio ambiente (por malas prácticas de mantenimiento o mal manejo de compuestos), afectan el ozono contenido en la capa estratosférica, se les denomina en el Protocolo de Montreal como Sustancias Agotadoras de la capa de Ozono SAO. En el protocolo de Montreal se listan estas sustancias entre las cuales se encuentran: CFC´s, HFC´s, HCFC´s, halógenos, freones, propelentes de aerosoles, solventes industriales, entre otras sustancias.

En la siguiente tabla se muestran los principales agentes controlados por el Protocolo de Montreal:

Tabla 1. Principales SAO's, sustancias agotadoras de Ozono controladas por el Protocolo de Montreal.

ANEXO	Tipo de SAO	Nombre	PAO
Anexo A Grupo 1	Clorofluorocarbono CFC	CFC - 12	1.0
		CFC - 11	1.0
		CFC - 113	0.8
		CFC - 114	1.0
		CFC - 115	0.6
Anexo B Grupo 1	Clorofluorocarbono CFC	CFC-13	1.0
		CFC-111	1.0
		CFC-112	1.0
		CFC-211	1.0
		CFC-212	1.0
		CFC-213	1.0
		CFC-214	1.0
		CFC-215	1.0
		CFC-216	1.0
CFC-217	1.0		
Anexo C Grupo 1	Grupo de Hidroclorofluorocarbono HCFC	HCFC-21	0.04
		HCFC-22	0.055
		HCFC-31	0.02
		HCFC-121	0.01-0.04
		HCFC-141b	0.11
		HCFC-142b	0.065

PAO: Potencial de agotamiento del Ozono

Fuente: Tomado de Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT. <http://www.ingenierogildardo.com/articulos.htm>.

Las sustancias agotadoras del ozono son compuestos químicos que contienen cloro fluor o bromo, estas reaccionan con el ozono, generando el desgaste y disminución de la capa de ozono. Cada grupo de sustancias tiene un grado de potencial de reacción con el ozono, llamado potencial de agotamiento del ozono (PAO).

En los países en desarrollo se siguen utilizando SAO's como refrigerantes en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, también se utiliza como agente espumante, y en aerosoles insecticidas, entre otras aplicaciones. Los CFC's se están reemplazando por refrigerantes que son menos nocivos para la capa de ozono y menos generadores de calentamiento global, entre los cuales se encuentran:

HCFC (PAO Y PCG > 0)

HFC (PAO=0 Y PCG > 0)

REFRIGERANTES DE HIDROCARBURO HC (PAO Y PCG = 0)

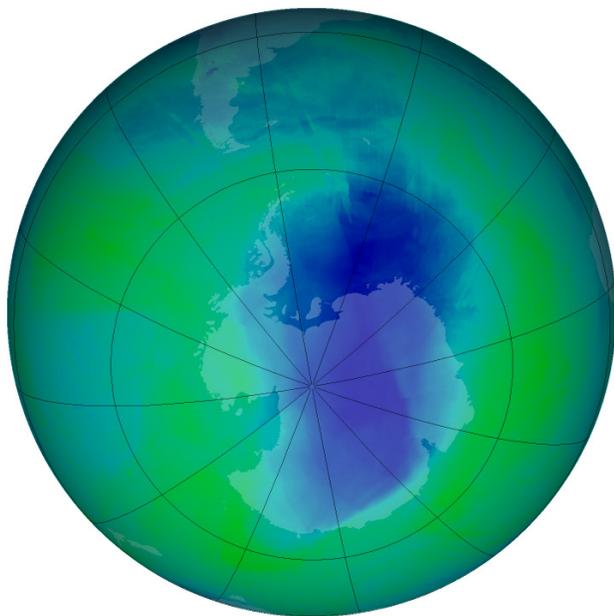
Cada país tiene un plan de eliminación y sustitución de CFC's, en donde se indican, los métodos de recuperación de tal sustancia y su reemplazo por otra con menor PAO y PCG (PAO: potencial de agotamiento del ozono y PCG: potencial de calentamiento global), en nuestro caso describiremos algunos refrigerantes de hidrocarburos sustitutos eficientes de algunos refrigerantes tradicionales además de los HFC's. las medidas de seguridad, requisitos del taller, clase de soldaduras, detección de fugas, utilización de máquinas recuperadoras y cilindros de recuperación.

Se siguen utilizando CFC-12 y HFC-134a en refrigeradores domésticos, aun más en países en desarrollo donde no se ha comenzado seriamente a eliminar estos agentes contaminantes. También se siguen utilizando y produciendo refrigerante HCFC 22 y R502, aplicado comúnmente en la refrigeración de exhibición comercial, donde se almacenan productos congelados y alimentos frescos. Es de vital importancia que las empresas o técnicos que manejan, instalan o realizan mantenimientos a equipos de refrigeración y aire acondicionado, se cercioren de no utilizar CFC's en tales sistemas y si es necesario realizar el respectivo cambio de refrigerante por uno no contaminante.

Estos refrigerantes contienen fluor, carbono, cloro y algunos de éstos hidrógeno. La disminución en la producción de países industrializados ha logrado disminuir de manera lenta pero progresiva la producción y la comercialización de estos productos.

5. AGUJERO EN LA CAPA DE OZONO¹

En 1974, los científicos Sherwood Rowland, Paul Crutzen y Mario Molina, por cuenta de sus investigaciones descubrieron que sustancias como los CFC's estaban desgastando, a una tasa muy alta, la capa de ozono que nos protege de los llamados rayos ultra violeta (UV), conocidos por generar graves enfermedades en los seres humanos, como el cáncer de piel, y producir daños en ecosistemas marítimos y terrestres. Por su descubrimiento, que ayudó a tomar medidas preventivas para la eliminación de los CFC's entre otros compuestos, estos tres científicos recibieron el premio Nobel de química en 1995.



Cada molécula que es emitida de estos compuestos reacciona como agente destructivo en la estratósfera, donde destruye miles de moléculas de ozono. Este sirve como un filtro que protege a nuestro medio de los rayos UV, limitando su entrada como un escudo protector, evitando así sus efectos nocivos contra el planeta.

Figura 1. Agujero en la capa de ozono

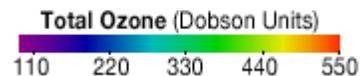


Imagen del agujero de ozono más grande en la Antártida registrada en Diciembre de 2008. Datos obtenidos por el instrumento Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) a bordo de un satélite de la NASA.

Fuente: Tomado de la página web de la NASA. <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/index.html>

Esta es la condición actual de la capa de ozono del planeta, como vemos, la parte azul representa una cantidad de casi 100 Dobson y la verde de 300 Dobson, esta situación es causada por la emisión de sustancias agotadoras del ozono, explicadas anteriormente.

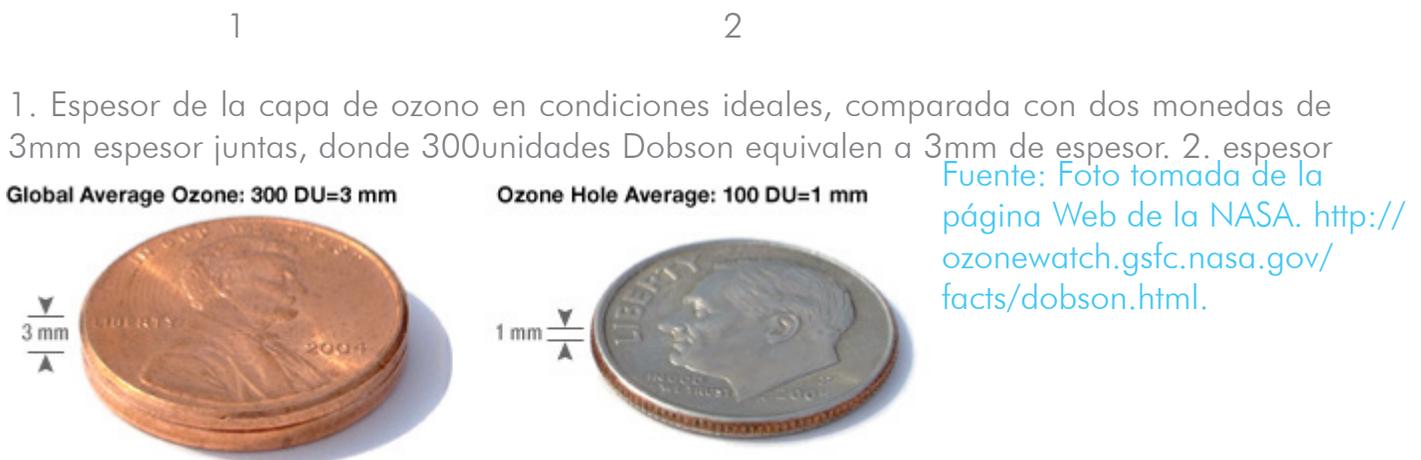
¹Tomado y adaptado: la página Web de la NASA "OZONE HOLE WATCH", <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/index.html>

5.1. MEDIDA DE LA CAPA DE OZONO

La unidad que mide la concentración de ozono presente en la estratósfera se le denomina Unidad Dobson, es el número de las moléculas de ozono que se requerirían para crear una capa de ozono puro de 0.01 milímetros de espesor en una temperatura de 0 grados Celsius y una presión de 1 atmósfera (la presión atmosférica en la superficie de la Tierra). Dicho de otra forma, una columna de aire con una concentración de ozono de 1 Unidad Dobson contendría sobre 2.69×10^{16} moléculas de ozono para cada centímetro cuadrado del área en la base de la columna. Sobre la superficie de la Tierra, el grosor medio de la capa de ozono es aproximadamente 300 Unidades Dobson o una capa que es 3 milímetros de espesor.

La cantidad media de ozono en la atmósfera está aproximadamente 300 Unidades Dobson, equivalente con una capa 3 milímetros (0.12 pulgadas) gruesa - la altura de 2 peniques apilados juntos. Lo que los científicos llaman el Ozono Antártico "el Agujero" es un área donde la concentración de ozono se cae a un promedio de aproximadamente 100 Unidades Dobson. Cien Unidades Dobson de ozono formarían una capa sólo 1 milímetro de espesor si fuera comprimido en una capa sola, sobre la altura de una moneda de diez centavos.

Figura 2. Comparación de espesor de la capa de ozono.

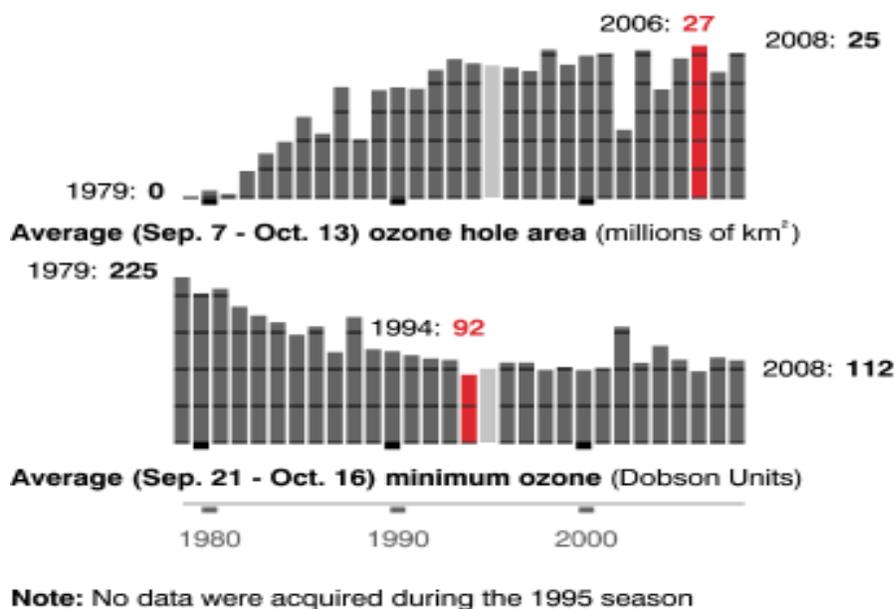


medio de hueco de la capa de ozono comparado con una moneda de 1mm de espesor, donde 100 unidades Dobson equivalentes a 1mm de espesor.

5.2. AGUJERO DEL OZONO ANTÁRTICO

Desde el año de 1979, la NASA viene registrando, satelitalmente, los cambios en la capa de ozono del antártico. Se tiene varias fotos del progresivo desgaste que se ha extendido durante décadas. El crecimiento exponencial del agujero en el antártico ha crecido paralelamente al consumo y producción de los refrigerantes CFC's. En la página Web de la NASA, se puede observar diariamente los registros fotográficos de la cantidad de ozono presente en la zona antártica del globo terráqueo.

Figura 3. Comparativo del crecimiento del agujero de la capa de ozono y disminución del ozono desde 1979 hasta el año 2008.



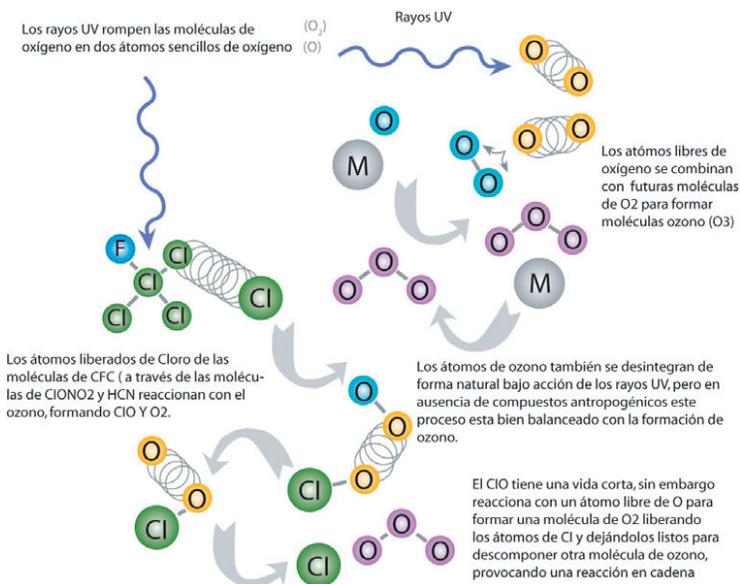
Fuente: Tomado de la página Web de la NASA. <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/index.html>

5.3. ADELGAZAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO

En el protocolo de Montreal se estipula la eliminación de las sustancias agotadoras del ozono, por lo cual se enumeran una gran cantidad de sustancias que al ser arrojadas al medio ambiente suben hasta la estratósfera para reaccionar y acabar con las partículas de ozono presentes en el medio. Ver figura.

La duración de la vida de una SAO puede extenderse entre los 100 y los 400 años, dependiendo del tipo de SAO. Por consiguiente, una molécula de SAO puede destruir cientos de miles de moléculas de ozono.²

Figura 4. Destrucción de la capa de ozono.



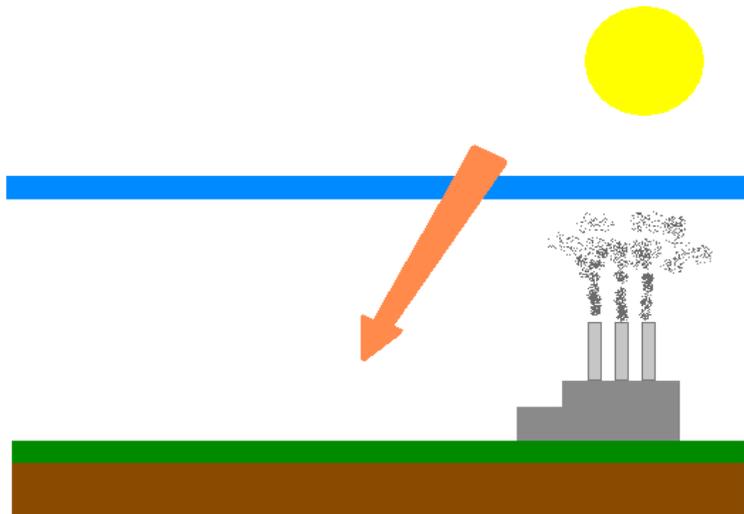
Fuente: Tomado de Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT. <http://www.ingenierogildardo.com/articulos.htm>.

²Tomado de Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT. <http://www.ingenierogildardo.com/articulos.htm>.

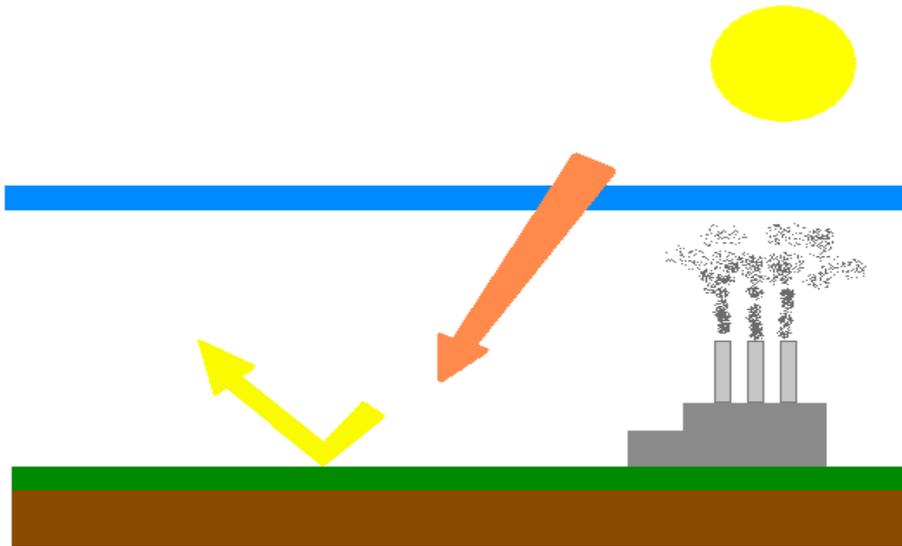
6. EFECTO INVERNADERO

El efecto invernadero es un fenómeno que se presenta de forma natural para mantener la temperatura del planeta, ya que parte de la energía del sol que entra al planeta es retenida por este. Esto produce que en la troposfera donde habitamos todos los seres humanos y demás seres vivos, se mantenga una temperatura promedio que permite la vida en la Tierra.

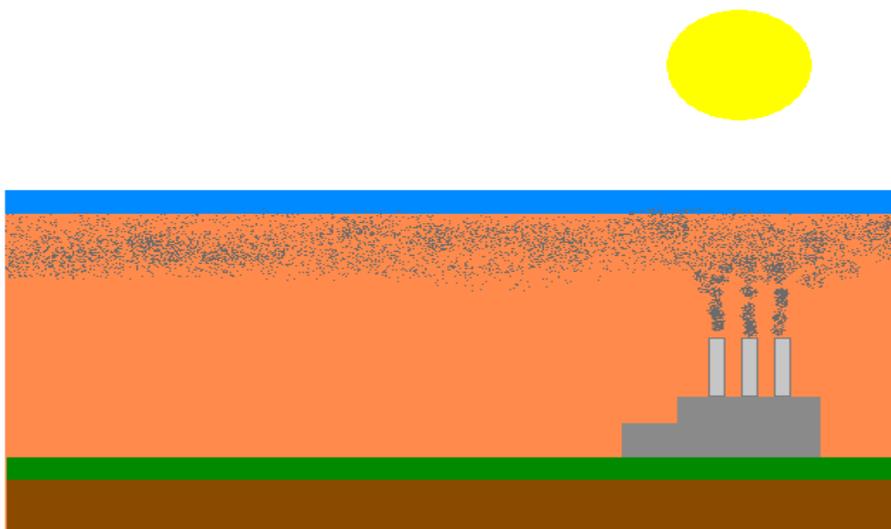
La emisión de gases fósiles y de CFC's entre otros ha aumentado este fenómeno, ya que estos gases se poseionan a lo alto de la capa troposférica, causando que se aumente la temperatura de la Tierra al exponerla a una mayor entrada de rayos ultravioleta e infrarrojos. Se dice que el CO₂, uno de los compuestos con mayor emisión, aumenta en dos grados la temperatura de la Tierra. Ahora entre gases como los CFC's, HCFC's, ampliamente utilizados en el mercado de la refrigeración y acondicionamiento del aire, el metano, producido por el ganado y algunas plantaciones, y el oxido nitroso, aumentarían en dos grados más la temperatura terrestre. Estos significativos cambios causarían daños catastróficos al equilibrio natural de nuestro medio ambiente, produciendo el derretimiento de los hielos polares y por consiguiente un aumento en el nivel del agua oceánico. Elevando o disminuyendo la temperatura en algunos ecosistemas, lo suficiente para extinguir miles de especies.



Gases como el metano, el vapor de agua y el CO₂, generan una capa que impide la expulsión de parte de la energía que entra a la Tierra.



Un 70% de esta energía es absorbida por la superficie terrestre y otra es reflejada hacia el espacio exterior. La radiación infrarroja es retenida a causa de los gases de efecto invernadero, esto permite mantener una temperatura en equilibrio que conserva la vida en la Tierra.



El desequilibrio parcial de este fenómeno puede traer consecuencias irreversibles al comportamiento climático natural del planeta. Un aumento en la temperatura del medio ambiente causado por emisiones de gases de efecto invernadero, como los CFC's, y el CO₂, ha producido uno de los efectos más frustrantes: El

aumento del nivel del océano, que ha registrado un aumento de 30cm a 1m, La fusión térmica (consecuencia del derretimiento de los casquetes polares), la expansión térmica oceánica, entre otras, son las causas de este fenómeno. También las emisiones de las SAO's, producen otro problema socio-ecológico que tiene que ver con la humedad relativa del ambiente. Recientes investigaciones han mostrado un aumento o disminución en las precipitaciones en algunas zonas terrestres. Esto causa grandes inundaciones o largas sequías que pueden afectar cultivos y posteriormente la economía de un país.

Los efectos producidos por este fenómeno afectarán a cientos de poblaciones, disminuyendo la cantidad de agua potable, acabando con cultivos y aumentando el índice de mortandad por falta de alimentos y recursos sostenibles.

El aumento en la temperatura en los polos del planeta, causará la extinción de varias especies que ven afectado su ecosistema. Tal es el caso de osos polares de los árticos, al igual que una gran disminución del plantón, principal alimento de miles de especies marítimas.

En el 2001 se firmó el protocolo de Kioto, donde industrias de todo el mundo se comprometieron para disminuir la producción de sustancias que generan efecto invernadero.

7. GASES REFRIGERANTES³

Tabla 2. PAO y PCG de gases refrigerantes.

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	

³ 2002 Report of Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee. 2002 Assessment.

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	

Notas:

***PAO (Potencial de Agotamiento de Ozono):** medición de la capacidad de una sustancia de destruir el ozono estratosférico, sobre la base de su vida atmosférica, su estabilidad, su reactividad y el contenido de elementos que pueden atacar el ozono, como el cloro y el bromo. Todos los PAO se basan en la medición de su referencia de 1 para el CFC-11.

****PCG (Potencial de Calentamiento Global):** define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce una liberación instantánea hoy de 1kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO₂ está basado en un tiempo horizonte de 100 años, por ejemplo la emisión de 1 Kg. de R-134a es equivalente a la emisión de 1300 Kg. de CO₂.

*****Años de vida en la atmósfera:** no aparecen con los zeotropos ni con los azeótropos, debido a que estos refrigerantes están formados por dos o más gases, siendo el tiempo de vida en la atmósfera diferente en cada uno de los compuestos que forman la mezcla.

Fuente: 2002 Report of the Refrigeration, Air Conditioning, and Heat Pumps Technical Options Committee. 2002 Assessment.

Fuente: Tomado de Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT.
<http://www.ingenierogildardo.com/articulos.htm>.

8. PROTOCOLO MONTREAL EN COLOMBIA

La firma del Convenio de Viena Para la Protección de la Capa de Ozono por parte de Colombia se protocoliza mediante la Ley 30 del 5 de marzo de 1990. Por otra parte, Colombia hace parte del Protocolo de Montreal a partir de la aprobación de la Ley 29 de 1992. La fecha de adhesión fue en Diciembre 6 de 1993 y la fecha de entrada en vigor para Colombia: Marzo 6 de 1994.

Para que dicha participación fuera efectiva, el país preparó un documento de diagnóstico de la situación de consumo de Sustancias Agotadoras de Ozono en Colombia y un plan de acción para su eliminación paulatina. Este documento se denominó Programa País (PP) y su elaboración fue liderada por la cámara de electrodomésticos de la Asociación Nacional de Industriales (ANDI) y coordinada por el gobierno nacional.

En el documento “Programa País” se realizó un análisis sobre los niveles de consumo de las Sustancias Agotadoras de Ozono (SAO) en los diferentes sectores industriales y se establecieron las políticas y los planes de acción para la eliminación del consumo de estas sustancias. De acuerdo con el Programa País (1994) el mayor consumo de SAO se presentaba en el sector de mantenimiento en refrigeración doméstica, comercial e industrial con el 43% de participación. Esta cifra estaba seguida por los sectores productores de refrigeración comercial (16%), espumas (12%), refrigeración doméstica y consumo de halones cada uno de 11%. Para el año 1994 se estimó un consumo en Toneladas de Potencial de Agotamiento de Ozono (PAO), así: 2.114,6 de CFC (Anexo A Grupo I); 26,5 de halones (Anexo A, Grupo II); 20 de metil-cloroformo (Anexo B – Grupo III); 19,8 de HCFC (Anexo C, Grupo I) y 43,2 de bromuro de metilo (Anexo E, Grupo I).

El programa País de Colombia fue aprobado por el 12º Comité Ejecutivo del Fondo Multilateral en marzo de 1994. Colombia fue aceptada como país perteneciente al Artículo 5º del Protocolo de Montreal al adherirse a los beneficios y compromisos que esto implica.

Durante estos años de implementación del Protocolo (1994-2006), Colombia ha logrado reducir sus importaciones de SAO en más del 50%, mediante el desarrollo de proyectos de reconversión industrial gestionados por la UTO (Unidad Tecnica del Ozono). Esta institución ha expedido la normatividad de control de importaciones y exportaciones de estas sustancias, ha desarrollado proyectos de capacitación para técnicos en refrigeración y para personal de

aduanas y ha generado campañas de sensibilización y difusión de la problemática. Durante el año 2002 se desarrollaron actividades de preparación de la Actualización del Programa País con el objetivo de revisar la situación nacional y proponer un Plan Nacional de Eliminación (PNE) final de las SAO. Esta actualización, así como el PNE fueron aprobados por el Comité Ejecutivo del FMPM en su Reunión 41 de diciembre del 2003.

El ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial (MAVDT), viene desarrollando un plan de eliminación de las SAO's, apoyando así los protocolos firmados por países desarrollados y en vía de desarrollo para eliminar estas sustancias que acaban con la capa de ozono y generan calentamiento global.

Mediante la UTO (unidad técnica del ozono), que apoya técnicamente al MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible), en la implementación del protocolo de Montreal, tiene la misión de cumplir ciertas funciones para el cumplimiento de este compromiso:

- Identificación, formulación y coordinación de la implementación de proyectos de reconversión industrial para la eliminación de SAO
- Difusión sobre la problemática y sus soluciones, proyectos en ejecución, etc.
- Coordinación interinstitucional e intersectorial para fomentar los acuerdos del Protocolo de Montreal.
- Seguimiento a los proyectos ejecutados

8.1 DISMINUCIÓN SAO'S

Según la UTO, entre los compromisos que busca cumplir Colombia, se encuentra la eliminación de los CFC's, en un 100% en el año 2010. El objetivo principal de la UTO es la implementación de protocolo para disminuir la producción al máximo de estos refrigerantes y capacitar a técnicos en la materia sobre el reciclado y recuperación de estos refrigerantes sin afectar al medio ambiente.

El alto consumo de refrigerantes CFC's en Colombia ha llevado a la necesidad de hacer un plan de eliminación de estas sustancias, entre los cuales se encuentran el reemplazo de refrigerantes CFC Y HFC, por refrigerantes HC (de hidrocarburo), los cuales presentan un

PAO y un PCG mucho mas bajo que los anteriores. Es importante destacar que equipos domésticos de refrigeración siguen utilizando Freón 12 como fluido frigorífico al igual que los sistemas de acondicionamiento de aire en automóviles.

Algunas empresas colombianas se han puesto a la tarea de hacer drop – in en sistemas de confort de automóviles, realizando recuperación de refrigerante CFC´s por su sustituto alternativo de HC. Además de promulgar mediante conferencias y grupos de trabajo la necesidad de apoyar la gestión de los protocolos de Montreal y de Kioto para eliminar por completo estas sustancias que tanto daño le han hecho al planeta Tierra.

8.1.1 ESTADO DE AVANCE DE COMPROMISOS DE COLOMBIA⁴

En el sector de refrigeración y aire acondicionado:

- Reconversión de la totalidad de las industrias de refrigeración doméstica
- Implementación del proyecto piloto de aire acondicionado móvil
- Ejecución de 23 proyectos de refrigeración y aire acondicionado con una inversión de US\$ 8.96 millones

En el sector de espumas

- Reconversión de la mayor industria de espumas de poliestireno
- 19 proyectos en espumas por US\$3.77 millones

En el sector de solventes:

- Un proyecto de sustitución de CFC – 113 en procesos de fabricación de jeringas por US\$92.184
- En las siguientes tablas se presentan los resultados de la reconversión en las industrias, hasta el año 2004.

⁴ Tomado y adaptado de : Control del Comercio de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono - Manual de Capacitación de servidores Públicos de Aduanas, UTO

Tabla 3. Consumo y reducción a nivel industrial en Colombia de SAO's.

Resultados obtenidos en términos de reconversión industrial				
Sector	Consumo 1992 (Ton ODP)	No. De proyectos	Consumo 2004 (Ton ODP)	Reducción consumo (Ton ODP)
Manufactura Ref. y Aire Acondicionado	238	17	35	203
Servicio Ref. Aire Acondicionado	941	2	796,05	144,95
Espumas	52	19	58,21	-6
Aerosoles	0	8,08	-8	
Solventes	590,6	2	2,91	587,69
Halones	210	0	0	210
Fumigantes - Bromuro de Metilo	250	2	0	250
Total	2281,6	42	900,25	1381,64

Fuente:http://www.pnud.org.co/img_upload/9056f18133669868e1cc381983d50faa/control_del_comercio_de_sustancias_agotadoras_de_la_capa_de_ozono.pdf

Tabla 4. Resultado de eliminación SAO's.

Resultados en términos de eliminación de SAO				
Anexo	SAO	Línea Base (Ton ODP)	Consumo 2004 (Ton ODP)	Reducción %
A1	CFC	2208,2	899,53	59,31
A2	Halones	187,7	0	100
B1	Otros CFC	0	0	n.a
B2	TCC	6,1	0,72	86,89
B3	Metilcloroformo	0,6	0	100
E1	Bromuro de Metilo	110,1	0	100
Total		2512,7	900,25	64,21

Fuente:http://www.pnud.org.co/img_upload/9056f18133669868e1cc381983d50faa/control_del_comercio_de_sustancias_agotadoras_de_la_capa_de_ozono.pdf

8.2 DISTRIBUCIÓN CONSUMO DE SAO

Tabla 5. Consumo SAO's en Colombia.

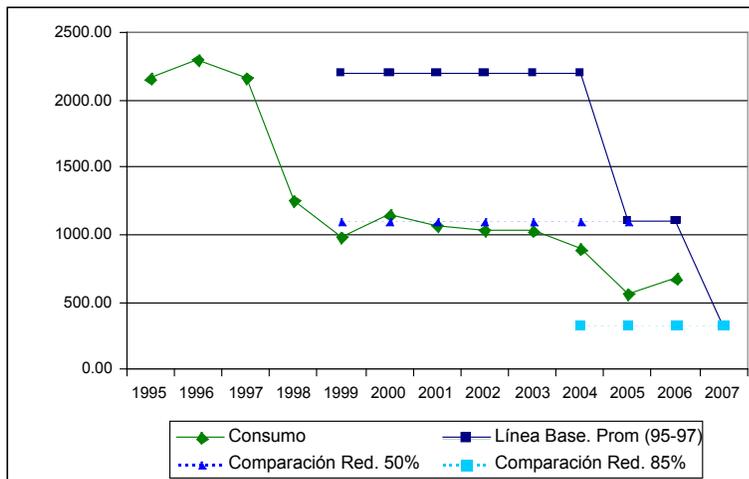
Sustancia	Extintores de fuego	Espumas	Sector		Solventes	Total
			Refrigeración			
			Manufactura	Servicio		
Anexo A, Grupo I						
CFC11				19,32		19,32
CFC12		15		639,64		654,64
CFC113						0
CFC114						0
CFC115				4,46		4,46
Halón (Anexo A G2)	0					0
TCC (Anexo B G2)					0,61	0,61
Br - Me (Anexo E)						0
Subtotal	0	15	0	663,42	0,61	679,03

Fuente: <http://www1.minambiente.gov.co>

8.2.1. LOGROS OBTENIDOS

Dentro de los logros obtenidos sobre la implementación de la medida, se encuentra la disminución de importaciones de SAO, las cuales para el 2005 fueron 585 Ton, es decir un 70% debajo de la línea base del país. La obligación para el 2008 es disminuirla en más del 50%, y para el 2010 se propone que sea una disminución completa del 100%.

Figura 5. Consumo anexo A grupo I.



Fuente: http://www1.minambiente.gov.co/viceministerios/ambiente/ozono/colombia_protocolo_1.htm

El proyecto que buscaba reconvertir la utilización del CFC-11 como agente espumante en empresas que producen el poliuretano, ya fue terminado. Más de 35 empresas recibieron equipos de inyección, junto a capacitaciones para más de 100 empresas en nuevas tecnologías que no utilizan CFC.

Mediante el proyecto de certificación de técnicos en mantenimiento de sistemas de refrigeración y aire acondicionado, se han registrado y sensibilizado 4000 técnicos a nivel nacional, de los cuales 1500 ya están certificados por competencias laborales en el "Manejo ambiental de refrigerantes", gracias a las alianzas con las entidades certificadoras SENA e ICONTEC. Las principales empresas de mantenimiento nacionales están vinculadas. El proyecto prevé certificar 5000 técnicos en la norma ambiental.

A nivel normativo se expidieron resoluciones que permiten controlar las importaciones de todas las sustancias agotadoras de ozono incluidas en el Protocolo de Montreal. Bajo este esquema ninguna sustancia incluida en las tablas de la SAO's mencionados podrá ingresar al país sin los requerimientos respectivos.

9 USO RACIONAL DE LA ENERGÍA⁵

La energía es la base de la vida en nuestro planeta, como también es parte esencial en la evolución y supervivencia de la raza humana. Básicamente la economía mundial depende de la existencia de ésta y aún más de su uso racional.

Existen varias fuentes de energía, pero muy pocas renovables, es decir que se puedan volver a utilizar. Por esta razón se viene hablando de la relación entre el consumo de energía en diferentes sistemas y el gasto de las fuentes que la abastecen, al igual que las emisiones que generan en cada proceso.

Una de las fuentes de energía de mayor consumo son los fósiles (petróleo, gas, carbón), durante los últimos diez años se a incrementado de manera exponencial la utilización de medios automovilísticos de transporte en el mundo, aumentando la demanda de dicha energía y aún más las emisiones que finalmente produce su consumo. La disminución de estos recursos energéticos afecta directamente el desarrollo económico y tecnológico del mundo. Por eso nace la necesidad de buscar fuentes de energía renovables, que reemplacen de forma eficiente y no contaminante a las formas de energía tradicionales.

⁵ Tomado y Adaptado: Revista ACAIRE, Edición No 53, Septiembre – Octubre 2008, URE

Tabla 6. Principales Fuentes de Energía

FUENTE DE ENERGÍA PRIMARIA EN EL MUNDO			
		Fuente	Participación (%)
Combustibles Fósiles		Petróleo	35,3
		Gas	21,1
		Carbón	23,1
Renovables		Hidráulica	2,2
		Tradicional	9,5
		Nuevas Tecnologías	2,2
Nuclear			6,6
			6,6

Fuente: Tomado de la Revista Acaire ed. 53. 2008. Página 12.

Las energías renovables como la biomasa, la energía solar, eólica, los recursos hídricos energéticos y la energía geotérmica. Tienen un potencial de contaminación nulo o casi nulo, no afectan la capa de ozono como también, no generan gases de efecto invernadero. En estos momentos la utilización de estas fuentes alternativas en el mundo esta en un 14%, con respecto a la demanda de energía global.

Tabla 7. Agresiones ambientales debido a las actividades humanas, por sector, a mediados de la década de 1990.

AGRESIONES AMBIENTALES DEBIDO A LAS ACTIVIDADES HUMANAS, POR SECTOR, A MEDIADOS DE LA DÉCADA DE 1990						
Agresiones	Línea Base Natural	Índice de disrupción humana	Cuota Disrupción humana ocasionada por:			
			Suministro de energía comercial	Suministro de energía tradicional	Agricultura	Fabricación, otros
Agresiones Emisiones de plomo a la atmósfera	12.000 t/año	18	41 por ciento (combustión de combustibles fósiles, incluidos los aditivos)	Pequeño	Pequeño	59 por ciento (proceso de metales, fabricación, incineración de residuos)
Aceite añadido a los océanos	200.000 t/año	10	44 por ciento (petróleo, cosechas, proceso, transporte)	Insignificante	Insignificante	56 por ciento (eliminación de residuos de aceite, incluidos los cambios de aceite de motor)
Cadmio Emisiones a la atmósfera	1.400 t/año	5,4	13 por ciento (combustión de combustibles fósiles)	5 por ciento (Combustión de combustibles tradicionales)	12 por ciento (incendios agrícolas)	70 por ciento (proceso de metales, fabricación, incineración de residuos)
Total azufre Emisiones a la atmósfera	31 millones t/año	2,7	85 por ciento (combustión de combustibles fósiles)	0,5 por ciento (Combustión de combustibles tradicionales)	1 por ciento (incendios agrícolas)	13 por ciento (fusión, incineración de residuos)

Flujo de metano a la atmósfera	160 millones t/año	2,3	18 por ciento (combustibles fósiles, cosechas y proceso)	5 por ciento (Combustión de combustibles tradicionales)	65 por ciento (arroz sin desgranar, animales domésticos, limpieza de terrenos)	12 por ciento (vertederos)
Fijación del nitrógeno (como Nox, NH 4)	140 millones (t-N/año)	1,5	30 por ciento (combustión de combustibles fósiles)	2 por ciento (Combustión de combustibles tradicionales)	67 por ciento (fertilizantes, incendios agrícolas de terrenos)	1 por ciento (incineración de residuos)
Mercurio Emisiones a la atmósfera	2.500 t/año	1,4	20 por ciento (combustión de combustibles fósiles)	1 por ciento (Combustión de combustibles tradicionales)	2 por ciento (incendios agrícolas)	77 por ciento (proceso de metales, fabricación, incineración de residuos)
Oxido nitroso Flujos a la atmósfera	33 millones t/año	0,5	12 por ciento (combustión de combustibles fósiles)	8 por ciento (Combustión de combustibles tradicionales)	80 por ciento (fertilizantes, limpieza de terrenos, disrupción de acuíferos)	Pequeño
Partículas Emisiones a la atmósfera	3.100 millones t/año	0,12	35 por ciento (combustión de combustibles fósiles)	10 por ciento (Combustión de combustibles tradicionales)	40 por ciento (incendios agrícolas)	15 por ciento (fusión, limpieza de terrenos no agrícolas, residuos)
Hidrocarburos que no contienen metano Emisiones a la atmósfera	1.000 millones t/año	0,12	35 por ciento (proceso y combustión de combustibles fósiles)	5 por ciento (Combustión de combustibles tradicionales)	40 por ciento (incendios agrícolas)	20 por ciento (fusión, limpieza de terrenos no agrícolas, residuos)
Dióxido de carbono Flujos a la atmósfera	150.000 millones t-C/año	0,05 (5)	75 por ciento (combustión de combustibles fósiles)	3 por ciento (Combustión de combustibles tradicionales)	15 por ciento (deforestación neta para limpieza de terrenos)	7 por ciento (deforestación neta para madera, fabricación de cemento)

Nota: la magnitud de la agresión es solo un factor que determina el tamaño del impacto ambiental real. (1) El índice de disrupción se define como la relación entre el flujo generado por los humanos y el flujo natural (de la línea base). (2) en esta tabla se asume que la parte correspondiente a la automoción de las emisiones de plomo inducidas por el hombre representa un 50 por ciento. (3). Calculando en base a la fijación total del nitrógeno menos la de N₂O. (4)Masa seca. (5)Aunque aparentemente pequeño, debido a la larga vida atmosférica y otras características del CO₂, este ligero desequilibrio de los flujos naturales de CO₂ ocasiona un incremento anual de 0.4 por ciento en la concentración atmosférica mundial.

Fuente: Tomado de la Revista Acaire ed. 53. 2008. Página 13.

10. REFRIGERANTES

Los gases refrigerantes son sustancias que cambian de estado, idealmente en condiciones de baja presión y temperatura. La función básica de esta sustancia es absorber y transportar grandes cantidades de calor. Por lo cual, al tener un punto de ebullición a más o menos -34°C , absorbe calor del medio, siendo la sustancia aplicada a sistemas de refrigeración y aire acondicionado

En los ciclos mecánicos de refrigeración se requiere el transporte de grandes cantidades de calor, con alta eficiencia y bajo un continuo funcionamiento. Luego se requiere la evaporación y condensación de una sustancia para permitir el enfriamiento o control de temperatura de una carga térmica.

Los refrigerantes deben tener las siguientes características según su aplicación:

- Una tasa alta de absorción de calor.
- Idealmente manejar bajas temperaturas en los cambios de estado.
- Su toxicidad debe ser baja o casi nula, ya que continuamente en los servicios de mantenimiento el técnico se puede ver afectado al tener contacto con este ya sea por vía respiratoria o por el contacto directo con la sustancia.
- Además, la composición química de tal sustancia refrigerante no debe contener agentes que generen efecto invernadero o agotamiento de la capa de ozono.

10.1. TIPOS DE REFRIGERANTES⁶

Los refrigerantes más utilizados en el mercado son los CFC's, HCFC's, HFC's, entre otros compuestos que resultan de la unión de estos y refrigerantes HC. La selección del refrigerante ideal depende de la aplicación a la cual va ser utilizado, según las propiedades térmicas que se necesiten para hacer un sistema eficiente, al igual que los dispositivos que van a funcionar dentro del ciclo.

⁶ Tomado y adaptado: Buena practicas de refrigeración y aire acondicionado, secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México D.F

10.1.1. CLOROFLUOROCARBONOS CFC

Son sustancias obtenidas de derivados de hidrocarburos, donde los átomos de hidrogeno son reemplazados por cloro y fluor. Son muy utilizados en equipos de refrigeración domésticos. Debido a su alto contenido de cloro al ser liberados al medio ambiente, reaccionan con el ozono, siendo el principal causante del adelgazamiento de la capa de ozono.

Es importante destacar que Colombia tiene el compromiso de acabar la producción y utilización de estos refrigerantes en un 100% para el año 2010. El potencial de agotamiento del ozono de esta sustancia esta entre 0.5 y 1.0.

A continuación observaremos una tabla donde aparecen algunos CFC´s regulados por el protocolo de Montreal en 1989. Podremos observar los refrigerantes R-12 y R-11, utilizados en su mayoría en sistemas de refrigeración a baja presión y en refrigeradores domésticos.

10.1.1.1. REFRIGERANTES R-12

Son utilizados en sistemas de refrigeración domésticos, comerciales y en aire acondicionado. Se caracteriza por ser una sustancia transparente, no toxica, ni irritante, puede trabaja bajo temperaturas de baja, media y alta. Es una de las sustancias controladas en el protocolo de Montreal al tener PAO de 1.

10.1.1.2. REFRIGERANTE R-11

Refrigerante para enfriadores de líquido centrífugos (Chillers), que operan con bajas presiones. Tiene una presión tan baja que se puede envasar y manejar en tambores en lugar de cilindros. Se requiere operar a bajo vacío para poder evaporar al CFC-11 a las temperaturas necesarias, y producir refrigeración. Además de ser usado como refrigerante, se utilizaba como solvente de limpieza en sistemas de refrigeración. Actualmente, con las nuevas disposiciones y por ser un refrigerante que daña la capa de ozono, no se debe de utilizar más como agente.

Limpiador en los sistemas de refrigeración y de aire acondicionado. También se utilizó como espumante, y en la limpieza de Componentes electrónicos. Esta sustancia está regulada por el Protocolo de Montreal y tiene un potencial de agotamiento PAO de 1. Su consumo en los países en desarrollo se debe eliminar al 100% en el año 2010.

Tabla 8. Algunos CFC's regulados por el protocolo de Montreal

Gas	Nombre	Fórmula
R-11	Triclorofluorometano	$C Cl_3 F$
R-12	Diclorodifluorometano	$C Cl_2 F_2$
R-113	Triclorotrifluoroetano	$C Cl_2 F C Cl F_2$
R-114	Diclorotetrafluoroetano	$C_2 F_4 Cl_2$
R-115	Cloropentafluoroetano	$C Cl F_2 C F_3$

Fuente: Tomado de Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT. <http://www.ingenierogildardo.com/articulos.htm>.

10.1.2 HIDROCLOROFUOROCARBONOS HCFC

Son la segunda categoría de refrigerantes, son menos contaminantes al contener moléculas de Hidrogeno en sus estructura, su PAO es muy bajo varía entre 0.001 a 0.11, son ideales reemplazos de los CFC, ya que prestan similares propiedades termodinámicas y de eficiencia energética. Hacen parte de las sustancias controladas por el protocolo de Montreal, a causa de que es un gas de efecto invernadero. Se permite su utilización hasta el año 2040.

10.1.2.1. REFRIGERANTE R22

Tiene una capacidad mayor de refrigeración que su predecesor el R12, ya que maneja presiones de saturaciones más altas y a una temperatura estable, tiene un calor latente de evaporación alto y un volumen específico considerablemente bajo.

Esto permite el uso de menor desplazamiento en el compresor y, en algunos casos, se utilizan compresores más pequeños para obtener resultados comparables con R-12. Por sus características a bajas temperaturas de evaporación y alto índice de compresión, la temperatura del vapor R-22 comprimido es tan alta, que frecuentemente daña el compresor. Por tal motivo, se recomienda para sistemas de un solo paso. 2

10.1.3. MEZCLAS ZEOTRÓPICAS

Están formadas por dos o más sustancias, que al mezclarse generan diferentes refrigerantes,

5 Tomado y adaptado: Buena practicas de refrigeración y aire acondicionado, secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México D.F

con diferentes tipos de propiedades térmicas, en el proceso de evaporación y en el de condensación, es decir en los puntos de saturación. Para estas mezclas se define el punto de burbuja como la temperatura a la cual se inicia la evaporación, y el punto de rocío, como la temperatura a la cual se inicia la condensación. También se requiere definir otras características como el fraccionamiento, que es el cambio en la composición de la mezcla cuando ésta cambia de líquido a vapor (evaporación) o de vapor a líquido (condensación), y el deslizamiento de la temperatura, que es el cambio de temperatura durante la evaporación, debido al fraccionamiento de la mezcla. Estas mezclas aceptan lubricantes minerales, alquilbenceno o polioléster, según sea el caso, facilitando las adecuaciones.

10.1.3.1. MEZCLAS MP – 39 Y MP – 66

Son mezclas de HCFC y otros productos químicos utilizados en industrias de refrigeración. Son buenos reemplazos para el CFC 12, ya que trabajan en equipos de media temperatura. Ambos son mezclas de HCFC-22, HFC-152a y HCFC-124.

El MP-39 (R-401A) es un refrigerante de adecuación, recomendado para vitrinas de supermercado, cuartos de refrigeración, máquinas expendedoras de bebidas, distribuidoras automáticas de alimentos, enfriadores de agua y refrigeradores domésticos. El uso del MP-39 deberá limitarse a aplicaciones en las que la temperatura de evaporación media se encuentre por encima de los -23°C (-10°F).

El MP-66 (R-401B) está diseñado principalmente para reemplazar al CFC-12 como refrigerante de adecuación, en refrigeración de transporte. Es adecuado para aplicaciones de congeladores domésticos y comerciales en los que la temperatura del evaporador se encuentre por debajo de -23°C (-10°F) y -40°C (-40°F).

10.1.3.2. REFRIGERANTE 409A

Es una mezcla de hidroclorofluorocarbonos, por lo cual es una sustancia regulada en países desarrollados, es una combinación de HCFC-22, HCFC-124, HCFC-124b. Es un válido reemplazo para el CFC-12, se deben tener en cuenta ciertas medidas de precaución al hacer el cambio para este refrigerante.

Es utilizado en sistemas de refrigeración, como exhibidores de alimentos para supermercados, enfriadores de agua, congeladores domésticos y comerciales, y transporte refrigerado.

10.1.4. MEZCLA AZEOTRÓPICA

Se identifica por un número de tres cifras que comienza con el 5. Está formada por dos o más sustancias simples o puras que tienen un punto de ebullición constante y se comportan como una sustancia pura, logrando mejores características de desempeño.

10.1.4.1. REFRIGERANTE R-502

Es utilizado en sistemas de baja temperatura, es una mezcla de R-12 y R-115, tiene excelentes propiedades termodinámicas, trabaja bajo temperaturas de evaporación menores de -17°C , se utiliza en cámaras de refrigeración, maquinas de hielo, vitrinas de alimentos. También es muy satisfactorio su uso en sistemas de doble paso y en aplicaciones para temperaturas extra bajas. Su uso esta regulado por ser una sustancia que contiene cloro, su uso esta restringido hasta el 2010.

10.1.5. HIDROFLUOROCARBONOS

Son sustancias que contienen hidrogeno, fluor y carbono. Este no afecta la capa de ozono al tener un PAO=0, pero si es una sustancia que genera efecto invernadero, luego está restringido su uso hasta el 2030 para los países desarrollados.

10.1.5.1. REFRIGERANTE R-134A

El gas R-134a ha sido seleccionado como el refrigerante alternativo para reemplazar al CFC-12 o al R-12 en aparatos automotrices de aire acondicionado, y es el candidato líder para ser usado en aparatos y aplicaciones selectas de equipos estacionarios de aire acondicionado. Además, puede ser de utilidad en aplicaciones distintas a las del acondicionamiento de aire y refrigeración. El R-134a tiene un PAO de cero, por lo que no afecta la capa de ozono. Se lubrica con aceite polioléster.

10.1.5.2. REFRIGERANTE R- 404A

Es una mezcla (HFC-125 / HFC-143a / HFC-134a) desarrollada para servir como refrigerante alternativo a largo plazo del R-502 y del HCFC-22, en aplicaciones comerciales de temperatura baja y media. Este producto es un HFC y por lo tanto no está programado para su discontinuación gradual bajo la presente regulación.

El R-404A es recomendado para hacer la adecuación de congeladores de supermercados,

máquinas expendedoras de bebidas, exhibidores de productos refrigerados, máquinas para fabricar hielo y transportes con cámara de refrigeración. Se lubrica con aceite polioléster.

10.1.5.3. REFRIGERANTE R-507

Es un azeótropo (HFC-125 / HFC-143a) diseñado para servir como una alternativa a largo plazo para el R-502 y el HFC-22, en aplicaciones comerciales de refrigeración de baja y media temperatura. Este producto es un HFC y por lo tanto no está programado para su discontinuación gradual bajo la presente regulación. El R-507 está recomendado para hacer la adecuación de congeladores para supermercados, charolas de exhibición, máquinas para fabricar hielo y se puede utilizar en equipo nuevo. Se lubrica con aceite polioléster.

11. REFRIGERANTES DE HIDROCARBUROS

Los refrigerantes de hidrocarburo son los reemplazos ideales de los CFC's, HCFC's y HFC's. ya que no afectan la capa de ozono y no generan efecto invernadero en la atmósfera al no contener fluor y cloro. Su PAO es de 0 y su PCG esta entre 0 y 5. Por lo cual son los refrigerantes alternativos ideales para el reemplazo en sistemas de refrigeración y aire acondicionado que siguen manejando flúidos frigoríficos que afectan al medio ambiente.

