

Buenas Prácticas

en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos



SEMARNAT

SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



Buenas Prácticas

en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

SEMARNAT

SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



D.R. Secretaría de Medio Ambiente
y Recursos Naturales

Blvd. Adolfo Ruiz Cortines 4209,
Col. Jardines en la Montaña, C.P. 14210,
Delegación Tlalpan, México, D.F.

Dirección General de Gestión de la Calidad del
Aire y Registro de Emisiones y Transferencia
de Contaminantes

Primera edición 2014

ISBN: 978-607-8246-71-7

Impreso y hecho en México

Límite de responsabilidad

La información y procedimientos técnicos contenidos en el presente manual están estructurados para impartir el entrenamiento de técnicos en “Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los HCFC”.

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

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

CONTENIDO

Presentación	I
Objetivos	IV

Capítulo 1

Principales sustancias agotadoras de la capa de ozono utilizadas en México	1
1.1 Principales SAO reguladas por el Protocolo de Montreal	2
1.1.1 CFC	2
1.1.2 HCFC	3
1.1.3 Bromuro de Metilo	3
1.2 Causas y efectos del agujero en la capa de ozono	3
1.2.1 Qué es el ozono y por qué es tan importante	3
1.2.2 Agujeros en la Capa de Ozono durante 2011	6
1.2.3 Efectos en la superficie del planeta cuando aparece el agujero en la capa de ozono	6
1.3 Tipos de radiación ultravioleta que recibe la tierra	8
1.3.1 Radiación ultravioleta A [UV-A]	8
1.3.2 Radiación ultravioleta B [UV-B]	8
1.3.3 Radiación ultravioleta C [UV-C]	9
1.4 Capa de Ozono y Calentamiento Global	10
1.5 Los HCFC como sustitutos de los CFC y su legislación	13
1.5.1 Sanciones	15

Capítulo 2

El uso de los HCFC en los sectores de servicio de la refrigeración y del aire acondicionado en México	17
2.1 Refrigeración Doméstica	18

2.2	Refrigeración Comercial	19
2.3	Transporte Refrigerado	20
2.4	Flota Pesquera	20
2.5	Refrigeración Industrial	20
2.6	Aire Acondicionado Doméstico	21
2.7	Aire Acondicionado Comercial	22
2.8	Aire Acondicionado para el Transporte	22
2.9	Aire Acondicionado Industrial	23

Capítulo 3

	Refrigerantes sustitutos de los HCFC en los sectores de refrigeración y de aire acondicionado	25
3.1	Refrigerantes Naturales	30
3.2	Bióxido de Carbono	31
3.2.1	Refrigeración con CO ₂	32
3.2.2	Aspectos Termodinámicos del CO ₂	33
3.2.3	Sistemas transcíticos	37
3.2.4	Sistemas subcríticos	39
3.2.5	Conclusión	40
3.3	Amoniaco	40
3.3.1	Usos	41
3.3.2	Conclusión	41
3.4	Los Hidrocarburos (HC)	42
3.4.1	Usos	42
3.4.2	Refrigerante R-290 Propano	44
3.4.3	Refrigerante R-600a Isobutano	45
3.5	Hidrofluorolefinas (HFO)	46
3.5.1	Refrigerantes HFO	46

Capítulo 4

	Buenas prácticas en la limpieza de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado	53
4.1	Identificación y evaluación de fallas en los sistemas de refrigeración	53

4.1.1	Causas por las cuales un compresor falla (hermético o semihermético)	54
4.1.2	Causas que originan que un compresor se quemé	55
4.1.3	Efectos del motor quemado en el sistema de refrigeración	57
4.1.4	Procedimiento para determinar si el motor está quemado	59
4.1.5	Lista de cotejo a seguir para un compresor que no arranca	59
4.1.6	Selección de filtros deshidratadores para limpieza de sistemas	60
4.2	Cambio de compresor	61
4.2.1	Compresor sin válvulas de servicio (tipo hermético soldable)	61
4.2.2	Compresor con válvulas de servicio	65
4.3	Sustitución de compresores grandes con válvulas de servicio	65
4.3.1	Sustitución de un compresor dañado debido a fallas mecánicas	65
4.3.2	Sustitución de un compresor dañado debido a fallas eléctricas	66
4.3.3	Proceso de vacío con nitrógeno gaseoso (triple evacuación)	70
4.3.4	Limpieza de sistemas con nitrógeno y lubricante detergente (flushing)	73
4.3.5	Procedimiento para limpiar un sistema con un lubricante detergente no presurizado	74
4.3.6	Limpieza de un compresor hermético con lubricante detergente	80
4.3.7	Limpieza interna de un compresor semihermético	82
4.4	Sustitutos de los HCFC como agentes de limpieza en sistemas de refrigeración y aire acondicionado	83
4.4.1	Reemplazo del HCFC-141b	84
4.4.2	Hidrofluorocarbonos (HFC)	85
4.4.3	HFC-365mfc	85
4.4.4	Mezcla Azeotrópica 365-HX	86
4.4.5	Proceso de limpieza utilizando equipo para limpiar sistemas de refrigeración	88

4.5	Medidas de seguridad	89
4.5.1	Equipo de protección personal	89
4.5.1.1	Protección para los pies	89
4.5.1.2	Protección de la cabeza	90
4.5.1.3	Protección para los oídos	90
4.5.1.4	Protección para los ojos	90
4.5.1.5	Protección para las manos	90
4.5.1.6	Protección lumbar	91
4.5.1.7	Ropa de algodón	91
4.5.2	Medidas de seguridad al buscar fugas	92

Capítulo 5

Buenas prácticas en el reemplazo de los refrigerantes HCFC en los sistemas HVACR		95
5.1	Procesos de sustitución de HCFC en sistemas de refrigeración y aire acondicionado	96
5.1.1	Sustitución de un HCFC por un HFC	96
5.1.2	Sustitución de un HCFC por un HC	97
5.2	Tablas y guías de fluidos refrigerantes sustitutos para reemplazar HCFC en sistemas de refrigeración y aire acondicionado	98
5.2.1	Refrigerante R-407A	98
5.2.2	Refrigerante R-422D	99
5.2.3	Refrigerante R-407F	99
5.2.4	Refrigerante R-422B	100
5.2.5	Refrigerante R-407C	101
5.3	Procedimientos y normas para la apropiada selección de refrigerantes sustitutos de HCFC, con lista de equipo y herramientas requeridas	103
5.3.1	Termodinámicos	104
5.3.2	Medioambientales	104
5.3.3	De seguridad	105
5.3.4	Técnicos	105
5.3.5	Económicos	107

5.3.6	Refrigerantes para el reemplazo del HCFC	107
5.4	Listado de equipo y herramientas requeridas	112
5.5	Ilustraciones de equipo y herramientas	113
5.6	Procedimientos para el reemplazo de HCFC con refrigerantes sustitutos en sistemas de refrigeración y aire acondicionado	115
5.6.1	Capacitación técnica básica	117
5.6.2	Entrenamiento básico del producto	117
5.6.3	Formación fundamental	117
5.6.4	Formación periférica	117
5.7	Medidas y normas de seguridad para el manejo de refrigerantes sustitutos de HCFC	118
5.7.1	Contención	118
5.7.2	Fuentes de ignición	119
5.7.3	Ventilación	119
5.7.4	Normas de seguridad	119
5.7.5	Clasificación de toxicidad	121
5.7.6	Clasificación de inflamabilidad	122
5.8	Métodos de recuperación, reciclado y reutilización de refrigerantes sustitutos de HCFC	123
5.8.1	Recuperación	123
5.8.2	Reciclar	124
5.8.3	Regenerar	124
5.8.4	Reutilización	124
5.9	Métodos para la recuperación de refrigerantes	124
5.9.1	Recuperación de refrigerante en fase líquida	125
5.9.2	Recuperación en fase de vapor-líquido	126
5.9.3	Recuperación en fase de vapor-líquido cuando el compresor no funciona	126
5.9.4	Recuperación cuando el compresor sí funciona	126
5.9.5	Recuperación en fase de vapor	127
5.9.6	Método push-pull (empuje-extracción) de recuperación líquida	127
5.10	Puntos importantes para la recuperación de refrigerantes	130

5.11	Medidas de seguridad al utilizar los cilindros recuperadores	132
5.12	Reciclado de refrigerantes	134
5.13	Reutilización de refrigerantes	136

Capítulo 6

Prospectos del futuro de la refrigeración, del aire acondicionado y de los gases refrigerantes		139
6.1	Bióxido de carbono	139
6.1.1	Estados Unidos de América	139
6.1.2	Comunidad Europea	141
6.2	Hidrocarburos	141
6.2.1	Estados Unidos de América	141
6.2.2	Comunidad Europea	142
6.3	Refrigerantes HFO, Clasificación A2L	143
6.3.1	Estados Unidos de América	143
6.3.2	Comunidad Europea	144

Glosario	145
Anexos	155
Acrónimos y Abreviaturas	160
Agradecimientos	162
Referencias	164

Índice de ilustraciones

1	Destrucción del ozono	5
2	Tipos de radiación ultravioleta	9
3	Sistema transcrito y subcrítico del CO ₂	36
4	Procedimiento para llenar la bomba para lubricante detergente	76
5	Colores residuales	78
6	Componentes de un cilindro de recuperación	133

Índice de diagramas

1	Evolución de refrigerantes	27
2	Características de los refrigerantes utilizados en la refrigeración y aire acondicionado	28
3	Refrigerantes alternativos para sustitución de los HCFC	29
4	CO ₂ como fluido secundario (Sistema Subcrítico)	38
5	Ubicación del filtro de succión tipo soldar	61
6	Ubicación de la válvula termostática de expansión	63
7	Toma de lecturas con el sistema funcionando	69
8	Conexión para hacer vacío en un sistema	70
9	Conexión para romper el vacío	71
10	Separador de aceite en un circuito de refrigeración	75
11	Carga de lubricante detergente en un evaporador	77
12	Carga de lubricante detergente en un condensador	79
13	Información general de las categorías para capacitación	116
14	Procedimiento de diseño para la manipulación de sustancias inflamables	120
15	Clasificación de seguridad de refrigerantes: ASHRAE, Estándar 34-2010	121
16	Recuperación de refrigerante en fase líquida	125
17	Recuperación en fase de vapor	128
18	Recuperación push-pull	128
19	Método de reciclado de un sólo paso	135
20	Método de reciclado de paso múltiple	136

Índice de imágenes

1	Agujero en el ozono Ártico 2011	7
2	Agujero en el ozono Antártico 2011	7
3	Materiales aislantes afectados en un motor quemado	55
4	Efectos en el lubricante cuando un compresor se quema	58
5	Estator aterrizado en un punto específico dentro de un compresor semihermético	58

6	Estator quemado en un compresor hermético	59
7	Uso de válvulas piercing para recuperar gas refrigerante por ambos lados del sistema	62
8	Mirillas de aceite en un compresor semihermético	67
9	Filtro de succión de núcleos intercambiables y filtro de líquido tipo soldar en un sistema de refrigeración	68
10	Núcleo deshidratador intercambiable saturado	68
11	Aceite sometido a una alta temperatura	80
12	Drenado de aceite del cárter	82
13	Limpieza mecánica de una bomba de aceite	83
14	Equipo de protección personal	91
15	Almacenaje seguro de cilindros	93
16	Unidad recuperadora	113
17	Detector de fugas	113
18	Cortadores de tubo	114
19	Vacuómetro digital	114
20	Bombas de vacío	115

Índice de tablas

1	Principales HCFC que se usan en México en el sector de la refrigeración y aire acondicionado	14
2	Algunas de las mezclas zeotrópicas de HCFC, HFC y HC que están reguladas por el Protocolo de Montreal	15
3	Características de los refrigerantes naturales	31
4	Ventajas y desventajas del CO ₂ como refrigerante	33
5	Punto triple de algunos refrigerantes	35
6	Ventajas y desventajas del amoniaco	41
7	Ventajas y desventajas de los hidrocarburos	43
8	Ventajas y desventajas de las hidrofluorolefinas	47
9	Refrigerantes fluorados	48
10	Refrigerantes naturales	50
11	Agentes de limpieza sustitutos al HCFC-141b	51

12	Cuadro comparativo entre HCFC-141b y HFC-365mfc	86
13	Propiedades termodinámicas del 365-HX	86
14	Comparación de propiedades del HCFC-141b, el HFC-365mfc y el 365-HX	87
15	Mezclas alternativas al R-22 en un sistema de refrigeración	98
16	Refrigerantes sustitutos al R-22 en un sistema de aire acondicionado	100
17	Referencia cruzada del rendimiento de los reemplazos del R-22	103
18	Refrigerantes naturales y sus aplicaciones	108
19	Regulaciones que enfrentan los refrigerantes naturales y los refrigerantes HFO	140
20	Refrigerantes HFO	143
21	Presión-Temperatura refrigerantes de transición alternativos al R-22	157
22	Presión-Temperatura refrigerantes de transición alternativos al R-22	158
23	Presión-Temperatura refrigerantes de transición alternativos al R-22	159

Índice de gráficas

1	Presión en relación con temperatura para el CO ₂ en comparación con otros refrigerantes	34
2	Fases del CO ₂	34
3	Presión-entalpía del CO ₂	36
4	Proceso transcrito del CO ₂	37
5	Proceso subcrítico del CO ₂	39

PRESENTACIÓN

Nuestro país ha demostrado su liderazgo en materia de cambio climático al establecer sinergias para el uso eficiente de la energía y la protección de la capa de ozono, así como al cumplir en tiempo y forma sus compromisos con el Protocolo de Montreal. Como prueba de ello, en 2010 se eliminó totalmente en el país el consumo de clorofluorocarbonos (CFC), sustancias utilizadas en refrigeración, aire acondicionado, aerosoles y espumas de poliuretano.

Es por ello que para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es prioritario continuar las políticas y acciones que contribuyan a mitigar y disminuir los grandes problemas ambientales a nivel global que son el cambio climático y el daño a la capa de ozono.

En lo que se refiere al sector de la refrigeración y aire acondicionado, con la aplicación del “Plan Nacional de Eliminación de Clorofluorocarbonos (CFC)”, se tuvieron logros importantes, entre los que destacan la eliminación total del consumo de CFC; la capacitación de alrededor de 7 500 técnicos en la aplicación de buenas prácticas en la reparación y mantenimiento de equipos de refrigeración y aire acondicionado; la entrega en donación de 2 100 juegos de equipos y herramientas a técnicos capacitados destacados; el equipamiento de 24 escuelas de educación pública y capacitación de 110 profesores como instructores de los cursos de capacitación; el fomento a la cultura de la recuperación, reciclado y reúso de los gases refrigerantes clorofluorocarbonados (CFC), hidroclorofluorocarbonados (HCFC) e hidrofluorocarbonados (HFC) y la instalación de 14 centros de recuperación y reciclado a nivel nacional.

La base para lograr exitosamente la capacitación de técnicos fue la elaboración del primer manual sobre “Buenas prácticas en sistemas de refrigeración y aire acondicionado”, el cual contiene temas sobre los daños al medio ambiente generados por la liberación de gases refrigerantes, las técnicas para detectar y eliminar fugas, las mejores prácticas y técnicas de servicio para el mantenimiento y reparación de equipos, así como para la recuperación y manejo de gases refrigerantes. Mediante la capacitación y uso del manual se logró la actualización y homogenización de procesos y técnicas que se utilizan diariamente en la reparación de equipos.

Para eliminar completamente el uso de gases clorofluorocarbonados y cumplir los compromisos ante el Protocolo de Montreal, nuestro país está implementando el “Plan Nacional de Eliminación de Hidroclorofluorocarbonos HCFC”, el cual tiene como objetivo eliminar un 30 por ciento del consumo de HCFC para el año 2018. Los principales HCFC que se usan en nuestro país en el sector de la refrigeración y aire acondicionado son el HCFC-22, como gas refrigerante, y el HCFC-141b, como agente de limpieza.

Con la finalidad de eliminar el consumo total del HCFC-141b como agente de limpieza e iniciar la sustitución y eliminación del HCFC-22, se ha desarrollado el presente manual titulado “Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos”, el cual será la herramienta básica que se usará para la capacitación de técnicos. El manual contiene las técnicas y procedimientos para realizar la limpieza de equipos usando sustancias que no dañen la capa de ozono y con un nulo o bajo potencial de calentamiento global y equipos que recirculen y recuperen el agente de limpieza. También, contiene una guía de sustitutos para el HCFC-22 y los nuevos refrigerantes que están en el mercado o en desarrollo para sustituir a los HCFC y HFC.

El contenido del manual se desarrolló como una herramienta de fácil entendimiento que los técnicos puedan utilizar para el desarrollo de sus actividades cotidianas y actualizar sus conocimientos en el uso de la nueva gama de refrigerantes, que cada día requieren una mayor especialización.

Estamos seguros de que con el apoyo de todos los técnicos y profesionistas del sector lograremos nuestras metas de eliminar las sustancias que dañan la capa de ozono y tienen alto potencial de calentamiento global, con lo que nuestro país seguirá siendo líder en la contribución a la mitigación y reducción de los grandes problemas ambientales a nivel global.

M. en I. Ana Patricia Martínez Bolívar

Directora General de Gestión de la Calidad del Aire y
Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes

SEMARNAT

OBJETIVOS

El presente Manual ha sido elaborado para consulta de los diferentes usuarios de los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) que tienen la intención de sustituir el uso de estos productos para el mantenimiento y limpieza de sistemas de refrigeración y aire acondicionado. De acuerdo con lo anterior, los objetivos del presente son:

- ✓ Proveer un instrumento de consulta para todos aquellos técnicos e ingenieros dedicados al mantenimiento y servicio de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- ✓ Presentar técnicas de identificación de problemas para dar un adecuado mantenimiento a los sistemas.
- ✓ Estandarizar las prácticas de trabajo en el proceso de limpieza de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- ✓ Especificar las diferentes condiciones que se presentan cuando se debe realizar la limpieza de un equipo.
- ✓ Involucrar a los usuarios de HCFC en el buen manejo de estas sustancias para reducir las emisiones a la atmósfera que dañan la capa de ozono.
- ✓ Informar las nuevas alternativas de sustitución disponibles para la eliminación de sustancias utilizadas en los sectores de refrigeración y aire acondicionado.

Capítulo 1

Principales sustancias agotadoras de la capa de ozono utilizadas en México

Los problemas del agotamiento de la capa de ozono y el calentamiento global han sido un tema importante en la agenda de la comunidad internacional medioambiental por varios años. Actualmente, es aceptado que los productos químicos CFC y HCFC ocasionen un efecto negativo en la capa de ozono estratosférico. Esta capa nos protege de los rayos ultravioleta provenientes del Sol; sin ella, estos rayos dejarían estéril la superficie de la Tierra.

La confirmación científica de los daños a la capa de ozono detonó en la comunidad internacional la necesidad de establecer un mecanismo de cooperación en el que se tomara un plan de acción para protegerla. Este mecanismo fue formalizado con la firma del Convenio de Viena para la Protección a la Capa de Ozono, que fue adoptado y firmado por 28 países el 22 de marzo de 1985 en Viena, Austria. Esto conllevó a que en septiembre de 1987 se redactara el Protocolo de Montreal referente a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono. El Protocolo fue firmado en esa ocasión por 24 países y la Comunidad Europea, entrando en vigor

Capítulo 1

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

el 1 de enero de 1989. El tratado establece que las partes del Protocolo de Montreal reconocen que las emisiones mundiales a la atmósfera de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO) van debilitando la capa de manera importante, teniendo efectos adversos en la salud de los seres humanos y en el medioambiente.

La primer junta de las partes del Protocolo de Montreal tuvo lugar en Helsinki, en mayo de 1989, y desde entonces las Partes (países firmantes del Protocolo) se reúnen cada año para revisar los progresos y discutir enmiendas, esto como resultado de la investigación y los avances técnicos.

Las decisiones del Protocolo de Montreal se fundamentan en la información científica, ambiental, técnica y económica más reciente evaluada por los paneles de expertos de la comunidad mundial. La evaluación científica del estado de la capa de ozono es publicada mediante la Organización Mundial Meteorológica (WMO, por sus siglas en inglés) en su documento *Scientific Assessment of Ozone Depletion*, la cual tiene una publicación anual.

El objetivo principal del Protocolo de Montreal es proteger la capa de ozono; esto se ha logrado mediante la implementación de medidas necesarias para la eliminación del consumo¹ de las sustancias agotadoras de la capa de ozono, y se realiza considerando los últimos avances científicos, técnicos y tecnológicos.

1.1 PRINCIPALES SAO REGULADAS POR EL PROTOCOLO DE MONTREAL

1.1.1 CFC

Los clorofluorocarbonos (CFC) fueron las primeras sustancias reguladas por el Protocolo de Montreal. Estas sustancias se utilizaron ampliamente en el sector de la refrigeración, para la fabricación de espumas, producción

¹ Consumo = Producción + Importación - Exportación

de medicamentos para asmáticos y como solventes. En México, se eliminó la producción de los CFC en 2005. De acuerdo con lo establecido en el Protocolo de Montreal, desde el 1 de enero de 2010 ya no se utilizan dichas sustancias.

1.1.2 HCFC

Los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) son gases refrigerantes que se usaron como sustitutos de los CFC y se siguen utilizando en la actualidad. Aunque contienen cloro que daña la capa de ozono, los refrigerantes HCFC también contienen hidrógeno, lo que los hace químicamente menos estables una vez que ascienden a la atmósfera.

1.1.3 Bromuro de Metilo

Es un químico que se aplica como fumigante para la desinfección de suelos agrícolas y en estructuras para almacenar granos y harinas. En nuestro país, están en marcha varios proyectos encaminados a la eliminación del consumo de este fumigante para el año 2014.

1.2 CAUSAS Y EFECTOS DEL AGUJERO EN LA CAPA DE OZONO

1.2.1 Qué es el ozono y por qué es tan importante

La palabra ozono deriva del griego *ozein*, que significa “oler”. Fue descubierto en experimentos de laboratorio a mediados de 1800. Su presencia en la atmósfera fue hallada mediante estudios químicos y mediciones ópticas. Este gas de color azul consiste en tres átomos de oxígeno unidos, que juntos forman la molécula del ozono.

La capa de ozono funciona como un poderoso filtro solar que evita el paso de los rayos ultravioleta; su presencia es vital para preservar la vida en la Tierra. Ésta nos protege del 95 por ciento de la radiación ultravioleta que llega al planeta. El ozono que se encuentra cerca de la superficie de

Capítulo 1

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

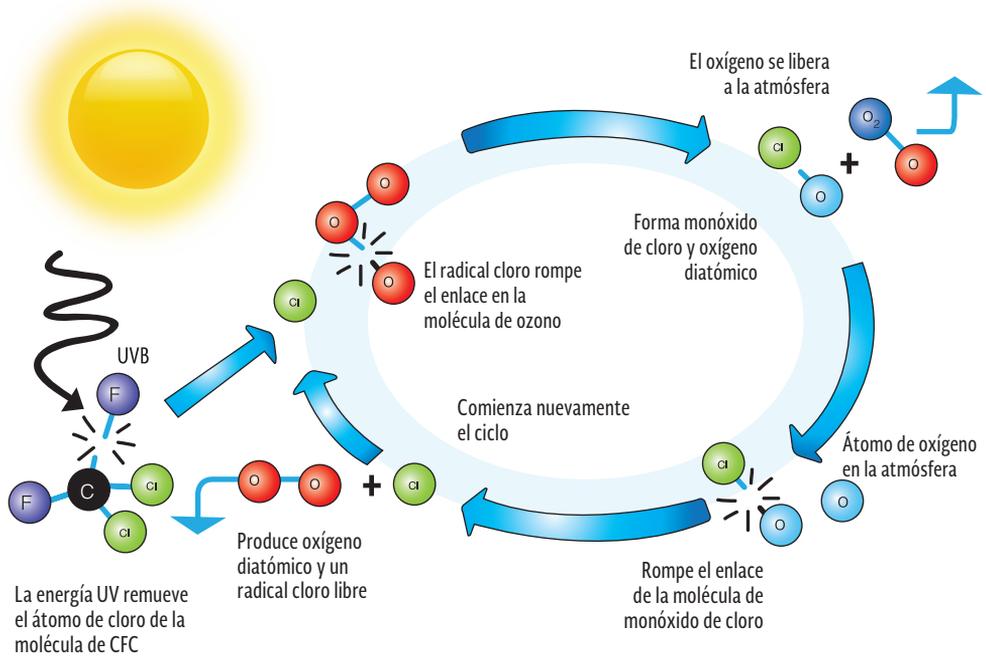
la Tierra (ozono troposférico u ozono malo) es un contaminante potente que afecta a la salud. Sin embargo, el ozono que se encuentra en la zona superior del planeta (ozono estratosférico u ozono bueno, que está entre los 15 y los 50 kilómetros de altura) tiene como función proteger la vida en la Tierra.

El ozono es inestable, es decir, está constantemente perdiendo su átomo adicional, pero la luz solar sigue creando nuevas moléculas sin cesar. Esto significa que se mantiene una cantidad constante de 10 partes por millón (una de cada 100,000 moléculas) en una atmósfera intacta. Esta reacción natural del ozono es la responsable de filtrar totalmente la radiación ultravioleta C [UV-C] y casi toda la radiación ultravioleta B [UV-B], llegando a la superficie de la Tierra una pequeña parte de esta radiación.

Si todo el ozono estratosférico del planeta se midiera al nivel del mar, éste formaría una capa de tan sólo 3 milímetros de espesor. Sin el altísimo factor de protección solar del ozono, la radiación UV nos mataría rápidamente o dañaría nuestro ADN. La destrucción de la capa de ozono comenzó mucho antes de que alguien se diera cuenta. El mecanismo de destrucción del ozono se ejemplifica en la **Ilustración 1**.

En 1928, Thomas Midgley y Charles Kettering inventaron los refrigerantes clorofluorocarbonos CFC. Estos gases resultaron ser muy útiles en los equipos de refrigeración y de aire acondicionado, para fabricar espuma de poliuretano y para utilizarse como aerosoles. Comparados con los refrigerantes usados y disponibles en ese tiempo, como el amoníaco, el dióxido de sulfuro, el cloruro de metilo, el propano, el isobutano o el dióxido de carbono, eran mucho menos peligrosos.

Ilustración 1. Destrucción del ozono causada por los CFC-12



El uso de los CFC revolucionó la industria respecto de la seguridad en el uso de los gases refrigerantes. Los CFC fueron desplazando prácticamente a todos los refrigerantes que se usaban en ese momento.

El cloro que contienen las moléculas de CFC ocasiona que sean sustancias químicamente estables, lo que causa que su permanencia en la atmósfera sea prolongada y además interactúe con el ozono originando la destrucción de este último.

Capítulo 1

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

Este hecho fue estudiado en 1974 por los científicos Sherwood Rowland, Paul Crutzen y el científico mexicano Mario Molina. Gracias a sus investigaciones, recibieron el Premio Nobel de Química en 1995.

Se sabe que un solo átomo de cloro puede destruir hasta 100 000 moléculas de ozono. Su capacidad de destrucción se potencializa a temperaturas por debajo de los -43°C . Por esta razón, el agujero de ozono aparece en los dos Polos, en lugares donde la estratósfera alcanza hasta los -62°C^2 .

1.2.2 Agujeros en la capa de ozono durante 2011

En el primer semestre de 2011, un agujero de una dimensión equivalente a cinco veces la superficie de Alemania se descubrió sobre el Ártico (Polo Norte), igualando, por primera vez, al que existe sobre la Región Antártica (Polo Sur). En la **Imagen 1** se muestra el agujero en el Ártico. Éste fue provocado por un frío excepcional en el Polo Norte y se desplazó durante unos quince días sobre Europa del Este, Rusia y Mongolia, exponiendo, en algunos casos, a las poblaciones a niveles elevados de radiación ultravioleta. Se estima que un poco más de 700 millones de habitantes fueron afectados.

El 12 de septiembre de 2011, en la Región Antártica (Polo Sur), se detectó un agujero en la capa de ozono que midió 26 millones de kilómetros cuadrados, el cual se muestra en la **Imagen 2**.

1.2.3 Efectos en la superficie del planeta cuando aparece el agujero en la capa de ozono

Nuestro planeta recibe más radiación ultravioleta, lo que ocasiona que se presenten más casos de cáncer en la piel, cataratas y que nuestro sistema inmunológico se debilite. Provoca daños a las cosechas, a la calidad y al rendimiento de los cultivos, así como daños a los ecosistemas terrestres y

² Flannery, Tim, "El clima está en nuestras manos. Historia del calentamiento global", Cap. 22, *Historia del Ozono*, Editorial Taurus.

Imagen 1. Agujero en el ozono Ártico 2011³

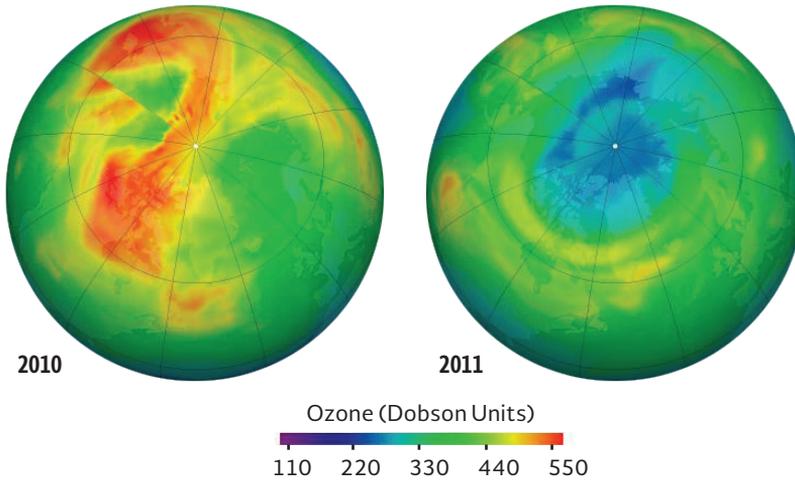
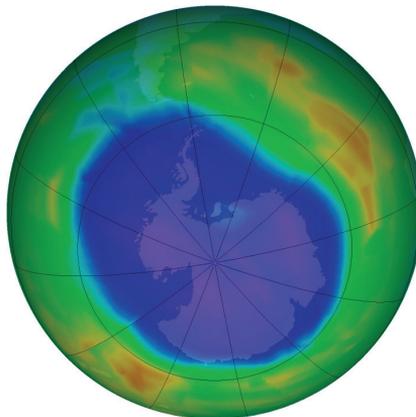


Imagen 2. Agujero en el ozono Antártico 2011⁴



³ "NASA lleva a cabo análisis de la pérdida de la capa de ozono en el Ártico". [En Red] Disponible en: <http://www.nasa.gov/topics/earth/features/arctic20111002.html>

⁴ "NASA lleva a cabo análisis de la pérdida de la capa de ozono en el Ártico". [En Red] Disponible en: <http://www.nasa.gov/topics/earth/features/arctic20111002.html>

marítimos. La gente que vive al Sur de los 40° de latitud está experimentando un incremento en la incidencia de cáncer en la piel. Esto incluye a la gente que vive en el Sur de Chile y de Argentina, en Tasmania y en la Isla Sur de Nueva Zelanda. En Punta Arenas, Chile, situada a 53° de latitud Sur, es la población más meridional de la Tierra, y en esta ciudad desde 1994, los índices de cáncer en la piel han aumentado en un 66 por ciento.

En las ciudades cercanas al Ecuador, el aumento de los índices de cáncer es evidente. En Estados Unidos de América, por ejemplo, la probabilidad de tener un melanoma era de 1 entre 250 hace 25 años; hoy en día es de 1 entre 84, y se debe, en parte, a la reducción del ozono⁵.

1.3 TIPOS DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA QUE RECIBE LA TIERRA

1.3.1 Radiación Ultravioleta A [UV-A]

Esta radiación es la más cercana al color violeta de la luz visible; pasa en su totalidad a través de la atmósfera y llega a la superficie; es relativamente inofensiva. La emplean las plantas para realizar la fotosíntesis, y contribuye en pequeñas dosis a fijar la vitamina A; sin embargo, en exposiciones prolongadas puede ser dañina.

1.3.2 Radiación Ultravioleta B [UV-B]

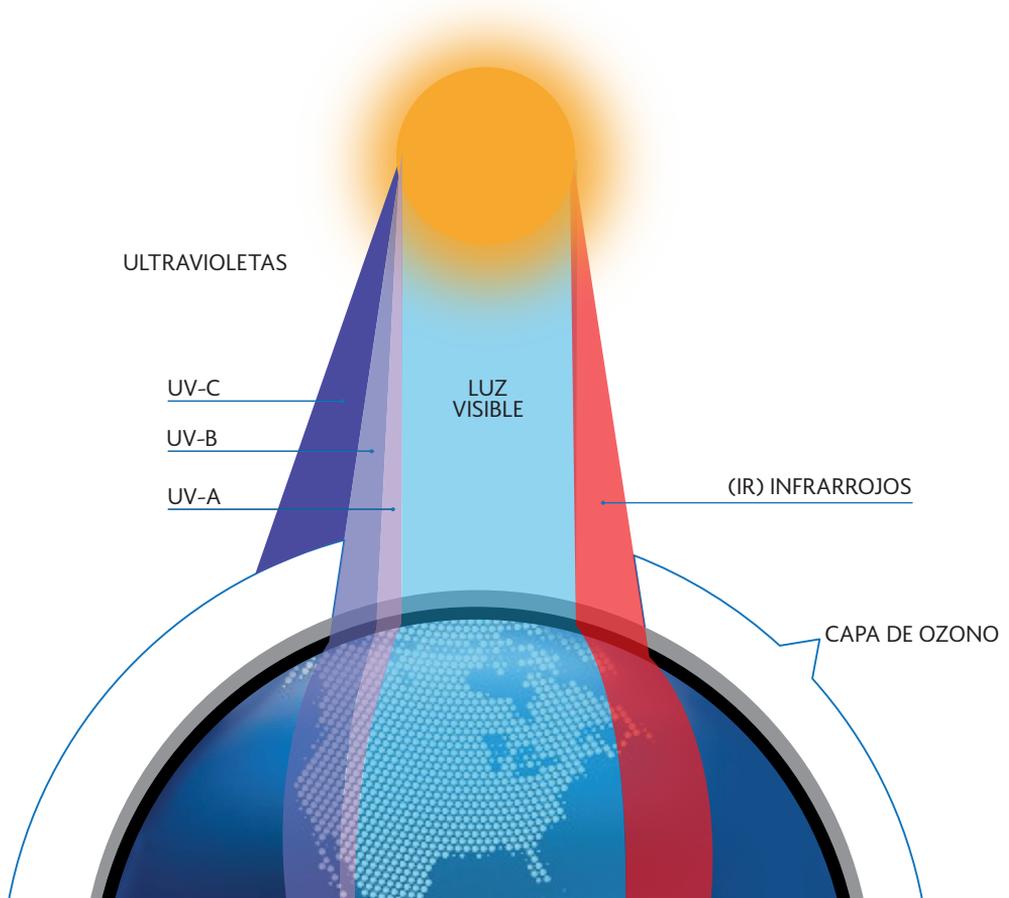
Tiene una longitud de onda intermedia entre la A y la C, aunque es menos letal que la C. Es también peligrosa aun en cantidades pequeñas, pues produce cáncer de piel, cataratas y otros daños en la vista, afecta el sistema inmunológico y a todas las formas de vida: microbios, algas, hongos, plantas, invertebrados y vertebrados. Normalmente, es casi absorbida en su totalidad por la capa de ozono.

