

Alternativas para Sistemas de Refrigeración Oportunidad para reemplazar Cámaras Frigoríficas

Roberto Peixoto

Unidad Ozono del Ministerio del Medio Ambiente de Chile
Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI)

Julio/2022

- Enmienda de Kigali
- Refrigerantes
- Conceptos básicos
- Oportunidad para reemplazar Cámaras Frigoríficas
- Observaciones finales

Contexto Actual: Enmienda de Kigali

- Los HFC se convirtieron en sustancias controladas bajo el Protocolo de Montreal
- Cronogramas de control de HFC adoptados para países en desarrollo y desarrollados (partes)
- Los países desarrollados (n-A5) comenzaran a reducir los HFC en 2019. Los países en desarrollo (A5) deberán congelar los niveles de consumo de HFC en 2024, y algunos países congelarán el consumo en 2028

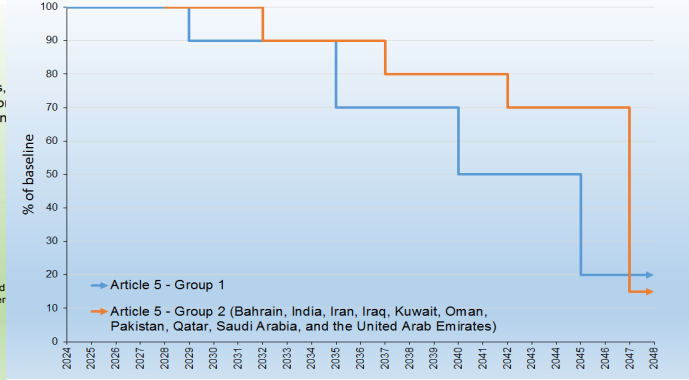
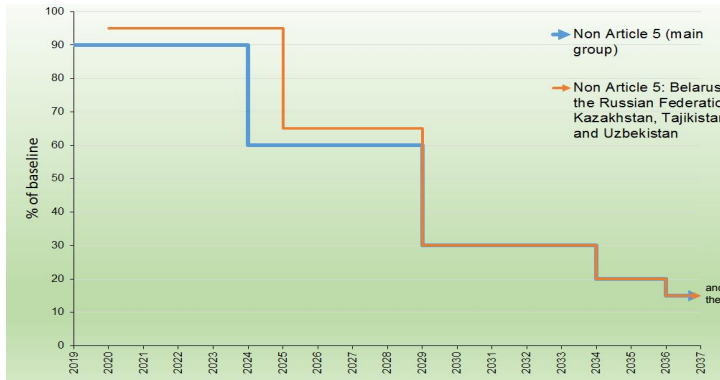
Enmienda de Kigali

- Octubre de 2016 en Kigali, Ruanda, las Partes decidieron agregar 17 HFC al Protocolo

HFCs (Group I)		HCFCs	
Substance	GWP value (100 year)	Substance	GWP value (100 year)
HFC-134	1100	HCFC-21	151
HFC-134a	1430	HCFC-22	1810
HFC-143	353	HCFC-123	77
HFC-245fa	1030	HCFC-124	609
HFC-365mfc	794	HCFC-141b	725
HFC-227ea	3220	HCFC-142b	2310
HFC-236cb	1340	HCFC-225ca	122
HFC-236ea	1370	HCFC-225cb	595
HFC-236fa	9810		
HFC-245ca	693	CFCs	
HFC-43-10mee	1640	Substance	GWP value
HFC-32	675	CFC-11	4750
HFC-125	3500	CFC-12	10 900
HFC-143a	4470	CFC-113	6130
HFC-41	92	CFC-114	10 000
HFC-152	53	CFC-115	7370
HFC-152a	124		
HFCs (Group II)			
HFC-23	14 800		

	N-A5 Parties: Group 1		N-A5 Parties: Group 2	
Baseline Years	2011, 2012 & 2013		2011, 2012 & 2013	
Baseline Calculation	Average consumption of HFCs in 2011, 2012, and 2013 Plus 15% of 1989 HCFC baseline consumption		Average consumption of HFCs in 2011, 2012, and 2013 Plus 25% of 1989 HCFC baseline consumption	
Reduction steps				
Step 1	2019	10%	2019	5%
Step 2	2024	40%	2024	35%
Step 3	2029	70%	2029	70%
Step 4	2034	80%	2034	80%
Step 5	2036	85%	2036	85%

