

La aplicación de las normativas europeas actuales en materia de medio ambiente, obliga a la sustitución progresiva de los equipos de climatización que trabajan con gas refrigerante R-22 hasta su total desaparición a finales del año 2014. En este artículo se analizan diferentes alternativas para la reconversión de los equipos existentes de R-22 con los gases refrigerantes HFC más utilizados en climatización, desde el punto de vista técnico y económico, sin necesidad de sustituir el equipo

## Alternativas al R-22

El R-22 se convirtió en el gas refrigerante más utilizado en climatización debido a su carácter azeotrópico y sus excelentes propiedades refrigerantes. La problemática actual radica en que pertenece a los gases tipo HCFC (hidroclorofluorocarbonados) y debido a la presencia de cloro en su composición química resulta nocivo para la capa de ozono. En el protocolo de Montreal se establecieron las medidas para paliar los efectos del cloro en la capa de ozono, a su vez, la Unión Europea elaboró en Reglamento CE 2037/2000, de carácter más restrictivo, donde se establecen los plazos para la aplicación de las diferentes medidas al respecto. Este Reglamento establece las siguientes medidas:

*A partir del 1 de enero del 2004*

Prohibición de fabricar todo tipo de equipos con HCFC's

*A partir del 1 de enero del 2010*

Queda prohibido la utilización de HCFC puros para el mantenimiento y recarga de equipos de refrigeración y aire acondicionado existentes en aquella fecha.

*A partir del 1 de enero del 2015*

Queda prohibido la utilización de HCFC's reciclados para el mantenimiento y recarga de todos los equipos de refrigeración y aire acondicionado existentes.

### Actuaciones ante la normativa

A continuación se establecen las diferentes posibilidades de actuación, con el fin de cumplir la normativa:

*1. Utilizar gas refrigerante R-22 nuevo hasta 2010 y reciclado hasta 2014*

Esta medida implica la conservación del equipo sin la necesidad de realizar modificaciones. La problemática de esta medida supone depender del suministro de gas reciclado para el correcto del equipo. El proceso de reciclado del refrigerante

**M. Cavero Pérez\***  
**JM. Trenado Pinela\*\***

\*Coordinador Técnico Delegación Madrid

\*\*Técnico de Control y Mantenimiento  
TEST Tecnología de Sistemas S.L.

es caro y poco viable, debido a que requiere un número elevado de controles (1 cada 5 kg). Este proceso de reciclado, *a priori*, incrementará el precio del gas refrigerante R-22 considerablemente. A su vez, algunos fabricantes de refrigerantes dejarán de producir R-22 nuevo a principios del 2009, lo que puede repercutir en el mercado negativamente.

### 2. Sustituir el equipo por otro nuevo que contenga gas refrigerante HFC

Con esta medida se cumpliría con el Reglamento europeo. Como punto negativo destacamos que el cambio del equipo supone un desembolso económico elevado, no alcanzando en la mayoría de los casos el final de la vida útil de los equipos sustituidos.

### 3. Realizar una reconversión, sin cambiar el equipo, para que funcione con gas HFC, hasta agotar la vida útil de la máquina

Con esta medida se cumple con las exigencias marcadas por la normativa actual. Además, se consigue alargar la vida útil del equipo pudiendo afrontar su sustitución a medio plazo. En muchos casos, aplicando estas reconversiones, se consiguen rendimientos parecidos a los del R-22.

En este punto debemos seleccionar el gas refrigerante que mejor se adapte a las condiciones de diseño del equipo, ya que no todos son adecuados, ni rentables. A esta problemática debemos añadir además, la poca experiencia existente en materia de reconversiones y el conflicto de intereses que se les plantea a los fabricantes de equipos<sup>3</sup> de climatización.

## Comparativa entre los posibles sustitutivos y el R-22

Actualmente todo gas refrigerante debe cumplir con una serie de requisitos que garanticen unos niveles mínimos de seguridad ambiental y de eficiencia energética. Las características básicas se mencionan a continuación:

- No dañar la capa de ozono
- Tener un bajo efecto invernadero (PEID) o (GWP)
- No deberán ser tóxicos, ni inflamables
- Deberán ser estables en las condiciones normales
- Deberán ser eficientes energéticamente (buen COP).

Los gases refrigerantes HFC<sup>4</sup> más utilizados actualmente en el mercado y que mejor se adaptan a las características termodinámicas del R-22 son los siguientes:

- R-134a
- R-407C
- R-410A
- R-422D

A continuación se realiza la comparación entre los posibles sustitutos del R-22 desde el punto de vista del diseño y funcionamiento de una instalación de climatización perteneciente al sector terciario, como por ejemplo.

