

ANÁLISIS

DE LOS SUSTITUTOS DEL HCFC R22

Por cortesía de D. Albert Albert (Director Técnico PECOMARK) y D. Federico Martínez (FRIOGAS)

INTRODUCCIÓN

La inminente prohibición del uso del R22 como producto puro, de acuerdo con el reglamento europeo 2037/2000, en enero del 2010 pone muy de actualidad la necesidad de reconversión de las instalaciones funcionando actualmente con fluidos HCFC (R22 en su mayoría).

Para esta función, los distintos fabricantes de fluidos refrigerantes han lanzado unos “sustitutos”, más o menos directos. Tal y como ya vivimos durante la sustitución de los CFCs (R12 y R502 básicamente), la responsabilidad de las reconversiones recaerá sobre los instaladores de refrigeración y climatización, ya que las informaciones que suministran los fabricantes de gases no siempre son las que más necesita el frigorista.

Por este motivo, el presente estudio se ha realizado basándose no en las informaciones facilitadas por los fabricantes de los fluidos refrigerantes, sino en el software REFPROP 8.0. Dicho software es la herramienta de cálculo de referencia a nivel mundial, para obtener propiedades termodinámicas de gases refrigerantes.

El REFPROP ha sido desarrollado por el NIST (National Institute of Standards and Technologies), un organismo técnico independiente financiado por la Secretaria de Comercio del Gobierno Federal de los E.E.U.U. Este software es, por ejemplo, el referenciado por ASERCOM (Asociación Europea de Fabricantes de Compresores) para los cálculos necesarios para la homologación de los diferentes compresores fabricados por sus asociados.

CANDIDATOS A LA SUSTITUCIÓN DEL R22

Los distintos gases puestos en el mercado para la sustitución del R22 son*:

Sustitutos director o “drop-in”: sin cambio de aceite

R-417A (DuPont™ Isceon® 59)

R-422A (DuPont™ Isceon® 79)

R-422D (DuPont™ Isceon® 29)

R-427A (forane fx100): *recomendado 1 cambio de aceite, residuo admitido 15%*

Sustitutos con cambio de aceite

R-404A

R-507A

R-407C

*) ver tabla “datos de los sustitutos del HCFC R22”

CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS DE LOS SUSTITUTOS DEL R22

Los principales criterios a tener en cuenta para un correcto análisis de los sustitutos del R22 serán los siguientes:

- Deslizamiento de temperatura.
- Compatibilidad de los aceites y Procedimiento de Reconversión.
- Campo de aplicación.
- Potencia frigorífica.
- Potencia absorbida.
- Rendimiento energético (COP).
- Pérdidas de carga.
- Necesidad de cambios en la instalación.
- Niveles de presión.
- Respeto al Medio Ambiente. (GWP)

CICLO FRIGORÍFICO UTILIZADO PARA LA COMPARATIVA

Para realizar la comparativa entre el R22 y los distintos sustitutos, se ha partido de los siguientes datos:

a) La comparativa se realiza en todos los casos partiendo del mismo desplazamiento volumétrico. Es decir, suponiendo que utilizamos el mismo compresor /compresores con R22 y con sus sustitutos. La razón es que normalmente se intentará conservar los mismos compresores de la instalación.

b) El ciclo frigorífico de referencia es un ciclo frigorífico de compresión de vapor de simple etapa y expansión directa.

c) Los datos del ciclo frigorífico son:

- Temperatura de condensación: +45°C
- Temperatura de evaporación: la indicada en cada tabla
- Subenfriamiento natural de 3 K.
- Recalentamiento total en aspiración: 15 K
- Recalentamiento útil: 5 K
- Rendimientos volumétrico e isoentrópicos: calculados según datos del software del fabricante de compresores Bitzer.

En baja temperatura (-30°C de evaporación), la comparativa se realiza sin tener en cuenta la eventual necesidad, para el caso del R22, de realizar inyecciones de líquido en el compresor.

Algunos fabricantes de compresores disponen de sistemas que no requieren de dicha inyección en algunas de sus gamas: caso del sistema VARICOOL de Bitzer o de algunas gamas de compresores Bock. Para estos casos, los datos aportados son ajustados a la realidad.

