

Tecnologías y fluidos de bajo PCA

Antecedentes:

En la [hoja informativa núm. 2](#) describían los principales mercados de los HCFC y los HFC. Los principales usos de estos gases son la refrigeración, el aire acondicionado y las bombas de calor, los agentes espumantes y los propelentes en aerosol. El PCA de la mayoría de los HCFC y los HFC utilizados en estas aplicaciones se sitúa en el rango de los 1.000 a 4.000. Para alcanzar los objetivos de la Enmienda de Kigali, será necesario recurrir a fluidos con PCA muy inferiores a los actuales¹.

Para maximizar los beneficios a largo plazo de una reducción gradual de los HFC, los usuarios finales necesitan tener acceso a tecnologías que utilicen fluidos con el PCA más bajo posible. Es previsible que el producto final mezcle varios productos que utilicen un fluido de PCA “ultrabajo” junto con algunos productos de mayor PCA. Véase la [hoja informativa núm. 3](#) para obtener más detalles sobre el rango de PCA de las tecnologías existentes y futuras.

Selección de alternativas de menor PCA:

Los HCFC y HFC más utilizados presentan un PCA “alto” o “muy alto”. En condiciones ideales, todas las aplicaciones deberían adoptar alternativas de PCA “ultrabajo”. En esta categoría se incluyen los tres fluidos alternativos más comunes: amoníaco, CO₂ e hidrocarburos (HC), junto con varios fluorocarburos recientemente introducidos llamados HFO.²

Sin embargo, no todas las aplicaciones son aptas para los fluidos de PCA ultrabajo actualmente disponibles. Por ejemplo:

- Los HC se adaptan bien a equipos de refrigeración sellados pequeños (como refrigeradores domésticos), pero no se pueden usar en muchos equipos de mayor tamaño por temas de seguridad relacionados con la inflamabilidad.
- Los HFO son muy adecuados para enfriadores de agua de aire acondicionado de mediano y gran tamaño, pero no pueden alcanzar el mismo nivel de eficiencia energética que los fluidos de mayor PCA en los aires acondicionados *split* de pequeño y mediano tamaño.

Los diseñadores de productos y equipos que actualmente usan HFC tendrán que encontrar alternativas de menor PCA que ofrezcan el mejor rendimiento en diferentes parámetros como:

- 1) Eficiencia energética
- 2) Seguridad del funcionamiento
- 3) Costos de capital y operativos
- 4) Rendimiento ambiental

Es importante recordar que, en la mayoría de los mercados de HCFC y HFC, un buen rendimiento ambiental es producto de una combinación de alta eficiencia energética (para minimizar las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía) y un bajo PCA. El rendimiento medioambiental general óptimo podría basarse en el uso de un fluido de PCA medio que proporcione la mayor eficiencia energética y minimice las fugas.

Funcionamiento segura con alternativas inflamables:



Basado en Informe del Grupo de Trabajo TEAP

¹ La hoja informativa núm. 14 ofrece una lista de todos los acrónimos utilizados.

² HFO = hidrofluoroolefinas, también llamadas “HFC insaturados”. Moléculas de carbono, flúor e hidrógeno que incluyen un doble enlace entre 2 átomos de carbono. Todas las HFO introducidas recientemente tienen un PCA inferior a 10.

La mayoría de los HCFC y los HFC no son inflamables, propiedad que los convierte en líquidos muy populares en mercados muy diversos. Muchas de las alternativas de PCA ultrabajo y bajo tienen cierto grado de inflamabilidad, lo que puede restringir su uso en algunos sectores del mercado.

Durante el proceso de eliminación de las SAO, se observó cómo varios líquidos altamente inflamables han sido introducidos con éxito y con seguridad en mercados diversos. Por ejemplo:

- a) Los aerosoles de consumo (por ejemplo, productos de cuidado personal) usan propulsores de hidrocarburos (HC).
- b) Partes del sector del panel de espuma de poliuretano han adoptado agentes espumantes de HC.
- c) Los refrigeradores domésticos usan HC en el circuito de refrigeración y en la espuma aislante.

Cuando, en 1987, se planteó por primera vez la eliminación de las SAO, no se sabía si los líquidos inflamables podían usarse en estas aplicaciones, pero los diseñadores de productos abordaron los problemas de seguridad y hallaron beneficios financieros a largo plazo porque los HC eran una materia prima más barata que los CFC a los que reemplazaban.