⁵ Flannery, Tim, "El clima está en nuestras manos. Historia del calentamiento global", Cap. 22, *Historia del Ozono*, Editorial Taurus.

1.3.3 Radiación Ultravioleta C [UV-C]

Es la radiación de menor longitud de onda y más cercana a los rayos X, letal para la vida tal cual la conocemos; es totalmente absorbida por encima de la estratósfera, en la ionósfera. En la **Ilustración 2** se muestran los tres tipos de radiaciones.

Ilustración 2. Tipos de radiación ultravioleta⁶



⁶ Organización Meteorológica Mundial, el PNUMA, NOAA, NASA, Comisión Europea. "Veinte preguntas y respuestas sobre la capa de ozono 2010", *Evaluación científica del agotamiento del ozono: 2010*, David W. Fahey, Michaela I. Hegglin., Pregunta 3, Páginas 8 y 9.

1.4 CAPA DE OZONO Y CALENTAMIENTO GLOBAL

Los científicos definen al cambio climático como “...todo cambio que ocurre en el clima a través del tiempo, resultado de la variabilidad natural o de las actividades humanas”.

El calentamiento de la Tierra o “calentamiento global”, por su parte, es la manifestación más evidente del cambio climático y se refiere al incremento promedio global en la temperatura terrestre y marina.

A pesar de que el clima cambia de manera natural, los expertos señalan que existen claras evidencias de que el calentamiento del planeta registrado en los últimos 50 años puede ser atribuido a los efectos de las actividades humanas. La Tierra favorece la vida porque su atmósfera funciona como un invernadero que retiene suficiente calor del Sol para permitir que existan plantas y animales.

Este sistema de control climático depende de la presencia de algunos gases –el más importante es el CO₂ (bióxido de carbono). La quema de combustibles fósiles ha incrementado los niveles de bióxido de carbono atmosférico a niveles sin precedentes en la historia de la vida humana. La Tierra se está volviendo cada vez más caliente.

Los científicos del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), en su Informe de evaluación de 2007, llegaron a la conclusión de que “la mayor parte del incremento observado en la temperatura global media desde mediados del siglo XX se debe muy probablemente (probabilidad entre el 90 y el 100 por ciento) al incremento de concentraciones de gases de efecto invernadero antropogénicos”. Dicho de otro modo, existen nueve posibilidades sobre 10 de que los seres humanos hayamos ocasionado el calentamiento del último medio siglo.

Los sistemas de refrigeración o de aire acondicionado tienen una evaluación llamada TEWI (Total Equivalent Warming Impact), que se conoce como la Evaluación del Impacto Ambiental Total, en Masa Equivalente de CO₂. Esta evaluación mide el impacto ambiental que tendrá el equipo a lo largo de su vida útil; el resultado es la suma de dos tipos de emisiones. La primera la llamaremos Calentamiento Global Directo, que son las emisiones de gas refrigerante a la atmósfera debido a fugas en el sistema de refrigeración o de aire acondicionado. La segunda es el Calentamiento Global Indirecto, que son las emisiones de CO₂ que se producen al generar la energía eléctrica necesaria para que funcione el equipo de refrigeración o de aire acondicionado.

Un documento publicado en octubre de 2010 por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América (EPA, por sus siglas en inglés) menciona que a nivel global el consumo de los HCFC fue equivalente a 1,087 MTMCO₂ (Millones de Toneladas Métricas de CO₂). De acuerdo con el reporte presentado en el congreso del FMI (Food Marketing Institute), en 2008 las emisiones de CO₂ a la atmósfera de una tienda de comestibles al por menor (supermercado) corresponden a: 49 por ciento por el consumo de energía; 34 por ciento a las emisiones de gases refrigerantes a la atmósfera; 13 por ciento al uso de los transportes, y el 4 por ciento proviene por la quema de gas natural. Se estima que un supermercado puede llegar a tener dentro de sus equipos de refrigeración y de aire acondicionado de expansión directa hasta 1 814 kg, con un promedio de 23.5 por ciento de fugas de gas refrigerante anuales, que equivale a liberar 426.30 kg de gas refrigerante. Uno de los retos por enfrentar es reducir las fugas en los sistemas de refrigeración. Los HCFC dañan a la capa de ozono y contribuyen al calentamiento global. Así que al sustituir los HCFC por HFC o por cualquier otro gas refrigerante, estaremos generando otro problema si no se toman las medidas para prevenir y eliminar las fugas de dichos refrigerantes. Uno de los resultados que ha tenido la

Capítulo 1

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

implementación del Protocolo de Montreal es que ha retrasado el cambio climático en por lo menos 10 años. Sin embargo, no es correcto asegurar que si no podemos controlar las fugas en un sistema de refrigeración, lo mejor es cambiar por un refrigerante que tenga un Potencial de Calentamiento Global (PCG) bajo o nulo y de esta manera contribuir a solucionar el problema.

La creciente preocupación por el elevado potencial de calentamiento global que tienen los gases refrigerantes actuales ha despertado el interés en el uso de los refrigerantes con bajo PCG y de los refrigerantes naturales, como el bióxido de carbono (CO_2), el amoníaco (NH_3), los hidrocarburos (HC) y de los refrigerantes de baja inflamabilidad que están registrados en el Estándar de AHSRAE 34-2010. Actualmente se está promoviendo el uso de los refrigerantes naturales en los sistemas de refrigeración, debido a que no contaminan y que son amigables con el medioambiente, sin mencionar el hecho de que, para poder utilizarlos, antes se deben de cumplir con varias medidas de seguridad.

Al liberarse, los gases refrigerantes generan efectos en el medioambiente; por ejemplo, en el caso del CO_2 , existe un sinnúmero de documentos donde se menciona que éste es un componente en la atmósfera y que no es posible que el origen del calentamiento global tenga que ver con las emisiones del CO_2 . El problema no son las emisiones de CO_2 natural, sino con el CO_2 creado por el hombre (antropogénico), que es emitido a la atmósfera en forma de gas refrigerante, debido a las fugas en los sistemas de refrigeración, a los barridos que se realizan utilizando R-141b, etc.

Para continuar e incrementar el uso de los refrigerantes naturales en los actuales sistemas de refrigeración y aire acondicionado, se deben aplicar las normas, procedimientos, especificaciones y medidas de seguridad para lograr que su uso sea seguro para las personas, equipos y bienes.

En el pasado, los refrigerantes naturales se clasificaban en tres grupos: los hidrocarburos, el amoníaco y el dióxido de carbono.

Los refrigerantes hidrocarburos, que incluían al propano y al propileno, no tuvieron uso en la refrigeración comercial debido a su elevada inflamabilidad.

El amoníaco se ha utilizado principalmente en la refrigeración industrial, pero por su elevada toxicidad no se ha podido aplicar en la refrigeración comercial.

El dióxido de carbono dejó de emplearse tras alcanzar un máximo entre 1920 y 1930 para dar paso a los CFC y HCFC. La constante innovación tecnológica y la actual legislación han promovido el uso del CO₂ como gas refrigerante; en algunos casos los gobiernos han apoyado económicamente.

Actualmente, la refrigeración comercial sigue siendo dominada por compresores de un estado, compresores de dos estados, sistemas en paralelo y por compresores de velocidad variable.

1.5 LOS HCFC COMO SUSTITUTOS DE LOS CFC Y SU LEGISLACIÓN

Al inicio de este manual se explicó que los CFC, por sus propiedades químicas, fueron uno de los principales causantes en la disminución de la concentración del ozono estratosférico. Por esta razón se eliminó su producción mundial.

La mayoría de los clorofluorocarbonos (CFC) fueron sustituidos por los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), sustancias que tienen un bajo potencial de agotamiento de la capa de ozono y están reguladas por el Protocolo de

Capítulo 1

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

Montreal. En nuestro país, los principales HCFC que se utilizan en el sector de la refrigeración y el aire acondicionado se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Principales HCFC que se usan en México en el sector de la refrigeración y el aire acondicionado	
HCFC	Usos
HCFC-22 (R-22)	Aire acondicionado residencial y comercial
	Refrigeración comercial de media y baja temperatura
	Supermercados y almacenamiento de alimentos
	Máquinas de hielo
	Transporte refrigerado
HCFC-123 (R-123)	Enfriadores centrífugos de baja presión
HCFC-124 (R-124)	Enfriadores centrífugos
HCFC-141b (R-141b)	Agente de limpieza de equipos de refrigeración y aire acondicionado, y agente espumante en la fabricación de espumas de poliuretano

También los CFC fueron sustituidos por mezclas zeotrópicas que contienen hidroclorofluorocarbonos (HCFC), hidrofluorocarbonos (HFC) e hidrocarburos (HC). En la **Tabla 2** se muestran algunas de las mezclas zeotrópicas reguladas por el Protocolo de Montreal.

Tabla 2. Algunas de las mezclas zeotrópicas de HCFC, HFC y HC que están reguladas por el Protocolo de Montreal

Refrigerante Número ASHRAE	Composición
R – 401A	53% de HCFC-22; 34% de HCFC-124; 13% de HFC-152a
R – 401B	61% de HCFC-22; 28% de HCFC-124; 11% de HFC-152a
R – 401C	33% de HCFC-22; 52% de HCFC-124; 15% de HFC-152a
R – 402A	38% de HCFC-22; 60% de HFC-125; 2% de propano
R – 402B	60% de HCFC-22; 38% de HFC-125; 2% de propano
R – 406A	55% de HCFC-22; 41% de HCFC-142b; 4% de isobutano
R – 408A	46% de HCFC-22; 7% de HFC-125; 47% de HFC-143a
R – 409A	60% de HCFC-22; 25% de HCFC-124; 15% de HCFC-142b
R – 411A	87.5% de HCFC-22; 11% de HFC-152a; 1.5% de propileno
R – 411B	94% de HCFC-22; 3% de HFC-152a; 3% de propileno
R – 414A	51% de HCFC-22; 28.5% de HCFC-124; 16.5% de HCFC-142b; 4% de isobutano
R – 414B	50% de HCFC-22; 39% de HCFC-124; 9.5% de HCFC-142b; 1.5% de isobutano
R – 420A	12% de HCFC-142b; 88% de HFC-134a

1.5.1 Sanciones

En el artículo 414 del Código Penal Federal se establecen las sanciones a quien ilícitamente o sin aplicar medidas de prevención o seguridad realice actividades con sustancias agotadoras de la capa de ozono y cause un riesgo de daño a los recursos naturales, a la flora, a la fauna, a los ecosistemas, a la calidad del agua o al ambiente (ver Anexos).

⇒ RECUERDE QUE...

Para evitar sanciones y ayudar a reducir las emisiones de gases refrigerantes a la atmósfera, debe realizar y verificar los siguientes aspectos:

- En sistemas que contienen 3 kg o más buscar fugas cada año.
- En sistemas con carga igual o mayor de 30 kg buscar fugas cada seis meses.
- En sistemas de 300 kg o más buscar fugas cada 3 meses.
- Las fugas detectadas se deben de reparar inmediatamente.
- Se deben utilizar conexiones tipo soldar en vez de las conexiones de tuerca cónica en los accesorios de un sistema de refrigeración o de aire acondicionado.
- La varilla de soldadura por usar debe de tener un contenido de plata del 45% para reducir las fugas ocasionadas por las fracturas de las uniones.
- Siempre debe recuperar el gas refrigerante; no se debe liberar a la atmósfera.
- Se deben mantener bitácoras en las que se indique el tipo y cantidad de gas refrigerante con el que opera cada equipo, y la cantidad de gas que se le recargó anualmente a cada equipo durante el servicio de mantenimiento o reparación.

Capítulo 2

El uso de los HCFC en los sectores de servicio de la refrigeración y del aire acondicionado en México

Como se ha mencionado anteriormente, desde que se establecieron las regulaciones de las SAO, dictadas por el Protocolo de Montreal, que se enfocaba inicialmente en la eliminación de los CFC, el uso de los HCFC se incrementó en forma exponencial.

En México, los diferentes usos que tienen los HCFC son los siguientes:

- Como fluido refrigerante en la industria de la refrigeración y el aire acondicionado
- Como agente espumante en la elaboración de espumas de poliuretano
- Como propelente en los productos de aerosol destinados principalmente a productos de belleza, insecticidas y productos de limpieza de electrónicos
- Como agente limpiador en sistemas de refrigeración y aire acondicionado

A continuación se presentan los principales usos que tienen los HCFC en el sector de la refrigeración y el aire acondicionado.

- Refrigeración doméstica
- Refrigeración comercial
- Transporte refrigerado
- Flota pesquera
- Refrigeración industrial
- Aire acondicionado doméstico
- Aire acondicionado comercial
- Aire acondicionado para el transporte
- Aire acondicionado industrial

En estos sectores se han utilizado diferentes tipos de HCFC o mezclas de gases refrigerantes; esto, de acuerdo con la aplicación y el uso final del equipo.

Aunque existen múltiples variaciones y mezclas de HCFC que han sido probadas en estos sectores, es importante mencionar que la principal utilización y de mayor consumo ha sido la refrigeración comercial, el aire acondicionado doméstico y las espumas de poliuretano. Las principales mezclas de HCFC que se han utilizado en el sector de refrigeración y aire acondicionado son los siguientes refrigerantes: HCFC-401A, HCFC-401B, HCFC-402A, HCFC-402B, HCFC-408A y HCFC-409A, entre otras.

2.1 REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA

En este sector, el uso de CFC está prácticamente eliminado y sólo se observa un mínimo uso de HCFC en algunos equipos que fueron convertidos a refrigerantes, como R-401A y R-409A. Sin embargo, la mayoría de los equipos de refrigeración doméstica contienen como fluido refrigerante el HFC-134a (R-134a), que fue la primera solución que se presentó en el mercado a mediados de la década de 1990. No obstante, sigue siendo una preocupación para los fabricantes la eliminación de los HFC (hidrofluorocarbonos) debido a su alto Potencial de Calentamiento Global (PCG).

En México, se recomienda utilizar los hidrocarburos en equipos diseñados y fabricados para usar este tipo de refrigerantes, debido a las cuestiones de seguridad e inflamabilidad. Asimismo, se observa que estos gases podrían ser el futuro en este sector.

2.2 REFRIGERACIÓN COMERCIAL

El sector de refrigeración comercial en México es muy amplio, y su crecimiento se observa en aumento, debido a la dependencia para la conservación, almacenamiento y transporte de alimentos.

En este sector existen tres tipos de sistemas:

1. Sistemas centralizados instalados en supermercados (*racks*).
2. Unidades condensadoras instaladas principalmente en tiendas de conveniencia y/o pequeños comercios que requieren refrigeración (carnicerías).
3. Unidades independientes, como vitrinas congeladoras instaladas en todo tipo de tiendas.

El uso del HCFC-22 (R-22), en diferentes equipos y capacidades, es amplio debido al conocimiento que se tiene de este producto y al bajo costo que representa para los servicios de mantenimiento.

Aun cuando los refrigerantes HFC-404A (R-404A) y HFC-507A (R-507A) son utilizados ampliamente en este sector (desde 5 a 20 TR⁷) en los autoservicios pequeños hasta los medianos, el uso de HCFC-22 sigue siendo predominante en muchos sistemas comerciales para la conservación de alimentos y bebidas en equipos desde 1 TR y hasta 5 TR, principalmente en las tiendas de conveniencia; sin embargo, estos equipos se siguen reemplazando por los refrigerantes R-404A o R-507A.

⁷ Toneladas de Refrigeración

2.3 TRANSPORTE REFRIGERADO

El sector de transporte para el traslado de productos refrigerados, ya sea para conservación o congelados, puede incluir vehículos de diferentes capacidades, desde camionetas repartidoras, camiones, tráileres, etc.

El uso del R-22 se ha observado en vehículos pequeños, como camiones repartidores y de conservación, y para equipos más grandes, como contenedores para tráileres, el uso de refrigerantes HFC, como el R-404A, principalmente.

2.4 FLOTA PESQUERA

En México, existen miles de barcos pesqueros con compresores abiertos que utilizan R-22 como principal producto de refrigeración. Estas máquinas, por ser antiguas y con mantenimientos deficientes, provocan un índice alto de fugas de refrigerante que deben ser considerados para una posible sustitución.

Por lo anterior, la industria de la pesca ha contemplado una modernización de la flota con compresores más eficientes, utilizando refrigerantes como el R-404A y R-507; sin embargo, existe la misma preocupación por su alto PCG.

El amoníaco (R-717) sólo se utiliza para el almacenamiento de productos congelados.

2.5 REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

Este sector se caracteriza, principalmente, por el tamaño de los equipos y el rango de temperatura que se requiere en las plantas industriales. Estos

equipos pueden trabajar para procesos de manufactura, enfriamiento o bombas de calor. Debido a que los procesos en la industria generalmente son continuos, los diseños de estos equipos son especiales, ya que tienen que trabajar ininterrumpidamente.

El amoniaco es la sustancia más comúnmente utilizada; no obstante, existen equipos que operan con HCFC-22 en diferentes plantas industriales.

En este sector, las fugas son generalmente continuas y grandes, debido a la edad de los equipos, por lo que es importante vigilar las condiciones de operación.

Empresas trasnacionales han tratado de sustituir el HCFC-22 con refrigerantes HFC, como HFC-407C o HFC-422D.

El amoniaco sigue teniendo limitaciones debido a su alta toxicidad que no le permite ser utilizado cerca de lugares poblados; por ello, se emplean en lugares donde las condiciones de seguridad son monitoreadas o los equipos se encuentran en áreas despobladas.

2.6 AIRE ACONDICIONADO DOMÉSTICO

En este sector, la utilización de HCFC-22 es preponderante, ya que la mayoría de los fabricantes han manufacturado millones de equipos con este gas. Asimismo, se presenta un alto consumo de HCFC-22 debido a un incremento en la utilización de climas artificiales en hogares, oficinas y establecimientos donde se requieren equipos de 1 a 3 toneladas de capacidad.

A partir de 2011, la utilización de refrigerantes como HFC-410A y HFC-407C se ha incrementado por las regulaciones en países desarrollados y la estrategia de varios fabricantes para introducir diseños de equipos energéticamente eficientes.

2.7 AIRE ACONDICIONADO COMERCIAL

En términos generales, se consideran equipos de aire acondicionado comercial a partir de las 5 toneladas de refrigeración.

En México, la capacidad instalada de equipos comerciales que operan con HCFC-22 se considera por arriba del 70 por ciento, tanto en equipos que operan sólo en frío o bombas de calor. Este sector, al igual que el sector doméstico, ha evolucionado con nuevos diseños de equipos para que trabajen con mayores eficiencias y velocidades variables.

El refrigerante más utilizado para estos nuevos diseños es el HFC-410A, aun cuando sigue siendo una preocupación para la industria por su alto PCG.

En algunos países europeos, así como en Japón, el uso del amoníaco (R-717) y del bióxido de carbono (R-744) ha sido aprobada para sustituir a los HCFC, ya que dichos refrigerantes tienen un nulo o bajo PCG.

2.8 AIRE ACONDICIONADO PARA EL TRANSPORTE

Este sector se puede dividir en dos subsectores:

1. Aire acondicionado de autobuses.
2. Aire acondicionado de automóviles.

Para ambos subsectores se observa principalmente el uso del HFC-134a.

2.9 AIRE ACONDICIONADO INDUSTRIAL

El sector del aire acondicionado industrial contempla los subsectores del aire acondicionado en edificios, grandes hoteles, salas de espectáculos y otros similares. Generalmente, se utilizan enfriadores (*chillers*), con capacidades superiores a las 200 toneladas de refrigeración, con compresores recíprocos de pistón, compresores *scroll* y de tornillo.

Se observa una alta utilización del HCFC-22 en este sector, así como la creciente utilización del HFC-410A. Asimismo, se utilizan *chillers* centrífugos para el enfriamiento de agua que utilizan HCFC-123 o HFC-134a.

La cantidad de HCFC utilizados en este sector es mínima, comparada con otros sectores, por lo que es posible que sea de los últimos que utilicen HCFC en sus equipos.

Capítulo 3

Refrigerantes sustitutos de los HCFC en los sectores de refrigeración y de aire acondicionado

A partir de la regulación global de los CFC, se inició una gran campaña de investigación para la elaboración de refrigerantes que pudieran remplazar a los refrigerantes que fueron vinculados con el deterioro de la capa de ozono.

Como se ha mencionado, los HCFC fueron la primera opción para las primeras etapas de sustitución de los CFC, debido a su amplia disponibilidad, a sus bajos costos y, principalmente, a que termodinámicamente son capaces de hacer el trabajo de refrigerantes.

La etapa siguiente es la reducción y eliminación de HCFC, debido a que estas sustancias también deterioran la capa de ozono. En la actualidad, la introducción de más de 60 refrigerantes para la sustitución de los HCFC ha llevado a cuestionarse: ¿Qué sustancia remplazará definitivamente a los HCFC?

Capítulo 3

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

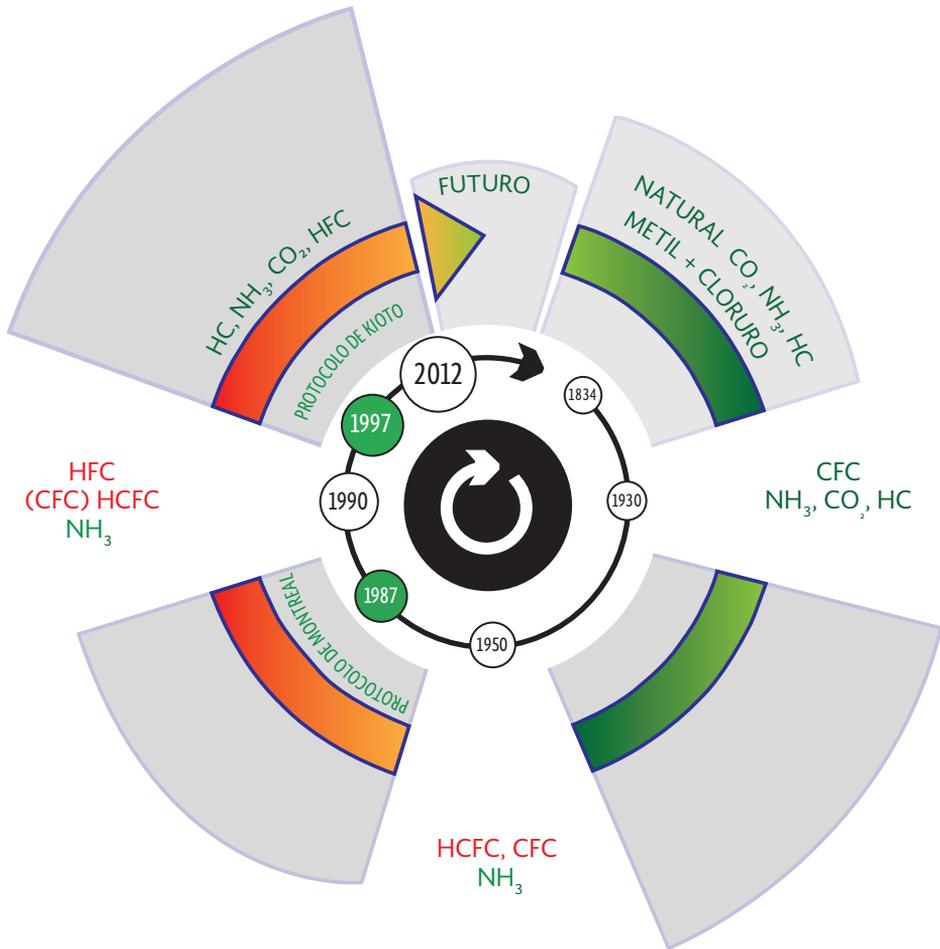
Para realizar la sustitución de refrigerantes es importante considerar los siguientes puntos:

1. El refrigerante que se utilizará para los nuevos equipos que serán manufacturados en el futuro.
2. El refrigerante que se empleará para la sustitución de todos los equipos instalados que se encuentran trabajando actualmente con el HCFC-22.
3. El refrigerante debe ser compatible con los materiales de los equipos, tales como el aceite, la tubería, el compresor, entre otros.
4. Las propiedades termodinámicas del gas sustituto deben ser lo más parecidas al refrigerante que se está sustituyendo.
5. Que los sustitutos cumplan con la regulación ambiental, es decir, que no sean sustancias que dañen la capa de ozono y que su potencial de calentamiento global sea nulo o muy bajo.

Entre los refrigerantes nuevos que se han sugerido para el servicio de mantenimiento de equipos, se encuentran los refrigerantes naturales, como el dióxido de carbono (CO_2), el amoníaco (NH_3) y los refrigerantes a base de hidrocarburos (HC).

En el **Diagrama 1** se ejemplifica el trayecto que han tenido los refrigerantes en la refrigeración y el aire acondicionado. En el **Diagrama 2** se muestra la tendencia que han seguido los refrigerantes, así como sus principales características.

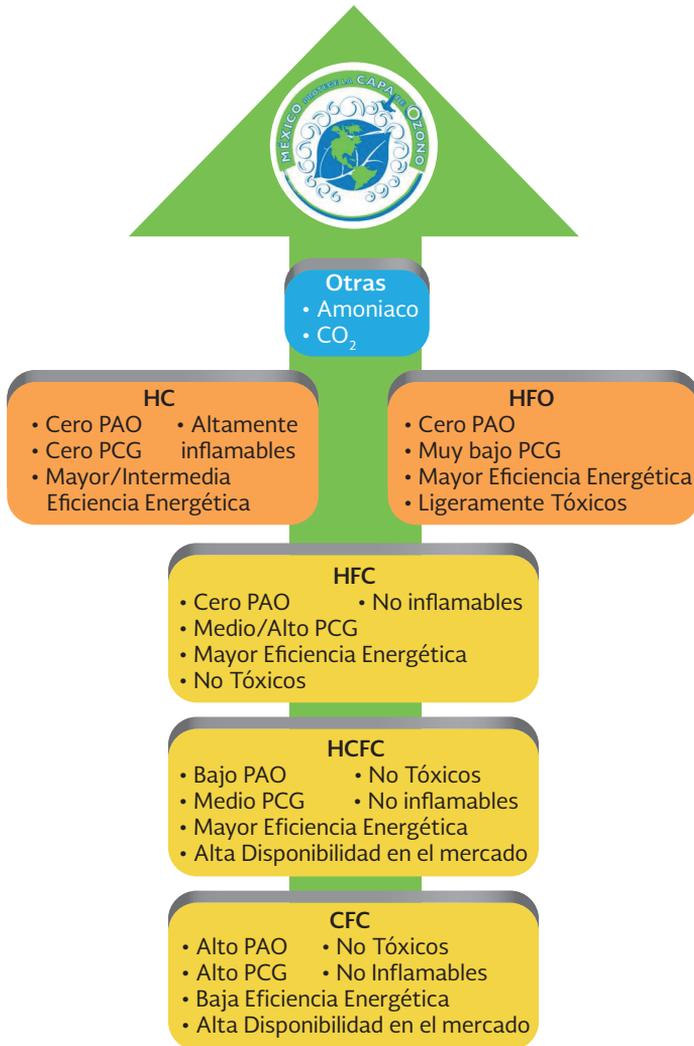
Diagrama 1. Evolución de refrigerantes



Capítulo 3

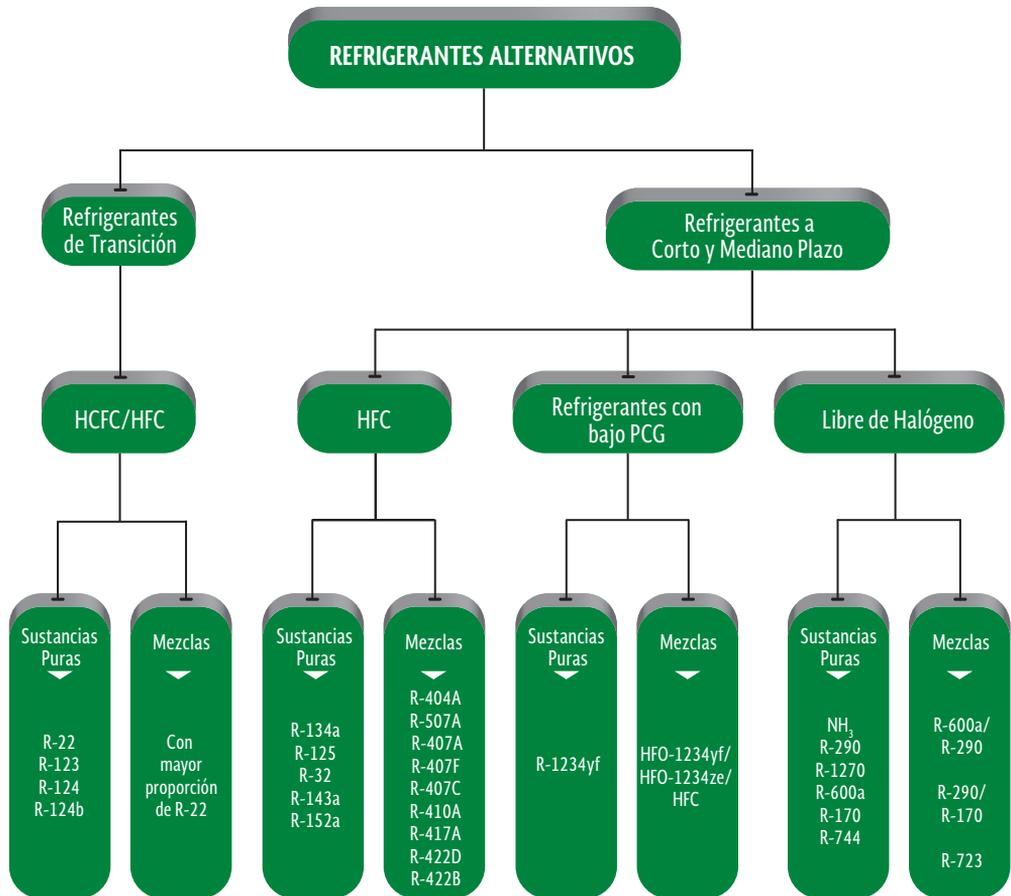
Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

Diagrama 2. Características de los refrigerantes utilizados en la refrigeración y el aire acondicionado⁸



⁸ Tendencia en el uso de Refrigerantes. Plan de eliminación de HCFC en México. Implementación y Resultados del Protocolo de Montreal en México, SEMARNAT, mayo 2012.

Diagrama 3. Refrigerantes alternativos para sustitución de los HCFC⁹



⁹ Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH. Reporte de Refrigerantes no. 17 (traducción al inglés). Alemania, Enero 2013.

3.1 REFRIGERANTES NATURALES

Los refrigerantes naturales son sustancias que se presentan de manera natural en la biósfera y, además, no dañan la capa de ozono y tienen un bajo o nulo valor de potencial de calentamiento global; sin embargo, pueden llegar a afectar las condiciones ambientales locales (por ejemplo, hidrocarburos, que son combustibles). Los ejemplos de refrigerantes naturales son el aire, agua, dióxido de carbono, nitrógeno, los hidrocarburos y el amoníaco.

Algunos refrigerantes naturales tienen efectos de seguridad específicos, como su inflamabilidad y toxicidad. Ambos son aspectos que pueden ser controlados satisfactoriamente al aplicar las medidas adecuadas de prevención, control y mantenimiento en la mayoría de los casos.

Conforme al marco legal europeo, el uso de refrigerantes fluorados es cada vez más restrictivo. Algunos países, como Dinamarca o Noruega, ya presentan impuestos que gravan el uso de HFC; incluso existe una limitación de carga de refrigerantes naturales para uso en equipos de refrigeración y aire acondicionado. En otros países, como Alemania, se apuesta por incentivar la eficiencia energética y el uso de refrigerantes naturales, mientras que en la Unión Europea se encamina hacia la reducción en el uso de HFC con alto PCG y a minimizar la tasa de fugas de los sistemas de refrigeración.

En la **Tabla 3** se resumen las principales características de los refrigerantes naturales.

Tabla 3. Características de los refrigerantes naturales

Refrigerante	Número ASHRAE	PCG (100 años)	PAO	Temperatura de ebullición (°C)	Temperatura crítica (°C)	Presión crítica
Amoniaco	R-717	0	0	-33.3	132.4	114.2
Dióxido de carbono	R-744	1	0	-56.6	31.1	73.8
Propano	R-290	3.3	0	-42.1	96.7	42.5
Isobutano	R-600a	4	0	-11.8	134.7	36.48
Propileno	R-1270	1.8	0	-48	91	46.1
Agua	R-718	0	0	100	373.9	217.7
Aire	R-729	0	0	-194.5	-	-

3.2 BIÓXIDO DE CARBONO

El bióxido de carbono (CO₂) se ha considerado como una buena alternativa para sustituir a los HFC (hidrofluorocarbonos) porque no daña la capa de ozono. Es un fluido inodoro, incoloro y más pesado que el aire. Se ha utilizado como refrigerante desde hace más de un siglo. Su Potencial de Calentamiento Global (PCG) se encuentra en la unidad –de esta manera se ubica como la principal referencia para determinar el PCG de otros gases– y su valor de Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (PAO) es de cero, favoreciéndolo en el aspecto ambiental. Aunque el CO₂ es necesario para la vida en la Tierra, es también un Gas de Efecto Invernadero (GEI) que puede modificar el medioambiente si su concentración en la atmósfera se incrementa considerablemente. Es clasificado por las normas de refrigeración como R-744, con una clasificación de seguridad de tipo A1 (no inflamable y baja toxicidad).