## Gas refrigerante R-134a

Como diferencias más importantes con respecto al R-22 encontramos que los gases HFC utilizan aceite sintético poliéster (POE) frente al aceite mineral que se utiliza en los HCFC como el R-22. La transferencia de calor de los equipos que funcionan con R134a es considerablemente inferior por lo que el rendimiento mucho menor en comparación con los equipos de R-22. Las presiones de trabajo que se obtienen con este gas son inferiores, obteniendo más temperatura en la descarga del compresor. La eficiencia isoentrópica del compresor es menor con respecto a los compresores que trabajan con R-22, siendo por tanto, el rendimiento del compresor más bajo.

Para realizar una reconversión con R-134a se deben tener en cuenta los siguientes aspectos. Como medida principal se debe realizar una limpieza de aceite del circuito frigorífico (4 a 6 ciclos), con el fin de eliminar los residuos de aceite mineral provenientes del antiguo gas R-22, a su vez todas las juntas de las uniones deberán ser sustituidas para evitar la cristalización de las mismas, por causa de nuevo aceite. Posteriormente se deberá sustituir la válvula de expansión y el filtro deshidratador por unos específicos de R134a. Debido a la diferencia de parámetros de trabajo entre los dos gases, los parámetros de funcionamiento del equipo de climatización deberán ser reajustados mediante una correcta puesta en marcha. Se puede conservar el compresor de R-22, pero se recomienda cambiar las juntas de las uniones como se ha mencionado anteriormente. Para finalizar, la instrumentación de medida y los equipos de mantenimiento también deberán ser sustituidos por unos específicos para R-134a (manómetros, detector de fugas, latiguillos, etc.).

Se aportan las gráficas comparativas de los gases R-22 y R-134a, donde se muestran las diferencias de presiones absolutas y temperaturas de trabajo de los mismos (figs. 1 y 2).

## Gas refrigerante R-407C

Este gas refrigerante ha sido diseñado para simular cercanamente las propiedades del R-22. Consiste en una mezcla no azeotrópica de distintos gases, es decir, las concentraciones son distintas en las fases de líquido y gas de los mismos componentes. Al no tener cloro en su composición entra dentro del grupo de los sustitutos del R-22.

Las características más reseñables de R-407C consisten en el buen rendimiento en las instalaciones de climatización. Como punto negativo cabe destacar que presenta una temperatura de deslizamiento de 7,4 °C entre cambios de fases, lo que afecta directamente al recalentamiento y por tanto al control de la máquina. El R-407C utiliza aceites refrigerantes sintéticos tipo POE, además, al ser una mezcla ternaria de gases zeotrópica al producirse una fuga en zonas de mezcla gas-líquido se debe vaciar el circuito entero. Las presiones de trabajo son ligeramente superiores (aprox. 1 bar), mostrando un rendimiento menor a bajas temperaturas en comparación con el R-22.

Debido a la diferencia de tipos de aceite del R-22 al R-407C a la hora de efectuar la reconversión se debe realizar una limpieza de aceite del circuito frigorífico (4 a 6 ciclos), incluyendo un cambio de juntas y de uniones. Además, se deberá sustituir el filtro deshidratador y la válvula de expansión, debido a que el bulbo termostático está diseñado para su funcionamiento con R-22. Se recomienda de cara a la fiabilidad mecánica del equipo sustituir el compresor actual por uno específico de R-407-C, debiendo ajustar los parámetros de control de la máquina de climatización para solventar los problemas de deslizamiento mencionados anteriormente. Se deberá cambiar la instrumentación y equipos de mantenimiento.

A continuación se aporta en la figura 3 la gráfica comparativa de los gases R-22 y R-407C, donde se muestran que las presiones de trabajo son similares.

### Gas refrigerante R-410A

Este gas refrigerante también se engloba dentro del grupo de los HFC y su composición química es una mezcla casi azeotrópica compuesta al 50% por R-32 y R-125. Presenta una temperatura de deslizamiento únicamente de 0,2°C, a su vez, en caso de fuga la recarga de gas se puede realizar sin necesidad de vaciar la instalación porque la mezcla no presenta alteraciones significativas en su composición química. Como los gases refrigerantes anteriormente mencionados, el R-410A trabaja con aceites refrigerantes sintéticos tipo poliéster. Este gas es muy utilizado en sistemas de expansión directa, con temperaturas positivas de trabajo (temperatura de evaporación por encima de 0 °C), como son los equipos de aire acondicionado tipo split y multi split.

Las principales diferencias con respecto al R-22 son principalmente que utiliza aceite sintético, además posee una capacidad frigorífica superior. Las presiones de trabajo de los equipos que funcionan con este gas refrigerante son hasta un 60% más altas en comparación con los equipos de R-22, debido a esto los espesores de las tuberías, en medias de superiores a 3/8", necesitan ser aumentadas para soportar las elevadas presiones a las que son sometidas. Los compresores y las baterías de intercambio, tanto de evaporación como de condensación, son más pequeñas.