En otros casos donde se requiera la inyección de líquido para R22, las prestaciones con este refrigerante disminuyen, debido al uso de parte del caudal de refrigerante para enfriar la descarga del compresor. Tener esto en cuenta al analizar este tipo de sistemas.

d) Para la determinación de las pérdidas de carga se ha utilizado la fórmula general de Darcy-Weisbach. El coeficiente de fricción ha sido determinado con la fórmula de Colebrook.

e) Los resultados se presentan en forma de porcentaje relativo al R-22: es decir, el R-22 representa siempre el 100% y el resto de gases muestran su aumento o disminución respecto del R-22, también en porcentaje.

1.- DESLIZAMIENTO DE TEMPERATURA

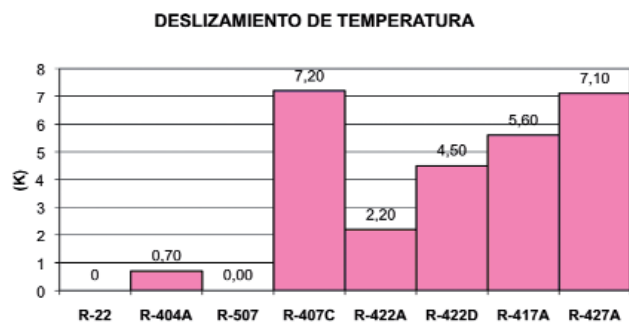
Es uno de los criterios principales a tener en cuenta al analizar la idoneidad de un sustituto para el R22, ya que esta

característica determina la dificultad o no del mantenimiento de la instalación funcionando con dicho gas.

La experiencia en la sustitución de R12 y R502 nos indica que los sustitutos más apreciados y que finalmente fueron los más implantados eran aquellos con un deslizamiento de temperatura muy reducido o incluso inexistente (gases azeotrópicos). Este sería el caso de gases como el R408A (deslizamiento 0,6 K) y el R404A (deslizamiento 0,7 K) y R507A (deslizamiento 0).

Por el contrario, aquellos sustitutos con un elevado deslizamiento de temperatura no han sido muy apreciados por los instaladores, ya que en caso de una fuga se plantea la necesidad de vaciar totalmente y volver a recargar la instalación. Este sería el caso del R407C (deslizamiento 7,2 K).

Por lo tanto, si analizamos los distintos sustitutos propuestos para el R22 en base a sus diferentes deslizamientos de temperatura, tendríamos el siguiente resultado:



Se observa en este cuadro que los sustitutos “directos” propuestos presentan altos deslizamientos de temperatura, ya que por encima de 1K existe riesgo de disociación de la mezcla en caso de fuga. Un deslizamiento por encima de 4K convierte este riesgo en una certeza, obligando al cambio completo del refrigerante en caso de una fuga en cambio de fase.

2.- COMPATIBILIDAD CON ACEITES. PROCEDIMIENTO DE RECONVERSIÓN

En principio, la posibilidad de no tener que cambiar el aceite existente en la instalación simplifica el procedimiento de reconversión, y elimina los costes asociados a esta operación.

No obstante, la experiencia de anteriores reconversiones indica que muchos refrigerantes presentados como compatibles con los aceites minerales presentaban carencias en cuanto al retorno de los mismos, lo que a la postre obligaba a un cambio adicional, bien a un Poliéster (POE) o bien a un AlquilBencénico (AB).

Los refrigerantes que necesitan un cambio obligatorio a acei-

te POE necesitan también que el porcentaje de aceite residual sea inferior al 3% para garantizar un correcto retorno del lubricante al compresor. Este porcentaje puede conseguirse realizando varios cambios de aceite sucesivos tras algunas horas de funcionamiento de la instalación. La experiencia ha demostrado que con un máximo de tres cambios de aceite se consigue el objetivo marcado.

No obstante, una limpieza de la instalación previa a la sustitución del refrigerante permite disminuir el número de cambios de aceite, minimizando el coste del mismo.

Hay que tener en cuenta que los cambios de aceite pueden ser realizados de forma programada, es decir, para realizar los 3 cambios de aceite mencionados no necesitaremos parar la instalación. De hecho, la forma de actuar sería realizar un primer cambio de aceite manteniendo el refrigerante R22, dejándolo funcionar durante un periodo no demasiado dilatado (p.e. 1 semana). Tras dicho periodo procederíamos a

comprobar el % de aceite residual mediante un refractómetro de mano, y si fuera necesario se procedería al segundo cambio de aceite y, así, sucesivamente hasta obtener los resultados deseados (3% de aceite residual).