Como se mencionó anteriormente, el hecho de ser más pesado que el aire puede resultar peligroso (especialmente en espacios reducidos), ya que al no ser autoalarmante (no tiene un aroma detectable), puede desplazar el oxígeno hasta límites nocivos para la salud. Estas características llevan a la necesidad de tener una especial atención en la detección de fugas y la ventilación de emergencia. Tiene baja compatibilidad química con los materiales comunes y una buena solubilidad con el lubricante polietileno glicol de alquileno (PGA). Posee un muy bajo costo y está disponible en cualquier cantidad en todo el mundo.

3.2.1 Refrigeración con CO₂

Cuando se utiliza como refrigerante, el dióxido de carbono normalmente opera a una presión mayor que los hidrofluorocarbonos y otros refrigerantes. Si bien esto presenta algunos problemas de diseño, por lo general pueden ser superados en los sistemas diseñados específicamente para usar dióxido de carbono.

El dióxido de carbono puede usarse con lubricante polietileno glicol de alquileno (PGA), con lubricantes poliéster (POE) o polivinil éter (PVE). En la **Tabla 4** se muestra una comparación de las ventajas y desventajas en el uso del CO₂.

El dióxido de carbono se utiliza principalmente en:

1. Refrigeración industrial y comercial: sistemas en cascada NH₃/CO₂.
2. Sistemas compactos.
3. Bombas de calor (calentamiento de agua).
4. Refrigeración comercial: supermercados, sistemas directos, cascada, indirectos.

Tabla 4. Ventajas y desventajas del CO₂ como refrigerante

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • PCG= 1; PAO= 0 • Tóxico en altas concentraciones • No inflamable • Inodoro • No tiene efectos secundarios a largo plazo • Alto rendimiento • Ofrece bajo consumo de energía • Alto coeficiente de transferencia de calor • Bajo costo • Alta disponibilidad (se obtiene como sub-producto de varios procesos) • Lubrica con POE, PGA y PVE 	<ul style="list-style-type: none"> • Opera a presiones y temperaturas mayores que HFC y otros refrigerantes • La instalación inicial de sistemas de refrigeración (con base en la aplicación) es costosa • En caso de escape se va a nivel de suelo, desplazando el aire, y al ser inodoro, no se advertirá su escape • Precio de sistema: alto

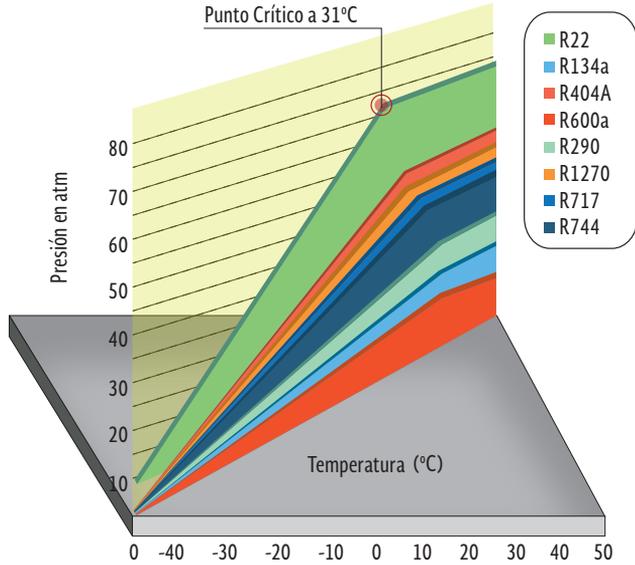
3.2.2 Aspectos termodinámicos del CO₂

La gran diferencia entre el CO₂ y otros refrigerantes comunes es su relación presión / temperatura y, particularmente, su alta presión a temperaturas normales y su baja temperatura crítica de aproximadamente 31°C. En las **Gráficas 1 y 2** se presentan las condiciones de presión / temperatura del CO₂.

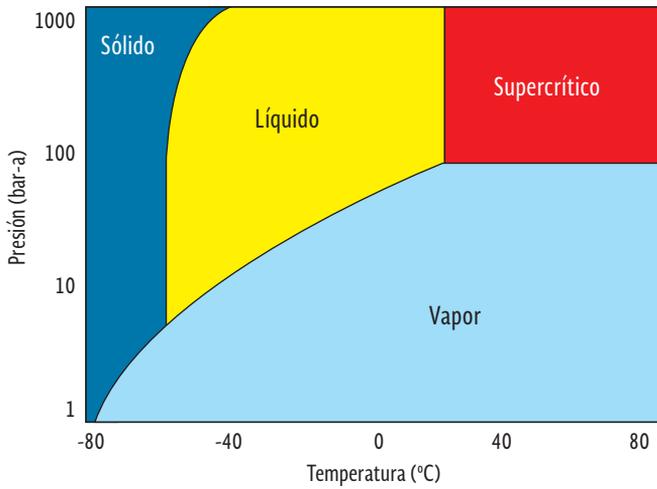
Capítulo 3

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

Gráfica 1. Presión en relación con temperatura para el CO₂ en comparación con otros refrigerantes



Gráfica 2. Fases del CO₂



Asimismo, esta diferencia se hace notable debido al valor del punto triple del CO₂, el cual es superior respecto de otros refrigerantes. Esto se aprecia en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Punto triple de algunos refrigerantes			
Refrigerante	R-134a	R- 717 NH ₃	R-744 CO ₂
Punto Triple	0.057 psia / 0.00039 MPa -153.94 °F / -103.3 °C	0.008 psia / 0.00609 MPa -247.23 °F / -77.65 °C	75.124 psia / 0.51796 MPa -69.80 °F / -56.56 °C

En la gráfica de presión / entalpía (**Gráfica 3**), el punto triple es en realidad una línea a una presión de 75.124 psia (5.111 atm) y una temperatura de -69.80 °F (-56.56 °C). En el punto triple, las fases vapor, líquido y sólido están en equilibrio.

La presión crítica de CO₂ es 1070.0 psia (72.808 atm) y la temperatura crítica es de 87.76 °F (30.97 °C). Por encima del punto crítico, en la fase supercrítica, el CO₂ tiene propiedades que son casi similares a las de un vapor de alta densidad.

La alta presión de saturación a la temperatura ambiente es a menudo la primera barrera cuando se propone al CO₂ como refrigerante. A los 68 °F (20 °C), la presión saturada es 830.93 psia (56.54 atm). El CO₂ puede ser utilizado en diferentes configuraciones, dependiendo de los requerimientos de aplicación.

La configuración es muy dependiente de la aplicación. En la Gráfica 3 se observa el comportamiento presión-entalpía del CO₂. Fundamentalmente los sistemas de refrigeración con CO₂ se dividen en dos categorías: transcíticos y subcríticos; éstos se observan en la **Ilustración 3**.

Capítulo 3

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

Gráfica 3. Presión / entalpía del CO₂

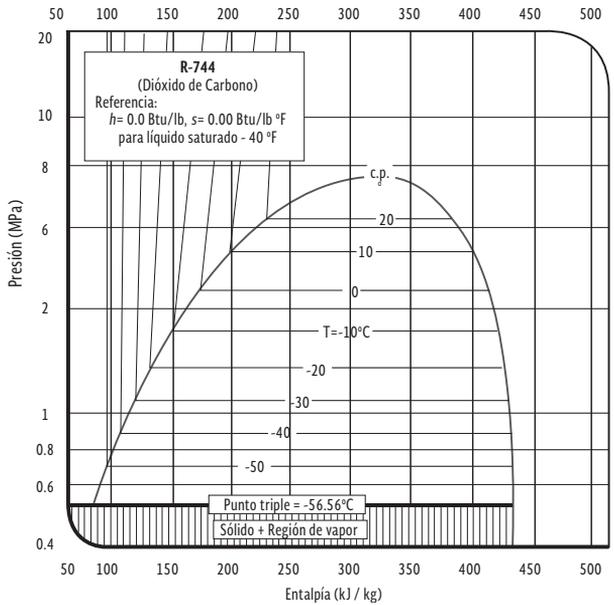
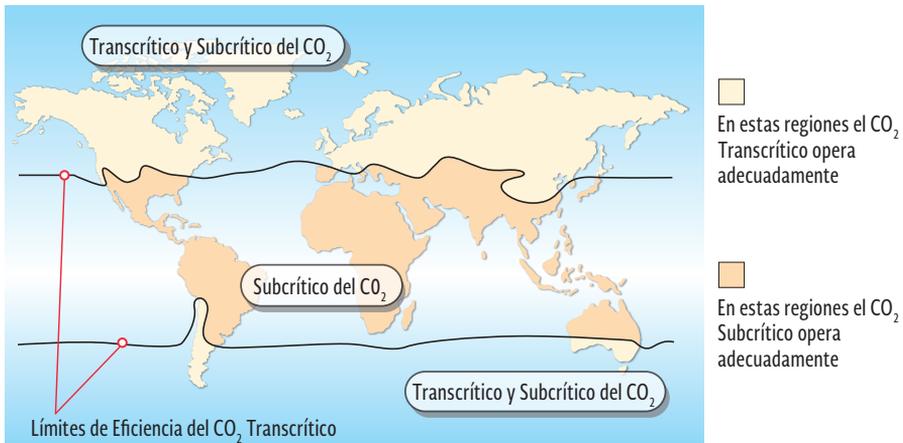


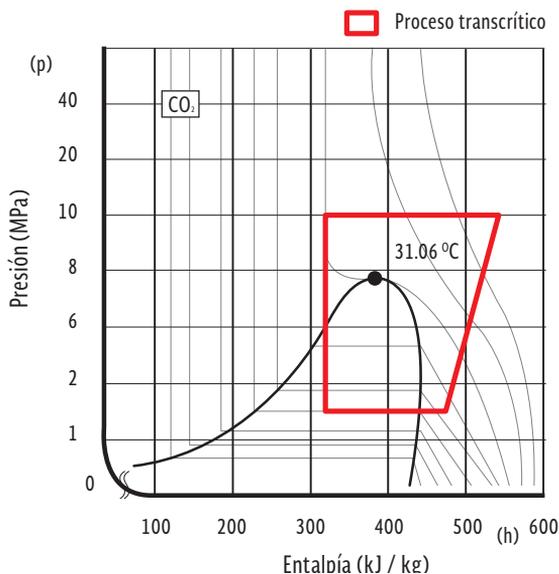
Ilustración 3. Sistema transcrito y subcrítico del CO₂



3.2.3 Sistemas transcíticos

En un sistema transcítico, el fluido no se condensa, ya que en la fase de alta presión se supera el punto crítico y el proceso se convierte en un enfriamiento sensible del gas. La presión de alta debe estar regulada mecánicamente, por ejemplo a (1 305 Psig) o (1 450 Psig), y el enfriamiento termina en la temperatura diseñada (condicionada por la temperatura del aire o del agua que refrigera). Este sistema ofrece rendimientos bastante bajos, además de funcionar con presiones muy altas, por eso su uso se encuentra todavía en desarrollo. No obstante, podemos encontrar algunas aplicaciones con sistemas de CO₂ transcíticos en el aire acondicionado de los automóviles, en pequeños refrigeradores e incluso en sistemas para supermercados. Otra condición para el uso de refrigeradores transcíticos es el aprovechamiento del calor que se produce, el cual puede alcanzar temperaturas de hasta 100 °C en la salida del compresor.

Gráfica 4. Proceso transcítico del CO₂

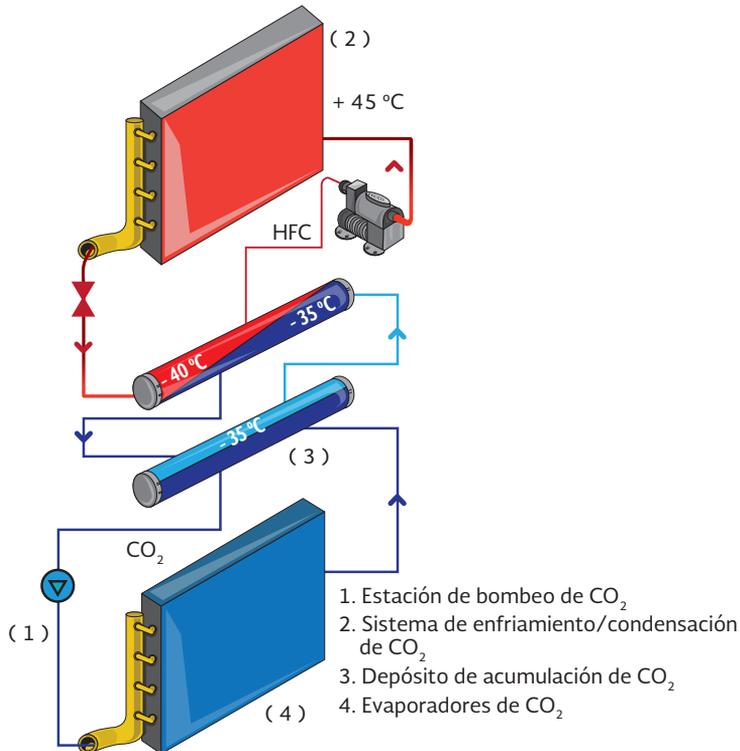


Capítulo 3

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

Los sistemas transcíticos son más aceptados en regiones donde la temperatura ambiente se encuentra por debajo de los 31 °C. Estos sistemas son muy eficientes en determinadas condiciones de operación (como producción de agua caliente o refrigeración a baja temperatura ambiente) y son seguros en tanto podamos limitar las tuberías de alta presión a áreas cerradas, aisladas o fáciles de controlar. En la **Gráfica 4** se muestra un diagrama transcítico del CO₂ y en el **Diagrama 4** se muestra un esquema para un sistema de CO₂ como fluido secundario (Sistema Subcrítico).

Diagrama 4. CO₂ como fluido secundario (Sistema Subcrítico)



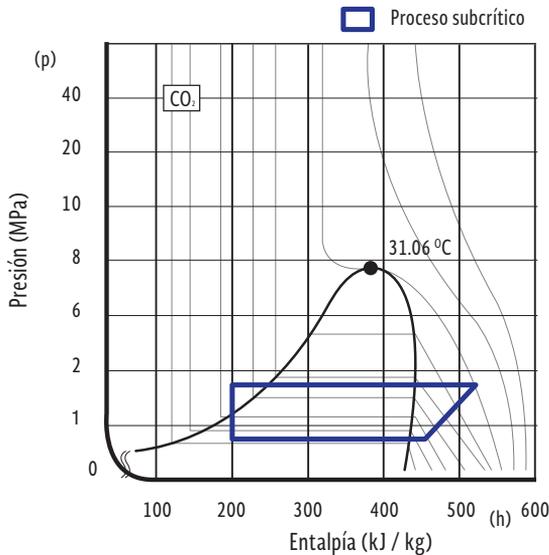
3.2.4 Sistemas subcríticos

Un sistema simple subcrítico con CO_2 presenta demasiadas limitaciones en cuanto a las temperaturas de condensación y a las altas presiones con las que se trabaja.

Los sistemas subcríticos que se utilizan con CO_2 son sistemas en cascada, es decir, sistemas que condensan a temperaturas por debajo de $0\text{ }^\circ\text{C}$ y, por lo tanto, necesitan otro equipo frigorífico para conseguirlo. De este modo, podemos trabajar con presiones más bajas.

Las instalaciones que funcionan con un ciclo subcrítico se destinan a la refrigeración a baja temperatura ($-25\text{ }^\circ\text{C}$ a $-45\text{ }^\circ\text{C}$) comercial o industrial. Al contrario de los refrigerantes sintéticos (CFC, HCFC, HFC, etc.), el CO_2 funciona con presiones de servicio muy elevadas, en particular en baja temperatura. En la **Gráfica 5** se presenta el diagrama subcrítico del CO_2 .

Gráfica 5. Proceso subcrítico del CO_2



3.2.5 Conclusión

El CO₂ es diferente respecto de otros refrigerantes en varias formas. Es competitivo y benigno en lo que se refiere al aspecto ambiental en la refrigeración industrial y comercial.

Asimismo, ha sido considerado por su capacidad para limpiar y remover el material adherido a los equipos, paredes, contenedores, plantas, etc., sin dañar la superficie donde el material está siendo retirado.

El uso de CO₂ ha desencadenado innovación en diversos sistemas de refrigeración y en diversos usos a nivel mundial, lo que ofrece una gran oportunidad para su exploración y explotación en un futuro.

3.3 AMONIACO

El amoníaco (NH₃) tiene valores de potencial de agotamiento del ozono de cero (PAO=0) y potencial de calentamiento global de cero (PCG=0). Debido a sus excelentes propiedades termodinámicas, es un buen candidato para ser utilizado como fluido refrigerante en sistemas de refrigeración por compresión de vapor, lo cual implica menor consumo de energía en comparación con otros refrigerantes. Respecto de la seguridad, el amoníaco es fácilmente detectable debido a su peculiar aroma. Por su alta toxicidad, todas las instalaciones que usen amoníaco deben estar construidas con las especificaciones y normas de seguridad establecidas a nivel internacional, y deben contar con operadores debidamente capacitados. Fuera del aspecto de seguridad, el amoníaco tiene un buen desempeño comprobado. En la **Tabla 6** se muestran las ventajas y desventajas para el uso de este gas refrigerante.

Tabla 6. Ventajas y desventajas del amoniaco

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • PCG = 0 • Económico • Buena transferencia de calor • Se detecta fácilmente en caso de fuga • Mayor capacidad de refrigeración que otros refrigerantes • Es miscible en agua • Barato, alta disponibilidad • Lubrica con aceite mineral, alquilbenceno o con poli-alpha-olefina 	<ul style="list-style-type: none"> • Tóxico • Su uso está restringido en ciertas aplicaciones y regiones geográficas • Precio del sistema: alto • Bajo ciertas condiciones, riesgo de inflamabilidad

3.3.1 Usos

El amoniaco se utiliza principalmente en:

1. Refrigeración industrial y comercial: sistemas en cascada $\text{NH}_3 / \text{CO}_2$
2. Sistemas térmicos de almacenamiento
3. Carga pequeña y sistemas con menos fugas
4. Refrigeración comercial: supermercados y sistemas indirectos (típicos para amoniaco)

3.3.2 Conclusión

Al utilizar correctamente el amoniaco, no sólo se tiene un buen nivel de seguridad, sino que significa una excelente rentabilidad para su propietario o usuario. Asimismo, con una mejora en los sistemas de refrigeración con amoniaco, muchas aplicaciones y sistemas nuevos serán construidos.

3.4 LOS HIDROCARBUROS (HC)

Los hidrocarburos son incoloros, casi inodoros y tienen potencial de agotamiento del ozono de cero (PAO = 0), además de potencial de calentamiento global directo despreciable (PCG = 3).

Éstos son técnicamente viables para ser utilizados conforme a los códigos de seguridad y reglamentos nacionales o internacionales establecidos en los países en los que se están utilizando.

Los hidrocarburos son inflamables y las medidas adecuadas de seguridad deben ser usadas durante el manejo, fabricación, mantenimiento, asistencia técnica y disposición final del equipamiento.

3.4.1 Usos

Los hidrocarburos se utilizan principalmente en:

1. Carga pequeña y sistema con menos fugas (refrigeradores, congeladores, aire acondicionado compacto, etc).
2. Chillers con sistemas de seguridad.
3. Sistemas en cascada.
4. Circuitos secundarios (refrigeración en supermercados).

En la **Tabla 7** se presenta un cuadro en el cual se muestran las ventajas y desventajas para el uso de este gas refrigerante.

El uso de refrigerantes naturales, básicamente amoníaco (R-717), dióxido de carbono (R-744) e hidrocarburos (isobutano R-600a, propano R-290, propileno R-1270), está aumentando en función de sus características ambientales y de desempeño favorables. Sin embargo, el inconveniente del R-1270 y de otros hidrocarburos es su inflamabilidad.

Debido a esto, su uso debe limitarse a circuitos frigoríficos herméticos con pequeñas cargas o a sistemas ubicados en salas cerradas o en lugares exteriores protegidos, y a lo que establece la normativa nacional e internacional.

Tabla 7. Ventajas y desventajas de los hidrocarburos

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • PAO de cero • PCG muy bajo • No tóxicos • Eficientes • Económicos (precio de refrigerantes) • Costo bajo-medio (sistema de refrigeración) • Buena compatibilidad con materiales (metales y plásticos) • El R-290 es miscible con el lubricante POE • El R-600a es miscible con el lubricante mineral o con el lubricante alquilbenceno 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta inflamabilidad • Costo adicional para la seguridad de equipo y personal

3.4.2 Refrigerante R-290 Propano

El propano (C_3H_8) es una alternativa muy conveniente para la refrigeración y el aire acondicionado, ya que es amigable con el medioambiente. No sólo ofrece una gran reducción de las emisiones directas, sino que también aumenta la eficiencia energética (y reduce las emisiones indirectas), lo que es un paso importante para sustituir y lograr la eliminación gradual de los hidroclorofluorocarbonos (HCFC).

En la India, a partir de 2013¹⁰, se ha establecido como uno de los refrigerantes más importantes para utilizar en equipos de aire acondicionado.

En dicho país se ha instaurado una nueva línea de producción de equipos de aire acondicionado que operan con el propano como refrigerante. De acuerdo con datos reportados, esta tecnología es una alternativa muy adecuada para la refrigeración, incluso en ambientes con altas temperaturas. Diseñado con base en las normas de seguridad europeas e internacionales, el R-290 AC, como se ha nombrado, aporta la mayor eficiencia energética en su clase, con un 23% menos consumo que en otros equipos operados en aquel país.

Por otro lado, China, desde 2006¹¹, ha investigado sobre el R-290 y, desde julio de 2011, se inició la producción de equipos de AC (aire acondicionado) que utilizan propano. Este equipo proporciona un 10 por ciento de aumento en la eficiencia energética y un menor costo en comparación con el R-410A.

Los principales cambios en los diferentes componentes que repercuten en el costo de la nueva unidad de aire acondicionado en comparación con uno de R-410A portátil son:

1. Aumento en el tamaño y el costo del compresor.
2. El ahorro de energía, con un aumento de eficiencia del 10 por ciento.

¹⁰ "Fabricante hindú lanza línea de producción de R-290 en Aire Acondicionado". Hydrocarbons 21. Agosto 2012. [En red] Disponible en: <<http://www.hydrocarbons21.com/news/view/3087>>.

¹¹ "Gree amplía cartera con equipos de aire acondicionado portátiles y deshumidificadores con R-290", Hydrocarbons 21. Agosto 2012. [En red]. Disponible en: <<http://www.hydrocarbons21.com/news/view/3388>>

3. Menor costo de refrigerante, ya que el volumen de carga requerida disminuye significativamente.
4. Reducción de más del 25 por ciento en el costo de intercambiadores de calor, ya que su tamaño disminuye significativamente.
5. Aumento en el costo de los componentes eléctricos.

Cabe mencionar que a pesar del aumento en el costo del compresor, el costo de una unidad completa de R-290 es menor que una con R-410A.

Actualmente, el gobierno chino alienta a más fabricantes de aire acondicionado a transformar y modificar sus líneas de producción actuales en R-290¹². Considerando el insuficiente suministro de componentes de AC, el gobierno financiará también la modificación de tres a cuatro líneas de producción de compresores en R-290.

3.4.3 Refrigerante R-600a Isobutano

El Isobutano (R-600a) ha sido utilizado en el pasado en congeladores. Las características del R-600a son diferentes a las del R-134a utilizado en los refrigeradores domésticos.

Algunas de sus características son:

1. El nivel de presión de trabajo es más bajo.
2. Tiene una buena capacidad de enfriamiento aún trabajando con elevadas temperaturas de condensación.
3. Sólo se requiere de un 45 por ciento de carga de gas para igualar la potencia completa de una carga de R-134a.
4. Alta sensibilidad a las desviaciones en la carga.
5. Cargas inadecuadas producen altos consumos de energía.

¹² "China concederá el 70% de los fondos para el mejoramiento de la producción de la línea de Aire Acondicionado para R-290". Hydrocarbons 21. Abril 2012. [En Red] Disponible en: <<http://www.hydrocarbons21.com/news/view/3409>>.

3.5 HIDROFLUOROLEFINAS (HFO)

Debido a la creciente preocupación sobre el alto potencial de calentamiento global de los HCFC y de los HFC, actualmente la industria química está desarrollando una nueva generación de productos fluorocarbonados con bajo PCG, conocidos como hidrofluorolefinas. Las HFO no agotan la capa de ozono y tienen un bajo potencial de calentamiento global.

3.5.1 Refrigerantes HFO

El R-1234yf está programado para ser el primer refrigerante HFO en ser comercializado. Este gas reemplaza al HFC-134a en los sistemas móviles de aire acondicionado. Las HFO no agotan la capa de ozono y tienen un bajo potencial de calentamiento global.

El R-1234yf es ligeramente inflamable. Cuando se quema, libera sustancias peligrosas, como el fluoruro de hidrógeno (HF), cuya toxicidad es elevada y es potencialmente letal para los humanos en espacios sin ventilación.

Mientras que la inflamabilidad de una sustancia no es un impedimento para su uso como refrigerante, el subproducto tóxico de una sustancia cuando se quema es de gran importancia en cuanto a la seguridad se refiere.

El R-1234ze (trans - 1, 3, 3, 3 - tetrafluoropropeno / tetrafluoruro de propileno) posee un bajo potencial de calentamiento global y un valor de potencial del agotamiento del ozono de cero.

El R-1234ze ha sido ampliamente aceptado en la Unión Europea, de acuerdo con el reglamento sobre gases fluorados, y aunque su uso es principalmente como agente de soplado para espumas de poliuretano

y como propelente, se ha sugerido como un buen agente de limpieza de sistemas de refrigeración y aire acondicionado por sus propiedades termodinámicas y su baja inflamabilidad. En la **Tabla 8** se presenta un cuadro en el cual se muestran las ventajas y desventajas para el uso de los refrigerantes HFO.

Tabla 8. Ventajas y desventajas de las hidrofluorolefinas	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Bajo potencial de calentamiento global = 4 • Potencial de agotamiento del ozono = 0 • Bajo grado de toxicidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Posee una muy baja temperatura de autoignición, por ello se recomienda tomar adecuadas recomendaciones de almacenaje • Escaso olor detectable

Actualmente, varias industrias se encuentran en proceso de creación de mezclas de HFO / HFC, donde la mayor parte del compuesto mezclado (al menos el 60 por ciento) será R-32, con R-1234yf o R-1234ze, siendo estos últimos los componentes minoritarios. Estos compuestos mezclados se comercializan como HFO, con su cualificación de bajo potencial de calentamiento global. Sin embargo, sobre su disolución atmosférica estas mezclas volverán a sus componentes originales y, en consecuencia, contribuirán al calentamiento global.

La ardua promoción que se le está dando a esta nueva generación de gases fluorados está retrasando la aceptación de los refrigerantes naturales, a pesar de que estos últimos son ambientalmente seguros, relativamente baratos y ofrecen la solución a largo plazo para cubrir las necesidades de refrigeración.

Capítulo 3

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

En las Tablas 9 a la 11 se encuentran listadas las diferentes alternativas que se han propuesto para la sustitución de los HCFC. En muchos de los casos, se indica que los HFC son las opciones más viables para la eliminación de los HCFC, pero éstos son considerados de transición debido a su alto potencial de calentamiento global.

Tabla 9. Refrigerantes fluorados

Refrigerante	Composición	Sustituye	Aplicación	Clasificación de seguridad	PCG ¹³
R - 417A	46.6% R - 125 50% R - 134a 3.4% HC	R - 22	Temperatura de refrigeración media (aire acondicionado estacionario). Divididos y climatizadores de aire de menos de 15 KW 12,897 Kcal/hr = de 4 toneladas (51,240 BTU)	A1	2350
R - 422A	85.1% R - 125 11.5% R - 134a 3.4% HC	R - 22	Refrigeración de baja y media temperatura	A1	3130
R - 422D	65.1% R - 125 31.5% R - 134a 3.4% HC	R - 22	Sistemas de enfriamiento de agua de expansión directa. Refrigeración de temperatura media. Aire acondicionado residencial y comercial	A1	2730
R - 427A	25% R - 125 50% R - 134a 10% R - 143a 15% R - 32	R - 22	Divididos y climatizadores de aire. Refrigeración de alta y media temperatura	A1	1830

¹³ Potencial de Calentamiento Global.

Refrigerante	Composición	Sustituye	Aplicación	Clasificación de seguridad	PCG ¹⁴
R - 437A	19.5% R - 125 78.5% R - 134a 2% HC	R - 22	Temperatura de refrigeración media (aire acondicionado móvil)	A1	1800
R - 404A	44% R-125 4% R134a 52% R143a	R - 502 R - 22	Equipos de refrigeración industrial y comercial. Y en equipos nuevos de refrigeración y transporte. Chillers. Retrofit de equipo R - 502 existente	A1	3780
R - 407A	40% R - 134a 40% R - 25 20% R - 32	R - 502	Refrigeración comercial. Temperatura media y baja. Equipos nuevos y reconvertidos	A1	2000
R - 410A	50% R - 125 50% R - 32	R - 22	Equipos nuevos Aire acondicionado residencial y comercial de desplazamiento positivo	A1	2088
R - 410B	45% R - 32 55% R - 125	R - 22	Sistemas unitarios de aire acondicionado	A1	2000
R - 407C	23% R - 32 25% R - 125 52% R - 134a	R - 22	Equipos nuevos y equipos reconvertidos. Aire acondicionado residencial, comercial e industrial. Bombas de calor. Chillers Refrigeración de alta y media temperatura	A1	1774
R - 434A	18% R - 143a 63.2% R - 125 16% R - 134a 2.8% R - 600a	R - 22	Aire acondicionado comercial, sistemas inundados, enfriadoras de agua, procesos industriales de enfriamiento y multitubo envolvente Cámaras refrigeradas, supermercados, transporte refrigerado, bodegas refrigeradas, procesos de refrigeración, máquinas expendedoras de bebidas frías, vitrinas frigoríficas enfriadores de leche, pistas de hielo	A1	3238
R - 507	50% R - 125 50% R - 134a	R - 502 R - 22	Equipos nuevos y existentes. Refrigeración comercial. Chillers	A1	3300
R - 32 ¹⁵	R - 32 Copuesto puro	R - 22	Aire acondicionado comercial, bombas de calor, enfriadores de agua (chillers)	A2L	650

¹⁴ Potencial de Calentamiento Global.

¹⁵ El R-32 es un HFC que tiene un PCG de 650, clasificado como moderado según la UNEP OEWG-30-TF Decision XXI/9.

Capítulo 3

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

Tabla 10. Refrigerantes Naturales

Refrigerante	Reemplaza	Aplicación	Clasificación de seguridad	PCG ¹⁶
R - 717	R - 22 R - 404A R - 502	Refrigeración comercial. Almacenamiento en frío y procesamiento de alimentos. Aire acondicionado Comercial	B2	0
R - 744	R - 134a R - 22 R - 404A R-502	Refrigeración comercial. Refrigeración en transporte. Almacenamiento en frío y procesamiento de alimentos. Aire acondicionado doméstico. Bombas de calor.	A1	1
R - 290	R - 134a R - 22 R - 404A R - 502	Refrigeración comercial y en transporte. Equipos nuevos de alta, media y baja temperatura. Aire acondicionado doméstico y comercial. Bombas de calor. Almacenamiento en frío y procesamiento de alimentos	A3	3.3
R - 600a	R - 134a R - 22 R - 404A R - 502	Refrigeración Comercial. Nuevo equipo doméstico	A3	<5
R - 1270	R - 22 R - 404 R - 502	Refrigeración Comercial. Refrigeración en transporte. Almacenamiento en frío y procesamiento de alimentos. Aire acondicionado doméstico. Bombas de calor. Aire acondicionado comercial	A3	<5

¹⁶ Potencial de Calentamiento Global.

Tabla 11. Agentes de limpieza sustitutos al HCFC-141b

Refrigerante	Composición	Aplicación	PAO ¹⁷	PCG ¹⁸
R-365mfc	N/A	Limpieza de sistemas de refrigeración	0	910
R-365 HX	HFC - 365mfc = 75% en peso HFC - 4310 mee < 25% en peso	Limpieza de sistemas de refrigeración	0	1105

¹⁷ Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono.

¹⁸ Potencial de Calentamiento Global.

Capítulo 4

Buenas prácticas en la limpieza de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado

4.1 IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE FALLAS EN LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Generalmente, si un sistema de refrigeración requiere de una limpieza, se debe a que se detectó la presencia de contaminantes en el sistema o el motor del compresor de refrigeración se quemó. Es importante determinar correctamente qué originó la falla en el motor. El técnico debe determinar si el motor se quemó realmente y evaluar la gravedad del daño. Una vez que se haya hecho una evaluación apropiada del motor, el técnico debe de evaluar y elegir el adecuado procedimiento para realizar el cambio de un compresor de reemplazo, ya sea de tipo hermético o de tipo semihermético, y seguir con el procedimiento de limpieza del sistema de refrigeración de acuerdo con el tamaño y las características del mismo.

La quemadura del motor de compresor hermético o semihermético es uno de los problemas más grandes que deben resolver los técnicos en refrigeración. Cambiar el compresor de refrigeración por uno nuevo no garantiza que el problema que ocasionó la falla haya sido resuelto. Las

continuas fallas en los compresores de refrigeración de reemplazo demuestran que no se ha detectado el origen de la primera falla, y que si ya se ha realizado la instalación del nuevo compresor, éste seguirá presentando alguna avería.

El objetivo de este capítulo es describir minuciosamente los procedimientos básicos de limpieza para restablecer un sistema de refrigeración a condiciones confiables.

⇒ RECUERDE QUE...

Los procedimientos descritos a continuación se limitan para *compresores de desplazamiento positivo.

* Es un compresor en el que el aumento de la presión se consigue cambiando el volumen de la cámara de compresión.

