

Uso SEGURO DE ALTERNATIVAS A LOS HCFC EN LA REFRIGERACIÓN Y EL AIRE ACONDICIONADO

Panorama general
para los países en
vías de desarrollo

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE



Copyright © Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2015

Está autorizada la reproducción total o parcial y de cualquier otra forma para fines educativos o sin fines de lucro, sin ningún otro permiso especial del titular de los derechos, a condición de que se indique la fuente de la que proviene. EL PNUMA agradecerá que se le remita un ejemplar de cualquier texto cuya fuente haya sido la presente publicación.

No está autorizado el empleo de esta publicación para su venta o para otros usos comerciales sin el permiso previo por escrito del PNUMA.

Advertencia

Las designaciones de entidades geográficas que figuran en este informe y la presentación de su material no denotan, de modo alguno, la opinión de la editorial o de las organizaciones contribuyentes con respecto a la situación jurídica de un país, territorio o zona, o de sus fronteras o límites.

El PNUMA promueve prácticas favorables al medio ambiente. La presente publicación está impresa en papel reciclado al 100%, y en ella se utilizan tintas de base vegetal y otras prácticas ecológicamente inocuas. Nuestra política de distribución procura reducir la huella de Carbono del PNUMA.

1 | Agradecimientos

El presente documento ha sido elaborado por el Programa Acción por el Ozono de la División de Tecnología, Industria y Economía del PNUMA (DTIE PNUMA) y forma parte del programa de trabajo del PNUMA bajo el Fondo Multilateral para la Aplicación del Protocolo de Montreal.

El proyecto contó con la supervisión de:

Dra. Shamila Nair-Bedouelle, Directora del Programa Acción por el Ozono, PNUMA

El proyecto contó con la dirección de:

Dr. Ezra Clark, Gestor de fomento de capacidades, Programa Acción por el Ozono, PNUMA

La investigación y redacción estuvieron a cargo de Daniel Colbourne, Re-phridge Ltd, Reino Unido

El Programa Acción por el Ozono del PNUMA reconoce con agradecimiento la revisión del texto y los comentarios de:

Asbjorn Vonsild, Danfoss

Nemanja Džinić, Consultor, Serbia

Pedro de Oliveira Serio, Heatcraft, Brasil

Atul Bagai, Coordinador Regional Senior, Asia meridional, Programa Acción por el Ozono del PNUMA

Halvart Koppen, Coordinador de la Red Regional, Europa y Asia Central, Programa Acción por el Ozono del PNUMA

Shaofeng Hu, Coordinador de la Red Regional, Asia Sudoriental, Programa Acción por el Ozono del PNUMA

Traducción/ Revisión de estilo: Marta Pizano, Consultora

Diagramación y diseño a cargo de Nathalie Lorient, UNOG

Imágenes de la portada: © Shutterstock

Créditos de las fotos: © Shutterstock salvo otra indicación

La inclusión de imágenes de equipos y herramientas en este folleto no implica el aval del PNUMA a las empresas o productos relacionados.

Resumen ejecutivo

A medida que avanza la eliminación de los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) en virtud del Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono, se espera en todo el mundo y en particular en los países en vías de desarrollo, una adopción significativa de “refrigerantes alternativos” tales como hidrocarburos, amoníaco, dióxido de carbono, hidrofluorocarbonos no saturados (HFC) -o HFO- y mezclas de HFO. Muchos de estos refrigerantes alternos presentan características especiales en lo que se refiere a su toxicidad, inflamabilidad y alta presión, que son distintas de aquellas de los refrigerantes más tradicionales como los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC). Es muy posible que los técnicos de mantenimiento no estén familiarizados con las propiedades de dichos refrigerantes alternos, de manera que al momento de instalar, reparar y desmantelar los equipos de refrigeración y aire acondicionado, es necesario evaluar y examinar detalladamente las medidas de seguridad. En resumen, es importante que los sectores de la refrigeración y el aire acondicionado se adapten a las características técnicas y de seguridad relacionadas con estos refrigerantes. La presente publicación ofrece una descripción general de las alternativas a

los HCFC, sus características generales y las situaciones en las cuales puede considerarse apropiada su utilización, teniendo en cuenta las implicaciones que en materia de seguridad conllevan estos refrigerantes.

Se suministra información específica sobre alternativas inflamables, de alta toxicidad y de presión elevada, que ayuda a comprender su correcta utilización así como las medidas a tener en cuenta para asegurar su uso seguro y adecuado.

La publicación está dirigida a las unidades nacionales de ozono y otras personas interesados de países en vías de desarrollo, y contiene sugerencias y orientaciones generales sobre la forma en que los oficiales de ozono pueden asesorar y asistir a los interesados nacionales. Puesto que actualmente se desaconseja utilizar alternativas inflamables, de mayor toxicidad o presión más alta en los sistemas existentes de HCFC, se hace énfasis en los nuevos sistemas,. Se examinan asimismo los requisitos y recomendaciones pertinentes del *Comité Ejecutivo del Fondo Multilateral para la Aplicación del Protocolo de Montreal*.

Índice

Agradecimientos	3
Resumen ejecutivo	4
Índice	5
Prólogo	6
1. Introducción	7
2. Panoramageneral de los refrigerantes	9
Enfoque del Protocolo de Montreal con respecto a las alternativas a los HCFC y los temas de seguridad	56
6. Orientación para las Unidades Nacionales de Ozono	59
7. Lecturas complementarias	63
Apéndice: Resumen de la información sobre refrigerantes	64

Prólogo

El 1 de enero de 2015 los países en vías de desarrollo alcanzaron el segundo hito significativo en la eliminación de los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), en virtud del Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono: la reducción del 10% en su producción y consumo. Debido a que muchas de las alternativas a los HCFC de bajo PCG se caracterizan por su inflamabilidad, toxicidad y alta presión, es preciso examinar con cuidado el manejo de estos refrigerantes alternativos, para poder garantizar la seguridad de quienes se encargan de instala, mantener y usar los equipos en los que se utilicen. Esto es especialmente importante cuando los técnicos de mantenimiento no están ampliamente familiarizados con los refrigerantes alternativos.

El Programa Acción por el Ozono del PNUMA asiste a los países en vías de desarrollo en el cumplimiento de las obligaciones adquiridas en virtud del Protocolo de Montreal, incluyendo aquellos relacionados con la eliminación de los HCFC, que pueden impactar diversos sectores. Entre dichos sectores sin duda la refrigeración y el aire acondicionado son muy importantes, y dentro de ellos resulta esencial un buen conocimiento y adaptación a las características técnicas y de seguridad relacionadas con los refrigerantes alternativos.

Por todo lo anterior nos complace presentar esta concisa publicación sobre el uso seguro de las alternativas a los HCFC. Si bien esta guía ha sido concebida como una herramienta informativa para las unidades nacionales del ozono, también es de interés para los servicios de mantenimiento de sistemas de refrigeración, las asociaciones de refrigeración y otras personas que tienen relación con los sectores de la refrigeración y el aire acondicionado.

Esperamos que esta guía resulte interesante e informativa y brinde un panorama útil y práctico que contribuya a evaluar las alternativas a los HCFC. El programa Acción por el Ozono apoya decididamente los esfuerzos de sustitución de los HCFC y la adopción segura y confiable de alternativas energéticamente eficientes, que no agotan el ozono ni contribuyen al calentamiento global.

Dra. Shamila Nair-Bedouelle PhD,
Informe sobre desarrollo humano

*Directora del Programa Acción
por el Ozono
División de Tecnología, Industria
y Economía del PNUMA*

1 | Introducción



Los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) tales como el HCFC-123 y el HCFC-22, están sujetos a un proceso de eliminación en los países que operan al amparo del artículo 5, que va hasta el año 2030 con una concesión para mantenimiento de allí en adelante. Muchas de las alternativas - en especial las de menor PCG - exigen prestar más atención a la seguridad que la acostumbrada con los refrigerantes comunes de HCFC e hidrofluorocarbono (HCF). Si bien la sustitución de los HCFC-123 (que incluyen los HFC-245fa, HFC-134a y más recientemente el HCFC-1233zd) no plantean riesgos adicionales en materia de seguridad, las numerosas alternativas que pueden utilizarse para reemplazar el HCFC-22 en diversas aplicaciones son inflamables, poseen mayor toxicidad o trabajan a presiones considerablemente más altas.

Si bien muchos de estos refrigerantes ya se utilizan en mayor o menor grado en los países no-Artículo 5, es importante que quienes trabajan en la sustitución del

HCFC-22 por refrigerantes alternativos estén conscientes de estas características y cómo manejarlas. En particular, la utilización segura y correcta de estos refrigerantes exige políticas y legislación adecuadas, técnicos de mantenimiento con al menos un entrenamiento básico, estándares adecuados de seguridad, procedimientos apropiados de mantenimiento y dispositivos idóneos de seguridad, conformes a las instrucciones del fabricante.

Esta publicación por lo tanto pretende aportar a las unidades nacionales del ozono la información necesaria para entender claramente dónde y cuándo se pueden utilizar las alternativas y qué medidas se deben evaluar para brindar asistencia al sector y a otros interesados, de manera que se apliquen de forma segura y responsable. Las consideraciones relativas a la seguridad se aplican de forma generalizada, incluyendo en la producción, instalación, el funcionamiento, mantenimiento y desmantelamiento de sistemas entre otros.

En síntesis, esta publicación comprende la siguiente información:

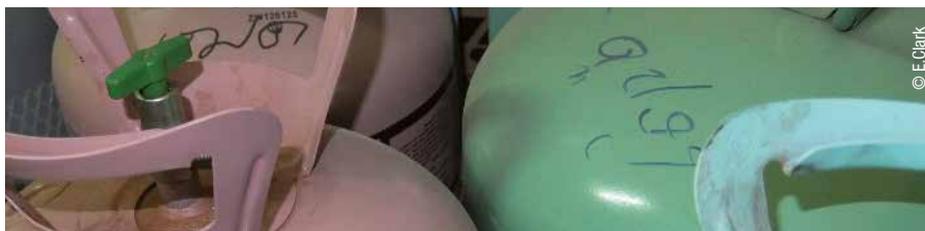
- Los principales refrigerantes alternativos al HCFC-22 que benefician tanto al ozono como al clima y sus características básicas
 - Aquellas situaciones en las que cabe examinar el uso de refrigerantes alternativos
 - Una apreciación de las distintas etapas y entidades o personas a quienes la elección del refrigerante puede afectar
 - Una introducción general a las implicaciones de seguridad asociadas al uso de refrigerantes
 - La clasificación de los distintos refrigerantes y una descripción de los tipos de sistemas de refrigeración¹
 - Un resumen de las normas de seguridad relacionadas con la aplicación de refrigerantes
 - Ejemplos cuantitativos de las limitaciones que presentan los diferentes refrigerantes alternativos
 - Implicaciones específicas para las alternativas inflamables, de mayor toxicidad y mayor presión
- Algunos ejemplos del enfoque adoptado por el Protocolo de Montreal y los países en vías de desarrollo con respecto a la seguridad, durante la implementación de proyectos
 - Sugerencias generales para ayudar a las Unidades Nacionales del Ozono (UNO) a brindar asistencia pertinente a las partes interesadas a nivel nacional.

Esta publicación hace énfasis en los sistemas nuevos, ya que el uso de alternativas inflamables, de mayor toxicidad y/o mayor presión en los sistemas de HCFC existentes no se recomienda en absoluto.

Por último, esta publicación no hace alusión a los refrigerantes comunes de HFC - como HFC-134a, R-404A y R407C- ya que sus características en materia de seguridad no difieren significativamente de las del HCFC22 y existe amplia información acerca de la aplicación de estas sustancias.

¹ Se utiliza el término "sistema de refrigeración" para hacer referencia al circuito refrigerante de los sistemas de refrigeración de media y baja temperatura, acondicionadores de aire y bombas de calor.

2 | Panorama general de los refrigerantes



Tipos de refrigerantes y su selección

Existen diversas sustancias que pueden utilizarse como refrigerantes; las principales se resumen en la Figura 1 (sustancias individuales).

Con excepción de los clorofluorocarbonos (CFC) y los HCFC, todas estas sustancias están permitidas bajo el Protocolo de Montreal; por lo tanto, todas las demás pueden ser consideradas refrigerantes alternativos. Entre ellas se encuentran los refrigerantes “sintéticos” y los así denominados “naturales”.

Si bien es posible utilizar algunas de estas sustancias como refrigerantes puros, lo habitual es combinar dos o más de ellas (y a veces hasta siete) para lograr un conjunto de características deseables

(es decir, con respecto a la presión de saturación, inflamabilidad, solubilidad en el aceite, etc.).

Las mezclas de refrigerantes pueden subdividirse en “zeotrópicas” y “azeotrópicas”. Las zeotrópicas presentan un deslizamiento de temperatura y composición durante el cambio de fase, mientras que las azeotrópicas se comportan como sustancias puras durante dicho cambio de fase. No obstante, algunas mezclas zeotrópicas se clasifican como “mezclas de refrigerante cuasi azeotrópico” (NARM por sus siglas en inglés) ya que los cambios de temperatura y composición son tan pequeños, que desde la perspectiva práctica su comportamiento imita al de un refrigerante puro.

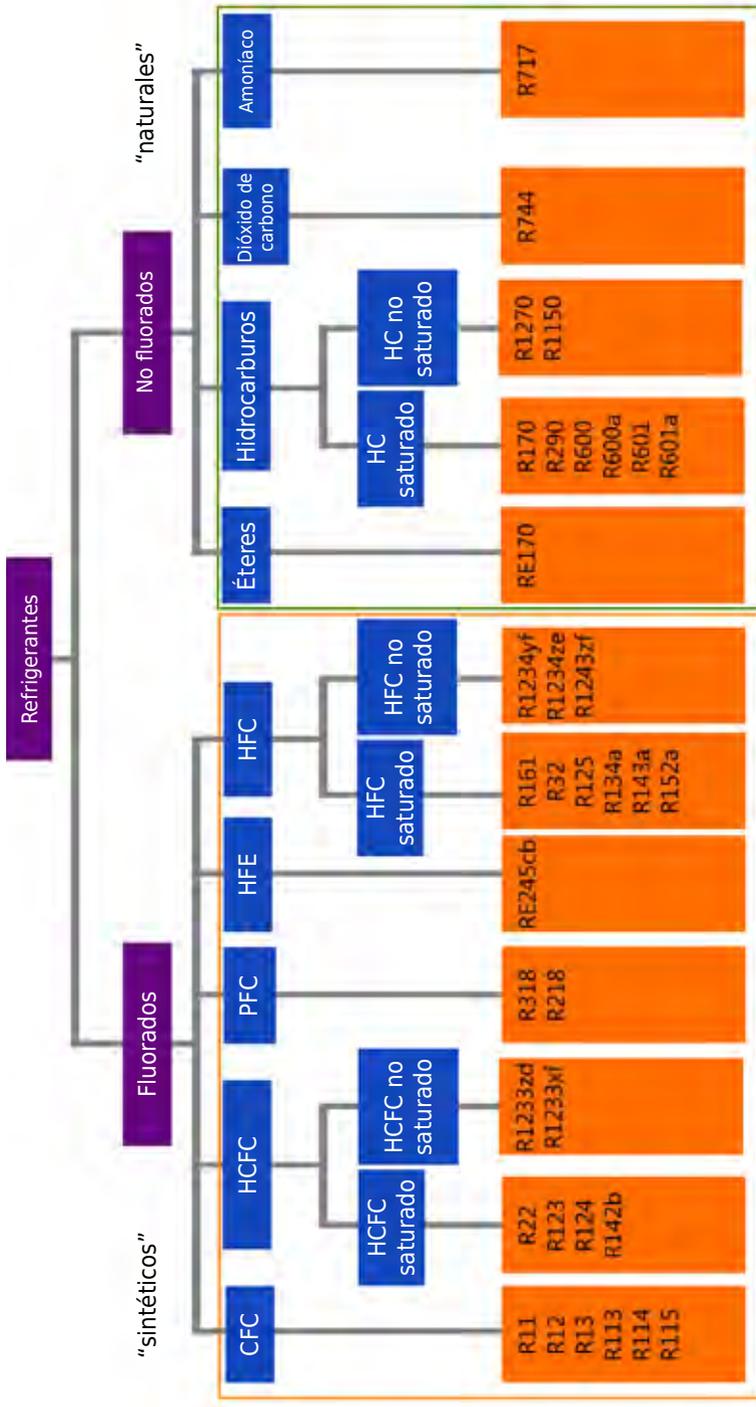


Figura 1: Categorías y sustancias individuales como refrigerantes

PFC: perfluorocarbono
HFE: éteres fluorados

Otras formas de clasificar los refrigerantes incluyen:

- Potencial de agotamiento del ozono (PAO)
- Potencial de calentamiento global (PCG)
- Características relativas a la seguridad (inflamabilidad, toxicidad)
- Nivel de presión

Estas características influyen en la selección del refrigerante, y a menudo imponen su forma de aplicación.

En la Tabla 1 se incluye información ambiental básica sobre los refrigerantes corrientes (HCFC-22, HFC134a, R404A y R-407C) y sobre algunos refrigerantes alternativos que presentan características de seguridad particularmente diferentes. El apéndice (página 64) contiene una lista de todos los refrigerantes corrientes (con un número precedido de una R) y algunos otros datos de interés.