Los refrigerantes de hidrocarburo son gases naturales libres de cloro y fluor, son compuestos de hidrogeno y carbono. Se encuentran en forma natural principalmente en el gas natural, en el petróleo y en gases de refinerías. Son flamables bajo condiciones especiales, esto depende de protocolos de seguridad en su manejo, tienen baja reactividad química y constituye el componente más volátil de los derivados de petróleo.

Principalmente son:

- Isobutano R600a
- Propano R290
- Etano R170
- Y diversas mezclas de los mismos.

Desde que se descubrió el daño ambiental al que estaba sometido el planeta por la utilización y mal manejo de refrigerantes a base de cloro y bromo, se han desarrollado diferentes investigaciones en busca de sustancias alternativas que funcionen con las mismas características termodinámicas que sus predecesores.

Los HFC's, validos sustitutos de los CFC's, se utilizan como alternativas ya que poseen un bajo potencial de agotamiento de la capa de ozono, a la que estaba sometida a causa del cloro contenido en el compuesto. Pero investigaciones posteriores demostraron que estos refrigerantes generaran calentamiento global, ha causa de ser gases de efecto invernadero, aumentando peligrosamente este fenómeno, que ha generado cambios de clima drásticos y de consecuencias muy graves.

11.1. PROPIEDADES FÍSICAS E IMPACTO AMBIENTAL

Debido a la ausencia de cloro y fluor, los HC presentan un peso molecular mucho menor que el R12 o R134a, esto hace que sean menos contaminantes con el medio ambiente.

Tabla 9. Propiedades físicas de algunos refrigerantes.

REFRIGERANTE	ESTRUCTURA MOLECULAR	PESO MOLECULAR	TEMPERATURA CRÍTICA (°C)	PUNTO DE EBULLICIÓN (°C)
R12	$\begin{array}{c} \text{F} \\ \\ \text{F}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	120,9	111,8	-29,8
R 134a	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{F}-\text{C}-\text{C}-\text{F} \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{H} \end{array}$	102	101,2	-26
PROPANO (R290)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{H} \end{array}$	44,1	96,7	-41,7

BUTANO (R600)	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} $	58,1	151	-0,5
ISOBUTANO (R600a)	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} $	58,1	136,1	-11,7

Fuente: Tomado de <http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/93652.pdf>

Entre los beneficios que presenta la utilización de refrigerantes HC, en aplicaciones frigoríficas se encuentran:

- Excelente estabilidad química y térmica
- Menor peso molecular que otros refrigerantes
- Mayor eficiencia en el ciclo termodinámico del sistema

En la siguiente tabla podremos apreciar algunas características de los efectos ambientales de los HC, en comparación con otros refrigerantes.

Tabla 10. Impacto ambiental de algunos refrigerantes.

Refrigerante	PAO	PCG	Tiempo de vida
R12	1	7100	120 años
R134a	0	3200	60años
Propano (R290)	0	<5	meses
Butano (R600)	0	<5	semanas

Fuente: Tomado de <http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/93652.pdf>

11.2. INFLAMABILIDAD Y TOXICIDAD

Cuando se hace referencia a la inflamabilidad de una sustancia ó gas, se indica el límite superior (LS) e inferior (LI) de ignición del fluido. La diferencia entre estos límites se conoce como limite de inflamabilidad, y es la máxima o minima cantidad de gas contenida en el aire.

Cuanto mayor es el valor del LI, mas fácilmente es evitada la formación de una mezcla inflamable como presenta la Tabla 3.

Tabla 11. Limite de inflamabilidad

REFRIGERANTE	TOXICIDAD	INFLAMABILIDAD EN EL AIRE	
		LI	LS
R12	TLV=1000ppm	No flamable	
R134a	AEL=1000ppm	No flamable	
Propano (R290)	BAJA	2,1	9,5
Butano (R600)	Levemente Anestésico TLV=800ppm	1,8	8,5
Isobutano (R600a)	Levemente Anestésico TLV=no establecido	1,8	8,5

TLV = Valor Límite "Threshold" (ACGIH)

AEL = Límites de exposición permisibles (DuPont)

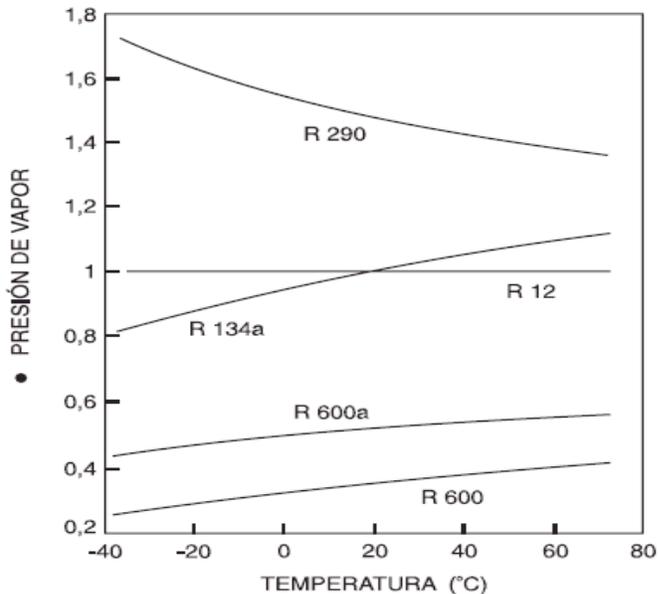
Fuente: Tomado de <http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/93652.pdf>

Como observamos en la tabla anterior, los refrigerantes HC, presentan un punto de inflamabilidad mucho más alto que los tradicionales. Por eso la necesidad de manejar de una manera segura estos refrigerantes al aplicarlos a un sistema de refrigeración, más adelante se mostrarán los pasos a seguir para el buen manejo de este refrigerante, sus medidas de seguridad y la manera de controlarlo para evitar accidentes indeseados.

11.3. PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE REFRIGERANTES HC

En el siguiente grafico presentamos las propiedades termodinámicas de los refrigerantes HC en comparación a los refrigerantes R-134^o y R12, y su eficiencia teórica en el ciclo ASHRAE.

Figura 6. Propiedades termodinámicas de los refrigerantes HC Vs. R12 y R134a.



Fuente: Tomado de <http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/93652.pdf>

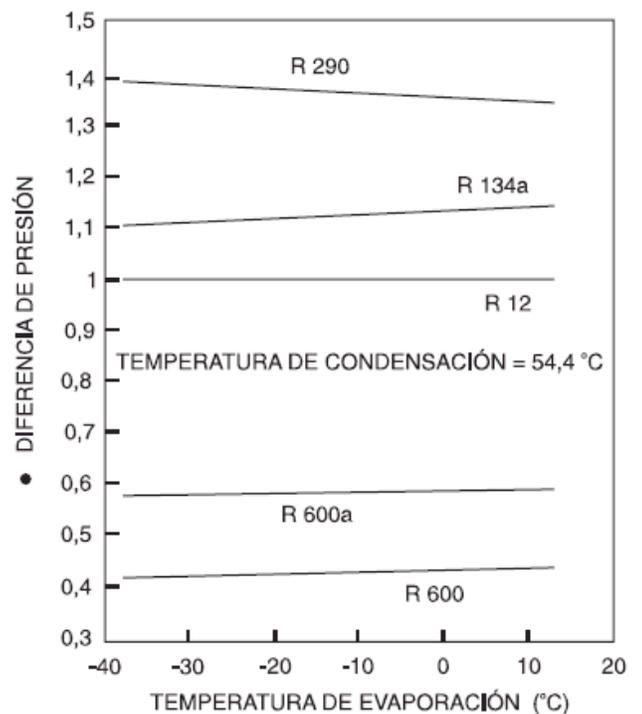
• EN RELACIÓN AL R 12

Comportamiento de presión de los refrigerantes hidrocarburos y R 134a en relación al R 12, en función de la temperatura.

Podemos observar que el Isobutano R600a y el Butano R600, manejan presiones más bajas que el R134a y el R12, facilitando el trabajo del compresor y aumentando la eficiencia del ciclo.

Figura 7. Comportamiento de la diferencia de presión con relación a la temperatura de evaporación.

Fuente: Tomado de <http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/93652.pdf>



El isobutano y butano presentan una diferencia de presión estable, lineal y además maneja presiones más bajas evitando así esfuerzos altos en el sistema de compresión, en comparación de los refrigerantes R134a Y R12 que manejan un cambio de estado con una presión mucho más alta afectando el dispositivo de compresión.

Tabla 12. Propiedades comparativas en el ciclo de refrigeración ASHRAE.

REFRIGERANTES		R12	R134a	R290	R600a	R600
Presión de Evaporación (-23,3°C)	bar	1,321	1,152 (- 12,8%)	2,165 (63,9%)	0,624 (- 52,8%)	0,389 (-70,5)
Presión de Condensación (54,4°C)	bar	13,47	14,71 (9,2%)	18,860 (40%)	7,614 (- 43,5%)	5,563 (- 58,7%)
Diferencia de Presión	bar	12,15	13,56 (11,6%)	16,70 (37,4%)	6,99 (-42,5%)	5,17 (- 57,4%)
Razón de Compresión		10,2	12,77 (25,2%)	8,71 (- 14,6%)	12,20 (19,6%)	14,30 (40,2%)
Diferencia de Entalpía de Evaporación	KJ/Kg	143,6	186,90 (30,2%)	353,40 (146,1%)	336,0 (134,0%)	356,30 (154,4%)
Volumen Especifico en la succión (60°C)	m ³ /Kg	0,1702	0,2322 (36,4%)	0,2828 (66,2%)	0,7554 (343,8%)	1,2160 (597,2%)
Flujo Másico para 630 BTU/h	Kg/h	4,628	3,556 (- 23,2%)	1,881 (-59,4%)	1,978 (- 57,3%)	1,819 (- 60,7%)
Desplazamiento Volumétrico (3000rpm)	cm ³ /rev	4,376	4,587 (5%)	2,965 (- 32,5%)	8,301 (89,7%)	12,288 (180,8%)
Temperatura de Descarga (Isentrópica)	°C	157,6	147,9 (-6,3%)	143,9 (-8,8%)	129,8 (- 17,7%)	133,1 (- 15,7%)
Temperatura Entrada del Dispositivo de Expansión	°C	32,2	32,2	32,2	32,2	32,2
Volumen Especifico	dm ³ /Kg	0,778	0,847 (8,9%)	2,080 (167,3%)	1,847 (137,4%)	1,773 (127,9%)
Flujo Volumétrico	dm ³ /Kg	3,6	3,012 (- 16,3%)	3,912 (8,7 %)	3,653 (1,5%)	3,225 (- 10,45)

Fuente: Tomado de <http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/93652.pdf>

11.4. MEZCLAS DE HIDROCARBUROS

El trimetilmetano o comúnmente llamado Isobutano R 600 a" y el Hidruro de Propilo comúnmente llamado Propano R 290, son componentes ideales que bajo una cantidad estable en la mezcla, crean el refrigerante HC 12 a, ideal reemplazo del R – 134ª. Además, de estos compuestos también tenemos el Dimetilo de Etano o el Etano R170, que junto con los anteriores pueden formar diferentes clases de refrigerantes para diferentes aplicaciones en refrigeración y aire acondicionado.



Figura 8. Diversas presentaciones de los refrigerantes.

Fuente: Memorias UTO.2004.

a. COMPONENTES DE REFRIGERANTES HC

Trimetilmetano. (Isobutano R 600 a)

Hidruro de Propilo. (Propano R 290)

Dimetilo Etano. (Etano R-170)

b. COMPONENTES DE LOS REFRIGERANTES DE HIDROCARBUROS

Tabla 13. Componentes de los refrigerantes HC.

Refrigerante HC	Componentes	%/v/v	CAS
HC 12 a	Trimetilmetano	30-60	75-28-5
	Hidruro de propilo	40/70	74-98-6
	Ingredientes no peligrosos	. =<2	
HC 22 a	Hidruro de propilo	. =>98	74-98-6
	Ingredientes no peligrosos	. =<2	
HC 502 a	Dimetilo	3.-7.	74-84-0
	Hidruro de propilo	60-100	74-98-6
	Ingredientes no peligrosos	. =<2	

Fuente: Información adaptada por David G. Rueda.

Dependiendo de la mezcla de HC, su porcentaje y composición determinamos los refrigerantes más utilizados como reemplazo alternativo a refrigerantes tradicionales CFC's.

c. Refrigerantes reemplazados por los Hidrocarburos

En el siguiente cuadro podremos observar las aplicaciones de las mezclas refrigerantes de HC, así como el refrigerante tradicional que puede reemplazar. No obstante, mas adelante estudiaremos las características y pasos a seguir para realizar el reemplazo de refrigerante por HC, las medidas de seguridad, los controles preventivos de manejo entre otros factores más.

Tabla 14. Campos de aplicación de los refrigerantes HC.

Refrigerante	Campo de aplicación	Reemplazo
HC 12 a	Temperaturas elevadas/medias, electrodomésticos, automóviles	R12 R134
HC 22 a	Temperaturas elevadas/medias, comercios, frigoríficos	R22 R407c R410a R411a
HC 502 a	Temperaturas medias/bajas, comercios, industrias, refrigeración de procesos industriales, enfriadores, frigoríficos	R502 R404a R408a R507a

Fuente:
NORTHCUTT.
Manual de
capacitación
sobre productos
refrigerantes de
hidrocarburo HC.

Si tomamos el ejemplo del R12, o el R134a, se sabe que son sustancias frigoríficas muy utilizadas en el sector automotriz y en refrigeración doméstica. El HC 12 a, es un válido reemplazo a estos refrigerantes, ya que no se necesita realizar RETROFITTING, en el sistema, se realiza de manera directa recuperando el refrigerante tradicional

11.5. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS

Tabla 15. Propiedades físicas de refrigerantes HC's.

PROPIEDADES FÍSICAS DE REFRIGERANTES HC'S							
Refrigerante	Densidad del líquido (30°C - Mg/m³) / (90°F - lb/ft³)	Punto de ebullición a 1 atmósfera °C / °F	Temperatura crítica °C / °F	Presión crítica Kpa / Psig	Cambio de temperatura a 25°C / 77°F	Calor latente de evaporación en el punto de ebullición (kJ/kg / Btu/lb)	Densidad del vapor saturado en el punto de ebullición (kg/ m³ / lb/ft³)
R12	1.29 / 80.12	-.29.8 / -21.6	112/234	4015/582	0	165/71.5	6.3/0.39
R22	1.17 / 72.52	-.40.8/-41.4	96.1/205	4877/707	0	233/101	4.7/0.29
R502	1.19 / 73.49	-.45.4/-49.7	82.2/180	3974/576	<1	172/74.6	6.2/0.38
HC 12 a	0.517 / 31.9	-.32.6/-24.7	113/235	3989/579	6	405/177	1.9/0.12
HC 22 a	0.484 / 29.9	-.44.6/-43.8	96.7/206	4248/616	0	426/186	2.4/0.15
HC 502 a	0.475 / 29.6	-.49.8/-56.2	93.5/200	4280/621	2	444/191	1.8/0.12

Fuente: NORTHCUTT. Manual de capacitación sobre productos refrigerantes de hidrocarburo HC.

11.6. VENTAJAS DEL USO DE HIDROCARBUROS

El precio de los refrigerantes HC es mucho menor a los tradicionales, al igual que en el momento de realizar la carga al sistema de refrigeración el usuario o técnico utiliza un 40% de HC en comparación con los tradicionales. Además el consumo energético de los dispositivos del sistema es mucho menor, esto por las bajas presiones de trabajo que manejan estas sustancias de hidrocarburos. No obstante cabe destacar el objetivo de este documento, que es concientizar a los técnicos que trabajan en el área de refrigeración y aire acondicionado en la utilización y reemplazo de refrigerantes tradicionales por alternativos de HC's. Como

se explicó en capítulos anteriores el problema de calentamiento global generado por gases de efecto invernadero y el desgaste potencial de la capa de ozono a causa de las SAO's, es un problema global y que esta creciendo en forma exponencial, por eso la necesidad de buscar nuevas formas de energías, eficientes y no contaminantes. Los HC, son una de las alternativas de uso en sistemas frigoríficos, al ser altamente eficientes, el proceso de cambio se realiza de forma directa, sin necesidad de cambiar ningún componente del sistema y además no contiene agentes químicos que afecten la capa de ozono.

11.7. LUBRICACIÓN

La mayoría de refrigerantes HC, son compatibles con cualquier lubricante comúnmente usado en los compresores, de acuerdo a sus características los HC, la visibilidad del aceite se mantiene y es aún mayor. En algunos casos, es necesario utilizar un lubricante con mayor solubilidad o viscosidad para compensar la disolución que se pueda presentar.

La excepción se encuentra en la utilización de lubricantes a base de silicato o silicona, éstos no son compatibles con refrigerantes HC.

Tabla 16. Compatibilidad de lubricación para refrigerantes HC.

LUBRICANTES TRADICIONALES	SÍMBOLO	HIDROCARBUROS	AMONIACO DIÓXIDO DE CARBONO PROPILENO
Aceite Mineral	MO	ok	ok
Alkil Benceno	AB	ok	ok limitado
Aceite Mineral + Alkil Benceno	MO+AB	ok	ok limitado
Poli Alfa Olefina	PAO	ok	Ok
NUEVOS LUBRICANTES		HIDROCARBUROS	AMONIACO DIÓXIDO DE CARBONO PROPILENO
Poliol Ester	POE	ok	No
Poli Vinil Eter	PVE	no	No
Poli Alkilen Glicol	PAG	ok (limitado)	ok limitado
Aceite Minel Hidro tartado		no	Ok

En el caso de la utilización de aceites minerales, es necesario al utilizar refrigerante HC, agregar aceite, ya que a altas temperaturas este se diluye en el fluido. Por otro lado el alkinbenceno es el lubricante ideal, trabaja a perfectas condiciones con los HC's, el poliéster puede requerir un grado de viscosidad mayor, ya es un poco soluble en los HC.

11.8. MATERIALES COMPATIBLES CON HC

MATERIALES COMPATIBLES

- NEOPRENO
- VITON
- CAUCHOS NITRÍLICOS
- HNBR (NITRILO HIDROGENADO)
- PTFE (POLITETRAFLUOROGENADO)

MATERIALES NO COMPATIBLES

- EPDM (TERPOLÍMERO DE PROPILENO
- ETILÉNICO)
- CAUCHOS NATURALES
- CAUCHOS DE SILICONA

12. CAMBIO DE REFRIGERANTES TRADICIONALES POR ALTERNATIVOS HC

Como se analizó en capítulos anteriores, los refrigerantes CFC's son los mayores agentes destructores de la capa de ozono, y es necesario realizar un cambio inmediato por refrigerantes alternativos que no afecten la capa de ozono y no generen efecto invernadero. Por lo cual damos a conocer la necesidad de utilizar refrigerantes de HC como una alternativa

al problema, su buen manejo y los aspectos de seguridad en el momento de realizar la recuperación y cambio de las sustancias.

12.1. ASPECTOS DE SEGURIDAD

La empresa, organización o centro educativo debe aplicar ciertas normas de seguridad en el momento de realizar prácticas en refrigeración y manejo de refrigerantes (Recuperación, Reciclaje y Reemplazo). Su personal debe conocer las características y propiedades de la sustancia frigorífica a manejar, las condiciones de presión, temperatura, comportamiento termodinámico, qué lubricantes utilizar según sea el caso, temperatura de combustión y las condiciones de trabajo. Estos son algunos factores a tener en cuenta para el manejo de diferentes refrigerantes, en nuestro caso nos ocuparemos del control y manejo de HC como fluido frigorífico.

MEDIDAS DE SEGURIDAD.

- Buena ventilación
- Ubicación segura de extintores de fuego
- Equipos y herramientas adecuadas para el trabajo
- Buena iluminación
- Caja de primeros auxilios
- Capacitación en buenas prácticas en refrigeración por parte de todos los técnicos

MEDIDAS AMBIENTALES

Mantener una temperatura controlada en el ambiente de trabajo

El uso de soldadura oxiacetilénica, produce gases tóxicos que pueden ser perjudiciales para la salud, por eso la necesidad de trabajar en un lugar con gran ventilación, para evitar así la acumulación de estos gases.

No realizar descargas de refrigerante al medio ambiente, como se ha dicho en capítulos anteriores, estos afectan al medio ambiente.

Los refrigerantes de hidrocarburos son altamente inflamables, pero no son tóxicos.

12.2. ALMACENAMIENTO DE REFRIGERANTES: REGLAS, MEDIDAS Y CONTROL EN EL MANEJO SUSTANCIAS FRIGORÍFICAS

Los refrigerantes son almacenados en cilindros de diferentes tamaños, según la clase de gas a almacenar, los proveedores y la necesidad del consumidor.

Según la tabla de colores del Instituto Americano de Refrigeración, al almacenamiento de refrigerantes debe ser realizado en cilindros de un color característico dependiendo de la clase de refrigerante.

Tabla 17. Código de colores RI para los cilindros de gas refrigerante.

Refrigerante Núm. AHSRAE	Color ARI (American Refrigeration Institute)
R-11	Anaranjado
R-12	Blanco
R-22	Verde Claro
R-113	Morado (Violeta)
R-114	Azul Oscuro (Marino)
R-123	Azul Grisáceo Claro
R-124	Verde Intenso (Verde DOT)
R-125	Marrón Mediano (Tostado)
R-134a	Azul Celeste (Cielo)
R-401A	Rosa Claro
R-401B	Amarillo Oscuro
R-402A	Marrón Claro (Arena)
R-402B	Verde Amarronado (Oliva)
R-404A	Anaranjado
R-410A	Rosa
R-500	Amarillo

Fuente: Tomado de Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT. <http://www.ingenierogildardo.com/articulos.htm>.

El departamento de transporte de los estados unidos, autoridad reguladora en los usos de materiales para el transporte comercial, mediante la especificación DOP-39, sobre cilindros desechables o de "un solo viaje", especifica los parámetros de diseño en la fabricación de estos cilindros.

En el caso de los cilindros utilizados para el transporte de CFC's, especifica que debe soportar la presión máxima del refrigerante R-502 que es de 260psi, pero para efectos de seguridad el cilindro debe pasar por una prueba de presión de fuga de 325psi.

Si por alguna razón, el cilindro es expuesto, en la práctica, a presiones de ruptura debe tener en su sistema una válvula que permita el escape del gas antes de que genere una explosión o un escape fuera de los márgenes de control. Para esto la especificación DOP-39, aprueba la utilización de dos clases de cilindros. El primero contiene un disco de ruptura o fusible, ubicado en el hombro del cilindro, que en el momento que se superan los 340psi, se rompe y deja escapar el gas al ambiente. El segundo está ubicado en una válvula del cilindro, es un resorte de alivio, que permite el escape de parte del gas, en el caso que se presenten presiones mayores o iguales a 340psi.

El aumento de presión descontrolado se presenta a causa de aumentos de temperatura generados por entradas de calor al cilindro, ambientes descontrolados o ubicaciones no ventiladas. Esto ocasiona que la presión del cilindro comience a aumentar, sin necesidad de tener un cambio considerable de temperatura. Por eso la importancia a la hora de recuperar un refrigerante, de no bloquear el fusible de emergencia de la máquina recuperadora, y no sobre cargar de refrigerante los tanques, para así evitar accidentes de trabajo en el momento de desarrollar prácticas de refrigeración. Cualquier accidente ocasionado por falta de prevención en estos sistemas, podría afectar al técnico que lo manipula y dañar equipos que se encuentren cerca del lugar de almacenamiento de los cilindros.

La presión de un cilindro también puede elevarse si se conecta al lado de la descarga de un sistema de refrigeración o de aire acondicionado. En estos casos, el compresor puede crear presiones superiores a las que puede soportar el disco de ruptura del cilindro.

12.3. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD EN CILINDROS DESECHABLES

Se debe evitar la oxidación a causa del almacenamiento de los cilindros en lugares húmedos, este factor producirá oxidación en las paredes del cilindro ocasionando escapes indeseados

del gas. Por eso muchos fabricantes, según la especificación DOP-39, han cambiado las válvulas por las de tipo unidireccional, que no permiten la recarga de refrigerante en el cilindro, sino solo la descarga a los sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

Para el transporte de cilindros de refrigerantes es necesario tener en cuenta algunas reglas de seguridad:

- Evitar golpear el cilindro
- No calentar el cilindro con soplete ni con cualquier fuente externa
- No recargar un cilindro desechable
- Si la válvula se daña, no intentar repararla
- No sujetar el cilindro por medio de la válvula
- No utilizar cilindros oxidados o golpeados

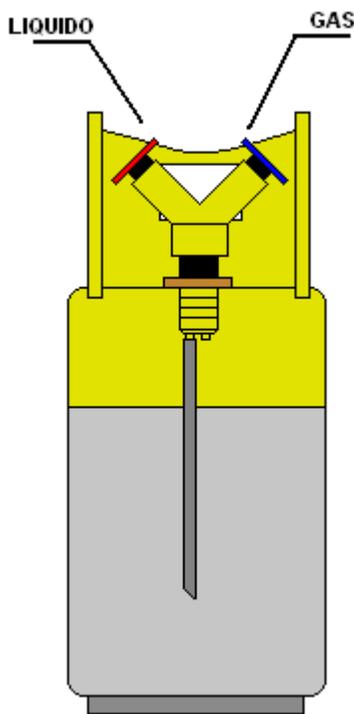
Es necesario que en el lugar de trabajo donde se realicen las prácticas de refrigeración se especifique mediante avisos de seguridad, la no utilización de fuentes de calor, tales como, calor producido por los cigarrillos, prácticas de soldadura, flamas, ambientes húmedos. Es importante la sujeción segura de los cilindros, para evitar tropiezos o caídas que produzcan roturas, grietas o daños en las conexiones.

12.4. CILINDROS RECUPERADORES DE REFRIGERANTE

Los cilindros de recuperación deben cumplir la especificación DOP. Deben estar pintados de amarillo en la parte superior, y el resto de color gris.