4.1.1 Causas por las cuales un compresor falla (hermético o semihermético)

Los sistemas de refrigeración son herméticos. Cuando el sistema tiene un compresor hermético o semihermético, el motor del compresor de refrigeración se encuentra ubicado dentro de una atmósfera de gas refrigerante. El compresor trabaja en un sistema donde la presión y la temperatura cambian dinámicamente. Bajo condiciones normales de operación, el motor es enfriado por el gas de retorno o gas de succión que regresa del evaporador o evaporadores. El efecto de aislamiento del vapor también sirve para mantener y aumentar el aislamiento eléctrico del motor. El término de “compresor quemado” es empleado para describir la falla del aislamiento eléctrico en el motor. Cuando un motor eléctrico falla, se libera una gran cantidad de energía eléctrica en el interior del alojamiento del motor en el punto donde el aislante falló. Esta descarga incontrolada puede generar una muy alta temperatura en ciertos puntos, que puede

ser lo suficientemente elevada como para carbonizar o desintegrar los materiales aislantes, alterar químicamente el lubricante del sistema y descomponer térmicamente el refrigerante alrededor del lugar de la falla.

4.1.2 Causas que originan que un compresor se queme

Las fallas que originan que el motor del compresor se queme son el resultado de una gran variedad de errores que tiene el sistema de refrigeración. Cualquier condición de operación que está fuera de los parámetros normales de operación origina un esfuerzo extraordinario en el aislante eléctrico de la bobina del motor. Estos esfuerzos adicionales ocasionan que el aislante de la bobina del motor se vaya debilitando hasta llegar a fallar. En la *Imagen 3* se muestra la imagen de un motor quemado. Las cuatro condiciones más comunes que ocasionan que el motor eléctrico de un compresor se queme son:

1. Bajo voltaje en el suministro eléctrico.
2. Baja carga de refrigerante.
3. Alta temperatura en la descarga.
4. Humedad en el sistema.

Imagen 3. Materiales aislantes afectados en un motor quemado



Los materiales aislantes usados en el motor de un compresor de refrigeración no son de capacidad ilimitada. Están limitados en la habilidad que tienen para soportar condiciones de alta temperatura, así que las elevadas temperaturas de operación en un compresor de refrigeración pueden afectar seriamente al aislamiento eléctrico del motor, ocasionando que éste se vaya a tierra. Existe una gran variedad de fallas que contribuyen a que los motores eléctricos fallen prematuramente. Algunas de estas condiciones son:

1. Suministro eléctrico defectuoso, alto o bajo voltaje.
2. Fallas en el capacitor de arranque o en el capacitor de trabajo en los compresores monofásicos o bifásicos.
3. Relevadores (*relays*) de arranque defectuosos en los compresores monofásicos o bifásicos.
4. Sobretensiones por alto voltaje debidas a descargas eléctricas.
5. Voltaje irregular en los sistemas trifásicos.
6. Falla de una de las tres fases en los sistemas trifásicos.
7. Desbalanceo de fases en los sistemas trifásicos.
8. Ciclaje corto.
9. Relaciones de compresión elevadas.
10. Sobrecalentamiento demasiado elevado en el lado de baja presión.
11. Falla de enfriamiento en los compresores enfriados por aire o en los compresores enfriados por agua.
12. Sobrecarga del motor debido a:
 - a. Condensador sucio.
 - b. Sobrecarga de gas refrigerante.
13. Daño al compresor ocasionado por:
 - a. Contaminantes en el sistema.
 - b. Falla de lubricación.
 - c. Partes quebradas del compresor (válvulas, bielas, pistones, etc.).

4.1.3 Efectos del motor quemado en el sistema de refrigeración

El primer resultado que observamos es que el compresor no funciona correctamente al ser conectado al suministro eléctrico. El segundo resultado, menos obvio, es la aparición de lodo en el lubricante (**ver Imagen 4**), que éste cambie de color o que aparezcan objetos sólidos ajenos al sistema de refrigeración. Este tipo de contaminantes son:

1. Residuos del aislante dañado.
2. Ceniza.
3. Lodo del aceite.
4. Ácido fluorhídrico.
5. Ácido clorhídrico.
6. Carbón.
7. Fosgeno.
8. Productos orgánicos.
9. Monóxido de carbono.
10. Dióxido de carbono.
11. Cloro.

Estos contaminantes, si se dejan en el interior del sistema, contribuirán para una siguiente falla en el compresor debida a:

1. Daño físico o daño químico en el aislante del motor del compresor.
2. Cortocircuito en las terminales del motor.
3. Obstrucciones en el sistema o en el compresor, como:
 - a. Obstrucción en las venas de lubricación del compresor.
 - b. Erosionado u obstrucción en las válvulas (expansión, descarga, succión, etc.).
 - c. Obstrucción en los filtros de aceite y/o de succión en el compresor.

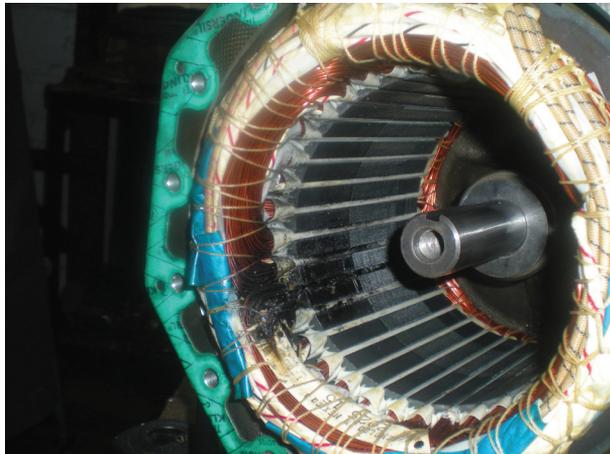
Capítulo 4

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

Imagen 4. Efectos en el lubricante cuando un compresor se quema¹⁹



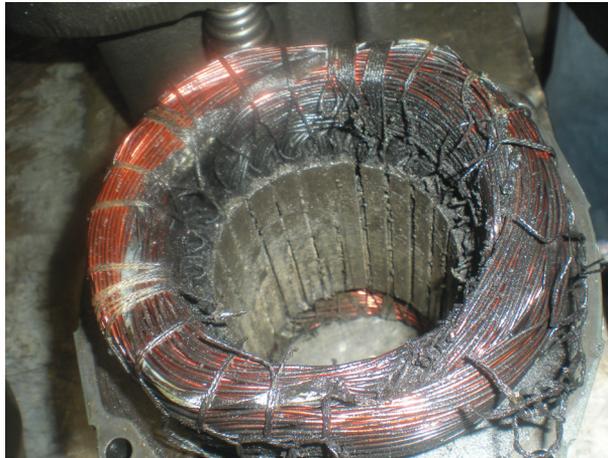
Imagen 5. Estator aterrizado en un punto específico dentro de un compresor semihermético



¹⁹ David R. Henderson, "Lubricación y Tribología", ASHRAE Journal, Febrero 2000, Págs. 52-56.

Con el fin de restaurar el sistema a sus condiciones normales de operación, es importante retirar todos los contaminantes del sistema de refrigeración producidos por la quemadura de un compresor (ver Imágenes 5 y 6).

Imagen 6. Estator quemado en un compresor hermético



4.1.4 Procedimiento para determinar si el motor está quemado

Lo primero que el técnico debe hacer es identificar la falla que tiene el compresor. Esto se puede verificar de diferentes formas: si el compresor no arranca, siga la lista de verificación del fabricante; si no tiene acceso a ella, entonces siga la siguiente lista.

4.1.5 Lista de cotejo por seguir para un compresor que no arranca

Después de haber revisado los fusibles o los interruptores termomagnéticos, mida con el voltímetro si se está suministrando el voltaje correcto a la unidad condensadora.

1. Abra todos los circuitos eléctricos.
2. Revise el estado de los componentes del sistema con un multímetro.
3. Interruptor de alta presión.
4. Interruptor de baja presión.
5. Interruptor de aceite.
6. Térmico del compresor.
7. Capacitores.
8. Relevador de arranque.
9. Contactor o arrancador magnético.
10. Terminales del compresor: buscar si está aterrizado y si los valores de las resistencias de los campos son correctos.

El indicador más común para saber que el compresor está quemado es cuando marca a tierra (aterizado). Si éste es el caso, el técnico debe de asumir que existen residuos internos que pueden dañar el sistema.

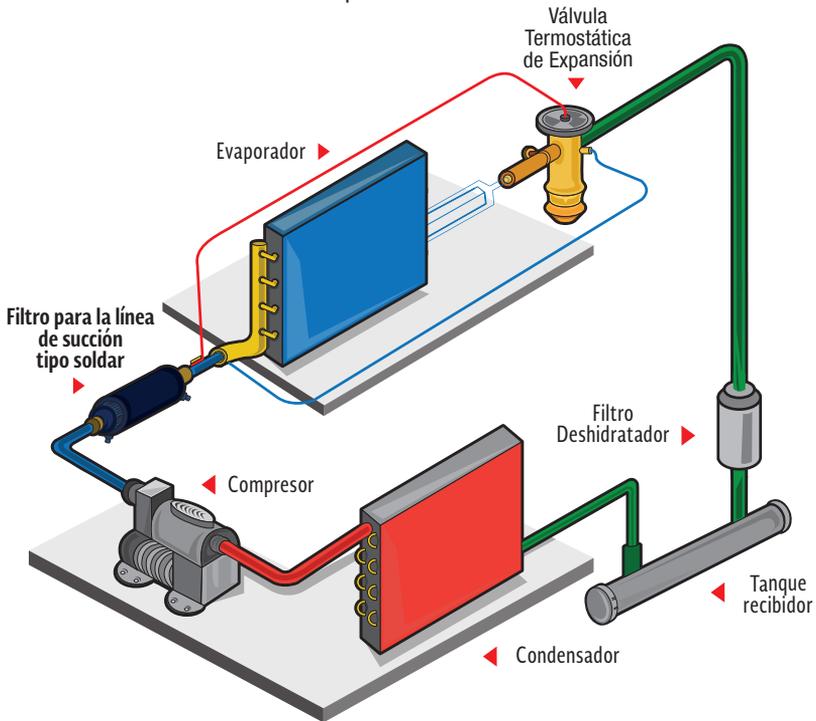
Tome las medidas de seguridad necesarias. Una vez que se determina que el compresor se debe de cambiar, existen varios procedimientos, descritos en los siguientes temas, para hacer el trabajo apropiadamente.

4.1.6 Selección de filtros deshidratadores para limpieza de sistemas

El criterio para seleccionar los filtros deshidratadores de la tubería de succión para limpiar los sistemas de refrigeración es el siguiente:

1. Si el sistema es menor de 40 toneladas de refrigeración, debemos de utilizar los filtros soldables (**ver Diagrama 5**). Nota. Cuando no haya disponibilidad de uno para 40 toneladas, podemos acoplar en paralelo dos filtros para sumar las toneladas necesarias
2. Si el sistema es mayor de 40 toneladas de refrigeración, debemos de usar los filtros de núcleos intercambiables

Diagrama 5. Ubicación del filtro de succión tipo soldar



4.2 CAMBIO DE COMPRESOR

4.2.1 Compresor sin válvulas de servicio (tipo hermético soldable)

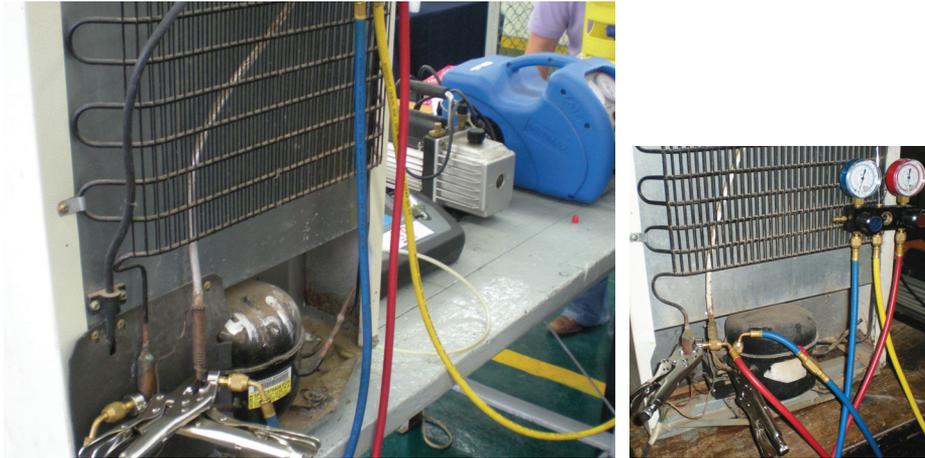
Para realizar el cambio del compresor sin válvulas de servicio, realice el siguiente procedimiento:

1. Recupere el gas refrigerante siguiendo los procedimientos recomendados en el manual de *Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado*, de la SEMARNAT. Utilice válvulas piercing en caso de ser necesario; recupere el refrigerante por ambos lados del sistema: alta y baja presión (ver Imagen 7).

Capítulo 4

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

Imagen 7. Uso de válvulas *piercing* para recuperar gas refrigerante por ambos lados del sistema

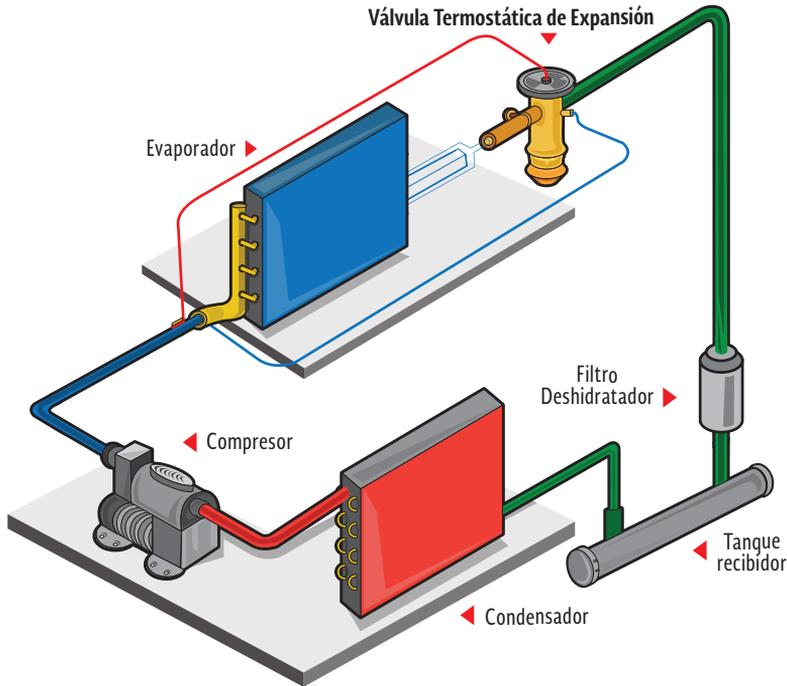


2. Retire el compresor dañado.
3. Purgue el sistema de refrigeración con nitrógeno gaseoso para retirar el aceite remanente²⁰.
4. Mientras tenga el sistema abierto, revise el elemento de expansión:
 - a. Busque restricciones en la VTE²¹ (ver Diagrama 6).
 - b. Revise el filtro malla de la VTE.
 - c. Cambie el tubo capilar por uno nuevo.
5. Instale un filtro deshidratador de núcleo sólido; los deshidratadores de silica gel no son filtros.
6. Se sugiere la instalación de dos válvulas de paso para poder aislar el compresor del sistema.
7. Instale un filtro deshidratador de núcleo sólido en la línea de succión.
8. Instale el compresor de reemplazo en su lugar; no lo suelde al sistema de refrigeración durante esta parte del procedimiento.

²⁰ También se puede limpiar el sistema con otra de las técnicas para limpiar sistemas de refrigeración descritas en este manual. Está consciente de que en el interior del sistema puede haber ácidos u otros tóxicos.

²¹ Válvula Termostática de Expansión.

Diagrama 6. Ubicación de la válvula termostática de expansión



9. Conecte el compresor al suministro eléctrico; revise que la tapa de las terminales se encuentre en su lugar.
10. Presurice con nitrógeno gaseoso los interruptores de presión del sistema para probarlos; el de baja presión debe presurizarse a la presión de cierre y el de alta presión a la presión de apertura.
11. Suelde el compresor al sistema de refrigeración.
12. Presurice el sistema con nitrógeno gaseoso para buscar fugas, siguiendo los procedimientos recomendados en el manual de *Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado*, de la SEMARNAT. Si el sistema está diseñado para usar R-134a o R-410A,

- y no tiene una placa de identificación en la que se especifique la presión de prueba, entonces debe usar la temperatura de funcionamiento normal del condensador para determinar cuál es la presión de funcionamiento normal. Use el nitrógeno con el regulador a una presión de no más de 125 psig para R-134a o 320 psig para el R-410A.
13. Desarme el compresor que falló (compresor hermético) y determine cuál fue la causa de que el compresor se dañara; tome las acciones necesarias para prevenir que el compresor de reemplazo vuelva a dañarse por la misma causa.
 14. Haga vacío al sistema utilizando una bomba de vacío y un vacuómetro electrónico para medirlo, siguiendo el procedimiento del triple vacío descrito en el presente manual²²:
 - a. Para HCFC, 500 micrones de vacío.
 - b. Para HFC, 250 micrones de vacío.
 - c. No encienda el compresor durante este proceso; tampoco use el compresor para hacer vacío (autovacío).
 15. Cargue el sistema de refrigeración con el refrigerante que recuperó previamente utilizando un filtro deshidratador.
 16. Complete con refrigerante nuevo de acuerdo con la carga de gas indicada por el fabricante; utilice una báscula para calcular la carga de gas refrigerante exacta.
 17. Revise que el sistema de refrigeración funcione correctamente. Haga una lista de cotejo para documentar lecturas, como las presiones del compresor, temperatura de operación del equipo, etc.
 18. Si es instalado un filtro deshidratador en la línea de succión, revise la operación del sistema después de 48 horas:
 - a. Revise que la caída de presión del filtro no sea mayor a 4 psig.
 - b. Revise que el nivel de acidez sea el adecuado con una prueba de acidez.

²² Proceso de vacío utilizando nitrógeno gaseoso.

4.2.2 Compresor con válvulas de servicio

Para realizar el cambio del compresor con válvulas de servicio, siga el mismo procedimiento descrito anteriormente, con los pasos adicionales que se describen a continuación:

1. Cierre el tanque recibidor si el sistema cuenta con él.
2. Revise el estado de la(s) válvula(s) solenoide u otros componentes del sistema (CPR, EPR, etc.); si es necesario, cámbielos.
3. En caso de tener mirilla, revise el nivel de lubricante en el compresor durante la operación.
4. Después de tres horas de operación, revise la caída de presión de los filtros deshidratadores que no sea mayor a 4 psig.

4.3 SUSTITUCIÓN DE COMPRESORES GRANDES CON VÁLVULAS DE SERVICIO

4.3.1 Sustitución de un compresor dañado debido a fallas mecánicas

Tras determinar si la falla del compresor fue mecánica o eléctrica, siempre deberá desconectar el suministro eléctrico; antes de iniciar, verifique que no haya voltaje alimentando el sistema de refrigeración o el compresor.

Si la falla es mecánica, proceda de la siguiente manera:

1. Aísle el compresor del sistema, cerrando las válvulas de servicio de baja y de alta presión.
2. Recupere el gas refrigerante mediante los procedimientos recomendados en el manual de *Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado de la SEMARNAT*
3. Retire el compresor dañado.
4. Desarme el compresor que falló y determine la causa del daño; tome las acciones necesarias para prevenir que el compresor de reemplazo falle por la misma causa.

5. Antes de montar y reconectar el compresor a las tuberías, presurice con nitrógeno gaseoso los interruptores de presión.
6. Haga vacío al sistema con una bomba de vacío y un vacuómetro electrónico, mediante el procedimiento del triple vacío descrito en este manual²³. Para HCFC, 500 micrones de vacío y para HFC, 250 micrones de vacío. No encienda el compresor durante este proceso; tampoco use el compresor para hacer vacío (autovacío).
7. Vuelva a cargar el sistema con el refrigerante recuperado previamente, utilizando un filtro deshidratador.
8. Complete la carga del sistema con refrigerante nuevo; utilice una báscula para calcular la carga de refrigerante exacta.
9. No pierda de vista el nivel de aceite que aparece en la mirilla; si se eleva por encima de lo recomendado por el fabricante, esté preparado para retirar el exceso de aceite.
10. Una vez que el compresor ha trabajado al menos por 3 horas y que el sistema de refrigeración se ha estabilizado, revise si existe caída de presión en los filtros deshidratadores.
11. Si la caída de presión rebasa los 4 psig, reemplácelos por nuevos.

4.3.2 Sustitución de un compresor dañado debido a fallas eléctricas

Si la falla es eléctrica, siga todos los pasos descritos anteriormente y atienda al siguiente procedimiento:

1. Aísle el compresor del sistema cerrando las válvulas de servicio de baja y de alta presión.
2. Recupere el gas refrigerante mediante los procedimientos recomendados en el manual de *Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado* de la SEMARNAT.
3. Retire el compresor dañado.
4. Desarme el compresor que falló y determine la causa que ocasionó

²³ Proceso de vacío utilizando nitrógeno gaseoso.

- el daño en el compresor; tome las acciones necesarias para prevenir que el compresor de reemplazo vuelva a fallar por la misma causa.
5. Antes de montar y reconectar el compresor a las tuberías, presurice con nitrógeno gaseoso los interruptores de presión.
 6. Haga vacío en el sistema con una bomba de vacío y un vacuómetro electrónico, mediante el procedimiento de triple evacuación descrito en este manual²⁴. Para HCFC, 500 micrones de vacío y para HFC, 250 micrones de vacío. No encienda el compresor durante este proceso; tampoco use el compresor para hacer vacío (autovacío).
 7. Vuelva a cargar el sistema con el refrigerante que recuperó si éste está en buenas condiciones, utilizando un filtro deshidratador.
 8. Complete la carga del sistema con refrigerante nuevo; utilice una báscula para calcular la carga de refrigerante exacta.
 9. No pierda de vista el nivel de aceite que aparece en la mirilla del compresor; si rebasa el nivel recomendado por el fabricante, esté preparado para retirar el exceso de aceite (ver Imagen 8).

Imagen 8. Mirillas de aceite en un compresor semihermético



²⁴ Proceso de vacío utilizando nitrógeno gaseoso.

Capítulo 4

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

10. Una vez que el compresor ha trabajado al menos durante 3 horas y el sistema de refrigeración ha sido estabilizado, revise si existe caída de presión en los filtros deshidratadores.
11. Cuando la caída de presión en los filtros sea mayor a 4 psig, cambie los núcleos (piedras deshidratadoras) por nuevos (ver Imágenes 9 y 10).

Imagen 9. Filtro de succión (a) de núcleos intercambiables y filtro de líquido (b) tipo soldar en un sistema de refrigeración

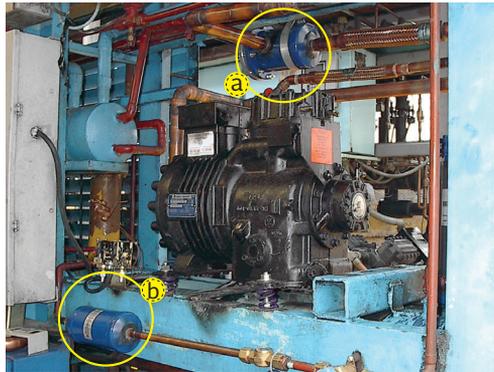
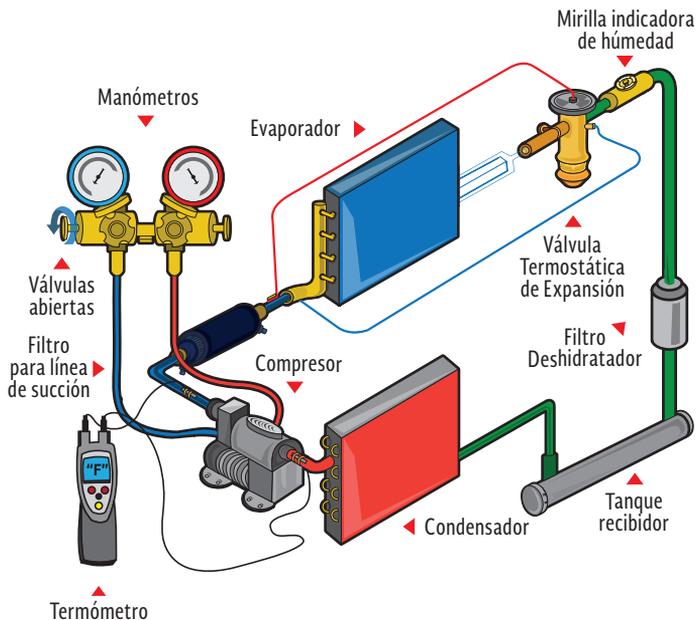


Imagen 10. Núcleo deshidratador intercambiable saturado



12. Una vez que el sistema se encuentre estable, revise y haga los ajustes correspondientes en los siguientes elementos del sistema (ver Diagrama 7):
 - a. Sobrecalentamiento en la succión.
 - b. Secuencia de trabajo en los controles de capacidad.
 - c. Calibre el presostato de baja presión:
 - I. Presión de encendido.
 - II. Presión de apagado.
 - d. Presostato de aceite.
 - e. Control de temperatura.
 - f. Protección de congelamiento.
 - g. Presostatos de encendido y apagado de los ventiladores del condensador.

Diagrama 7. Toma de lecturas con el sistema funcionando



Capítulo 4

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

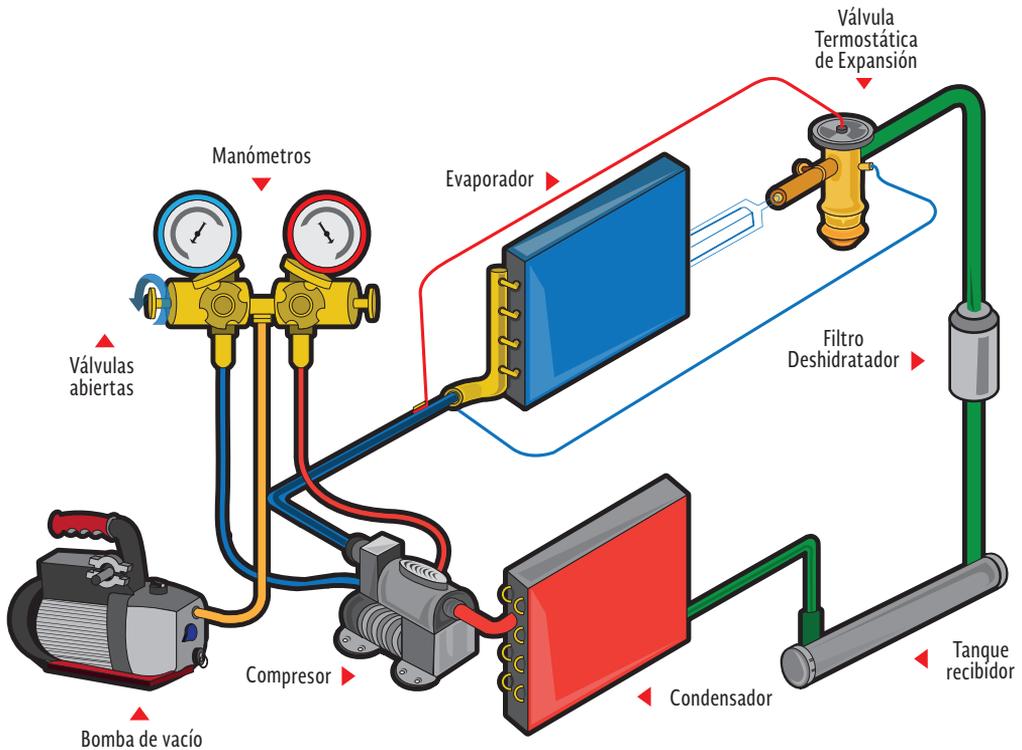
13. Llene su hoja de reporte con los parámetros de operación descritos; para tomar las lecturas el sistema debe estar en funcionamiento

4.3.3 Proceso de vacío con nitrógeno gaseoso (Triple evacuación)

Para realizar el proceso de vacío con nitrógeno gaseoso, realice el siguiente procedimiento:

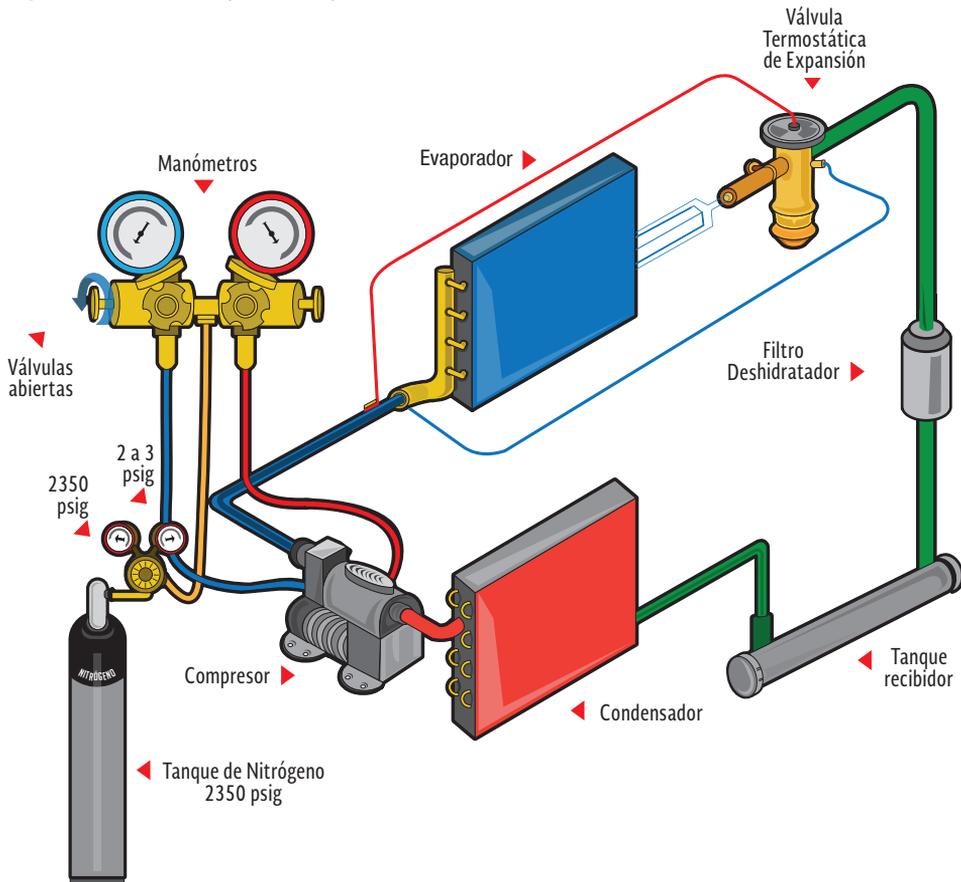
1. Dependiendo del tamaño de los elementos del sistema, haga un barrido en cada uno de ellos.

Diagrama 8. Conexión para hacer vacío en un sistema



2. Conecte la bomba de vacío al sistema (ver Diagrama 8).
3. Ponga en marcha la bomba.
4. Deténgala cuando obtenga una lectura de 1 500 micrones.
5. Rompa el vacío con nitrógeno y presurice el sistema a 2 psig; espere de 30 a 60 minutos (ver Diagrama 9).
6. Libere el nitrógeno del sistema.
7. Ponga en marcha la bomba.

Diagrama 9. Conexión para romper el vacío



Capítulo 4

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

8. Deténgala cuando obtenga una lectura de 1 500 micrones.
9. Rompa el vacío con nitrógeno y presurice el sistema a 2 o 3 psig; espere de 30 a 60 minutos.
10. Libere el nitrógeno.
11. Ponga en marcha la bomba.
12. Deténgala cuando obtenga una lectura de 500 o 250 micrones, según el tipo de lubricante.
13. Rompa el vacío con el gas refrigerante.
14. Cargue con gas el sistema.

A este procedimiento se le conoce como triple evacuación.

Los vacíos a los que se debe llegar son:

1. 500 micrones si se trabaja con aceite mineral o aceite alquilbenceno.
2. 250 micrones si se trabaja con aceite polioléster.
 - a. Si durante el proceso el aceite de la bomba se torna blanco o toma aspecto lechoso, gire un cuarto de vuelta el tapón gas *ballast* (tapón de lastre) para que liberar la humedad del aceite.
 - b. Una vez que el aceite retome su aspecto normal, cierre el tapón gas *ballast*.
 - c. No detenga la bomba de vacío para no perder avances de trabajo.
 - d. Si este procedimiento no fuera suficiente, se recomienda detener el proceso, cambiar el aceite de la bomba cuando esté caliente, recargar la bomba y continuar.

Se recomienda cambiar el aceite de la bomba después de cada vacío mientras se encuentre caliente; si no se realiza este cambio, los vacíos subsecuentes serán cada vez más lentos; adicionalmente, la vida útil de la bomba se reducirá, debido a que las válvulas internas comienzan a oxidarse, con lo que pierden el sello de hermeticidad.

4.3.4 Limpieza de sistemas con nitrógeno y lubricante detergente (*flushing*)

Para limpiar un sistema de refrigeración sin utilizar un HCFC, se utilizan aceites o lubricantes detergentes llamados *flushings*. Estos productos son fluidos limpiadores y lubricantes que tienen una elevada “detergencia”. Esta característica les permite disolver resinas (depósitos que se crean en el interior de un sistema de refrigeración). Éstas se deben a una elevada temperatura en la descarga o por la quemadura de un motor eléctrico en compresores herméticos y semiherméticos.

Los *flushings* son sustancias miscibles con los lubricantes de los compresores de refrigeración. Por ello, si queda algún residuo que no pueda purgarse del sistema, no ocasionará ningún problema.

El uso de estas sustancias depende del tamaño y de la longitud del sistema. Para hacer uso de estos productos, se debe considerar que los lubricantes detergentes pueden usarse en sistemas de refrigeración o de aire acondicionado de capacidades domésticas y comerciales, en los que el sistema pueda dividirse; es decir, si el sistema es largo, deberá desconectarse para limpiar sus componentes de manera individual (evaporador, condensador, tuberías y compresor). Los *flushings* pueden utilizarse para realizar limpieza en equipos de:

1. Aire acondicionado de ventana.
2. Aire acondicionado dividido (*minisplit*).
3. Aire acondicionado tipo paquete.
4. Sistemas de refrigeración que no tengan compresores mayores a los 10 HP en total.
5. Refrigeradores domésticos.
6. Refrigeradores comerciales (refrigerador botellero, vitrinas entre otros).

