

Estudio de reconversión del refrigerante R-22 en el sistema de clima centralizado del Laboratorio Farmacéutico Oriente

Reconversion study of the R-22 refrigerant in the centralized climate system of the Oriente Pharmaceutical Laboratory

Rafael Ladrón de Guevara Pierre^{1*}, <https://orcid.org/0000-0001-6681-4515>

Celestino Santos Oro Ortiz², <https://orcid.org/0000-0002-5482-5070>

¹ Laboratorio Farmacéutico de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba

² Centro de Estudios de Energía y Refrigeración. Luis Fernando Brossard Pérez. U.O. Santiago de Cuba. Cuba

* Autor para la correspondencia. correo electrónico: guevara@lfo.biocubafarma.cu

RESUMEN

Uno de los principales problemas hoy en día en el mundo es la necesidad de buscar un nuevo entorno de mantenimiento de refrigerantes, esta posibilidad no solo protege el medio ambiente, sino que permite una mayor eficiencia en el uso del equipo en relación con la energía eléctrica, consumo, y otros parámetros fundamentales del sistema de refrigeración y clima en general. En el presente trabajo se realiza un estudio de las diferentes variables de reconversión del refrigerante (R-22) agente agotador de la capa de ozono y el calentamiento global, para sistemas de clima centralizado del Laboratorio Farmacéutico Oriente en Cuba, comparando en tablas expuestas las diferentes propuestas y métodos actuales en el mercado así como la metodología, criterios y los escenarios con los efectos que esto provoca para realizar la reconversión, concluyendo en el estudio que el más adecuado es el refrigerante R-407 c .

Palabras clave: reconversión; refrigerante alterativo.

ABSTRACT

One of the principal problems today in the world is the necessity of the search of news refrigerant more maintenance environment, that possibility no only the protection of the environment, but that allow higher efficiency in the use of the equipment, relative to electric power consumption, and other fundamentals parameters of the refrigeration system and climax in general. The present work is related with the study for the reconversion of R-22 refrigerant which is agent harmful to the ozone layer, and global warming potential, for centralized climate systems of the Oriente Pharmaceutical Laboratory in Cuba, comparing in exposed charts the different proposed current methods in the market, as well as the methodology, approaches and the scenarios with the effects that this causes to carry out the reconversion.

Keywords: reconversion; alternative refrigerant.

Recibido: 19/11/2019

Aceptado: 20/03/2020

Introducción

Desde hace tiempo se vienen produciendo importantes cambios tecnológicos en la esfera de la refrigeración y la climatización, dado fundamentalmente por el problema que provocan los refrigerantes al medio ambiente, centrado en la destrucción de la capa de ozono y el calentamiento global. Simultáneamente se elaboran procedimientos y soluciones provenientes de los países desarrollados para contrarrestar este problema que implican al menos la sustitución de un refrigerante por otro. Actualmente parece existir un cambio global de opinión, y en la decimonovena reunión de las partes del Protocolo de Montreal en septiembre del 2007 se acordó unos controles más exigentes. ⁽¹⁾

Cuba, como país firmante cumple de forma efectiva todas las obligaciones que han sido contraídas en virtud de este compromiso internacional. Por sus características y atribuciones, Cuba forma parte activa de los países en

desarrollo, agrupado en los denominados países del Artículo 5 del Protocolo de Montreal. ⁽²⁾

La XIX Reunión de las Partes del Protocolo de Montreal que se celebró en el año 2007, tomó la decisión de acelerar la eliminación de la producción y el consumo de los HCFC, alentando la selección de alternativas a los mismos y ya en el año 2011, el Comité Ejecutivo del FMPM aprobó la implementación del Plan Nacional de Eliminación de los HCFC en Cuba. El Programa Nacional de Eliminación de los HCFC en Cuba (2012-2030) y su Plan Nacional de Eliminación, son parte integrante de la Estrategia Ambiental Nacional y tienen como objetivo fundamental la eliminación total de la importación y del consumo de los HCFC para el año 2030, con vistas a lograr el cumplimiento de los compromisos internacionales contraídos por Cuba en materia de protección de la capa de ozono. ⁽²⁾