Para reducir el uso de los HFC será necesario contar con tecnologías similares que favorezcan la introducción de alternativas inflamables. Para alcanzar el pleno potencial de mercado de los líquidos inflamables podría ser necesario abordar en primera instancia los obstáculos generados por las normas de seguridad, los códigos de construcción y las legislaciones nacionales pueden necesitar abordarse. Véanse la [hoja informativa 10](#) para más información acerca de la inflamabilidad y la [hoja informativa 11](#) para un panorama de las normas de seguridad.

Uso de fluidos provisionales de medio y alto PCA: El proceso de reducción de los HFC se extiende a lo largo de 15 a 20 años. Es probable que se introduzcan de forma provisional algunos productos nuevos, los cuales se reemplazarán más tarde con otros productos de menor PCA.

Sirva de ejemplo el caso de las nuevas mezclas de refrigerantes introducidas como alternativas al R-404A, cuyo PCA de 3.922 es muy alto. Como alternativas al R-404A se han introducido recientemente dos nuevas mezclas con PCA de alrededor de 1.400. El PCA de estas mezclas es alto y está muy por encima del objetivo a largo plazo requerido para lograr una reducción de los HFC del 85%. Sin embargo, ambas presentan un PCA considerablemente más bajo que el R-404A y pueden resultar útiles en las etapas iniciales del proceso de reducción. Estas mezclas tienen la ventaja de no ser inflamables, lo cual permite que se puedan utilizar a corto plazo sin mayores cambios de diseño.

Durante los próximos 10 años, el mercado necesitará productos que utilicen fluidos con PCA de categoría alta y media. Sin embargo, será muy difícil alcanzar las metas de reducción a más largo plazo si en 2030 se siguen utilizando cantidades importantes de tales líquidos.

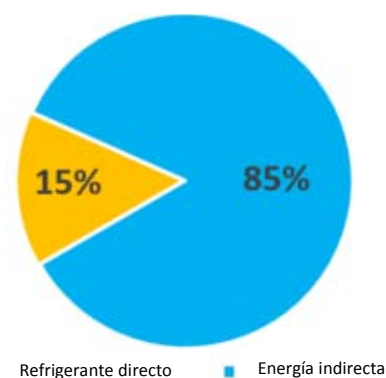
La importancia de la eficiencia energética

Es muy importante tener en cuenta el impacto de los productos y equipos en términos de total del calentamiento global, en particular:

- el impacto directo del líquido utilizado (por ejemplo, fugas de un refrigerante con un alto PCA)
- el impacto indirecto de la energía utilizada para que funcione el equipo (por ejemplo, refrigeración o aire acondicionado)

En la mayoría de las aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado, las emisiones indirectas relacionadas con la energía representan la mayor proporción del impacto total en el calentamiento global, incluso si se usa un fluido de alto PCA. Es de vital importancia cuidar que las nuevas tecnologías que utilicen fluidos de bajo PCA también tengan además una alta eficiencia energética. El gráfico de la derecha muestra una distribución típica del impacto total del calentamiento global de un aparato de aire acondicionado pequeño. El refrigerante tiene un alto PCA (2.088) pero es el CO₂ derivado del uso de electricidad el que aporta la mayor proporción de las emisiones de GEI. Para este tipo de equipos, es crucial lograr una alta eficiencia energética y bajos niveles de fuga de refrigerante.

Aire Acondicionado para Habitación con R-410A



Avances comerciales con fluidos de menor PCA: Las siguientes tablas resumen la forma en que se están introduciendo los fluidos de bajo PCA en los diversos sectores y subsectores del mercado.

Refrigeradores y congeladores domésticos	
Sistemas de refrigeración pequeños de fábrica que contienen de 0,05 a 0,25 kg de refrigerante	
SAO típica (PCA)	CFC-12 (10.900)
HFC típico	HFC-134a (1.430)
Fluorocarburo de bajo PCA	HFO-1234yf (4)
Alternativa	HC-600a (isobutano, 3)
Desde 2000, se ha extendido el uso de hidrocarburos en Europa y en otras regiones. Ya están en uso cientos de millones de refrigeradores con HC. El HFC-134a se sigue utilizando en EE.UU., pero es probable que los HC terminen introduciéndose también en ese mercado. Buen potencial de los HC en la mayoría de los países el artículo A5. El HFO-1234yf es una alternativa posible si un fluido de inflamabilidad superior es incompatible con alguna aplicación concreta.	