Los lubricantes detergentes se comercializan en dos presentaciones:

1. Envasados en contenedores presurizados.
2. Envasados en contenedores de plástico, sin presión.

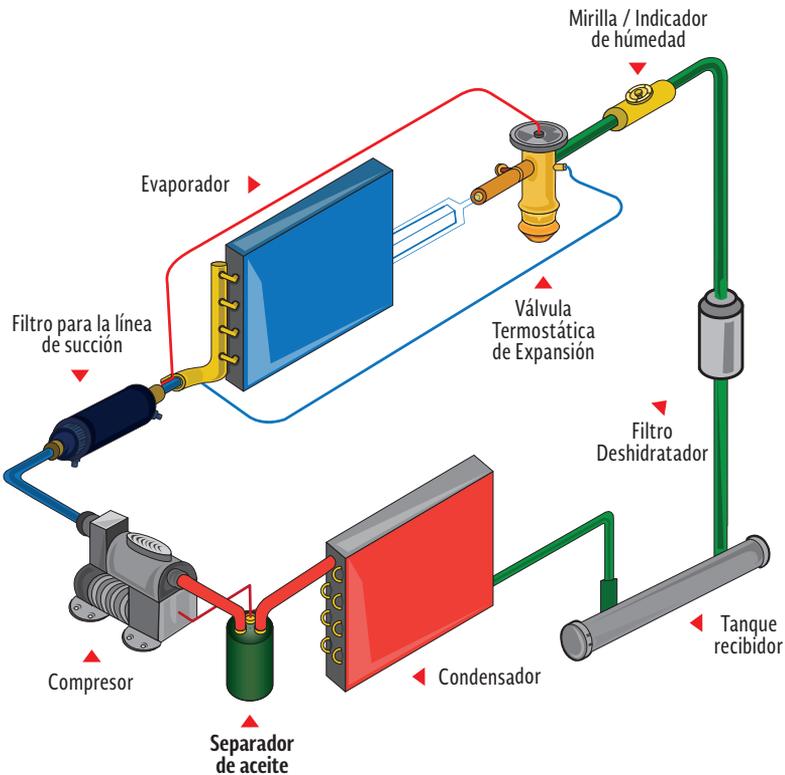
4.3.5 Procedimiento para limpiar un sistema con un lubricante detergente no presurizado

Para realizar la limpieza de un sistema con un lubricante detergente no presurizado, debe atender al siguiente procedimiento:

1. Utilice la bomba para lubricante detergente para bombear el lubricante hacia el interior del sistema o cualquier otro tanque que permita presurizar y que cuente con características de seguridad equivalentes.
2. Recupere el gas refrigerante mediante los procedimientos recomendados en el manual de *Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado* de la SEMARNAT (use válvulas piercing en caso de ser necesario, recupere el refrigerante por ambos lados).
3. Retire el compresor dañado.
4. Retire los deshidratadores o filtros, según sea el caso, y coloque tubos o puentes en su lugar.
5. Si la situación lo permite, quite el tubo capilar o la válvula de expansión, según sea el caso.
6. Instale un puente en su lugar.
7. Si hay válvulas solenoides, energícelas para que se abran, pues en condiciones normales están cerradas.
8. Si hay tanques acumuladores o recibidores muy grandes, quítelos para limpiarlos por separado, o bien suéldeles drenajes para retirar el lubricante detergente después de la limpieza.

9. Haga un diagrama de la ruta que seguirá el lubricante detergente a través de todos los controles instalados en el sistema; en general, éste sigue el sentido del flujo de refrigerante.
10. Si hubiese un separador de aceite, desconéctelo y ponga en su lugar un puente (ver Diagrama 10); si no fuese posible, desconecte el tubo que va al cárter del compresor y descargue el contenido de éste en otro recipiente: un bote de plástico o una cubeta pequeña; en caso de que se requiera presión elevada de limpieza, coloque un tapón en la terminal del tubo de retorno de aceite del separador.

Diagrama 10. Separador de aceite en un circuito de refrigeración



Capítulo 4

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

11. Coloque el tanque que utilizará para cargar el lubricante detergente al sistema en el lugar más próximo al punto donde se inyectará, de modo que todas las mangueras se conecten a las respectivas conexiones sin presentar tensión.
12. Cargue la cantidad necesaria de detergente, según el sistema y las circunstancias. En términos generales, se usa un litro de lubricante por tonelada de refrigeración; no obstante, dependerá de las condiciones en las que se encuentre el sistema (ver Ilustración 4).
13. Cierre el tanque.

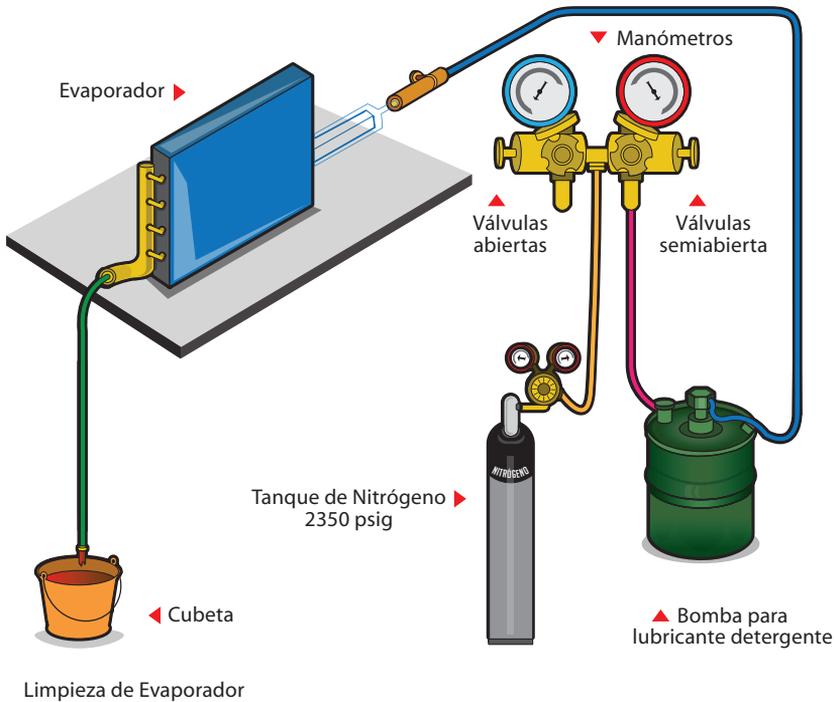
Ilustración 4. Procedimiento para llenar la bomba para lubricante detergente



14. Ponga juntas ciegas entre las válvulas de servicio y el compresor, o suelde conexiones auxiliares antes de la válvula de servicio de succión y después de la válvula de servicio de descarga; todo esto con la finalidad de aislar el sistema del compresor.
15. Conecte la manguera al tanque de nitrógeno.
16. Conecte la manguera de salida del lubricante usado y sucio a la línea donde retorna el aceite, y recíballo en una cubeta de plástico vacía, de preferencia de color blanco.

17. Abra la llave del tanque de nitrógeno y regule la presión con el manómetro de alta presión del *manifold*. Inicie con una presión máxima de 25 psig y observe si hay fugas de aceite en el sistema.
18. Si detecta fugas, proceda a vaciar el fluido limpiador del sistema y repárelas.
19. Una vez que se haya verificado que no hay fugas, prosiga a inyectar el fluido limpiador en el sistema (ver Diagrama 11).
20. Observe lo que ocurre en el manómetro de “alta” del manifold cuando cierra la llave del tanque de nitrógeno.

Diagrama 11. Carga de lubricante detergente en un evaporador



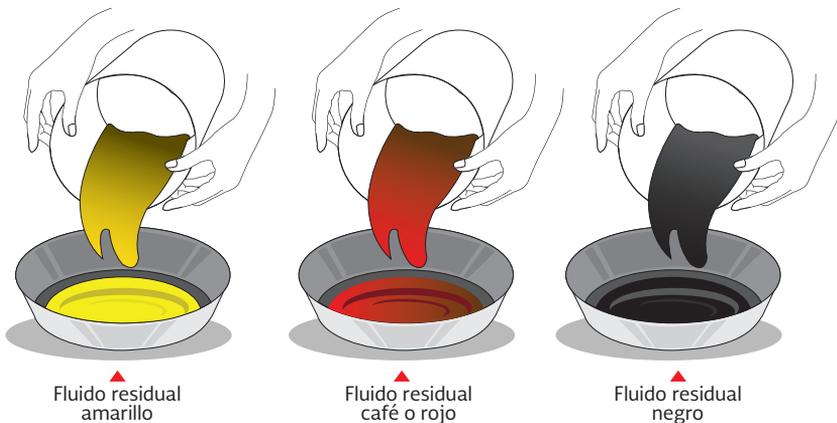
Capítulo 4

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

21. Si la presión disminuye, indica que no existen obstáculos o tapones en el sistema, y que el fluido está ejecutando su acción limpiadora.
22. Si se observa que la presión no disminuye, revise el sistema para detectar lo que está obstruyendo el flujo del agente limpiador.
23. Una vez eliminado el obstáculo o el tapón, prosiga con la inyección del fluido limpiador, el cual debe llegar en unos minutos al final del circuito y empezar a descargarse en el contenedor o cubeta de recepción. Observe el color del fluido que sale; éste indica qué tan sucio se encuentra el sistema y la cantidad aproximada de fluido limpiador por utilizar (ver Ilustración 5).

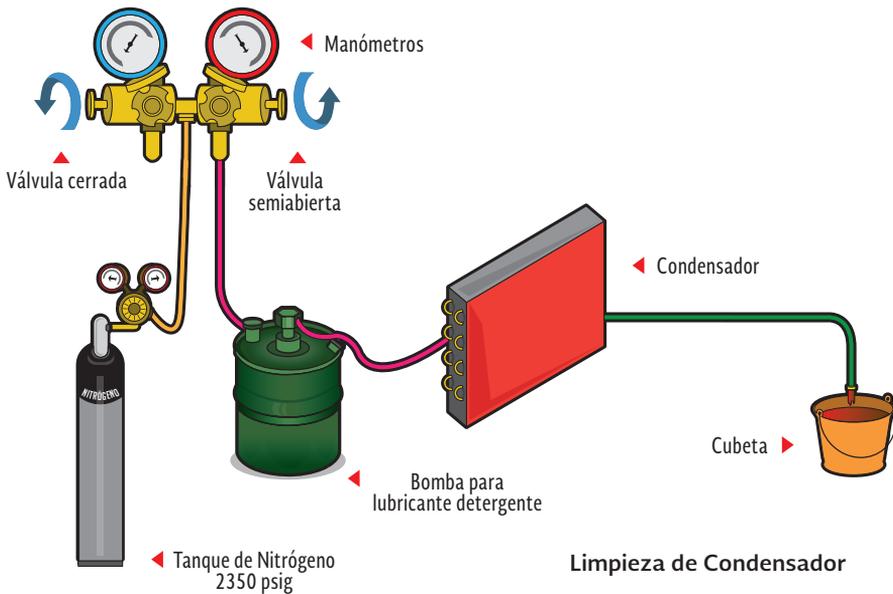
Ejemplo: si el fluido limpiador sale completamente negro, quiere decir que se necesita más aceite limpiador, en comparación con un fluido de color rojo o café; en el segundo caso se usará más fluido limpiador, que si el fluido limpiador presenta una coloración amarilla.

Ilustración 5. Colores residuales



24. Una vez que el fluido sale completamente transparente, el sistema está limpio y puede suspender la limpieza con el fluido limpiador
25. Proceda al barrido con nitrógeno de todo el sistema
26. Para calcular la cantidad de fluido limpiador que queda en el sistema, mida el volumen de aceite “sucio” y compárelo con la cantidad de fluido empleado; la cantidad debe ser aproximadamente la misma
27. Una vez terminada la limpieza, desconecte las mangueras que van del tanque bomba al sistema y la utilizada para recoger el fluido limpiador
28. En caso de haber colocado juntas ciegas en las válvulas de servicio del compresor, retírelas y vuelva a colocar las válvulas de servicio en su lugar; proceda a la limpieza del condensador (ver Diagrama 12).

Diagrama 12. Carga de lubricante detergente en un condensador



4.3.6 Limpieza de un compresor hermético con lubricante detergente

Para realizar la limpieza de un compresor hermético con un fluido detergente, realice el siguiente procedimiento:

1. Compruebe que el compresor presenta buen estado en sus componentes mecánicos y eléctricos.
2. Desconecte el compresor del sistema de refrigeración.
3. Como regla general, deberá cortar la tubería de succión y de descarga para desmontar el compresor de su sitio después de retirar los tornillos que lo mantienen fijo.
4. Una vez que el compresor está fuera de su alojamiento, colóquelo boca abajo y proceda a escurrir todo el aceite que se encuentra en su interior; espere por lo menos 10 minutos para que escurra totalmente (ver Imagen 11).

Imagen 11. Aceite sometido a una alta temperatura²⁵



²⁵ David R. Henderson, "Lubricación y Tribología", Boletín ASHRAE, Febrero 2000, Págs. 52-56.

5. Introduzca con ayuda de un embudo la cantidad de lubricante detergente equivalente al aceite drenado.
6. Con los puertos de succión y descarga abiertos a la atmósfera, encienda el compresor; una vez transcurrido un tiempo máximo de 5 minutos, deténgalo.
7. Deje que escurra el lubricante detergente; si su coloración es muy oscura, repita la operación las veces necesarias hasta que el lubricante salga limpio y libre de partículas sólidas.
8. A continuación, deje escurrir por 15 minutos hasta que no haya lubricante detergente a la salida.
9. Esté consciente de que durante este proceso saldrá una nube de aceite del lado de la descarga.
10. Finalmente, recargue la cantidad equivalente al aceite que retiró originalmente, cuidando que sea del tipo y la viscosidad adecuados.

⇒ **RECUERDE QUE...**

Cuando el compresor se quema por acidez:

- Los niveles de ácidos en el sistema son extremadamente elevados, debe de cambiar el filtro deshidratador y agregar un filtro deshidratador en la línea de succión.
- El propósito del filtro deshidratador de la línea de líquido es extraer la humedad y los contaminantes antes de que lleguen al dispositivo de expansión (válvula VTE, tubo capilar, placa orificio).
- El filtro en la línea de succión se agrega al sistema con un propósito diferente al del filtro deshidratador de la línea de líquido. Se agrega para que el aceite ácido presente en el sistema no pueda regresar al compresor nuevo.
- Sí no se realiza, las pequeñas concentraciones de ácidos que queden en el sistema a causa de un problema anterior pueden acelerar en gran medida la formación de otros ácidos. Esta formación de ácidos se acelera aún más cuando hay humedad presente en el sistema.
- A fin de evitar la aparición de posibles problemas en el sistema, debe de monitorear:
 1. Los niveles de ácido.
 2. Los niveles de humedad.
 3. El sobrecalentamiento y la carga del sistema.

4.3.7 Limpieza interna de un compresor semihermético

En estos compresores, la situación difiere. El proceso de limpieza se debe llevar a cabo en un taller especializado, pues es necesario desarmarlo por completo y limpiar pieza por pieza. No se debe realizar este proceso en el lugar donde se encuentra instalado, porque la nube de aceite que liberará el compresor será demasiado grande para poder contenerla y contaminaría el lugar. Por lo que se debe llevar a un taller de reparación de compresores para su limpieza mecánica.

Imagen 12. Drenado de aceite del cárter



Imagen 13. Limpieza mecánica de una bomba de aceite



4.4 SUSTITUTOS DE LOS HCFC COMO AGENTES DE LIMPIEZA EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

A continuación se describen las propiedades de los agentes de limpieza alternativos a los HCFC y sus características, las cuales ayudarán a los usuarios a tomar la mejor decisión cuando surja la necesidad de eliminar un agente de limpieza como el HCFC-141b, el más ampliamente usado en nuestro país para realizar la limpieza de equipos de refrigeración y aire acondicionado.

En nuestro país existen dos hidroclorofluorocarbonos (HCFC) que son ampliamente usados en la industria, y se están realizando acciones para reducir su consumo en los próximos años, de modo que se eliminen en su totalidad. Estos productos son el HCFC-22, como refrigerante, y el HCFC-141b, como agente limpiador. Este manual ayudará a los técnicos

a entender cómo realizar la sustitución de estos productos y las posibles soluciones disponibles en el mercado.

El proceso de limpieza de sistemas de refrigeración y aire acondicionado es uno de los factores más importantes para el buen funcionamiento de los equipos, pero actualmente, en nuestro país, los solventes usados para la limpieza, en general, son venteados a la atmósfera, lo que genera daños sobre el ambiente. Por ello, es importante utilizar agentes de limpieza y equipo para recircular, reutilizar y recuperar dichos solventes, evitando las emisiones a la atmósfera.

Asimismo, resulta de suma importancia realizar una buena limpieza, ya que la presencia de contaminantes provocará fallas prematuras en el funcionamiento de los sistemas.

Por esta razón, se debe eliminar toda la suciedad cuando se presente una quemadura de compresor o cuando se requiera efectuar una limpieza por cualquier otro motivo (altos niveles de contaminación, humedad, etc.).

4.4.1 Reemplazo del HCFC-141b

El compromiso de México ante el Protocolo de Montreal es la eliminación acelerada de los HCFC con mayor PAO, por lo que se dará prioridad a la eliminación del HCFC-141b como agente de limpieza de sistemas de refrigeración y aire acondicionado, y como agente espumante en la fabricación de espumas de poliuretano. La meta es eliminar totalmente el consumo de HCFC-141b para el año 2018.

Por ello, se han buscado soluciones alternativas para eliminar el HCFC-141b como agente de limpieza. El presente manual especifica las posibles soluciones que existen para cumplir con el objetivo.

4.4.2 Hidrofluorocarbonos (HFC)

Los hidrofluorocarbonos como sustancias destinadas a la refrigeración existen desde hace más de 30 años. A pesar de tener propiedades ambientalmente mejoradas respecto de los CFC y los HCFC, no habían sido considerados como sustitutos de agentes de limpieza de sistemas de refrigeración. Ahora que la regulación de los HCFC está en curso, se han evaluado algunos HFC para integrarse como agentes limpiadores en la industria. Estos HFC se describen a continuación.

4.4.3 HFC-365mfc

El HFC-365mfc (1, 1, 1, 3, 3 - pentafluorobutano) es un líquido que puede utilizarse como componente en las mezclas de disolventes para la limpieza precisa en sistemas de refrigeración, pero, por su alto PCG, debe usarse con equipos especiales para esta operación.

Ventajas

1. Compatible con la mayoría de los metales, plásticos y elastómeros.
2. Buen codisolvente.
3. Baja toxicidad.
4. Perfil ambiental: no posee compuestos orgánicos volátiles (COV), PAO=0.
5. Bajo costo respecto de otras alternativas disponibles en el mercado de solventes.

Usos

1. Componente de mezclas para limpieza de equipo de refrigeración.
2. Agente espumante para espumas de poliuretano.

En la **Tabla 12** se comparan el HCFC-141b y el HFC-365mfc.

Tabla 12. Cuadro comparativo entre HCFC-141b y HFC-365mfc

Agente limpiador	HCFC-141b	HFC-365mfc
Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (PAO)	0.11	0
Potencial de Calentamiento Global (PCG)	630	910

4.4.4 Mezcla Azeotrópica 365-HX

Su Potencial de Agotamiento de Ozono es de cero, lo cual ha permitido su uso en Europa como reemplazo del HCFC-141b. Es una mezcla de dos HFC (365mfc y 4310mee), cuya asociación es estable (basada en azeotrópica) y puede ofrecer un producto a base de HFC no inflamable, pero también es relativamente más barato que otras alternativas disponibles en el mercado actual. Es menos agresivo en comparación con el HCFC-141b, por lo que resulta incluso más compatible con todos los materiales comunes, pero su poder disolvente es menor. Sus propiedades termodinámicas se presentan en la **Tabla 13**.

Tabla 13. Propiedades termodinámicas del 365-HX

Composición	Mezcla de HFC-365mfc y HFC-4310mee
Punto de ebullición	42 °C
Presión de vapor (20 °C)	0.53 bar
Densidad	1.28
Especificaciones comerciales	HFC-365mfc ≥ 75% en peso HFC-4310mee < 25% en peso

Usos

1. Limpieza de equipos de refrigeración

En la **Tabla 14** se muestra una comparación entre el HCFC-141b, el HFC-365mfc y el HFC-365-HX.

Tabla 14. Comparación de propiedades del HCFC-141b, el HFC-365mfc y el 365 HX

Propiedad	HCFC-141b	HFC-365mfc	365 HX
Fórmula	CH ₃ CCl ₂ F	C ₄ F ₅ H ₅	-
Peso molecular	117	148	149-165
Punto de ebullición (°C)	32	40	42
Calor latente de vaporización, 25 °C (cal/g)	53.3	43.2	41.4
Presión de vapor, 25 °C (psi)	11.4	8.1	7.7
Densidad, 25 °C (lb/gal)	10.3	10.5	10.7
Viscosidad, 25 °C (cP)	0.43	0.33	0.34
Tensión superficial, 25 °C (dina/cm)	19.3	13.3	14.8

Debido a que los agentes alternativos de limpieza presentan un alto potencial de calentamiento global, sólo se deben utilizar con máquinas que permitan recircular y recuperar dichos agentes, y que eviten cualquier emisión a la atmósfera.

4.4.5 Proceso de limpieza utilizando equipo para limpiar sistemas de refrigeración

El equipo de limpieza de sistemas de refrigeración consiste en una carcasa de base, un compresor, un condensador, una cámara de destilación, tuberías con electroválvulas y una unidad de control. Además de la máquina, es necesario adquirir un cilindro de gas refrigerante, equipado con válvula doble, llena con un solvente para limpiar sistemas de refrigeración compuesto por 87 por ciento de pentafluoropropano y 13 por ciento de dicloroetileno presurizado con nitrógeno.

El modo de operación de este equipo se basa en el principio de barrido por presión oscilante (pulsos) dentro de los componentes por limpiar. El solvente sufre una destilación en cada ciclo y es devuelto al cilindro en estado prácticamente puro, listo para ser reutilizado en otro proceso de limpieza; esto asegura que los componentes son limpiados.

Para limpiar un sistema de refrigeración con este equipo, se debe de seguir el mismo criterio empleado con el lubricante detergente. Se debe de evaluar el tamaño del sistema y decidir si es viable limpiar el sistema armado o es preferible desarmarlo y limpiarlo componente por componente.

⇒ RECUERDE QUE...

Este equipo ha sido diseñado para su uso exclusivo con el agente de limpieza solvente, compuesto por 87 % de 1, 1, 1, 3, 3-pentafluoropropano y 13 % de trans-1, 2-dicloro etileno; para realizar la limpieza de sistemas de refrigeración, debe seguir el proceso que indica el fabricante.

Para limpiar un sistema de refrigeración con un equipo que utiliza refrigerantes HFC, se debe seguir el procedimiento que dicta el fabricante. Estos equipos presentan limitaciones en cuanto a su capacidad para limpiar sistemas de varias toneladas de refrigeración.

4.5 MEDIDAS DE SEGURIDAD

4.5.1 Equipo de protección personal

Los ojos y la piel de las manos son las partes del cuerpo más fáciles de dañar cuando se trabaja con gases refrigerantes. Protegerlas de manera adecuada es básico para evitar daños irreversibles. Al igual que en la construcción de instalaciones eléctricas, la instalación de un sistema de refrigeración o de aire acondicionado requiere práctica y preparación. Los riesgos van desde lesiones por quemaduras durante el proceso de soldado, al tocar la línea de la descarga de los compresores cuando se encuentran trabajando, por descargas eléctricas; lesiones en la cintura al cargar (lumbalgia), hasta la posibilidad de que el *minisplit* o el equipo que se esté instalando resbale y caiga sobre la cabeza o en uno de los pies. Para disminuir la posibilidad de una lesión grave en caso de sufrir alguno de los incidentes mencionados debemos utilizar equipo de seguridad personal en todo momento. (ver Imagen 14).

4.5.1.1 Protección para los pies

Zapatos de seguridad. Calzado de uso profesional que brinda protección en los dedos mediante la incorporación de elementos de resguardo que protegen al usuario de las posibles lesiones causadas por accidentes en los sectores de trabajo. Están equipados con topes que ofrecen protección contra impactos con un nivel de energía de 200 J en el momento del choque y frente a la compresión estática bajo una carga de 15 KN (Norma EN 345).

4.5.1.2 Protección de la cabeza

Casco de protección, Clase “E”. La función del casco de seguridad es proteger la cabeza de posibles golpes. Lo hace distribuyendo el impacto del golpe en una superficie mayor. Usarlo nos protege de:

- Objetos que pueden caer sobre la cabeza
- Golpearnos contra un objeto punzocortante
- Una descarga eléctrica que puede causar una conmoción cerebral

4.5.1.3 Protección para los oídos

Tapones para los oídos. Trabajar con equipos de refrigeración y de aire acondicionado nos expone continuamente a ruidos elevados que pueden dañar el oído de forma permanente. Dependiendo del nivel de ruido al que estemos expuestos, podemos utilizar desde tapones desechables auditivos, hasta orejeras electrónicas. Los tapones auditivos reducen el nivel de ruido en 29 decibeles (dB), las orejeras reducen el nivel de ruido en 23 dB.

4.5.1.4 Protección para los ojos

Lentes de seguridad. Tienen como función proteger nuestros ojos de cualquier impacto o de la salpicadura de algún producto irritante (gas refrigerante o refrigerante líquido, lubricante, limpiador de condensadores, etc.). Generalmente, están fabricados en policarbonato.

4.5.1.5 Protección para las manos

Guantes. Los guantes antiácidos son útiles cuando trabajamos con ácidos para limpiar condensadores, evaporadores, etc. Los guantes de mecánico, que son resistentes al aceite y al agua, son muy útiles para el trabajo de un técnico en refrigeración.

4.5.1.6 Protección lumbar

Faja de seguridad lumbar. En el trabajo de la refrigeración y del aire acondicionado, es común sufrir alguna lesión en la cintura durante el trabajo, lo que puede incapacitarnos por varios días. Es indispensable el uso de este elemento de seguridad para evitar este tipo de lesiones.

4.5.1.7 Ropa de algodón

La vestimenta que utilicemos debe ser de algodón. La camisa debe ser de manga larga, debido a que el trabajo se realiza en equipos cuyo voltaje de operación rebasa los 100 volts. Esta especificación proviene del Standard NFPA 70E, que trata de la seguridad eléctrica en lugares de trabajo.

Imagen 14. Equipo de protección personal



4.5.2 Medidas de seguridad al buscar fugas

No debemos de utilizar oxígeno ni otro gas combustible, o una mezcla de ellos para presurizar un sistema de refrigeración, ya que estos gases provocan una reacción explosiva al estar en contacto con el aceite del sistema o del compresor de refrigeración.

Tampoco se debe utilizar el compresor de refrigeración para elevar la presión del sistema en busca de fugas y mucho menos utilizar gas refrigerante.

Al utilizar nitrógeno gaseoso para presurizar el sistema de refrigeración, siempre se debe utilizar el regulador de nitrógeno para poder cargar el sistema que se encuentre bajo prueba.

Siempre que transporte o mueva de lugar un cilindro de nitrógeno debe hacerlo con el capuchón del cilindro. El almacenamiento de cualquier cilindro debe realizarse de manera adecuada y segura (ver Imagen 15).

Cuando un cilindro de nitrógeno típico de 8.5 m³ (metros cúbicos) es llenado a su presión de diseño de 2400 psig, éste contendrá en su interior casi 300 ft³ (pies cúbicos) de presión atmosférica o 160 veces el volumen interno del cilindro. Esto quiere decir que una gran cantidad de energía se encuentra contenida en el interior del cilindro. Si la válvula del tanque de nitrógeno se rompe o el tanque es degollado, la liberación inmediata y repentina del gas comprimido puede convertir al cilindro en un proyectil con la suficiente fuerza para penetrar un muro de tabique.

En un incidente documentado, un cilindro que cayó al piso por accidente quedó degollado; al momento de salir disparada la presión, el tanque se elevó. En su camino perforó un entrepiso y un techo de lámina antes de salir volando al exterior, en donde alcanzó una altura de 43 metros;

después cayó nuevamente sobre el techo de la empresa haciendo un segundo agujero en el techo y en el entrepiso metálico. Cuando un cilindro metálico se convierte en un proyectil puede desplazarse con gran fuerza, a una gran velocidad y en una dirección impredecible, con el potencial de ocasionar heridas graves o mortales en un individuo.

Imagen 15. Almacenaje seguro de cilindros



⇒ RECUERDE QUE...

Debe seguir todas las medidas de seguridad; de esta manera, se previenen accidentes y se evitan daños en los bienes y las personas.

Capítulo 5

Buenas prácticas en el reemplazo de los refrigerantes HCFC en los sistemas HVACR

La eliminación acelerada de los HCFC, en el marco del Protocolo de Montreal de septiembre de 2007, establece la regulación de las emisiones de refrigerantes fluorados, en virtud de un acuerdo sobre cambio climático –establecido en el Protocolo de Montreal y en algunos apartados del Protocolo de Kyoto–, con el que se busca sustituir ampliamente la utilización de sustancias fluoradas a favor de refrigerantes amigables con el medioambiente.

Los refrigerantes hidrofluorocarbonos (HFC), con potencial de calentamiento global generalmente alto, así como los refrigerantes naturales amigables con el medioambiente (hidrocarburos, como el propano R-290, el isobutano R-600a, el propileno R-1270, el amoníaco y el dióxido de carbono), están disponibles como tecnologías viables y estructuradas para la mayoría de las aplicaciones, tanto en los países industrializados, como en los que se encuentran en desarrollo.

Es ampliamente sabido que los hidrocarburos son excelentes refrigerantes, en términos de capacidad refrigerante y bajo impacto ambiental; sin embargo, su principal restricción está relacionada con su inflamabilidad.

Si los HFC continúan como sustitutos de los HCFC de manera generalizada, los beneficios para el clima descritos por el Protocolo de Montreal se pueden perder en un corto periodo de tiempo.

A pesar de sus propiedades superiores, el uso de refrigerantes naturales se ha visto obstaculizado, en gran medida debido a las preocupaciones de seguridad que muchas veces no se tratan de forma adecuada.

El tema de buenas prácticas para la realización de actividades en sistemas de refrigeración ha sido ampliamente descrito en el manual de *Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado*, publicado en 2006 por la SEMARNAT, en conjunto con la ONUDI, y sólo se tomarán algunos aspectos para cuando se reemplacen algunos refrigerantes en equipos existentes. Iniciaremos con la descripción de los diferentes procedimientos de sustitución de HCFC en sistemas de refrigeración y aire acondicionado que son más comunes y que se llevan a cabo en la práctica de servicio de mantenimiento.

5.1 PROCESOS DE SUSTITUCIÓN DE HCFC EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

5.1.1 Sustitución de un HCFC por un HFC

Para realizar la sustitución de un HCFC por un HFC se debe seguir el procedimiento descrito en esta sección cuando la compatibilidad del aceite no es buena con el HFC sustituto. Recuerde siempre consultar con el fabricante del compresor para verificar que el refrigerante alternativo es apropiado para instalarse en el equipo en cuestión.

A continuación, se describen los diferentes pasos para la sustitución de un HCFC en un equipo de refrigeración estándar de capacidad media (5 toneladas):

1. Revise las condiciones del equipo (presión de succión, presión de descarga, temperatura del evaporador, etc.), con el fin de tener un diagnóstico del equipo.
2. Recupere el refrigerante y realice el pesaje para conocer la carga del equipo.
3. Revise el aceite y el drenado del compresor.
4. Cargue el compresor con aceite, agregando la misma cantidad que retiró o la cantidad que indique la mirilla del compresor.
5. El lubricante debe ser polioléster (POE), con la viscosidad apropiada.
6. Cambie los filtros deshidratadores.
7. Realice el vacío hasta llegar a 250 micrones.
8. Verifique que no haya fugas en el sistema.
9. Cargue el refrigerante HFC en el sistema de refrigeración; se sugiere 90 por ciento de carga en relación con el refrigerante HCFC que se retiró.
10. Ponga en marcha el sistema y verifique las condiciones de operación.

5.1.2 Sustitución de un HCFC por un HC

Los refrigerantes hidrocarburos (HC) están aprobados para utilizarse en equipos de refrigeración y aire acondicionado que han sido diseñados, fabricados y aprobados para el uso de estos refrigerantes.

Los hidrocarburos aprobados son:

1. R-290 (propano).
2. R-600a (isobutano).
3. R-441A (mezcla de etano, propano, metilpropano, n-butano).

El R-600a (isobutano) y el R-441A (mezcla) sólo pueden utilizarse en refrigeradores o congeladores de uso doméstico, diseñados y fabricados para usar estos refrigerantes y cuya carga de gas refrigerante no sea superior de 57 gramos²⁶.

El R-290 sólo puede utilizarse en refrigeradores o en congeladores de alimentos de venta al por menor, diseñados y fabricados para usar este refrigerante, siempre y cuando sean de tipo autocontenido, y que la carga de gas refrigerante no sea superior de 150 gramos²⁷.

5.2 TABLAS Y GUÍAS DE FLUIDOS REFRIGERANTES SUSTITUTOS PARA REEMPLAZAR HCFC EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

Tabla 15. Mezclas alternativas al R-22 en un sistema de refrigeración

Número ASHRAE		
R-422D	Sistemas pequeños	<i>Retrofit</i> durante el servicio
R-407A	Sistemas pequeños	<i>Retrofit</i> durante el servicio con cambio de compresor
R-407A	Sistemas grandes	<i>Retrofit</i> planeado
R-407 F	Sistemas grandes	<i>Retrofit</i> planeado

5.2.1 Refrigerante R-407A

Es una mezcla de R-32 al 20 por ciento, R-125 al 40 por ciento, R-134a al 40 por ciento, y tiene un PCG igual a 2 107.

No es un gas que afecte a la capa de ozono; sin embargo, es un gas transitorio por su elevado PCG. No está diseñado para utilizarse en instalaciones de aire acondicionado o en evaporadores inundados.

²⁶ UL 250

²⁷ UL 471

Su nivel de seguridad es A1. La temperatura de descarga es menor, comparada con la del R-22, aunque la presión de descarga es mayor, sobre todo cuando se tienen temperaturas ambiente elevadas. Se debe lubricar con polioléster y se carga en fase líquida, ya que es una mezcla zeotrópica. Este refrigerante es casi igual al R-22 si se le compara con el resto de las mezclas disponibles; sin embargo, tiene un deslizamiento de 10 °F.