3.- CAMPO DE APLICACIÓN

El R22 es un refrigerante que ha abarcado un amplio campo de aplicación, desde el aire acondicionado hasta la refrigeración de media y baja temperatura. Por este motivo, sería deseable que el sustituto elegido tuviera el mayor campo de aplicación posible, para que con un único gas se pudiera cubrir o sustituir al R-22 en todas sus aplicaciones. Esto simplificaría la logística y tareas de mantenimiento de los instaladores frigoristas. (Tabla 2)

Observando la tabla, llegamos a la conclusión que los sustitutos propuestos no abarcan todo el campo de aplicación que cubría el R22, por lo que se tendría que optar por un sustituto para refrigeración y otros para climatización.

Tabla 2

GAS	APLICACIÓN
R-22	- A.A. Residencial, Comercial e Industrial - Enfriadoras de agua ("chillers") - Bombas de calor - Refrigeración en alta y media T ^a
R-404A	- Refrigeración Industrial y Comercial - Enfriadoras de agua y agua glicolada - Refrigeración en transporte
R-507A	- Refrigeración Industrial y Comercial - Enfriadoras de agua y agua glicolada - Refrigeración en transporte
R-407C	- A.A. Residencial, Comercial e Industrial - Enfriadoras de agua ("chillers") - Bombas de calor - Refrigeración en alta y media T ^a
R417A dupont™ isceon59	Sustitución sistemas existentes HCFC - Splits y Climatizadores de aire - Refrigeración media y alta T ^a
R-422A dupont™ isceon79	Sustitución sistemas existentes HCFC - Refrigeración media y baja T ^a
R422D dupont™ isceon29	Sustitución sistemas existentes HCFC - Enfriadoras de agua - A.A. profesional y doméstico - Refrigeración media y alta T ^a
R-427A forante fx100	Sustitución sistemas existentes HCFC - Splits y climatizadores de aire - Refrigeración media y alta T ^a

4.- POTENCIA FRIGORÍFICA

Es deseable que un sustituto entregue una potencia frigorífica lo más semejante posible a la del gas a sustituir. Valores inferiores al 90% de dicha potencia frigorífica conllevan dificultades en la práctica, en el caso de procesos industriales tales como túneles de congelación, enfriamientos de agua, abatidores de temperatura.... donde el tiempo de proceso es muy importante.

Por el contrario, en caso de cámaras frigoríficas o máquinas de climatización donde es posible recuperar la disminución de potencia con un aumento de las horas de funcionamiento del sistema, podrían admitirse disminuciones de la potencia frigorífica respecto de la entregada con R22.

A la vista de las figuras 1, 2 y 3, se observa que estos sustitutos han sido pensados primordialmente para cubrir el rango de climatización. Observamos que para refrigeración tanto de media como baja temperatura, a excepción de los muy conocidos R404A-R507A, los sustitutos "directos" presentan caídas de potencia frigorífica muy importantes, lo que pone muy en entredicho su validez para muchas aplicaciones de refrigeración.

Sólo en el caso de instalaciones de R-22 con inyección de líquido en el compresor, los datos para baja temperatura resultan distintos, ya que la potencia frigorífica que entrega el R-22 se vería disminuída por dicha inyección.