Actualmente en Cuba existen procesos de alto consumo energético como los de las tecnologías destinadas a la climatización. Un número importante de estas tecnologías montadas utilizan como refrigerante R-22. Una de estas es la Planta productora de Soluciones Parenterales de Gran Volumen: Laboratorio Farmacéutico “Oriente”, en Santiago de Cuba. En dicha planta existe montado un sistemas de clima centralizado con una Enfriadora de agua de dos compresores modelo RSW-140-2Y que utiliza como refrigerante primario R-22 con una capacidad de refrigeración de 170 TR, una carga de refrigerante de 90 Kg y un consumo de energía de 1.9 MW al día. Instalaciones de similares características han sido reconvertidas de R-22 a otros refrigerantes alternativos con la finalidad de disminuir el consumo de energía y dejar de utilizar sustancias agotadoras del ozono estratosférico y productoras de calentamiento global. Los fabricantes de equipos de aire acondicionado decidieron fundamentalmente utilizar el R407C debido a sus mejores prestaciones técnicas en temperaturas ambiente altas.

En nuestro país todavía se cuenta con Instalaciones de Climatización Industrial operando con R-22, es por eso que este trabajo tiene por **objetivo** conocer experimentalmente los beneficios de cada propuesta. Para su posterior

elaboración de proyectos de reconversión del refrigerante HCFC (R-22) en el sistema de clima centralizado del laboratorio farmacéutico Oriente de la ciudad de Santiago de Cuba.

Materiales y métodos

En este trabajo se realiza una revisión bibliográfica sobre el tema, que permitió evaluar las diferentes propuestas de refrigerantes para sustituir el R-22, siendo el refrigerante R-407c el seleccionado; para esto se realizaron comparaciones medioambientales en gráficos expuestos en Excel y cálculos de eficiencia del ciclo, utilizando el programa informático CoolPack, con el auxilio de los equipos de medición incorporados en la instalación de clima centralizado del Laboratorio Oriente.

En la siguiente figura se muestran la eliminación gradual del R22 propuesta por la Oficina Técnica de Ozono y aprobada por el estado cubano. ⁽⁷⁾