	Article 5 Parties Group 1		Article 5 Parties Group 2	
Baseline Years	2020, 2021 & 2022		2024, 2025 & 2026	
Baseline Calculation	Average production/consumption of HFCs in 2020, 2021, and 2022 plus 65% of HCFC baseline production/consumption 2024		Average production/consumption of HFCs in 2024, 2025, and 2026 plus 65% of HCFC baseline production/consumption 2028	
Freeze				
Reduction steps				
Step 1	2029	10%	2032	10%
Step 2	2035	30%	2037	20%
Step 3	2040	50%	2042	30%
Step 4	2045	80%	2047	85%



Impactos

- Se aclararon las reglas internacionales sobre el uso de refrigerantes (restricciones, políticas, etc.) con la enmienda de Kigali
- Los fabricantes de refrigerantes y equipos RAC se están moviendo con más determinación en las pruebas, los prototipos y la disponibilidad de productos comerciales.
- La Unión Europea está mucho más avanzada que la enmienda de Kigali. Su legislación (Regulación de gases fluorados) es más restrictiva en términos de eliminación de HFC que Kigali.

Situación de los refrigerantes



1834: Refrigeración por compresión de vapor Perkins con éter etílico.

1880-1920: amoníaco, ácido sulfúrico, dióxido de carbono y propano

1930-1940: CFC (R-12, R-11, R-114, R-113)

Década de 1950: HCFC (R-22, R-502)

1974: Teoría del agotamiento de la capa de ozono (Molina y Rowland)

1987: Protocolo de Montreal (eliminación de CFC y HCFC)

1992: Convención sobre el clima (CMNUCC)

1997: Protocolo de Kyoto (reducción de emisiones de HFC, PFC, CO₂, SF₆, N₂O, CH₄)

2016: Enmienda de Kigali, refrigerantes con bajo o sin PCG (GWP)



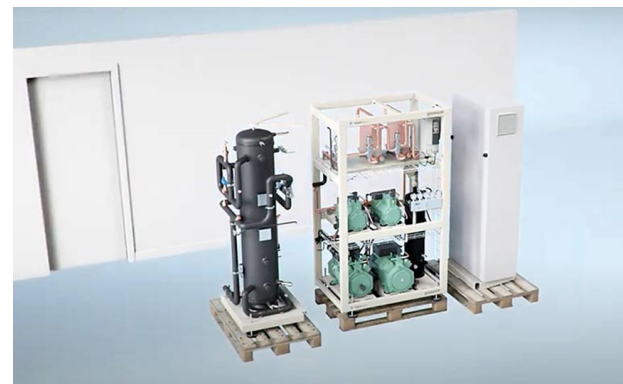
Sector	CFCs	HCFCs	HFCs Pure & Blends	HCs	CO2 Ammonia	Unsaturated HFCs (HFOs) Pure	Blends with Unsaturated HFCs (HFOs)
<i>Domestic Refrigeration</i>	CFC-12		HFC-134a	HC-600a	Ammonia	HFC-1234yf	R-450A, R-513A,...
<i>Commercial Refrigeration (SA, CU, CS)</i>	CFC-12 R-502	HCFC-22	HFC-134a	HC-600a HC-290	CO2	HFC-1234yf HFC-1234ze(E)	R-450A, R-448A, R-444B, R-442A, R-455A, R-450A, R-513A, R-448A, R-449B,...
			R-404A R-407A R-407F		Ammonia		
<i>Transport Refrigeration</i>		HCFC-22	HFC-134a	HC-290 HC-1270	CO2	HFC-1234yf	R-450A, R-448A, R-444B, R-455A, R-446A, R-447A, R-447B, R-448A, R-449A R-450A, R- 513A,...
			R-410A R-407C				
<i>Industrial refrigeration</i>		HCFC-22	HCFC-22 HCFC-123	HC-1270 HC-290	Ammonia CO2	HFC-1234yf	R-450A, "L-40", R-444B, R-455A, R-446A, R-447A, R- 447B,R-450A, "XP-10", R-448A, R- 449A,...
<i>Water heating heat pumps</i>		HCFC-22	HCFO- 1233zd(E)	HC-290 HC- 600a	CO2 Ammonia	HFC-1234yf HFC-1234ze(E)	R-450A, "L-40", R-444B, R-455A, R-446A, R-447A, R-447B, R-450A, R-513A, R-448A, R-449A,...
<i>Air Conditioners</i>	CFC-12	HCFC-22	HFC-134a HFC- 32 R-410A R-407C	HC-290	CO2	HFC-1234yf	R-450A, "L-40", R-444B, R-455A, R-446A, R-447A, R-447B, R-450A, R-513A, R-448A, R-449A,...
<i>Chillers</i>	CFC-12 CFC-11	HCFC-22	HFC-134a R-404A R-410A R-407C	HC-290 HC- 1270	Ammonia CO2	HFC-1234yf	R-450A, "L-40", R-444B, R-455A, R-446A, R-447A, R-447B, R-450A, R-513A, R-448A, R-449A,...
		HCFC-123				HFC-1234ze(E)	
		HCFO- 1233zd(E)				HFO- 1336mzz(Z)	
<i>Mobile Air Conditioner</i>	CFC-12		HFC-134a R-410A R-407C		CO2	HFC-1234yf	R-450A, R-513A