5.- POTENCIA ABSORBIDA

La potencia absorbida por los sustitutos no puede ser

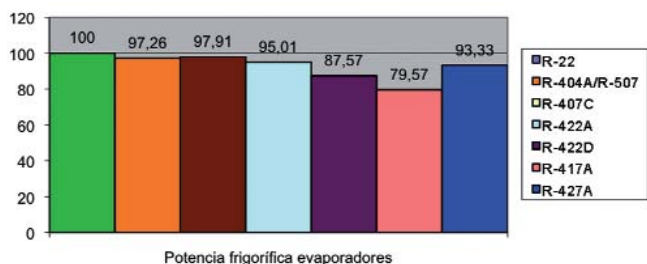


Figura 1: Potencia frigorífica en evaporador a +5/+45°C

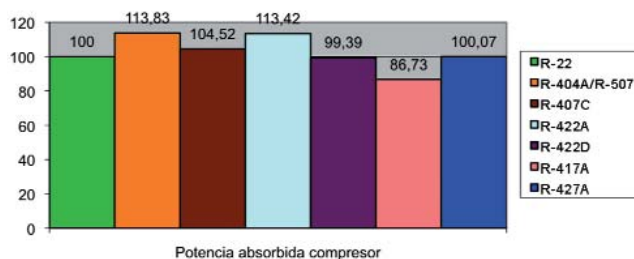


Figura 4: Potencia absorbida a +5/+45°C

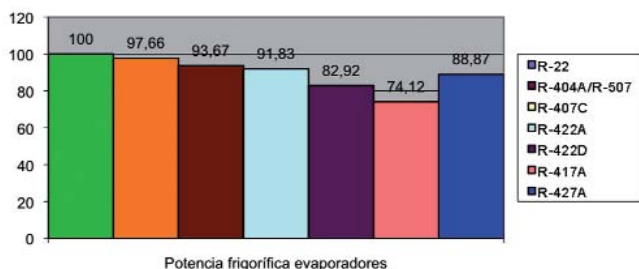


Figura 2: Potencia frigorífica en evaporador a -10/+45°C

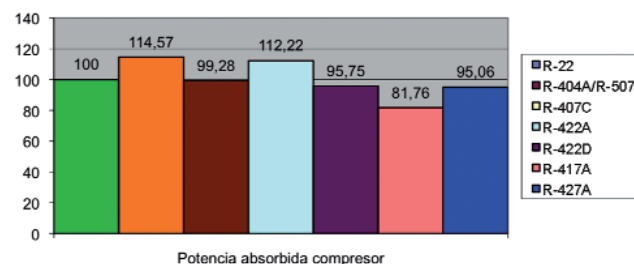


Figura 5: Potencia absorbida a -10/+45°C

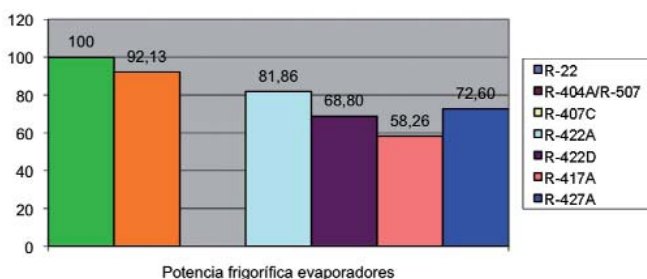


Figura 3: Potencia frigorífica en evaporador a -30/+45°C

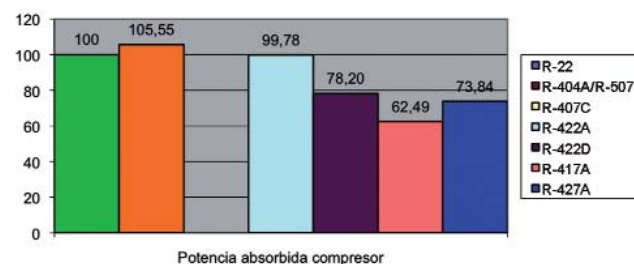


Figura 6: Potencia absorbida a -30/+45°C

mucho mayor que la del gas sustituido, ya que ello conllevaría la necesidad de sustituir los motores eléctricos de accionamiento de los compresores o, en el caso de compresores herméticos o semi-herméticos, a no poder utilizar los mismos o reducir su campo de aplicación.

A la vista de las figura 4, 5 y 6, se observa que las potencias absorbidas no sufren incrementos que puedan comprometer el funcionamiento correcto de los compresores, máxime cuando desde principios de los años 90 los compresores semiherméticos disponibles en el mercado ya contemplaban la potencia del motor para uso con R404A-R507A, que sería el que presenta una mayor potencia absorbida en el motor.

Para compresores semiherméticos de mayor antigüedad a la mencionada, así como para compresores herméticos y abiertos habría que comprobar el consumo en las condiciones concretas de funcionamiento de la instalación a sustituir, así como la potencia nominal del motor del compresor.

6.- RENDIMIENTO ENERGÉTICO (COP)

Un análisis de los gráficos adjuntos nos muestra que cual-

quiera de los sustitutos propuestos tiene un peor rendimiento energético y, por tanto, un mayor consumo de energía que el R22.

Habida cuenta de los precios de la energía y la creciente sensibilidad con el ahorro energético, podría parecer un contrasentido el uso de estos sustitutos, en teoría “amigables con el medio ambiente”. Lo que ganamos en no afectación a la capa de ozono lo perderíamos en una mayor emisión de gases con efecto invernadero, bien de forma directa como indirecta.