Antes de realizar la descarga de refrigerante en un cilindro recuperador, se debe observar la fecha en que caduca el cilindro, este no puede superar los cinco años de uso, no debe estar golpeado, ni oxidado

Figura 9. Diagrama de un cilindro recuperador.



Fuente: Ilustración diseñada por David Rueda.

12.5. DETECCIÓN DE FUGAS

Cambios de presión, vibraciones en las tuberías, mala selección de dispositivos ó tuberías, desgaste por fricción, cambios de temperatura, presión o daños accidentales, son algunos de los factores que influyen en la generación de fugas en los sistemas de refrigeración. Se pretenden evitar estas fugas en las conexiones, tuberías, empaques o partes estructuradas, por razones de seguridad, economía y más aún por las emisiones contaminantes de los compuestos del refrigerante.

Se utilizan diferentes métodos de detección de fugas son utilizados en la industria de refrigeración y aire acondicionado, desde formas básicas y simples de implementar hasta métodos tecnológicos sofisticados con un mayor grado de seguridad y de control. Recordemos que algunos gases refrigerantes presentan propiedades de Flamabilidad bastante altas, que en condiciones ideales y con proporciones de oxígeno y una fuente de ignición, puede producir un efecto en cadena liberando una alta cantidad de energía.

a. MÉTODO DEL JABÓN

Manteniendo la válvula del filtro secador cerrado, cargar el sistema de refrigeración a una presión de 10psi, con nitrógeno. Posteriormente, aplicar una solución de jabón sobre la zona donde se sospecha puede haber una fuga. Se notarán unas burbujas, en el caso que se presente una fuga, como se muestra en la siguiente figura. Luego, retirar el nitrógeno del sistema y realizar los mantenimientos requeridos.



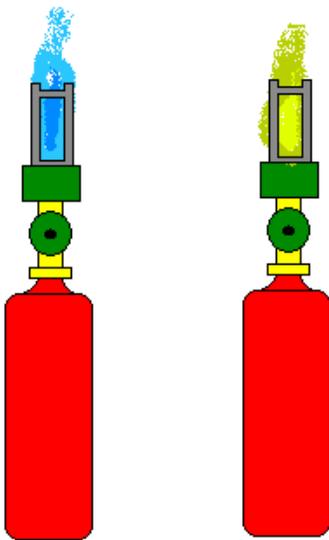
Figura 10. Válvula de expansión.

Fuente: Memorias curso básico para técnicos Acaire. Ing. Edgar Baquero.

b. DETECCIÓN DE FUGAS POR EL MÉTODO DE FLAMA DE GAS PROPANO

Consiste en atraer el gas refrigerante de la fuga mediante una flama de gas propano, si se presenta fuga en la zona, la llama cambiara de azul a verde, indicando así un punto de fuga. Este no es un método muy recomendado, al presentarse acumulaciones de gases peligrosos en el proceso y siendo una fuente de ignición que afecta la seguridad en el manejo de sustancias altamente combustibles.

Figura 11. Diagrama de los cilindros de gas propano.



Fuente: Adaptado del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT.

c. DETECTOR ELECTRÓNICO

Antes de realizar pruebas de detección de fugas es necesario limpiar las áreas de tubería o uniones donde se piensa realizar las pruebas, esto con el fin de evitar medidas erróneas. Humedad, pintura, corrosión, grasa, lubricantes ó restos de soldadura son algunas sustancias que pueden provocar daño en la punta del medidor y generar desajustes en la medida. Además, la medida debe ser realizada en un lugar bien ventilado, ya que por alguna fuga de refrigerantes, el medidor puede detectar una medida ambiente.

Como consejo de seguridad, el manejo de este instrumento debe ser responsabilidad de un solo individuo, el cual debe estar altamente capacitado en la utilización de tal instrumento.

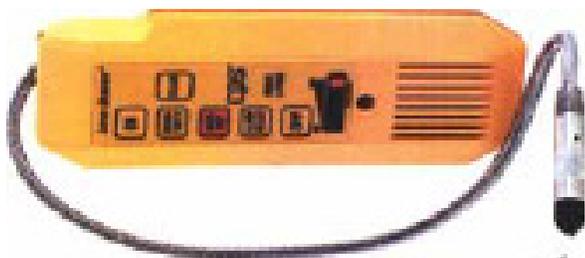


Figura 12. Detector de fugas

Fuente: Tomado de <http://www.reparac.com/PAGINAS/detectfugas.html>

12.6. PURGA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Antes de realizar la carga de refrigerante a un sistema es necesario, realizar una acción de vacío sobre las tuberías y dispositivos de manera correcta. Muchos técnicos no saben de la importancia que tiene realizar este proceso y las consecuencias de no hacerlo, ya que con el tiempo el sistema presentará fallas por humedad en el compresor o por sustancias no condensables que recorren el ciclo, afectando la eficiencia energética del proceso.

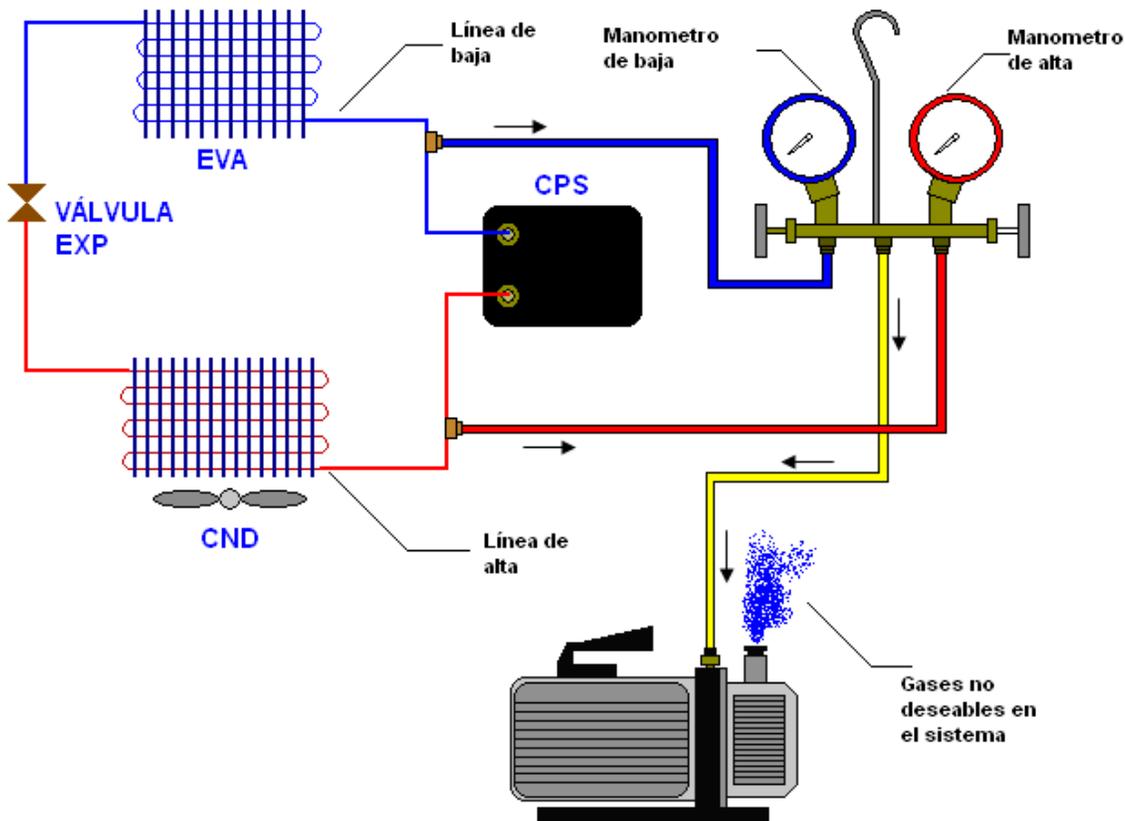
La acción de purga se realiza con una bomba de vacío, este es el primer paso antes de cargar un sistema con refrigerante, de tal forma que el sistema quede a una presión de vacío. Esto evitará que gases no condensables o contaminantes queden dentro del sistema en el momento de realizar la carga.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Utilizando un manómetro de alta y baja, conectar la línea de alta del sistema de refrigeración al manómetro de alta, de la misma forma conectar la línea de baja.
- A continuación conectar la válvula de la bomba de vacío al manómetro, para que la bomba extraiga los gases o sustancias no deseadas del sistema.
- Encender la máquina de vacío y abrir las válvulas de los manómetros, la bomba absorberá los gases y finalmente llevará al sistema hasta la presión de vacío.
- Cuando el manómetro de baja indique la presión de vacío que esta aproximadamente en un valor de 20 - 22 pulg Hg de vacío o 50 - 56 cm Hg de vacío en Bogotá, se procederá a cerrar las válvulas de los manómetros, para evitar perder el vacío, y posteriormente se apagará la bomba.
- Es necesario dar unos 10 min de espera al sistema para tener la certeza de que se realizó el vacío correctamente, si la medida de los manómetros se mantiene en vacío, quiere decir que el procedimiento de purga fue un éxito.
- En caso que se presente un aumento de la presión en los minutos de espera, se debe encender nuevamente la bomba de vacío y abrir las válvulas de los manómetros y seguir los pasos descritos anteriormente.
- También se puede realizar este procedimiento, adicionando como instrumento de medición más preciso, un medidor electrónico de vacío llamado vacuómetro. El valor recomendado para

aceites minerales es de 500 micrones o micras columna de Hg. y de 250 micrones o micras columna de Hg. para aceites sintéticos.

Figura 13. Diagrama para realizar la purga de un sistema de refrigeración.



Fuente: Adaptado del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT.

12. 7. RECUPERADO Y RECICLAJE DE REFRIGERANTES

De acuerdo a las normas que gobiernan el buen manejo de refrigerantes, es necesario que en el momento que se realice mantenimientos o reemplazos de refrigerantes sobre equipos de refrigeración y aire acondicionado, se recupere la sustancia refrigerante del sistema de tal forma que no afecte de ninguna manera al medio ambiente.

Cuando hablamos de recuperación de refrigerantes, nos referimos a la extracción segura del fluido frigorífico del sistema de refrigeración o aire acondicionado y el almacenamiento en un recipiente seguro, sin necesidad de realizar pruebas o procesarlo de cualquier otra manera.

El reciclaje de refrigerantes, es el proceso en el cual se separa el aceite, impurezas y humedad de la sustancia refrigerante. Esto con el fin de limpiar y reutilizar el refrigerante en un nuevo sistema. Para este proceso se utilizan filtros deshidratadores de tipo recargable de bloques desecantes.

Muchas industrias de CVAR, han desarrollado máquinas que realizan este trabajo de reciclaje y recuperación de forma segura y eficiente. Esto con el fin de evitar la emisión de clorofluorocarbonos a la atmósfera, y así apoyar los protocolos de regulación de emisiones de SAO's. Los equipos de este tipo se clasifican en tres categorías:

- Recuperación - Unidad que recupera o remueve el refrigerante.
- Recuperación / Reciclado (R y R) - Unidad que recupera y recicla el refrigerante.
- Reproceso - Unidad que reprocesa el refrigerante dentro de las normas de la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

12.8. RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES

Para realizar el reemplazo de CFC's, HFC's, HCFC'S y mezclas refrigerantes, es necesario que estas sustancias sean recuperadas y luego destruidas de forma no contaminante, recordemos que lo que se quiere evitar es la emisión de gases contaminantes. También se realiza con el objetivo de efectuar mantenimientos en los equipos del sistema, o cambios de dispositivos, tuberías, válvulas, instrumentos, sensores entre otros.

Si el refrigerante recuperado de sistemas de refrigeración y aire acondicionado se encuentra contaminado o mezclado con otros refrigerantes, se debe enviar a un proceso de destrucción total, ya que el refrigerante no puede volver a ser utilizado en un sistema, su eficiencia bajará drásticamente y puede dañar los equipos al contener sustancias no condensables.

Actualmente existen muchas tecnologías para la destrucción de refrigerantes CFCs y HCFCs;

estas tecnologías fueron evaluadas y aprobadas por el Panel de Evaluación Técnica y Económica (TEAP, por sus siglas en inglés) del Protocolo de Montreal.

Tabla 18. Tecnologías evaluadas y aprobadas por el TEAP para la destrucción de CFC's y HFC's.

Tecnología de destrucción de refrigerantes CFC's y HCFC's	Dictamen de la evaluación del TEAP
Eficacia de Destrucción y Eliminación (EDE)	99,90%
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 súpercalentado	Aprobada

Fuente: Tomado de Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT. <http://www.ingenierogildardo.com/articulos.htm>.

Si el gas refrigerante recuperado está en buenas condiciones, después de realizar los mantenimientos al sistema, se puede reutilizar cargándolo nuevamente al sistema.

El proceso de recuperación de refrigerante comienza conectando la manguera del manómetro de baja a un puerto en el lado de baja del equipo de refrigeración y/o a.a., y la manguera de servicio del manómetro a la válvula de succión de la unidad recuperadora. Una vez que la manguera de salida de la máquina está conectada al cilindro de recuperación, el dispositivo de recuperación se arranca y comienza la recuperación. Algunas unidades tienen una señal para indicar cuando el proceso de recuperación ha terminado. Esto significa que el equipo de recuperación no está procesando más vapor. En algunas ocasiones, el dispositivo de recuperación cierra automáticamente el sistema de vacío. Cuando se ha

completado la recuperación, se cierra la válvula del manómetro del lado de baja. El sistema deberá asentarse por lo menos 5 minutos. Si la presión se eleva a 10 psig o más, puede significar que quedaron bolsas de refrigerante líquido frío a través del sistema, y puede ser necesario reiniciar el proceso de recuperación. Puesto que es mucho más rápido recuperar el refrigerante en fase líquida, que en fase vapor, el técnico puede preferir una máquina que remueva el refrigerante líquido. Muchas máquinas son diseñadas para llevar a cabo este proceso usando cilindros para refrigerante normales. Algunas unidades de transferencia pequeñas, utilizan cilindros de recuperación especiales, que permiten al técnico remover refrigerante líquido y vapor.

12.9. MÉTODOS DE RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES

La recuperación de refrigerante de un sistema de refrigeración o aire acondicionado, es el primer paso a seguir antes de realizar reparaciones en un sistema o cambio de dispositivos. No obstante, también para el reemplazo de refrigerantes tradicionales por alternativos de HC. Si el refrigerante recuperado no está contaminado, se puede volver a reutilizar en el sistema, en caso que no sea así, se debe almacenar para su reprocesamiento.

Se puede realizar el proceso de recuperación de varias maneras:

- Recuperación en fase líquida
- Recuperación en fase Gaseosa
- Recuperación de líquido y vapor sin separación de aceite
- Recuperación de líquido y vapor con separación de aceite

Si el proceso de recuperación se realiza en forma líquida, en el sistema quedará almacenado el gas del refrigerante, en el lado de alta. En el caso de recuperar vapor de refrigerante, este proceso recupera todo el refrigerante del sistema, pero es mucho más lento que el anterior.

Las máquinas recuperadoras, necesitan la acción de vacío para expulsar de su sistema gases indeseables que pueden contaminar el refrigerante recuperado. Al igual los cilindros de recuperación antes y después de su utilización necesitan este mismo proceso. El proceso de purga que se estudió anteriormente para sistemas de refrigeración, éste también aplica para cilindros de recuperación y equipos de recuperación.

12.10. MÉTODO DE RECUPERACIÓN DIRECTA

Como se mencionó anteriormente el cilindro de recuperación debe estar completamente vacío, libre de gases contaminantes, oxígeno filtrado por apertura de válvulas o residuos de refrigerantes recuperados en anteriores procesos.

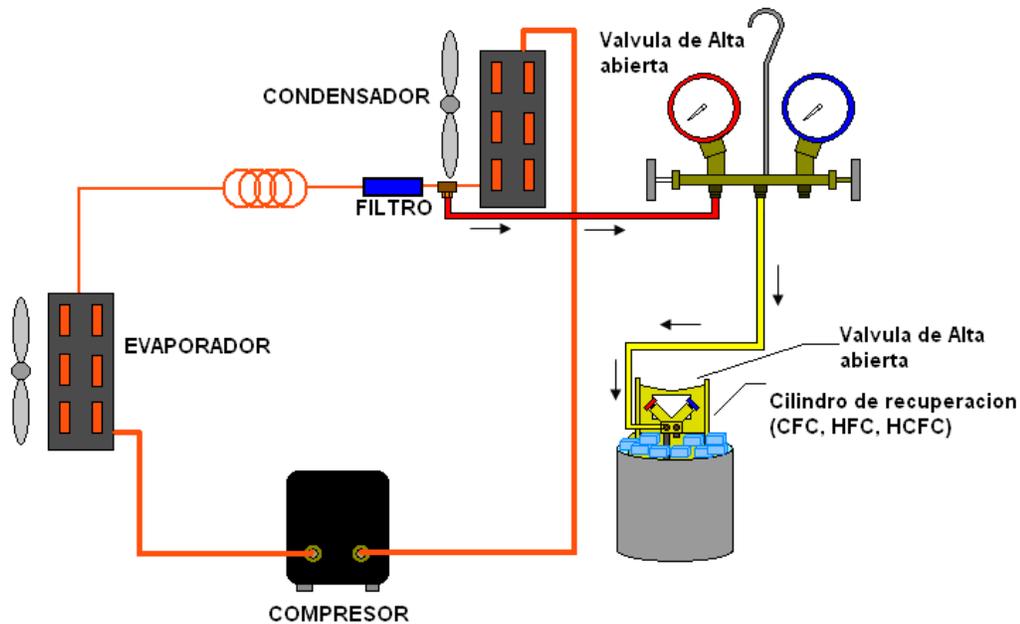
Para que el proceso sea mucho más rápido, se aconseja que el cilindro se sumerja en una cubeta con hielo, esto con el fin de bajar la temperatura y presión del gas y acelerar el transporte del fluido del sistema al tanque de almacenamiento. Pero si el proceso se realiza con un cilindro expuesto a temperaturas ambiente la recuperación se va a dar en un tiempo muchos más largo.

El manómetro de alta presión se debe conectar en la tubería de líquido del sistema mediante una válvula, ésta debe estar ubicada después del condensador, ya que el refrigerante al estar en estado líquido y a la presión de descarga del compresor, evitamos, por seguridad, que ésta aumente de forma desproporcionada. Si la recuperación se realiza en fase gaseosa se expone a una variación de presión muy alta que perjudicaría la seguridad del proceso.

El proceso de recuperación directa, es decir sin la utilización de un equipo de recuperación, se realiza de la siguiente manera:

- Después de realizar el proceso de vacío al cilindro de recuperación. Se debe conectar la manguera del manómetro de alta a una válvula pincha tubo, ubicada en la línea de tubería después del condensador.
- Se deben tener cerradas las válvulas de los manómetros para evitar escapes indeseados.
- Después, se realiza la conexión de la manguera de servicio (color amarillo), a la válvula de alta (color rojo), del cilindro de recuperación.
- El cilindro de recuperación debe estar sumergido en una cubeta con hielo.
- Se enciende el compresor, para recircular el refrigerante.
- Finalmente se abren las válvulas del manómetro, y el refrigerante por acción del compresor y la presión baja del cilindro sumergido, recuperará el refrigerante del sistema.
- Es aconsejable, calentar el carter del compresor para liberar el refrigerante líquido almacenado en el aceite.

Figura 14. Diagrama del método de recuperación directa.



Fuente: Ilustración adaptada por David Rueda del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado SEMARNAT.

Si el refrigerante recuperado no está contaminado, se puede volver a utilizar en otro sistema de refrigeración o en el mismo. No obstante, el objetivo de este documento es dar a conocer la necesidades de eliminar refrigerantes tradicionales (CFC, HFC, CFC), luego esta recuperación se debe realizar con el fin de sustituir el refrigerante por uno de hidrocarburo.

Este método de recuperación es algo rudimentario, ya que parte del refrigerante recuperado está contaminado con sustancias como el lubricante del compresor, algo de aire y también vapor de agua. Las máquinas de recuperación nos permiten realizar un proceso más seguro, ya que todo el fluido refrigerante es convertido en líquido antes de entrar al cilindro de recuperación, minimizando los riesgos por aumentos de presión no controlables dentro del cilindro. También se utilizan máquinas de recuperación y reciclaje, éstas realizan un proceso de limpieza al refrigerante y lo convierten a líquido antes de entrar al cilindro, esto permite que el refrigerante tenga una mínima contaminación y se pueda volver a reutilizar en otros sistemas.

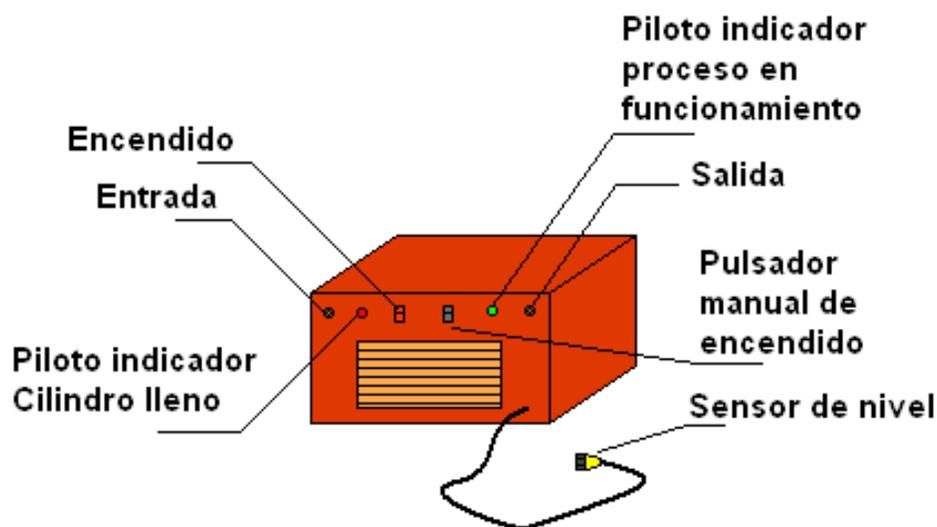
12.11. MÁQUINAS DE RECUPERACIÓN Y RECICLAJE

Las máquinas de recuperación nos permiten extraer el refrigerante de una manera más segura, evitando que se almacenen gases no deseables o sustancias como el aceite del

compresor, en el cilindro recuperador. Es de vital importancia la utilización de un cilindro intermedio (Cilindro pulmón) entre la máquina de recuperación y el cilindro recuperador, éste retiene una gran parte del aceite extraído con el refrigerante del sistema.

La máquina recuperadora condensa la mezcla Gas-Líquido del refrigerante obtenido del sistema. Un piloto indica que el proceso de recuperación está en curso (Color Verde) y otro indica el llenado del cilindro, (recordemos que el cilindro de recuperación, por seguridad, no debe ser llenado a más del 80% de su capacidad). En caso de llenarse al punto máximo permitido, el equipo tiene a su disposición un sensor de nivel que se conecta al cilindro de recuperación, éste al llegar al nivel de llenado especificado, activa el sensor, que conmuta un contacto que apaga el proceso de recuperación.

Figura 15. Diagrama de una maquina recuperadora.



Fuente: Ilustración diseñada por David Rueda.

Antes de realizar el proceso de recuperación, recuerde realizar vacío en los cilindros intermedio y de recuperación. También, en este proceso es indispensable que el compresor del sistema esté apagado.

El proceso de recuperación es el siguiente:

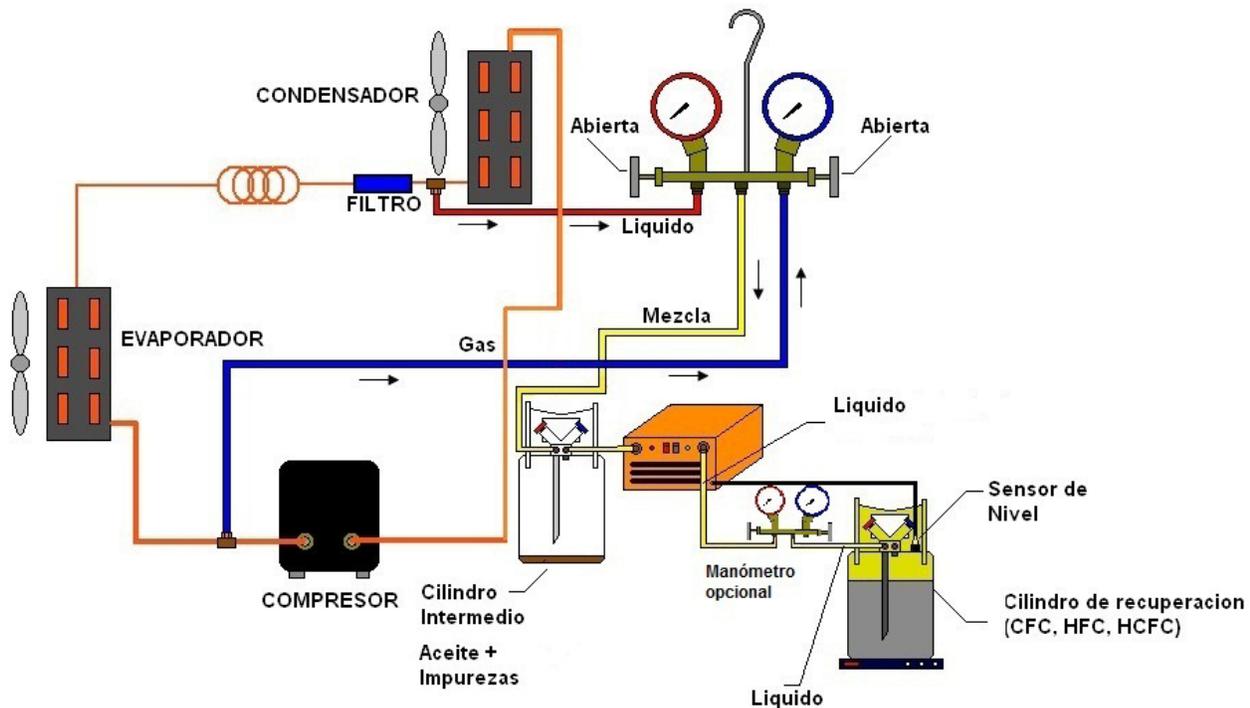
- Conectar el juego de manómetros al sistema de refrigeración, el de Alta al punto de salida del condensador, y el de Baja al punto de entrada del compresor, la manguera amarilla del juego de manómetros (manguera de servicio), debe ser conectada al cilindro intermedio (ver figura 16) al registro de líquido. De la manguera de servicio (color amarilla), sale una mezcla de Gas-Líquido de refrigerante.
- De la salida del cilindro (válvula de gas) se debe conectar una manguera que conduzca el refrigerante en estado gaseoso a la entrada de la máquina.
- La máquina recibe el refrigerante en estado gaseoso y libre de aceite (ya que rastros de éste, se han decantado en el cilindro intermedio). A continuación se conecta una última manguera desde la salida de la máquina hasta el cilindro final (a la válvula de líquido de éste). Esta última manguera nos va a conducir refrigerante totalmente condensado por la máquina y listo para ser confinado en el cilindro final. Recuerde que éste debe estar sobre una báscula que medirá la cantidad de refrigerante recuperado
- Se abren todas las válvulas de los manómetros, y se enciende la máquina de recuperación
- Terminado el proceso, la máquina detecta mediante un sensor de presión, la ausencia de refrigerante, apagándola inmediatamente.