5.2.2 Refrigerante R-422D

Es una mezcla de R-125 al 65.1 por ciento, R-134a al 31.5 por ciento, R-600a al 3.4 por ciento, y tiene un PCG igual a 2 230. Por su alto PCG es un gas transitorio, que se puede usar para que los equipos en buenas condiciones puedan finalizar su tiempo de vida útil.

El R-422D es un refrigerante para media y baja temperatura; provoca pérdida de potencia al sustituir al R-22 en un sistema, lo que se traducirá en un incremento del tiempo de operación del compresor.

El hidrocarburo (R-600a) que tiene el R-422D en su fórmula ayuda a promover el regreso del aceite en sistemas lubricados con aceite mineral o aceite alquilbenceno. Algunos componentes del sistema deberán de cambiarse en caso de presentar problemas de caída de presión. En sistemas de refrigeración grandes, que presenten un diseño complicado de tuberías y que contengan un volumen grande de refrigerante, será necesario retirar el aceite mineral o el aceite alquilbenzeno y sustituirlo por el aceite polioléster.

5.2.3 Refrigerante R-407F

Es una mezcla de R-134a al 40 por ciento, R-125 al 30 por ciento, R-32 al 30 por ciento, y tiene un elevado PCG igual a 1 824. Por su alto PCG es un gas transitorio, que se puede usar para que los equipos en buenas condiciones finalicen su tiempo de vida útil.

El cambio a R-407F es otra opción, ya que tiene un parecido en la capacidad de enfriamiento que tiene el R-404A. También reduce significativamente el Potencial de Calentamiento Directo de una instalación, de 3 922 a 1 824. Puede utilizarse en aplicaciones de media o de baja temperatura.

Tiene todas las propiedades necesarias para ser considerado una opción para la actualización de instalaciones existentes de media o de baja temperatura, con poco o ningún cambio en cuanto al diseño de la instalación.

Tabla 16. Refrigerantes sustitutos al R-22 en un sistema de aire acondicionado

Número ASHRAE		
R-422B	Sistemas pequeños	<i>Retrofit</i> durante el servicio
R-407C	Sistemas pequeños	<i>Retrofit</i> durante el servicio con cambio de compresor*
R-407C	Sistemas grandes	<i>Retrofit</i> planeado

* Si el compresor se va a cambiar como parte del servicio, instale un compresor que esté precargado con lubricante polioléster.

5.2.4 Refrigerante R-422B

Es una mezcla de R-125 al 55 por ciento, R-134a al 42 por ciento, R-600a al 3.0 por ciento, y presenta un PCG igual a 2 080. Por su alto PCG es un gas transitorio, que se puede emplear para que los equipos en buenas condiciones finalicen su tiempo de vida útil.

Es un refrigerante HFC fácil de usar, no daña la capa de ozono; originalmente diseñado para reemplazar al HCFC-22 en los sistemas de enfriamiento de agua de expansión directa (ED) existentes. También puede utilizarse en sistemas de aire acondicionado residencial y comercial, así como en sistemas de refrigeración de temperatura media.

5.2.5 Refrigerante R-407C

Es una mezcla de R-32 al 23 por ciento, R-125 al 25 por ciento, R-134a al 52 por ciento, y presenta un PCG igual a 1 774. Por su alto PCG es un gas transitorio, que se puede emplear para que los equipos en buenas condiciones finalicen su tiempo de vida útil.

Está diseñado como reemplazo para el HCFC-22.

Tiene un significativo deslizamiento de temperatura, por lo que no es adecuado para equipos con una gran carga de refrigerante o que tengan acumuladores de succión, como las unidades de condensación, los sistemas centralizados y ciertos refrigeradores. En otras aplicaciones, el deslizamiento de temperatura todavía tiene que ser tomado en consideración en el diseño y el servicio.

Se debe de lubricar con polioléster y se carga en fase líquida, ya que es una mezcla zeotrópica.

El sistema pequeño NO significa que el sistema físicamente sea pequeño; significa que el sistema es simple, autocontenido; es casi seguro que habrá dificultad para cambiar un componente o el aceite. Ejemplos: equipos autocontenidos, cubicadoras de hielo, sistemas de aire acondicionado de ventana o *minisplits*. La facilidad con la que será hecho el *retrofit* dependerá de la buena elección del refrigerante sustituto.

Capítulo 5

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

El sistema grande, en cambio, cuenta con muchos componentes, tiene un acceso sencillo a ellos, el cambio de aceite es sencillo. En general, estos equipos requieren mantenimiento preventivo o un mantenimiento más complicado, en comparación con el de un sistema pequeño. El cambio de refrigerante precisa un proyecto; una evaluación planeada con anticipación implicará más trabajo. Ejemplos: sistemas de refrigeración en supermercados, enfriadores de líquido para procesos industriales (plastiqueras, industria química, etc.), sistemas de aire acondicionado de precisión. En los sistemas grandes, el análisis del rendimiento que tendrá el refrigerante sustituto es de vital importancia, ya que, en todos los casos, el cambio tendrá como consecuencia la pérdida de capacidad del sistema de refrigeración.

Si se va a cambiar un compresor durante el servicio, el sistema podrá cargarse con un refrigerante sustituto si el compresor está cargado con lubricante polioléster. Sin importar el tamaño del sistema, ésta es una buena oportunidad para seleccionar la mejor opción ambiental o de rendimiento, debido a que casi todo el trabajo requerido para el *retrofit* se realiza durante el cambio de compresor, siempre y cuando el sistema no tenga compresores trabajando en paralelo.

Tabla 17. *Referencia cruzada del rendimiento de los reemplazos del R-22²⁸

	R-22	R-404A	R-407C	R-407A	R-422D	R-427A
Capacidad (BTU/h)	13746 (100 %)	12450 (90.6 %)	12891 (93.8 %)	13375 (97.3 %)	10431 (75.9 %)	12020 (87.4 %)
COP ²⁹	1.42 (100 %)	1.18 (83 %)	1.34 (94.4 %)	1.34 (94.4 %)	1.14 (80.3 %)	1.31 (92.3 %)
Temperatura de la descarga (°F)	217	179	193	192	170	189
Presión de la descarga (psig)	211	256	223	242	214	214

*Datos obtenidos de un equipo de prueba, trabajando con distintos gases bajo condiciones de temperatura controladas a 80 °F (26.60 °C), con temperatura de la cámara a 30 °F (-1.10 °C) y una válvula de expansión de R-22 con las cargas ideales para cada gas.

5.3 PROCEDIMIENTOS Y NORMAS PARA LA APROPIADA SELECCIÓN DE REFRIGERANTES SUSTITUTOS DE HCFC, CON LISTA DE EQUIPO Y HERRAMIENTAS REQUERIDAS

El técnico que realice el servicio a un equipo con un refrigerante de nueva generación debe:

1. Ser capaz de identificar el tipo de refrigerante o mezcla de refrigerantes de una instalación, con base en la comparación de temperaturas y presiones de trabajo del que será sustituido, y las que presentan los que pueden utilizarse.
2. Saber cómo realizar la selección del fluido más adecuado para cada aplicación.

Para la selección adecuada de un refrigerante, se deben considerar los siguientes criterios³⁰:

²⁸ Referencia: "La eliminación del R-22: ¿Tiene usted un plan?", RSES Journal – December 2008, págs. 20-24, Gus Rolotti.

²⁹ Por sus siglas en inglés: Coefficient Of Performance = Coeficiente de Rendimiento

³⁰ Martínez, Francisco, Eloy Velázquez, *Bombas de Calor y Energía renovables en Edificios*, Thomson Editores, España, 2005, pág. 189.

5.3.1 Termodinámicos

Se requiere lo siguiente:

1. No tener presiones excesivas de condensación; es decir, no debe sobrepasar 362 psig.
2. Poseer un bajo punto de ebullición.
3. Temperatura crítica alta.
4. Alto calor latente de vaporización.
5. Bajo calor específico del líquido.
6. Bajo volumen específico del vapor.
7. Volumen y potencia bajos por cada tonelada de refrigeración.
8. Tener un Coeficiente de Desempeño Alto (COP, por sus siglas en inglés).

5.3.2 Medioambientales

Acción sobre el ozono estratosférico: hay que recordar que el cloro, esencialmente presente en los CFC y, en menor medida, en los HCFC, afecta gravemente al ozono estratosférico y presenta una larga duración de vida en la atmósfera. Ésta es la razón por la que la Comunidad Internacional ha tomado la decisión de eliminar los compuestos clorados.

Acción sobre el efecto invernadero: el exceso de estos gases impide la salida de la radiación terrestre de gran longitud de onda, lo que aumenta el efecto invernadero y ha incrementado el calentamiento global. Junto con los gases de efecto invernadero más conocidos: bióxido de carbono (CO_2), metano y óxidos de nitrógeno, los refrigerantes halogenados potencializan este fenómeno.

Su influencia es incluso mayor, por ejemplo, que el CO_2 , gas de efecto invernadero más conocido.

5.3.3 De seguridad

Las medidas de seguridad son de suma importancia; sin embargo, deben estar controladas cuando el sistema se encuentre en sitios abiertos al público; por ejemplo, en las instalaciones que utilizan equipos de climatización.

Toxicidad. Se trata del nivel tóxico del refrigerante cuando se inhalan sus vapores. Se ha adoptado una clasificación de productos tóxicos en la que se sitúan los refrigerantes.

Inflamabilidad. Sustancias candidatas a ser excelentes refrigerantes, como los hidrocarburos, son altamente inflamables, por lo que es importante aplicar las medidas de seguridad.

5.3.4 Técnicos

Metales. El refrigerante no debe tener ninguna acción sobre los metales con los cuales entra en contacto dentro del circuito frigorífico.

Aceites y lubricantes. Su selección se basa en tres aspectos esenciales: físico, que corresponde a las condiciones de miscibilidad del refrigerante utilizado y del lubricante; químico, que se refiere a las acciones recíprocas entre el refrigerante y el lubricante, y mecánico, que trata de asegurar la lubricación deseada de un par de metales en movimiento relativo, en presencia de refrigerante y en las condiciones de empleo: temperatura y presión de contacto.

Estabilidad térmica de la molécula. La molécula de refrigerante debe soportar sin descomponerse la acción de las temperaturas, en ocasiones bastante elevadas, que se producen en el curso de su evolución en el ciclo termodinámico.

Eficacia de los intercambios térmicos. Éste es un criterio de gran importancia, dado que una máquina frigorífica o una bomba de calor comprenden, al menos, dos importantes intercambiadores: evaporador y condensador. La eficacia depende de diversos parámetros del refrigerante:

1. La conductividad térmica, especialmente la del líquido. Las conductividades de los refrigerantes halogenados son generalmente bajas, mucho más reducidas que las del amoniaco o las del agua, por ejemplo.
2. La densidad, generalmente favorable, tomando en cuenta tanto la del líquido como la del vapor.
3. La viscosidad dinámica, que debe ser, en la medida de lo posible, reducida para mejorar el intercambio de calor.
4. La tensión superficial, magnitud física que aparece cuando existen superficies de separación entre el líquido y el vapor, común en los evaporadores y condensadores.

Fugas. Los numerosos lugares de fugas potenciales son, en general, orificios de muy pequeñas dimensiones que se ven obstruidos por tapones de aceite retenidos por las fuerzas capilares.

La permanencia de estos tapones depende directamente de la tensión superficial del aceite en presencia del refrigerante. Cuando el aceite absorbe al refrigerante, su tensión superficial disminuye, los tapones de aceite desaparecen y las fugas aparecen.

Detección y localización de fugas. Si existen fugas, es preciso detectar su presencia. Ésta se torna muy difícil cuando el fluido es prácticamente inodoro, como en el caso de los refrigerantes fluorados.

Los refrigerantes halogenados se detectan mediante dispositivos que conducen sus moléculas sobre una superficie caliente, que las descomponen y libera los halógenos del compuesto. La presencia de estos átomos de halógeno actúa sobre el elemento sensible del detector. Con los refrigerantes clorados, se detecta el cloro, que es fácilmente liberado.

Hay modelos disponibles para montaje en ambiente, en conducto y especiales para válvulas de seguridad. Los detectores pueden funcionar de forma independiente, conectados a una unidad de supervisión o a cualquier sistema de monitoreo³¹.

5.3.5 Económicos

Costo del refrigerante. Es un aspecto clave para la elección del fluido, por lo que debe ser preferentemente bajo.

Disponibilidad del refrigerante. Debe ser suficiente para cubrir las necesidades de los instaladores. El refrigerante debe ser un fluido ampliamente producido y universalmente distribuido.

Estas consideraciones garantizan que se evitarán condiciones extremas en el proceso y que se logrará una alta eficiencia en el ciclo.

5.3.6 Refrigerantes para el reemplazo del HCFC

En la **Tabla 18** se presenta una serie de opciones para el reemplazo del HCFC con refrigerantes naturales.

³¹ *Catálogo General de Producto 2012, Johnson Controls.*

Tabla 18. Refrigerantes naturales y sus aplicaciones*

 Disponible comercialmente	 Prototipo / Prueba / Demostración en proyecto	 Primeras fases de desarrollo		
		Aplicación principal	Aplicación secundaria	CO ₂
Refrigeración industrial	Conservación en frío			
	Centro de distribución			
	Alimentos congelados, carnes, pescado, helados, planta de procesamiento en refrigeración			
	Producción de bebidas, cerveza y refrigeración de vino			
	Plantas y máquinas procesadoras de hielo			
	Deportes sobre hielo en pistas cubiertas			
	Industrias farmacéuticas, químicas, petroquímicas y de proceso (refrigeración de antibióticos, muestras de sangre, separación y condensación de grasas)			
Refrigeración comercial	Supermercados			
	Máquinas para elaborar hielo			

✓✓✓ Disponible comercialmente	✓✓ Prototipo / Prueba / Demostración en proyecto	✓ Primeras fases de desarrollo		
Aplicación principal	Aplicación secundaria	CO ₂	NH ₃	HC
Aire acondicionado industrial y comercial	Minería (enfriadores de superficie)		✓✓✓	
	Centros de Servicio de Refrigeración	✓✓✓		✓✓
	Sistemas distritales		✓	
	Líneas de producción en fábricas		✓✓✓	
	Aire acondicionado en laboratorio		✓✓✓	
	Grandes edificios comerciales y públicos	✓✓	✓✓✓	✓✓✓
Refrigeración comercial ligera	Muebles refrigerados autocontenidos para supermercados	✓✓		✓✓✓
	Congeladores para helados			✓✓✓
	Máquinas de helado y malteadas	✓		✓✓✓
	Máquinas expendedoras	✓✓✓		✓✓✓
	Fuentes de agua			✓✓✓
	Bebederos			✓✓
	Refrigeradores para ensaladas			✓✓
	Máquinas para elaborar cubos de hielo			✓✓
	Refrigeradores para vacunas			✓✓

Capítulo 5

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

✓✓✓ Disponible comercialmente	✓✓✓ Prototipo / Prueba / Demostración en proyecto	✓ Primeras fases de desarrollo		
Aplicación principal	Aplicación secundaria	CO ₂	NH ₃	HC
Calefacción industrial y comercial	Bombas de calor para secado y procesamiento de alimentos	✓✓✓		
	Calefacción distrital	✓✓	✓✓	✓✓
	Grandes edificios comerciales y públicos (sistemas para el agua caliente de hoteles, hospitales, asilos, calefacción en restaurantes de comida rápida)	✓✓✓	✓✓✓	
	Bombas de calor de lácteos y cerveza	✓✓✓	✓✓✓	
Aire acondicionado, refrigeración y calefacción industrial	Aire acondicionado portátil			✓✓✓
	Aire acondicionado de ventana o de tipo dividido			✓✓✓
	Bombas de calor para calefacción doméstica	✓✓✓		✓✓
	Refrigeradores y congeladores domésticos			✓✓✓
	Lavadoras / Secadoras	✓		✓

✓✓✓ Disponible comercialmente	✓✓ Prototipo / Prueba / Demostración en proyecto	✓ Primeras fases de desarrollo		
		CO ₂	NH ₃	HC
Aplicación principal	Aplicación secundaria			
Aire acondicionado, refrigeración y calefacción para el transporte	Aire acondicionado para automóviles	✓✓		✓✓✓
	Aire acondicionado para automóviles eléctricos	✓✓		
	Aire acondicionado para autobuses	✓✓		✓✓
	Camión de refrigeración	✓		✓
	Aire acondicionado y calefacción para trenes	✓		
	Refrigeración para buques	✓✓		
	Buques de pesca	✓✓✓	✓✓✓	

* 2012: Natural Refrigerants Market Growth for Europe. Guide, Shecco Publications

Como se observa, para cada una de las aplicaciones existentes de refrigeración, aire acondicionado y calefacción, existen opciones de refrigerantes naturales que pueden aplicarse en el momento en que los HCFC se encuentren limitados para su uso.

Los HFC serán considerados alternativos a corto plazo y posiblemente se verá una disminución en su uso por su potencial de calentamiento global.

Mientras tanto, el AHRI³² y su Low Global Warming Potential Alternative Refrigerants Evaluation Program³³ siguen evaluando estos gases en un esfuerzo en conjunto con 16 empresas y organizaciones de EUA, y cinco empresas y organizaciones internacionales. Seis fabricantes de gases refrigerantes han enviado hasta la fecha 38 gases refrigerantes de bajo potencial de calentamiento global. Entre ellos, se encuentran los refrigerantes naturales y los refrigerantes hechos con la molécula HFO³⁴.

Los reportes de estas evaluaciones pueden ser descargados desde www.ahrinet.org

5.4 LISTADO DE EQUIPO Y HERRAMIENTAS REQUERIDAS

1. Unidad de recuperación.
2. Tanque recuperador.
3. Bomba de vacío de doble estado.
4. Detectores de fugas.
5. Vacuómetro.
6. Voltímetro digital con termómetro integrado.
7. *Manifold* (juego de manómetros).
8. Bomba de aceite.
9. Prensa para hacer conos en la tubería.
10. Expansor de tubo.
11. Cortadores de tubo.
12. Báscula digital.
13. Identificador de refrigerantes.
14. Filtro deshidratador para la recuperadora de gas refrigerante.
15. Lámpara de luz ultravioleta.

³² Air-Conditioning, Heating and Refrigeration Institute.

³³ Programa de evaluación de refrigerantes alternativos con bajo potencial de calentamiento global.

³⁴ AHRI Low Global Warming Potential Alternative Refrigerants Evaluation Program, Xudong Wang and Karim Amrane, Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute, 2013 ASHRAE, Winter Conference.

16. Pinzas *piercing* (pinzas pinchadoras).
17. Tanque de nitrógeno.
18. Regulador de nitrógeno.

5.5 ILUSTRACIONES DE EQUIPO Y HERRAMIENTAS

Imagen 16. Unidad recuperadora



Imagen 17. Detector de fugas



Capítulo 5

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

Imagen 18. Cortadores de tubo



Imagen 19. Vacuómetro digital



Imagen 20. Bomba de vacío



5.6 PROCEDIMIENTOS PARA EL REEMPLAZO DE HCFC CON REFRIGERANTES SUSTITUTOS EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

Las personas que se encuentren involucradas en el diseño y desarrollo de sistemas que utilizan refrigerantes naturales también requieren capacitación. Ésta debe cubrir una amplia variedad de temas, desde el diseño de equipo, hasta las condiciones a las que operará, junto con las posibles fallas y problemas que pueden suceder durante la vida útil del equipo.

Algunos programas de capacitación cubren los aspectos de manejo de refrigerantes convencionales; no obstante, es necesaria la inclusión de una categoría para la experimentación con fines analíticos.

Proklima International (*Guidelines for the safe use of hydrocarbons refrigerants*, Apartado 3.5; ver **Diagrama 13**) proporciona una visión general de las categorías que deben ser consideradas para la formación de las personas en los aspectos de diseño y desarrollo. La inclusión y el grado de formación de ciertos temas varían de acuerdo con la función y el objetivo de la obra.

Diagrama 13. Información general de las categorías para capacitación



En general, se identifican cuatro categorías. Las primeras dos son las materias básicas y el resto posee un carácter secundario.

A continuación, se presenta una descripción sencilla y general de cada una de estas categorías.

5.6.1 Capacitación técnica básica

Se basa en los componentes principales de la capacitación que las personas pertenecientes al área de servicio y mantenimiento podrían recibir, como la manipulación segura del refrigerante. También es necesario que los reglamentos y normas de seguridad sean tomados en cuenta para el aprendizaje.

5.6.2 Entrenamiento básico del producto

Se centra fundamentalmente en los productos de refrigeración y aire acondicionado sobre los que se está trabajando. La capacitación debe facilitar la comprensión de los sistemas y equipos en cuestión, sus características de construcción, utilización, área de instalación, los tipos de condiciones en las que se instalará, el servicio habitual y prácticas de mantenimiento, entre otros aspectos.

5.6.3 Formación fundamental

Los temas deben incluir fallas mecánicas en los componentes, especialmente conceptos de fugas, procesos y mecanismos de dispersión de gas y mezcla, combustión/fuego y sobrepresión/explosión.

5.6.4 Formación periférica

La capacitación periférica comprende temas necesarios para llevar a cabo mediciones y análisis. Se pueden incluir conceptos para el establecimiento de pruebas de seguridad, aplicando métodos para el análisis de resultados, así como la familiarización con la instrumentación y los equipos de medición asociados, su aplicación y limitaciones. Además, puede haber una cobertura de las normas de ensayo y los protocolos para ciertos tipos de pruebas de seguridad que no están directamente relacionadas con el equipo de seguridad de refrigeración y aire acondicionado.

5.7 MEDIDAS Y NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE REFRIGERANTES SUSTITUTOS DE HCFC

Para usar los refrigerantes naturales con seguridad, es esencial entender su inflamabilidad, peligros y los aspectos críticos relacionados con ellos.

Se deben considerar tres aspectos principales cuando se trabaja con refrigerantes naturales:

1. Asegurar que el sistema es a prueba de fugas y lo suficientemente estable a lo largo de su vida útil; cuando se presente una fuga de refrigerante natural, los responsables de la instalación del equipo deben asegurarse de que la ignición de dicha fuga no sea posible, mediante, por ejemplo, la eliminación de posibles fuentes de ignición.
2. Garantizar la seguridad de los equipos que utiliza al entrar en contacto con sustancias inflamables; es decir que el equipo debe estar diseñado y construido de tal manera que las fugas y, por tanto, las condiciones de inflamabilidad se eliminen en la medida de lo posible en la práctica; esto puede lograrse a través de diseño, ventilación y ciertos sistemas de protección.
3. Protección de los trabajadores que puedan entrar en contacto con sustancias inflamables en su lugar de trabajo principalmente.

Además de los tres aspectos mencionados, es necesario conocer y tomar en cuenta los siguientes:

5.7.1 Contención

Las sustancias inflamables deben estar dentro de un contenedor debidamente diseñado y construido, ya sea un cilindro o un sistema de refrigeración. Si la sustancia se fuga, el contenedor debe impedir que se extienda a otras áreas.

5.7.2 Fuentes de ignición

Asegurarse de que todas las fuentes de ignición evidentes y no evidentes han sido aisladas de los equipos y las zonas de manipulación. Las fuentes de ignición pueden variar mucho, desde chispas de electricidad en los equipos o herramientas de corte y soldadura, hasta superficies calientes, llamas descubiertas de equipos de calefacción, cigarrillos, etc.

5.7.3 Ventilación

Debe haber ventilación adecuada en el sitio donde las sustancias inflamables se almacenan y utilizan. Una buena ventilación significa que cualquier vapor que surja de una fuga o liberación se dispersará con rapidez.

Además, es importante tener en cuenta la gravedad de las consecuencias de la ignición de una sustancia inflamable. Es de vital importancia que la cantidad de sustancia inflamable y el medio dentro del cual se lleva a cabo sean monitoreados para evitar accidentes.

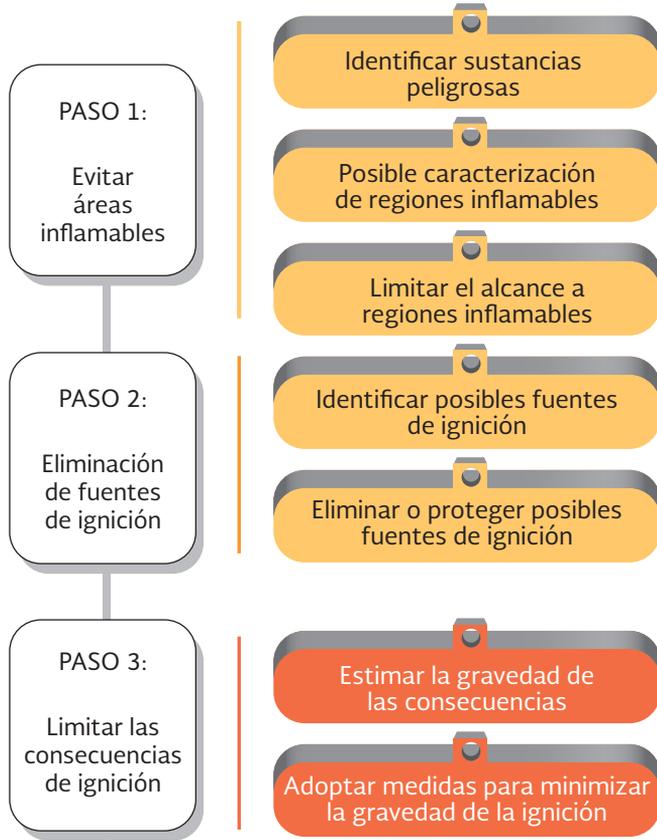
Estas consideraciones son necesarias desde la selección del equipo, hasta la fase de diseño y la instalación, ya que las características de diseño pueden afectar el nivel de seguridad en una etapa posterior.

5.7.4 Normas de seguridad

La clasificación de sustancias más ampliamente utilizada se encuentra bajo la responsabilidad de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). En ella, las sustancias peligrosas se clasifican de acuerdo con sus principales peligros. Los hidrocarburos, usados comúnmente como refrigerantes, están clasificados como:

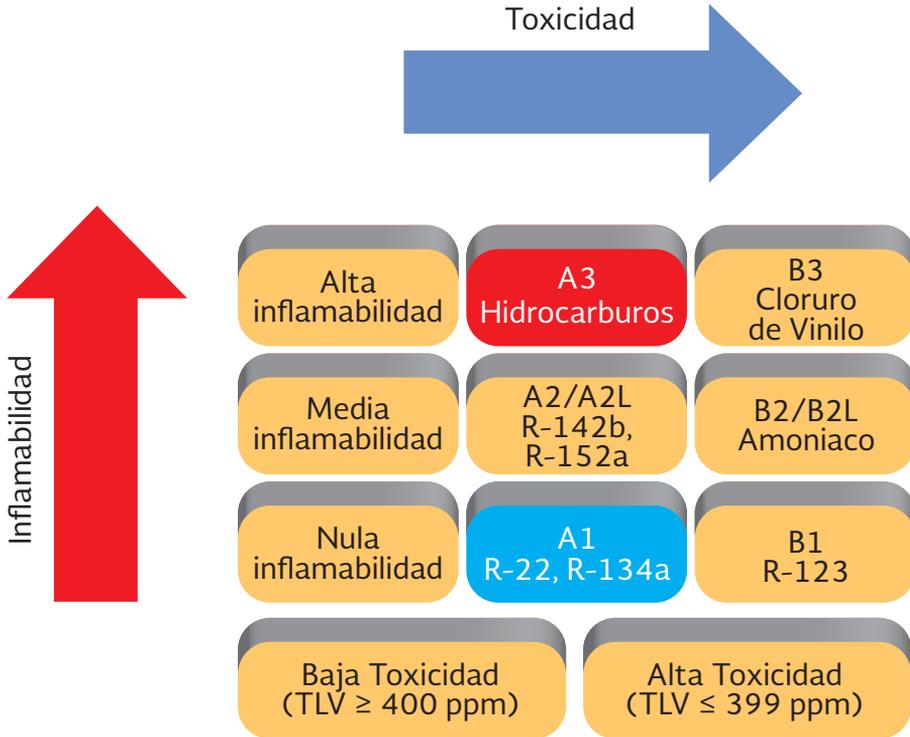
1. Clase de las Naciones Unidas: 2
2. Gases de la División 2.1
3. Gases inflamables

Diagrama 14. Procedimiento de diseño para la manipulación de sustancias inflamables



Sin embargo, en la industria de la refrigeración y el aire acondicionado se aplica un esquema de clasificación diferente. A la mayoría de los refrigerantes se le asigna una clasificación de seguridad que está en función de la toxicidad y de la inflamabilidad. El sistema de clasificación que se ha adoptado mundialmente es el Estándar 34 de ASHRAE. Una representación general de este esquema se muestra en el Diagrama 15.

Diagrama 15. Clasificación de seguridad de refrigerantes: ASHRAE, Estándar 34-2010



Clase A: TLV / TWA 400 ppm o mayor

Clase B: TLV / TWA 399 ppm o menor

5.7.5 Clasificación de toxicidad

La clasificación de la toxicidad se basa en qué tanta toxicidad se ha identificado en concentraciones menores a 400 ppm, tomando en cuenta los datos utilizados para determinar el valor límite umbral, menos el tiempo ponderado promedio (TLV-TWA, por sus siglas en inglés).

La toxicidad se clasifica en:

1. Clase A. Refrigerantes en los que se ha observado toxicidad de 400 ppm o mayor
2. Clase B. Refrigerantes en los que se ha observado toxicidad de 399 ppm o menor

5.7.6 Clasificación de inflamabilidad

La clasificación de inflamabilidad depende de que las sustancias puedan o no encenderse en pruebas; si es así, se debe conocer el límite inferior de inflamabilidad (LFL, por sus siglas en inglés) y el calor de la combustión. Hay tres clases de inflamabilidad:

1. Clase 1. Los refrigerantes que no muestran propagación de la llama cuando se prueban en el aire a 60 °C y a presión atmosférica (no propaga la flama)
2. Clase 2. Aquellos refrigerantes que exhiben propagación de la llama cuando se ensayaron a 60 °C y a presión atmosférica, pero poseen un límite de inflamabilidad superior a 3 por ciento en volumen y un calor de combustión menor a 19000 kJ/kg (baja propagación de flama)
3. Clase 3. Refrigerantes que presentan propagación de llama cuando se someten a pruebas a un temperatura de 60 °C y presión atmosférica, con un límite de inflamabilidad igual o menor a 3.5 por ciento en volumen, o un calor de combustión igual o superior a 19000 kJ/kg (alta propagación de flama)

Dado que todos los refrigerantes naturales (R-290, R-600a, R-1270) tienen un TLV-TWA de 1000 ppm o más (dependiendo de la fuente de información), se clasifican por toxicidad bajo la Clase A. Sin embargo, estos refrigerantes presentan propagación de flama al exponerse a condiciones atmosféricas normales, y su LFL típicamente oscila 2 por ciento con un

calor de combustión alrededor de 50000 kJ/kg. Así pues, de acuerdo con la clasificación de inflamabilidad, los hidrocarburos pertenecen a la Clase 3. En general, esto los define con una clasificación de seguridad de tipo A3, de acuerdo con las normas pertinentes.

En comparación, los refrigerantes CFC, HCFC y HFC más comunes, así como el R-744 (bióxido de carbono), tienen una clasificación de tipo A1, aunque algunos HFC tienen una clasificación A2. Pocos HCFC y HFC tienen una clasificación B1, mientras que el R-717 (amoníaco) tiene una clasificación B2. No existen refrigerantes con clasificación B3 (aunque puede ser posible en ciertas mezclas).

Por lo general, una clasificación mayor –que es la toxicidad de Clase B en lugar de la Clase A, y la inflamabilidad de Clase 3 en lugar de la Clase 1– significa que el sistema de refrigeración requiere diseños más precisos, con el fin de controlar el mayor riesgo presentado por el refrigerante.

5.8 MÉTODOS DE RECUPERACIÓN, RECICLADO Y REUTILIZACIÓN DE REFRIGERANTES SUSTITUTOS DE HCFC

Los procesos de recuperación, reciclado y reutilización de refrigerantes han evolucionado en gran medida durante los últimos años, debido a las regulaciones ambientales, lo que ha provocado que un mayor número de usuarios recuperen sus refrigerantes y los reutilicen. A continuación, se presentan las definiciones de estos conceptos fundamentales, de acuerdo con el manual de refrigeración 2010 de ASHRAE.

5.8.1 Recuperación

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

5.8.2 Reciclar

Proceso que consiste en limpiar el refrigerante mediante la remoción de aceite, humedad, acidez y presencia de sólidos, al pasar el refrigerante por múltiples dispositivos, con el objetivo de reutilizar el refrigerante. El término reciclar usualmente se aplica a los procedimientos que se pueden implementar en sitio o en el taller de servicio.

5.8.3 Regenerar

Es el reproceso de un refrigerante hasta que alcance las especificaciones de un refrigerante virgen. Utiliza, en una de sus etapas, la separación vía destilación, y se requiere un análisis del producto final para asegurar que ha llegado a la especificación de producto nuevo. El término “regenerar” implica, en la mayoría de los casos, el uso de procesos que sólo se pueden ejecutar en un equipo de reproceso o en las plantas productoras de refrigerantes.

5.8.4 Reutilización

Si existe la certeza de que la calidad del refrigerante recuperado no se ha modificado, puede volver a usarse en el mismo sistema del que se extrajo o retirarse y tratarlo para su uso posterior.

5.9 MÉTODOS PARA LA RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES

Cuando se realiza un servicio de mantenimiento o reparación en un equipo, en la mayoría de los casos se debe recuperar el refrigerante, lo que representa el primer paso del trabajo. Como se mencionó anteriormente, este proceso consiste en extraer el refrigerante del equipo y trasladarlo a un recipiente externo, diseñado especialmente para almacenar refrigerante usado.