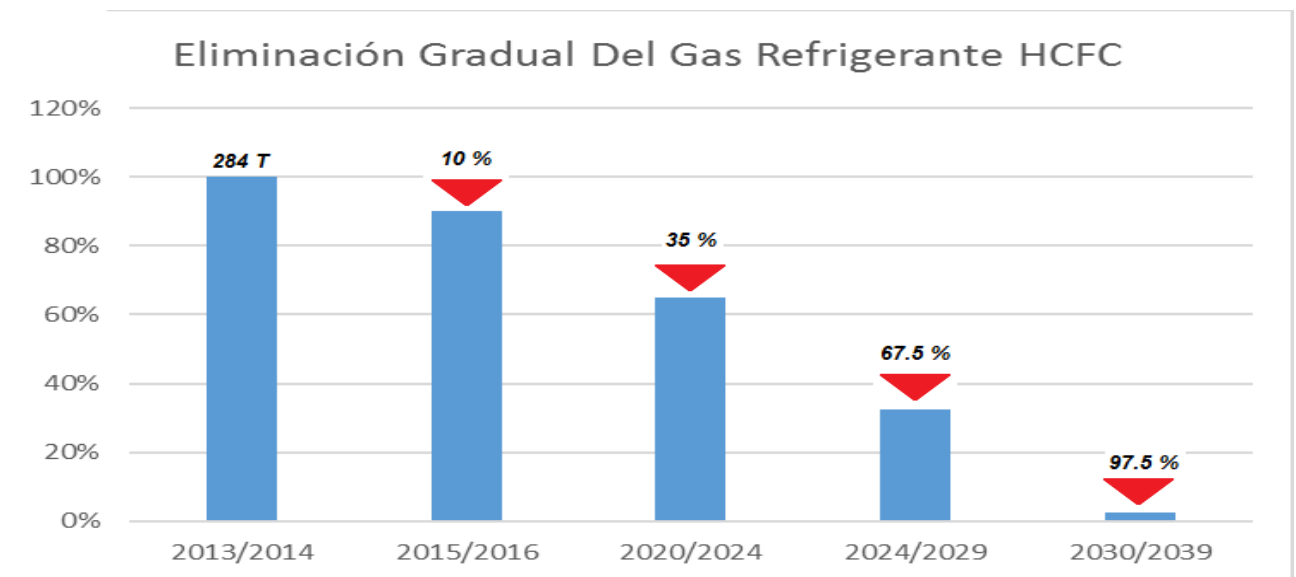


Fig 1. Protocolo Montreal, Salida o “Phase Out” del R-22 emisor en Cuba

En la figura 1 se tomaron los datos de la Oficina Técnica de Ozono (OTOZ) y se expusieron en gráfico Excel para una fácil comprensión en este trabajo.

Potencial de Calentamiento Global (PCG) R 22 vs Alternativas

Global Warning Potential o Potencial de Calentamiento Atmosférico: Es el parámetro comúnmente aceptado para evaluar el impacto climático que provoca una sustancia emitida a la atmósfera y que caracteriza su participación en el incremento del efecto invernadero. ⁽⁸⁾

En la figura 2 se realiza una evaluación tomando como referencia el PCW de los refrigerantes en cuestión con respecto al CO₂ equivalente CO₂ (GWPCO₂ = 1)

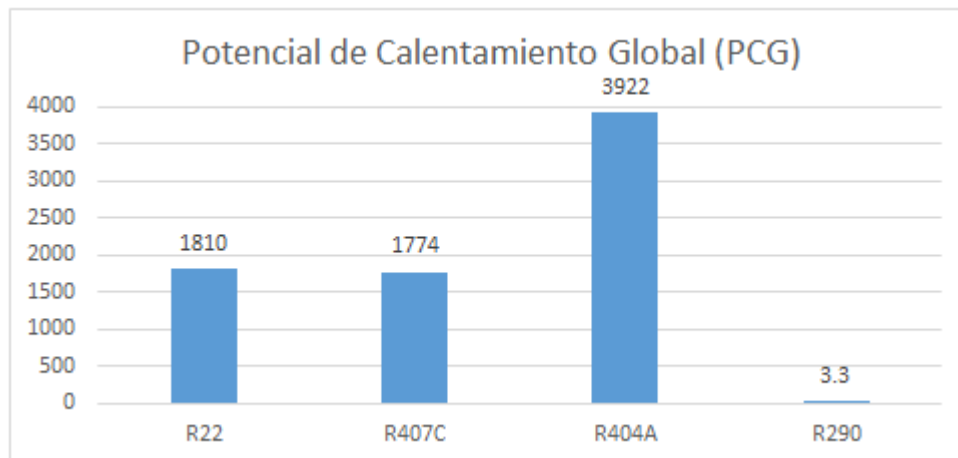


Fig 2. Potencial de Calentamiento Global

En esta figura se realiza un comparación del Potencial de Calentamiento Global del Planeta (PCG) del refrigerante R-22 obteniendo así que los refrigerantes mejor posicionados en cuanto a PCG, son el Genetron 407C y R290 al encontrarse por debajo de la línea base del refrigerante R-22.

Resultados

Criterios de decisión. Cuando se planea una reconversión o sustitución de gas, en sistemas de R22 con aceite mineral, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Realizar un análisis concienzudo de la instalación y de los costes de la reconversión.
- Tener en cuenta el tiempo de la instalación y de sus componentes principales.