Es preciso realizar un buen vacío al sistema y a las mangueras mediante la activación de un pulsador inherente al control de la máquina (hasta unas 10 pulg columna de Hg).

- Se recomienda que entre la manguera de conducción de refrigerante condensado (líquido) y el cilindro final se conecte un manómetro de alta que medirá la presión de entrada del cilindro y también facilitará el traslado del refrigerante condensado remanente en la manguera al cilindro intermedio mediante un by pass.
- Una vez terminado el proceso, cerrar todas las válvulas de manómetros y cilindros.

Al final del proceso de recuperación del refrigerante tradicional (CFC, CFC, HFC o mezcla), se debe anotar la medida final de la báscula del cilindro de recuperación. Esto con el fin de cargar el sistema de refrigeración con un 40% de refrigerante de hidrocarburo, con respecto a la carga recuperada.

Figura 16. Diagrama de recuperación de refrigerante.



Fuente: Ilustración adaptada por David Rueda del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado SEMARNAT.

12.12. RECUPERACIÓN POR PUSH/PULL

Este método consiste en recuperar el refrigerante líquido del sistema, utilizando el vapor del cilindro de recuperación. El vapor expulsa del sistema el líquido, transportando y recuperándolo directamente al cilindro recuperador.

Recuerde que es indispensable la utilización del cilindro pulmón, el cual evita que en el proceso de recuperación, el refrigerante se vea contaminado por el lubricante del compresor.

Consiste en conectar una manguera desde la válvula de líquido del cilindro recuperador al lado de líquido del sistema de refrigeración. Otra manguera se utiliza para la conexión desde la válvula de gas del cilindro recuperador a la máquina de recuperación (Entrada-succión) y finalmente otra manguera se conecta de la salida de la máquina de recuperación al lado de gas del sistema de refrigeración.

El proceso PULL, consiste en la succión del líquido del sistema al lado de líquido del cilindro de recuperación; la máquina de recuperación recupera el gas del cilindro recuperador, lo calienta y lo lleva nuevamente al sistema de refrigeración y/o aire acondicionado (proceso PUSH), este gas de refrigerante empuja el líquido contenido del sistema al cilindro de recuperación. Una vez recuperado el líquido, el proceso sigue su curso recuperando el gas.

Este proceso se realiza debido a la diferencia de presión que se crea entre el cilindro y el sistema (lado líquido).

Recuerde que este proceso no realiza vacío, la máquina de recuperación se apaga automáticamente al detectar el llenado de tanque de recuperación. Es necesario realizar vacío en el sistema antes de realizar la recarga del sistema.

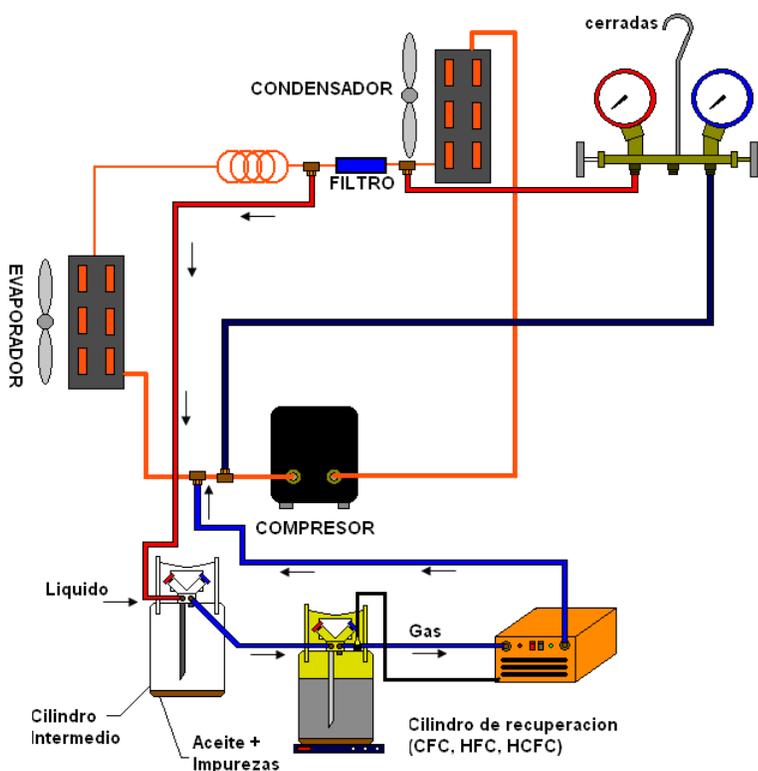


Figura 17. Diagrama de recuperación por el método de push pull.

Fuente: Ilustración adaptada por David Rueda del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado SEMARNAT.

El método PUSH/PULL debe ser utilizado sólo en sistemas de refrigeración con cargas mayores de 9 kilos o 20 libras de refrigerante; debe realizarse una recuperación de gas en el sistema después de recuperar el líquido, ya que esto no realiza vacío al sistema, por

eso la necesidad de ubicar una mirilla a la entrada líquida del cilindro de recuperación para constatar el fin del proceso de recuperación líquida, para luego realizar una nueva configuración y recuperar el gas del sistema. Igualmente se deben realizar acciones de vacío al finalizar el proceso.

12.13. CARGA DE REFRIGERANTES DE HIDROCARBUROS

Las propiedades de los HC (hidrocarburos), hace que sea una alternativa viable al momento de hacer el cambio. No se necesita cambiar el compresor, no se necesita cambiar o sustituir el aceite o lubricante del compresor, ni realizar ninguna modificación técnica en el sistema para acoplarlo a la funcionalidad de los refrigerantes de hidrocarburo.

La sustitución que se lleva a cabo en los sistemas de refrigeración es el DROP-IN, el cual es el proceso directo de reemplazo de sustancia frigorífica. Solo se necesita recuperar de manera segura el refrigerante tradicional del sistema, realizar acción de purga o vacío en el sistema y cargar directamente el refrigerante HC valido reemplazo del recuperado.

VENTAJAS

- No afectan la capa de ozono ni son generadores de efecto invernadero
- La carga al sistema de refrigeración es de un 40% del refrigerante tradicional a reemplazar
- Son compatibles con otros lubricantes comerciales
- No se requiere retrofit en el sistema
- Trabaja a presiones bajas
- Menor consumo de energía en el sistema (compresor)
- Contiene aditivo antifricción
- Solo se requiere DROP-in para su aplicación
- Menor costo de mantenimiento en los sistemas
- No es necesario cambio del compresor
- No se necesita cambiar ninguna parte de sistema (tubo capilar)

DESVENTAJAS

- Son inflamables
- Requieren para su uso y aplicación personal capacitado
- En sistemas de mayor capacidad requieren de medidas de control y seguridad

Es necesario que los técnicos y profesionales del sector de la refrigeración y aire acondicionado realicen buenas prácticas en refrigeración con hidrocarburos, para que conozcan las propiedades de los HC, sus medidas de seguridad (buen manejo), y los procedimientos seguros que se deben realizar para realizar la reconversión.

13. PROCESO DE DROP-IN CON HC

Se debe realizar la recuperación del refrigerante del sistema a reconvertir, ya en capítulos anteriores se describieron algunos métodos de recuperación de refrigerante. Es necesario que la persona que realice la recuperación utilice una báscula para anotar la cantidad de refrigerante exacto retirado del sistema.

Se debe realizar un barrido con nitrógeno para limpiar el sistema de refrigeración

Si es necesario debe cambiarse el filtro secador del sistema, recuerde que el filtro secador utilizado en el sistema es compatible con el HC de reemplazo.

Antes de cargar el sistema de HC, realice una prueba de fugas. En capítulos anteriores se describieron las formas básicas de detección

Verificar la funcionalidad de componentes eléctricos. Los HC son compuestos altamente inflamables, por eso la necesidad de evitar cortos circuitos y sobrecalentamientos de elementos electrónicos de dispositivos. Si es necesario utilizar elementos de control que eviten esta clase de sobrecalentamientos.

Realizar la acción de vacío al sistema de refrigeración, antes de la carga. Esto para extraer sustancias no condensables en el sistema

Cargar el sistema con HC, teniendo en cuenta la compatibilidad, y la cantidad de carga que se debe realizar. Recuerde que debe ser de un 40% con respecto al refrigerante a ser reemplazado.

Tabla 19. Aplicaciones de refrigerantes de HC's.

APLICACIÓN	TIPO DE COMPRESOR	REFRIGERANTE	OBSERVACIONES
COMERCIAL E INDUSTRIAL	Reciprocante Abierto	R170 - R290 - R600a - R717 - R744	717 no se debe utilizar cobre en las tuberías
COMERCIAL E INDUSTRIAL	Tornillo	R600a - R290 - R744	
AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN MÓVIL	Reciprocante Hermético y Abierto	R600a - R290	
AIRE ACONDICIONADO	Reciprocante Abierto	R170 - R290 - R717	717 no se debe utilizar cobre en las tuberías
AIRE ACONDICIONADO	Centrifugo	R600a	
AIRE ACONDICIONADO	Semihermético	R290	717 no se debe utilizar cobre en las tuberías
AIRE ACONDICIONADO	Tornillo	R600a - R717	
AIRE ACONDICIONADO	Hermético	R600a	

Fuente: AC/R Latinoamérica, Revista No 5. Octubre 2004.

13.1. CARGA DE REFRIGERANTE ADMITIDA

Los sistemas con capacidades de carga de 0.15 kg. (0.33 lb) o inferiores pueden instalarse en habitaciones de cualquier tamaño. Para los sistemas con capacidad de carga superior a 0.15 kg. (0.33 lb), la habitación debe tener un tamaño tal que una pérdida repentina de refrigerante no ocasione que la concentración media en la habitación supere el límite práctico de 0.008kg/m³ (0.00049944 lb/ft³). Los requisitos de capacidad de carga según la norma EN 378, sección 1, anexo C están resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 20. Aplicaciones

Categoría	Ejemplos	Volúmenes calculados a partir de los límites anteriores hasta:
A (Hogar/espacios públicos)	Hospitales, prisiones, teatros, escuelas, supermercados, hoteles, viviendas	<ul style="list-style-type: none"> - 1.5 kg. (3.3lb) por sistema sellado, siempre que no haya fuentes de ignición asociadas al sistema de refrigeración - 5kg. (4.99kg) en salas de máquinas especiales o al aire libre
B (Comercio/espacios privados)	Oficinas de negocios o de profesionales, sitios para la fabricación en general y para el trabajo	<ul style="list-style-type: none"> - 2.5 kg. (5.5lb) por sistema. - 10kg. (22lb) en salas de máquinas especiales o al aire libre
C(Industria/espacios restringidos)	Almacenes de refrigeración, industria de lácteos, de envasado de carne, refinerías, áreas restringidas en los supermercados, habitaciones en fábricas.	<ul style="list-style-type: none"> - 10 kg (22lb) para espacios donde hay personas - 25 kg. (55lb) si el lado de alta presión (excepto para condensadores enfriados por aire) se encuentra en una habitación especial para máquinas o al aire libre. - No tiene límites si todas las piezas que contienen refrigerante se colocan en una habitación especial para máquinas o al aire libre.

Fuente: NORTH CUTT. Manual de capacitación sobre productos refrigerantes de hidrocarburo HC.

13.2. EQUIVALENCIAS DE CARGA EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

A continuación se presentan las tablas de equivalencias de carga de algunos refrigerantes de hidrocarburo, esto con el fin de que el técnico encargado de realizar la conversión en el equipo de refrigeración tenga una idea de que cantidad tiene que cargar al sistema. Recuerde

que la carga de HC esta en un promedio del 40% con respecto al refrigerante a reemplazar. Es importante tener en cuenta que durante la carga, la densidad del refrigerante de HC es básicamente equivalente al doble del volumen de los refrigerantes de CFC o HCFC, debido a que la densidad de los refrigerantes de HC es mucho menor. Por consiguiente, los sistemas con sobrecarga poseen diferencias muy significativas en cuanto a los aumentos en kPa (psig) y podrían dañar los sistemas y componentes.

TABLA 16

EQUIVALENCIAS

REFRIGERANTE R-12a						
CANTIDAD DE REFRIGERANTE EQUIVALENTE POR PESO						
R-12a		HCFC R134a		CFC R12		
1 oz (28.3 g)			2.5 oz (70.9 g)		2.6 oz (79.4 g)	
2 oz (56.7 g)			5.0 oz (141.75)		5.7 oz (161.6 g)	
3 oz (85.0 g)		= 1/2 lata	7.5 oz (212.6 g)		8.5 oz (241.0 g)	
4 oz (113.4 g)			10 oz (283.5 g)		11.4 oz (323.2 g)	
5 oz (141.7 g)			12.5 oz (354.4 g)		14.2 oz (402.6 g)	
6 oz (170.1 g)		= 1 lata	15 oz (425.2 g)		17 oz (481.9 g)	
7 oz (198.4 g)			1 lb (0.45 kg)	1 oz (28.3 g)	1 lb (0.45 kg)	4 oz (113.4 g)
8 oz (226.8 g)				4 oz (113.4 g)		6 oz (170.1 g)
9 oz (255.1 g)		= 1 lata y media		6 oz (170.1 g)		9 oz (255.1 g)
10 oz (283.5 g)				8 oz (255.1 g)		12 oz (340.2 g)
11 oz (311.8 g)				11 oz (311.8 g)		15 oz (425.2 g)
12 oz (340.19 g)		= 2 latas		14 oz (396.9 g)	2 lb (0.91 kg)	2 oz (56.7 g)
13 oz (368.5 g)			2 lb (0.91 kg)			5 oz (141.7 g)
14 oz (396.9 g)				3 oz (85.0 g)		8 oz (226.8 g)
15 oz (425.2 g)		= 2 latas y media		5 oz (141.7 g)		10 oz (283.5 g)
1 lb (0.45 kg)	(16 oz) (453.6 g)			8 oz (226.8 g)		13 oz (368.5 g)
	1 oz (28.3 g)			10 oz (283.5 g)	3 lb (1.36 kg)	
	2 oz (56.7 g)	= 3 latas		13 oz (368.5 g)		3 oz (85.0 g)
	3 oz (85.0 g)			15 oz (425.2 g)		6 oz (170.10 g)
	4 oz (113.4 g)		3 lb (1.36 kg)	2 oz (56.7 g)		9 oz (255.1 g)
	5 oz (141.7 g)	= 3 latas y media		3 oz (85.0 g)		12 oz (340.2 g)
	6 oz (170.1 g)			7 oz (198.4 g)		14 oz (396.9 g)
	7 oz (198.4 g)			9 oz (255.1 g)	4 lb (1.8 kg)	1 oz (28.3 g)
	8 oz (226.8 g)	= 4 latas		12 oz (340.2 g)		4 oz (113.4 g)
	9 oz (255.1 g)			14 oz (396.9 g)		7 oz (198.4 g)
	10 oz (283.5 g)		4 lb (1.8 kg)	1 oz (28.3 g)		10 oz (283.5 g)
	11 oz (311.8 g)	= 4 latas y media		3 oz (85.0 g)		13 oz (368.5 g)
	12 oz (340.2 g)			6 oz (170.1 g)	5 lb (2.27 kg)	
	13 oz (368.5 g)			8 oz (226.8 g)		2 oz (56.7 g)
	14 oz (396.9 g)	= 5 latas		11 oz (311.8 g)		5 oz (141.7 g)
	15 oz (425.2 g)			13 oz (368.5 g)		8 oz (226.8 g)
2 lb (0.91 kg)			5 lb (2.27 kg)			11 oz (311.8 g)
	1 oz (28.3 g)	= 5 latas y media		2 oz (56.7 g)		14 oz (396.9 g)
	2 oz (56.7 g)			5 oz (141.7 g)	6 lb (2.72 kg)	1 oz (28.3 g)
	3 oz (85.0 g)			7 oz (198.4 g)		4 oz (113.4 g)
	4 oz (113.4 g)	= 6 latas		10 oz (283.5 g)		6 oz (170.1 g)
	5 oz (141.7 g)			12 oz (340.2 g)		9 oz (255.1 g)
	6 oz (170.1 g)			14 oz (396.9 g)		12 oz (340.2 g)
	7 oz (198.4 g)	= 6 latas y media	6 lb (2.72 kg)	1 oz (28.4 g)		15 oz (425.2 g)
	8 oz (226.8 g)			4 oz (113.4 g)	7 lb (3.18 kg)	2 oz (56.7 g)
	9 oz (255.1 g)			6 oz (170.1 g)		5 oz (141.7 g)
	10 oz (283.5 g)	= 7 latas		9 oz (255.1 g)		8 oz (226.8 g)
	11 oz (311.8 g)			11 oz (311.8 g)		10 oz (283.5 g)

REFRIGERANTES DE HIDROCARBURO					
CANTIDAD DE REFRIGERANTE EQUIVALENTE EN EL PROCESO					
R22a - R502a		HCFC 22		CFC 502	
1 oz (28.3 g)		2.3 oz (65.2 g)		2.5 oz (70.9 g)	
2 oz (56.7g)		4.7 oz (133.2 g)		5.0 oz (141.7 g)	
3 oz (85.0 g)		7.0 oz (198.4 g)		7.5 oz (212.6 g)	
4 oz (113.4 g)		9.3 oz (263.6 g)		10.0 oz (283.5 g)	
5 oz (141.7 g)		11.6 oz (328.8 g)		15.5 oz (354.4 g)	
6 oz (170.1 g)		14.0 oz (396.9 g)		15.0 oz (425.2 g)	
7 oz (198.4 g)		1 lb (0.45 kg)		1 lb (0.45 kg)	1 oz (28.3 g)
8 oz (226.8 g)			3 oz (85.0 g)		4 oz (113.4 g)
9 oz (255.1 g)			5 oz (141.7 g)		7 oz (198.4 g)
10 oz (283.5 g)			7 oz (198.4 g)		9 oz (255.1 g)
11 oz (311.8g)			10 oz (283.5 g)		11 oz (311.8 g)
12 oz (340.2 g)			12 oz (340.2 g)		14 oz (396.9 g)
13 oz (368.5 g)			14 oz (396.9 g)	2 lb (0.91 kg)	
14 oz (396.9 g)		2 lb (0.91 kg)	1 oz (28.3 g)		3 oz (85.0 g)
15 oz (425.2 g)			3 oz (85.0 g)		5 oz (141.7 g)
1 lb. (0.45 kg) (16 oz o 453.6 g)			5 oz (141.7 g)		8 oz (226.8 g)
	1 oz (28.3 g)		8 oz (226.8 g)		10 oz (283.5 g)
	2 oz (56.7 g)		10 oz (283.5 g)		13 oz (368.5 g)
	3 oz (85.0 g)		12 oz (340.2 g)		15 oz (425.2 g)
	4 oz (113.4 g)		15 oz (425.2 g)	3 lb (1.36 kg)	2 oz (56.7 g)
	5 oz (141.7 g)	3 lb (1.36 kg)	1 oz (28.3 g)		4 oz (113.4 g)
	6 oz (170.1 g)		3 oz (85.0 g)		7 oz (198.4 g)
	7 oz (198.4 g)		5 oz (141.7 g)		9 oz (255.1 g)
	8 oz (226.8 g)		8 oz (226.8 g)		12 oz (340.2 g)
	9 oz (255.1 g)		10 oz (283.5 g)		14 oz (396.9 g)
	10 oz (283.5 g)		12 oz (340.2 g)	4 lb (1.81 kg)	1 oz (28.3 g)
	11 oz (311.8 g)		15 oz (425.2 g)		3 oz (85.0 g)
	12 oz (340.2 g)	4 lb (1.81 kg)	1 oz (28.3 g)		6 oz (170.1 g)
	13 oz (368.5 g)		3 oz (85.0 g)		8 oz (226.8 g)
	14 oz (396.9 g)		6 oz (170.1 g)		11 oz (311.8 g)
	15 oz (425.2 g)		8 oz (226.8 g)		13 oz (368.5 g)
2 lb (0.91 kg) (16 oz o 907.2 g)			10 oz (283.5 g)	5 lb (2.27 kg)	
	1 oz (28.3 g)		13 oz (368.5 g)		2 oz (56.7 g)
	2 oz (56.7 g)		15 oz (425.2 g)		5 oz (141.7 g)
	3 oz (85.0 g)	5 lb (2.27 kg)	1 oz (28.3 g)		7 oz (198.4 g)
	4 oz (113.4 g)		4 oz (113.4 g)		10 oz (283.5 g)
	5 oz (141.7 g)		6 oz (170.1 g)		12 oz (340.2 g)
	6 oz (170.1 g)		8 oz (226.8 g)		15 oz (425.2 g)
	7 oz (198.4 g)		11 oz (311.8 g)	6 lb (2.72 kg)	1 oz (28.3 g)
	8 oz (226.8 g)		13 oz (368.5 g)		4 oz (113.40 g)
	9 oz (255.1 g)		15 oz (425.2 g)		6 oz (170.1 g)

Fuente: NORTHCUTT. Manual de capacitación sobre productos refrigerantes de hidrocarburo HC.

13.3. FACTORES A TENER EN CUENTA ANTES DE REALIZAR LA CARGA E INSTALACIÓN DEL SISTEMA

SEGURIDAD

Si la carga es superior a 0.15 kg (0.33 lb), una fuga repentina de refrigerante no deberá aumentar la concentración media en la habitación por encima del límite práctico de 0.008 kg/m³ (0.0004994 lb/ft³).

En el caso de una fuga “catastrófica”, es posible que se produzca la estratificación del refrigerante. Esto tendría como resultado la formación de concentraciones inflamables en niveles inferiores. Para evitar que esto ocurra, el ventilador del sistema de refrigeración deberá proporcionar un mínimo de circulación de aire.

Los materiales que se utilicen para la fabricación de los sistemas refrigerantes no deben ser combustibles.

Se deben utilizar instrumentos de seguridad intrínseca que constantemente estén midiendo las concentraciones de gases en el ambiente donde está ubicado el sistema de refrigeración o aire acondicionado. Esto con el fin de evitar la concentración de gases a causa de fugas de los equipos de refrigeración u otras máquinas o equipos que de una u otra forma emitan gases inflamables. Recuerde que con una concentración exacta de gases combustibles, carburantes y una fuente de ignición, se podría generar una explosión en cadena o incendios indeseados.

INSTALACIÓN

Los sistemas, o las partes de un sistema no deben ubicarse dentro de un espacio o habitación cuyo volumen permita que un escape total del refrigerante provoque una mezcla de refrigerante y aire con una concentración de refrigerante superior a un quinto (20%) del límite inferior de inflamabilidad (LFL). Si esto no es posible y la instalación se realiza en una sala de máquinas, se deberá utilizar un detector de fugas de refrigerante y ventilación mecánica.

Los sistemas de refrigeración que contengan más de 1.0 kg. (2.2 lb) no deben ubicarse en espacios bajo el nivel del suelo.

Si existen instalaciones ubicadas en el techo de una construcción, se deben tomar precauciones

para asegurar que en el caso de un escape, el refrigerante no ingrese al edificio.

VENTILACIÓN

La ventilación es necesaria en los equipos de refrigeración que utilizan HC, ya que el sitio o ambiente donde se encuentre ubicada puede almacenar cantidades de gases inflamables. Una alta ventilación puede producir que algunos dispositivos eléctricos se sobrecalienten hasta el punto de convertirse en una fuente de ignición.

Se recomienda que el ventilador sólo trabaje durante el ciclo de funcionamiento del compresor, ya que la probabilidad de que se produzca una fuga desastrosa es mínima cuando éste no está en funcionamiento. Asegúrese de que el ventilador se encuentre conectado a un cortacorriente que sólo se active en caso de que se detecte una fuga.