© E.Clark

Tabla 1. Información básica para algunos refrigerantes seleccionados

Refrigerante	Nombre químico o composición de la mezcla (en % en masa)	PAO [†]	PCG‡		Refrigerante comparable*
			(100)	(20)	
HCFC-22	Clorodifluorometano	0,05	1 780	5 310	-
HFC-32	Difluorometano	0	704	2 530	R-410A
HCFC-123	2,2-dicloro-1,1,1-trifluoroetano	0,03	79	292	-
HFC-134a	1,1,1,2-tetrafluoroetano	0	1 360	3 810	CFC-12
HFC-152a	1,1-difluoroetano	0	148	545	CFC-12, HFC-134a
HC-290	Propano	0	5	18	HCFC-22
R-404A	125/143a/134a (44,0/52,0/4,0)	0	4 200	6 600	HCFC-22
R-407C	32/125/134a (23,0/25,0/52,0)	0	1 700	4 100	HCFC-22
R-410A	32/125 (50,0/50,0)	0	2 100	4 400	-
R-444A	32/152a/1234ze(E) (12,0/5,0/83,0)	0	90	330	CFC-12, HFC-134a
R-444B	32/152a/1234ze(E) (41,5/10/48,5)	0	310	1 100	HCFC-22
R-445A	744/134a/1234ze(E) (6,0/9,0/85,0)	0	120	350	CFC-12, HFC-134a
R-446A	32/1234ze(E)/600 (68,0/29,0/3,0)	0	480	1700	R410A
R-447A	32/125/1234ze(E) (68,0/3,5/28,5)	0	600	1900	R410A
R-451A	1234yf/134a (89,8/10,2)	0	140	390	CFC-12, HFC-134a
R-451B	1234yf/134a (88,8/11,2)	0	150	430	CFC-12, HFC-134a
R-454A	32/R1234yf (35,0/65,0)	0	250	890	HCFC-22
R-454B	32/R1234yf (68,9/31,1)	0	490	1 740	R410A
HC-600a	Isobutano	0	4	15	CFC-12, HFC-134a
R-717	Amoníaco	0	0	0	HCFC-22
R-744	Dióxido de carbono	0	1	1	-
HFC-1234yf	2,3,3,3-tetrafluoro-1-propeno	0	< 1	1	CFC-12, HFC-134a
HFC-1234ze(E)	Trans-1,3,3,3-tetrafluoro-1-propeno	0	< 1	4	CFC-12, HFC-134a
HC-1270	Propeno	0	2	7	HCFC-22

† Los PAO son valores regulados y los PCG‡ son valores científicos (PNUMA, 2014)²

* "Refrigerante comparable" en términos de las presiones de operación y la capacidad refrigerante volumétrica

En la Figura 2 se muestra un mapa simple de los riesgos asociados a algunos refrigerantes alternativos; tenga en cuenta que se trata de un esquema básico y que dentro de cada

categoría de riesgo se incluye un amplio rango de efectos. Las características de seguridad indicadas se tratan con más detalle en secciones posteriores.

² Capítulo 2, PNUMA, 2014 Report of the Refrigeration, Air conditioning and Heat pumps Technical Options Committee, 2014 Assessment, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.

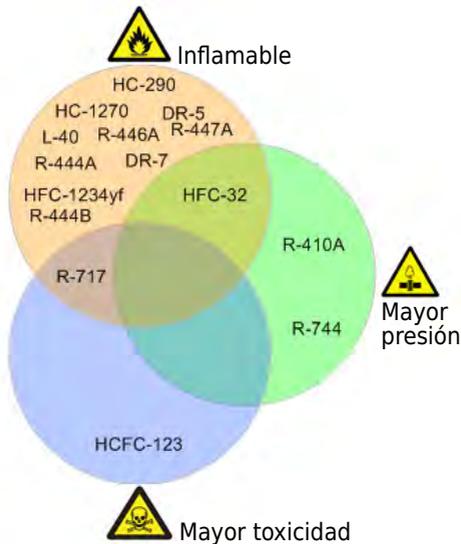


Figura 2. Mapa de riesgos de seguridad para refrigerantes alternativos

En general, hay diversos factores que es importante tener en cuenta al seleccionar un refrigerante alternativo, entre ellos:

- Cero PAO
- Consecuencias para el cambio climático (emisiones directas y emisiones energéticas)
- Desempeño (capacidad y eficiencia)
- Seguridad (incluidas la inflamabilidad, la toxicidad y la presión)
- Impacto sobre el costo del producto
- Disponibilidad y costo del refrigerante
- Disponibilidad y costo de los componentes del sistema
- Habilidades y tecnología necesarios para su uso
- Posibilidades de reciclaje
- Buena estabilidad bajo las condiciones operativas y con los materiales del sistema

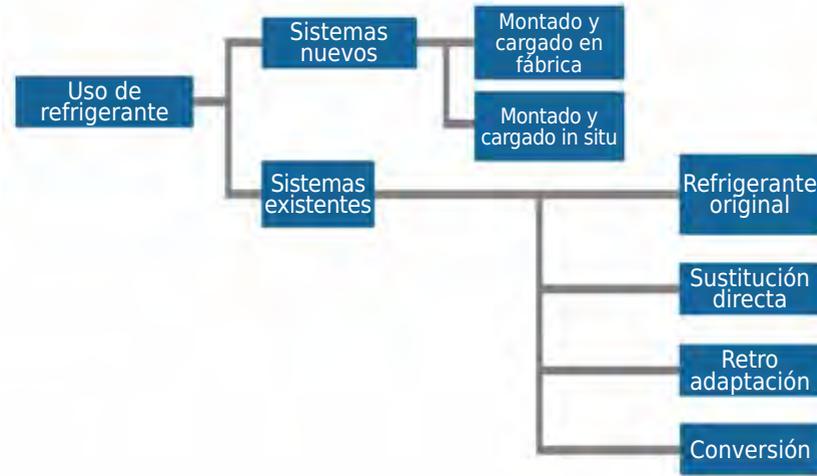
La elección de un refrigerante para una aplicación determinada deberá ser siempre una conciliación entre los criterios anteriores. Además de cero PAO, los demás parámetros deben compensarse entre sí, para conseguir el refrigerante óptimo para cada sistema y aplicación. En particular, las emisiones de carbono deberán incluir tanto la contribución “directa” como la “indirecta” del producto a lo largo de su vida. La literatura incluye diversos enfoques documentados como son el efecto del calentamiento total equivalente (ECTE), la repercusión climática durante el ciclo de vida (RCCV), el indicador de impacto climático del Fondo Multilateral (IICM) y otros.

Tipo de aplicación del refrigerante

Como se indica en la Figura 3, los refrigerantes alternativos se utilizan de diferentes maneras. Pueden ser sistemas nuevos cargados en fábrica - por ejemplo en la línea de producción - cargados *in situ*, en un sistema ensamblado localmente, o que se emplean para sustituir un refrigerante antiguo en un sistema existente. En

este último caso, es posible cargar un refrigerante del mismo tipo que el original o también uno diferente, lo que normalmente supone realizar intervenciones en el equipo o puede provocar cambios en el desempeño del sistema.

Figura 3. Principales situaciones en las que se utilizan refrigerantes



Aplicación en sistemas nuevos

En sistemas nuevos se presentan dos situaciones generales, sistemas montados y cargados en fábrica y sistemas montados y cargados *in situ*. Los sistemas de fábrica incluyen los refrigeradores domésticos, refrigeradores comerciales listos para usar, acondicionadores de aire de ventana, acondicionadores de aire en dos bloques (frío-calor), enfriadores compactos, unidades de techo, etc. Los sistemas montados y cargados *in situ* suelen ser vitrinas comerciales o cámaras frigoríficas con unidades de

condensación, sistemas centralizados para supermercados, algunos sistemas industriales, etc. En el caso de los sistemas de fábrica, el refrigerante y diseño del sistema, así como los componentes específicos de dicho refrigerante, son elegidos por el fabricante. En los sistemas montados y cargados *in situ*, el distribuidor o los usuarios finales son quienes normalmente eligen el refrigerante, diseñando luego el sistema y seleccionando sus componentes según sea el caso.



© Daniel Colbourne



© Daniel Colbourne

Figura 4: Equipo de carga en una línea de producción

Aplicación en sistemas existentes

Al tiempo que se lleva a cabo la eliminación de los HCFC, sigue siendo necesario brindar mantenimiento a la población de sistemas instalados hasta el final de sus vidas útiles. Cambiar el refrigerante de los sistemas existentes puede resultar complejo y requiere dar plena consideración a las consecuencias que se puedan presentar.

Al realizar el mantenimiento de estos sistemas, la elección del refrigerante puede encajar en una de las siguientes categorías:

- Refrigerante original
- Sustitución directa³
- Acondicionamiento (retro adaptación)
- Conversión (a refrigerante inflamable)

Puesto que el 60% - 80% de las ventas de refrigerantes se destinan al sector de servicios, la mayor parte del consumo de refrigerantes corresponde a los sistemas existentes, de manera que al usar refrigerantes alternativos es posible reducir el consumo de HCFC. Sin embargo, al sustituir y reacondicionar el refrigerante en los sistemas con HCFC, debe tenerse en cuenta también el PCG del nuevo refrigerante, ya que muchas mezclas tienen un alto PCG.

Los siguientes criterios influyen sobre la acertada elección de refrigerantes nuevos para uso en sistemas existentes:

- Una potencia refrigeradora volumétrica lo más cercana posible a las temperaturas de normales del evaporador y el condensador;
- Productos que no provoquen pérdida de eficiencia energética;

- Que no superen la presión de diseño del sistema a la temperatura máxima del condensador;
- Un deslizamiento de temperatura lo más parecido posible o aún despreciable, si el original era un componente sencillo;
- Solubilidad en aceite e intervalo de miscibilidad similares;
- No inflamable;
- Menor toxicidad;
- Refrigerante con buena disponibilidad comercial (a costo razonable);
- PAO de cero, menor PCG y generalmente, de impacto ambiental cuando menos igual.

Existen otros parámetros que conviene tener en cuenta, pero en términos prácticos es improbable que los refrigerantes actualmente disponibles en el mercado cumplan todos los criterios mencionados, de modo que será necesario hacer algunas concesiones.

Es importante anotar que la cantidad de refrigerante de sustitución casi siempre será diferente de la cantidad de refrigerante original.

En todos los casos, antes de cambiar el refrigerante original es conveniente consultar al fabricante del sistema.

³ Normalmente se usa el término "sustitución directa" para este tipo de sustitución. No obstante, puesto que no existen alternativas con propiedades termofísicas, químicas y de seguridad idénticas a la del refrigerante existente (p. ej. HCFC-22) el término no es del todo correcto.

Refrigerante original

Si tras una reparación se utiliza el refrigerante existente, es posible seguir la práctica habitual asociada a un refrigerante virgen, reciclado o regenerado (normalmente HCFC22). Por lo tanto, la

aplicación de programas de recuperación y regeneración unida a la disponibilidad de refrigerantes de sustitución y retro adaptación puede contribuir a reducir la demanda de HCFC22.



Figura 5: Carga de HCFC-22 en un sistema de aire acondicionado

Sustitución directa

La sustitución directa concierne únicamente el reemplazo del refrigerante, donde en lugar del HCFC se utiliza una mezcla sin cambiar el lubricante utilizado en el equipo original, ni ningún otro componente del sistema. Los refrigerantes empleados para esta actividad reciben a veces el nombre de “sustitutos directos” o “drop-ins”. En la mayoría de los casos, el cambio de refrigerante implica una disminución en la capaci-

dad o eficiencia en comparación con el HCFC, diferente presión de operación y distintas temperaturas y potencia del compresor.

En la actualidad existen varios refrigerantes para reemplazar al HCFC-22 que tratan de simular su rendimiento pero que rara vez lo alcanzan, ya que tienen menor capacidad, son menos eficientes o ambas cosas a la vez.

Retroadaptación

La retroadaptación hace referencia no solamente al cambio de refrigerante, sino a los componentes del sistema como el lubricante (aunque no siempre es necesario), el filtro secador (si se requiere), y a modificaciones más amplias como la sustitución del compresor o el dispositivo de expansión, la

purga y el enjuagado del sistema, para eliminar cualquier resto de lubricante. La retro adaptación puede llegar a ser considerablemente más costosa que el uso del refrigerante existente, la sustitución del refrigerante sin cambios adicionales o incluso la sustitución de la unidad.



Figura 6: Cambio de refrigerante en una unidad de aire acondicionado

Conversión con refrigerantes inflamables⁴

Por conversión se entiende el reemplazo del refrigerante existente por otro, sin necesidad de tratar los componentes del circuito de refrigeración o el lubricante del mismo modo que se hace en la retro adaptación, pero dado que el refrigerante de reemplazo es inflamable, hay que considerar aspectos externos del equipo, como las fuentes potenciales de ignición.

Sin embargo pocas veces se recomienda, ya que se trata de un proceso complejo que puede provocar riesgos de seguridad inesperados. Nuevamente, un cambio de refrigerante puede afectar entre otras cosas la capacidad o eficiencia, la presión de funcionamiento, las temperaturas o la lubricación, en comparación con el HCFC.

⁴ En una reunión reciente del Comité Ejecutivo se acordó la Decisión 72/17 según la cual: "cualquiera que lleve a cabo operaciones de retro adaptación de equipos de refrigeración y climatización dotados con refrigerantes formulados con HCFC para que pasen a funcionar con refrigerantes tóxicos o inflamables, con las actividades de servicio y mantenimiento que ello conlleva, lo harán dándose por entendido que asumen todas las responsabilidades y riesgos que de todo ello se deriven" (www.multilateralfund.org/72/Spanish/1/7247.pdf). Básicamente, ello implica que los órganos que operen bajo el marco del Protocolo de Montreal no necesariamente justificarán o asumirán responsabilidades por las consecuencias adversas que se puedan derivar de la elección del uso de refrigerantes inflamables en equipos que no estén preparados para ello.

En algunos países se realiza fácilmente la conversión mientras que en otros es una práctica que no es legal. Si bien estos refrigerantes pueden brindar una capacidad y una eficiencia cercanas a las del HCFC-22, esta práctica puede provocar riesgos importantes de inflamabilidad. En general, no se recomienda usar hidrocarburos en sistemas que no han sido diseñados específicamente para ello. Si se está considerando el

uso de hidrocarburos, deben seguirse estrictamente las normas de seguridad y los códigos de conducta pertinentes; el manual de seguridad para hidrocarburos (GIZ, 2010) y otros documentos que tratan específicamente estas conversiones (GIZ, 2011) son buenas fuentes de información sobre la utilización de estos refrigerantes (véase Lecturas recomendadas en la página 63).



Figura 7: Mantenimiento de un equipo de techo

Utilización en sistemas nuevos de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor

Según los diferentes criterios de selección y las ventajas comparativas, la utilización práctica de los HCFC y los diversos refrigerantes alternativos puede resumirse como aparece en la Tabla 2, donde se indica dónde se utiliza o podría utilizarse cada refrigerante en particular.

Como allí se observa, en cada sector y subsector ya se aplican (hasta cierto punto), o al menos existe el potencial para aplicar, refrigerantes alternativos con características adicionales de seguridad.

Cuadro 2: Aplicación de refrigerantes por sector

Sector/ subsector	HFC-22	HFC-32	HFC-123	HFC-152a	HC 290	R-410A	R-444A	R-444B	R-445A	R-446A	R-447A	R-451A	R-451B	R454A	R454B	HC-600a	R-717	R-744	HFC-1234yf	HFC-	HC-1270
Refrigeración doméstica																					
Refrigeradores y congeladores						P		P				P	P			C			P	P	
Refrigeración comercial																					
Equipos independientes				C	C		P	P				P	P			C		C	P	P	C
Unidades de condensación	C	P		C	C	C	P	P		P	P	P	P	P	P				C	P	C
Sistemas centralizados	C			[C]	[C]			P									[C]	C			[C]
Refrigeración de transporte	C	P		P	P	C	P	P		P	P	P	P	P	P				C	P	P
Refrigeración de gran tamaño	C	P		C	C			P		P	P			P	P		C	C			C
Aire acondicionado y bombas de calor																					
Pequeñas autónomas	C			C	C	C	P	P				P	P							P	C
Unidades divididas mini (sin ductos)	C	C		C	C	C		P		P	P			P	P						C
Unidades divididas múltiples	C	P					C	P		P	P			P	P						
Unidad dividida (con ductos)	C	P					C	P		P	P			P	P				C		
Unidad com. dividida con ductos y no dividida	C	P		[C]	[C]	C		P		P	P			P	P				C		[C]
Bombas de calor para calentar agua	C			C	C	C	P	P	P			P	P			P	C	C	P	P	C
Bombas de calor para calefacción de ambientes	C	P		C	C	C	P	P	P	P	P	P	P	P	P		C	C	P	P	C
Enfriadores																					
De desplazamiento positivo	C	P		C	C	C	P	P	P	P	P	P	P	P	P		C	C	P	C	C
Centrífugos			C					P											P	P	
Equipo móvil de aire acondicionado																					
Automóviles				P	P		P	P				P	P						C	C	P
Transporte público	C	P				C	P	P	P	P	P	P	P	P	P				C	C	

Leyenda:

C indica la utilización actual a escala comercial

P indica la utilización potencial en el futuro

[] Indica que se utiliza la sustancia en un sistema alternativo

Análisis de la vida útil del sistema

Con el fin de garantizar que los productos e instalaciones sean seguros durante toda la vida útil de los equipos -tanto con respecto al público como a los trabajadores- es fundamental considerar cada una de las etapas de dicha vida útil. Las principales etapas aparecen en la Figura 8.

En la margen izquierda de la Figura 8 pueden verse las principales etapas de la vida útil del equipo, desde la concepción del producto hasta su eliminación. En la columna central se ven ejemplos del personal que principalmente trabaja en esas etapas. En la margen derecha se ven ejemplos de los tipos de actividades en las que dicho personal debe ser com-

petente para mantener un alto nivel de seguridad. Todo el personal involucrado debe ser consciente de sus responsabilidades, y quienes estén a cargo deben garantizar que los trabajadores estén informados y al tanto de esas responsabilidades. Asimismo, es evidente que las acciones emprendidas por el personal en cualquier etapa de la vida útil del equipo tendrán consecuencias sobre las etapas posteriores.

En términos generales, puesto que la mayor parte de la vida útil del equipo transcurre durante la etapa de “uso -funcionamiento”, este es período dentro del cual las consideraciones de seguridad son más significativas.