Por este motivo, casi se convierte en una obligación la utilización de tecnologías de ahorro energético como la condensación flotante para optimizar el consumo de las instalaciones, para de esta manera compensar e incluso mejorar la eficiencia energética de la misma instalación funcionando con R22.

En este sentido el uso del R404A – R507A como sustituto en refrigeración del R22 conlleva la ventaja de poder realizar condensación flotante con válvulas de expansión tanto termostáticas como electrónicas (**sistema PECOFLot**).

El sistema PECOFLOT es un control electrónico inteligente basado en el concepto de la Condensación Flotante, idóneo para instalaciones centralizadas funcionando con R404A/R507A.

El sistema PECOFLOT permite ahorrar hasta un 30% de la energía consumida por los compresores (dependiendo de las condiciones climáticas del lugar), tanto en instalaciones nuevas como existentes.

Esto es muy evidente para las instalaciones de refrigeración, siendo más complejo el aumento de la eficiencia energética en las instalaciones de climatización, ya que en este caso dependemos del fabricante de la máquina para cualquier modificación. (Figs. 7, 8 y 9)

- Una disminución de la potencia frigorífica de la instalación.
- Un aumento del consumo del compresor.
- Una disminución de la eficiencia energética.

- En la línea de líquido puede provocar el fenómeno de flash-gas (burbujas en la línea de líquido).

En casos extremos, puede ser necesario aumentar el diámetro de la línea para devolver la pérdida de carga a valores correctos.

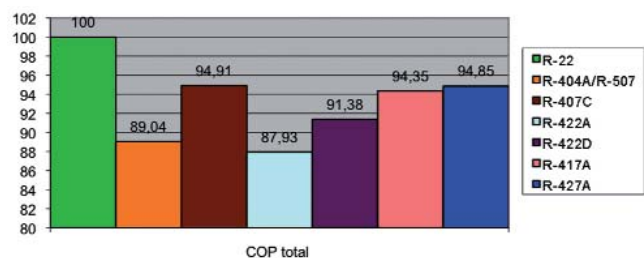


Figura 7: COP total a +5/+45°C

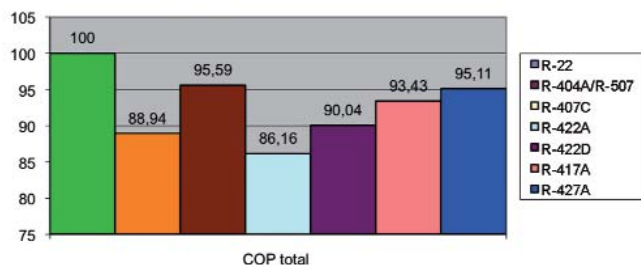


Figura 8: COP total a -10/+45°C

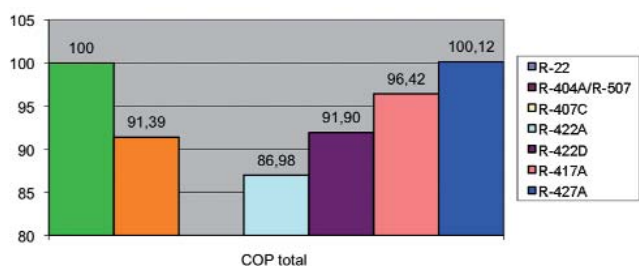


Figura 9: COP total a -30/+45°C

7.- PERDIDAS DE CARGA

Las pérdidas de carga también deben ser tenidas en cuenta cuando se utiliza un sustituto. Un aumento de la pérdida de carga provoca:

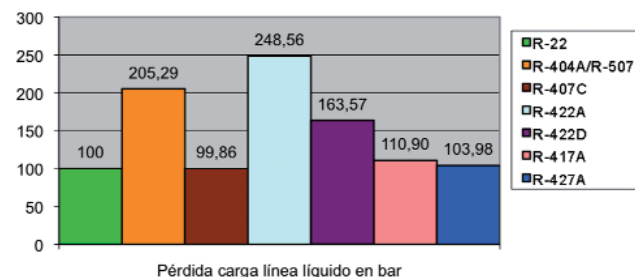


Figura 10: Pérdidas de carga en línea de líquido a +5/+45°C

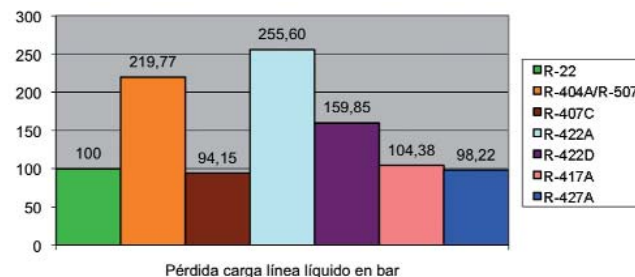


Figura 11: Pérdidas de carga en línea de líquido a -10/+45°C

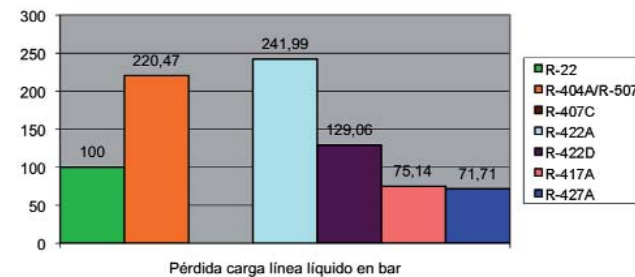


Figura 12: Pérdidas de carga en línea de líquido a -30/+45°C

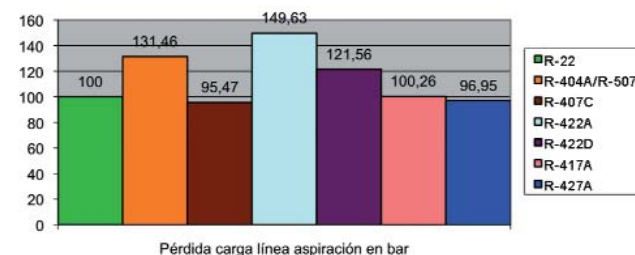


Figura 13: Pérdida de carga en aspiración a +5/+45°C

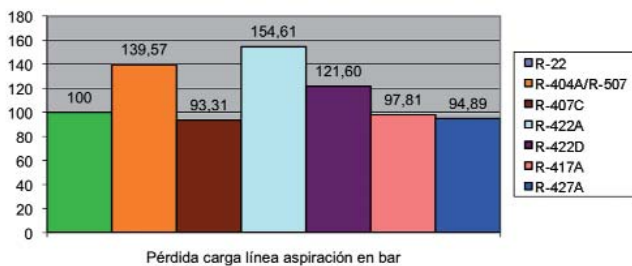


Figura 14: Pérdida de carga en aspiración a -10/+45°C

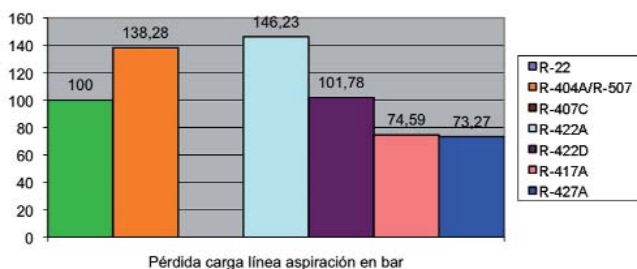


Figura 15: Pérdida de carga en aspiración a -30/+45°C

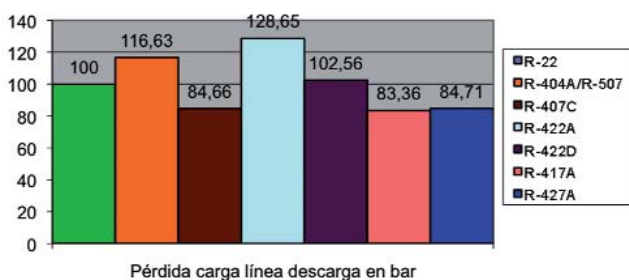


Figura 16: Pérdida de carga línea descarga a +5/+45°C

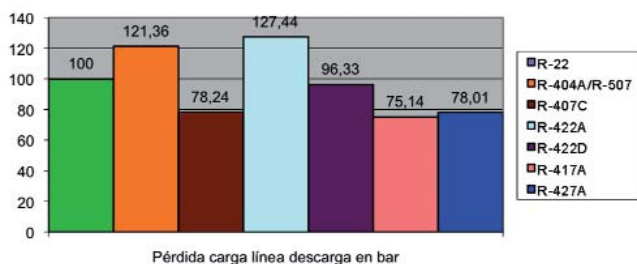


Figura 17: Pérdida de carga línea descarga a -10/+45°C

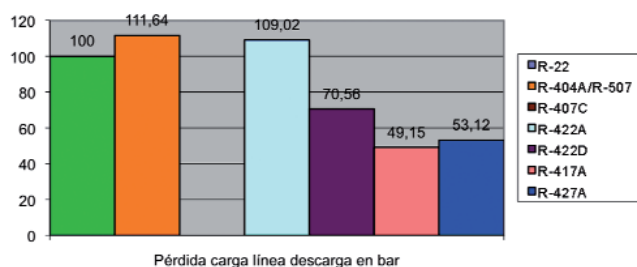


Figura 18: Pérdida de carga línea descarga a -30/+45°C

Analizando las figuras 10 a 18, vemos que los principales problemas se nos presentarían en las líneas de líquido con los refrigerantes R404A – R507A y R422A. En estos casos, sería necesario un estudio del caso concreto para comprobar si existe la necesidad de aumentar la línea de líquido o no.

Asimismo, en otros casos sería necesario un análisis de cada caso en concreto para determinar si el aumento de la pérdida de carga obliga a alguna actuación correctora.

8.- NECESIDAD DE CAMBIOS EN LA INSTALACIÓN

El hecho de que todos los sustitutos, como es lógico, pertenecen a la familia de los HFC ya presupone que algunos cambios de elementos de la instalación deberán ser acometidos para ser compatibles con estos gases. Por ejemplo, cambios comunes a todos los sustitutos serían:

- Cambio del filtro deshidratador.
- Cambios o ajustes de las válvulas de expansión.
- Retimbrado o sustitución de recipientes a presión, para adaptarlos a la nueva normativa europea de aparatos a presión (PED), si fuera necesario.
- Sustitución de juntas elastoméricas no compatibles con gases HFC (en sistemas frigoríficos de mayor antigüedad)

Para obtener toda la información necesaria para cada gas y caso concreto, consultar los estudios de sustitución específicos publicados en

www.pecomark.com

9.- NIVELES DE PRESIÓN