- Estimar cuánto tiempo más puede estar funcionando la instalación y qué componentes pueden requerir un cambio en breve; esto va a tener una gran influencia en la elección del mejor proceso de reconversión.

. Tener en cuenta que la reconversión lleva asociada una pérdida de capacidad frigorífica

Esto es parcialmente debido a las propiedades termodinámicas del nuevo refrigerante, además, el gran deslizamiento de algunas mezclas, puede provocar una reducción de capacidad de los intercambiadores de calor de hasta el 7 %. La miscibilidad parcial del aceite con las mezclas refrigerantes puede hacer perder hasta otro 5% de capacidad en el intercambio de calor. La reducción de la capacidad frigorífica puede tener distintas consecuencias en cada una de las instalaciones en las que se realice una reconversión del gas refrigerante actual (R22).

Para realizar los cálculos de eficiencia del ciclo de refrigeración para ambos compresores, cabe mencionar que la prueba se realizó bajo las siguientes condiciones constantes que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1- Resultados obtenidos mediante las mediciones

| | Compresor #1 | Compresor #2 |
|----------------------------------|--------------|--------------|
| Temperatura de Evaporación (°C) | 4.24 | 2.0 |
| Sobrecalentamiento (°C) | 5.6 | 6.0 |
| Dp evaporador (bar) | 0.2 | 0.3 |
| Dp Succión (bar) | 0.1 | 0.1 |
| Dp Línea de descarga (bar) | 0.4 | 0.4 |
| Temperatura de Condensación (°C) | 46.2 | 47.6 |
| Sub enfriamiento (°C) | 7.2 | 6.6 |
| Dp Condensador (bar) | 0.8 | 0.9 |
| Dp línea de líquido (bar) | 0.1 | 0.1 |
| Eficiencia Isoentropica | 0.75 | 0.75 |
| | | |

Calculo de la Razón de Eficiencia Energética

En la figura 3 se muestran los resultados obtenidos en cuanto a la Razón de Eficiencia Energética (EER) un dato que tiene en cuenta la capacidad frigorífica en BTU y la energía consumida por el sistema en Watt.

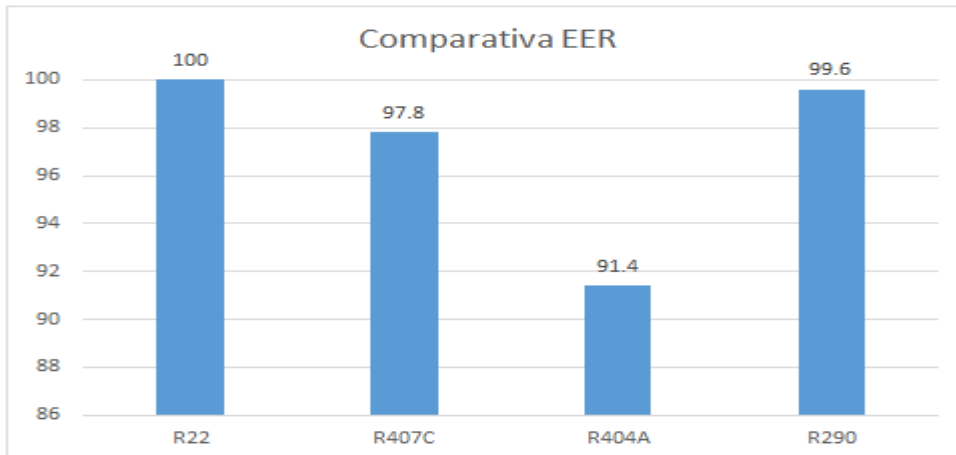


Fig 3- Eficiencia del R-22 vs Alternativas

En este análisis, el refrigerante mejor posicionado en cuanto a la Razón de Eficiencia Energética (EER) es el R290 al mostrar una eficiencia similar a la del R22, es necesario mencionar que con este refrigerante es necesario extremar las medidas de seguridad y preferentemente el equipo tiene que estar a cielo abierto, que no son las condiciones del Laboratorio Farmacéutico donde el equipo se encuentra en un local cerrado y tiene como carga 90 kg de R22. Con el R 407C se asegura una capacidad del 97,8, manteniendo un mejor punto de ebullición de