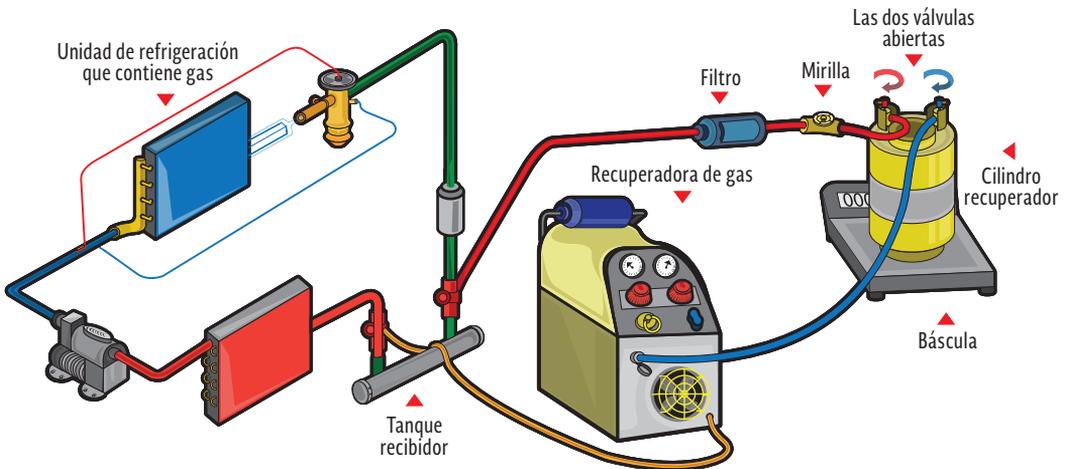
Existen cuatro métodos principales para la recuperación de refrigerantes, según lo expuesto en el *Manual de Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado*, de la SEMARNAT.

5.9.1 Recuperación de refrigerante en fase líquida

La recuperación en fase líquida generalmente se utiliza cuando los equipos son muy grandes y el volumen de refrigerante es considerable. En algunos casos, se puede extraer el refrigerante del tanque receptor con bombas centrífugas o bombas neumáticas, y enviarlo directamente a los tanques de recuperación.

Debido a que cuando se recupera en fase líquida siempre queda una fase de vapor, en los incisos 5.9.2 al 5.9.5 se tratan con mayor detalle las diferentes formas de recuperación en fase de vapor que, de alguna forma, se relacionan con la recuperación en fase líquida (ver Diagrama 16).

Diagrama 16. Recuperación de refrigerante en fase líquida



5.9.2 Recuperación en fase de vapor-líquido

El proceso para recuperar gas en fase vapor-líquido es tan sencillo que puede ser utilizado en cualquier sistema, siempre que no contenga una cantidad de refrigerante mayor de 9 kg; para los sistemas de cargas superiores, se sugiere el procedimiento *push-pull* (empuje-extracción; este procedimiento se revisará en la sección 5.9.6 de este manual).

Para llevar a cabo este procedimiento, se recomienda quitar los pivotes de las válvulas para acelerar el proceso de extracción. Como en las diversas variedades de extracción de refrigerante, se deben utilizar mangueras con válvulas de bola manuales integradas para evitar derramar el refrigerante.

5.9.3 Recuperación en fase de vapor-líquido cuando el compresor no funciona

En este proceso, se recomienda calentar el sistema con lámparas para evaporar el refrigerante diluido en el aceite del sistema. Se debe llevar a cabo el siguiente procedimiento:

1. Instale las válvulas del lado de alta y baja presión, el refrigerante se extrae y se condensa en el cilindro recuperador; este proceso está aprobado por la EPA-USA (Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América).
2. Se estima una recuperación de 80 por ciento del refrigerante, debido a que parte de él es recuperado en fase líquida y otra parte en fase de vapor.
3. Extraiga el refrigerante por ambos lados.

5.9.4 Recuperación cuando el compresor sí funciona

En este proceso, se aprovecha la fuerza del compresor para la extracción del refrigerante; no es necesario calentar el sistema porque la presión del compresor empuja el refrigerante hacia afuera del sistema.

1. Sólo se instala una válvula del lado de alta presión
2. Este proceso también está aprobado por la EPA y recupera más de 90 por ciento del refrigerante del sistema

5.9.5 Recuperación en fase de vapor

La recuperación de refrigerantes en fase de vapor es más lenta e involucra un mayor tiempo para la evacuación del sistema. Cuando los sistemas son grandes y en el diseño existen largos tramos de tubería, la práctica de recuperación en fase de vapor no es recomendable; pero en sistemas pequeños fraccionarios y hasta de 5 toneladas de refrigeración, la recuperación en fase de vapor puede ser una solución.

Para este proceso, se requiere que las mangueras tradicionales de 1/4" (pulgada) de diámetro sean sustituidas por mangueras de 3/8" de diámetro, que ayudarán al proceso de recuperación.

En este proceso, se utilizará una máquina recuperadora que absorberá el refrigerante en fase de vapor y lo condensará para trasladarlo al cilindro de recuperación (ver Diagrama 17).

5.9.6 Método *push-pull* (empuje - extracción) de recuperación líquida

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

La operación de extraer-empujar se lleva a cabo utilizando el vapor del cilindro para empujar el refrigerante líquido fuera del sistema. Para realizar de manera efectiva este método, siga el siguiente procedimiento:

1. Conecte una manguera desde el lado del líquido de la unidad cuyo refrigerante se desea extraer, hasta la válvula del líquido del cilindro de recuperación.

Capítulo 5

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

Diagrama 17. Recuperación en fase de vapor

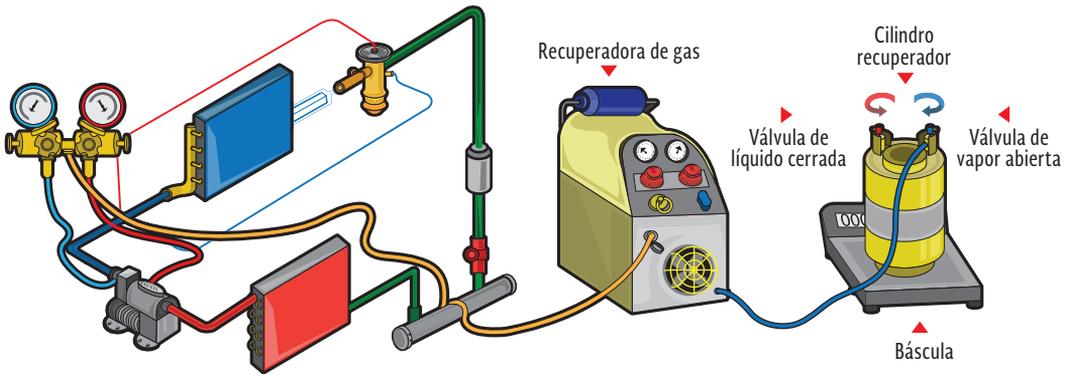
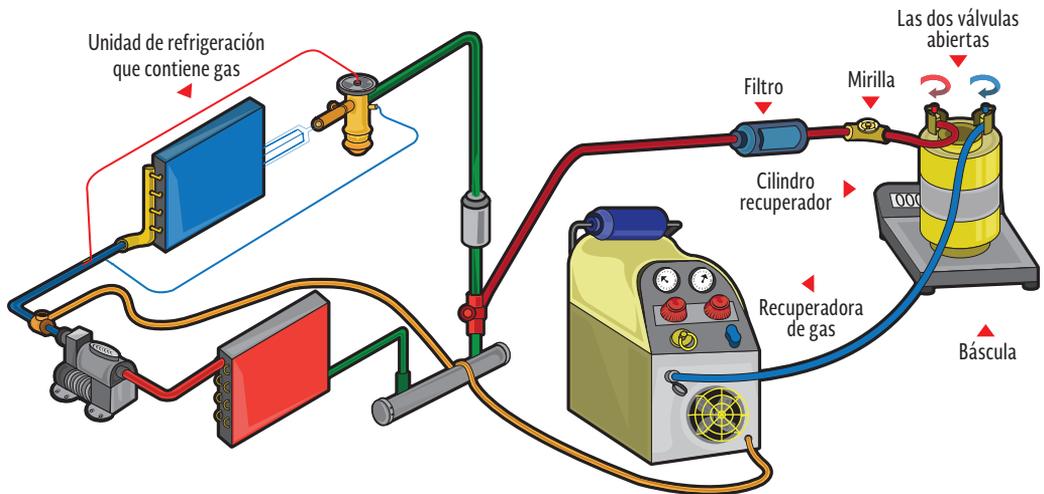


Diagrama 18. Recuperación push-pull



2. Conecte una segunda manguera desde la válvula de vapor del cilindro recuperador, hasta la succión de la máquina recuperadora, y conecte una tercera manguera desde el punto de descarga de la máquina recuperadora, hasta el puerto de vapor del sistema.
3. Se debe asegurar que el sistema está fuera de operación para llevar a cabo este trabajo, que consiste en poner en marcha la máquina recuperadora que succionará el vapor del cilindro de recuperación, el cual, a su vez, retirará el líquido del equipo.
4. El vapor succionado por la máquina será comprimido y enviado al sistema, “empujando” el refrigerante líquido hacia el cilindro recuperador; así seguirá hasta conseguir recuperar cerca de 90 por ciento del refrigerante. Es importante tomar en cuenta que cuando el líquido se ha extraído por completo, se debe hacer un arreglo de tubería para extraer el vapor residual del sistema (ver Diagrama 18).

➔ **RECUERDE QUE...**

Para que el método *push-pull* resulte efectivo, debe considerar lo siguiente:

- Utilizar un visor (mirilla) para observar cuando el líquido sea removido
- Se utilizarán en este proceso las tres mangueras del *manifold*
- No se debe utilizar si la carga de refrigerante del equipo es menor de 9 kg
- No se debe utilizar si el equipo es una bomba de calor u otro sistema donde el refrigerante podría quedar aislado

5.10 PUNTOS IMPORTANTES PARA LA RECUPERACIÓN DE REFRIGERANTES³⁵

Para realizar un buen trabajo técnico, siempre debe de aplicar las Buenas Prácticas en Refrigeración y Aire Acondicionado:

1. Utilice únicamente cilindros limpios, exentos de toda contaminación de aceite, ácidos, humedad, etc.
2. Verifique visualmente cada cilindro antes de usarlo y asegúrese de que se encuentra en condiciones aceptables.
3. Revise que el estampado de la fecha de la prueba hidrostática esté vigente.
4. Utilice preferentemente un equipo recuperador; la bomba de vacío y los compresores no son los elementos más adecuados para recuperar refrigerantes.
5. Nunca utilice cilindros desechables DOT-39 para la recuperación.
6. Mantenga el cilindro de recuperación tan frío como le sea posible: esto mantiene el flujo del refrigerante recuperado.
7. Para sistemas más grandes, puede utilizar el método *push-pull* conectando la unidad recuperadora a un tanque intermedio.
8. Cuando sea necesario, utilice un filtro de entrada para maximizar la vida del compresor del equipo de recuperación.
9. Los cilindros de recuperación nunca deben llenarse más allá del 80 por ciento de su capacidad.
10. Siempre efectúe el proceso de limpieza de la unidad recuperadora de acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo cuando cambie a otro refrigerante.
11. Debe haber una diferencia entre temperatura y presión para que el refrigerante fluya del sistema a un cilindro de recuperación a través del equipo de recuperación.

³⁵ Buenas prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado, SEMARNAT, México

12. Para acelerar la operación de recuperación, es conveniente calentar ligeramente (con pistola de aire caliente) el equipo del que se extrae el refrigerante.
13. Verifique visualmente cada cilindro antes de usarlo y asegúrese de que se encuentra en condiciones aceptables.
14. No mezcle diferentes refrigerantes en el tanque recuperador ni coloque refrigerante de un tipo en un cilindro cuya etiqueta esté marcada para otro tipo.

Los tanques para transportar gas refrigerante están hechos con base en las especificaciones establecidas por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos de América (DOT, por sus siglas en inglés). Las especificaciones de los cilindros de gas refrigerante más comunes son:

1. DOT 39
Son cilindros desechables, no recargables
2. DOT 4BA o DOT 4BW
Estos cilindros son recargables, están aprobados para usarse como cilindros recuperadores de gas refrigerante
3. Presiones de trabajo:
DOT 4BA = 400
Presión de trabajo 400 psi aprobado para cargar R-410A
DOT 4BA = 350
Presión de trabajo 350 psi
DOT 4BA = 260
Presión de trabajo 260 psi
4. DOT 3AA
Tanques aprobados para usarse con refrigerantes de alta presión (R-503, R-508, R-13 y R-23)

5.11 MEDIDAS DE SEGURIDAD AL UTILIZAR LOS CILINDROS RECUPERADORES

El cilindro aprobado que debe utilizarse para recuperar gas refrigerante cumple con las siguientes especificaciones:

1. Los colores definidos bajo la Directriz K del AHRI (amarillo con gris).
2. Una válvula “Y” con dos válvulas, una para líquido y otra para gas, y una válvula fusible de seguridad para venteo del gas.
3. Sello de la prueba hidrostática del Standard DOT 4BA o DOT 4BW vigente, según sea el caso.

Estos cilindros son de color amarillo en el área del hombro del tanque (guarda de la válvula “Y”). El resto del cilindro es de color gris. Sólo estos cilindros deben utilizarse para recuperar gas (ver Ilustración 6).

No deben utilizarse los cilindros diseñados para refrigerantes nuevos.

En los cilindros recuperadores, el dispositivo de seguridad ventea el gas a la atmósfera para prevenir una explosión del cilindro si:

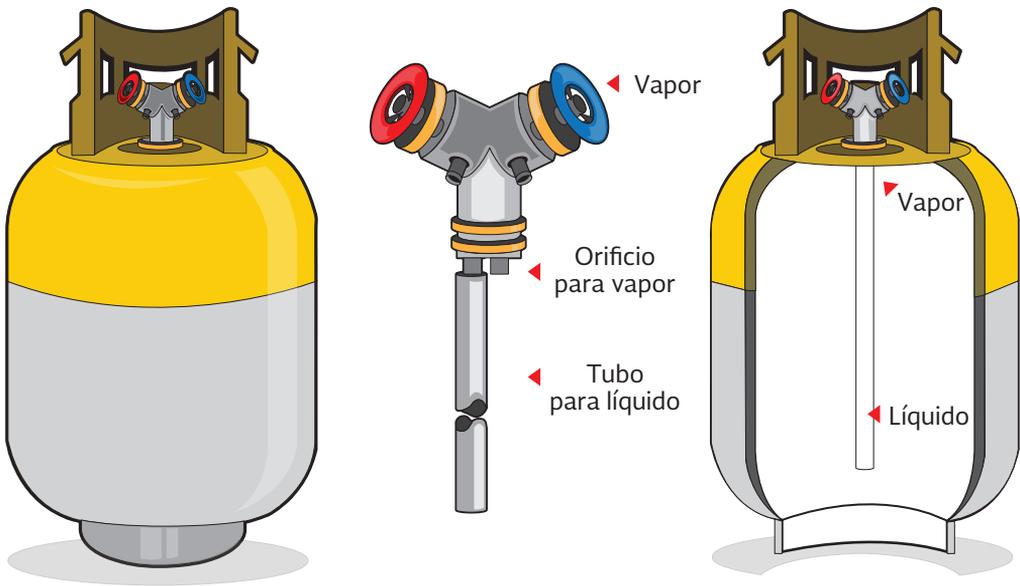
1. El cilindro DOT 4BA o DOT 4BW (260) alcanza una presión superior a 390 psi.
2. El cilindro DOT 4BA o DOT 4BW (400) alcanza una presión superior a 600 psi.

La presión interna de los cilindros puede elevarse por diferentes razones, pero la principal es el aumento de temperatura. Cuando la temperatura se eleva, el refrigerante líquido se expande. A esta condición se le llama hidrostática. Cuando un cilindro alcanza esta condición, la presión interna se eleva rápidamente, aunque aumente ligeramente la temperatura del gas. Si el fusible de alivio no se abre, el cilindro puede explotar, ocasionando

daños a los objetos cercanos, al técnico o, en el caso más grave, la muerte del técnico. No se debe de bloquear el fusible de venteo o de seguridad, o sobrecargar el cilindro.

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.

Ilustración 6. Componentes de un cilindro de recuperación



5.12 RECICLADO DE REFRIGERANTES

El reciclado, como lo realiza la mayoría de las máquinas en el mercado actual, reduce los contaminantes a través de la separación del aceite y la filtración.

De este modo se obtiene un refrigerante “limpio”, pero no necesariamente se obtiene con las especificaciones de pureza originales del fabricante.

El refrigerante usado puede reciclarse mediante la máquina recicladora, utilizando filtros deshidratadores recargables de piedras y otros dispositivos que reduzcan humedad, partículas, acidez, etc.

La separación de aceite del refrigerante se lleva a cabo al circular el gas una o varias veces dentro de la unidad.

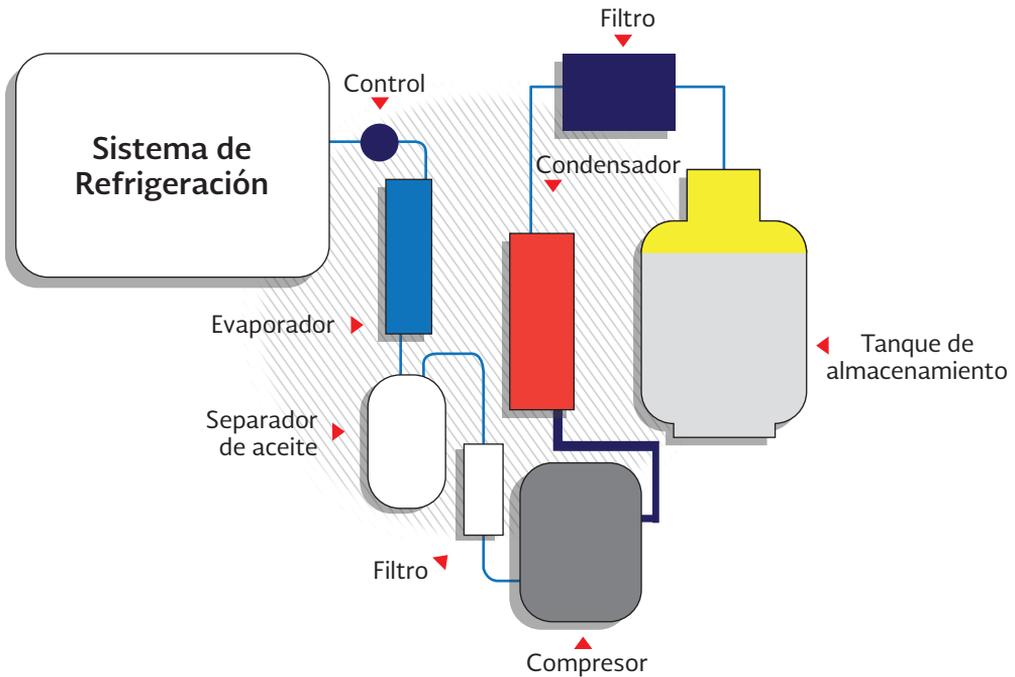
La máquina recicladora de un sólo paso procesa el refrigerante a través de un filtro deshidratador o mediante el proceso de destilación, lo pasa una sola vez por el proceso de reciclado a través de la máquina para luego transferirlo al cilindro de almacenamiento.

La máquina de pasos múltiples recircula varias veces el refrigerante a través del filtro deshidratador.

Después de un periodo determinado o de un cierto número de ciclos, el refrigerante es transferido hacia el cilindro de almacenamiento.

El método de un sólo paso (**ver Diagrama 19**) circula el refrigerante a través de un filtro secador o utiliza destilación. Se hace pasar una sola vez por todo el sistema de reciclaje hasta llegar a un cilindro de almacenamiento.

Diagrama 19. Método de reciclado de un solo paso³⁶

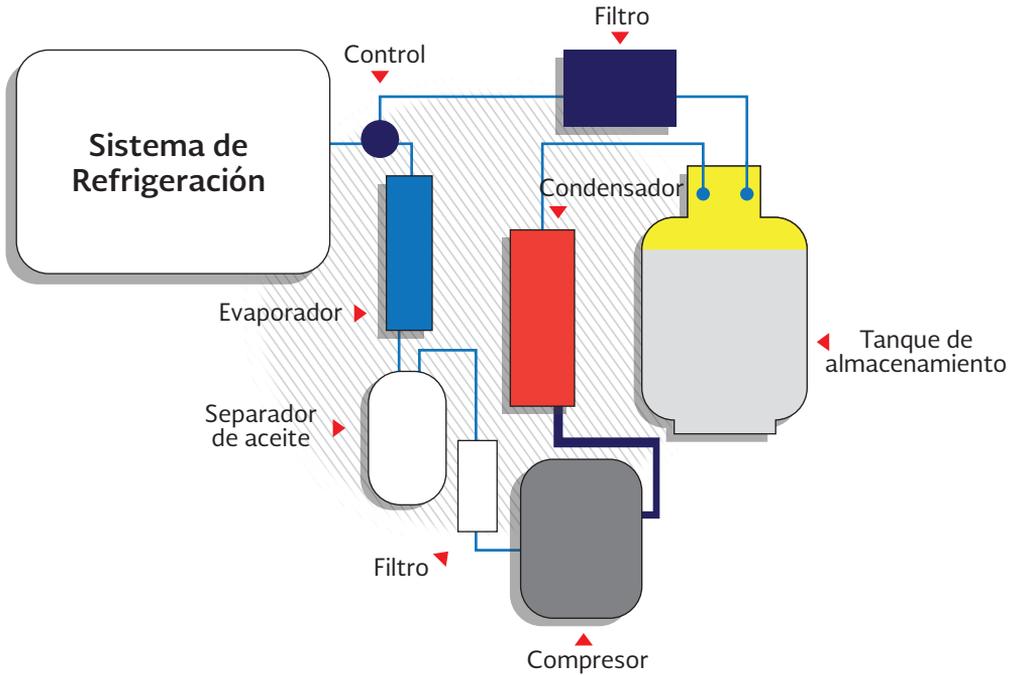


Las máquinas recicladoras pueden utilizar el método de reciclaje de un solo paso o de varios pasos.

El método de paso múltiple (**Diagrama 20**) recircula el refrigerante varias veces a través del filtro secador y, después de un cierto periodo o número de ciclos, el refrigerante se transfiere a un cilindro de almacenamiento.

³⁶ "Recuperación, reciclaje y regeneración", Capítulo 4, *Manual Buenas Prácticas*, PNUMA

Diagrama 20. Método de reciclado de paso múltiple³⁷



5.13 REUTILIZACIÓN DE REFRIGERANTES

Si existe la certeza de que la calidad del refrigerante no se ha modificado, el refrigerante recuperado puede volver a usarse en el mismo sistema del que se extrajo o retirarse y tratarlo para su uso posterior.

Existen algunos riesgos en la recuperación de gases refrigerantes, de manera que el proceso debe vigilarse con cuidado.

³⁷ "Recuperación, reciclaje y regeneración", Capítulo 4, *Manual Buenas Prácticas*, PNUMA

Los posibles contaminantes son los ácidos, la humedad, los residuos debidos a altas temperaturas y partículas. Incluso si los niveles de contaminación son bajos, pueden disminuir la vida útil de un sistema de refrigeración; por lo cual, se recomienda que el producto recuperado se verifique antes de ser reutilizado.

El refrigerante proveniente de una unidad cuyo compresor hermético se haya quemado puede reciclarse si se ha recuperado con una unidad que tenga filtros incorporados, un separador de aceite y no presente evidencia de acidez.

Para verificar el contenido de ácidos en el aceite es necesario realizar un pequeño control (prueba de acidez). El proceso es muy sencillo: se llena el frasco de verificación con el aceite por controlar y se mezcla con el reactivo. Si el color que adquiere la mezcla es púrpura, el aceite no está contaminado.

Por el contrario, un color amarillo indica la presencia de ácido en el aceite, lo que implica que la mezcla aceite-refrigerante no puede volver a usarse.

Por último, estos sistemas de recuperación y reciclaje hacen viable la reutilización de refrigerantes reciclados o recuperados, de manera que contribuyan a reducir el uso de HCFC y permitan que los equipos que operan con HCFC sigan funcionando hasta el final de su vida útil.

Capítulo 6

Prospectos del futuro de la refrigeración, del aire acondicionado y de los gases refrigerantes

¿Qué impide el uso generalizado de los refrigerantes naturales y de los refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global?

Existen dos factores clave: la inflamabilidad y la toxicidad que presentan. A continuación, se revisará el marco legal de los Estados Unidos de América y de la Comunidad Europea para tener una referencia de hacia dónde se direccionará el futuro de los refrigerantes.

6.1 BIÓXIDO DE CARBONO

6.1.1 Estados Unidos de América

El bióxido de carbono (CO_2) es considerado un gas de baja toxicidad y no inflamable. El Estándar 34 de ASHRAE lo clasifica como refrigerante A1; esto le ayuda a no someterse a las regulaciones de toxicidad y de inflamabilidad. Cuando se usa el CO_2 en un sistema transcrito, trabaja en un rango de presiones tan elevado que debe contar con un sistema de respaldo para el control de altas presiones.

Capítulo 6

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

Tabla 19. Regulaciones que enfrentan los refrigerantes naturales y los refrigerantes HFO

EU					
Refrigerantes					
Dióxido de Carbono	P	D			
Amoniaco	P		R		
Hidrocarburos	P	D		P, D	
A2L	P	D		P, D	
Unión Europea					
	Directriz de equipos presurizados				EN378
Dióxido de Carbono	D, R				
Amoniaco	D, R	D			
Hidrocarburos	D, R	D	D	D	P, D
A2L	D, R	D	D	D	P, D

P – Prohibido el uso de ciertos tipos de refrigerantes en ciertas aplicaciones

D – Implicaciones de diseño, como limitaciones en la cantidad de la carga de gas

R – Debe de cumplir con requisitos y documentación adicional que garantice la seguridad

A2L – Refrigerantes como el HFO y otros

Los estándares de seguridad requieren elevados factores mecánicos de protección, los cuales representan otra barrera. Por ejemplo, la certificación Underwriters Laboratories (UL), concretamente el Estándar 984, requiere que los factores de protección sean tan elevados como cinco veces la presión de diseño, lo que hace que los diseños sean muy costosos o que vuelvan el proyecto inviable, debido a que requiere que las paredes de las tuberías tengan un espesor muy grueso. Los cambios que ha tenido la UL 471 y el estándar 15-2010 de ASHRAE han abordado esta cuestión mediante la reducción de los factores de seguridad requeridos por el CO₂ utilizado en los sistemas secundarios.

6.1.2 Comunidad Europea

En la Comunidad Europea, el uso del CO₂ está regulado por la Directriz del Equipo Presurizado (PED, por sus siglas en inglés). La PED clasifica los equipos tomando como referencia su presión y volumen. Debido a las elevadas presiones de trabajo del CO₂, los sistemas son sujetos de enviar reportes adicionales y evaluaciones de seguridad. Si bien éstos no son obstáculos difíciles de vencer, han disuadido a algunos fabricantes de invertir en esta tecnología. Hasta aquí no existe otra barrera que impida la adopción del CO₂ como gas refrigerante. En la **Tabla 19** se presentan las principales regulaciones que existen para el uso de refrigerantes naturales y de los HFO.

6.2 HIDROCARBUROS

6.2.1 Estados Unidos de América

El propano y el isobutano son refrigerantes hidrocarburos que se utilizan actualmente. Estos refrigerantes enfrentan restricciones de uso debido a su elevado nivel de inflamabilidad. Los refrigerantes hidrocarburos están clasificados en el nivel A3 por el Estándar 34-2010 de ASHRAE. La principal preocupación es que, de presentarse una fuga en el sistema, se presentaría una ignición del gas subsecuente. Como consecuencia, los refrigerantes inflamables tienen regulaciones adicionales de seguridad: fugas y extinción de flama. Los estándares UL permiten el uso de pequeñas cantidades de los refrigerantes hidrocarburos en algunas aplicaciones, pero limitan la cantidad de la carga. La UL 250 establece 57 g (gramos) como límite de carga para refrigeradores domésticos y la UL 471 establece 150 g como límite de carga para los refrigeradores comerciales (botelleros, vitrinas, etc.). Aún se tiene la incertidumbre acerca de cómo medir el riesgo aceptable de seguridad por fugas. Un cambio propuesto a la UL 250 podría establecer un control estricto, que limitaría la cantidad de la carga, sin tener en cuenta las medidas de protección en los

eventos de fuga. En diciembre de 2011, la EPA aprobó el uso del R-290, el R-600a y del R-441A para utilizarse en sistemas de refrigeración o de congelación nuevos; sin embargo, sigue sin aprobarse su uso como refrigerantes de sustitución directa.

6.2.2 Comunidad Europea

Las regulaciones para el uso de los refrigerantes hidrocarburos en la Unión Europea son menos restrictivas comparadas con las de Estados Unidos de América. El nivel de seguridad con el que se ha evaluado su uso se basa en la cantidad de la carga del gas refrigerante y los requerimientos de seguridad para cada aplicación, permitiendo que los refrigerantes hidrocarburos se utilicen casi en todas las aplicaciones.

El estándar EN 378 tiene requerimientos muy estrictos que pueden representar una barrera para el empleo de refrigerantes hidrocarburos para uso residencial y en equipos de aire acondicionado de capacidad comercial. Estas restricciones, particularmente, afectan a los equipos autosoportados de piso, ya que tienen severas limitaciones relacionadas con la carga de gas que pueden contener; los estándares son menos restrictivos con las unidades de techo.

Los estándares de la IEC establecen claramente como carga universal máxima 150 g para los sistemas comerciales y domésticos de refrigeración. Este límite impide su uso en los sistemas de refrigeración comercial que sean de mayor tamaño.

La PED³⁸ impone límites de volumen y de presión mucho más estrictos cuando se trata de un refrigerante inflamable o tóxico. Se requiere el envío de documentación y de evaluaciones de seguridad adicionales por parte de los fabricantes que diseñen o utilicen algún refrigerante hidrocarburo.

³⁸ Pressure Equipment Directive, norma utilizada en la Unión Europea.

6.3 REFRIGERANTES HFO, CLASIFICACIÓN A2L

6.3.1 Estados Unidos de América

El Estándar 34-2010 contiene una nueva clasificación de seguridad A2L. Esta clasificación indica que el gas presenta menor inflamabilidad, con una velocidad máxima de combustión de 10 cm/s. Una de sus características es que su vida atmosférica es de apenas 11 días. En la actualidad, están en desarrollo los sustitutos en la molécula HFO de los gases refrigerantes HFC actuales. Debido a que se consideran gases refrigerantes de inflamabilidad moderada A2, enfrentan una serie de restricciones; sin embargo, el R-1234yf ya cuenta con la aprobación del programa SNAP EPA. Este HFO también se encuentra incluido en la norma SAE J639, con lo que queda aprobado su uso para el sector automotriz.

Tabla 20. Refrigerantes HFO³⁹

Refrigerante actual	Serie N (moderado PCG) (A1)	Serie L (bajo PCG) (A2L)
R-404A PCG = 3260	HFO – PCG ~ 1300 (Retrofit) N ~ 40 HFO - PCG ~ 1000 (Equipo nuevo) N ~ 20	HFO – PCG ~ 200 - 300 L - 40
HCFC-22 PCG = 1810	HFO – PCG ~ 1000 N - 20	HFO - PCG < 150 L - 20
HFC-134a PCG =1430	HFO - PCG ~ 600 N - 13	HFO-1234yf PCG = 4 HFO-1234ze PCG = 6
R-410A PCG = 2088		HFO - PCG < 500 L - 41

³⁹ Spatz, Mark, "Opciones de Refrigerantes con bajo Potencial de Calentamiento Global para unidades de Aire Acondicionado y Bombas de Calor", Líder Global de Tecnología Refrigerante. Fluoroproductos Honeywell. 2011 ASHRAE. Enero 2011.

6.3.2 Comunidad Europea

El Estándar EN 378 no tiene considerados mayores cambios en los niveles de carga de gas refrigerante para incorporar el uso de los refrigerantes A2L. Los estándares de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por sus siglas en inglés) pueden representar un obstáculo para que los refrigerantes A2L se utilicen en sistemas de refrigeración de gran tamaño. Estos estándares limitan a 225 g el uso de refrigerantes A2L en equipos de refrigeración; pueden prohibir el uso de los refrigerantes A2L en sistemas grandes de refrigeración.

Los equipos de refrigeración de grandes dimensiones que usen refrigerantes A2L pueden caer dentro del ámbito de la PED⁴⁰ que limita el volumen y el nivel de presión cuando se trata de un refrigerante inflamable o tóxico. Se requiere el envío de documentación y de evaluaciones de seguridad adicionales por parte de los fabricantes que diseñen equipos que vayan a usar un refrigerante A2L.

Los datos aquí ofrecidos son los más recientes a los que se tuvo acceso. Se recomienda ampliamente que las referencias citadas se consulten periódicamente para estar al tanto de las actualizaciones a los estándares mencionados.

⁴⁰ Pressure Equipment Directive, norma utilizada en la Unión Europea.

GLOSARIO

- **Agotamiento de la capa de ozono**

Proceso mediante el cual las moléculas de ozono estratosférico son destruidas por los productos químicos fabricados por el hombre, llevando a una reducción en su concentración.

- **Ajustes**

Los ajustes son los cambios que se le hacen al Protocolo de Montreal, en cuanto a los calendarios de eliminación de las sustancias controladas existentes y en cuanto a los valores de PAO (Potencial de Agotamiento del Ozono) de sustancias controladas, con base en los resultados de las nuevas investigaciones. Los ajustes son automáticamente obligatorios para todos los países que hayan ratificado el Protocolo o la enmienda pertinente que introdujo la sustancia controlada. Los ajustes pueden cambiar el texto del Protocolo. Además, las partes también pueden tomar decisiones que no cambien el texto del Protocolo, sino que lo interpreten.

- **Ajuste de Viena**

Se refiere a los ajustes acordados en la Séptima Reunión de las Partes, en cuanto a los HCFC y al bromuro de metilo. Se encaró el problema del incumplimiento y se aceleraron levemente los calendarios de eliminación de HCFC.

- **AHRI (Air Conditioning Heating and Refrigeration Institute)**

Instituto que otorga una certificación a quienes fabrican productos utilizados en la refrigeración y el aire acondicionado, que les permite vender en los Estados Unidos de América.

- **Asignación de los colores AHRI**

La Directriz N del AHRI es una medida voluntaria que la industria emplea para asignar colores de manera uniforme a los recipientes que se emplean para el almacenamiento de refrigerantes nuevos o regenerados, que satisfacen las especificaciones de pureza de la Norma 700 del AHRI.