13.5 CARGA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN CON HC

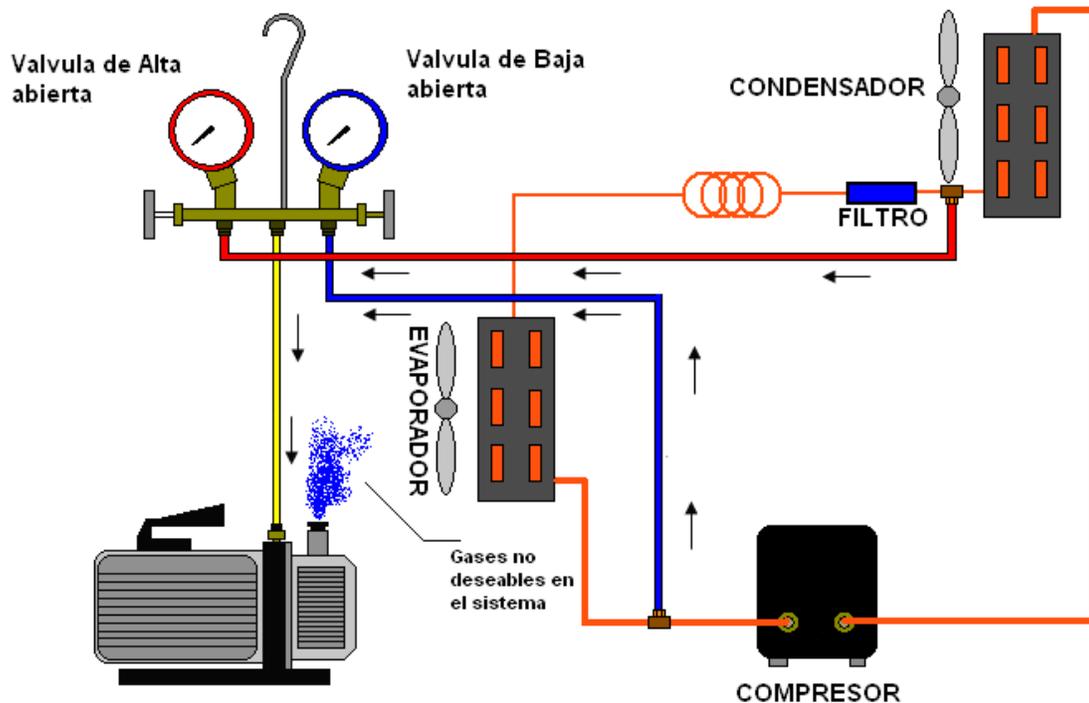
Para realizar la carga con refrigerante de hidrocarburo al sistema es necesario aplicar un barrido de nitrógeno para limpiar de impurezas y evitar la contaminación del refrigerante. Durante el proceso de recuperación del refrigerante a reemplazar (CFC, CFC, CFC o mezclas), se debió registrar la cantidad de refrigerante recuperado, esto con el fin de recargar el sistema con un 40% de HC. En caso contrario, la carga del sistema de refrigeración debe realizarse mediante la temperatura de succión del compresor.

A continuación se presenta el procedimiento a seguir para la recarga del sistema de refrigeración con refrigerante de hidrocarburo.

MÉTODO DE CARGA CON BALANZA

- En el momento que se termina de recuperar el refrigerante a reemplazar, se debe realizar un barrido con gas nitrógeno para limpiar las tuberías de cualquier impureza que pueda contaminar el refrigerante a cargar.
- Mediante la tabla de equivalencias, puede seleccionar la cantidad de refrigerante HC adecuada a cargar en el sistema con respecto a la cantidad de refrigerante tradicional recuperado.
- Es importante realizar el proceso de vacío, tal como se explicó en capítulos anteriores.

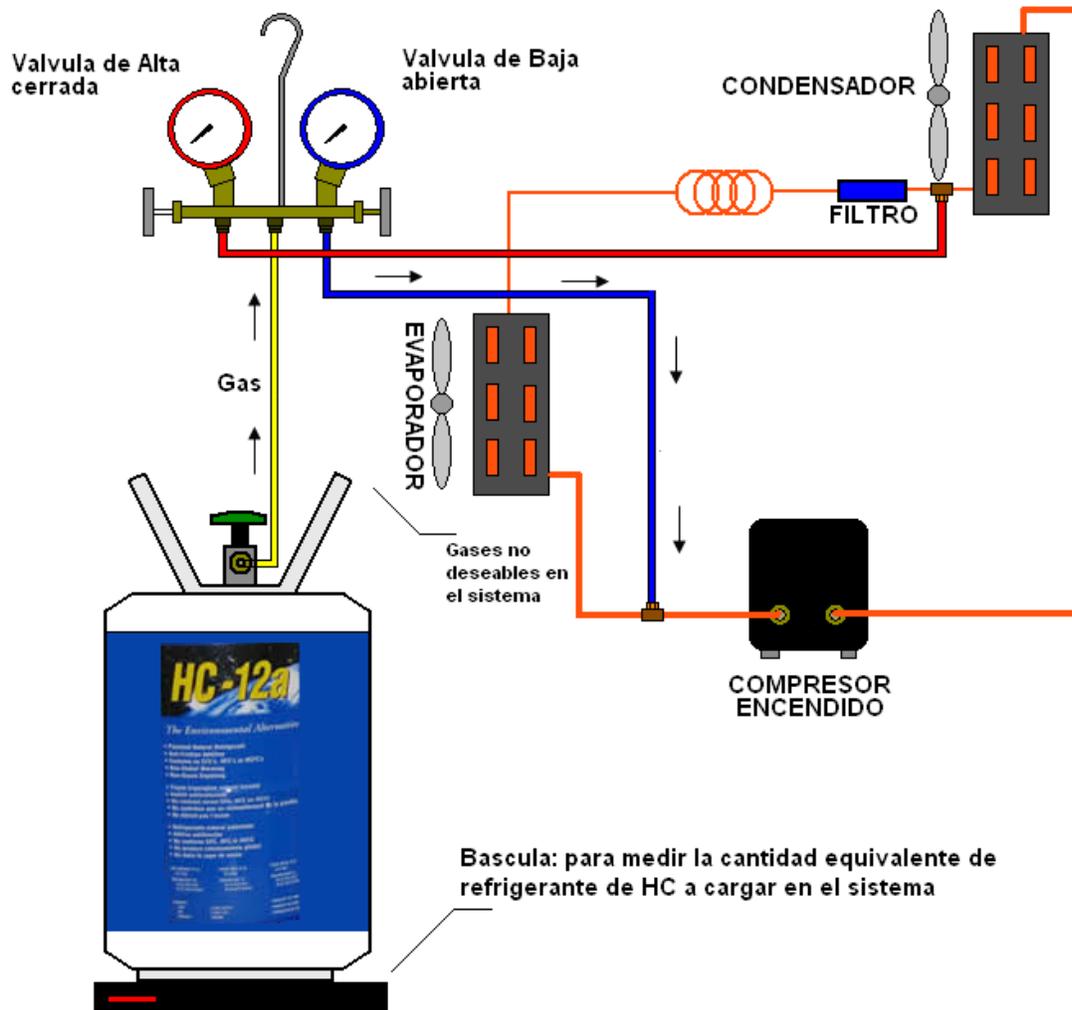
Figura 18. Vacío del sistema.



Fuente: Ilustración adaptada por David Rueda del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado SEMARNAT.

- Este vacío se debe mantener en el momento que se proceda a cargar el sistema. Por eso en el momento que se termine el vacío del sistema se deben cerrar las válvulas de los manómetros. Desconectar la manguera de servicio de la bomba de vacío y reconectarla a la válvula de gas del cilindro de refrigerante de HC.
- En este proceso de recarga de HC sólo se debe abrir la válvula de baja del manómetro, con el fin de cargar el sistema de gas en el lado de baja del sistema.
- El compresor debe estar encendido para recircular el refrigerante en todo el sistema.
- Durante el proceso de carga se debe estar vigilando la cantidad de carga entrante al sistema mediante la báscula. Una vez se llegue aproximadamente a la cantidad de HC (en Kg o Lb), tomada de la tabla de equivalencias, se cierra la válvula de los manómetros y se habrá terminado el proceso de carga.

Figura 19. Recarga del sistema con refrigerante HC.



Fuente: Ilustración adaptada por David Rueda del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado SEMARNAT.

Como observamos en la imagen anterior, el sistema fue cargado con refrigerante HC 12 a y se utiliza la báscula para medir la cantidad de refrigerante cargado. Una vez terminado el proceso se cierran todas las válvulas, se retira la manguera del servicio del cilindro de carga y finalmente se retira el juego de manómetros del sistema de refrigeración.

MÉTODO DE CARGA POR SOBRECALENTAMIENTO DEL VAPOR

Este método consiste en medir la temperatura de sobrecalentamiento con respecto a la presión de succión en el compresor. Este método se utiliza en caso tal que el registro de cantidad de refrigerante recuperado o reciclado no se tenga, luego no se podrá utilizar la tabla de equivalencias de carga de hidrocarburos.

Después de realizar la limpieza con nitrógeno y el vacío al sistema de refrigeración. Se conecta la manguera de servicio al cilindro de carga de HC. Recuerde mantener las válvulas del juego de manómetro cerradas.

En este método es importante que se mida la temperatura mediante un sensor en la succión del compresor. Esto para registrar la temperatura de sobrecalentamiento a la entrada del compresor.

El procedimiento de carga por sobrecalentamiento es el siguiente:

- Una vez conectada la válvula de servicio al cilindro de carga de HC, se debe abrir la válvula de baja del juego de manómetros para que ingrese gas al sistema de refrigeración. Recuerde que el compresor debe permanecer encendido.
- Cierre la válvula del manómetro de baja y espere hasta que la presión del sistema se estabilice. Lo cual sucederá cuando el manómetro indica una presión constante durante el proceso.
- Ahora, registre la presión indicada en el lado de baja y observe la temperatura de saturación del refrigerante a cargar en la tabla estándar de burbujeo (Anexos), donde encontrará la temperatura de saturación de la sustancia refrigerante a diferentes presiones.
- Esta temperatura es la temperatura de saturación de la sustancia refrigerante, luego en el lado de succión esta temperatura debe ser aproximadamente 8°C más alta que la de saturación.
- En nuestro caso cargaremos a un sistema de refrigeración HC 12 a.

Figura 20. Diagrama de un cilindro de refrigerante HC 12a.

Fuente: Ilustración diseñada por David Rueda.



Según las tablas de burbujeo del HC 12 a, a una presión de 34.8 psia (recordemos que es una presión absoluta NO manométrica), la temperatura de saturación es 15 °F (-9.4 °C).

Luego lo ideal sería que a la entrada de succión del compresor hubiera una temperatura 8°C mayor a la de saturación o evaporación. Es decir que debe haber un sobrecalentamiento de refrigerante a la entrada del compresor. Para nuestro ejemplo tenemos que esta temperatura debe ser de -1.4 °C.

El sensor de temperatura instalado en el lado de succión del compresor, nos ayudará a observar las variaciones de temperaturas necesarias para llevar el refrigerante a la temperatura deseada de sobrecalentamiento.

Figura 21. Diagrama de carga por sobrecalentamiento con la válvula de baja abierta.

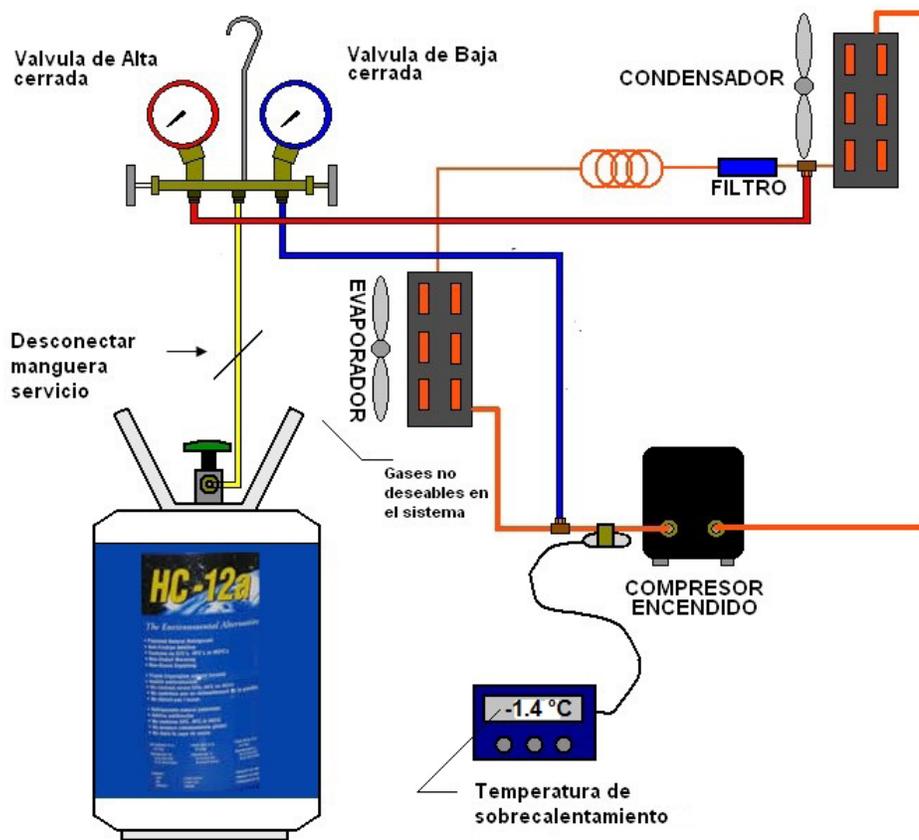


Fuente: Ilustración adaptada por David Rueda del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado SEMARNAT.

Entonces, una vez se verifique la temperatura de saturación a la presión registrada en el manómetro de baja. Se procede a reabrir la válvula del manómetro de baja para reingresar refrigerante al sistema, esto producirá un aumento de presión de baja.

Recuerde que lo que se busca es que la temperatura del lado de succión del refrigerante sea mayor a la de saturación, es decir que esté en un estado de sobrecalentamiento de 8°C con respecto a la de saturación

Figura 22. Diagrama de carga por sobrecalentamiento con la válvula de baja cerrada.



Fuente: Ilustración adaptada por David Rueda del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado SEMARNAT.

Una vez el sensor de temperatura registre la temperatura de sobrecalentamiento adecuada, cierre las válvulas de los manómetros, y desconecte la manguera de servicio del cilindro de carga de HC.

Esta temperatura de sobrecalentamiento, indicará que el proceso de carga esta listo y se puede proceder a retirar el equipo de recarga del sistema de refrigeración.

Es importante, para los dos métodos de carga que se espere un tiempo de 10 a 15 minutos, antes de retirar todo el equipo de carga, ya que si se presenta una caída de presión, será necesario realizar una nueva carga al sistema o revisar si se presenta alguna fuga en uniones o tuberías.

BIBLIOGRAFÍA

- NORTHCUTT, Manual de capacitación sobre productos refrigerantes de hidrocarburo HC
- American Society of Heating, Refrigerating Conditioning, 1994 ASHRAE handbook Refrigeration, SI Edition, Atlanta 2006.
- HOWELL. H. Ronald. SAUER. Harry J, Jr. COAD. William J. Principles of Heating Ventilating of Air Conditioning. American Society of Heating, Refrigerating Conditioning ASHRAE, 2005
- Unidad Técnica del Ozono UTO, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Ambiental, UNDP. El Mantenimiento de Sistemas de Refrigeración y la Certificación por Competencias Laborales, Colombia 2004.
- Unidad Técnica del Ozono UTO, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Ambiental, UNDP. Implementación del Protocolo de Montreal en Colombia, Colombia 2004.
- Unidad Técnica del Ozono UTO, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Ambiental, UNDP. Manual de Buenas Prácticas en Refrigeración, Colombia 2004.
- William C. Whitman, William M. Johnson. Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado, Fundamentos, Tomo I. Paraninfo 2000.
- William C. Whitman, William M. Johnson. Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado, Refrigeración Comercial, Tomo II. Paraninfo 2000.
- William C. Whitman, William M. Johnson. Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado, aire Acondicionado, Tomo III. Paraninfo 2000.
- William C. Whitman, William M. Johnson. Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado, Aparatos Domésticos y sistemas especiales, Tomo IV. Paraninfo 2000.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, BUENAS PRÁCTICAS EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO, México 2006
- J. Van Wylen, Thermodynamics.
-

ACAIRE, Revista No 53. Ingeniería Verde. Octubre 2008

AC/R Latinoamérica, Revista No 5. Octubre 2004

PÁGINAS WEB

URL: <http://www.ingenierogildardo.com/articulos.htm>.

http://www.pnud.org.co/img_upload/9056f18133669868e1cc381983d50faa/control_del_comercio_de_sustancias_agotadoras_de_la_capa_de_ozono.pdf

<http://www1.minambiente.gov.co>

<http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/93652.pdf>

<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/index.html>

<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/dobson.html>.

http://www1.minambiente.gov.co/viceministerios/ambiente/ozono/colombia_protocolo_1.htm

<http://www.reparac.com/PAGINAS/detectfugas.html>

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales SAO's, sustancias agotadoras de Ozono controladas por el Protocolo de Montreal. Fuente: Tomado de Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT. <http://www.ingenierogildardo.com/articulos.htm>.

Tabla 2. PAO y PCG de gases refrigerantes. Fuente: Tomado de Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT. <http://www.ingenierogildardo.com/articulos.htm>.

Tabla 3. Consumo y reducción a nivel industrial en Colombia de SAO's. Fuente: http://www.pnud.org.co/img_upload/9056f18133669868e1cc381983d50faa/control_del_comercio_de_sustancias_agotadoras_de_la_capa_de_ozono.pdf

Tabla 4. Resultado de eliminación SAO's.

Fuente: http://www.pnud.org.co/img_upload/9056f18133669868e1cc381983d50faa/control_del_comercio_de_sustancias_agotadoras_de_la_capa_de_ozono.pdf

Tabla 5. Consumo SAO's en Colombia. Fuente: <http://www1.minambiente.gov.co>

Tabla 6. Principales Fuentes de Energía. Fuente: Tomado de la Revista Acaire ed. 53. 2008. Página 12.

Tabla 7. Agresiones ambientales debido a las actividades humanas, por sector, a mediados de la década de 1990. Fuente: Tomado de la Revista Acaire ed. 53. 2008. Página 13.

Tabla 8. Algunos CFC's regulados por el protocolo de Montreal. Fuente: Tomado de Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT. <http://www.ingenierogildardo.com/articulos.htm>.

Tabla 9. Propiedades físicas de algunos refrigerantes. Fuente: Tomado de <http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/93652.pdf>

Tabla 10. Impacto ambiental de algunos refrigerantes. Fuente: Tomado de <http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/93652.pdf>

Tabla 11. Limite de inflamabilidad. Fuente: Tomado de <http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/93652.pdf>

Tabla 12. Propiedades comparativas en el ciclo de refrigeración ASHRAE. Fuente: Tomado de <http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/93652.pdf>

Tabla 13. Componentes de los refrigerantes HC. Fuente: Información adaptada por David G. Rueda

Tabla 14. Campos de aplicación de los refrigerantes HC. Fuente: NORTHCUTT. Manual de capacitación sobre productos refrigerantes de hidrocarburo HC.

Tabla 15. Propiedades físicas de refrigerantes HC's. Fuente: NORTHCUTT. Manual de capacitación sobre productos refrigerantes de hidrocarburo HC.

Tabla 16. Compatibilidad de lubricación para refrigerantes HC. Información adaptada por David G. Rueda

Tabla 17. Código de colores RI para los cilindros de gas refrigerante. Fuente: Tomado de Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT. <http://www.ingenierogildardo.com/articulos.htm>.

Tabla 18. Tecnologías evaluadas y aprobadas por el TEAP para la destrucción de CFC's y HFC's. Fuente: Tomado de Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT. <http://www.ingenierogildardo.com/articulos.htm>.

Tabla 19. Aplicaciones de refrigerantes de HC's. Fuente: AC/R Latinoamérica, Revista No 5. Octubre 2004.

Tabla 20. Aplicaciones Fuente: NORTHCUTT. Manual de capacitación sobre productos refrigerantes de hidrocarburo HC.

Tabla 21. Equivalencias. Fuente: NORTHCUTT. Manual de capacitación sobre productos refrigerantes de hidrocarburo HC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Agujero en la capa de ozono. Fuente: Tomado de la página web de la NASA. <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/index.html>

Figura 2. Comparación de espesor de la capa de ozono. Fuente: Foto tomada de la página Web de la NASA. <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/dobson.html>.

Figura 3. Comparativo del crecimiento del agujero de la capa de ozono y disminución del ozono desde 1979 hasta el año 2008. Fuente: Tomado de la página Web de la NASA. <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/index.html>

Figura 4. Destrucción de la capa de ozono. Fuente: Tomado de Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT. <http://www.ingenierogildardo.com/articulos.htm>.

Figura 5. Consumo anexo A grupo I. Fuente: http://www1.minambiente.gov.co/viceministerios/ambiente/ozono/colombia_protocolo_1.htm

Figura 6. Propiedades termodinámicas de los refrigerantes HC Vs. R12 y R134a. Fuente: Tomado de <http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/93652.pdf>

Figura 7. Comportamiento de la diferencia de presión con relación a la temperatura de evaporación. Fuente: Tomado de <http://www.embraco.com.br/portugue/produtos/93652.pdf>

Figura 8. Diversas presentaciones de los refrigerantes. Fuente: Memorias UTO.2004.

Figura 9. Diagrama de un cilindro recuperador. Fuente: Ilustración diseñada por David Rueda.

Figura 10. Válvula de expansión. Fuente: Memorias curso básico para técnicos Acaire. Ing. Edgar Baquero.

Figura 11. Diagrama de los cilindros de gas propano. Fuente: Adaptado del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT.

Figura 12. Detector de fugas. Fuente: Tomado de <http://www.reparac.com/PAGINAS/detectfugas.html>

Figura 13. Diagrama para realizar la purga de un sistema de refrigeración. Fuente: Adaptado del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. SEMARNAT.

Figura 14. Diagrama del método de recuperación directa. Fuente: Ilustración adaptada por David Rueda del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado SEMARNAT.

Figura 15. Diagrama de una máquina recuperadora. Fuente: Ilustración diseñada por David Rueda.

Figura 16. Diagrama de recuperación de refrigerante. Fuente: Ilustración adaptada por David Rueda del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado SEMARNAT.

Figura 17. Diagrama de recuperación por el método de push pull. Fuente: Ilustración adaptada por David Rueda del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado SEMARNAT.

Figura 18. Vacío del sistema. Fuente: Ilustración adaptada por David Rueda del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado SEMARNAT.

Figura 19. Recarga del sistema con refrigerante HC. Fuente: Ilustración adaptada por David Rueda del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado SEMARNAT.

Figura 20. Diagrama de un cilindro de refrigerante HC 12a. Fuente: Ilustración diseñada por David Rueda.

Figura 21. Diagrama de carga por sobrecalentamiento con la válvula de baja abierta. Fuente: Ilustración adaptada por David Rueda del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado SEMARNAT.

Figura 22. Diagrama de carga por sobrecalentamiento con la válvula de baja cerrada. Fuente: Ilustración adaptada por David Rueda del Manual de buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado SEMARNAT.

LISTA DE ANEXOS

A1. Tablas de selección de tuberías

A1.1. Información sobre la tubería de succión para HC 12 a

A1.1a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de succión

A1.1b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fco}' para la temperatura de salida del condensador

A1.1c. Capacidad mínima de refrigeración para el arrastre de aceite en los conductos ascendentes de succión

A1.2. Información sobre la tubería de líquidos para HC 12 a

A1.2a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de líquidos

A1.2b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fte} para la temperatura de condensación

A1.3. Información sobre la tubería de descarga para HC 12 a

A1.3a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de descarga

A1.3b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fte} para la temperatura de condensación

A2. TABLAS DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS PARA HC 22 a

A2.1. Información sobre la tubería de succión para HC 22 a

A2.1a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de succión

A2.1b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fco}' para la temperatura de salida del condensador

A2.1c. Capacidad mínima de refrigeración para el arrastre de aceite en los conductos ascendentes de succión

A2.2. Información sobre la tubería de líquido de HC 22 a

A2.2a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de líquidos

A2.2b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fte} para la temperatura de evaporación

A2.3. Información sobre la tubería de descarga para HC 22 a

A2.3a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de descarga

A2.3b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fte} para la temperatura de condensación

A3. TABLAS DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS PARA HC 502 a

A3.1. Información sobre la tubería de succión para HC 502 a

A3.1a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de succión

A3.1b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, $C_{fco'}$ para la temperatura de salida del condensador

A3.1c. Capacidad mínima de refrigeración para el arrastre de aceite en los conductos ascendentes de succión

A3.2. Información sobre la tubería de líquidos para HC 502 a

A3.2a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de líquidos

A3.2b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fte} para la temperatura de evaporación

A3.3. Información sobre la tubería de descarga para HC 502 a

A3.3a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de descarga

A3.3b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fe} para la temperatura de condensación

A4. TABLAS DE SATURACIÓN DE REFRIGERANTES DE HIDROCARBUROS

ANEXOS 6

A1. Tablas de selección de tuberías

A1.1. Información sobre la tubería de succión para HC 12 a

A1.1a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de succión

(Capacidades en Kw, $Qe' = Qe/Cfco'$, recalentamiento de 10K en el evaporador, recalentamiento de 10K en la succión).

Tamaño nominal de las tuberías (pulgadas)	Temperatura (°C) de evaporación (Condensación/Burbuja)						
	-30/-38.7	-20/-28.6	-10/-18.4	-5/-13.3	0/-8.2	5/-3.1	10/2.0
	Pérdida de presión de la tubería de succión (equivalente a 0.04 K/m) (Pa/m)						
	132	184	240	288	328	376	424
1/4	0.06	0.09	0.13	0.17	0.20	0.24	0.28
3/8	0.18	0.28	0.42	0.52	0.63	0.75	0.88
1/2	0.41	0.65	0.97	1.20	1.45	1.75	2.05
5/8	0.78	1.23	1.83	2.28	2.74	3.30	3.87
3/4	1.25	1.97	2.92	3.64	4.48	5.27	6.18
7/8	1.94	3.03	4.53	5.64	6.79	8.17	9.58
1 1/8	3.93	6.18	9.18	11.4	13.8	16.5	19.4
1 3/8	6.86	10.8	16.0	19.9	24.0	28.7	33.9
1 5/8	10.9	17.1	25.4	31.6	38.1	45.8	53.7
2 1/8	22.6	35.7	52.9	65.8	79.3	95.4	112
2 5/8	40.9	64.5	95.7	119	143	173	202
3 1/8	63.7	100	149	185	223	269	315
3 5/8	95.5	150	233	278	334	402	472

A1.1b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, $Cfco'$ para la temperatura de salida del condensador

Temperatura de salida del condensador (°C)	1.8	12.1	22.3	32.7	43.0	53.5
Factor de corrección Cf_{co}'	1.29	1.20	1.10	1.00	0.90	0.78

A1.1c. Capacidad mínima de refrigeración para el arrastre de aceite en los conductos ascendentes de succión

6 Fuente: NORTH CUTT. Manual de capacitación sobre productos refrigerantes de hidrocarburo HC.

(Capacidades en kW, $Q_e' = Q_e/C_{fco}'$, recalentamiento de 10K en el evaporador, recalentamiento de 10K en la succión)

Tamaño nominal de las tuberías (pulgadas)	Temperatura (°C) de evaporación (Condensación/Burbuja)						
	-30/-38.7	-20/-28.6	-10/-18.4	-5/-13.3	0/-8.2	5/-3.1	10/2.0
1/4	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
3/8	0.12	0.15	0.19	0.22	0.24	0.27	0.30
1/2	0.27	0.35	0.45	0.50	0.56	0.63	0.69
5/8	0.50	0.66	0.85	0.95	1.06	1.19	1.30
3/4	0.81	1.06	1.35	1.52	1.70	1.90	2.08
7/8	1.25	1.64	2.10	2.36	2.64	2.94	3.23
1 1/8	2.53	3.32	4.25	4.77	5.34	5.97	6.55
1 3/8	4.42	5.79	7.42	8.34	9.33	10.4	11.4
1 5/8	7.01	9.19	11.8	13.2	14.8	16.5	18.1
2 1/8	14.6	19.1	24.5	27.5	30.8	34.4	37.7
2 5/8	26.4	34.6	44.3	49.8	55.7	62.2	68.2
3 1/8	41.1	53.9	69.0	77.6	86.7	96.9	106
3 5/8	61.6	80.7	103	116	130	145	159

(Capacidades en kW, $Q_e' = Q_e/C_{fte}$, Temperatura de condensación 40.0/32.7 °C, subenfriamiento de 5K en el líquido).