Aire acondicionado de automóviles	
Pequeños sistemas móviles de aire acondicionado que contienen de 0,4 a 0,8 kg de refrigerante	
SAO típica (PCA)	CFC-12 (10.900)
HFC típico	HFC-134a (1.430)
Fluorocarburo de bajo PCA	HFO-1234yf (4)
Alternativa	R-744 (CO ₂ , 1)
La industria global del automóvil comenzó su transición del HFC-134a al HFO-1234yf en 2013, impulsada inicialmente por una legislación de la UE que prohibía que los nuevos dispositivos de aire acondicionado de los automóviles tuvieran un PCA superior a 150. Para fines de 2017, millones de automóviles estarán utilizando HFO-1234yf. Algunos fabricantes de automóviles se han preocupado por solucionar los problemas de inflamabilidad y están considerando adoptar el CO ₂ como refrigerante.	

Refrigeración minorista de alimentos y bebidas: grandes sistemas centrales	
Centrales multicompresor para vitrinas refrigeradas en supermercados. Baja temperatura (-20°C) para alimentos congelados, temperatura media (+ 4°C) para alimentos refrigerados. Grandes sistemas distribuidos que conectan numerosas vitrinas de venta minorista y cámaras de almacenamiento, que contienen de 50 a 200 kg de refrigerante	
SAO típica (PCA)	HCFC-22 (1.810)
HFC típico	R-404A (3.922) HFC-134a (1.430)
Fluorocarburo de bajo PCA	Mezclas no inflamables R-448A, R-449A (~ 1.400) Mezclas de baja inflamabilidad, p. ej., R-454A (239)
Alternativa	R-744 (CO ₂ , 1) HC-290 (propano, 3)

Este sector ha sido históricamente uno de los grandes consumidores de HCFC y HFC. Las centrales de los supermercados representan una gran carga del sistema y altas tasas de fugas, que suelen superar el 20% anual. Las compañías de supermercados están a la vanguardia del desarrollo de nuevas alternativas con PCA más bajos. Hay un impulso significativo detrás de los sistemas transcíticos de CO₂, especialmente en climas más fríos. En climas cálidos, se pueden usar sistemas de CO₂ en cascada. Algunos sistemas centrales están siendo reemplazados por pequeños sistemas de propano sellados enfriados a través de un circuito de agua fría. Las mezclas no inflamables son una buena opción de transición al tener un PCA un 65% más bajo que el R-404A. En la medida de lo posible, se debe evitar el R-404A como alternativa de cero PAO al HCFC-22 ya que presenta un PCA muy alto y no ofrece una buena eficiencia energética en comparación con otras opciones de PA más bajo.

Refrigeración minorista de alimentos y bebidas: unidades de condensación

Una unidad condensadora (compresor/condensador) conectada a una o dos vitrinas minoristas, ya sea para alimentos refrigerados o congelados. Suelen ser sistemas bastante pequeños en tiendas pequeñas o supermercados de barrio que contienen de 5 a 10 kg de refrigerante.

SAO típica (PCA)	HCFC-22 (1.810)
HFC típico	R-404A (3.922) HFC-134a (1.430)
Fluorocarburo de bajo PCA	Mezclas no inflamables R-448A, R-449A (~ 1.400) Mezclas de baja inflamabilidad, p. ej., R-454A (239)
Alternativa	R-744 (CO ₂ , 1)

Se trata en la actualidad de un mercado difícil para encontrar una alternativa de PCA muy bajo: los equipos son a menudo demasiado grandes como para usar refrigerantes inflamables pero demasiado pequeños para que sea rentable usar CO₂. Es probable que se convierta en un buen mercado para mezclas de HFO de baja inflamabilidad.

© Shutterstock

Refrigeración minorista de alimentos y bebidas: pequeños sistemas sellados

Sistemas pequeños de fábrica, por ejemplo, enfriadores de botellas autónomos, exhibidores de helados, mostradores, que generalmente contienen de 0,1 a 1 kg de refrigerante.

SAO típica (PCA)	R-502 (4.657) CFC-12 (10.900)
HFC típico	R-404A (3.922) HFC-134a (1.430)
Fluorocarburo de bajo PCA	HFO-1234yf (4) Mezclas de inflamabilidad más baja, p. ej., R-455A (148)
Alternativa	HC-290 (propano, 3) R-744 (CO ₂ , 1)

El uso creciente de hidrocarburos como carga de refrigerante es lo suficientemente bajo como para cumplir con los estándares de seguridad en muchas aplicaciones. En 2017 ya hay millones de unidades funcionando con HC. Se han desarrollado sistemas de CO₂ para enfriadores de botellas y otros sistemas pequeños para supermercados ya que en estos casos no es aceptable el uso de un fluido inflamable. también se usarán en este sector del mercado fluidos de menos inflamabilidad (p. ej., HFO-1234yf y R-455A) .