Los niveles de presión de cada sustituto en el sector de alta presión de la instalación determinan la temperatura máxima de trabajo del sistema en dicho sector, compatible con la presión de timbre de los aparatos a presión existentes en la misma. (Tabla 3)

Los sustitutos con una presión en el sector de alta muy superior al R22 (p.e. R422A) obligarán, como mínimo, a comprobar la presión de timbre de los aparatos a presión de la instalación.

Si la presión de timbre es inferior a la necesaria con el nuevo gas, obligaría en la práctica a la sustitución de la calderería existente por una con mayor presión de timbre, para poder condensar con las temperaturas máximas exteriores del periodo estival. También se deberá comprobar la presión de tarado de las válvulas de seguridad de la instalación.

También la adecuación a la normativa europea de equipos a

Tabla 3

GAS	Presión (bar) a 45°C
R-22	16,5
R-404A	19,5
R-507A	20
R-407C	16
R-417A dupont™ isceon59	15
R-422A dupont™ isceon79	19,5
R-422D dupont™ isceon29	17
R-427A forane fx100	17,5

Tabla 4

GAS	GWP
R-22	1.500
R-404A	3.260
R-507A	3.200
R-407C	1.525
R-417A dupont™ isceon59	1.950
R-422A dupont™ isceon79	2.530
R-422D dupont™ isceon29	2.230
R-427A forane fx100	1.830

presión conocida como PED (Pressure Equipment Directive) puede obligar bien al retimbrado y homologación de la calderería existente, bien a la sustitución de los recipientes por otros que cumplan con la PED.

A la vista de la tabla, observamos que R404A-R507 y R422A entrarían dentro del grupo de sustitutos que requieren la comprobación de los aparatos a presión y la sustitución de las válvulas de seguridad de la instalación por otras de mayor presión de tarado.

10.- RESPETO AL MEDIO AMBIENTE

Como se ha indicado anteriormente, todos los sustitutos del R22 son HFC, por lo tanto sin afectación a la capa de ozono (ODP=0).

En lo que respecta al efecto invernadero (GWP), debemos distinguir dos efectos:

- Un efecto directo, asociado a las fugas y emisiones de estos refrigerantes a la atmósfera, que se expresa mediante el GWP.

- Un efecto indirecto, asociado a las emisiones generadas por el consumo de energía producida mediante la quema de combustibles fósiles, proceso que genera la emisión de gases con efecto invernadero (CO2 principalmente).