Tamaño nominal de las tuberías (pulg.)	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
Capacidad a 0.02 K/m (402 Pa/m)	2.10	6.54	15.2	28.6	48.7	70.9
Tamaño nominal de las tuberías (pulg.)	1 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8		
Capacidad a 0.02 K/ m (402 Pa/m)	144	251	398	828		

A1.2b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fte} para la temperatura de condensación

(Subenfriamiento de 5k)

Temp. de evap. (°C)	-30	-20	-10	-5	0	5	10
Factor de Correc. C_{fte}	0.91	0.96	1.01	1.03	1.06	1.08	1.11

A1.3. Información sobre la tubería de descarga para HC 12 a

A1.3a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de descarga

(Capacidades en kW, $Q_{e'} = Q_e/C_{fte}$, recalentamiento de 10K del evaporador, recalentamiento de 10K en la succión)

Tamaño nominal de las tuberías (pulg.)	Temperatura (°C) de evaporación (Condensación/Burbuja)						
	-30/-38.7	-20/-28.6	-10/-18.4	-5/-13.3	0/-8.2	5/-3.1	10/2.0
1/4	0.33	0.35	0.38	0.39	0.40	0.42	0.43
3/8	1.03	1.10	1.18	1.22	1.25	1.29	1.33
1/2	2.38	2.55	2.73	2.82	2.90	2.99	3.08
5/8	4.50	4.83	5.16	5.33	5.49	5.66	5.82
3/4	7.18	7.71	8.24	8.50	8.77	9.03	9.29
7/8	11.1	12.0	12.8	13.2	13.6	14.0	14.4
1 1/8	22.6	24.2	25.9	26.7	27.5	28.4	29.2
1 3/8	39.4	42.3	45.2	46.6	48.1	49.5	51.0
1 5/8	62.4	67.0	71.6	73.9	76.2	78.5	80.8
2 1/8	130	140	149	154	159	164	168
2 5/8	235	252	270	278	284	296	304
3 1/8	366	393	420	434	447	460	474
3 5/8	548	589	629	649	669	690	710

A1.3b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fte} para la temperatura de condensación

(Subenfriamiento de 5k).

Temperatura de condensación (°C)	10	20	30	40	50	60
Pérdida de presión 0.02 K/m (Pa/m)	212	266	330	402	482	574

Factor de corrección, C_{fte}	0.61	0.74	0.90	1.05	1.19	1.31
---------------------------------	------	------	------	------	------	------

Notas:

La metodología de la tabla de selección de tuberías se basa en el Capítulo 2 de Prácticas de sistemas para refrigerantes halocarbonados (System Practices for Halocarbon Refrigerants) del Manual de Refrigeración ASHRAE de 1994.

Las propiedades de los refrigerantes se obtuvieron de KMKREIS, versión 3.22.

Todos los diámetros de las tuberías internas se basan en el valor promedio de la tabla 3 de la norma ASTM B88.

Las capacidades de las tuberías de descarga asumen una eficacia del compresor del 65%.

Para convertir las capacidades del evaporador de la tabla para la mitad de la pérdida de presión indicada, multiplique por 0.68.

Para convertir las capacidades del evaporador de la tabla para 1.5 veces la pérdida de presión indicada, multiplique por 1.25.

A2. TABLAS DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS PARA HC 22 a

A2.1. Información sobre la tubería de succión para HC 22 a

A2.1a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de succión

(Capacidades en kW, $Q_e' = Q_e/C_{fco}'$, recalentamiento de 10K en el evaporador, recalentamiento de 10K en la succión).

Tamaño nominal de las tuberías (pulg.)	Temperatura de evaporación (°C)						
	-30	-20	-10	-5	0	5	10
	Pérdida de presión de la tubería de succión (equivalente a 0.04 K/m) (Pa/m)						
	264	352	460	520	584	652	728
1/4	0.12	0.18	0.26	0.31	0.36	0.43	0.50
3/8	0.37	0.55	0.80	0.96	1.13	1.33	1.56
1/2	0.85	1.28	1.86	2.22	2.62	3.08	3.61
5/8	1.61	2.42	3.52	4.19	4.96	5.83	6.83
3/4	2.58	3.86	5.61	6.69	7.92	9.30	10.9
7/8	4.00	5.99	8.70	10.4	12.3	14.4	16.9
1 1/8	8.09	12.1	17.7	21.0	24.9	29.2	34.3
1 3/8	14.1	21.2	30.8	36.7	43.4	51.0	59.8
1 5/8	22.4	33.6	48.8	58.3	68.8	80.9	94.8
2 1/8	46.7	69.9	102	121	143	168	197
2 5/8	84.4	126	185	219	259	305	357
3 1/8	131	197	286	341	404	474	556
3 5/8	197	295	429	511	604	710	832

A2.1b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fco}' para la temperatura de salida del condensador

Temperatura de salida del condensador (°C)	1.8	12.1	22.3	32.7	43.0	53.5
Factor de corrección C_{fco}'	1.29	1.20	1.10	1.00	0.90	0.78

A2.1c. Capacidad mínima de refrigeración para el arrastre de aceite en los conductos ascendentes de succión

(Capacidades en kW, $Q_{e'} = Q_e/C_{fco}'$, recalentamiento de 10K en el evaporador, recalentamiento de 10K en la succión)

Tamaño nominal de las tuberías (pulg.)	Temperatura de evaporación (°C)						
	-30	-20	-10	-5	0	5	10
1/4	0.05	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13
3/8	0.16	0.21	0.26	0.29	0.32	0.35	0.39
1/2	0.38	0.48	0.60	0.66	0.75	0.82	0.91
5/8	0.71	0.90	1.13	1.27	1.39	1.55	1.71
3/4	1.13	1.45	1.81	2.01	2.25	2.46	2.72
7/8	1.75	2.24	2.80	3.13	3.46	3.82	4.23
1 1/8	3.55	4.54	5.69	6.36	7.01	7.81	8.52
1 3/8	6.21	7.89	9.94	11.1	12.3	13.6	15.0
1 5/8	9.83	12.6	15.7	17.5	19.4	21.5	23.7
2 1/8	20.5	26.2	32.8	36.5	40.5	45.0	49.2
2 5/8	37.0	47.2	59.4	66.0	73.4	80.7	89.1
3 1/8	57.7	73.7	92.5	103	114	126	140
3 5/8	86.5	110	138	154	170	189	209

A2.2 Información sobre la tubería de líquido de HC 22 a

A2.2a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de líquidos

(Capacidades en kW, $Q_{e'} = Q_e/C_{fte}$, Temperatura de condensación 40°C/subenfriamiento de 5K del líquido)

Tamaño nominal de las tuberías (pulg.)	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
Capacidad a 0.02 K/ m (644 Pa/m)	2.62	8.15	18.9	35.7	57.1	88.4
Tamaño nominal de las tuberías (pulg.)	1 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8		
Capacidad a 0.02 K/ m (644 Pa/m)	179	313	496	1033		

A2.2b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fte} para la temperatura de evaporación

(Recalentamiento de 10K en el evaporador)

Temp. de evap. (°C)	-30	-20	-10	-5	0	5	10
Factor de Correc. C_{fte}	0.92	0.97	1.02	1.04	1.06	1.08	1.11

A2.3. Información sobre la tubería de descarga para HC 22 a

A2.3a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de descarga

(Capacidades en kW, $Q_{e'} = Q_e / C_{fte}$, recalentamiento de 10K del evaporador, recalentamiento de 10K en la succión)

Tamaño nominal de las tuberías (pulg.)	Temperatura de evaporación (°C)						
	-30	-20	-10	-5	0	5	10
1/4	0.53	0.57	0.60	0.62	0.64	0.66	0.68
3/8	1.64	1.76	1.88	1.94	2.00	2.06	2.12
1/2	3.80	4.08	4.36	4.50	4.64	4.78	4.92
5/8	7.18	7.71	8.24	8.51	8.78	9.04	9.31
3/4	11.5	12.3	13.2	13.6	14.0	14.4	14.9
7/8	17.8	19.1	20.4	21.1	21.7	22.4	23.0
1 1/8	36.0	38.7	41.3	42.7	44.0	45.3	46.7
1 3/8	62.8	67.5	72.2	74.5	76.8	79.1	81.5
1 5/8	99.6	107	114	118	122	125	129
2 1/8	208	223	238	246	254	261	269
2 5/8	375	403	431	445	459	472	486
3 1/8	584	628	671	693	714	736	758
3 5/8	875	940	1005	1037	1070	1096	1135

A2.3b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fte} para la temperatura de condensación

(Subenfriamiento de 5k)

Temperatura de condensación (°C)	10	20	30	40	50	60
Pérdida de presión 0.02 K/m (Pa/m)	364	446	538	644	758	882
Factor de corrección, $C_{f_{te}}$	0.70	0.82	0.95	1.06	1.16	1.21

NOTAS

1. La metodología de la tabla de selección de tuberías se basa en el Capítulo 2 de Prácticas de sistemas para refrigerantes halocarbonados (System Practices for Halocarbon Refrigerants) del Manual de Refrigeración ASHRAE de 1994.

Las propiedades de los refrigerantes se obtuvieron de KMKREIS, versión 3.22.

Todos los diámetros de las tuberías internas se basan en el valor promedio de la tabla 3 de la norma ASTM B88.

Las capacidades de las tuberías de descarga asumen una eficacia del compresor del 65%.

Para convertir las capacidades del evaporador de la tabla para la mitad de la pérdida de presión indicada, multiplique por 0.68.

Para convertir las capacidades del evaporador de la tabla para 1.5 veces la pérdida de presión indicada, multiplique por 1.25.

A3. TABLAS DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS PARA HC 502 a

A3.1. Información sobre la tubería de succión para HC 502 a

A3.1a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de succión

(Capacidades en kW, $Q_e' = Q_e/C_{fco}'$, recalentamiento de 10K en el evaporador, recalentamiento de 10K en la succión)

Tamaño nominal de las tuberías (pulgadas)	Temperatura (°C) de evaporación (Condensación/Burbuja)						
	-30/-36.0	-20/-25.7	-10/-15.	-5/-10.2	0/-5.0	5/0.1	10/5.3
	Pérdida de presión de la tubería de succión (equivalente a 0.04 K/m) (Pa/m)						
	276	372	484	548	612	688	768
1/4	0.13	0.19	0.28	0.33	0.39	0.46	0.54
3/8	0.40	0.60	0.87	1.04	1.22	1.44	1.69
1/2	0.93	1.40	2.02	2.41	2.84	3.34	3.91
5/8	1.76	2.64	3.81	4.55	5.36	6.32	7.40
3/4	2.81	4.21	6.08	7.26	8.56	10.1	11.8
7/8	4.35	6.54	9.43	11.3	13.3	15.7	19.3
1 1/8	8.81	13.2	19.1	22.8	26.9	31.7	37.1
1 3/8	15.4	23.1	33.4	39.8	46.9	55.3	64.8
1 5/8	24.4	36.7	52.9	63.2	74.4	87.7	103
2 1/8	50.8	76.3	110	132	155	183	214
2 5/8	91.9	138	199	238	280	330	387
3 1/8	143	215	310	370	437	515	602
3 5/8	214	322	464	555	660	771	902

A3.1b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fco}' para la temperatura de salida del condensador

Temperatura de salida del condensador (°C)	5.7	16.0	26.3	36.6	46.9	57.3
Factor de corrección C_{fco}'	1.34	1.23	1.12	1.00	0.88	0.74

A3.1c. Capacidad mínima de refrigeración para el arrastre de aceite en los conductos ascendentes de succión

(Capacidades en kW, $Q_e' = Q_e/C_{fco}'$, recalentamiento de 10K en el evaporador, recalentamiento de 10K en la succión)

Tamaño nominal de las tuberías (pulgadas)	Temperatura (°C) de evaporación (Condensación/Burbuja)						
	-30/-36.0	-20/-25.7	-10/-15.4	-5/-10.2	0/-5.0	5/0.1	10/5.3
1/4	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13
3/8	0.17	0.22	0.27	0.30	0.34	0.37	0.41
1/2	0.40	0.51	0.63	0.70	0.78	0.86	0.95
5/8	0.75	0.96	1.20	1.33	1.48	1.63	1.79
3/4	1.20	1.53	1.91	2.13	2.36	2.60	2.86
7/8	1.87	2.37	2.96	3.30	3.65	4.04	4.44
1 1/8	3.78	4.80	6.00	6.68	7.40	8.17	9.00
1 3/8	6.59	8.39	10.5	11.7	12.9	14.3	15.7
1 5/8	10.5	13.3	16.6	18.5	20.5	22.6	24.9
2 1/8	21.8	27.7	34.6	38.5	42.7	47.1	51.9
2 5/8	39.4	50.1	62.6	69.6	77.1	85.2	93.8
3 1/8	61.3	78.0	97.4	108	120	133	146
3 5/8	91.8	117	146	162	180	199	219

A3.2. Información sobre la tubería de líquidos para HC 502 a

A3.2a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de líquidos

(Capacidades en kW, $Q_e' = Q_e/C_{fte}$, Temperatura de condensación 40.0°C, subenfriamiento de 5K del líquido)

Tamaño nominal de las tuberías (pulg.)	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
Capacidad a 0.02 K/ m (678 Pa/m)	2.77	8.60	19.9	37.7	60.1	93.3
Tamaño nominal de las tuberías (pulg.)	1 1/8	1 3/8	1 5/8	2 1/8		
Capacidad a 0.02 K/ m (678 Pa/m)	189	330	523	1090		

A3.2b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fte} para la temperatura de evaporación

(Recalentamiento de 10K en el evaporador)

Temp. de evap. (°C)	-30	-20	-10	-5	0	5	10
Factor de Correc. C_{fte}	0.93	0.97	1.02	1.04	1.06	1.08	1.10

A3.3. Información sobre la tubería de descarga para HC 502 a

A3.3a. Tabla de capacidad del evaporador para tuberías de descarga

(Capacidades en kW, $Q_e' = Q_e/C_{fte}$, recalentamiento de 10K del evaporador, recalentamiento de 10K en la succión)

Tamaño nominal de las tuberías (pulg.)	Temperatura (°C) de evaporación (Condensación/Burbuja)						
	-30/-36.0	-20/-25.7	-10/-15.4	-5/-10.2	0/-5.0	5/0.1	10/5.3
1/4	0.57	0.62	0.66	0.68	0.70	0.72	0.74
3/8	1.78	1.91	2.04	2.11	2.17	2.24	2.30
1/2	4.13	4.43	4.74	4.89	5.04	5.19	5.33
5/8	7.81	8.38	8.96	9.24	9.53	9.80	10.1
3/4	12.5	13.4	14.3	14.8	15.2	15.7	16.1
7/8	19.3	20.8	22.2	22.9	23.6	24.3	25.0
1 1/8	39.2	42.0	44.9	46.3	47.8	49.2	50.6
1 3/8	68.4	73.4	78.4	80.9	93.4	85.8	88.3
1 5/8	108	116	124	128	132	136	140
2 1/8	226	242	259	267	275	284	292
2 5/8	408	438	468	483	498	512	527
3 1/8	636	682	729	752	775	798	821
3 5/8	952	1022	1092	1126	1161	1195	1229

A3.3b. Factores de corrección de la capacidad del evaporador, C_{fte} para la temperatura de condensación

(Subenfriamiento de 5k)

Temperatura de condensación (°C)	10	20	30	40	50	60
Pérdida de presión 0.02 K/m (Pa/m)	384	472	570	678	802	938
Factor de corrección, C_{fte}	0.72	0.86	0.99	1.12	1.23	1.30

Notas

La metodología de la tabla de selección de tuberías se basa en el Capítulo 2 de Prácticas de sistemas para refrigerantes halocarbonados (System Practices for Halocarbon Refrigerants) del Manual de Refrigeración ASHRAE de 1994.

Las propiedades de los refrigerantes se obtuvieron de KMKREIS, versión 3.22.

Todos los diámetros de las tuberías internas se basan en el valor promedio de la tabla 3 de la norma ASTM B88.

Las capacidades de las tuberías de descarga asumen una eficacia del compresor del 65%.

Para convertir las capacidades del evaporador de la tabla para la mitad de la pérdida de presión indicada, multiplique por 0.68.

Para convertir las capacidades del evaporador de la tabla para 1.5 veces la pérdida de presión indicada, multiplique por 1.25.

A4. TABLAS DE SATURACIÓN DE REFRIGERANTES DE HIDROCARBUROS

HC 12 a: Punto de Burbujero (Estandar)								
Temperatura	Presión (líquido)	Presión (vapor)	Densidad (líquido)	Densidad (vapor)	Entalpía (líquido)	Entalpía (vapor)	Entropía (líquido)	Entropía (vapor)
(°F)	(psia)	(psia)	(lb/ft ³)	(lb/ft ³)	(Btu/lb)	(Btu/lb)	(Btu/R-lb)	(Btu/R-lb)
-40	10.7	10.7	37.5	0.1	46.7	208.5	0.2	0.5
-35	12.0	12.0	37.3	0.1	49.3	210.1	0.2	0.5
-30	13.5	13.5	37.1	0.2	51.9	211.6	0.2	0.5
-25	15.2	15.2	36.9	0.2	54.6	213.2	0.2	0.5
-20	17.0	17.0	36.7	0.2	57.2	214.8	0.2	0.5
-15	19.0	19.0	36.5	0.2	59.9	216.3	0.2	0.5
-10	21.1	21.1	36.3	0.2	62.6	217.9	0.2	0.5
-5	23.5	23.5	36.1	0.3	65.3	219.5	0.2	0.5
0	26.0	26.0	35.9	0.3	68.1	221.0	0.2	0.5
5	28.7	28.7	35.7	0.3	70.8	222.6	0.2	0.5
10	31.7	31.7	35.5	0.3	73.6	224.2	0.2	0.5
15	34.8	34.8	35.3	0.4	76.4	225.8	0.2	0.5
20	38.2	38.2	35.1	0.4	79.2	227.3	0.2	0.5
25	41.8	41.8	34.9	0.4	82.0	228.9	0.2	0.5
30	45.7	45.7	34.7	0.5	84.9	230.5	0.2	0.5
35	49.9	49.9	34.5	0.5	87.8	232.0	0.2	0.5
40	54.3	54.3	34.3	0.6	90.7	233.6	0.2	0.5
45	59.0	59.0	34.0	0.6	93.6	235.2	0.3	0.5
50	64.0	64.0	33.8	0.7	96.5	236.7	0.3	0.5
55	69.4	69.4	33.6	0.7	99.5	238.3	0.3	0.5
60	75.0	75.0	33.4	0.8	102.5	239.8	0.3	0.5
65	81.0	81.0	33.1	0.8	105.5	241.4	0.3	0.5
70	87.3	87.3	32.9	0.9	108.5	242.9	0.3	0.5
75	94.0	94.0	32.6	1.0	111.6	244.5	0.3	0.5
80	101.0	101.0	32.4	1.0	114.7	246.0	0.3	0.5
85	108.4	108.4	32.2	1.1	117.8	247.5	0.3	0.5
90	116.2	116.2	31.9	1.2	120.9	249.0	0.3	0.5
95	124.4	124.4	31.6	1.3	124.1	250.5	0.3	0.5
100	133.0	133.0	31.4	1.3	127.3	252.0	0.3	0.5
105	142.1	142.1	31.1	1.4	130.6	253.5	0.3	0.5
110	151.5	151.5	30.8	1.5	133.8	254.9	0.3	0.5

HC 12 a: Punto de Condensación (Estandar)								
Temperatura	Presión (líquido)	Presión (vapor)	Densidad (líquido)	Densidad (vapor)	Entalpía (líquido)	Entalpía (vapor)	Entropía (líquido)	Entropía (vapor)
(°F)	(psia)	(psia)	(lb/ft ³)	(lb/ft ³)	(Btu/lb)	(Btu/lb)	(Btu/R-lb)	(Btu/R-lb)
-40	7.0	7.0	35.3	0.1	51.5	222.2	0.2	0.6
-35	8.0	8.0	35.2	0.1	54.2	223.7	0.2	0.6
-30	9.2	9.2	35.1	0.1	57.0	225.3	0.2	0.6
-25	10.4	10.4	34.9	0.1	59.7	226.8	0.2	0.6
-20	11.8	11.8	34.8	0.1	62.4	228.3	0.2	0.6
-15	13.3	13.3	34.6	0.1	65.2	229.8	0.2	0.6
-10	15.0	15.0	34.5	0.2	68.0	231.3	0.2	0.6
-5	16.8	16.8	34.3	0.2	70.8	232.9	0.2	0.6
0	18.8	18.8	34.2	0.2	73.6	234.4	0.2	0.6
5	21.0	21.0	34.0	0.2	76.4	235.9	0.2	0.6
10	23.4	23.4	33.9	0.2	79.2	237.4	0.2	0.6
15	25.9	25.9	33.7	0.3	82.1	239.0	0.2	0.6
20	28.7	28.7	33.5	0.3	84.9	240.5	0.2	0.6
25	31.7	31.7	33.4	0.3	87.8	242.0	0.2	0.6
30	34.9	34.9	33.2	0.4	90.7	243.5	0.3	0.6
35	38.4	38.4	33.0	0.4	93.6	245.0	0.3	0.6
40	42.2	42.2	32.9	0.4	96.5	246.5	0.3	0.6
45	46.2	46.2	32.7	0.5	99.5	248.1	0.3	0.6
50	50.5	50.5	32.5	0.5	102.4	249.6	0.3	0.6
55	55.0	55.0	32.3	0.6	105.4	251.1	0.3	0.6
60	59.9	59.9	32.1	0.6	108.4	252.5	0.3	0.6
65	65.1	65.1	31.9	0.7	111.4	254.0	0.3	0.6
70	70.7	70.7	31.7	0.7	114.5	255.5	0.3	0.6
75	76.5	76.5	31.6	0.8	117.6	257.0	0.3	0.6
80	82.8	82.8	31.3	0.8	120.6	258.4	0.3	0.6
85	89.4	89.4	31.1	0.9	123.7	259.9	0.3	0.6
90	96.4	96.4	30.9	1.0	126.9	261.3	0.3	0.6
95	103.7	103.7	30.7	1.0	130.0	262.7	0.3	0.6
100	111.5	111.5	30.5	1.1	133.2	264.1	0.3	0.6
105	119.8	119.8	30.3	1.2	136.4	265.5	0.3	0.6
110	128.4	128.4	30.1	1.3	139.7	266.9	0.3	0.6

HC 12 a: Punto de Condensación (Métrico)								
Temperatura	Presión (líquido)	Presión (vapor)	Densidad (líquido)	Densidad (vapor)	Entalpía (líquido)	Entalpía (vapor)	Entropía (líquido)	Entropía (vapor)
(°C)	(kPa)	(kPa)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/K-kg)	(kJ/K-kg)
-40	48.30	48.30	566.00	1.28	119.80	516.50	0.68	2.43
-35	61.50	61.50	562.00	1.61	131.10	522.90	0.73	2.41
-30	77.30	77.30	557.80	1.99	142.60	529.20	0.78	2.40
-25	96.20	96.20	553.60	2.44	154.10	535.60	0.83	2.39
-20	118.50	118.50	549.20	2.96	165.80	542.00	0.87	2.39
-15	144.70	144.70	544.80	3.57	177.50	548.40	0.92	2.38
-10	175.10	175.10	540.20	4.26	189.40	554.70	0.97	2.37
-5	210.10	210.10	535.50	5.06	201.40	561.10	1.01	2.37
0	250.30	250.30	530.60	5.97	213.50	567.50	1.06	2.37
5	296.10	296.10	525.60	7.00	225.70	573.80	1.10	2.36
10	347.90	347.90	520.50	8.17	238.10	580.10	1.15	2.36
15	406.20	406.20	515.20	9.48	250.60	586.30	1.19	2.36
20	471.60	471.60	509.70	10.94	263.30	592.50	1.23	2.36
25	544.50	544.50	504.00	12.59	276.10	598.70	1.28	2.36
30	625.60	625.60	498.20	14.43	289.10	604.70	1.32	2.36
35	715.20	715.20	492.10	16.48	302.30	610.70	1.36	2.36
40	814.10	814.10	485.70	18.77	315.60	616.50	1.40	2.36
45	922.80	922.80	479.10	21.33	329.20	622.20	1.45	2.36
50	1041.90	1041.90	472.20	24.18	342.90	627.80	1.49	2.36
55	1172.00	1172.00	465.00	27.37	356.90	633.20	1.53	2.36
60	1313.90	1313.90	457.30	30.94	371.10	638.30	1.57	2.37
65	1468.30	1468.30	449.30	34.95	385.60	643.20	1.61	2.37
70	1635.90	1635.90	440.70	39.47	400.40	647.70	1.65	2.37
75	1817.70	1817.70	431.60	44.61	415.50	651.90	1.70	2.37
80	2014.60	2014.60	421.80	50.47	431.00	655.50	1.74	2.36