Refrigeración industrial	
Gran variedad de sistemas de tamaño mediano y grande (<50 kg a >1 000 kg de refrigerante), incluidos sistemas indirectos (con enfriadores de líquidos) y uso directo de refrigerante (por ejemplo, sistemas de expansión directa, inundados o bombeados).	
SAO típica (PCA)	HCFC-22 (1.810)
HFC típico	R-404A (3.922) HFC-134a (1.430)
Fluorocarburo de bajo PCA	Mezclas no inflamables y de baja inflamabilidad Para [[[maquinas refrigeradoras / enfriadores]]]: HFO-1234ze (7) HFO-1233zd (4)
Alternativa	R-717 (amoníaco, 0) R-744 (CO ₂ , 1)
Los problemas de seguridad pueden tratarse de manera rentable en plantas grandes, donde el amoniaco goza de gran aceptación. Es probable que el uso de nuevos HFO se expanda en los enfriadores industriales.	

© Shutterstock

Transporte refrigerado	
Unidades de refrigeración de contenedores y transporte por carretera que contienen de 3 a 10 kg de refrigerante y se utilizan principalmente para el transporte de alimentos refrigerados y congelados.	
SAO típica (PCA)	HCFC-22 (1.810)
HFC típico	R-404A (3.922) HFC-134a (1.430)
Fluorocarburo de bajo PCA	Mezclas no inflamables R-452A (2.140)
Alternativa	R-744 (CO ₂ , 1)
La seguridad es un tema importante en estos casos, por lo que en la actualidad se utilizan alternativas no inflamables. También podrían implantarse en este sector mezclas de baja inflamabilidad siempre que se resuelvan los problemas de seguridad.	

© Shutterstock

Aire acondicionado <i>split</i> individual pequeño y mediano	
Evaporador individual en la habitación que se está enfriando conectado a una unidad de condensación exterior (compresor/condensador) que contiene de 0,5 a 5 kg de refrigerante. Uso residencial y comercial en locales pequeños (por ejemplo, tiendas, oficinas)	
SAO típica (PCA)	HCFC-22 (1.810)
HFC típico	R-410A (2.088)
Fluorocarburo de bajo PCA	HFC-32 (675) Mezclas de baja inflamabilidad, p. ej., R-454B (466)
Alternativa	HC-290 (propano, 3)
Se trata en la actualidad de un mercado en el que resulta difícil encontrar una opción de PCA muy bajo: el propano solo se puede usar con seguridad en sistemas muy pequeños —solo entraría el extremo inferior en rango de tamaño de este sector del mercado. El uso del HFC-32, de baja inflamabilidad, ha crecido rápidamente en algunos mercados, especialmente en Japón. Decenas de millones de unidades HFC-32 en funcionamiento en 2017. Algunos fabricantes de equipos también están desarrollando mezclas de HFO con HFC-32.	



© Shutterstock

Aire acondicionado de gran tamaño <i>multi-split</i>, VRF y compacto	
Múltiples evaporadores de interior conectados a grandes unidades de condensación en el exterior. Los sistemas VRF (flujo de refrigerante variable) pueden ofrecer calefacción y refrigeración simultáneamente en	



diferentes habitaciones. Las unidades compactas se usan con sistemas de conductos de aire. Por lo general, contienen de 5 a 50 kg de refrigerante.

SAO típica (PCA)	HCFC-22 (1.810)
HFC típico	R-410A (2.088)
Fluorocarburo de bajo PCA	HFC-32 (675) Mezclas no inflamables, p. ej. R-450A (605) Mezclas de baja inflamabilidad, p. ej., R-454B (466)
Alternativa	Ninguna

Refrigerantes de baja inflamabilidad (mezclas HFC-32 y HFO) utilizados en los sistemas más pequeños cuando los códigos de seguridad lo permiten. Los sistemas VRF de mayor tamaño representan en la actualidad un desafío, ya que requieren refrigerante no inflamable y no hay ninguno actualmente disponible con un PCA por debajo del R-410A. Los sistemas compactos mayores pueden usar mezclas no inflamables como R-450A.

Enfriadores de agua de aire acondicionado

Enfriadores de agua de mediano y gran tamaño de fábrica para enfriar grandes edificios. Suelen contener de 50 a 500 kg de refrigerante.

