



Antecedentes:

El principal uso de los HCFC y los HFC se encuentra en aplicaciones de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor. Estos sectores representan alrededor del 86% del uso ponderado de PCA de los HCFC y los HFC (véase la [hoja informativa núm. 2](#)). La Enmienda de Kigali reconoce que el diseño de sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor para operar a temperatura ambiente extremadamente alta trae consigo varios desafíos especiales. Para los sistemas de aire acondicionado, estos desafíos son, entre otros:

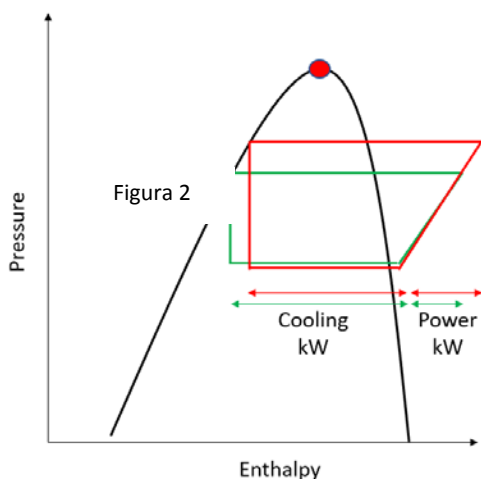
- a) El peso del calor es mayor que en climas más suaves
- b) El calor es rechazado por el sistema de aire acondicionado a una temperatura de condensación mayor que en climas más suaves

Estos factores implican que, para un tamaño de habitación dado, los sistemas de aire acondicionado de las zonas de altas temperaturas ambiente requieren mayor capacidad de enfriamiento y usan más energía que los sistemas de aire acondicionado equivalentes en climas más suaves.

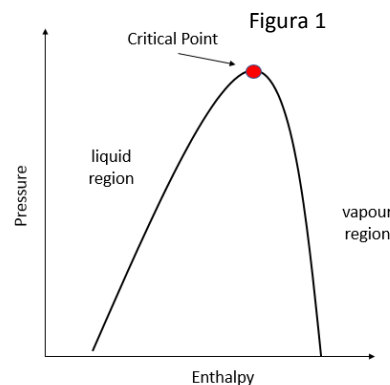
La presente hoja informativa analiza algunos de los problemas técnicos relacionados con el funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado en condiciones de altas temperaturas ambiente. También brinda información sobre la exención por altas temperaturas ambiente incorporada en la Enmienda de Kigali.

Estos desafíos aplican a todos los refrigerantes:

Es importante reconocer que los desafíos técnicos relacionados con las condiciones de altas temperaturas ambiente no están motivados por la propuesta de reducción de los refrigerantes a base de HFC. Muchos refrigerantes, incluidos algunos de los HFC de alto PCA, no son ideales para el funcionamiento a temperatura ambiente elevada. Los diseñadores de equipos de refrigeración y aire acondicionado siempre han tenido que prestar atención a la temperatura ambiente y asegurarse de que el refrigerante seleccionado pueda funcionar de manera eficiente y confiable en esas condiciones. Los equipos con especificaciones para su uso en países con condiciones de altas temperaturas ambiente presentan ligeras diferencias de diseño con respecto a los equipos utilizados en climas más moderados. Son de especial importancia dos de las características del refrigerante seleccionado:



Temperatura crítica. Una de las propiedades de los refrigerantes es la "temperatura crítica". Se trata de la temperatura del refrigerante en el punto crítico del mismo, tal como se ilustra en la figura 1, que es un diagrama de la relación entalpía-presión¹ para un refrigerante. La eficiencia del ciclo de un aire acondicionado dependerá de que la temperatura de condensación no sea demasiado cercana a la temperatura crítica. La temperatura de condensación siempre es más alta que la temperatura ambiente, por lo que la temperatura de condensación en condiciones de alta temperatura ambiente será más alta que en un clima más suave; por lo tanto, estará más cerca de la temperatura crítica y será menos eficiente en términos energéticos.



¹ La [hoja informativa núm. 14](#) ofrece una lista de todos los acrónimos utilizados, incluido el diagrama de presión-entalpía.