Debido a las grandes diferencias existentes entre ambos refrigerantes, un intento de reconversión de un equipo de R-22 a R-410A debería de ir acompañado de un cambio total de la instalación de climatización debiéndose sustituir inclusive las baterías de intercambio y las tuberías.

La siguiente gráfica comparativa (fig. 4) entre los gases R-22 y R-410A, muestra la gran diferencia que existe entre las presiones de trabajo de ambos refrigerantes.

### Gas refrigerante R-422D

Este gas refrigerante se encuadra dentro de los denominados gases mezcla y por la ausencia de cloro en su composición pertenece a los HFC. Fue creado como sustituto directo del R-22 en aplicaciones que necesitan temperaturas medias de

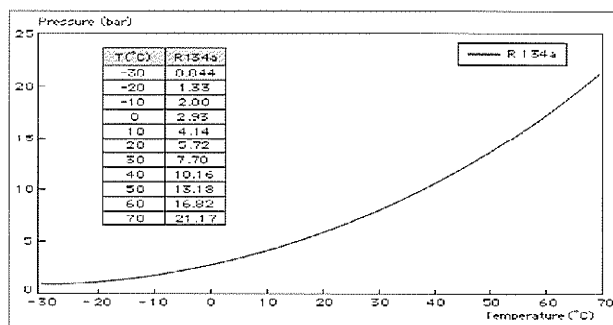


Fig. 1

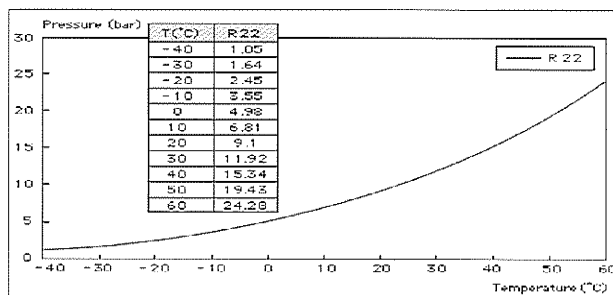


Fig. 2

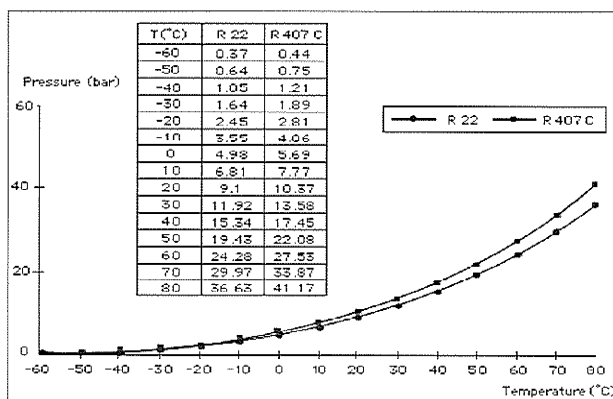


Fig. 3

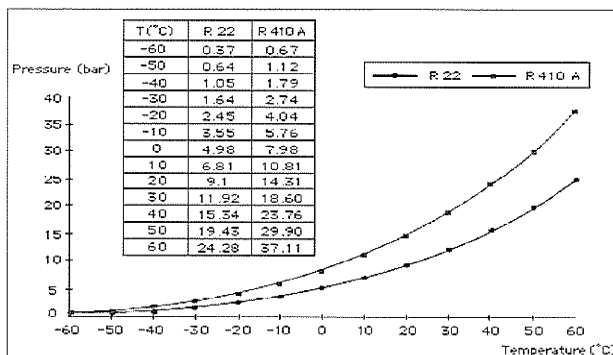


Fig. 4

evaporación, como por ejemplo, en sistemas de refrigeración comercial. Su mayor uso se realiza en enfriadoras de agua de expansión directa. Es una mezcla ternaria de R-125, R-134a y R-600 y presenta una temperatura de deslizamiento de unos 2 °C aproximadamente. A pesar de ser una mezcla ternaria,

en caso de fuga no se descompone por lo que no hace falta vaciar el circuito. La gran ventaja del R-422D se debe a su compatibilidad con los diferentes aceites refrigerantes minerales, alquibenceno y poliéster que existen en el mercado.

Este gas en comparación con el R-22 posee una capacidad frigorífica similar en aplicaciones de media temperatura. El consumo eléctrico de un compresor de R-22 que utiliza R-422D es inferior, entorno a un 4,7 %, esto es debido a que la carga de R-422D es un 10% menor en un circuito de R-22. La presión y temperatura de descarga es inferior a la del R-22. Posee mejor coeficiente de rendimiento (COP) debido a que la capacidad frigorífica es similar y el consumo eléctrico es menor. El precio aproximado del R-422D es elevado respecto al precio del R-22, existiendo una diferencia entre ambos de 10-12 €/kg

Debido a que el aceite refrigerante es compatible entre ambos gases, el R-422D es un sustituto directo del R-22, por lo que no es necesario limpiar el circuito de aceite en una reconversión.