Historical use

Current use on a commercial-scale

Potentially feasible or limited use, and for demonstration, trials, niche applications, etc

Refrigeración Cámaras Frigoríficas- Cuartos Frios



Cuartos fríos

- Las cámaras frigoríficas son elementos básicos de industrias, restaurantes, hoteles, supermercados y cualquier otro lugar que necesite almacenar productos alimenticios frescos, congelados o pre-enfriados.
- Desde una perspectiva amplia, hay tres tipos de cámaras frigoríficas: autónomas, de condensación remota y de condensación múltiple.



Self-contained



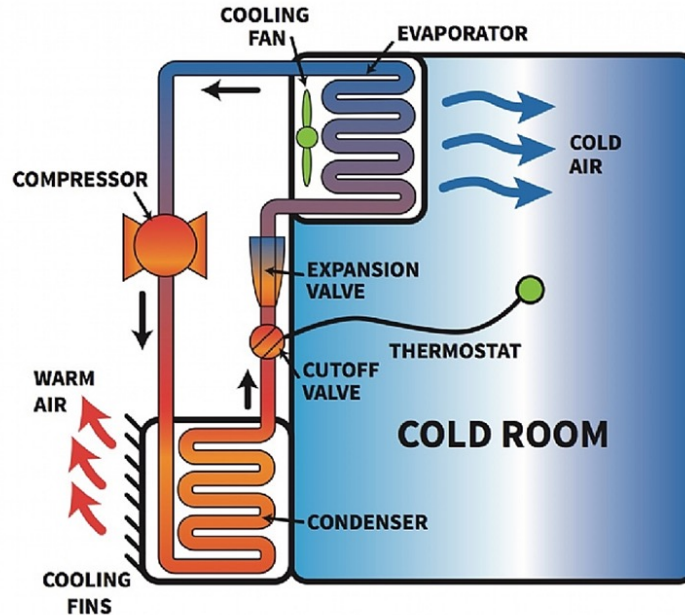
Remote



Multiplex

Cuartos fríos

- Las cámaras frigoríficas utilizan un evaporador dentro de la unidad y un condensador fuera de la unidad para mover el calor al exterior, enfriando así el interior.



Unidades condensadoras

- Las unidades condensadoras comprenden uno o varios compresores, un condensador enfriado por aire (generalmente), un receptor y una línea de líquido para conectarse al evaporador.
- Las unidades condensadoras están diseñadas para varias capacidades y son equipos estandarizados.
- Se utilizan comúnmente en refrigeración comercial en todo el mundo, especialmente en países en desarrollo.
- Refrigerantes habituales en los países del Artículo 5: HCFC-22, HFC-134a, R-404A.

Refrigerantes Alternativos para Unidades Condensadoras



R-717

- No se usa comúnmente en estos sistemas por cuestiones de costo y seguridad.
- Sin embargo, se utiliza en sistemas en cascada con R-744 en la etapa baja del equipo, especialmente en necesidades de aplicaciones comerciales más grandes.
- Se están realizando investigaciones sobre sistemas de carga baja que podrían hacer que este refrigerante sea más atractivo en estas aplicaciones.



Refrigerantes Alternativos para Unidades Condensadoras



R-744

- Unidades condensadoras de R-744 están ahora disponibles comercialmente en Europa y Asia. La penetración del mercado es baja en la actualidad, pero se espera que aumente en un futuro próximo.
- Las unidades condensadoras de R-744 requieren un diseño de doble etapa si las altas temperaturas ambientales ocurren con frecuencia. Los sistemas de una sola etapa están diseñados para climas fríos.
- El costo adicional de un sistema de dos etapas es significativo en comparación con las unidades de condensación de HFC habituales.
- El costo sigue siendo la principal barrera para estas unidades condensadoras de R-744 en ciertas regiones.