– 45,5°F a diferencia del R22 que es de – 41,5 °F con un peso molecular para el R 407C de 86.2 y refrigerante 22 de 86.5. Se observa que mantienen muy similares sus propiedades físicas, por lo cual podrá operar sin necesidad de hacer cambios de sistemas que operan con VXT ó Capilar. ⁽³⁾

Calculo de la capacidad frigorífica

En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos en cuanto a la capacidad frigorífica del sistema (Q_o) para cada refrigerante propuesto, un dato que tiene en cuenta el flujo de refrigerante en el sistema y el efecto frigorífico.

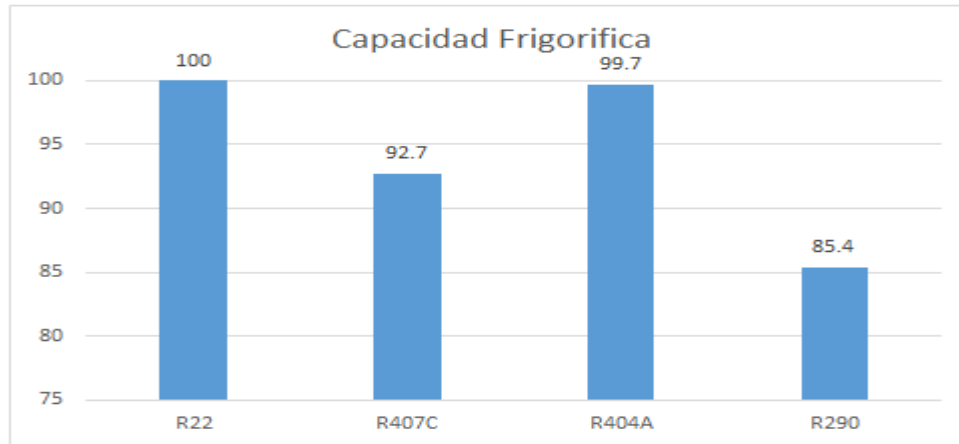


Fig 4. Capacidad frigorífica R22 v s Alternativas

Como se observa en la figura 4, el refrigerante de mejores resultados en cuanto a la capacidad de refrigeración es el R404A al obtener una capacidad de 99,7 % con respecto al R22 pero es complejo debido a que trabaja con altas presiones y su uso es para instalaciones frigoríficas no de climatización, por lo que demanda más potencia. Este es un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de realizar la reconversión.

En la figura 5 se muestra la comparación de la potencia consumida por los compresores trabajando con los refrigerantes propuestos y calculado por el programa CoolPack presentándolo en un gráfico Excel para su mejor comparación y comprensión de los resultados.