La figura 2 muestra dos ciclos de aire acondicionado superpuestos al diagrama. El ciclo verde corresponde a un clima templado y el ciclo rojo a un funcionamiento a mayor temperatura ambiente. Cuando se opera a temperatura ambiente alta, el sistema de aire acondicionado:

- enfría menos (la línea roja de kW de enfriamiento es más corta)
- necesita más energía eléctrica (la línea roja de kW de potencia es más larga)

Esto ilustra por qué todos los sistemas de aire acondicionado que funcionan a alta temperatura usarán más electricidad que una unidad que funcione en condiciones más moderadas.

La pérdida de eficiencia energética se vuelve especialmente grave si la temperatura crítica del refrigerante que se utiliza es baja. La tabla adjunta contiene la temperatura crítica de una serie de refrigerantes que se utilizan en los sistemas de aire acondicionado.

Es importante tener en cuenta que el HCFC-22 tiene una temperatura crítica razonablemente alta. El HFC con alto PCA más habitualmente utilizado para sustituir al HCFC-22 es el R-410A. Este último presenta una de las temperaturas críticas más bajas y es probable que funcione de manera menos eficiente en temperaturas ambientes elevadas que el HCFC-22.

Para pequeñas unidades de aire acondicionado de tipo *split* y con conductos, se ha introducido el HFC-32 como alternativa de menor PCA que el R-410A —tiene un PCA de 675, en comparación con el PCA de 2.088 del R-410A. La temperatura crítica del HFC-32 es más alta que la del R-410A, por lo que esta alternativa de menor PCA aportará beneficios en condiciones de altas temperaturas ambiente. Sin embargo, el HFC-32 es un refrigerante de baja inflamabilidad A2L (véase la [hoja de datos núm. 10](#) para más información sobre temas de inflamabilidad) y es posible que no sea aplicable en sistemas de gran tamaño en muchos países.

El propano puede ofrecer una alta eficiencia, pero es un refrigerante con mayor grado de inflamabilidad (A3) y solo puede considerarse su uso en sistemas muy pequeños.

El R-744 tiene una temperatura crítica mucho más baja que cualquier otro refrigerante de los comúnmente usados. Para el aire acondicionado, necesita operar como ciclo “transcrítico”² (se rechaza el calor por encima de la temperatura crítica). Esto hace que el R-744 sea menos eficiente y, por lo tanto, inadecuado para la mayoría de los equipos de aire acondicionado en condiciones de altas temperaturas ambiente.


El mayor desafío es el de los equipos de aire acondicionado *multi-split* de tamaño mediano y grande, incluidos los sistemas de flujo de refrigerante variable (VRF), en los casos en los que podría no ser posible aplicar un refrigerante inflamable y en los que el R-410A no es adecuado para altas temperaturas ambiente.

Las plantas de agua fría de gran tamaño para aire acondicionado de edificios plantean un problema mucho menor. Los enfriadores de agua suelen estar ubicados en áreas de acceso restringido, por ejemplo, una sala de máquinas o una azotea. Por ello, es posible considerar diversos refrigerantes incluidas algunas opciones inflamables como el HFO-1234ze o el R290. Estos tienen temperaturas críticas razonablemente altas que luego se adaptan bien a la operación a temperaturas ambiente elevadas. En el caso de enfriadores muy grandes, se aplicarían refrigerantes de baja presión como el HFO-1233zd. Estos presentan temperaturas críticas muy altas y pueden tener una eficiencia energética también muy alta.

Refrigerante	Temperatura crítica °C
HFO-1233zd	165
R-717 (amoníaco)	132
HFO-1234ze	110
HFC-134a	101
R-290 (propano)	96.7
HCFC-22	96,1
HFC-32	78,1
R-410A	71,4
R-744 (CO ₂)	31,0

Temperatura de descarga del compresor Otra característica importante es la temperatura de descarga del compresor. En condiciones de altas temperaturas ambiente, el compresor de un sistema de aire acondicionado tiene que operar a través de una relación de presión mayor que la que se produciría en un clima más suave. Esto hace que la temperatura de descarga del compresor alcance un nivel más alto. En

² Véase en la [hoja informativa núm. 14](#) una descripción de los ciclos transcritos, subcríticos y en cascada.



algunas circunstancias, esto llega a generar problemas técnicos adicionales que pueden reducir la confiabilidad del compresor.

Las altas temperaturas de descarga se pueden mitigar a través de un enfriamiento adicional del compresor, aunque esto aumenta el costo de capital y puede reducir la eficiencia energética. Es importante que los diseñadores se aseguren de que la temperatura de descarga del compresor se mantenga dentro de los límites aceptables.