Refrigerantes Alternativos para Unidades Condensadoras



Hidrocarburos

- Las unidades condensadoras de expansión directa que utilizan HC-600a o HC-290 o HC-1270 (hasta 1,4 kg de carga) están disponibles comercialmente para temperaturas que oscilan entre -40°C y 0°C .
- Los costos de estos sistemas basados pueden ser hasta un 15% más altos que los de los sistemas HFC debido a las medidas de seguridad necesarias para mitigar los riesgos.
- Debido a problemas de inflamabilidad, las unidades condensadoras de sistemas indirectos que usan HC-290 o HC-1270 con cargas de refrigerante que varían de 1 a 20 kg, están comenzando a usarse en Europa.
- Los sistemas HC pueden lograr aumentos de hasta un 30% en la eficiencia energética



Refrigerantes Alternativos para Unidades Condensadoras



Mezclas de HFC y HFC / HFO de bajo GWP

- Para el reemplazo de HCFC-22 y R-404A, se proponen varias mezclas de refrigerantes "intermedias", como R-407A, R-407F, R-407H, R-448A, R-449A, R-449B, R-452A y muchas otras, incluidos algunas que aún no han recibido su número ASHRAE.
- Sus GWP varían de aproximadamente 1000 a 1700. Están diseñados para reemplazar al HCFC-22 o R-404A en equipos nuevos. Muchos de ellos exhiben un deslizamiento ("glide") de temperatura de 4 a 7 K.
- También se está introduciendo un nuevo conjunto de mezclas de refrigerantes de reemplazo de R-404^a, HCFC-22 y HFC-134a con bajo GWP, de menos de 150 a 300, como R-454C, R-455A, R-450A y R-513A R-457A.



Rack de compresores



R717 (amoníaco)

- Sistemas de amoniaco de baja carga.
- Sistemas en cascada R744(CO2) - R717 (amoníaco).
- Este sistema se ha utilizado en todas partes del mundo para una variedad de aplicaciones.



Rack de compresores

Hidrocarburos

- No se utilizan ampliamente en la refrigeración industrial, excepto cuando de todos modos se requieren las medidas de seguridad adicionales, por ejemplo, en una planta petroquímica.
- Sin embargo, las precauciones requeridas para evitar la ignición son significativamente más costosas que las requeridas para los sistemas R-717, aunque el costo del sistema completo puede ser comparable.
- El HC-290 es generalmente similar en desempeño al HCFC-22 y R-717 en términos de temperaturas y presiones de operación, y requiere compresores de tamaño similar.



Rack de compresores



CO₂

- El R-744 no se puede usar exactamente de la misma manera que otros refrigerantes industriales.
- Debe acoplarse con un refrigerante de mayor temperatura en un sistema en cascada debido a la baja temperatura crítica de 31oC o bien utilizarse en un sistema transcrito.
- Los sistemas transcritos se han utilizado en sistemas comerciales y pequeños.





- El grupo español de supermercados DIA ha elegido tecnologías de amoníaco / NH₃ (717) y CO₂ (R744) para un nuevo almacén de distribución de 68.000m² que se está construyendo en el Parque Logístico Verde de Ilesas, al sur de Madrid.
- El almacén utilizará un enfriador de amoníaco-glicol para cuartos fríos de temperatura media y un sistema de cascada de CO₂ condensado con glicol para cuartos de baja temperatura. El glicol enfriado por el amoníaco se utilizará para condensar el CO₂.

Refrigerantes para conversión de sistemas

Conversión a R-744

- La alta presión de funcionamiento de los sistemas de R-744 hace que sea muy poco probable que un sistema de HCFC-22 existente pueda convertirse para funcionar con R-744.
- Es posible la conversión a un sistema en cascada
- Puede ser posible reutilizar las tuberías de baja presión y los evaporadores en el sistema si están debidamente calificados y documentados.
- Sin embargo, esta es una modificación compleja debe ser evaluada considerando el tempo de vida y las condiciones de la instalación.

Refrigerantes para retrofit de sistemas

Conversión a R-717

- En muy pocos casos, una planta de bombeo de HCFC-22 se ha convertido en R-717
- En algunos casos, los compresores y condensadores evaporativos son adecuados para cualquier refrigerante, y las tuberías probablemente sean de acero soldado en aplicaciones grandes.
- Si los evaporadores son del tipo de tubo de cobre, es necesario reemplazarlos.
- Es imperativo que el sistema se limpie cuidadosamente durante la conversión porque cualquier rastro residual de HCFC-22, por ejemplo en el lubricante, reaccionará con el R-717 para producir una espuma sólida que puede bloquear todos los componentes internos.
- En la mayoría de los casos, en todos los países, los equipos que utilizan HCFC-22 no son adecuados para esta conversión y esta conversión no es recomendada en general.