Calculo de la potencia consumida por los compresores

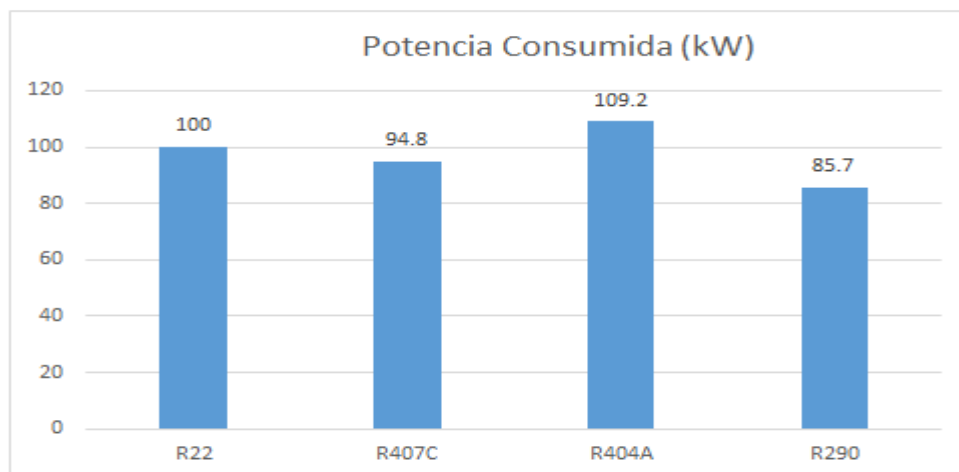


Fig 5- Potencia Consumida R22 Vs Alternativas

En este análisis vuelve a ser el refrigerante R290 el mejor posicionado en cuanto a la potencia consumida, pero como se explicó anteriormente, las condiciones del Laboratorio Farmacéutico donde el equipo se encuentra en un local cerrado y tiene como carga 90 kg de R22, por lo que no es el indicado y se seleccionó el segundo mejor posicionado R407c, que presenta un 94,8% con respecto al R22.

Logística de sustitución del R-22

Se realizó un análisis de logística de los refrigerantes sustitutos detallando dos modos diferenciados:

- 1) Nuevos equipos.
- 2) Equipos existentes.

1) Nuevos equipos

Básicamente los nuevos equipos ya han sido sustituidos, debido a que las normativas europeas han ido adaptándose, prohibiendo los productos con cloro, como el R-22 progresivamente. En la refrigeración está recomendado desde hace tiempo, colocar en nuevos equipos los refrigerantes que están catalogados como agotadores de la capa de ozono. En el ámbito de la climatización, primero se utilizó el R-407C en tanto se desarrollaba el R-410A, y se puede decir que ya está totalmente su aplicación en esos equipos nuevos.

2) Equipos Existentes

Aquí existen tres grupos importantes de refrigerantes:

- a) Adaptarlos a los refrigerantes de largo plazo, como el R-404A en la refrigeración o como el R-407C en la climatización equivalente al R-22 para esa aplicación.
- b) Adaptarlos a los refrigerantes hidrocarburos como R-290
- c) Nuevas alternativas como R-422D, R-422A y R-417A.

En la tabla 2 se toman como referencias estudios elaborados en el Laboratorio Oriente en el que se abordará una comparación de fuerzas y debilidades de cada opción respecto al costo de productos, simplicidad en la operación, disponibilidad de los mismos etc.

Tabla 2 - Comparación de diferentes opciones

| Comparaciones | Opción (a) | Opción (b) | Opción (c) |
|---|--|--|---|
| Simplicidad en la aplicación | Sólo limpiar residuos de aceites minerales | compleja | Sustitución del refrigerante, más fácil |
| Logística para los refrigerantes | Fácil | regular | Muy compleja |
| Coste del producto | Barato | Promedio | Muy caro |
| Coste de la reconversión | Barata | Muy caro | Muy caro debido al producto |
| Necesidades de limpieza | Necesita eliminar los residuos de aceite | Necesita eliminar los residuos de aceite | No necesita |
| Confusión en el uso | Ninguna | Compleja | Es fácil equivocarse |
| Disponibilidad de productos | Disponible a largo plazo | Disponible a largo plazo | Depende del producto |
| Inflamabilidad | Ninguna | Alta | Ninguna |

Opción (a): Uso de los refrigerantes comunes HFC. Opción (b): Adaptarlos a los refrigerantes hidrocarburos. Opción (c): Adaptación a la oferta variada de HFC's con HC's

Discusión de los resultados

Opción A. Esta es la mejor, ya que es más profesional, simplifica la logística y no requiere estar pendiente de las decisiones de un productor, al tener un solo producto para frío industrial (R-404A) y otro para Climatización (R-407C), cuyo coste, es menor que el de los nuevos productos alternativos. Por lo general, se recomienda reemplazar el refrigerante R22 por R407C, que tiene presiones similares y un rendimiento similar. ⁽³⁾ Además se puede añadir que al realizar la limpieza se eliminarían todas las sustancias indeseables que pudieran existir en los circuitos frigoríficos, mejorando su rendimiento.