HC 22 a: Punto de Burbujeo (Estandar)								
Temperatura	Presión (líquido)	Presión (vapor)	Densidad (líquido)	Densidad (vapor)	Entalpía (líquido)	Entalpía (vapor)	Entropía (líquido)	Entropía (vapor)
(°F)	(psia)	(psia)	(lb/ft ³)	(lb/ft ³)	(Btu/lb)	(Btu/lb)	(Btu/R-lb)	(Btu/R-lb)
-40	18.2	18.2	36.1	0.2	45.3	220.3	0.2	0.6
-35	20.4	20.4	35.9	0.2	48.0	222.0	0.2	0.6
-30	22.8	22.8	35.7	0.2	50.7	223.6	0.2	0.6
-25	25.4	25.4	35.4	0.3	53.5	225.2	0.2	0.6
-20	28.2	28.2	35.2	0.3	56.3	226.9	0.2	0.6
-15	31.3	31.3	35.0	0.3	59.1	228.5	0.2	0.6
-10	34.6	34.6	34.8	0.3	61.9	230.0	0.2	0.6
-5	38.2	38.2	34.6	0.4	64.7	231.6	0.2	0.6
0	42.1	42.1	34.4	0.4	67.5	233.2	0.2	0.6
5	46.2	46.2	34.2	0.4	70.4	234.7	0.2	0.6
10	50.7	50.7	33.9	0.5	73.3	236.3	0.2	0.6
15	55.4	55.4	33.7	0.5	76.2	237.8	0.2	0.6
20	60.5	60.5	33.5	0.6	79.2	239.3	0.2	0.6
25	65.9	65.9	33.3	0.6	82.1	240.8	0.2	0.6
30	71.7	71.7	33.0	0.7	85.1	242.2	0.2	0.6
35	77.9	77.9	32.8	0.7	88.2	243.7	0.2	0.6
40	84.4	84.4	32.5	0.8	91.2	245.1	0.3	0.6
45	91.4	91.4	32.3	0.8	94.3	246.6	0.3	0.6
50	98.7	98.7	32.1	0.9	97.4	248.0	0.3	0.6
55	106.5	106.5	31.8	1.0	100.5	249.3	0.3	0.6
60	114.8	114.8	31.5	1.1	103.7	250.7	0.3	0.6
65	123.4	123.4	31.3	1.1	106.8	252.0	0.3	0.6
70	132.6	132.6	31.0	1.2	110.1	253.3	0.3	0.6
75	142.3	142.3	30.7	1.3	113.3	254.6	0.3	0.6
80	152.4	152.4	30.5	1.4	116.6	255.9	0.3	0.6
85	163.1	163.1	30.2	1.5	120.0	257.1	0.3	0.6
90	174.4	174.4	29.9	1.6	123.3	258.3	0.3	0.6
95	186.1	186.1	29.6	1.7	126.7	259.5	0.3	0.6
100	198.5	198.5	29.3	1.9	130.2	260.6	0.3	0.6

105	211.4	211.4	29.0	2.0	133.7	261.7	0.3	0.6
110	225.0	225.0	28.7	2.1	137.2	262.8	0.3	0.6

HC 22 a: Punto de condensación (Estandar)								
Temperatura	Presión (líquido)	Presión (vapor)	Densidad (líquido)	Densidad (vapor)	Entalpía (líquido)	Entalpía (vapor)	Entropía (líquido)	Entropía (vapor)
(°F)	(psia)	(psia)	(lb/ft ³)	(lb/ft ³)	(Btu/lb)	(Btu/lb)	(Btu/R-lb)	(Btu/R-lb)
-40	16.4	16.4	35.9	0.2	45.4	227.3	0.2	0.6
-35	18.5	18.5	35.7	0.2	48.1	228.8	0.2	0.6
-30	20.7	20.7	35.5	0.2	50.9	230.2	0.2	0.6
-25	23.2	23.2	35.3	0.2	53.6	231.6	0.2	0.6
-20	25.9	25.9	35.1	0.3	56.4	233.0	0.2	0.6
-15	28.8	28.8	34.9	0.3	59.2	234.4	0.2	0.6
-10	32.0	32.0	34.7	0.3	62.0	235.8	0.2	0.6
-5	35.4	35.4	34.5	0.3	64.9	237.2	0.2	0.6
0	39.1	39.1	34.3	0.4	67.7	238.6	0.2	0.6
5	43.1	43.1	34.1	0.4	70.6	240.0	0.2	0.6
10	47.4	47.4	33.8	0.4	73.5	241.4	0.2	0.6
15	51.9	51.9	33.6	0.5	76.4	242.7	0.2	0.6
20	56.9	56.9	33.4	0.5	79.4	244.1	0.2	0.6
25	62.1	62.1	33.2	0.6	82.4	245.4	0.2	0.6
30	67.7	67.7	32.9	0.6	85.4	246.8	0.2	0.6
35	73.7	73.7	32.7	0.7	88.4	248.1	0.2	0.6
40	80.1	80.1	32.5	0.7	91.4	249.4	0.3	0.6
45	86.9	86.9	32.2	0.8	94.5	250.7	0.3	0.6
50	94.0	94.0	32.0	0.9	97.6	252.0	0.3	0.6
55	101.6	101.6	31.7	0.9	100.7	253.2	0.3	0.6
60	109.7	109.7	31.5	1.0	103.9	254.5	0.3	0.6
65	118.2	118.2	31.2	1.1	107.1	255.7	0.3	0.6
70	127.2	127.2	30.9	1.2	110.3	256.9	0.3	0.6
75	136.7	136.7	30.7	1.3	113.6	258.1	0.3	0.6
80	146.7	146.7	30.4	1.4	116.9	259.3	0.3	0.6
85	157.2	157.2	30.1	1.5	120.2	260.4	0.3	0.6

90	168.3	168.3	29.8	1.6	123.6	261.5	0.3	0.6
95	179.9	179.9	29.5	1.7	127.0	262.6	0.3	0.6
100	192.1	192.1	29.2	1.8	130.5	263.6	0.3	0.6
105	204.9	204.9	28.9	1.9	133.9	264.6	0.3	0.6
110	218.4	218.4	28.6	2.1	137.5	265.5	0.3	0.6

HC 22 a: Punto de condensación (Estandar)								
Temperatura	Presión (líquido)	Presión (vapor)	Densidad (líquido)	Densidad (vapor)	Entalpía (líquido)	Entalpía (vapor)	Entropía (líquido)	Entropía (vapor)
(°F)	(psia)	(psia)	(lb/ft ³)	(lb/ft ³)	(Btu/lb)	(Btu/lb)	(Btu/R-lb)	(Btu/R-lb)
-40	16.4	16.4	35.9	0.2	45.4	227.3	0.2	0.6
-35	18.5	18.5	35.7	0.2	48.1	228.8	0.2	0.6
-30	20.7	20.7	35.5	0.2	50.9	230.2	0.2	0.6
-25	23.2	23.2	35.3	0.2	53.6	231.6	0.2	0.6
-20	25.9	25.9	35.1	0.3	56.4	233.0	0.2	0.6
-15	28.8	28.8	34.9	0.3	59.2	234.4	0.2	0.6
-10	32.0	32.0	34.7	0.3	62.0	235.8	0.2	0.6
-5	35.4	35.4	34.5	0.3	64.9	237.2	0.2	0.6
0	39.1	39.1	34.3	0.4	67.7	238.6	0.2	0.6
5	43.1	43.1	34.1	0.4	70.6	240.0	0.2	0.6
10	47.4	47.4	33.8	0.4	73.5	241.4	0.2	0.6
15	51.9	51.9	33.6	0.5	76.4	242.7	0.2	0.6
20	56.9	56.9	33.4	0.5	79.4	244.1	0.2	0.6
25	62.1	62.1	33.2	0.6	82.4	245.4	0.2	0.6
30	67.7	67.7	32.9	0.6	85.4	246.8	0.2	0.6
35	73.7	73.7	32.7	0.7	88.4	248.1	0.2	0.6
40	80.1	80.1	32.5	0.7	91.4	249.4	0.3	0.6
45	86.9	86.9	32.2	0.8	94.5	250.7	0.3	0.6
50	94.0	94.0	32.0	0.9	97.6	252.0	0.3	0.6
55	101.6	101.6	31.7	0.9	100.7	253.2	0.3	0.6
60	109.7	109.7	31.5	1.0	103.9	254.5	0.3	0.6
65	118.2	118.2	31.2	1.1	107.1	255.7	0.3	0.6
70	127.2	127.2	30.9	1.2	110.3	256.9	0.3	0.6
75	136.7	136.7	30.7	1.3	113.6	258.1	0.3	0.6
80	146.7	146.7	30.4	1.4	116.9	259.3	0.3	0.6
85	157.2	157.2	30.1	1.5	120.2	260.4	0.3	0.6

75	2907.0	2907.0	385.7	74.7	424.0	630.6	1.7	2.3
80	3197.0	3197.0	369.4	86.3	443.4	628.9	1.8	2.3
85	3510.0	3510.0	349.9	101.3	464.6	624.8	1.8	2.3
90	3849.0	3849.0	324.0	122.6	489.2	616.0	1.9	2.2
95	4409.0	4409.0	306.1	306.1	509.9	509.9	1.9	1.9

HC 22 a: Punto de Burbujeo (Métrico)								
Temperatura	Presión (líquido)	Presión (vapor)	Densidad (líquido)	Densidad (vapor)	Entalpía (líquido)	Entalpía (vapor)	Entropía (líquido)	Entropía (vapor)
(°C)	(kPa)	(kPa)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/K·kg)	(kJ/K·kg)
-40	126.0	125.5	578.0	3.0	105.2	512.1	0.6	2.5
-35	154.0	153.8	572.0	3.6	116.6	519.0	0.7	2.4
-30	187.0	186.7	566.0	4.3	128.2	525.8	0.7	2.4
-25	225.0	224.8	560.0	5.1	139.9	532.5	0.8	2.4
-20	269.0	268.6	553.0	6.0	151.7	539.1	0.8	2.4
-15	319.0	318.6	547.0	7.1	163.7	545.6	0.9	2.4
-10	375.0	375.3	541.0	8.3	175.8	552.0	0.9	2.4
-5	439.0	439.3	534.0	9.6	188.2	558.3	1.0	2.4
0	511.0	511.2	527.0	11.1	200.7	564.4	1.0	2.4
5	591.0	591.5	520.0	12.8	213.4	570.5	1.1	2.4
10	681.0	680.8	513.0	14.7	226.3	576.4	1.1	2.4
15	780.0	779.6	506.0	16.8	239.5	582.1	1.2	2.4
20	889.0	888.7	498.0	19.2	252.8	587.7	1.2	2.4
25	1009.0	1009.0	491.0	21.8	266.5	593.1	1.2	2.4
30	1140.0	1140.0	482.0	24.7	280.4	598.2	1.3	2.4
35	1283.0	1283.0	474.0	28.0	294.6	603.2	1.3	2.4
40	1440.0	1440.0	465.0	31.7	309.1	607.8	1.4	2.4
45	1609.0	1609.0	456.0	35.8	324.0	612.1	1.4	2.4
50	1793.0	1793.0	446.0	40.4	339.2	616.1	1.5	2.3
55	1992.0	1992.0	436.0	45.7	354.9	619.6	1.5	2.3
60	2207.0	2207.0	425.0	51.7	371.1	622.5	1.6	2.3
65	2439.0	2439.0	413.0	58.6	387.8	624.8	1.6	2.3
70	2688.0	2688.0	400.0	66.7	405.3	626.2	1.7	2.3
75	2956.0	2956.0	385.0	76.3	423.6	626.5	1.7	2.3
80	3243.0	3243.0	369.0	88.0	443.1	625.2	1.8	2.3
85	3552.0	3552.0	349.0	103.1	464.5	621.5	1.8	2.3
90	3884.0	3884.0	323.0	124.6	489.4	613.1	1.9	2.2
95	4429.0	4429.0	308.0	308.0	509.0	509.0	1.9	1.9

HC 22 a: Punto de Condensación (Métrico)								
Temperatura	Presión (líquido)	Presión (vapor)	Densidad (líquido)	Densidad (vapor)	Entalpía (líquido)	Entalpía (vapor)	Entropía (líquido)	Entropía (vapor)
(°C)	(kPa)	(kPa)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/K-kg)	(kJ/K-kg)
-40	113.1	113.1	575.3	2.7	105.5	528.4	0.6	2.5
-35	139.7	139.7	569.5	3.2	116.9	534.4	0.7	2.5
-30	170.9	170.9	563.7	3.9	128.5	540.3	0.7	2.4
-25	207.2	207.2	557.7	4.7	140.2	546.2	0.8	2.4
-20	249.0	249.0	551.6	5.6	152.1	552.0	0.8	2.4
-15	297.0	297.0	545.4	6.6	164.1	557.8	0.9	2.4
-10	351.6	351.6	539.0	7.7	176.3	563.6	0.9	2.4
-5	413.5	413.5	532.5	9.0	188.6	569.3	1.0	2.4
0	483.2	483.2	525.9	10.5	201.2	574.8	1.0	2.4
5	561.3	561.3	519.1	12.1	213.9	580.3	1.1	2.4
10	648.4	648.4	512.1	14.0	226.9	585.7	1.1	2.4
15	745.1	745.1	504.8	16.0	240.0	591.0	1.1	2.4
20	852.0	852.0	497.4	18.3	253.4	596.1	1.2	2.4
25	969.8	969.8	489.6	20.9	267.1	601.0	1.2	2.4
30	1099.0	1099.0	481.6	23.8	281.0	605.8	1.3	2.4
35	1241.0	1241.0	473.3	27.0	295.2	610.3	1.3	2.4
40	1395.0	1395.0	464.5	30.6	309.7	614.5	1.4	2.4
45	1563.0	1563.0	455.4	34.7	324.6	618.5	1.4	2.4
50	1746.0	1746.0	445.7	39.3	339.8	622.0	1.5	2.4
55	1944.0	1944.0	435.5	44.5	355.5	625.2	1.5	2.3
60	2158.0	2158.0	424.5	50.4	371.6	627.7	1.6	2.3
65	2389.0	2389.0	412.8	57.2	388.4	629.6	1.6	2.3
70	2639.0	2639.0	399.9	65.2	405.8	630.7	1.7	2.3
75	2907.0	2907.0	385.7	74.7	424.0	630.6	1.7	2.3
80	3197.0	3197.0	369.4	86.3	443.4	628.9	1.8	2.3
85	3510.0	3510.0	349.9	101.3	464.6	624.8	1.8	2.3
90	3849.0	3849.0	324.0	122.6	489.2	616.0	1.9	2.2
95	4409.0	4409.0	306.1	306.1	509.9	509.9	1.9	1.9

HC 502 a: Punto de Burbujeo (Estandar)								
Temperatura	Presión (líquido)	Presión (vapor)	Densidad (líquido)	Densidad (vapor)	Entalpía (líquido)	Entalpía (vapor)	Entropía (líquido)	Entropía (vapor)
(°F)	(psia)	(psia)	(lb/ft ³)	(lb/ft ³)	(Btu/lb)	(Btu/lb)	(Btu/R-lb)	(Btu/R-lb)
-40	22.8	22.8	35.9	0.2	45.7	210.3	0.2	0.6
-35	25.4	25.4	35.7	0.3	48.4	212.1	0.2	0.6
-30	28.2	28.2	35.5	0.3	51.2	214.0	0.2	0.6
-25	31.2	31.2	35.2	0.3	53.9	215.8	0.2	0.6
-20	34.5	34.5	35.0	0.3	56.7	217.6	0.2	0.6
-15	38.0	38.0	34.8	0.4	59.5	219.4	0.2	0.6
-10	41.8	41.8	34.6	0.4	62.4	221.2	0.2	0.6
-5	45.8	45.8	34.4	0.4	65.2	223.0	0.2	0.6
0	50.2	50.2	34.2	0.5	68.1	224.7	0.2	0.6
5	54.9	54.9	33.9	0.5	71.0	226.4	0.2	0.6
10	59.9	59.9	33.7	0.6	73.9	228.1	0.2	0.6
15	65.2	65.2	33.5	0.6	76.8	229.8	0.2	0.6
20	70.9	70.9	33.3	0.7	79.8	231.5	0.2	0.6
25	76.9	76.9	33.0	0.7	82.8	233.2	0.2	0.6
30	83.3	83.3	32.8	0.8	85.8	234.8	0.2	0.6
35	90.1	90.1	32.6	0.8	88.8	236.4	0.3	0.6
40	97.3	97.3	32.3	0.9	91.9	238.0	0.3	0.6
45	104.9	104.9	32.1	1.0	95.0	239.6	0.3	0.6
50	113.0	113.0	31.8	1.0	98.1	241.1	0.3	0.6
55	121.5	121.5	31.6	1.1	101.3	242.7	0.3	0.6
60	130.4	130.4	31.3	1.2	104.4	244.2	0.3	0.6
65	139.9	139.9	31.0	1.3	107.7	245.7	0.3	0.6
70	149.8	149.8	30.8	1.4	110.9	247.1	0.3	0.6
75	160.3	160.3	30.5	1.5	114.2	248.5	0.3	0.6
80	171.2	171.2	30.2	1.6	117.5	249.9	0.3	0.6
85	182.7	182.7	29.9	1.7	120.9	251.3	0.3	0.6
90	194.8	194.8	29.6	1.8	124.3	252.6	0.3	0.6
95	207.4	207.4	29.3	1.9	127.7	253.9	0.3	0.6
100	220.6	220.6	29.0	2.1	131.2	255.2	0.3	0.6
105	234.4	234.4	28.7	2.2	134.8	256.4	0.3	0.6
110	248.9	248.9	28.3	2.4	138.4	257.5	0.3	0.6

Temperatura (°F)	Presión (líquido) (psia)	Presión (vapor) (psia)	Densidad (líquido) (lb/ft ³)	Densidad (vapor) (lb/ft ³)	Entalpía (líquido) (Btu/lb)	Entalpía (vapor) (Btu/lb)	Entropía (líquido) (Btu/R-lb)	Entropía (vapor) (Btu/R-lb)
-40	17.1	17.1	35.4	0.2	46.0	227.7	0.2	0.6
-35	19.3	19.3	35.2	0.2	48.8	229.1	0.2	0.6
-30	21.7	21.7	35.0	0.2	51.6	230.6	0.2	0.6
-25	24.2	24.2	34.8	0.2	54.4	232.0	0.2	0.6
-20	27.0	27.0	34.6	0.3	57.2	233.4	0.2	0.6
-15	30.1	30.1	34.4	0.3	60.0	234.8	0.2	0.6
-10	33.4	33.4	34.2	0.3	62.9	236.2	0.2	0.6
-5	36.9	36.9	34.0	0.4	65.7	237.6	0.2	0.6
0	40.8	40.8	33.8	0.4	68.6	239.0	0.2	0.6
5	44.9	44.9	33.6	0.4	71.6	240.3	0.2	0.6
10	49.4	49.4	33.4	0.5	74.5	241.7	0.2	0.6
15	54.2	54.2	33.2	0.5	77.5	243.1	0.2	0.6
20	59.3	59.3	33.0	0.6	80.4	244.4	0.2	0.6
25	64.8	64.8	32.7	0.6	83.4	245.8	0.2	0.6
30	70.7	70.7	32.5	0.7	86.5	247.1	0.2	0.6
35	76.9	76.9	32.3	0.7	89.5	248.4	0.3	0.6
40	83.5	83.5	32.0	0.8	92.6	249.7	0.3	0.6
45	90.6	90.6	31.8	0.8	95.7	251.0	0.3	0.6
50	98.1	98.1	31.6	0.9	98.9	252.2	0.3	0.6
55	106.0	106.0	31.3	1.0	102.0	253.5	0.3	0.6
60	114.4	114.4	31.1	1.0	105.2	254.7	0.3	0.6
65	123.3	123.3	30.8	1.1	108.5	255.9	0.3	0.6
70	132.7	132.7	30.6	1.2	111.7	257.1	0.3	0.6
75	142.6	142.6	30.3	1.3	115.0	258.3	0.3	0.6
80	153.0	153.0	30.0	1.4	118.4	259.4	0.3	0.6
85	164.0	164.0	29.7	1.5	121.7	260.5	0.3	0.6
90	175.6	175.6	29.5	1.6	125.1	261.6	0.3	0.6
95	187.8	187.8	29.2	1.7	128.6	262.6	0.3	0.6
100	200.5	200.5	28.9	1.9	132.1	263.6	0.3	0.6
105	213.9	213.9	28.6	2.0	135.6	264.6	0.3	0.6
110	227.9	227.9	28.2	2.1	139.2	265.5	0.3	0.6

HC 502 a: Punto de Burbujeo (Métrico)								
Temperatura	Presión (líquido)	Presión (vapor)	Densidad (líquido)	Densidad (vapor)	Entalpía (líquido)	Entalpía (vapor)	Entropía (líquido)	Entropía (vapor)
(°C)	(kPa)	(kPa)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/K-kg)	(kJ/K-kg)
-40	157.3	157.3	574.5	3.666	106.1	488.8	0.6722	2.404
-35	190.3	190.3	568.6	4.373	117.6	496.5	0.7206	2.397
-30	228.4	228.4	562.5	5.18	129.2	504.2	0.7686	2.391
-25	272.1	272.1	556.4	6.099	141	511.7	0.8161	2.385
-20	321.9	321.9	550.1	7.139	152.9	519.1	0.8633	2.38
-15	378.3	378.3	543.7	8.312	164.9	526.3	0.9101	2.376
-10	441.9	441.9	537.2	9.631	177.2	533.5	0.9566	2.372
-5	513.2	513.2	530.5	11.11	189.6	540.4	1.003	2.369
0	592.8	592.8	523.7	12.76	202.2	547.3	1.049	2.366
5	681.2	681.2	516.7	14.61	215	554	1.095	2.364
10	779	779	509.4	16.66	228	560.5	1.14	2.362
15	886.8	886.8	502	18.95	241.3	566.9	1.186	2.36
20	1005	1005	494.3	21.5	254.8	573.1	1.232	2.358
25	1135	1135	486.3	24.33	268.6	579	1.277	2.356
30	1276	1276	478	27.49	282.6	584.7	1.323	2.355
35	1430	1430	469.3	31.01	296.9	590.2	1.369	2.353
40	1597	1597	460.2	34.95	311.6	595.4	1.415	2.351
45	1778	1778	450.7	39.36	326.7	600.2	1.461	2.349
50	1973	1973	440.7	44.34	342.1	604.6	1.508	2.346
55	2183	2183	430	49.97	358	608.5	1.556	2.342
60	2410	2410	418.5	56.41	374.5	611.8	1.604	2.337
65	2653	2653	406.1	63.85	391.5	614.5	1.653	2.33
70	2914	2914	392.5	72.56	409.4	616.2	1.703	2.322
75	3194	3194	377.2	83	428.2	616.6	1.756	2.311
80	3493	3493	359.4	95.96	448.5	615.2	1.811	2.295
85	3812	3812	337.4	113.1	471.1	610.9	1.872	2.272
90	4150	4150	305.4	139.8	499.1	600	1.947	2.231

Temperatura (°C)	Presión (líquido) (kPa)	Presión (vapor) (kPa)	Densidad (líquido) (kg/m ³)	Densidad (vapor) (kg/m ³)	Entalpía (líquido) (kJ/kg)	Entalpía (vapor) (kJ/kg)	Entropía (líquido) (kJ/K-kg)	Entropía (vapor) (kJ/K-kg)
-40	118.1	118.1	567.6	2.743	107	529.3	0.6488	2.501
-35	145.9	145.9	562	3.339	118.6	535.3	0.6983	2.488
-30	178.4	178.4	556.2	4.029	130.3	541.2	0.7473	2.475
-25	216.2	216.2	550.3	4.825	142.2	547	0.7958	2.464
-20	259.9	259.9	544.4	5.736	154.2	552.9	0.844	2.455
-15	309.9	309.9	538.3	6.775	166.3	558.7	0.8917	2.446
-10	366.9	366.9	532.1	7.953	178.7	564.4	0.9392	2.438
-5	431.4	431.4	525.7	9.287	191.2	570	0.9863	2.431
0	504.1	504.1	519.1	10.79	203.8	575.6	1.033	2.425
5	585.5	585.5	512.4	12.48	216.7	581	1.08	2.419
10	676.3	676.3	505.5	14.37	229.8	586.3	1.127	2.414
15	777.1	777.1	498.4	16.5	243.1	591.5	1.173	2.409
20	888.7	888.7	491	18.87	256.7	596.6	1.219	2.405
25	1012	1012	483.4	21.53	270.5	601.4	1.266	2.401
30	1147	1147	475.4	24.51	284.5	606.1	1.312	2.396
35	1294	1294	467.1	27.84	298.9	610.5	1.359	2.392
40	1456	1456	458.4	31.58	313.6	614.6	1.406	2.388
45	1632	1632	449.3	35.8	328.6	618.4	1.453	2.384
50	1823	1823	439.7	40.57	344	621.8	1.5	2.378
55	2030	2030	429.4	45.99	359.8	624.7	1.548	2.373
60	2255	2255	418.4	52.2	376.2	627	1.597	2.366
65	2498	2498	406.5	59.39	393.1	628.6	1.646	2.357

70	2761	2761	393.4	67.85	410.7	629.2	1.697	2.347
75	3045	3045	378.8	78	429.3	628.5	1.75	2.334
80	3352	3352	361.7	90.61	449.2	626.1	1.805	2.316
85	3686	3686	340.7	107.3	471.2	620.5	1.866	2.291
90	4052	4052	310.6	132.9	497.9	608.5	1.939	2.25