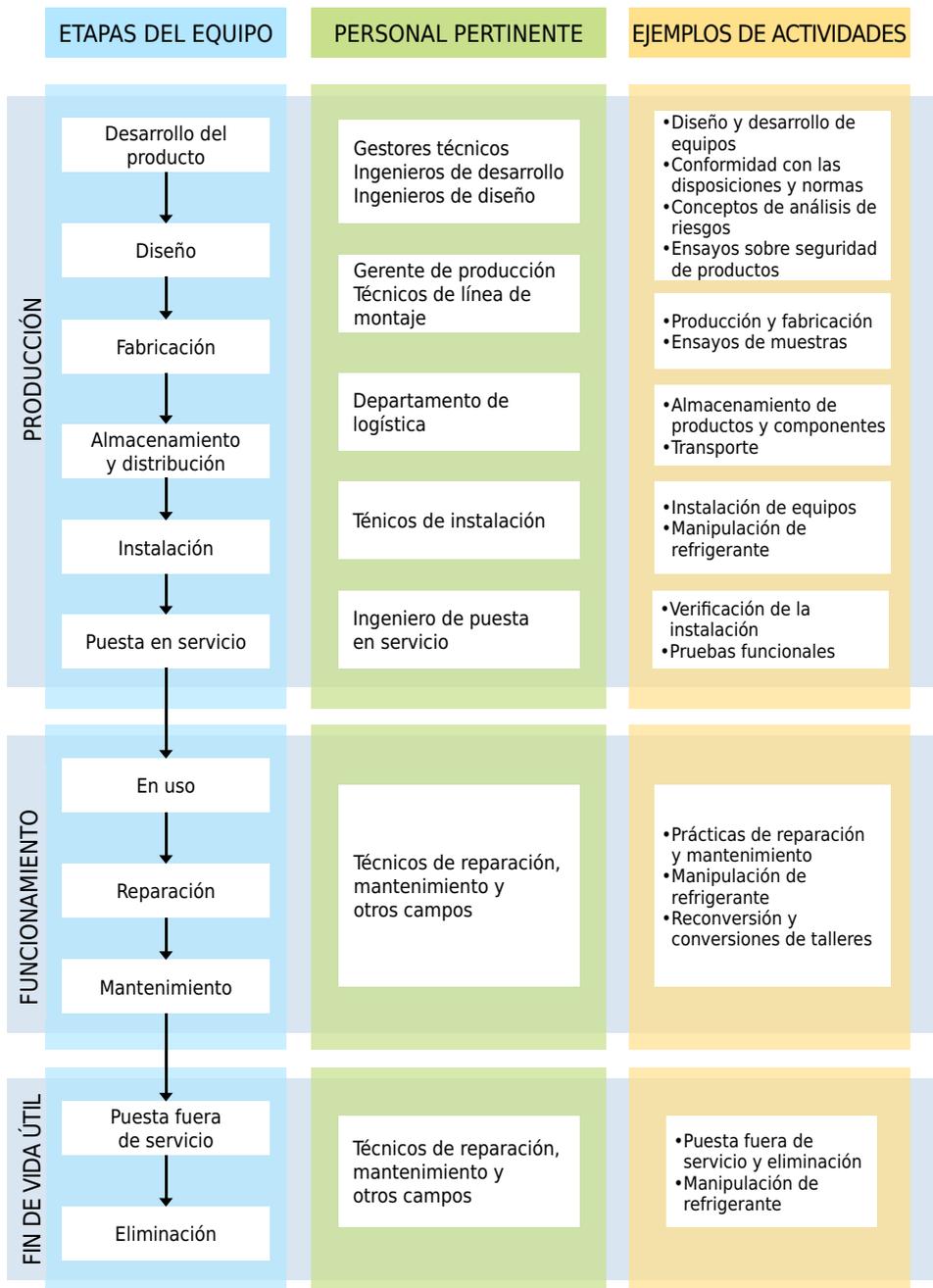


Figura 8. Panorama general de las etapas de la vida útil del equipo, el personal principal y los grupos de personas que quizá se necesiten para realizar la tarea

Existen actividades que son comunes a varias etapas, lo que implica que las personas que participan en ellas deben estar familiarizadas con los detalles técnicos de las diversas secciones. Por ejemplo, quienes trabajan en producción, instalación, mantenimiento y puesta fuera de servicio, deben conocer las buenas prácticas relativas a la manipulación de refrigerantes. Asimismo, quienes trabajan en diseño, instalación, puesta en marcha, revisión y mantenimiento, deben conocer al menos en cierta medida las exigencias de seguridad, según la labor que desempeñan. De esta manera, muchos de estos aspectos se encuentran interrelacionados durante todas las etapas de la vida útil del equipo.

En general, mientras una organización se prepara para introducir cambios en cada etapa de la vida útil del equipo, debe tener presentes las siguientes consideraciones, que pueden impactar los parámetros de seguridad:

- Los manuales, notas orientativas y similares que sean concisos y fáciles de usar, enfocados en cada parte o para cada una de las actividades principales que deben realizar, son útiles para el personal que trabaja en las diferentes etapas del proceso. Asegúrese de que sean comprensibles y que hayan sido previamente revisado por expertos.

- Brinde una capacitación adecuada e integral a todas las personas involucradas, tanto teórica como práctica.
- Consulte bibliografía adicional: manuales, guías de la industria, documentación de los fabricantes, información de los proveedores de refrigerantes, etc. así como las disposiciones y normas de seguridad originales, para garantizar que se utilice la información correcta⁵.
- Desarrolle un sistema que permita obtener retroalimentación de otras etapas y establezca un sistema para intercambiar información. Esta información, por ejemplo datos de campo, reportes de los técnicos, etc. sobre aspectos como fugas, fallas en los equipos y componentes, problemas con las reparaciones, accidentes leves o graves, etc. mejorará significativamente los niveles de seguridad en el futuro.

Por último, la elaboración de directrices no es suficiente para anticipar todas las situaciones que puedan surgir, ni todas las peculiaridades de los distintos tipos de equipos. Por lo tanto, es importante que las personas entiendan la justificación lógica subyacente a las normas y así puedan adaptarse a los equipos nuevos y a las posibles situaciones imprevistas.

⁵ Remítase a Lecturas complementarias, página 63.

3

Uso seguro de refrigerantes



Introducción a los riesgos

Todos los refrigerantes acarrear implicaciones de seguridad:

- Asfixia, en los casos en los que el desplazamiento de oxígeno provoca ahogamiento
- Quemadura por congelamiento, en los casos en que el refrigerante frío provoca congelación al entrar en contacto con la piel
- Toxicidad aguda (p. ej., anestesia, sensibilización cardíaca) y crónica (p. ej., daño hepático)
- Inflamabilidad y explosión, cuando el refrigerante entra en combustión rápidamente al encenderse
- Presión (escape), caso en el que puede producirse una onda expansiva como consecuencia de un escape rápido de gas

Como se muestra en la figura 9, los riesgos asociados a los refrigerantes pueden considerarse en términos de sus consecuencias primarias y secun-

darias. En esencia, tras un escape de refrigerante lo más probable es que se desencadene una secuencia de hechos que en última instancia se traduzca en lesiones personales y daños materiales. Las consecuencias podrán ser muy variadas según el tipo de sustancia, las condiciones y el entorno dentro del cual se produzca el escape,.

La evaluación de las condiciones de seguridad se hace aún más importante con la introducción y el uso potencialmente generalizado de refrigerantes inflamables, de mayor toxicidad y que operan a presiones mucho más altas que los refrigerantes comunes. Debe prestarse por lo tanto más atención a las exigencias contenidas en las normas y disposiciones sobre seguridad y a las buenas prácticas de trabajo, todo lo cual debe guardar relación directa con los refrigerantes de estas características.

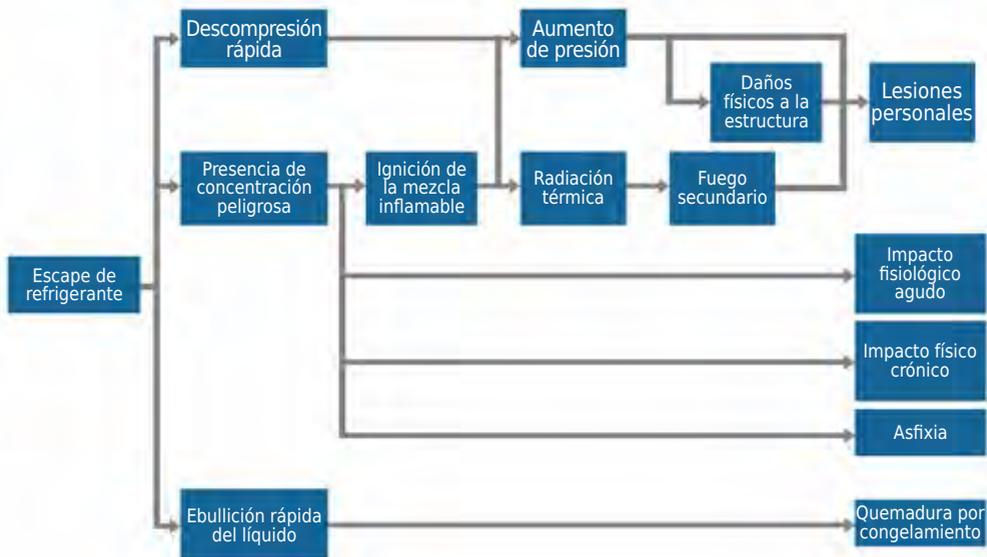


Figura 9. Visión general de los diversos riesgos que implica el escape de refrigerante

Clasificación de seguridad de los refrigerantes

La clasificación más utilizada es la del sistema de la ONU para productos peligrosos. Las sustancias reciben una designación alfanumérica, relacionada con su estado y otros riesgos para la seguridad.

Según la clasificación de cada sustancia, existen reglas genéricas con respecto a su manipulación, etiquetado y otros factores. La Tabla 3 ilustra el sistema para los refrigerantes seleccionados.

Número según estado	Estado	Letra(s) por riesgo	Riesgo	Ejemplos
2	Gas licuado (a presión)	A	No inflamable	HCFC-22, R-744
		F	Inflamable	HC-290, HFC-32
		TC	Tóxico y corrosivo	R-717

Tabla. Ejemplos de clasificación del sistema de las Naciones Unidas para sustancias peligrosas

Dentro del sector de la refrigeración se aplica otro sistema de clasificación que asigna a la mayoría de los refrigerantes una categoría de seguridad, entendida como una función entre su toxicidad e inflamabilidad. Este sistema de clasificación es adoptado en las normas como la ISO 817⁶.

La categorización basada en la toxicidad depende de si se identifica o no toxicidad a una concentración determinada y es de dos clases:

- **Clase A:** en la que no se observan efectos de toxicidad crónica por debajo de 400 ppm
- **Clase B:** en la que se observa toxicidad crónica por debajo de 400 ppm

La clasificación de inflamabilidad depende de si las sustancias se incendian o no en el curso de ensayos normalizados, y de ser así, cuál es el límite inferior de inflamabilidad (LII) y cuál el calor de combustión. Actualmente se consideran cuatro clases de inflamabilidad (según la norma ISO 817):

- **Clase 1:** no se presenta propagación de la llama en ensayos en aire a 60°C y presión atmosférica estándar
- **Clase 2L:** igual que la clase 2 pero con una velocidad de llama laminar inferior a 0,10 m/s
- **Clase 2:** presenta propagación de llamas en ensayos a 60°C y presión atmosférica, pero posee un LII superior al 3,5% por volumen y un calor de combustión menor que 19.000 kJ/kg
- **Clase 3:** presenta propagación de llamas en ensayos a 60°C y presión atmosférica, pero posee un LII menor o igual que 3,5% por volumen o calor de combustión mayor o igual que 19.000 kJ/kg

Típicamente, una clasificación “mayor” –es decir, toxicidad Clase B en vez de Clase A e inflamabilidad Clase 3, en vez de Clase 1– significa que el sistema refrigerante posee requisitos de diseño más onerosos, pues es necesario gestionar el mayor riesgo que acarrea el refrigerante en cuestión (Figura 10).



⁶ Organización Internacional de Normalización (ISO) 817, Refrigerantes: designación y clasificaciones de seguridad.

	Menor toxicidad (crónica)	Mayor toxicidad (crónica)
Sin propagación de llama	A1	B1
Menor inflamabilidad	A2L	B2L
Inflamable	A2	B2
Mayor inflamabilidad	A3	B3

Requisitos más onerosos →

Requisitos más onerosos

Figura 10. Clasificación de seguridad de los refrigerantes conforme a la norma ISO 817 y su influencia sobre los requisitos de seguridad

Además de la clasificación alfanumérica, se asignan otros tres parámetros a cada refrigerante, que determinan la cantidad permitida de cada uno bajo circunstancias específicas (relacionadas con el tipo y la instalación del sistema de refrigeración).

- **Límite inferior de inflamabilidad:** El límite inferior de inflamabilidad (LII) generalmente se usa para restringir la cantidad de refrigerante que puede ser liberado en una sala o recinto; representa la cantidad mínima que puede sostener una llama en presencia de una fuente de ignición activa.
- **Límite de exposición de toxicidad aguda:** El límite de exposición de toxicidad aguda (LETA) de un refrigerante, se usa también para restringir la cantidad de refrigerante que puede ser liberada en una sala o recinto, pues representa

la cantidad mínima que induce efectos toxicológicos adversos en los ocupantes de dicho espacio.

- **Límite práctico (LP) y límite de concentración de refrigerante (LCR):** Se trata de medidas adicionales de seguridad para los refrigerantes, y representan la mayor concentración permitida en un espacio ocupado que no tiene efectos perjudiciales (es decir, agudos) en caso de presentarse una fuga. En otras palabras, es la menor concentración “peligrosa” de un refrigerante, con un factor de seguridad aplicado. Para los refrigerantes de clase A1, los de clase B y algunas veces los de clase A2L, el LP y el LCR suelen basarse en el LETA, mientras que para los refrigerantes A2 y A3 estos parámetros generalmente vienen determinados por el LII.

Clasificación de los sistemas de refrigeración, ubicación y ocupación

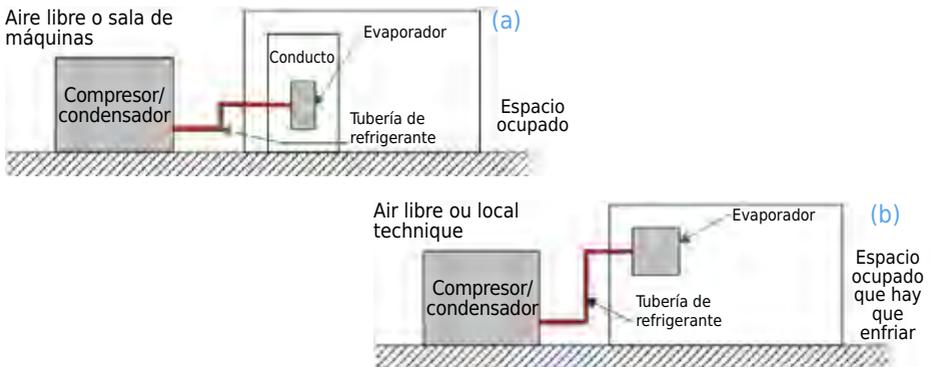
Al aplicar un refrigerante determinado, las características del sistema en el que se utiliza y aquellas del entorno local determinan la manera en que puede aplicarse, así como la cantidad que se puede permitir, dentro de las normas comunes de seguridad (p. ej., EN 378⁷, ISO 5149⁸). Existen diferentes disposiciones para los sistemas de refrigeración, donde se tienen en cuenta la ubicación de las distintas partes del sistema y los tipos de ocupación.

Las principales disposiciones de los sistemas se dividen en dos grandes clases: “directas” e “indirectas” (con respecto al “objetivo” a ser refrigerado o calentado). Un sistema directo es aquel en el que las partes que contienen refrigerante se encuentran dentro del espacio a enfriar o calentar (por ejemplo, una cámara frigorífica, una vitrina o una habitación con aire acondicionado), de manera que una fuga de refrigerante podría fluir sin obstáculos dentro de dicho espacio. Un sistema indirecto es

el que utiliza un fluido de transferencia de calor (FTC) tal como agua, salmuera o glicol, para transferir calor entre el espacio que se desea enfriar y el circuito primario de refrigeración; en este caso, si se presenta una fuga de refrigerante es poco probable que ingrese al espacio refrigerado o calentado, de modo que el riesgo es usualmente menor.

En la Figura 11 se muestran algunos ejemplos de sistemas directos. El caso a) podría tratarse de un aire acondicionado de dos bloques o un almacén frigorífico, el caso b) podría ser una vitrina refrigerada conectada a una unidad de condensación externa, el caso c) un sistema de aire acondicionado por conductos y el caso d) una vitrina de almacenamiento o un acondicionador de aire portátil. En todos los casos, existen tuberías de refrigerante o piezas que contienen refrigerante y que podrían provocar fugas directas de refrigerante hacia el espacio ocupado.

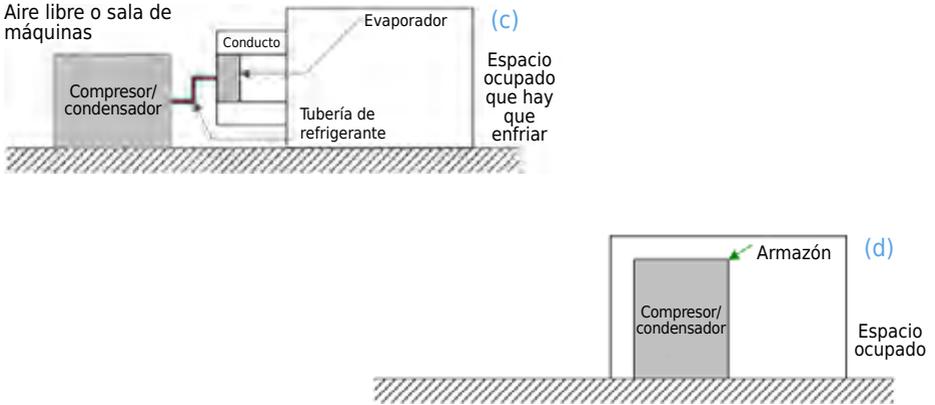
Figure 11. Exemples de systèmes directs



⁷ EN 378, sistemas de refrigeración y bombas de calor – requisitos de seguridad y medio ambiente

⁸ ISO 5149, sistemas de refrigeración y bombas de calor – requisitos de seguridad y medio ambiente

Figura 11: Ejemplos de sistemas directos

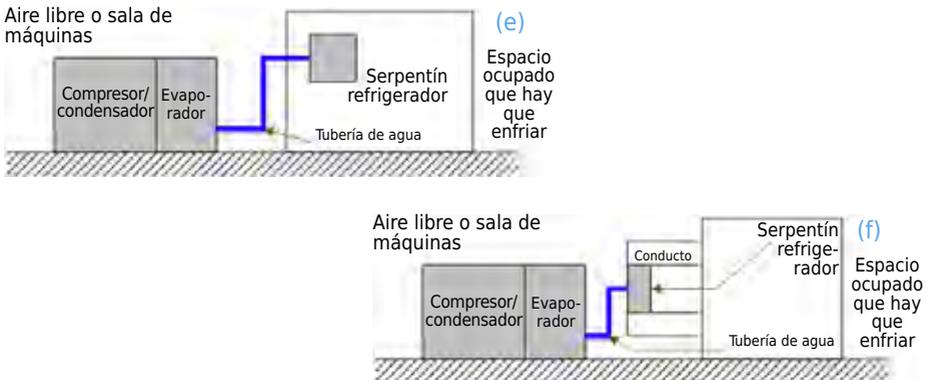


En la Figura 12 se muestran ejemplos de sistemas indirectos. El caso e) podría tratarse de un almacén refrigerado con salmuera o un sistema de aire acondicionado que usa agua refrigerada, y el caso f) sería un sistema de aire acondicionado que usa un serpentín enfriador de agua en una unidad central de tratamiento de aire. En ambos casos, ni las tuberías de refrigerante ni otras partes del circuito se encuentran directamente dentro del

espacio ocupado, de modo que es muy poco probable que una eventual fuga de refrigerante llegue hasta ese espacio.