El refrigerante R407C se puede utilizar como sustituto de sistemas que contengan R 22, sin intercambiadores de calor inundados. Como el R407C es una mezcla con deslizamiento de temperatura, no es recomendable utilizarlo en enfriadores con evaporador inundado. ⁽⁴⁾

Opción B. Los equipos de climatización que usan como refrigerante el Freón 22 (R-22) pueden ser reconvertidos con el R-290, ya que este es un refrigerante con bajo potencial de calentamiento global y tiene un potencial de destrucción de ozono nulo, además de tener características de trabajo muy similares al R-22.

Solo se tiene que tener en cuenta el riesgo ya que requieren personal capacitado y en sistemas de alta capacidad se necesitan mecanismos de control y protección especializados,⁽⁹⁾ lo que encárese la reconversión, en equipos que se encuentran situados en locales cerrados como es el caso del Laboratorio Oriente, el proceso de dicha reconversión es mucho más riesgoso. El refrigerante R-290, puede ser inflamable en caso de pérdida, en función del volumen del ambiente donde se encuentran. El límite práctico que se acepta son 8 gramos de gas por cada metro cúbico de aire ambiente.⁽⁹⁾ Un aspecto muy importante a tener en cuenta antes de reconvertir un equipo, es que el volumen calculado debe ser menor que el volumen real del ambiente donde se encuentra el mismo.⁽⁵⁾

Opción C. El problema principal, es que vuelve a coexistir otra oferta amplia para la confusión de los propios profesionales, y así algunos productores proponen tres productos, para la baja, la media y la alta temperatura de evaporación que son: R-422D, R-422A y R-417A respectivamente. Otros proponen el R-427A como producto único para todas las aplicaciones. Otros el E-22 y cuántos más pueden surgir a favor de los intereses comerciales de los productores. Todo ello es de nuevo otra oportunidad para desarrollar cuáles son los intereses del mercado en las dos vertientes: de un lado la facilidad para los profesionales en cuanto a su simpleza en la sustitución del producto y de otro la cantidad económica a percibir por los intereses de los productores de los refrigerantes. Sin embargo, una vez realizada la elección es necesario saber lo siguiente:

Escenarios de reconversión

Existen diferentes escenarios para reconversión y sustitución sin o con cambio de aceite. Los 4 procedimientos consideran:

1. Sustitución directa (**Drop-in**): El refrigerante HCFC se reemplaza por el alternativo sin cambios adicionales que no sean las etiquetas de nuevo nombre del refrigerante y las cantidades.
2. Reconversión menor (**Light retrofit**): El aceite y los filtros se cambian.
3. Reconversión estándar (**Standard retrofit**): Como en el punto anterior, pero con un segundo cambio de aceite.

4. Reconversión profunda (**Heavy retrofit**): El circuito se limpia y se cambia la válvula de expansión. Se cambian el aceite y el filtro deshidratador. En este caso, frecuentemente la mejor opción es cambiar también el compresor.

Efectos en los sistemas de expansión

Las válvulas de expansión termostática y/o electrónica, se diseñan para trabajar con el gas existente en la instalación, cuando se aplican mezclas de refrigerantes, se pueden presentar las siguientes situaciones: ⁽⁶⁾

El R-404A, presentará recalentamientos superiores (10K) lo cual no se puede corregir ajustando el recalentamiento, es necesario sustituir la válvula de expansión. ⁽⁶⁾

El R-407C, presenta un recalentamiento inferior que se puede corregir en el ajuste del recalentamiento, no es necesario sustituir la válvula de expansión, pero sí es recomendable. ⁽⁶⁾

Observación importante

En caso de que un compresor de R22 con aceite mineral presentara problemas antes de la fecha límite de desaparición, la mejor recomendación es cambiarlo por el compresor equivalente de HFC's cargado con aceite POE. Realizar una reconversión profunda (heavy retrofit) del sistema y carga con gas R404A, R507 o R407C según se indique en la placa del compresor.