### Reconversiones en maquinas existentes con R-422D

Para realizar esta reconversión se deben anotar primeramente los parámetros de funcionamiento de la maquina de R-22 para finalmente igualarnos con los de la carga de R-422D. A continuación se extrae la carga de refrigerante R-22 del circuito mediante un cilindro recuperador y posteriormente de debe sustituir el filtro deshidratador. Una vez vaciado el sistema de debe comprobar la ausencia de fugas en el circuito antes de empezar a cargar en nuevo gas refrigerante R-422D. Se debe realizar un pequeño ajuste en la válvula de expansión termostática para lograr el mismo recalentamiento anterior. Se recomienda empezar a cargar la instalación progresivamente comparando el funcionamiento del sistema, con los parámetros funcionamiento anteriormente anotados hasta alcanzar el punto optimo de funcionamiento. Para finalizar se debe comprobar el nivel de aceite con el compresor parado y rellenarlo en caso necesario. A continuación se muestra un ejemplo obtenido de las pruebas realizadas a una enfriadora Carrier Modelo 06E-6275 610E que funciona originalmente con R-22. El equipo posee un doble circuito frigorífico trabajando en paralelo, uno con R-22 y otro con R-422D, ambos con 24,5 kg de carga de gas refrigerante. Los parámetros de funcionamiento del equipo son:

- Temperatura de condensación 38 °C.
- Temperatura de evaporación 1 °C
- Recalentamiento de 7 °C.

Con los datos obtenidos de la prueba se ha elaborado la figura 5.

Se observa que la capacidad frigorífica con R-422D es ligeramente inferior a la del R-22, aproximadamente 1-2 kW menos y que los consumos eléctricos son inferiores en el compresor del circuito cargado con R-422D (comercializado con el nombre de ISCEON 29).

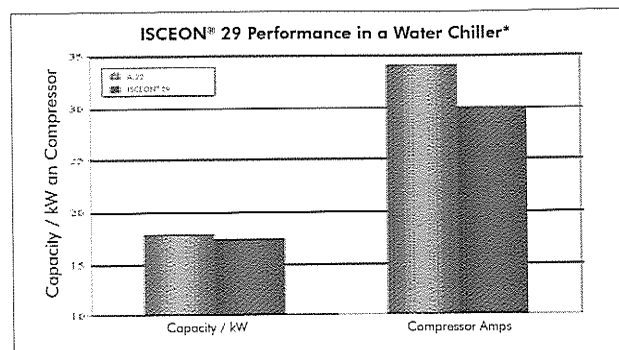


Fig. 5

### Conclusiones

Técnicamente la reconversión con gases R-134a no resulta del todo recomendable debido a la necesidad de realizar numerosas modificaciones en la instalación y como consecuencia, el precio de estas modificaciones sería elevado. A su vez, el rendimiento frigorífico es bastante bajo en los equipos de R134a, en comparación con los equipos de R-22, debido a que se puede perder entre un 30-50% de potencia frigorífica, por lo que desde el punto de vista del diseño también es desaconsejable

Una opción interesante pero que requiere de numerosas modificaciones es la reconversión con R-407C, debido a que los rendimientos obtenidos son similares a los de equipos de R-22. Hay que tener en cuenta que el coste económico de esta inversión puede no ser rentable en comparación con la obtención de un equipo nuevo.

Teniendo en cuenta todos los datos mencionados en referencia al comportamiento termodinámico del R410A debemos descartar un intento de reconversión de un equipo de R-22 a este gas refrigerante, ya que no existe ningún aspecto ni técnico, ni económico que lo justifique con garantías.

El principal problema que presentan los gases HFC es la incompatibilidad con los aceites minerales, por este motivo el R-422D resulta la opción más interesante y viable de cuantas se han analizado anteriormente, debido a que se trata de un sustituto directo del R-22. Desde el punto de vista del diseño se consiguen resultados parecidos en rendimientos frigoríficos y se ahorra en consumo eléctrico. La reconversión se realiza mediante un sencillo proceso similar al que se lleva a cabo en una recarga normal de refrigerante. Económicamente es la opción más recomendable debido a que las otras opciones de reconversión requieren un gasto mucho mayor en la sustitución de componentes que con el R-422D no hace falta cambiar.

### Fuentes técnicas consultadas

- Trane
- Mycon
- Danfoss
- Mta-Novair
- Carbueros Metálicos
- Dupont
- Gas Servei