Investigación, pruebas y desarrollo en curso:

Reconociendo la importancia de encontrar una opción de bajo PCA y alta eficiencia para los sistemas de aire acondicionado, los fabricantes de equipos y los productores de refrigerantes están llevando a cabo un gran trabajo de desarrollo. También hay en marcha varios programas de pruebas independientes, que incluyen:

- PRAHA: Promoción de refrigerantes de bajo PCA en países de alta temperatura ambiente
- EGYPRA: Proyecto Egipto para Refrigerantes Alternativos
- ORNL: Programa de evaluación de alta temperatura ambiente del Laboratorio Nacional de Oak Ridge para refrigerantes con bajo potencial de calentamiento atmosférico (bajo PCA)
- AREP: Programa AHRI de Evaluación de Refrigerantes Alternativos de Bajo PCA del Instituto de Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración

Estas pruebas independientes muestran cómo se comportan los diferentes refrigerantes en condiciones de alta temperatura ambiente. Los resultados más recientes de estos programas de prueba están disponibles en <http://ozone.unep.org>

Exención por altas temperaturas ambiente:

La Enmienda de Kigali incluye un mecanismo de exención que puede usarse en países con altas temperaturas ambiente para ciertas aplicaciones que no pueden usar alternativas de bajo PCA. La exención por altas temperaturas ambiente es un proceso de exención adicional a las exenciones para usos críticos y usos esenciales que están incluidas en el Protocolo de Montreal y podrían aplicarse a las aplicaciones de HFC.

Definición de alta temperatura ambiente: Para que se aplique la exención por altas temperaturas ambiente, un país debe tener un promedio de al menos dos meses por año durante diez años consecutivos con una temperatura promedio mensual máxima superior a 35° C³.

Países identificados: Se ha determinado que cumplen con la definición de anterior de alta temperatura ambiente los siguientes países: Arabia Saudita, Argelia, Bahrein, Benin, Burkina Faso, Chad, Costa de Marfil, Djibouti, Egipto, Emiratos Árabes Unidos, Eritrea, Gambia, Ghana, Guinea, Guinea- Bissau, Irán (República Islámica del), Iraq, Jordania, Kuwait, Libia, Malí, Mauritania, Níger, Nigeria, Omán, Pakistán, Qatar, República Árabe Siria, República Centroafricana, Senegal, Sudán, Togo, Túnez, Turkmenistán.

Procedimiento de registro para la exención por altas temperaturas ambiente: Para recurrir a la exención, la Parte debe figurar en la lista anterior y debe haber notificado formalmente a la Secretaría su intención de utilizar esta exención a más tardar un año antes de la fecha de congelación de los HFC, y cada cuatro años a partir de entonces si desea extender la exención.

Tipos de equipos cubiertos por la exención por altas temperaturas ambiente:

- (a) Aire acondicionado multi-split (comerciales y residenciales)
- (b) Acondicionadores de aire split con conductos (comerciales y residenciales)
- (c) Aparatos de aire acondicionado comerciales autocontenidos para distribución por conducto

Ajustes del equipo: el Panel de Evaluación Tecnológica y Económica junto a expertos externos en altas temperaturas ambiente evaluarán la idoneidad de las alternativas de HFC y emitirán recomendaciones acerca de qué subsectores deben agregarse o eliminarse de la lista anterior y reportarán esta información a la Reunión de las Partes. Estas evaluaciones se llevarán a cabo periódicamente, siendo la primera una vez transcurridos los cuatro años desde la fecha de congelación de los HFC y cada cuatro años a partir de entonces.

Informes: cualquier Parte que opere bajo la exención por altas temperaturas ambiente debe reportar por separado sus datos de producción y consumo para los subsectores a los que se aplica la exención.

³ Esta definición se basa en las temperaturas promedio ponderadas espacialmente que derivan de las temperaturas diarias más altas, según el Centre for Environmental Data Archival: http://browse.ceda.ac.uk/browse/badc/cru/data/cru_cy/cru_cy_3.22/data/tmx



**Acción por el
Ozono**
Programa de las
Naciones Unidas

1 rue Miollis, Edificio VII
París 75015, Francia

www.unep.org/ozonaction
ozonaction@unep.org