El refrigerante usado para reemplazar R-22 debe mantener capacidad y eficiencia, debe ser compatible con los materiales originales del equipo.

El refrigerante sustituto debe mantener (o reducir) el índice de Potencial de Calentamiento Global (PCG).

Los aceites que comúnmente operan con refrigerantes *HCFC (R22) (*Hidro-Cloro-Fluoro-Carbono) son aceites alquilbencenos los cuales no son compatibles con refrigerantes libres de cloro como son todos los **HFC (**Hidro-Fluoro-Carbono), como el R407C; por este motivo es necesario extraer el 95 % del lubricante alquilbenceno y sustituirlo por lubricante polioléster. ⁽³⁾

Conclusiones

- 1- En este trabajo se realizó el estudio para la sustitución del refrigerante R-22 con el que trabaja el sistema de la Planta de Sueros Parenterales. Se seleccionó como sustituto el R-407c el cual posee características similares en cuanto a presión y temperatura de trabajo, tiene menor precio en el mercado que otros sustitutos como el R-404 sin experimentar una disminución drástica en la eficiencia del sistema.
- 2- Es de vital importancia realizar un primer análisis con el equipo en R-22, para poder determinar si es necesario cambiar algún elemento o desestimar la reconversión. De esta forma, evitamos invertir tiempo o incurrir en costes excesivos en equipos que no merezca la pena intervenirlos por su estado de conservación o problemas graves de funcionamiento, siendo entonces más recomendable su sustitución.
- 3- Con la reconversión del sistema de climatización de R-22 a R-407c se eliminaría el uso de una sustancia agotadora de la capa de ozono y se disminuiría el impacto al efecto invernadero, ya que el R-407c tiene menor Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA) cumpliendo así con el Protocolo de Montreal, de Kioto y recientemente con el de Kigali. Al emplear este refrigerante sustituto no será necesario adquirir un nuevo sistema de climatización siendo un ahorro significativo para el país alargando la vida útil del sistema.

Referencias bibliográficas

- 1-United Nations Environment Programme The Montreal. *Protocol on Substances that deplete the Ozone Layer*. (2000). <https://unep.ch/ozone>
- 2- BOADA MOLA Alfredo. *Cuba elimina sustancias agotadoras de la capa de ozono*. (2017) www.nacionyemigracion.cu
- 3-GENETRON *407c un magnifico sustituto del R 22*. 2017/02/28 <https://blogquimobasicos.com>
- 4- SAN JUAN Danahé. *Sustitución de HCFC en sistemas de refrigeración y aire acondicionado Ago 01, 2017*, <https://0grados.com.mx>

- 5- COLBOURNE, D. Proklima Guidelines. *Guía para el uso seguro de los refrigerantes hidrocarburos*. (2010).
- 6- BERNÁLDEZ Andrés *Reconversión de instalaciones de Climatización y Frío Industrial*. http://www.klimaluft.com/pdf/reconversion_instalaciones_klimaluft.pdf
- 7-MENDOZA PELÁEZ Orfilio. *Cuba paradigma de impactos*. OTOZ (2015)
- 8-LLOPIS DOMÉNECH, Rodrigo y SÁNCHEZ GARCÍA - VACAS, Daniel. *Situación actual y perspectiva futura próxima* (2018). Informe inédito.
- 9- ROSILLO CORRALES Fernando José. *Metodología para la sustitución del refrigerante R-22 por el propano (R-290) en un aire acondicionado de ventana*. Informe inédito.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Ing. Rafael Ladrón de Guevara Pierre: Realizó las mediciones del equipo y confeccionó el informe previo, participando en el informe final.

Dr C. Celestino Santos Oro Ortiz: Revisó el informe previo y confeccionó el informe final.