SAO típica (PCA)	HCFC-22 (1.810) HCFC-123 (77)
HFC típico	HFC-134a (1.430) R-410A (2.088)
Fluorocarburo de bajo PCA	HFO-1234ze (7) HFO-1233zd (4) R-514A (7) HFC-32 (675) R-450A (605)
Alternativa	HC-290 (propano) R-717 (amoníaco)

Los enfriadores de agua suelen estar ubicados en áreas de acceso restringido, por ejemplo, una sala de máquinas o una azotea. El refrigerante solo se usa en esta área de acceso restringido. Esto hace que sea más fácil recurrir a refrigerantes inflamables o tóxicos. Se está generalizando el uso de varias opciones de PCA ultrabajo, incluidos varios HFO. El HFO-1234ze es una alternativa de baja inflamabilidad al HFC-134a en enfriadores de presión media. El HFO-1233zd y el R-514A —una mezcla introducida recientemente— son alternativas al HCFC-123 en enfriadores de baja presión; no son inflamables. Además, también es posible considerar el uso de amoníaco o propano.



Aerosoles técnicos

Aerosoles no domésticos, por ejemplo, para el suministro de lubricantes, disolventes, espuma, pulverizadores de aire

SAO típica (PCA)	CFC-12 (10.900)
HFC típico	HFC-134a (1.430)
Fluorocarburo de bajo PCA	HFO-1234ze (7)
Alternativa	Hidrocarburos (3), DME (éter dimetílico, 1)


Históricamente, la mayoría de los aerosoles usaban propelentes de CFC. Después de la eliminación de los CFC, gran parte del mercado, especialmente en los productos de consumo, adoptó otras alternativas. La parte restante del mercado restante exige un propelente no inflamable. Es probable que HFO-1234ze llegue a dominar en los casos en los que la no inflamabilidad sea un requisito. Los HC y el DME se pueden usar de forma segura en algunas aplicaciones actuales de HFC.




Inhaladores de dosis medida (MDI)

Los inhaladores de dosis medida (MDI, por sus siglas en inglés) son pequeños aerosoles que se usan para administrar medicamentos en enfermedades pulmonares

como el asma. Cada MDI contiene alrededor de 20 gramos de propelente de HFC.		
SAO típica (PCA)	CFC-12 (10.900)	
HFC típico	HFC-134a (1.430) HFC-227ea (3.220)	
Fluorocarburo de bajo PCA	Ninguno disponible actualmente	
Alternativa	Muchos medicamentos que se administran con MDI se pueden administrar a través de inhaladores de polvo seco (DPI, por sus siglas en inglés).	
En la actualidad, los MDI están siendo excluidos de las normativas de reducción de los HFC, como la de la UE, ya que los costos y los plazos para desarrollar alternativas a los HFC en los MDI son muy altos y dilatados. Esta situación podría cambiar de encontrarse un fluorocarburo con bajo PCA (pruebas en curso).		

Espuma aislante de tipo poliuretano (PU)		
Existen diversos tipos de espuma de celda cerrada como el PU, el PIR (poliisocianurato) y las espumas fenólicas. Se utiliza un agente espumante para crear celdas en una matriz de polímero. El agente espumante queda atrapado en las celdas y puede contribuir significativamente a la resistencia térmica del producto. Se utiliza en aplicaciones muy diversas, desde paneles de acero, paneles laminados, espuma en aerosol, aislamiento de tuberías y recipientes, hasta aislamiento de electrodomésticos.		
SAO típica (PCA)	HCFC-141b (725)	
HFC típico	HFC-245fa (1.030) HFC-365mfc (794)	
Fluorocarburo de bajo PCA	HFO-1233zd (4) HFO-1336mzz (9)	
Alternativa	Hidrocarburos (pentano, 5)	
Los hidrocarburos reemplazaron una parte significativa de agentes espumantes SAO ya que sus propiedades eran aceptables y el costo de la materia prima era bajo. Parte del mercado ha pasado de los HCFC a los HFC. Algunos agentes espumantes nuevos de HFO con PCA ultra bajo están mostrando un rendimiento térmico muy prometedor (es decir, muy baja conductividad térmica), lo cual podría justificar su uso a pesar de tener un costo superior.		

Espuma aislante de poliestireno extruido (XPS)		
La espuma de celda cerrada XPS se utiliza para fabricar tableros para aislamiento de paredes, pisos y techos.		
SAO típica (PCA)	HCFC-142b (2.310)	
HFC típico	HFC-134a (1.430)	
Fluorocarburo de bajo PCA	HFO-1234ze (7)	
Alternativa	CO ₂ (1)	
Algunos sectores del mercado adoptaron el CO ₂ , a pesar de su difícil manejo como agente espumante. Los nuevos agentes espumantes de HFO muestran un buen rendimiento, pero los altos costos representan un potencial obstáculo a su expansión.		

Véase [la hoja informativa núm. 14](#) para mayor información sobre las fuentes de los PCA