El término “ocupación” se refiere al uso previsto del espacio y tiene en cuenta el grado de conocimiento de los procedimientos de seguridad por parte de los ocupantes. Como tal, la ocupación se clasifica normalmente en cuatro tipos:

Figura 12: Ejemplos de sistemas indirectos



- Espacios públicos (con ocupación "general"): 'categoría a', como las tiendas y las zonas públicas de un auditorio
- Espacios privados (con ocupación "supervisada"): 'categoría b', como las oficinas
- Áreas de acceso restringido (con ocupación "autorizada"): categoría c, como talleres, almacenes frigoríficos, etc.
- Espacios sin ocupar, como salas de máquinas y espacios con acceso permitido únicamente a personal autorizado

Los riesgos son mayores en los espacios con ocupación a, donde generalmente hay un número indeterminado de personas que en general desconocen los procedimientos de seguridad si se presenta una emergencia, por lo que allí los requisitos suelen ser más estrictos.

En contraste, en los espacios con acceso restringido a los que generalmente tiene acceso un pequeño número de personas debidamente entrenadas en los procedimientos de seguridad, los requisitos son menos severos.

La Figura 13 ilustra estos conceptos, de forma que los requisitos "más estrictos" se refieren al diseño y la construcción del equipo de refrigeración, e incluyen:

- Restricción a la cantidad de refrigerante permitida en el sistema
- Número determinado de dispositivos de seguridad con los que debe contar el sistema, por ejemplo, válvulas de escape de presión, interruptores de presión (presostatos), limitadores de temperatura (pirostatos)
- Elementos adicionales como detectores de gases y ventilación mecánica

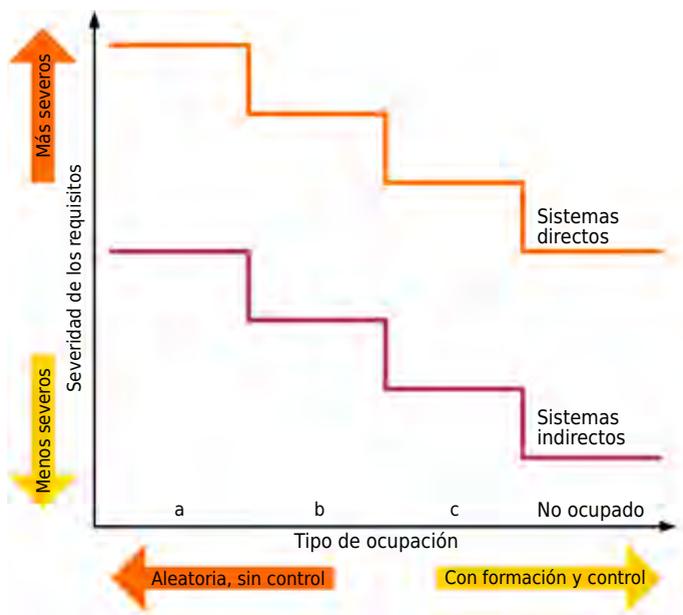


Figura 13. Representación de la rigurosidad impuesta a los requisitos de seguridad según el sistema y el tipo de ocupación

Reglamentos, estándares de seguridad y directrices⁹

Dependiendo del país y las circunstancias específicas, existe un gran número de reglamentos, normas de seguridad, códigos de conducta y directrices para la industria, cuyo fin es asegurar la aplicación segura de los refrigerantes inflamables, altamente tóxicos y de alta presión. La sección de lecturas complementarias (página 63) contiene una lista más completa de las diversas publicaciones que pueden ser de interés a este respecto.

Las reglamentaciones nacionales y regionales son la autoridad general en lo que se refiere a consideraciones especiales sobre la utilización, diseño e instalación de equipos. Dadas las grandes variaciones que existen entre los países del Artículo 5 no es posible generalizar sobre reglamentaciones particulares, pero aún

así existen normas que abarcan estos temas en la mayoría de regiones:

- Uso seguro de sustancias inflamables
- Manejo seguro de sustancias inflamables
- Diseño y uso seguros para equipos de alta presión
- Caracterización y control de las sustancias que suponen riesgos de toxicidad

En términos generales, estas normas constituyen un marco para evaluar y la mitigar los riesgos asociados al uso de refrigerantes, que contribuyen a cumplir con un requisito básico de seguridad; su implementación permite usar nuevas sustancias y aplicaciones y posibilita el desarrollo tecnológico si es necesario. Son normas que generalmente hay que tener en cuenta dado



⁹ Para más información, consulte http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/7679-e-International_Standards_in_RAC.pdf.

que casi todos los refrigerantes operan bajo presión, son tóxicos en alguna medida y en muchos casos son además inflamables.

En el siguiente nivel, las normas de seguridad y los códigos de conducta de la industria procuran dar una interpretación práctica a las directrices contenidas en los reglamentos, que pueden estar dirigidas a equipos o aplicaciones específicas (las llamadas “normas verticales”), o pueden ser genéricas (“normas horizontales”). Las normas de seguridad se elaboran a escala internacional (como

ISO o IEC), regional (como la EN Europea) y nacional. A menudo las normas similares son paralelas o convergentes a través de los diferentes niveles, aunque cada país puede adoptar requisitos alternativos con respecto a los utilizados a nivel internacional. La Tabla 4 presenta las principales normas internacionales y regionales que inciden sobre el diseño y la construcción de los sistemas según el refrigerante seleccionado, junto con los sectores de aplicación relevantes. Todas estas normas contienen implicaciones básicas relacionadas con la aplicación de refrigerantes inflamables,

Secteur	IEC 60335-2-24 ¹⁰	IEC 60335-2-40 ¹¹	IEC 60335-2-89 ¹²	ISO 5149	ISO 13043 ¹³	EN 378
Refrigeración doméstica	x					
Refrigeración de uso comercial			x	x		x
Sistemas industriales				x		x
Refrigeración de transporte				x		x
Equipos de aire acondicionado aire-aire		x		x		x
Bombas de calor para calentar agua		x		x		x
Sistemas de refrigeración		x		x		x
Aire acondicionado de vehículos					x	

Tabla 4. Ámbito de aplicación de las distintas normas de seguridad internacionales y regionales para los sistemas de refrigeración

altamente tóxicos o de alta presión, y se resumen en la Tabla 5. En principio, son medidas que tienen por objeto compensar el riesgo potencialmente mayor que se deriva del uso de refrigerantes alternativos.

Las normas de seguridad son en esencia un conjunto de directrices elaboradas y acordadas mediante un proceso consen-

suado entre un grupo de representantes, generalmente de un pequeño número de empresas interesadas, a lo largo de varios años. Por eso es probable (y de hecho frecuente) que los requisitos publicados no reflejen la tecnología actual; igualmente, pueden favorecer ciertas tecnologías sobre otras, según las empresas que hayan participado en el proceso. Como es de esperar,

¹⁰ IEC 60335-2-24, especificación para la seguridad de los aparatos electrodomésticos y aparatos eléctricos análogos: “Requisitos particulares para aparatos de refrigeración, aparatos fabricantes de helados y fabricantes de hielo”.

¹¹ IEC 60335-2-40, especificación para la seguridad de los electrodomésticos y aparatos eléctricos análogos: “Requisitos particulares para bombas de calor eléctricas, acondicionadores de aire y deshumificadores”.

¹² IEC 60335-2-89, especificación para la seguridad de los electrodomésticos y aparatos eléctricos similares: “Requisitos particulares para aparatos de refrigeración para uso comercial con una unidad de condensación de fluido refrigerante o un compresor incorporado o a distancia”.

¹³ ISO 13043 “Road vehicles -- Refrigerant systems used in mobile air conditioning systems (MAC) -- Safety requirements [Vehículos -- Sistemas de refrigeración utilizados en los sistemas móviles de aire acondicionado (MAC) – Requisitos de seguridad]”.

Mayor inflamabilidad	Mayor toxicidad	Mayor presión
<ul style="list-style-type: none"> • Limitación más estricta de la cantidad de refrigerante en espacios ocupados • Uso de detectores de gases, alarmas y ventilación de emergencia • Prohibición de artículos que puedan actuar como fuentes de ignición • Advertencias/señales 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitación más estricta de la cantidad de refrigerante en espacios ocupados • Uso restringido en las zonas con mayor densidad de población • Uso de detección de gases, alarmas y ventilación de emergencia • Suministro de equipo protector personal 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales más gruesos/ mayor índice de presión para tuberías y componentes • Uso adicional de dispositivos de descompresión o dispositivos limitadores de la presión • Competencias más altas para los trabajadores que participen en la fabricación de componentes y montajes

Tabla 5. Principales medidas a considerar en relación con las sustancias de mayor toxicidad, inflamabilidad o presión

las normas evolucionan constantemente y los requisitos tienden a cambiar a través del tiempo, pero aún así es frecuente que tengan omisiones, por lo que es importante prestar cuidadosa atención a su texto y significado, y de ser necesario, actuar con diligencia para adoptar las medidas adecuadas.

A menudo los organismos industriales como los institutos técnicos y las asociaciones, publican códigos de conducta y directrices técnicas sobre temas de seguridad, que generalmente ofrecen una interpretación práctica de los requisitos

contenidos en los reglamentos y en cierta medida de las normas de seguridad. Son publicaciones particularmente útiles cuando las fuentes formales contienen errores (que pueden llevar muchos años en corregirse a causa de los procedimientos burocráticos) o ambigüedades que precisan de una interpretación explícita por parte de los profesionales del sector. Además, la información se puede adaptar a las condiciones y prácticas locales, identificando rutas alternativas para lograr el nivel de seguridad exigido en los reglamentos, pero que no se encuentra en las normas de seguridad.



4 Consideraciones detalladas sobre los refrigerantes



Aspectos relevantes para distintas actividades

Dado que los refrigerantes alternativos presentan riesgos de seguridad adicionales a los refrigerantes comunes, es fundamental que estos productos se manipulen de manera diferente en ciertos aspectos, o del mismo modo pero tomando más precauciones. La Tabla 6 presenta algunos de estos refrigerantes junto con observaciones sobre sus respectivos parámetros de seguridad, como son la clase de seguridad, la presión de saturación, el límite inferior de inflamabilidad (LII), el límite de exposición a toxicidad aguda (LETA) y el límite práctico de concentración (LP), todos los cuales ilustran su diferencia básica con el HCFC-22.

Es imprescindible que estas “nuevas” características sean tenidas en cuenta a lo largo de toda la vida útil del refrigerante.

Dependiendo de la fase en la que se encuentre el equipo de refrigeración, distintas actividades adquieren especial importancia cuando se trabaja con ciertos refrigerantes alternativos. La Tabla 7 resume algunas de las actividades que es importante prever y realizar con cuidado, con el fin de reducir al máximo los riesgos adicionales asociados a la adopción de refrigerantes inflamables, más tóxicos o de mayor presión.

Ciertos factores relacionados con la evaluación de riesgos son especialmente importantes, entre ellos los requisitos de diseño de cada sistema¹⁴, su hermeticidad¹⁴, temas de capacitación y herramientas y los equipos normalmente utilizados por los técnicos; estos factores

¹⁴ Entre las normas que resultan útiles figuran la EN 15834 “Refrigerating systems and heat pumps – Qualification of tightness of components and joints [Sistemas de refrigeración y bombas de calor — Clasificación de la hermeticidad de los componentes y las ensambladuras]”.

se analizan en más detalle a continuación. Las normas como la EN 13313¹⁵ contribuyen a definir los criterios de

competencia para la capacitación de operarios a cargo de las diferentes tareas.

Tabla 6: Información de seguridad de algunos refrigerantes¹⁶

Refrigerante	Clase de seguridad (ISO 817)	Presión de saturación a 25°C (bar, abs)	Porcentaje del LII en función del volumen en el aire (y g/m ³)	Porcentaje del ATEL en función del volumen en el aire (y g/m ³)	Porcentaje del PL en función del volumen en el aire (y g/m ³)
HCFC-22	A1	10,4	Ninguno	5,9% (209)	5,9% (209)
HFC-32	A2L	16,9	14,4% (306)	22% (468)	2,9% (61)
HCFC-123	B1	0,9	Ninguno	0,9% (57)	0,9% (57)
HFC-134a	A1	6,7	Ninguno	5% (210)	(250)
HFC-152a	A2	6	4,8% (130)	5% (140)	1% (27)
HC-290	A3	9,5	2,1% (38)	5% (90)	0,4% (8)
R-404A	A1	12,5	Ninguno	13% (520)	13% (520)
R-407C	A1	119	Ninguno	8,8% (310)	8,2% (290)
R-410A	A1	16,6	Ninguno	14,8% (440)	14,2% (420)
R-444A*	A2L	7,1	7% (290)	6% (270)	1,4% (60)
R-444B*	A2L	10,6	7% (180)	8% (200)	1,4% (40)
R-445A*	A2L	7,4	8% (340)	6% (250)	1,5% (70)
R-446A*	A2L	13,7	8% (180)	3% (60)	1,6% (40)
R-447A*	A2L	13,8	9% (220)	11% (260)	1,9% (50)
R-451A*	A2L	6,8	7% (320)	9% (420)	1,4% (60)
R-451B*	A2L	6,8	7% (320)	9% (410)	1,4% (60)
R454A*	A2L	9,3	8% (290)	12% (470)	1,5% (60)
R454B*	A2L	12,8	10% (300)	16% (470)	2% (60)
HC-600a	A3	3,5	1,8% (43)	2,9% (69)	0,4% (9)
R-717	B2L	10	16,7% (116)	0,03% (0,2)	0,03% (0,2)
R-744	A1	64,3	Ninguno	4% (72)	4% (72)
HFC-1234yf	A2L	6,8	6,2% (289)	10% (466)	1,2% (58)
HFC-1234ze(E)	A2L	5,0	6,5% (303)	5,9% (275)	1,3% (61)
HC-1270	A3	11,5	2,7% (46)	0,1% (2)	0,5% (9)

* Los datos sobre estas nuevas mezclas no se han publicado, por lo que el LII, el ATEL y el PL son aproximados y se han redondeado.

¹⁵ EN 13313: 2008 –Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Competencia del personal.

¹⁶ Consúltense el apéndice (página 64) en el que se presentan las características de seguridad de la mayoría de los refrigerantes disponibles en el mercado.

“Es fundamental manipular los refrigerantes alternativos con mayor precaución”.



Tabla 7. Consideraciones sobre las principales actividades relacionadas con los refrigerantes inflamables, de mayor toxicidad y más alta presión

Actividad	Aspectos importantes
Desarrollo del producto	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilización sobre la necesidad de características para reducir el riesgo de inflamabilidad/toxicidad/presión • Evaluación del riesgo de inflamabilidad/toxicidad/presión alta • Pruebas de seguridad adecuadas
Diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Observación de reglamentos y normas (para evitar escapes inflamables, fugas, fuentes de ignición) • Autorizaciones a terceros
Fabricación	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento adecuado del refrigerante, equipo de carga, detección de fugas y sistemas de seguridad en las plantas • Disponibilidad de piezas y componentes adecuados (por ejemplo, equipo eléctrico seguro) • Trabajadores debidamente capacitados
Almacenamiento y distribución	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación a la idoneidad del transporte • Almacenamiento correctamente evaluado • Etiquetado/advertencias adecuadas en el embalaje
Instalación	<ul style="list-style-type: none"> • Los técnicos cuentan con herramientas y equipo de manipulación de refrigerantes adecuados • Trabajadores debidamente capacitados • Se prevén y aplican procedimientos de trabajo seguros
Puesta en marcha	<ul style="list-style-type: none"> • Ingenieros están debidamente capacitados • Comprobación de la hermeticidad y presión de resistencia • Sistemas de seguridad comprobados (detectores de gas, detección de gases, ventilación de emergencia y alarmas)
Utilización	<ul style="list-style-type: none"> • En el caso de grandes sistemas, detección de gases, ventilación de emergencia y alarmas funcionales • En todos los sistemas, desarrollo del producto, diseño e instalación adecuados, para brindar una seguridad inherente
Servicio	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicos debidamente capacitados • Técnicos poseen herramientas y equipos adecuados para la manipulación de refrigerantes • Se prevén y aplican procedimientos seguros de trabajo
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicos debidamente capacitados • Técnicos poseen de herramientas y equipos adecuados para la manipulación de refrigerantes • Previsión y aplicación de procedimientos seguros de trabajo
Desguace	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicos debidamente capacitados • Técnicos poseen de herramientas y equipos adecuados para la manipulación de refrigerantes • Previsión y aplicación procedimientos seguros de trabajo • Procedimientos de purga seguros y adecuados, según proceda
Eliminación	<ul style="list-style-type: none"> • La unidad de disposición de residuos conoce la existencia de gas residual potencialmente inflamable • Señales/advertencias adecuadas en el embalaje

Factores de seguridad relacionados con los refrigerantes inflamables

Existen distintos refrigerantes inflamables, algunos desarrollados hace tiempo y otros más recientemente. En la Tabla 6 (página 35) se enumeran algunas de las características básicas de seguridad de los refrigerantes inflamables de uso actual y otras que se estudian antes de su comercialización. Pese a haber muchos refrigerantes inflamables, su grado de inflamabilidad varía considerablemente, siendo por ejemplo los LII de algunas sustancias relativamente bajos

(por ejemplo, el HC-290 con 38 g por m³), y considerablemente más altos en otras (por ejemplo, el HFC-1234yf con 289 g por m³). Otras características de inflamabilidad, como la energía mínima de ignición, el calor de combustión y la velocidad de combustión, influyen sobre la facilidad con que una sustancia se enciende y la severidad de las consecuencias de dicha ignición, y son claramente proporcionales al LII.

Evaluación general de riesgos

Todos los refrigerantes inflamables tienen un riesgo inherente de entrar en combustión si se encuentran en concentraciones. La ignición usualmente es provocada por una fuente desprotegida, como una chispa eléctrica, una llama desnuda, una superficie muy caliente, o cualquier otra circunstancia en la que se genere suficiente energía. Puede producirse en cualquier lugar donde el refrigerante se haya filtrado o mezclado con el aire en suficiente proporción, es decir, entre el límite inferior y superior de inflamabilidad. Según sea la estructura del equipo, esto puede ocurrir en espacios refrigerados, electrodomésticos, en otros espacios donde se encuentren tuberías o partes o al aire libre. Entre las consecuencias iniciales

pueden estar el aumento de presión (“sobrepresión”), la radiación térmica y la formación de productos tóxicos de descomposición (por ejemplo, derivados inflamables de HFC). Dependiendo de las condiciones locales, se pueden causar además daños físicos sobre los bienes o personas, incendios secundarios y efectos tóxicos resultantes del contacto con productos de descomposición. En la Figura 14 se indican los pasos básicos a seguir en la evaluación de riesgos de inflamabilidad. Cabe anotar que no basta con evaluar los riesgos, sino que también es necesario definir y ejecutar medidas para mitigarlos, que permitan evitar o al menos reducir al mínimo la probabilidad de que ocurran imprevistos junto con sus consecuencias.