La suma de los dos efectos, el directo y el indirecto, se recoge en una magnitud llamada TEWI (Total Equivalent Warming Impact).

En la tabla 4 adjunta, se observa que el efecto indirecto (GWP) del R22 es inferior al de cualquiera de sus sustitutos. Si a esto le añadimos el menor COP indicado anteriormente de estos sustitutos, veremos que el TEWI del R22 sigue siendo inferior al de cualquiera de sus sustitutos. Por esta razón, insistimos en la necesidad de uso de tecnologías de ahorro energético para disminuir el efecto indirecto (ver sistema PECOFLOT en www.pecoflot.com), así como la mejora de la estanqueidad de las instalaciones para reducir el efecto directo.

CONCLUSIONES

A la vista de los criterios estudiados, y analizando los pros y los contras de cada producto disponible para sustitución del R22, podríamos concluir que la sustitución del R22 para Refrigeración y Climatización no podrá ser acometida con un único gas.

Por el contrario sí sería posible escoger un único sustituto para refrigeración y otros sustitutos para climatización.

1) Refrigeración

Por todo lo indicado, entendemos que el sustituto idóneo en el campo de la refrigeración sería el **R404A – R507A**.

Los puntos fuertes que argumentan esta decisión serían:

- Deslizamiento de temperatura mínimo (nulo en el 507)
- Potencia frigorífica equivalente a la del R22

- Compresores existentes totalmente compatibles con este gas
- Características y comportamientos muy conocidos por el instalador.
- Posibilidad de aumento del COP vía uso de sistemas de condensación flotante simplificados (PECOFLOT)
- Precio inferior al resto de sustitutos “directos”

Los trabajos específicos para esta opción serían:

- Necesidad de cambio de aceite a POE. Si se realiza de forma programada en varias etapas no supone un gran inconveniente al no requerir parado total de la instalación.
- Mayor nivel de presión, que puede requerir la sustitución de la calderería. En este sentido, cabe indicar que cualquier otro sustituto empleado y debido al cambio de normativa sobre equipos a presión (PED) requerirá de igual modo esta sustitución (o al menos retimbrado) en el caso que lo requiera el paso a R404A/R507
- Mayor pérdida de carga en línea de líquido, pudiéndose necesitar su sustitución por otra de mayor diámetro. No obstante, habría que estudiar cada caso concreto para ver la posibilidad de conservar el diámetro de línea de líquido, o bien introducir un subenfriamiento externo adicional del líquido que permitiera conservar la misma tubería.

La única excepción a todo lo indicado se presentaría en las

instalaciones de pequeñas potencias con compresores herméticos.

Los fabricantes de compresores herméticos para R22 desaconsejan en general el uso de aceites POE en dicho equipamiento, por lo que en este caso estaremos obligados a sustituir el R22 por un sustituto sin cambio de aceite. En estos casos, los sustitutos más adecuados serían el R417A o el R422D, en aplicaciones de climatización y refrigeración de alta y media temperatura, básicamente las aplicaciones en las que se utilizaban este tipo de compresores.

2) Climatización

Según los análisis realizados, no podríamos optar por una solución tan concreta como en el caso de la refrigeración. En el caso de la climatización, tenemos varias opciones que nos llevarían a utilizar un sustituto u otro:

• R417A

Se ha revelado como un buen sustituto del R22 en las aplicaciones de climatización aire-aire, tales como splits, sistemas semi-industriales e industriales con cargas medianas o pequeñas de refrigerante, donde el problema del deslizamiento de temperatura no supone un grave coste económico.

Además, su compatibilidad con los aceites minerales existentes es muy importante, ya que informaciones de fabricantes de compresores como Danfoss-Maneurop y otros manifiestan la incompatibilidad de los compresores herméticos aptos para R22 con los aceites



R-22, el final de la cuenta atrás

El 1 de enero de 2010 entra en vigor la prohibición en **todos los usos** del R22 virgen. A partir de entonces, sólo se podrá utilizar R22 recuperado u otros gases sustitutos.

Pecomark propone los sustitutos y el asesoramiento técnico adecuados para que la reconversión de los equipos sea un éxito: el R-404A / R-507A en instalaciones de frío medianas y grandes, así como el R-417A y el R-422D en instalaciones de frío pequeñas y de Climatización, jugarán un papel determinante.

No te compliques y realiza el cambio a tiempo durante el año 2009.

Infórmate en Pecomark. www.pecomark.com

PECOMARK
lamarcadelfrío