Refrigerantes para retrofit de sistemas

Conversión a hidrocarburos

- A diferencia del R-744 y R-717, es técnicamente factible eliminar el HCFC-22 de los sistemas existentes y reemplazarlo con HC-290
- Es muy probable que el sistema resultante no cumpla con los códigos de seguridad sobre el uso de hidrocarburos; esto porque la cantidad de refrigerante no cumplirá con las restricciones de carga (instalaciones interiores) y la infraestructura eléctrica no estará adecuadamente protegida (intrínsecamente segura).
- En este caso, es fundamental que se garanticen las medidas de seguridad adecuadas.

Refrigerantes para retrofit de sistemas

Conversión a mezclas de HFC/HFO

- Existen numerosas mezclas para el reemplazo de HCFC-22 en sistemas DX (recalentamiento controlado), pero no hay ninguna que reproduzca la relación presión-temperatura del HCFC-22 sin un deslizamiento (*glide*) significativo
- El fraccionamiento de la mezcla puede hacer que el sistema use más energía y, en casos más severos, puede fallar o expulsar refrigerante a través de las válvulas de seguridad.
- Cuando los sistemas industriales se convierten en una mezcla, también puede ser necesario cambiar de lubricante mineral o de alquilbenceno a un aceite poliolester sintético (aceite POE).
- Algunas mezclas están formuladas con hidrocarburos en la mezcla de modo que, aunque todavía no es inflamable, el lubricante es más miscible y es menos probable que se acumule en el evaporador del sistema.

Por qué reemplazar Cámara Frigorífica

- La mayoría de las cámaras pueden durar entre 20 y 25 años o un poco más.
- Un enfriador aún puede funcionar con reparaciones a esta edad, pero eso no significa que valga la pena conservarlo.
- La pérdida de eficiencia energética puede costar mucho más a corto y mediano plazo, y también existe la amenaza inminente de fallas masivas del sistema y falta de refrigerante.

Por qué reemplazar Cámara Frigorífica

- Uso de cámaras frigoríficas con refrigerantes de bajo GWP que son opciones de largo plazo
- La eficiencia energética de las unidades más nuevas es mas alta, tienen compresores más avanzados y cuentan con controles automáticos
- Compresores con velocidad variable
- El reemplazo de una cámara representa una gran oportunidad para evaluar su capacidad de enfriamiento existente y determinar si hay una discrepancia con la carga actual. Los equipos del tamaño adecuado ofrecen un rendimiento superior
- La pérdida de eficiencia energética puede costar mucho más a corto y mediano plazo, y también existe la amenaza inminente de fallas.
- Oportunidad de hacer una revisión del sistema de refrigeración y sus controles para determinar qué equipos y controles deben reemplazarse o actualizarse

Observaciones Finales

- La Enmienda Kigali ha reforzado el impulso hacia las aplicaciones que utilizan refrigerantes de bajo GWP y se espera que acelere la innovación para tecnologías RACHP sostenibles.
- Opciones de bajo potencial de calentamiento atmosférico (GWP): refrigerantes naturales: hidrocarburos, CO₂, amoníaco, agua • HFCs no saturados (HFOs), sustancias puras y mezclas
- Con el fin de permitir las transiciones a refrigerantes inflamables de bajo GWP, está en camino una revisión de los límites de carga estándar actualmente utilizados.

Observaciones Finales

- Aunque casi todas las alternativas de bajo GWP son inflamables, se ha logrado un progreso significativo en el desarrollo de estándares de seguridad.
- Ejemplo: IEC 60335-2-89 (refrigeración comercial) se ha revisado para incluir cargas inflamables más altas; ahora se está transfiriendo a las normas nacionales.
- Una transición coordinada hacia refrigerantes con bajo PCG podría incluir un esfuerzo paralelo para mejorar la eficiencia energética de equipos RAC.

Observaciones Finales

- Es necesario considerar los aspectos de seguridad asociados a la toxicidad y flamabilidad de los refrigerantes.
- Regulaciones regionales y nacionales (por ejemplo, límites de carga y flamabilidad) impulsarán muchos desarrollos que tendrán lugar, así como la adopción de tecnologías.
- Disponibilidad comercial, costos, eficiencia energética, seguridad y aspectos de servicio serán importantes.
- Necesidad de capacitación a técnicos.
- La actualización con el reemplazo cámaras frigoríficas para utilizar refrigerantes de bajo GWP e de alta eficiencia energética con apoyo financiero del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal es una grande oportunidad !!!

•

Gracias por la atención