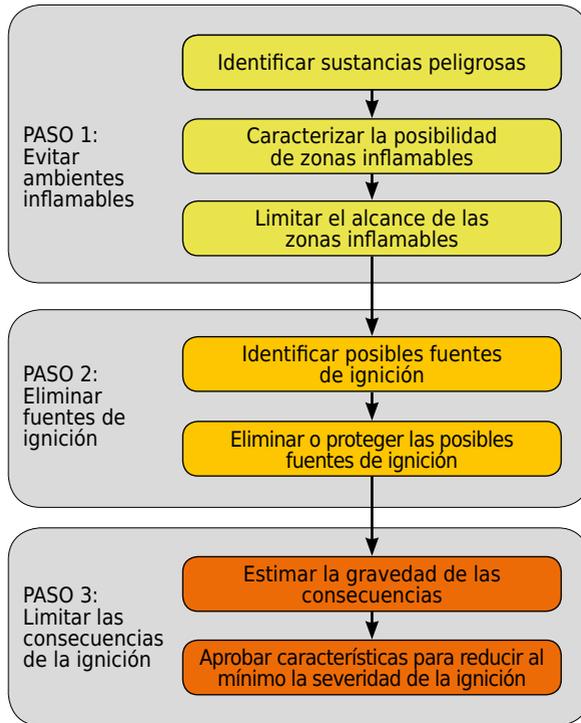


Figura 14. Pasos básicos a seguir para la evaluación del riesgo de inflamabilidad

Requisitos de diseño para los sistemas de refrigeración

Los reglamentos, normas, códigos de práctica y directrices de la industria para los refrigerantes inflamables, se ciñen por requisitos de diseño que generalmente exceden las exigencias aplicadas a los refrigerantes comunes. Los principales puntos a considerar son los siguientes:

- Limitar la cantidad de refrigerante de modo que sea poco probable que se incendie (es decir, limitar la carga de refrigerante)
- Diseñar el sistema y sus componentes de manera que la carga de refrigerante sea menor
- No instalar equipos en lugares de alto riesgo (es decir, donde haya posibles fuentes de ignición)
- Asegurarse de usar sistemas altamente herméticos
- Construir el sistema de manera que no quede expuesto a fuentes de ignición que puedan causar un incendio si se presenta una fuga de refrigerante (por ejemplo, que no haya componentes que provoquen chispas en lugares donde se pueda acumular una fuga)
- Usar frecuentemente sistemas de ventilación y detección de gas que ayuden a dispersar una eventual fuga de refrigerante
- Aplicar las advertencias necesarias a las partes accesibles del sistema, de manera que los técnicos sean conscientes de los peligros (por

ejemplo, adhesivos que indiquen gases inflamables cerca de los puntos de carga)

- Incluir información sobre inflamabilidad en la documentación sobre uso e instalación

En la Tabla 8 se muestran límites recomendados según el tamaño de la carga y basados en las condiciones seleccionadas para distintos refrigerantes inflamables (las distintas normas y directrices indican diferentes límites). Puede observarse que los refrigerantes de mayor LII, permiten cantidades *más altas* (por circuito de refrigerante) que aquellos de menor LII. Cuando se desea una carga mayor de refrigerante se pueden variar las características de diseño del sistema, de modo que se limite la cantidad de refrigerante liberado o se concentre en caso de fuga;

por ejemplo, se pueden instalar *válvulas de cierre en el circuito, que se activen mediante detectores de gas* o ciertos parámetros de funcionamiento, impidiendo así la fuga del refrigerante. También se pueden emplear detectores de gas u otros parámetros que activen el flujo de aire, para diluir el refrigerante y evitar que la concentración alcance el LII, si llega a presentarse una fuga. Asimismo, es posible dividir los sistemas grandes en otros más pequeños, con menor carga de refrigerante. Este tipo de medidas permite ampliar el uso de los refrigerantes inflamables. Estas limitaciones normalmente no existen cuando se trata de sistemas instalados al aire libre o en cuartos de máquinas.. Las normas como la EN 1127-1¹⁷ son *útiles* para el diseño de sistemas donde se usan refrigerantes inflamables.

Temas claves de capacitación

Como se analizó anteriormente, es necesario capacitar a todas las personas que participen en cualquier etapa de la vida útil del equipo; obreros, ingenieros que diseñan los sistemas y técnicos especializados, requieren capacitación sobre distintos temas (además de los relacionados con el uso seguro de refrigerantes en general). La Tabla 9 contiene una lista indicativa de los temas generales

que deben conocer quienes aplican y manipulan refrigerantes inflamables. En general, los principios básicos son necesarios para todos los interesados, siendo los demás temas más pertinentes para quienes participan en el desarrollo y diseño de equipos o que manejan refrigerantes durante la instalación, mantenimiento, etc.

¹⁷ EN 1127-1, Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Conceptos básicos y metodología.

Tabla 8. Ejemplos de presiones de ensayo y límites de carga para ciertos refrigerantes y el personal asociado, en función de la norma ISO 5149

Clase de refrigerante	Refrigerante	Ejemplo de presión de cálculo de ensayo ^a (bar, abs.)	Carga permitida en 15 m ² de espacio ocupado (confort) ^b (kg)	Carga permitida en 15 m ² de espacio ocupado (general) ^c (kg)	Carga máx en espacio ocupado (ocupación A / B) (kg)	Carga máx. al aire libre o en sala de máquinas	Carga máx para un recinto ventilado (kg)
A1	HCFC-22	32	11,3	11,3	PL×RVd	sin límite	PL×RVd
	HFC-134a	22	9,4	9,4			
	R-404A	38	19,5	19,5			
	R-407C	36	11,6	11,6			
	R-410A	50	16,5	16,5			
	R-744	129f	3,8	3,8			
A2L	HFC-32	51	1,3 - 4,9	2,3	12 (60e)	sin límite	60
	R-444A	22	1,2 - 4,6	2,2	11 (57e)		57
	R-444B	32	0,7 - 2,5	1,4	7 (36e)		36
	R-445A	22	1,5 - 5,5	2,5	13 (66e)		66
	R-446A	41	0,7 - 2,2	1,4	7 (35e)		35
	R-447A	42	0,9 - 3,3	1,7	9 (43e)		43
	R-451A	21	1,4 - 5,1	2,4	12 (62e)		62
	R-451 B	21	1,4 - 5,1	2,4	12 (62e)		62
	R-454A	29	1,2 - 4,6	2,2	11 (57e)		57
	R-454 B	39	1,3 - 4,7	2,2	12 (58e)		58
	HFC-1234yf	21	1,2 - 4,5	2,2	11 (56e)		56
	HFC-1234ze(E)	17	1,3-4,8	2,3	12 (59e)		59
A2	HFC-152a	20	0,5 - 1,7	1,0	3,4	sin límite	17
A3g	HC-290	28	0,1 - 0,4	0,3	1,5 / 2,5	sin límite	4,9
	HC-600a	11	0,1 - 0,4	0,3	1,5 / 2,5		5,6
	HC-1270	33	0,1 - 0,4	0,3	1,5 / 2,5		6,0
B1	HCFC-123	4	2,1	2,1	PL×RV	sin límite	PL×RV
B2L	R-717	34	0,01	0,01	4,5	sin límite	23

^aSuponiendo una temperatura ambiente de 46°C, una diferencia de temperatura del condensador de 10 K, ensayo individual (1,43 veces la presión máxima del condensador)

^bSegún las condiciones de la instalación

^cHabitación de 2,5 m de altura

^dPara sistemas con múltiples intercambiadores de calor de interior tal vez se permita una carga más elevada, según las circunstancias

^ePara sistemas con múltiples intercambiadores de calor de interior

^fComo la condición es supercrítica (es decir, en un proceso transcrito), la presión se basa en una presión de cálculo de 90 bar para el enfriador de gases

^gLos HC refrigerantes tienen una densidad mucho menor, de modo que se puede obtener una capacidad de refrigeración de 2 a 3 veces mayor con la misma carga de refrigerante.

Nota: las cargas permitidas y máximas se aplican a cada circuito refrigerante y no hay límite de cantidad de circuitos individuales en una habitación

Nota: los valores de este cuadro son de carácter indicativo; para la determinación de límites de tamaño de carga de refrigerantes por tipo específico de sistema y lugar de instalación se debe aplicar la norma; los valores del presente cuadro no deben tomarse en su reemplazo

Tabla 9. Temas principales de capacitación (lista no exhaustiva)

Temas	Inflamable	Mayor toxicidad	Mayor presión
Principios básicos			
• Cómo efectuar evaluaciones de riesgo de inflamabilidad de sistemas e instalaciones	X		
• Cómo llevar a cabo evaluaciones de riesgo de toxicidad de sistemas e instalaciones		X	
• Cómo hacer evaluaciones de riesgo de presión elevada de sistemas e instalaciones			X
• Conocimiento de fichas de seguridad de los materiales	X	X	X
• Características de inflamabilidad (“triángulo del fuego”, LII, energía de ignición, calor de combustión, etc.)	X		
• Características de toxicidad (a corto plazo, a largo plazo, efectos fisiológicos, etc.)		X	
• Normas y reglamentos de seguridad pertinentes a los equipos que emplean gases inflamables, de mayor toxicidad y mayor presión	X	X	X
• Diferencias de densidad de los refrigerantes en comparación a refrigerantes comunes y efectos sobre el tamaño de la carga y el llenado de los cilindros	X		
• Diferencias de presión de los refrigerantes en comparación con refrigerantes comunes y efectos sobre la presión de cálculo, el tamaño del sistema y el índice de presión del cilindro			X
• Comportamiento de una fuga de refrigerante en distintas circunstancias, es decir, flujo de gas más denso (o más liviano) que el aire en habitaciones cerradas, recintos, el exterior con o sin viento y el efecto de la ventilación	X	X	
Diseño y construcción del sistema			
• Clasificación dentro de las normas de seguridad en materia de refrigeración - inflamabilidad, toxicidad, ocupantes, lugares, tipos de sistema	X	X	X
• Requisitos de las normas de seguridad - determinación de límites de carga según el tamaño (o tamaños mínimos de habitaciones), necesidad de dispositivos de seguridad (por ejemplo, limitadores de presión, dispositivos de descompresión, etc.), detección de gas, ventilación, etc.	X	X	X
• Fuentes de ignición; tipos, energías de encendido, efectos de temperatura, etc.	X		
• Necesidad de protección y tipos de protección apropiados para las posibles fuentes de ignición	X		
• Importancia de reducir fugas al mínimo y métodos para evitar fugas	X	X	X
• Requisitos de información, por ejemplo, marcado, etiquetado y señalización de equipos	X	X	X

Tabla 9. Temas principales de capacitación (lista no exhaustiva)

Temas	Inflamable	Mayor toxicidad	Mayor presión
Prácticas de trabajo			
• Cómo efectuar una evaluación de riesgo para crear y mantener un área de trabajo segura para trabajar en un sistema que contiene refrigerantes inflamables	X		
• Cómo efectuar una evaluación de riesgo para crear y mantener un área de trabajo segura para trabajar en un sistema que contiene refrigerantes de mayor toxicidad		X	
• Cómo efectuar una evaluación de riesgo para crear y mantener un área de trabajo segura para trabajar en un sistema que contiene refrigerantes de mayor presión			X
• Selección y uso de herramientas, equipos y equipos de protección personal adecuados para manipular refrigerantes inflamables, de mayor toxicidad o de mayor presión	X	X	X
• Uso adecuado de extintores de incendio	X		
• Procedimientos normalizados de seguridad durante la carga, recuperación, evacuación, ventilación, etc.	X	X	X
• Procedimientos de respuesta en casos de emergencia, por ejemplo, de una emisión considerable o un incendio, o prestación de primeros auxilios	X	X	X
• Suministro de información pertinente para placas de inspección, documentación de equipos y propietarios/operadores	X	X	
• Selección de repuestos equivalentes apropiados para aparatos eléctricos, alojamiento de componentes eléctricos, compresores, etc. y mantenimiento de la integridad del sellado de los alojamientos de componentes eléctricos	X		
• Presencia y ausencia de odorante	X		
• Restricción a la reubicación de los sistemas y equipos existentes	X	X	X

Herramientas y equipos de mantenimiento

Los técnicos e ingenieros que trabajan con refrigerantes inflamables deben contar con las herramientas y equipos apropiados, y además utilizarlos. Aunque es común que algunos de estos

se usen de la misma forma con muchos refrigerantes, hay algunos que pueden presentar riesgos de ignición. Los equipos y herramientas más pertinentes se analizan en la Tabla 10.



© cm-green



© RDA-eng.com

Figura 15. Máquinas de recuperación de refrigerantes para HC (izquierda) y para todos los refrigerantes inflamables, excepto R-717 (derecha)



© RDA-eng.com

Figura 16. Ventilador mecánico tipo Ex utilizado para ventilar el área durante la manipulación de refrigerantes inflamables



© Mastercool

Figura 17. Sistema electrónico con medidor y colector que puede utilizarse con refrigerantes inflamables, R-717 y refrigerantes de alta presión (hasta 50 bares)



Figura 18. Señal de advertencia de gas inflamable que se debe en los cilindros de recuperación de refrigerantes inflamables



© Bacharach Inc

Figura 19. Detectores de gas refrigerante para refrigerantes de hidrocarburos (HC)

Tabla 10. Consideraciones relativas a los instrumentos y equipos que se utilizan con refrigerantes inflamables

Elemento	Observaciones
Detectores de gas	Deben ser electrónicos e idóneos para usar con gases inflamables y el refrigerante propuesto (Figura 19).
Balanzas/ básculas	Si son electrónicas deben ser adecuadas para uso en áreas con presencia de refrigerantes inflamables y contar con la confirmación del fabricante.
Sistema de medidor/ colector y manguera	Estos materiales deben ser compatibles y capaces de resistir la presión máxima; además, si son electrónicos deberán ser adecuados para uso en presencia de refrigerantes inflamables (Figura 17).
Vacuómetro	Si es electrónico deben ser apropiado para uso con refrigerante inflamable y contar con la confirmación del fabricante.
Bomba de vacío	Debe ser adecuada para uso con gases inflamables (por ejemplo no con un motor con escobillas) o estar dispuesta de para poder ser encendida y apagada donde el gas inflamable no pueda llegar.
Adaptadores del cilindro refrigerante	Garantizar la presencia del tipo correcto de adaptador para poder extraer el refrigerante del cilindro en condiciones seguras.
Cilindro de recuperación	Debe estar calibrado para la máxima presión del refrigerante utilizado, con las debidas advertencias de gas inflamable; también se deben cumplir las normas de manejo para los cilindros de refrigerante (Figura 18, Figura 28).
Aparato de recuperación del refrigerante	Debe poderse usar con el tipo de refrigerante en cuestión y contar con un diseño adecuado para refrigerantes inflamables (Figura 15).
Manguera de extracción	Debido al insignificante impacto ambiental de la emisión directa de ciertos refrigerantes inflamables, específicamente los hidrocarburos, es común ventilarlos en lugar de recuperarlos (por lo general cuando las cargas de refrigerante son pequeñas); en este caso es necesario contar con una manguera suficientemente larga para realizar una extracción directa en un lugar seguro al aire libre.
Ventilación mecánica	Cuando se trabaja con cargas de refrigerante más grandes, puede ser beneficioso usar una unidad de ventilación mecánica segura, que ayude a diluir cualquier cantidad de refrigerante liberada accidentalmente.
Equipo de protección personal (EPP)	Normalmente se requieren implementos estándar como gafas, guantes y extinguidor de incendios (Figura 29, Figura 30).

Aspectos de seguridad relativos a los refrigerantes de mayor toxicidad

Como se indica en la Tabla 6, existe un refrigerante alternativo principal de mayor toxicidad - el amoníaco (R-717) - y es el único refrigerante que se analizará en esta sección. En la Tabla se

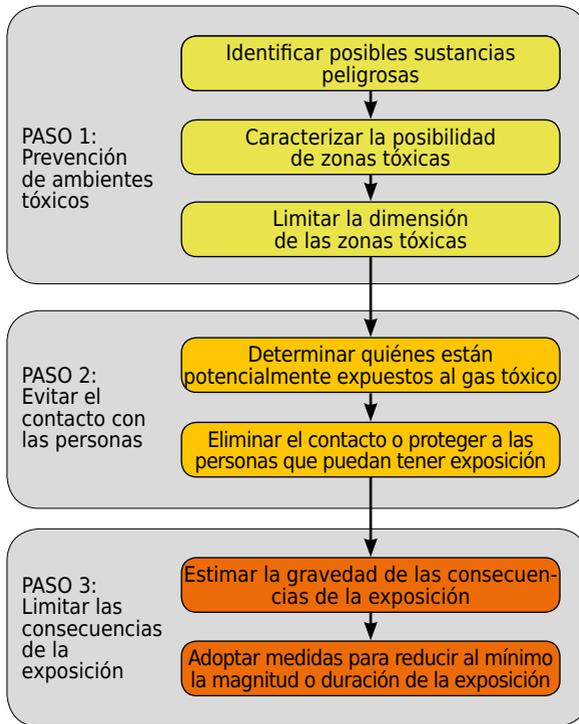
enumeran algunas de sus características básicas de seguridad, que confirman que es inflamable y tóxico, siendo además altamente corrosivo e higroscópico (afín a la humedad).

Evaluación general de riesgos

El mayor peligro asociado a los refrigerantes de mayor toxicidad y específicamente al R-717, es que llegue a liberarse y las personas allí presentes lo inhalen. Aunque no tan comunes, otros riesgos incluyen que alguna persona entre en contacto directo con el refrigerante líquido y que se llegue a una concentración inflamable que entre en ignición. Se produce exposición excesiva a una concentración tóxica del refrigerante cuando este es liberado de forma accidental dentro de un espacio cerrado - o incluso al aire libre si la liberación es de suficiente magnitud - y el personal allí presente no tiene acceso inmediato al equipo de protección. Es importante anotar que las reacciones adversas al R-717 se pueden presentar aún a concentraciones extremadamente bajas (del orden de las

decenas o centenas de partes por millón en aire). Entre otras, las consecuencias de la inhalación incluyen irritación de ojos y nariz con dolor de garganta, tos, opresión en el pecho, inflamación, lagrimeo, fotofobia, dolor de cabeza y confusión y aún muerte. El contacto directo con la piel puede provocar quemaduras severas, mientras que la inhalación puede producir quemaduras en la boca y garganta. En la Figura 18 se indican los pasos básicos a seguir para evaluar los riesgos asociados a las sustancias de mayor toxicidad. Cabe anotar que la sola evaluación del riesgo no es suficiente, también es necesario definir y presentar medidas de mitigación para esos riesgos, con el fin de evitar o reducir al mínimo la probabilidad de que se presenten imprevistos y sus consecuencias.

Figura 20 Pasos básicos para la evaluación de riesgos de toxicidad



Requisitos de diseño del sistema de refrigeración

Los requisitos de diseño para los refrigerantes de mayor toxicidad — más estrictos que aquellos para los refrigerantes comunes— se pueden encontrar en las reglamentaciones, normas, códigos de práctica y directrices de la industria. Entre los aspectos principales a considerar se encuentran:

- Limitar la cantidad de refrigerante a un nivel que no presente riesgo de toxicidad (es decir, limitar la carga del refrigerante)
- Diseñar sistemas y componentes para cantidades más reducidas de carga de refrigerante
- No instalar equipos en lugares expuestos a riesgos (es decir, donde puedan congregarse grupos grandes de personas sin control posible)
- Garantizar que los sistemas tengan un alto nivel de hermeticidad.
- Usar frecuentemente sistemas de ventilación y detección de gas que ayuden a dispersar cualquier fuga eventual de refrigerante
- Suministrar equipos especializados de protección personal como mascarillas, indumentaria indicada y estaciones de lavado
- Colocar mensajes de advertencia en las partes accesibles del sistema para que los técnicos sean conscientes del peligro (por ejemplo, carteles de advertencia cerca de los puntos de carga)

- Incluir en la documentación de instalación y uso información sobre los efectos tóxicos

La Tabla 8 (página 41) contiene algunos ejemplos de tamaños de carga basados en las condiciones seleccionadas para el R-717 (y señala que diferentes normas y directrices tienden a indicar diferentes límites) y el HCFC-123. Particularmente en relación con el R-717, se observa que debido a su muy bajo límite de toxicidad aguda (LTA), las

cantidades permitidas de refrigerante (por circuito) son extremadamente pequeñas. Según la ocupación, el lugar y el tipo de sistema, se podrán permitir cantidades mayores, siendo además posible variar el diseño del sistema para limitar la cantidad de refrigerante emitido en caso de que se presente una eventual liberación del mismo. Estas limitaciones normalmente no existen para sistemas instalados al aire libre o en cuartos de máquinas.

Temas claves de capacitación

Como se analizó anteriormente, es necesario capacitar a todo el personal que participe en cualquiera de las etapas que componen la vida útil del equipo; obreros, ingenieros que diseñan los sistemas y técnicos especializados, necesitan capacitación sobre distintos temas (además de los relacionados con el uso seguro de refrigerantes en general). La Tabla 9 contiene

una lista indicativa de los temas generales necesarios para quienes aplican y manipulan refrigerantes inflamables. En general, los principios básicos son de interés para todos los interesados, y los demás temas son *más pertinentes para* quienes participan en el desarrollo y diseño de equipos o que manejan refrigerantes durante la instalación, mantenimiento, etc.

Herramientas y equipo de mantenimiento

Es esencial que los técnicos e ingenieros que trabajan directamente con los refrigerantes más tóxicos, tengan a disposición las herramientas y equipos apropiados para su adecuado manejo. Si bien es frecuente que ciertas herra-

mientas y equipos sean comunes para la mayoría de refrigerantes, hay algunos en los que la seguridad puede estar especialmente comprometida. La Tabla 11 presenta los instrumentos y equipos más pertinentes.



© testolimited.com

Figura 21. Detector de gas refrigerante para amoníaco (R-717)



© Howe Corporation - Chicago, Illinois USA

Figura 22. Bomba de recuperación de R-717



© Rolf Hühnen

Figura 23. Ejemplo de equipo respiratorio de protección



© Rolf Hühnen

Figura 24. Ejemplo de traje de protección para el R-717

Tabla 11. Consideraciones relativas a los instrumentos y el equipo utilizados con amoníaco (R-717)

Elemento	Observaciones
Detectores de gases	Deben ser electrónicos y apropiados para usar con el R-717 (Figura 21).
Sistema de medidor/ colector y manguera	Los materiales deben ser compatibles con el R-717, capaces de resistir la presión máxima y, de ser electrónicos, ajustarse a las características del R-717 (Figura 17).
Vacuómetro	Los materiales deben ser compatibles con el R-717
Bomba de vacío	Debe ser adecuada para las características del R-717.
Adaptadores del cilindro refrigerante	Usar un adaptador apropiado, que permita extraer el refrigerante del cilindro en condiciones seguras.
Cilindro de recuperación	Calibrado para la presión máxima del R-717, contar con las advertencias adecuadas y estar construido de un material compatible con el R-717. Asimismo, se debe cumplir con las normas de manejo para los cilindros de refrigerante. (Figura 28, Figura 31)
Aparato de recuperación de refrigerante	Adecuado para usar con el R-717 (Figura 22)
Equipo de protección personal (EPP)	Además del equipo usual para protección personal, se deberá suministrar un equipo de protección respiratoria especial (por ejemplo, máscaras con cartuchos o equipos de respiración) dependiendo de la cantidad de refrigerante utilizado. Además se debe disponer de ropa de protección con casco y visor transparente, gafas herméticas antigás, guantes térmicos aislantes, trajes y capucha de protección impermeables al R-717 y botas de goma (Figura 23, Figura 24). Adicionalmente contar con ducha o baño de seguridad y fuentes lavaojos.

Temas de seguridad relacionados con los refrigerantes de mayor presión

Como se observa en la Tabla 6 (página 35), aún cuando existen varios refrigerantes con presión superior a la del HCFC-22, el rango de presión generalmente no excede al de este último compuesto en más del 50%. Existe sin embargo un refrigerante alternativo - el dióxido de carbono (R-744) - cuya presión es considerable-

mente más alta (generalmente por un factor de seis) y es necesario analizar las implicaciones de su uso. Puesto que otros compuestos como el R-410A y el HFC-32, tienen presiones notablemente más altas que la del HCFC-22 se reafirma la importancia de considerar temas relacionados con la presión.

Evaluación general de riesgos

Con todos los refrigerantes que funcionan bajo presión (es decir, por encima de la presión atmosférica de 1,01 bar, abs), existe siempre el riesgo de que ocurra una liberación rápida de presión, como consecuencia de la apertura o rotura accidental de partes que se encuentran bajo presión. Este evento puede producir daños físicos a las personas por causa directa de la ola de presión resultante o más comúnmente de manera indirecta, debido al impacto por proyectiles. Los refrigerantes que funcionan a alta presión posiblemente traigan consecuencias más graves (suponiendo que todas las demás condiciones sean las mismas). En la Figura 25 se indican las etapas básicas de la evaluación de riesgos para sustancias que operan bajo presión. En principio, el procedimiento

general para todos los refrigerantes es determinar los niveles máximos de presión a los que se prevé que el equipo o sus partes operen, y con base en esta información diseñar un sistema de tuberías y componentes que resistan dicha presión (contemplando factores de seguridad). Toda condición imprevista de operación que de lugar a un aumento de presión deberá manejarse con dispositivos de seguridad, que interrumpan la operación o alivien la presión de manera segura. Es decir, después de evaluar los riesgos es importante determinar y aplicar medidas de mitigación que eviten o reduzcan al mínimo la posibilidad de que ocurran imprevistos junto con sus consecuencias. En general, los refrigerantes con presiones más altas exigen medidas de mitigación más exhaustivas.

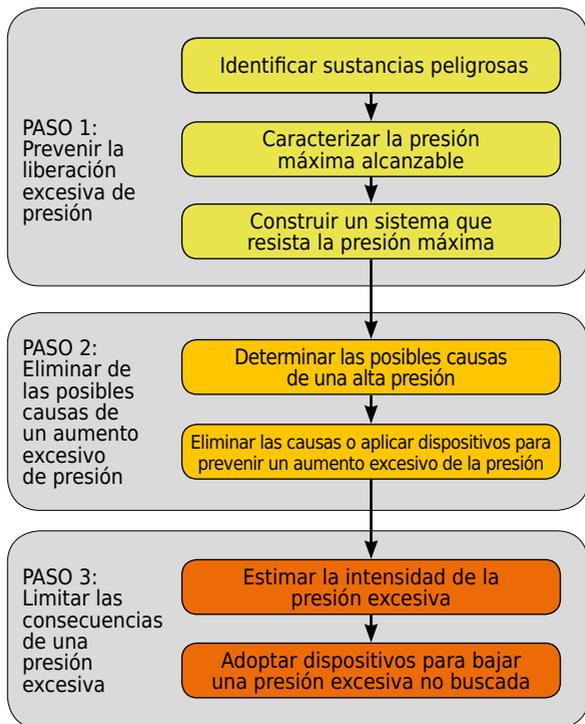


Figura 25. Etapas básicas para la evaluación de los riesgos a alta presión

Requisitos de diseño para los sistemas de refrigeración

Los reglamentos, normas, códigos de práctica y directrices de la industria, detallan los requisitos de diseño para refrigerantes de alta presión, generalmente mucho más estrictos que los que normalmente se exigen para los refrigerantes ordinarios. Los principales temas a tener en cuenta son:

- Asegurar que todos los sistemas cuenten con un alto nivel de hermeticidad.
- Diseñar sistemas de tuberías y componentes que resistan presiones considerablemente más altas que las usuales
- Seleccionar y colocar cuidadosamente dispositivos adicionales de seguridad para presión (por ejemplo interruptores que limitan la presión y válvulas de alivio de presión)
- Colocar las advertencias necesarias en partes accesibles del sistema para asegurar que los técnicos estén conscientes del peligro (por ejemplo, señalización de la alta presión en el equipo)
- Incluir en la documentación sobre instalación y funcionamiento, información pertinente sobre las presiones de operación

Temas claves para la capacitación

Como se analizó anteriormente, es necesario capacitar a todo el personal que participe en cualquiera de las etapas que componen la vida útil del equipo; obreros, ingenieros que diseñan los sistemas y técnicos especializados, necesitan capacitación sobre distintos temas (además de los relacionados con el uso seguro de refrigerantes en general). La Tabla 9 contiene

una lista indicativa de los temas generales necesarios para quienes aplican y manipulan refrigerantes inflamables. En general, los principios básicos son de interés para todos los interesados, y los demás temas son *más pertinentes para* quienes participan en el desarrollo y diseño de equipos o que manejan refrigerantes durante la instalación, mantenimiento, etc.

Herramientas de servicio y equipo

Es esencial que los técnicos e ingenieros que trabajan directamente con los refrigerantes más tóxicos, tengan a disposición las herramientas y equipos apropiados para su adecuado manejo. Si bien es frecuente que ciertas herra-

mientas y equipos sean comunes para la mayoría de refrigerantes, hay algunos en los que la seguridad puede estar especialmente comprometida. La Tabla 12 presenta los instrumentos y equipos más pertinentes.



Figura 26. Detector de gas refrigerante para dióxido de carbono (R-744)

© INFICON



Figura 27. Conjunto de medidores para usar con R-744 (hasta 160 bar)



Figura 28. Cilindro para recuperación de refrigerante



Figura 29. Equipo básico de protección: gafas y guantes

Artículo	Observaciones
Detectores de gases	Deben ser electrónicos y ser adecuados para uso con el refrigerante previsto (Figura 26).
Sistema de medidor/colector y manguera	Deben resistir la presión máxima; actualmente no existen modelos digitales para presiones muy altas (Figura 27).
Adaptadores del cilindro del refrigerante	Asegurarse de que cuenten con adaptador correcto, que permita extraer el refrigerante del cilindro en condiciones seguras
Cilindro de recuperación	Debe estar calibrado para la máxima presión del refrigerante utilizado y contar con las debidas advertencias sobre alta presión cuando proceda (ver también la Tabla 10); también se deben cumplir las normas de manejo para los cilindros de refrigerante (Figura 28, Figura 31).
Manguera de extracción (ventilación)	Debido al muy bajo impacto ambiental que supone la liberación directa de R-744, es común extraerlo y airearlo en lugar de recuperarlo; de ser el caso, se requiere una manguera suficientemente larga para poder llevar el gas hasta un lugar seguro al aire libre.
Aparato de recuperación del refrigerante	Se debe poder usar con el tipo de refrigerante en cuestión y contar con un diseño adecuado que permita manipular la alta presión del refrigerante.
Equipo de protección personal	Normalmente se requieren artículos estándar como gafas y guantes (Figura 29).

Tabla 12. Consideraciones sobre los instrumentos y equipos que se utilizan con los refrigerantes de alta presión



Figura 30. Extinguidor de incendios



Figura 31. Notas de advertencia/etiquetas

5

Enfoque del Protocolo de Montreal con respecto a las alternativas a los HCFC y los temas de seguridad



Promoción de alternativas amigables al clima

En 2007, cuando las Partes en el Protocolo de Montreal acordaron eliminar los HCFC, la decisión no se adoptó de manera aislada ni considerando únicamente el problema del agotamiento del ozono. Además de establecer un calendario y etapas definidas para la eliminación de esas sustancias, tanto en los países que operan al amparo del Artículo 5 como en los que no se incluyen bajo el mismo, la Decisión XIX/6 de la Reunión de las Partes también plantea consideraciones y recomendaciones más amplias. En ella se alienta a las Partes a que *“fomenten la selección de alternativas de los HCFC que limitan a un mínimo las repercusiones en el medio ambiente, en particular las repercusiones en el clima, y que cumplen otros requisitos sanitarios, de seguridad y económicos”*. En la práctica, cuando se busca utilizar refrigerantes de bajo PCG,

deberían considerarse las repercusiones que estos puedan tener sobre su manejo seguro y la manera de resolverlas.

En 2013, la Secretaría del Fondo Multilateral elaboró un importante documento de discusión sobre la atenuación de los efectos adversos de la eliminación de los HCFC sobre el clima, en el sector de servicio de los equipos de refrigeración (<http://www.multilateralfund.org/72/Spanish/1/S7242.pdf>). El documento proporciona una útil orientación para los países y las agencias de implementación a la hora de examinar las alternativas a los HCFC, incluyendo una orientación específica sobre seguridad. Recomienda enfáticamente la elaboración de reglamentos y códigos de conducta, así como la adopción de normas que aseguren que la introducción de refrigerantes

inflamables, de mayor toxicidad y más alta presión se realice en condiciones seguras, reconociendo que esto puede ser difícil sin soporte técnico suficiente. El tema de la seguridad en relación con la reconversión fue específicamente examinado más tarde por el Comité Ejecutivo en 2014 (decisión 72/17), cuando se afirmó que *“toda persona que intervenga en la reconversión de equipos de refrigeración y aire acondicionado basados en HCFC a alternativas con refrigerantes inflamables o tóxicos, y en el mantenimiento conexo, lo hace en el entendimiento de que asume todas las responsabilidades y riesgos asociados”*. Dado que el interés por las alternativas a los HCFC va en aumento y

en vista de las recientes deliberaciones sobre una posible futura reducción de los HFC, el tema de la seguridad en relación con las alternativas es cada vez más importante. Muchos países del Artículo 5 han solicitado ayuda con actividades de capacitación, sensibilización e información sobre el uso seguro de estas alternativas¹⁸ y muchos de ellos cuentan ya con planes de capacitación bien establecidos, así como normas, reglamentos y códigos de prácticas vigentes, siendo capaces de proporcionar ejemplos y asistencia a quienes desean emprender iniciativas similares y tomar decisiones fundamentadas sobre la aplicación de alternativas a los HCFC con bajo PCG.

Ejemplos de actividades desarrolladas en países en vías de desarrollo

En la mayoría de los países del Artículo 5 aún no se abordan los temas de seguridad de forma sistemática e institucional, sin

embargo se cuenta con ejemplos de medidas adoptadas para abordar este importante asunto en relación con las alternativas.

Capacitación

La mayoría de los planes de gestión de la eliminación de los HCFC (HPMP por sus siglas en inglés) incluye un componente de generación de capacidades y entrenamiento para los técnicos del sector de la refrigeración y el aire acondicionado. Muchos países integran a estas iniciativas un componente de seguridad, que según el caso puede incluir un programa de estudios con módulos específicos e información sobre la seguridad en relación con los refrigerantes inflamables, de mayor toxicidad y más alta presión. En muchos de estos cursos se incorporan sesiones prácticas que pueden incluir evaluaciones de competencias. En la India, por ejemplo, la capacitación impartida a los técnicos de mantenimiento de las pymes inclui-

da en el HPMP, comprende un módulo sobre el manejo seguro de alternativas a los HCFC. Incluye además capacitación sobre la importancia de la seguridad cuando se da mantenimiento a los equipos, orientación sobre el mantenimiento preventivo y posterior a una avería, e información sobre las herramientas y equipos específicos que son necesarios para el mantenimiento. También abarca procedimientos y métodos prácticos para prevenir accidentes y saber cómo actuar en situaciones de emergencia. Estos temas también se analizan con frecuencia en las reuniones de las redes regionales y las reuniones temáticas organizadas por el Programa de Asistencia para el Cumplimiento del Programa Acción por el Ozono del PNUMA.

¹⁸ <http://conf.montreal-protocol.org/meeting/mop/cop10-mop26/presession/Espalol/MOP-26-9S.pdf>.

Normas

Otro asunto importante es el de la adopción de normas o estándares de seguridad, que en muchos casos requiere a las unidades nacionales de ozono trabajar en estrecha cooperación con el órgano nacional normativo/de certificación (por ejemplo, la Oficina Nacional de Normas). En China y Saint Kits y Nevis por ejemplo, se redactaron normas de seguridad para el manejo seguro de los refrigerantes naturales. En el Reino de Bahrein y el Estado de Kuwait, los HPMP prevén la elaboración e introducción de normas y códigos nacionales para equipos e instalaciones que operen con hidrocarburos y R-717, así como códigos para utilizar esos equipos y darles mantenimiento.

Lo anterior incluye servicios de consultoría internacional, talleres de consulta, visitas de campo (sobre el terreno) sur-sur, elaboración y revisión de códigos o estándares, pruebas piloto para los códigos o normas antes de su publicación definitiva y sesiones de orientación para las personas interesadas, sobre los nuevos códigos/ estándares. La capacitación en el desarrollo de sistemas fiables de certificación puede ser útil para los funcionarios nacionales de ozono y expertos nacionales; por ejemplo, durante un ciclo de capacitación organizado por el Programa Acción por el Ozono, los países participantes, como Mozambique, recibieron entrenamiento en las normas de certificación europeas.

Análisis de riesgos

En China se realizaron evaluaciones de riesgos y estudios de seguridad sobre los refrigerantes alternativos. En particular, se investigó el riesgo de inflamabilidad asociado al uso de hidrocarburos en equipos de aire acondicionado para interiores, en distintos escenarios de riesgo como fugas, concentraciones inflamables, sistemas sometidos a presión excesiva, incendios externos, etc.¹⁹. Estos estudios son importantes para

tomar decisiones fundamentadas sobre la adopción de alternativas y medidas de seguridad. México también tiene previsto realizar ensayos de seguridad relacionados con la aplicación de hidrocarburos en los sistemas de aire acondicionado en su HPMP. El nivel de seguridad y los riesgos potenciales asociados con ciertos equipos serán evaluados y reflejados en la recomendación sobre normas de seguridad que se preparen para el sector.

¹⁹ Zhang et al., Research on the flammability hazards of an air-conditioner using refrigerant R-290. International Journal of Refrigeration, volumen 36, número 5, agosto de 2013, págs. 1483 a 1494 .

6 Orientación para las Unidades Nacionales de Ozono (UNOs)



Enfoque general

Cuando las UNO consideran el uso de refrigerantes alternativos que conllevan mayores riesgos, es importante entender las posibles consecuencias y contar con un plan de mitigación que resuelva sus preocupaciones y aquellas de otras personas interesadas. Es fundamental que las autoridades manejen estos temas de forma estratégica, implementando medidas pertinentes como son:

- Identificar las sustancias que más probablemente se van a usar (o de hecho se pretenda usar)
- Conocer los actores interesados que se verán impactados por la adopción de las alternativas específicas
- Determinar los temas a tratar y en la medida en que serán tratados
- Organizar cursos prácticos, conferencias, sesiones de capacitación y otros para diseminar la información y competencias relevantes

- Determinar si se requieren herramientas, equipo o maquinaria específicos y facilitar su selección y adquisición
- Establecer un grupo de interesados y un circuito de retroinformación, que promuevan un análisis permanente y permitan un mejoramiento continuo de la experiencia y el conocimiento

Para asegurar el mayor nivel de seguridad posible, es importante implementar todas las herramientas y técnicas pertinentes a la concepción del producto o equipo, desde la fábrica hasta el final de la vida útil del equipo de refrigeración. La distintas medidas implementadas proporcionarán diferentes niveles de protección, que contribuyen a minimizar los riesgos asociados al uso de los refrigerantes alternativos. A continuación se examinan las consideraciones generales a tener en cuenta al introducir refrigerantes alternativos.

Sensibilización

Crear conciencia entre todos los interesados, no solamente los técnicos. En particular, crear conciencia tanto en la industria de la refrigeración y el aire acondicionado (RAC) como más amplia-

mente, entre los integrantes de otros sectores como arquitectos, personal de construcción, operadores de inmuebles, gestores de instalaciones, usuarios finales y otros.

Énfasis en la capacitación

Asegurar un alto nivel de seguridad para los técnicos y otros ingenieros del sector, por ejemplo quienes están a cargo del diseño de los aparatos, de la selección de componentes, el diseño de sistemas, la planificación de las instalaciones, la puesta en servicio y otros. Lo anterior no solamente refuerza la seguridad, sino que también contribuye a potenciar todo el sector al mejorar los conocimientos

y tecnologías, la calidad del trabajo, la concienciación y otros. Los programas de certificación, registro y concesión de licencias para técnicos e ingenieros, deben apoyar este tipo de acciones. En este marco tal vez sea apropiado establecer niveles de calificación y asignar niveles de autorización pertinentes para trabajar en determinados tipos de sistemas.

Cambio cultural

En muchas regiones, la importancia de una “cultura de la seguridad” no está tan arraigada en el sector industrial como sí lo está en otras. Se deben introducir medidas que contribuyan al cambio hacia una cultura de seguridad

de manera mucho más seria dentro de la industria (incluyendo temas asociados como prevención de escapes, eficiencia y otras). Nuevamente, esto se puede lograr mediante legislación, creación de conciencia e incentivos.

Lento pero seguro

La introducción de los refrigerantes alternativos debe hacerse de manera controlada y estable, de suerte que las prácticas y conductas de trabajo se puedan modificar gradualmente y de forma controlada. Un buen enfoque puede ser estudiar la posibilidad de incorporar los nuevos refrigerantes gradualmente en cada sector, por ejemplo,

comenzando por sistemas sencillos/fáciles e ir avanzando paulatinamente hacia instalaciones más complejas. Otra opción es establecer programas de registro para técnicos nuevos o existentes mediante sistemas de acreditación, de manera que sólo los técnicos mejor calificados puedan utilizar, por ejemplo los HC.

Expertos nacionales

Establecer una base de expertos en el país o la región, que permita resolver temas pertinentes de seguridad. Así, las autoridades podrían animar a ciertas personas del sector a convertirse en “expertos nacionales” que puedan reunir información y trabajar con empresas que estén aplicando dichos

refrigerantes, asesorándolas a la vez. Otra opción es autorizar a determinadas organizaciones o expertos a realizar verificaciones e inspecciones, para asegurar que se estén acatando las regulaciones pertinentes y logrando los niveles de seguridad requeridos.

Reglamentos y normas

Las autoridades pueden considerar la introducción de instrumentos jurídicos o de otro tipo, tales como estándares de seguridad. Si tales regulaciones ya existen, entonces se pueden identificar vías para modificarlas y expedir normas que

permitan dar un uso más adecuado a los refrigerantes en cuestión. En cualquier caso, es importante asegurar que las regulaciones y normas no sean demasiado prescriptivas, pues ello puede propiciar el uso incorrecto de los refrigerantes.

Identificación de socios cooperantes

Suponiendo que haya necesidad de conocimiento o experiencia, se debe procurar el apoyo de entidades cooperantes. Algunas instituciones de refrigeración, asociaciones, universidades, laboratorios, ministerios nacionales y departamentos gubernamentales, ofrecen apoyo y servicios de consultoría a

las empresas sobre el manejo adecuado de los sistemas de refrigeración. Entre otras entidades que pueden consultarse figuran asociaciones industriales, institutos técnicos, organismos de desarrollo y fondos internacionales, autoridades nacionales, órganos de normalización y órganos de acreditación.

Desarrollo de políticas de seguridad

Puesto que los problemas de seguridad pueden hacer que se interrumpa el proceso de producción, se presente una falla endémica en el marco de un diseño específico, se causen lesiones al personal o miembros del público e incluso que ocurra una desviación en una determinada dirección tecnológica, es preferible evitar estos problemas en cualquier etapa y con respecto a cualquier parte interesada. Por eso es conveniente realizar controles institucionales que ayuden

a evitar pérdidas accidentales. Este tipo de estrategias debe incluir etapas como,

- i) identificación de riesgos
- ii) evaluación de riesgos
- iii) determinación de precauciones necesarias
- iv) implementación de directrices
- v) verificación de cumplimiento
- vi) retroinformación hacia la administración
- vii) modificación de regulaciones o procedimientos según proceda

Lo anterior conformará la base de una política de seguridad que debe abarcar todas las actividades en las que la organización participa, incluyendo entre otros la selección de personal para determinados trabajos, equipo y materiales, el diseño del equipo y los productos, la manera en que se realiza el trabajo y la forma en que se brindan los servicios. Este tipo de políticas deben

diseñarse de manera que se aprenda tanto de los errores como de los éxitos, que se hagan auditorías de seguridad, que se adopten y documenten medidas según los resultados de dichas auditorías, que estas abarquen personal de todos los niveles incluyendo contratistas externos y que se evalúen frecuentemente las políticas y directrices de seguridad.



7 | Lecturas complementarias



Australian Institute of Refrigeration, Airconditioning and Heating (AIRAH) – Flammable Refrigerant Safety Guide,
http://www.airah.org.au/imis15_prod/Content_Files/TechnicalPublications/Flammable-Refrigerant-Safety-Guide-2013.pdf

BRA (British Refrigeration Association) – Guide to Flammable Refrigerants,
http://www.feta.co.uk/uploaded_images/files/BRA%20Guide%20to%20Flammable%20Refrigerants%20-%20Issue%201%20-%20Oct%202012.pdf

Eurammon – information sheets,
<http://www.eurammon.com/information-materials>

GIZ Proklima – Guidelines for the safe use of flammable refrigerants in the production of room air-conditioners,
<http://www.giz.de/expertise/downloads/giz-2012-Guidelines-Safety-AC.pdf>

GIZ Proklima – Guidelines for the safe use of hydrocarbon refrigerants,
<http://www.giz.de/expertise/downloads/Fachexpertise/giz2010-en-guidelines-safe-use-of-hydrocarbon.pdf>

GIZ Proklima - Operation of split air-conditioning systems with hydrocarbon refrigerant,
<http://www.giz.de/expertise/downloads/giz2011-en-split-air-conditioning.pdf>

International Institute of Ammonia Refrigeration (IIAR) – CO₂ Handbook,
<http://www.iiar.org/iiar/ItemDetail?iProductCode=01BOO-EN0402>

Institute of Refrigeration – Safety Code of Practice for Refrigerating Systems Utilising A2/A3 Refrigerants,
<http://www.iior.org.uk/R0EW5TVYA1>

Institute of Refrigeration – Safety Code of Practice for Refrigerating Systems Utilising ammonia –
<http://www.iior.org.uk/X6EXMYYAD>

Institute of Refrigeration – Safety Code of Practice for Refrigerating Systems Utilising carbon dioxide,
<http://www.iior.org.uk/P8EXMV1JAD>

KHLim - NARECO, Natural Refrigerant CO₂ handbook,
<http://shecco.com/files/NaReCO2-handbook-2009.pdf>

UNEP - International Standards in Refrigeration and Air-conditioning
http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/7679-e-International_Standards_in_RAC.pdf

Apéndice: Resumen de datos para los refrigerantes¹⁸

Tabla A1. Resumen de datos para refrigerantes de un solo componente

Designación del refrigerante	Fórmula química	Nombre químico	Peso molecular	Punto de ebullición (°C)	LETA/ODL (kg/m ³)	LIF (kg/m ³)	Clase de seguridad	Permanencia en la atmósfera (Años)	Eficiencia radiativa (W/m/ ppm)	PCG 100 Años	PCG 20 Años	PAO
Serie del metano												
CFC-11	CCl ₃ F	triclorofluorometano	137,4	24	0,006 2	NF	A1	52	0,26	5 160	7 090	1
CFC-12	CCl ₂ F ₂	diclorodifluorometano	120,9	-30	0,088	NF	A1	102	0,32	10 300	10 800	0,73
CFC-13	CClF ₃	diclorodifluorometano	104,5	-81	ND	NF	A1	640	0,25	13 900	10 900	1
BFC-13B1	CBrF ₃	bromotrifluorometano	148,9	-58	ND	NF	A1	72	0,30	6 670	7 930	15,2
PFC-14	CF ₄	tetrafluorometano (tetrafluoruro de carbono)	88,0	-128	0,40	NF	A1	50000	0,09	6 630	4 880	
HCFC-22	CHClF ₂	clorodifluorometano	86,5	-41	0,21	NF	A1	12	0,21	1 780	5 310	0,034
HFC-23	CHF ₃	trifluorometano	70,0	-82	0,15	NF	A1	228	0,18	12 500	10 800	
HCC-30	CH ₂ Cl ₂	diclorometano (cloruro de metileno)	84,9	40	ND	NF	B1	0,4	0,03	9	33	
HFC-32	CH ₂ F ₂	difluorometano (fluoruro de metileno)	52,0	-52	0,30	0,307	A2L	5,4	0,11	704	2 530	
HC-50	CH ₄	metano	16,0	-161	ND	0,032	A3	12,4	3,63e-4	30	85	

¹⁸ Tomado del capítulo 2, UNEP, 2014 Informe del Comité de opciones técnicas sobre refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor, Evaluación de 2014, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.

Designación del refrigerante	Fórmula química	Nombre químico	Peso molecular	Punto de ebullición (°C)	LETA/ODL (kg/m ³)	LIF (kg/m ³)	Clase de seguridad	Permanencia en la atmósfera (Años)	Eficiencia radiativa (W/m/ ppm)	PCG 100 Años	PCG 20 Años	PAO
Serie del etano												
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoroetano	187,4	48	0,02	NF	A1	93	0,30	6 080	6 560	0,81
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂	1,2-dicloro-1,1,2,2-tetrafluoroetano	170,9	4	0,14	NF	A1	189	0,31	8 580	7 710	0,5
CFC-115	CClF ₂ CF ₃	cloropentafluoroetano	154,5	-39	0,76	NF	A1	540	0,20	7 310	5 780	0,26
PFC-116	CF ₃ CF ₃	hexafluoroetano	138,0	-78	0,68	NF	A1	10000	0,25	11 100	8 210	
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	2,2-dicloro-1,1,1-trifluoroetano	152,9	27	0,057	NF	B1	1,3	0,15	79	292	0,01
HCFC-124	CHClCF ₃	2-cloro-1,1,1,2-tetrafluoroetano	136,5	-12	0,056	NF	A1	5,9	0,20	527	1 870	0,02
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	pentafluoroetano	120,0	-49	0,37	NF	A1	31	0,23	3 450	6 280	
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1,1,1,2-tetrafluoroetano	102,0	-26	0,21	NF	A1	14	0,16	1 360	3 810	
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	1-cloro-1,1-difluoroetano	100,5	-10	0,10	0,329	A2	18	0,19	2 070	5 140	0,057
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	1,1,1-trifluoroetano	84,0	-47	0,48	0,282	A2L	51	0,16	5 080	7 050	
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	1,1-difluoroetano	66,1	-25	0,14	0,130	A2	1,6	0,10	148	545	

Designación del refrigerante	Fórmula química	Nombre químico	Peso molecular	Punto de ebullición (°C)	LETA/ODL (kg/m ³)	LIF (kg/m ³)	Clase de seguridad	Permanencia en la atmósfera (Años)	Eficiencia radiativa (W/m/ ppm)	PCG 100 Años	PCG 20 Años	PAO
HC-170	CH ₃ CH ₃	etano	30,1	-89	0,008 6	0,038	A3			5,5	20	
Éteres												
HE-E170	CH ₃ OCH ₃	metoximetano (dimetil éter)	46,1	-25	0,079	0,064	A3	0,015	0,02	1	1	
Serie del propano												
PFC-218	CF ₃ CF ₂ CF ₃	octafluoropropano	188,0	-37	0,34	NF	A1	2600	0,28	8 900	6 640	
HFC-227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	1,1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropano	170,0	-16	0,19	NF	A1	36	0,26	3 140	5 250	
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	1,1,1,3,3,3-hexafluoropropano	152,0	-1	0,34	NF	A1	242	0,24	8 060	6 940	
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	1,1,1,3,3-pentafluoropropano	134,0	15	0,19	NF	B1	7,9	0,24	882	2 980	
HC-290	CH ₃ CH ₂ CH ₃	propano	44,1	-42	0,09	0,038	A3	12,5 días		5	18	
Compuestos orgánicos cíclicos												
PFC-C318	-(CF ₂) ₄ -	octafluorociclobutano	200,0	-6	0,65	NF	A1	3200	0,32	9 540	7 110	
Hidrocarburos												
HC-600	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	butano	58,1	0	0,002 4	0,038	A3			4	15	
HC-600a	CH(CH ₃) ₂ CH ₃	2-metilpropano (isobutano)	58,1	-12	0,059	0,043	A3	6,0 días		~20	74	
HC-601	CH ₃ CH ₂ CH ₂ -CH ₂ CH ₃	Pentano	72,2	36	0,0029	0,035	A3	3,4 días		~20	74	
HC-601a	CH(CH ₃) ₂ CH ₂ -CH ₃	2-metilbutano (isopentano)	72,2	27	0,0029	0,038	A3	3,4 days		~20	74	

Designación del refrigerante	Fórmula química	Nombre químico	Peso molecular	Punto de ebullición (°C)	LETA/ODL (kg/m ³)	LIF (kg/m ³)	Clase de seguridad	Permanencia en la atmósfera (Años)	Eficiencia radiativa (W/m/ ppm)	PCG 100 Años	PCG 20 Años	PAO
Compuestos inorgánicos												
R-702	H ₂	Hidrógeno	2,0	-253			A3					
R-704	He	Helio	4,0	-269		NF	A1					
R-717	NH ₃	Amoníaco	17,0	-33	0,000 22	0,116	B2L					
R-718	H ₂ O	Agua	18,0	100		NF	A1					
R-720	Ne	Neón	20,2	-246		NF	A1					
R-728	N2	Nitrógeno	28,0	-196		NF	A1					
R-740	Ar	Argón	39,9	-186		NF	A1					
R-744	CO ₂	dióxido de carbono	44,0	-78c	0,072	NF	A1	1,37e-5		1	1	
Compuestos orgánicos no saturados												
HC-1150	CH ₂ =CH ₂	eteno (etileno)	28,1	-104	ND	0,036	A3			3,7	14	
HCFC1233zd(E)	CF ₃ CH=CHCl	trans-1-cloro-3,3,3-trifluoro-1-propeno	130,5	18,1	0	NF	A1	26,0 días	0,04	1	5	0,000 34
HFC-1234yf	CF ₃ CF=CH ₂	2,3,3,3-tetrafluoro-1-propeno	114,0	-29,4	0,47	0,289	A2L	10,5 días	0,02	<1	1	
HFC-1234ze(E)	CF ₃ CH=CHF	trans-1,3,3,3-tetrafluoro-1-propeno	114,0	-19,0	0,28	0,303	A2L	40,4 días	0,04	<1	4	
HC-1270	CH ₃ CH=CH ₂	propeno (propileno)	42,1	-48	0,001 7	0,046	A3	0,35 días		1,8	6,6	

Tabla A.2. Resumen de datos para mezclas refrigerantes zeotrópicas

Designación del refrigerante	Composición del refrigerante (Masa %)	Peso molecular	Punto de ebullición/ punto de condensación (°C)	LETAL/ODL (kg/m3)	LIF (kg/m3)	Clase de seguridad	PCG 100 Año	PCG 20 Año	PAO
R-401A	R-22/152a/124 (53,0/13,0/34,0)w	94,4	-34,4/-28,8	0,10	NF	A1	1 100	3 500	0,02
R-401B	R-22/152a/124 (61,0/11,0/28,0)	92,8	-35,7/-30,8	0,11	NF	A1	1 200	3 800	0,03
R-401C	R-22/152a/124 (33,0/15,0/52,0)	101	-30,5/-23,8	0,083	NF	A1	880	2 800	0,02
R-402A	R-125/290/22 (60,0/2,0/38,0)	101,5	-49,2/-47,0	0,27	NF	A1	2 700	5 800	0,01
R-402B	R-125/290/22 (38,0/2,0/60,0)	94,7	-47,2/-44,9	0,24	NF	A1	2 400	5 600	0,02
R-403A	R-290/22/218 (5,0/75,0/20,0)	92	-44,0/-42,3	0,24	0,480	A2	3 100	5 300	0,03
R-403B	R-290/22/218 (5,0/56,0/39,0)	103,3	-43,8/-42,3	0,29	NF	A1	4 500	5 600	0,02
R-404A	R-125/143a/134a (44,0/52,0/4,0)	97,6	-46,6/-45,8	0,52	NF	A1	4 200	6 600	
R-406A	R-22/600a/142b (55,0/4,0/41,0)	89,9	-32,7/-23,5	0,14	0,302	A2	1 800	5 000	0,04
R-407A	R-32/125/134a (20,0/40,0/40,0)	90,1	-45,2/-38,7	0,31	NF	A1	2 100	4 500	
R-407B	R-32/125/134a (10,0/70,0/20,0)	102,9	-46,8/-42,4	0,33	NF	A1	2 800	5 400	
R-407C	R-32/125/134a (23,0/25,0/52,0)	86,2	-43,8/-36,7	0,29	NF	A1	1 700	4 100	
R-407D	R-32/125/134a (15,0/15,0/70,0)	91	-39,4/-32,7	0,25	NF	A1	1 600	4 000	
R-407E	R-32/125/134a (25,0/15,0/60,0)	83,8	-42,8/-35,6	0,27	NF	A1	1 500	3 900	
R-407F	R-32/125/134a (30,0/30,0/40,0)	82,1	-46,1/-39,7	0,32	NF	A1	1 800	4 200	
R-408A	R-125/143a/22 (7,0/46,0/47,0)	87	-45,5/-45,0	0,33	NF	A1	3 400	6 200	0,02
R-409A	R-22/124/142b (60,0/25,0/15,0)	97,4	-35,4/-27,5	0,12	NF	A1	1 500	4 400	0,03
R-409B	R-22/124/142b (65,0/25,0/10,0)	96,7	-36,5/-29,7	0,12	NF	A1	1 500	4 400	0,03
R-410A	R-32/125 (50,0/50,0)	72,6	-51,6/-51,5	0,42	NF	A1	2 100	4 400	
R-410B	R-32/125 (45,0/55,0)	75,6	-51,5/-51,4	0,43	NF	A1	2 200	4 600	

Designación del refrigerante	Composición del refrigerante (Masa %)	Peso molecular	Punto de ebullición/ punto de condensación (°C)	LETAL/ODL (kg/m3)	LIF (kg/m3)	Clase de seguridad	PCG 100 Año	PCG 20 Año	PAO
R-411A	R-1270/22/152a) (1,5/87,5/11,0)	82,4	-39,7/-37,2	0,074	0,186	A2	1 600	4 700	0,03
R-411B	R-1270/22/152a (3,0/94,0/3,0)	83,1	-41,6/-41,3	0,044	0,239	A2	1 700	5 000	0,03
R-412A	R-22/218/143b (70,0/5,0/25,0)	88,2	-36,4/-28,8	0,17	0,329	A2	3 000	5 800	0,02
R-413A	R-218/134a/600a (9,0/88,0/3,0)	104	-29,3/-27,6	0,21	0,375	A2	2 000	4 000	
R-414A	R-22/124/600a/142b (51,0/28,5/4,0/16,5)	96,9	-34,0/-25,8	0,10	NF	A1	1 400	4 100	0,03
R-414B	R-22/124/600a/142b (50,0/39,0/1,5/9,5)	101,6	-34,4/-26,1	0,096	NF	A1	1 300	3 900	0,03
R-415A	R-22/152a (82,0/18,0)	81,9	-37,5/-34,7	0,19	0,188	A2	1 500	4 500	0,03
R-415B	R-22/152a (25,0/75,0)	70,2	-23,4/-21,8	0,15	0,13	A2	560	1 700	0,009
R-416A	R-134a/124/600 (59,0/39,5/1,5)	111,9	-23,4/-21,8	0,064	NF	A1	1 000	3 000	0,008
R-417A	R-125/134a/600 (46,6/50,0/3,4)	106,7	-38,0/-32,9	0,057	NF	A1	2 300	4 800	
R-417B	R-125/134a/600 (79,0/18,3/2,7)	113,1	-44,9/-41,5	0,069	NF	A1	3 000	5 700	
R-417C	R-125/134a/600 (19,5/78,8/1,7)	103,7	-32,7/-29,2		NF	A1	1 700	4 200	
R-418A	R-290/22/152a (1,5/96,0/2,5)	84,6	-41,2/-40,1	0,20	0,31	A2	1 700	5 100	0,03
R-419A	R-125/134a/E170 (77,0/19,0/4,0)	109,3	-42,6/-36,0	0,31	0,25	A2	2 900	5 600	
R-419B	R-125/134a/E170 (48,5/48,0/3,5)	105,2	-37,4/-31,5			A2	2 300	4 900	
R-420A	R-134a/142b (88,0/12,0)	101,8	-25,0/-24,2	0,18	NF	A1	1 400	4 000	0,007
R-421A	R-125/134a (58,0/42,0)	111,7	-40,8/-35,5	0,28	NF	A1	2 600	5 200	
R-421B	R-125/134a (85,0/15,0)	116,9	-45,7/-42,6	0,33	NF	A1	3 100	5 900	
R-422A	R-125/134a/600a (85,1/11,5/3,4)	113,6	-46,5/-44,1	0,29	NF	A1	3 100	5 800	
R-422B	R-125/134a/600a (55,0/42,0/3,0)	108,5	-40,5/-35,6	0,25	NF	A1	2 500	5 100	
R-422C	R-125/134a/600a (82,0/15,0/3,0)	113,4	-45,3/-42,3	0,29	NF	A1	3 000	5 700	

Designación del refrigerante	Composición del refrigerante (Masa %)	Peso molecular	Punto de ebullición/ punto de condensación (°C)	LETAL/ODL (kg/m3)	LIF (kg/m3)	Clase de seguridad	PCG 100 Año	PCG 20 Año	PAO
R-422D	R-125/134a/600a (65,1/31,5/3,4)	109,9	-43,2/-38,4	0,26	NF	A1	2 700	5 300	
R-422E	R-125/134a/600a (58,0/39,3/2,7)	109,3	-41,8/-36,4		NF	A1	2 500	5 100	
R-423A	134a/227ea (52,5/47,5)	126	-24,2/-23,5	0,30	NF	A1	2 200	4 500	
R-424A	R-125/134a/600a/600/601a (50,5/47,0/0,9/1,0/0,6)	108,4	-39,1/-33,3	0,10	NF	A1	2 400	5 000	
R-425A	R-32/134a/227ea (18,5/69,5/12)	90,3	-38,1/-31,3	0,27	NF	A1	1 500	3 700	
R-426A	R-125/134a/600/601a (5,1/93,0/1,3/0,6)	101,6	-28,5/-26,7	0,083	NF	A1	1 400	3 900	
R-427A	R-32/125/143a/134a (15,0/25,0/10,0/50,0)	90,4	-43,0/-36,3	0,29	NF	A1	2 200	4 600	
R-428A	R-125/143a/290/600a (77,5/20,0/0,6/1,9)	107,5	-48,3/-47,5	0,37	NF	A1	3 700	6 300	
R-429A	R-E170/152a/600a (60,0/10,0/30,0)	50,8	-26,0/-25,6	0,098	0,052	A3	21	77	
R-430A	R-152a/600a (76,0/24,0)	64	-27,6/-27,4	0,10	0,084	A3	120	430	
R-431A	R-290/152a (71,0/29,0)	48,8	-43,1/-43,1	0,10	0,044	A3	46	170	
R-432A	R-1270/E170 (80,0/20,0)	42,8	-46,6/-45,6	0,002 1	0,039	A3	1,6	5,5	
R-433A	R-1270/290 (30,0/70,0)	43,5	-44,6/-44,2	0,005 5	0,036	A3	4	15	
R-433B	R-1270/290 (5,0/95,0)	44	-42,7/-42,5	0,025	0,025	A3	4,8	17	
R-433C	R-1270/290 (25,0/75,0)	43,6	-44,3/-43,9	0,006 6	0,032	A3	4,2	15	
R-434A	R-125/143a/134a/600a (63,2/18,0/16,0/2,8)	105,7	-45,0/-42,3	0,32	NF	A1	3 300	5 800	
R-435A	R-E170/152a (80,0/20,0)	49	-26,1/-25,9	0,09	0,069	A3	30	110	
R-436A	R-290/600a (56,0/44,0)	49,3	-34,3/-26,2	0,073	0,032	A3	12	43	
R-436B	R-290/600a (52,0/48,0)	49,9	-33,4/-25,0	0,071	0,033	A3	12	45	
R-437A	R-125/134a/600/601 (19,5/78,5/1,4/0,6)	103,7	-32,9/-29,2	0,081	NF	A1	1 700	4 200	
R-438A	R-32/125/134a/600/601a (8,5/45,0/44,2/1,7/0,6)	99,1	-43,0/-36,4	0,079	NF	A1	2 200	4 700	
R-439A	R-32/125/600a (50,0/47,0/3,0)	71,2	-52,0/-51,8	0,34	0,304	A2	2 000	4 200	
R-440A	R-290/134a/152a (0,6/1,6/97,8)	66,2	-25,5/-24,3	0,14	0,124	A2	170	590	
R-441A	R-170/290/600a/600 (3,1/54,8/6,0/36,1)	48,3	-41,9/-20,4	0,006 3	0,032	A3	5,6	20	
R-442A	R-32/125/134a/152a/227ea (31,0/31,0/30,0/3,0/5,0)	81,8	-46,5/-39,9	0,33	NF	A1	1 900	4 200	

Designación del refrigerante	Composición del refrigerante (Masa %)	Peso molecular	Punto de ebullición/ punto de condensación (°C)	LETAL/ODL (kg/m3)	LIF (kg/m3)	Clase de seguridad	PCG 100 Año	PCG 20 Año	PAO
R-443A	R-1270/290/600a (55,0/40,0/5,0)	43,5	-44,8/-41,2			A3	4	15	
R-444A	R-32/152a/1234ze(E) (12,0/5,0/83,0)	96,7	-34,3/-24,3			A2L	93	330	
R-444B	R-32/1234ze(E)/152a (41,5/48,5/10)	72,8	-44,6/-34,9			A2L	310	1 100	
R-445A	R-744/134a/1234ze(E) (6,0/9,0/85,0)	103,1	-50,3/-23,5			A2L	120	350	
R-446A	R-32/1234ze(E)/600 (68,0/29,0/3,0)	62	-49,4/-44,0			A2L	480	1 700	
R-447A	R-32/125/1234ze(E) (68,0/3,5/28,5)	63	-49,3/-44,2			A2L	600	1 900	
R-448A	R-32/125/1234yf/134a/1234ze(E) (26/26/20/21/7)	86,4	-45,9/-39,8			A1	1 400	3 100	
R-449A	R-134a/125/1234yf/32 (26/25/25/24)	87,4	-46,0/-39,9			A1	1 400	3 200	
R-450A	R-1234ze(E)/134a (58/42)	108,7	-23,4/-22,8			A1	570	1 600	
R-451A	R-1234yf/134a (89,8/10,2)	112,7	-30,8/-30,5			A2L	140	390	
R-451B	R-1234yf/134a (88,8/11,2)	112,6	-31,0/-30,6			A2L	150	430	
R-452A	R-1234yf/32/125 (30/11/59)	103,5	-47,0/-43,2			A1	2 100	4 000	

Tabla A.3. Resumen de datos para mezclas refrigerantes azeotrópicas

Designación del refrigerante	Composición del refrigerante (Masa %)	Peso molecular	Punto de ebullición normal (°C)	LETA/ODL (kg/m ³)	LIF (kg/m ³)	Clase de seguridad	PCA 100 Year	PCG 20 Año	PAO
R-500	R-12/152a (73,8/26,2)	99,3	-33,6/-33,6	0,12	NF	A1	7 600	8 100	0,5
R-501	R-22/12 (75,0/25,0)	93,1	-40,5/-40,3	0,21	NF	A1	3 900	6 700	0,2
R-502	R-22/115 (48,8/51,2)	111,6	-45,3/-45,0	0,33	NF	A1	4 600	5 600	0,1
R-503	R-23/13 (40,1/59,9)	87,2	-88	ND	NF	A1	13 000	11 000	0,6
R-504	R-32/115 (48,2/51,8)	79,2	-57	0,45	NF	A1	4 100	4 200	0,1
R-507A	R-125/143a (50,0/50,0)	98,9	-47,1/-47,1	0,53	NF	A1	4 300	6 700	
R-508A	R-23/116 (39,0/61,0)	100,1	-87,4/-87,4	0,23	NF	A1	12 000	9 200	
R-508B	R-23/116 (46,0/54,0)	95,4	-87,4/-87,0	0,2	NF	A1	12 000	9 400	
R-509A	R-22/218 (44,0/56,0)	124	-40,4/-40,4	0,38	NF	A1	5 800	6 100	0,01
R-510A	R-E170/600a (88,0/12,0)	47,2	-25,2/-25,2	0,087	0,056	A3	3,3	9,8	
R-511A	R-290/152a (95,0/5,0)	44,8	-42,18/-42,1	0,092	0,038	A3	12	44	
R-512A	R-134a/152a (5,0/95,0)	67,2	-24,0/-24,0	0,14	0,124	A2	210	710	
R-513A	R-1234yf/134a (56/44)	108,4	-29,2			A1	600	1 700	



El Programa Acción por el Ozono de la DTIE del PNUMA

En el marco del Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono, los países de todo el mundo toman medidas específicas, con plazos concretos, para reducir y eliminar la producción y el consumo de sustancias químicas fabricadas por el hombre que destruyen la capa de ozono estratosférico, el escudo que protege la salud humana y toda la vida en el planeta de los efectos perjudiciales de la radiación ultravioleta extrema.

El Protocolo de Montreal tiene por objeto eliminar las sustancias agotadoras del ozono (SAO), entre las que se incluyen los CFC, los halones, el bromuro de metilo, el tetracloruro de carbono, el metilcloroformo y los HCFC. Los gobiernos de 197 países se han sumado a este acuerdo ambiental multilateral y están adoptando medidas.

El Programa Acción por el Ozono de la DTIE del PNUMA ayuda a los países en vías de desarrollo y países con economías en transición (CEIT) a lograr un cumplimiento continuo con las provisiones del Protocolo de Montreal. La asistencia que presta nuestro programa permite a los países adoptar decisiones fundamentadas con respecto a tecnologías alternativas, políticas respetuosas con el ozono y actividades de cumplimiento.

La labor del Programa Acción por el Ozono se desarrolla en dos esferas principales:

- la asistencia a los países en desarrollo, en cumplimiento de la función del PNUMA como Agencia de Implementación del Fondo Multilateral para la Aplicación del Protocolo de Montreal, a través de un Programa de Asistencia para el Cumplimiento (PAC),
- asociaciones específicas con organismos bilaterales y gobiernos.

Las actividades que desarrolla el PNUMA en el marco del Protocolo de Montreal, contribuyen a lograr los Objetivos de Desarrollo del Milenio y a implementar el Plan Estratégico de Bali.

Mayor información

Dra. Shamila NairBedouelle, Jefa de la Subdivisión
del Programa Acción por el Ozono de la DTIE del PNUMA
1 rue Miollis, 75015 Paris, France
Tel: +331 443 7 145 5, Fax: +331 443 7 147 4
Correo electrónico: shamila.nairbedouelle@unep.org
Sitio web: <http://www.unep.org/ozonaction/>



La División de Tecnología, Industria y Economía del PNUMA

La División de Tecnología, Industria y Economía (DTIE) del PNUMA ayuda a los gobiernos, las autoridades locales y otros entes implicados en la toma de decisiones relacionadas con el comercio y la industria, a desarrollar e implementar políticas y prácticas dirigidas hacia un desarrollo sostenible.

La División trabaja en la promoción de:

- > la producción y el consumo sostenibles,
- > el uso eficiente de energías renovables,
- > el manejo adecuado de químicos,
- > la integración de costos ambientales a las políticas de desarrollo.

La Oficina de la Dirección, con sede en París coordina estas actividades a través de:

> **El Centro Internacional de Tecnología Ambiental** - IETC (Osaka), que implementa programas de manejo integrado de residuos, agua y desastres, con énfasis particular en Asia.

> **Consumo y Producción Sostenible** (París), que promueve estrategias de consumo y producción sostenible, para contribuir al desarrollo humano a través de los mercados globales.

> **Químicos** (Ginebra), que promueve el desarrollo sostenible catalizando las acciones globales y construyendo capacidad nacional para el manejo racional de los productos químicos y mejorar su seguridad a nivel mundial.

> **Energía** (París), que promueve políticas de energía y transporte para un desarrollo sostenible y la inversión en energías renovables y eficiencia energética.

> **Acción por el Ozono** (París), que apoya la eliminación de las sustancias agotadoras del ozono en los países en vías de desarrollo y países con economías en transición, para asegurar el cumplimiento con el Protocolo de Montreal.

> **Economía y Comercio** (Ginebra), que ayuda a los países a integrar las consideraciones ambientales a las políticas económicas y comerciales y trabaja con el sector financiero para incorporar prácticas de desarrollo sostenible.

Las actividades del PNUMA DTIE se dirigen a crear conciencia, optimizar la transferencia de tecnología e información, promover la cooperación tecnológica y las asociaciones, e implementar convenciones y acuerdos internacionales.

Mayor información
en www.unep.org

www.unep.org

United Nations Environment Programme
P.O. Box 30552 Nairobi, Kenya
Tel.: ++254-(0)20-762 1234
Fax: ++254-(0)20-762 3927
E-mail: unepubb@unep.org



Para mayor información contactar:
PNUMA DTIE
Branche ActionOzone
1 rue Miollis, 75015 Paris 15, France
Tel: +33144371450
Fax: +33144371474
ozonation@unep.org
www.unep.org/ozonation



Muchos de los refrigerantes alternativos a los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) poseen características particulares en términos de toxicidad, inflamabilidad y alta presión que difieren de las empleadas previamente. Por consiguiente, es importante que los sectores industriales de la refrigeración y el acondicionamiento de aire se adapten a las cuestiones técnicas y de seguridad relacionadas con estos refrigerantes. La presente publicación proporciona un panorama de las alternativas, sus características generales y su aplicación en el contexto de las cuestiones de seguridad. Brinda orientación a las Dependencias Nacionales del Ozono (DNO) y otras partes interesadas de países en desarrollo y la manera en que las mismas pueden asesorar y prestar asistencia a los interesados nacionales en cuanto a la selección e implementación de refrigerantes alternativos.

DTI/2052/PA