- **Azeótropo**

Mezcla que hierve a una temperatura constante. Mezcla única, de dos o más sustancias químicas, que destila a una cierta temperatura constante y tiene una composición constante a una presión determinada. Un azeótropo se comporta como un fluido puro.

- **Bromuro de Metilo**

Sustancia química compuesta por carbono, hidrógeno y bromo, que se utiliza principalmente como plaguicida y fumigante agrícola. El bromuro de metilo tiene un PAO elevado.

- **Calentamiento global de la atmósfera**

El calentamiento global de la atmósfera y el cambio climático son producidos por la emisión de gases efecto invernadero que atrapan el calor que sale de la Tierra, haciendo que la temperatura de la atmósfera aumente. Los gases de efecto invernadero incluyen dióxido de carbono, metano, CFC, HCFC y halones. El potencial de calentamiento global de la atmósfera (PCG) es la contribución de cada uno de los gases de efecto invernadero al calentamiento global de la atmósfera, relativa a la del dióxido de carbono, cuyo PCG por definición tiene el valor 1. Normalmente se refiere a un intervalo de tiempo de 100 años (PCG 100).

- **Capa de Ozono**

Término empleado para describir la presencia de moléculas de ozono dispersas en la estratosfera (ver este término). La capa de ozono actúa como filtro de la radiación ultravioleta (UV), procedente del sol y protege la vida en la Tierra de los efectos nocivos que produce la exposición prolongada a dichos rayos.

- **Cataratas**

Daño en los ojos, en donde el cristalino se encuentra parcial o totalmente nublado, atrofiando la visión y algunas veces causando ceguera. La exposición a las radiaciones ultravioleta puede ocasionar este mal.

- **Clorofluorocarbono CFC**

Familia de sustancias químicas orgánicas compuesta por cloro, flúor y carbono. Estas sustancias completamente halogenadas se usan comúnmente en refrigeración, espumados, aerosoles, esterilizantes, solventes de limpieza y en una variedad de aplicaciones. Los CFC tienen el potencial de destruir las moléculas de ozono en la estratósfera y son una de las principales causas del agotamiento de la capa de ozono.

- **Convenio de Viena**

Acuerdo internacional alcanzado en 1985 para proveer el marco de trabajo para las actividades globales, con el fin de proteger la capa de ozono estratosférica. Este convenio se implementa a través del Protocolo de Montreal.

- **Limpieza por Detergencia**

Es la remoción de un material no deseado de un substrato sumergido en cierto medio, generalmente con el uso de una fuerza mecánica y en presencia de una sustancia química que puede reducir la adherencia del material no deseado al sustrato. Se termina el proceso cuando el material indeseado se mantiene en suspensión sin adherirse de nueva cuenta.

- **Enmienda**

Las enmiendas son cambios importantes que se le hacen al Protocolo, como por ejemplo el agregado de nuevas sustancias a la lista de sustancias controladas o nuevas obligaciones. Las partes no están vinculadas por estos cambios al Protocolo hasta que se ratifiquen las enmiendas en cuestión. Deben ratificarse en el orden cronológico en que se acordaron. Los países que no han ratificado una cierta enmienda, son considerados como países que no forman parte en cuanto a las nuevas sustancias u obligaciones introducidas por dicha enmienda.

- **Enmienda de Beijing**

Se refiere a la enmienda acordada por la Decimoprimer Reunión de las Partes que introdujo controles en la producción de HCFC, al bromoclorometano como sustancia controlada y la presentación de datos sobre el bromuro de metilo, usado en aplicaciones exentas para cuarentena y preembarque.

- **Enmienda de Copenhague**

Se refiere a la enmienda acordada por la Cuarta Reunión de las Partes, en el Protocolo de Montreal, celebrada en Copenhague en 1992, mediante la cual se agregaron medidas de control para las sustancias enumeradas en los Anexos C y E. En esta reunión también se aceleraron los calendarios de eliminación para las sustancias enumeradas en los Anexos A y B.

- **Enmienda de Londres**

Se refiere a la enmienda acordada por la Segunda Reunión de las Partes, por medio de la cual se agregaron controles para las sustancias enumeradas en el Anexo B. En esta reunión se aceleraron los calendarios de eliminación para las sustancias enumeradas en el Anexo A y se estableció el Fondo Multilateral Interino para ayudar a los países en desarrollo en sus esfuerzos para eliminar las SAO.

- **Enmienda de Montreal**

Se refiere a la enmienda acordada por la Novena Reunión de las Partes en Montreal, por medio de la cual, entre otras cosas, se introdujo el requisito de establecer sistemas de licencia de importación y exportación. En la misma reunión, se aceleraron los calendarios de eliminación para el bromuro de metilo.

- **Estratósfera**

Región de la atmósfera superior, ubicada entre la tropósfera y la mesósfera, que se extiende desde los 10 a los 20 km por encima de la superficie de la Tierra y continúa hasta una altura aproximada de 40 a 50 km.

- **Gas de efecto invernadero (GEI)**

Gas que atrapa el calor en la atmósfera de la Tierra, contribuyendo al calentamiento global del planeta.

- **Halón**

Sustancia química bromada, relacionada con los CFC, que se emplea para extinguir incendios y tiene un PAO muy alto.

- **Hidrobromofluorocarbono (HBFC)**

Familia de sustancias químicas hidrogenadas relacionadas con los halones, pero con un PAO inferior.

- **Hidrocarburos**

Compuesto químico que consta de uno o más átomos de carbono, rodeados solamente por átomos de hidrógeno. Son ejemplos de hidrocarburos el propano (C_3H_8 , HC-290), el propileno (C_3H_6 , HC-1270) y el butano (C_4H_{10} , HC-600). Los HC se usan comúnmente para sustituir a los CFC que se emplean como propulsores de productos en aerosol y en mezclas de refrigerantes. Los hidrocarburos tienen un PAO cero. Los hidrocarburos son compuestos orgánicos volátiles, y en algunas áreas su uso puede estar restringido o prohibido. Aunque se emplean como refrigerantes, la alta inflamabilidad que los caracteriza normalmente limita su uso, empleándose como componentes de baja concentración en mezclas de refrigerantes.

- **Hidrocarburo completamente halogenado**

Compuesto químico que consta de uno o más átomos de carbono, rodeados sólo por halógenos. Unos ejemplos de hidrocarburos completamente halogenados son todas las sustancias controladas en los Grupos 1 y 2 de los Anexos A y B del Protocolo de Montreal.

- **Hidroclorofluorocarbono (HCFC)**

Familia de sustancias químicas hidrogenadas relacionadas con los CFC, que contienen hidrógeno, así como cloro, flúor y carbono. El hidrógeno que contienen hace que su vida en la atmósfera se reduzca, con lo que, a largo plazo, resultan menos nocivos que los CFC.

- **Hidrofluorocarbono (HFC)**

Familia de sustancias químicas hidrogenadas relacionadas con los CFC, que contienen hidrógeno, así como flúor y carbono, pero no cloro; por consiguiente, no agotan la capa de ozono.

- **Molécula de ozono**

Molécula que contiene tres átomos de oxígeno y cuya presencia en la estratosfera constituye la capa de ozono.

- **Número ASHRAE**

El número ASHRAE se aplica a los refrigerantes y se define en el Estándar ASHRAE 34 sobre "Designación de número y clasificación de los refrigerantes de acuerdo a la seguridad" (Number Designation and Safety Classification of Refrigerants). La designación de los números para refrigerantes hidrocarburos e hidrocarburos halogenados es sistemática, y permite la determinación de la composición química de los compuestos a partir de los números del refrigerante.

- **Número CAS**

El número de registro CAS (No. CAS) es un número asignado por el Chemical Abstracts Service de Estados Unidos de América para identificar una sustancia química. El número CAS es específico para sustancias químicas simples y para algunas mezclas. Contiene de 5 a 9 dígitos que están separados en tres grupos mediante guiones. Por ejemplo, el No. CAS para el CFC-12 es 75-71-8.

- **Número UN (United Nations)**

El número de identificación de sustancia de las Naciones Unidas (número UN) es estándar a nivel internacional. Contiene cuatro dígitos que identifican una sustancia química específica o un grupo de sustancias químicas, por ejemplo, el número UN del CFC-12 es 1028.

- **ONUDI**

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.

- **Ozono superficial o troposférico**

La polución fotoquímica y las emisiones de los automóviles y de la industria proveen la base para las reacciones fotoquímicas. Produce un efecto adverso en la salud de los seres humanos y en el medioambiente.

- **Países que operan al amparo del artículo 5**

Países en desarrollo, que son Partes en el Protocolo de Montreal, cuyo nivel anual de consumo calculado es menor que 0.3 kg per capita para las sustancias en el Anexo A, y menor que 0.2 kg per capita para las sustancias controladas en el Anexo B. En comparación con el calendario de eliminación correspondiente a los países desarrollados, estos países tienen permitido un periodo de gracia de 10 años para la mayoría de las sustancias.

- **País que no es Parte**

Todo país cuyo Gobierno no ha ratificado, aceptado, ni aprobado el Protocolo de Montreal, o que no se ha adherido a éste o a una o más de sus enmiendas específicas, no se considera Parte en el Protocolo o en esa enmienda en particular.

- **País que no opera al amparo del artículo 5 o que opera al amparo del artículo 2**

Todas las otras Partes en el Protocolo de Montreal que no operan al amparo del artículo 5 (mayormente países desarrollados).

- **Parte**

País que ha firmado y ratificado el Protocolo de Montreal y sus Enmiendas. En la práctica, que un país sea Parte en el Protocolo de Montreal significa que no sólo es Parte en dicho Protocolo, sino en cada una de las enmiendas que ha ratificado. En consecuencia, un país puede ser Parte en el Protocolo de Montreal, pero no ser Parte en una de sus enmiendas particulares.

- **Potencial de Agotamiento del Ozono (PAO)**

Medida de la capacidad que posee una sustancia para destruir el ozono estratosférico, que se basa en su duración en la atmósfera, estabilidad, reactividad y contenido de elementos que pueden atacar al ozono, como cloro y bromo. Todo los PAO se basan en una medida de referencia, que es 1 para el CFC-11.

- **Potencial de Calentamiento Global (PCG)**

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 1kg de R-134a es equivalente a la emisión de 1300kg de CO₂.

- **Protocolo de Montreal (PM)**

Protocolo del Convenio de Viena, firmado en 1987, en el que las Partes se comprometen a tomar medidas concretas para proteger la capa de ozono mediante el congelamiento, reducción y eliminación de la producción y el consumo de sustancias controladas.

- **Presión Crítica**

Es la presión más baja a la cual un gas puede existir en el estado líquido a su temperatura crítica, o sea, la presión de saturación a la temperatura crítica.

- **Radiación ultravioleta**

Radiación procedente del sol con longitudes de onda comprendidas entre la luz visible y los rayos X. UV-B (280-320 nanómetros) es una de las tres bandas de radiación UV y el aumento en la exposición a la radiación UV-B puede perjudicar la salud de los seres humanos y el medioambiente.

- **Reciclar gas refrigerante**

Reducción de los contaminantes en los refrigerantes usados, mediante la separación de aceite, la extracción de condensables y la utilización de filtros secadores para reducir humedad, acidez y todo material presente en forma de partículas (definición ISO 11650).

- **Recuperación de gas refrigerante**

Extracción de un refrigerante, en el estado físico en que se encuentre en un sistema (vapor, líquido o mezclado con otras sustancias), para almacenarlo en un recipiente externo (definición ISO 11650).

- **Regeneración de gas refrigerante**

Reprocesamiento de un refrigerante usado, de modo que el producto obtenido cumpla con las especificaciones de uno nuevo. Se requiere un análisis químico para determinar que el refrigerante cumple con las especificaciones adecuadas. La identificación de contaminantes y el análisis requerido se deben especificar en las normas nacionales o internacionales, relativas a las especificaciones para productos nuevos.

- **Retroadaptación o retrofit**

Proceso por el que se remplazan los refrigerantes CFC y HCFC con refrigerantes que no agotan la capa de ozono, en equipos de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor existentes. Este procedimiento requiere modificaciones, como cambio de lubricante, del dispositivo de expansión o del compresor. Los refrigerantes sustitutos que se agregan directamente no requieren cambios.

- **Sustancia que agota la capa de ozono (SAO)**

Toda sustancia controlada conforme al Protocolo de Montreal y sus Enmiendas. Las SAO incluyen CFC, HCFC, halones, tetracloruro de carbono, metilcloroformo, hidrobromofluorocarbonos, bromoclorometano y bromuro de metilo. Las SAOs tienen un potencial de agotamiento del ozono mayor que 0 y pueden agotar la capa de ozono estratosférica.

- **TEAP**

Technical and Economical Assessment Panel. Panel de Evaluación Técnica y Económica.

- **Temperatura Crítica**

Es la temperatura más alta que puede tener un gas sin lograr su condensación.

- **UNEP**

United Nations Environment Program.
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

- **UPO-SEMARNAT**

Unidad de Protección a la Capa de Ozono-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

ANEXOS

SANCIONES PENALES

A continuación se transcribe una parte de las reformas al Código Penal, donde se mencionan a las sustancias agotadoras de la capa de ozono, publicadas en el *Diario Oficial de la Federación* el miércoles 6 de febrero de 2002. Quien esté interesado puede consultar el texto completo en dicho diario, ya que contiene otras disposiciones y sanciones por daños a los ecosistemas, áreas naturales protegidas o al ambiente, conforme se prevé en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

DECRETO POR EL QUE SE REFORMAN Y ADICIONAN DIVERSAS DISPOSICIONES DE LOS CÓDIGOS PENAL FEDERAL Y FEDERAL DE PROCEDIMIENTOS PENALES

TÍTULO VIGÉSIMO QUINTO Delitos Contra el Ambiente y la Gestión Ambiental

CAPÍTULO PRIMERO De las actividades tecnológicas y peligrosas

Artículo 414. Se impondrá pena de uno a nueve años de prisión y de trescientos a tres mil días de multa al que ilícitamente, o sin aplicar las medidas de prevención o seguridad, realice actividades de producción, almacenamiento, tráfico, importación o exportación, transporte, abandono, desecho, descarga, o realice cualquier otra actividad con sustancias consideradas peligrosas por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, radioactivas u otras análogas, lo ordene o autorice, que cause un daño a los recursos naturales, a la flora, a la fauna, a los ecosistemas, a la calidad del agua, al suelo, al subsuelo o al ambiente.

La misma pena se aplicará a quien ilícitamente realice las conductas con las sustancias enunciadas en el párrafo anterior, o con sustancias agotadoras de la capa de ozono y cause un riesgo de daño a los recursos naturales, a la flora, a la fauna, a los ecosistemas, a la calidad del agua o al ambiente.

En el caso de que las actividades a que se refieren los párrafos anteriores se lleven a cabo en un área natural protegida, la pena de prisión se incrementará hasta en tres años y la pena económica hasta en mil días de multa, a excepción de las actividades realizadas con sustancias agotadoras de la capa de ozono.

Cuando las conductas a las que se hace referencia en los párrafos primero y segundo de este artículo se lleven a cabo en zonas urbanas con aceites gastados o sustancias agotadoras de la capa de ozono en cantidades que no excedan 200 litros, o con residuos considerados peligrosos por sus características biológico-infecciosas, se aplicará hasta la mitad de la pena prevista en este artículo, salvo que se trate de conductas repetidas con cantidades menores a las señaladas, cuando superen dicha cantidad.

FLUIDOS REFRIGERANTES DE TRANSICIÓN PARA REEMPLAZAR A LOS HCFC

En las tablas 21 a 23 se listan los sustitutos de transición para reemplazar a los HCFC en equipos de refrigeración y aire acondicionado.

Tabla 21. Presión-Temperatura refrigerantes de transición alternativos al R-22

TEMP °F	TEMP °C	Presión (PSIG)				
		22	422A	422B	422C	422D
-40	-40.0	0.6	3.1	0.9	2.2	2.4
-30	-34.0	4.9	8.3	5.4	7.1	7.1
-20	-28.0	10.2	14.6	10.7	13.2	12.9
-10	-23.0	16.5	22.1	17.1	20.4	19.8
0	-18.0	24.0	30.9	24.7	29.0	27.9
10	-12.2	32.8	41.4	33.6	39.1	37.5
20	-9.0	43.1	53.5	43.9	50.8	48.5
30	-1.0	56.8	67.5	55.9	64.4	61.3
40	4.4	68.6	83.5	69.6	80.1	75.9
50	10.0	84.1	107.3	85.3	97.9	92.6
60	15.6	101.6	128.4	103.0	125.4	111.4
70	21.1	121.4	152.1	123.0	148.7	132.6
80	26.7	143.6	178.6	145.4	174.7	156.3
90	32.2	168.4	208.1	170.4	203.7	182.8
100	37.8	195.9	240.9	198.2	253.9	212.2
110	43.3	226.4	277.1	229.0	271.5	244.7
120	48.9	260.0	317.1	263.1	310.8	280.7
130	54.4	296.9	361.2	300.6	354.1	320.2
140	60.0	337.4	409.7	341.8	401.8	363.7
150	65.6	381.7	463.2	387.1	454.2	411.4

Tabla 22. Presión-Temperatura refrigerantes de transición alternativos al R-22

TEMP	TEMP		(líq.)	(vap.)	(líq.)	(vap.)
°F	°C	22	407A	407A	407F	407F
-40	-40	0.5	3.9	1	4.9	0.4
-35	-37.2	2.6	6.4	1	7.5	1.9
-30	-34.4	4.9	9.2	3.3	1.8	10.4
-25	-31.7	7.4	12.2	5.8	13.6	6.8
-20	-28.9	10.1	15.6	8.5	17.1	9.7
-15	-26.1	13.2	19.2	11.5	20.9	12.9
-10	-23.3	16.5	23.2	14.9	25.1	16.4
-5	-20.6	20.1	27.5	18.5	29.6	20.2
0	-17.8	24	32.2	22.5	34.5	24.4
5	-15	28.2	37.3	26.9	23.6	39.8
10	-12.2	32.8	42.8	31.6	45.6	33.9
15	-9.4	37.7	48.7	36.7	51.8	39.3
20	-6.7	43	55.1	42.3	58.5	45.1
25	-3.9	48.8	62	48.3	65.6	51.4
30	-1.1	54.9	69.3	54.8	73.3	58.2
35	1.7	61.5	77.2	61.8	81.6	65.5
40	4.4	68.5	85.6	69.4	90.4	73.4
45	7.2	76	94.6	77.4	99.7	81.8
50	10	84	104	86.1	109.7	90.8
55	12.8	92.6	114	95.3	120.4	100.5
60	15.6	102	125	105	131.7	110.8
65	18.3	111	137	116	143.7	121.8
70	21.1	121	149	127	156.4	133.5
75	23.9	132	162	139	169.9	146
80	26.7	144	175	152	184.1	159.2
85	29.4	156	190	165	199.1	173.3
90	32.2	168	205	179	215	188.2
95	35	182	221	194	231.7	203.9
100	37.8	196	238	210	249.3	220.6
105	40.6	211	255	227	267.8	238.3
110	43.3	226	274	245	287.2	256.9
115	46.1	243	293	264	307.6	276.6
120	48.9	260	314	284	329	297.4
125	51.7	278	335	305	351.5	319.3
130	54.4	297	358	327	375	342.4
135	57.2	317	382	350	399	366.8
140	60	337	406	375	425.4	392.4
145	62.8	359	432	401	452.4	419.5
150	65.6	382	459	428	480.6	448

Tabla 23. Presión-Temperatura refrigerantes de transición alternativos al R-22

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

- ASHRAE.-** American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers / Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado
- ATM (atm).-** Atmósferas
- BAR-A (bar-a).-** bar absoluto
- BTU.-** British Thermal Units / Unidades Térmicas Británicas.
- CFC.-** Clorofluorocarbono.
- CO₂.-** Bióxido de Carbono.
- EN 345.-** European Standard 345 / Norma Europea 378 para calzado de seguridad
- EN 378.-** European Standard 378 / Norma Europea 378, establece las normas de seguridad en un sistema de refrigeración.
- EPA.-** Environmental Protection Agency / Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.
- FMI.-** Food Market Institute / Instituto de alimentos para los Supermercados
- HC.-** Hidrocarburo.
- HCFC.-** Hidroclorofluorocarbono.
- HFC.-** Hidrofluorocarbono.
- IEC.-** International Electrotechnical Commission / Comisión Internacional Electrotécnica.
- IPPC.-** Intergovernmental Panel of Climate Change / Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
- Kcal.-** Kilocalorías / Mil calorías.
- LFL.-** Low Flamable Limit / Limite Inferior de Inflamabilidad.
- Mpa.-** Mega Pascales.
- ONUDI.-** Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.

- PAO.-** Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono.
- PCG.-** Potencial de Calentamiento Global.
- PED.-** Pressure Equipment Directive / Directiva de Equipos a Presión.
- POE.-** Polioléster (Lubricante).
- Psi.-** Pounds square inch / Libras por pulgada cuadrada
- Psia.-** Pounds square inch absolute / Libras por pulgada cuadrada absoluta
- PSIG (Psig).-** Pound Square Inch Gauge / Pulgadas por libra cuadrada manométrica.
- PVE.-** Polivinil Éter (Lubricante).
- SAE J639.-** Society of Automotive Engineers Standard J639 / Norma J639 de la Sociedad de Ingenieros Automotrices.
- SEMARNAT.-** Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SNAP.-** Significant New Alternatives Policy / Políticas Significativas de Nuevas Alternativas.
- TEWI.-** Total Equivalent Warming Impact / Evaluación del Impacto Ambiental Total durante la vida útil de un equipo de refrigeración, en Masa Equivalente de CO₂
- TLV.-** Threshold Limit Value / Valor Limite Umbral
- TR.-** Tonelada de Refrigeración (12000 BTU's ó 3024 Kcal)
- TWA.-** Time Weighted Average / Tiempo Ponderado Promedio
- UV-A.-** Rayos Ultravioleta tipo A
- UV-B.-** Rayos Ultravioleta tipo B
- UV-C.-** Rayos Ultravioleta tipo C
- VTE.-** Válvula Termostática de Expansión

AGRADECIMIENTOS

La Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, SEMARNAT, agradece a los expertos e instituciones que participaron en la elaboración del presente manual. Con sus valiosas aportaciones y recomendaciones se concluyó este manual que contiene los temas técnico-ambientales y procedimientos que ayudarán a todos los técnicos y profesionistas del sector a actualizar sus conocimientos y aplicar las mejores prácticas en la limpieza de equipos de refrigeración y aire acondicionado, así como en la sustitución de los gases refrigerantes hidroclorofluorocarbonados (HCFC).

Por lo que extendemos nuestro reconocimiento y agradecimiento a:

Ing. Gildardo Yáñez, Gerente técnico del Grupo Refrigerantes.

Akos Koeszegvary, Gerente de Programas de la División de Acuerdos Multilaterales Ambientales, ONUDI.

Lic. Agustín Sánchez Guevara, Coordinador de la Unidad de Protección a la Capa de Ozono (UPO), SEMARNAT.

Ing. Martín Salas Martínez, Coordinador del Plan Nacional de Eliminación de Hidroclorofluorocarbonos (UPO), SEMARNAT.

Ing. Karina Páez González, Asesora de proyectos de la Unidad de Protección a la Capa de Ozono (UPO), SEMARNAT.

Ing. Gerardo Minutti Piloni, Docente de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), Azcapotzalco, del Instituto Politécnico Nacional.

Ing. David Murillo, Asesor de Servicio Técnico del fabricante de gases refrigerantes Quimobásicos, S.A. de C.V.

Ing. Marco Antonio Calderón, Experto en la elaboración de refrigerantes y sus aplicaciones.

Ing. Bulmaro Aranda Cervantes, Jefe del Departamento de Metal Mecánica del Instituto Tecnológico de León.

Ing. Luis Vázquez Gómez, Presidente de AHSRAE, Capítulo Ciudad de México, 2012-2013

Ing. Armando Cardoso, Líder del Comité de Membresías ASHRAE, Capítulo Ciudad de México, 2012-2013

Ing. Fernando Parra, Líder del Comité de Refrigeración ASHRAE, Capítulo Guadalajara, 2012-2013

Ing. Donald Hay, Integrante del Comité de Refrigeración de ASHRAE EU.

Ing. Enrique Villanueva, Gerente de Servicio en TECSIR

Ing. Ángel Lozano, Director en RER Internacional

Lic. Ulises Villarón, Diseñador Gráfico

Tec. Enrique Hernández, Electromecánico en RER Internacional

Dirección General de Educación Tecnológica Industrial (DGETI-SEP) y sus Centros de Bachillerato Tecnológicos Industrial y de Servicios (CBTIS) y los Centros de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios (CETIS).

Dirección General de Educación en Ciencia y Tecnología del Mar (DGECYTM-SEP) y sus Centros de Estudios Tecnológicos del Mar (CETMAR).

Editorial Puntual Media

Miguel Sánchez, Diseño

Olivia Chavira, Ilustradora

Antonio Nieto, Corrector de Estilo

Christopher García, Corrector de Estilo

Asimismo, externamos nuestro reconocimiento a los fabricantes, asociaciones y autores de las fuentes de información que se reprodujeron en el presente manual y que están mencionados en las referencias bibliográficas de los respectivos capítulos.

REFERENCIAS

Capítulo 1:

- “El clima está en nuestras manos”, Historia del Calentamiento Global, Cap. 22, *Historia del Ozono*, Tim Flannery, Editorial Taurus.
- Desarrollo Sustentable, El futuro es hoy, Carlos Muñoz, revista Ganar-Ganar, mayo/junio 2010
- Confrontando al melanoma en el siglo XXI, Rosa M^a Gutiérrez Vidrio, Norma Cortés Lozano, Centro Dermatológico del Valle de México, Distrito Federal.
- Preparación para la eliminación de los HCFC: Fundamentos de usos, alternativas, consecuencias y financiamiento para países. Artículo 5, Cap. 8, Refrigerantes, ONUDI, Viena 2009.
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers). Sustancias que agotan la capa de ozono. Artículo aprobado por el Consejo de Administración ASHRAE, 23 de enero 2008.
- Estándar No. 34, ASHRAE, 2010.
- Organización Meteorológica Mundial, el PNUMA, NOAA, NASA, Comisión Europea.
- Veinte preguntas y respuestas sobre la capa de ozono 2010, Evaluación científica del agotamiento del ozono: 2010, David W. Fahey, Michaela I. Hegglin., Pregunta 3, Páginas 8 y 9.

Capítulo 3:

- Emerson Climate México, “Refrigerantes”, Capítulo12, [En Red] Disponible en: <http://www.emersonclimatemexico.com/mt/mt_cap_12.pdf>.
- Refrigeración y Climatización. Catainfrí S.L. “Gases Refrigerantes- Guía del Frigorista” [En Red] Disponible en: <<http://www.canguret.com/incata/GB2010/12%20Gases%20Refrigerantes10.pdf>>
- Gas-Servei. “Ficha Técnica R-427A”, [En Red] Disponible en: <<http://www.gas-servei.com/docs/tecnicas/ref/R427A.pdf>>
- Poligaz. “Información Técnica: R-434A”. [En Red] Disponible en: <<http://www.poligaz.com/index.php/gases-refrigerantes/sustitutos-r-22/r-434a>>
- “Avanza la discusión sobre sustitución de HCFC y sobre destrucción de SAO”, Jorge Enrique Sánchez, Boletín Ozono, No.17, 2008. [En Red] Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/documentos/boletin_ozono_17.pdf>.

- “Recuperación de refrigerantes y limpieza de aceites en los circuitos frigoríficos”, Calor y frío, 2007. [En Red] Disponible en: <<http://www.caloryfrio.com/200712212543/aire-acondicionado/aire-acondicionado-centralizado/refrigerantes-limpieza-aceites-circuitos-frigorificos.html>>

Referencia de Gráficas 1, 2, 3, 4 y 5

- ASHRAE Handbook Fundamentals 2013

Referencias de 3.2.5

- Shecco Publications, “2012: Refrigerantes Naturales y su crecimiento en el Mercado Europeo”, 2012.
- “CO₂ en aplicaciones de refrigeración”. Achrnews. [En red] Disponible en: <<http://www.achrnews.com/articles/CO2-in-refrigeration-applications>>
- “El uso del CO₂ como refrigerante en centrales frigoríficas”. Pecomark [En red] Disponible en: <http://cerc.upc.es/documentos/master/forum/2007/Archivos%20Ponencias/CO2_en%20Centrales_Frigorificas_PECOMARK.pdf>
- “Refrigerantes Naturales”. [En red] Disponible en: <<http://www.gas2010.com/natural-refrigerants>>.
- “El Camino hacia los Refrigerantes Naturales en Dinamarca”. [En red] Disponible en: <<http://www.r744.com/knowledge/papersView/1170>>

Referencias de 3.3.2

- Proklima International, “Refrigerantes Natural”, 2008.
- “Amoniaco, Guía para la salud y la seguridad”, PISSQ [En red] Disponible en: <<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/eco/014421.pdf>>.

Referencias de 3.4.2

- GTZ Proklima: “Guía para el uso seguro de los hidrocarburos como refrigerantes”, 2008.
- GTZ Proklima International, “Refrigerantes Naturales”, 2008.

Referencias de 3.4.3

- Oficina Programa Ozono Argentina, Los hidrocarburos HCs como refrigerantes, Ingeniero Ricardo Otero, pagina 9, 2010

Capítulo 4:

- Sociedad de Ingenieros de Servicio de Refrigeración (RSES, por sus siglas en inglés). “Procedimiento estándar para la sustitución de los componentes en un sistema refrigerante sellado. (Falla de Compresor y Reemplazo)”, Revisado por Jhon Clark, CM. 630-49B Sección 15m SAM

- David R. Henderson, “Lubricación y Tribología”, Boletín ASHRAE, Febrero 2000, Págs. 52-56.
- ASHRAE. Proyecto de Investigación no. 1028-TRP: Método de prueba para la eliminación de ácidos orgánicos mediante adsorbentes usados en filtros secadores. Elaborado por Stephen L. Gunderson y Robert E. Kauffman, noviembre 2002, Universidad de Dayton. Instituto de Investigación, Dayton, Ohio.
- ASHRAE. Proyecto de Investigación no. 1074-R, Determinación de propiedades dieléctricas en refrigerantes. Elaborado por Andrew M. Gbur y John J. Byrne, diciembre, 2001, Columbus, Ohio.
- Sociedad de Ingenieros de Servicio de Refrigeración (RSES, por sus siglas en inglés). “La limpieza interior del serpentín interior (ventajas al usar un limpiador de bobina ras después de una quema de compresor o en la preparación de un refrigerante retrofit)”, Elaborado por Skip Symonds, Boletín Noviembre 1997.
- Sociedad de Ingenieros de Servicio de Refrigeración (RSES, por sus siglas en inglés). “Análisis y predicción en el fallo del motor del compresor (saber por qué los motores fallan y cómo predecir un servicio y reemplazo innecesario)”. Elaborado por Wesley Taylor CMS, Octubre 2001.
- “No trate a los actuales sistemas de refrigeración con técnicas del pasado (revise las opciones que hoy en día los técnicos de servicio enfrentan en los sistemas de refrigeración)”, Elaborado por Robert Scaringe, P.E., Phd
- ASHRAE Manual de Refrigeración 2010, Sistemas y Prácticas, Capítulo 6 (TC 3.2 Química del sistema de refrigeración); Capítulo 7 (TC 3.3 Control de contaminantes del refrigerante); Capítulo 8 (TC 8.1 Compresores de desplazamiento positivo); Capítulo 9 (TC 8.3 Almacenamiento de Refrigerante).
- Miller Rex and Mark R. Miller, “Refrigeración y Aire Acondicionado”, Capítulo 12 (Servicio y Seguridad), McGraw Hill.

Capítulo 6:

- Goetzler, William Et. Al. “Refrigerantes con ultra bajos potenciales de calentamiento global”, Boletín AHSRAE, Octubre 2010, págs. 34-43.
- Brown J.S., “HFOs: refrigerantes nuevos y con bajo potencial de calentamiento global”, Boletín AHSRAE, Agosto 2009, págs. 22-29.
- Taddonio, K, “Últimas barreras restantes”, EPA presentation, 2008. [En Red] Disponible en: <www.epa.gov/cppd/mac/6%20Taddonio.ppt>
- Cox, N., “Reemplazo de R-22 con hidrocarburos-experiencia práctica”, Presentado en Atmosphere 2009.

- Sanchez, Joe, “Refrigeración: Presente vs Futuro”, Manual de Sociedad de Ingenieros de Servicio de Refrigeración (RSES, por sus siglas en inglés), Marzo 2012, págs. 20-23.
- FMI-Conference, “Eliminación gradual del R-22, los costos de energía para el cambio en la industria de comestibles”, Boletín ASHRAE, Octubre 2008.
- Wasag, Brian, “Pronóstico acerca del futuro de los refrigerantes en fase de eliminación”, Manual de Sociedad de Ingenieros de Servicio de Refrigeración (RSES, por sus siglas en inglés), Septiembre 2011, págs. 18-22.
- Melchi, Jon y Talbot Gee, “Cambio y retiro futuro de las unidades de R-22”, Manual de Sociedad de Ingenieros de Servicio de Refrigeración (RSES, por sus siglas en inglés), Diciembre 2010.
- Ludwig, Mark, “The new economics of R-22”, Manual de Sociedad de Ingenieros de Servicio de Refrigeración (RSES, por sus siglas en inglés), Julio 2010, págs. 12-15.
- Rocke, Merle G., “Nuevas Tendencias en la tecnología sustentable de HVAC⁴¹”, Manual de Sociedad de Ingenieros de Servicio de Refrigeración (RSES, por sus siglas en inglés), Octubre 2010, págs. 26-30.
- ANSI/ASHRAE Estándar 15-2010, Normas de Seguridad para Sistemas de Refrigeración.
- ANSI/ASHRAE Estándar 34-2010, Designación y Clasificación de seguridad de los Refrigerantes.

⁴¹ Heating, Ventilation and Air Conditioning (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado)

Buenas Prácticas en el Uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos

Esta obra se terminó de imprimir en julio de 2014 con un tiraje de 4,000 ejemplares, más sobrantes de reposición en los talleres de:
LG DIGITAL, S.A. DE C.V., Trigo No. 219, Col. Valle Del Sur
C.P 09819, Iztapalapa, México, D.F.



Buenas Prácticas

en el Uso de Sustancias Alternativas
a los Hidroclorofluorocarbonos

SEMARNAT
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES

