METODOLOGÍA PARA LA SUSTITUCIÓN DEL REFRIGERANTE R-22 POR EL PROPANO R-290 EN UN AIRE ACONDICIONADO DE VENTANA

La sustitución del refrigerante R-22 por el propano R-290, en un aire acondicionado de ventana, bajo condiciones climáticas tropicales, contribuye al ahorro de energía eléctrica y tiene un impacto medioambiental favorable

Fernando José Rosillo Corrales y
Virgilio Herrera Rondón

Cuba es una isla larga y estrecha que, además, está rodeada de agua; por lo que presenta características climáticas específicas. Su humedad relativa y temperatura son elevadas durante casi todo el año. Esto implica la necesidad de utilizar equipos de climatización en muchos sectores de la sociedad. Son imprescindibles en instituciones de salud, conservación de alimentos, centros de biotecnología y computación. También se ven beneficiados la industria textil, papel, centros comerciales y el sector residencial, sólo por citar algunos ejemplos de las bondades de la climatización.

Un gran número de estos equipos utiliza como refrigerante el Freón 22. Éste es un hidrocarburo halogenado que contiene entre sus componentes cloro y flúor, los cuales contribuyen a la destrucción de la capa de ozono y al efecto invernadero, respectivamente. Es una de las sustancias reguladas por el Protocolo de Montreal, debido a su potencial de destrucción de ozono estratosférico; por lo cual, se establece su eliminación total para el 2015 en países desarrollados, y 2030 para los demás.

Es, además, regulado por
tribuye al efecto invernad

La mayoría de los espec
aplicación de la climatizac
no afecten la capa de ozon
y, además, proporcionen
decir, ahorren energía. En
zarse como refrigerantes
aire, dióxido de carbono,
opciones, está el isobutan
(R-290) y sus mezclas. Los
como refrigerante el Freón
R-290, pues éste es un refri
tamiento global y tiene un
nulo, además de tener car
a las del R-22.

En Asia, países como C
Tailandia, Filipinas, Japón
vanguardia. En el contin
con mayores resultados e
En nuestra zona geográfi
este tema es Jamaica, don
gunas reconversiones en
aire. En Europa, Alemania
han desarrollado la tecnol
climatización. Todos estos
entre 10 y 30 %.

En Cuba, uno de los pro
la reducción del consumo
batalla, se han propuesto i
y soluciones prácticas en
especialmente en los aire
grandes consumos de ene
gasto si se tienen en cuent
sión del R-22 a R-290, sólo
y el lubricante, en caso de
especifique.

Por consiguiente, se ofre
portamiento energético d
sustituyendo el R-22 por e
que constituya 50% de su
mediciones con el fin de

GÍA
UCIÓN
E R-22
R-290
VENTANA

o

úmero de estos equipos
refrigerante el Freón 22.
drocarburo halogenado
entre sus componentes
los cuales contribuyen a
de la capa de ozono y al
adero, respectivamente.
sustancias reguladas por
de Montreal, debido a su
destrucción de ozono es-
or lo cual, se establece su
otal para el 2015 en países
s, y 2030 para los demás.

Es, además, regulado por el Protocolo de Kyoto, ya que contribuye al efecto invernadero.

La mayoría de los especialistas en todo el mundo plantean la aplicación de la climatización con refrigerantes ecológicos que no afecten la capa de ozono, no provoquen efecto invernadero y, además, proporcionen una mayor eficiencia energética; es decir, ahorren energía. Entre las sustancias que pueden utilizarse como refrigerantes ecológicos, se encuentran el agua, aire, dióxido de carbono, amoniaco e hidrocarburos. Entre las opciones, está el isobutano (R600a), butano (R600), propano (R-290) y sus mezclas. Los equipos de climatización que usan como refrigerante el Freón 22 pueden ser reconvertidos con el R-290, pues éste 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 a las del R-22.

En Asia, países como China, Indonesia, Singapur, Malasia, Tailandia, Filipinas, Japón, Taiwán, India y Sri Lanka van a la vanguardia. En el continente africano, Sudáfrica es el país con mayores resultados en la reconversión de R-22 a R-290. En nuestra zona geográfica, el país que más ha avanzado en este tema es Jamaica, donde se han reportado noticias de algunas reconversiones en sistemas de acondicionamiento de aire. En Europa, Alemania y Gran Bretaña, entre otros países, han desarrollado la tecnología de hidrocarburos en equipos de climatización. Todos estos países reportan ahorros energéticos entre 10 y 30 %.

En Cuba, uno de los programas priorizados pretende lograr la reducción del consumo energético. Con el fin de ganar esta batalla, se han propuesto importantes innovaciones, adelantos y soluciones prácticas encaminadas a reducir este consumo, especialmente en los aires acondicionados, que constituyen grandes consumos de energía; por lo que es posible reducir el gasto si se tienen en cuenta otras alternativas. Para la reconversión del R-22 a R-290, sólo es necesario cambiar el refrigerante y el lubricante, en caso de que el fabricante del compresor lo especifique.

Por consiguiente, se ofrecen elementos para evaluar el comportamiento energético del aire acondicionado de ventana, sustituyendo el R-22 por el R-290, con un peso de refrigerante que constituya 50% de su peso inicial. Además, se proponen mediciones con el fin de determinar si es posible ahorrar energía manteniendo las condiciones de confort logradas con el R-22. Para lograrlo, primero es importante determinar la temperatura mínima alcanzada en el local que se logra con R-22 y luego con R-290. Posteriormente, medir el consumo energético horario del aire acondicionado de ventana con R-22 y con R-290.

Hoy en día existen alternativas en el mundo de la refrigeración y climatización para proteger la capa de ozono, evitar el efecto invernadero y ahorrar considerablemente, sin afectar significativamente las condiciones de confort. El trabajo sería de utilidad para los seguidores del tema que se interesen por los problemas medioambientales y energéticos en la rama de la refrigeración, pues constituye el punto de partida de las aplicaciones de los hidrocarburos en esta especialidad.

Crincoli Rondón C. A. (2006) indica que, en una investigación hecha en la Universidad de Gales del Sur, por Leonardo E. (1995), se enfatiza: “Los sistemas con refrigerantes hidrocarburos consumen menos energía que los sistemas con gases contaminantes”. Por consiguiente, el autor afirma que los refrigerantes son fluidos de transporte que conducen la energía calorífica desde el nivel a baja temperatura (evaporador), al nivel a alta temperatura (condensador), donde pueden ceder su calor. El refrigerante debe cumplir con ciertas propiedades que asegurarán un buen funcionamiento del sistema de acondicionamiento de aire.

Sustancias que pueden utilizarse como refrigerantes ecológicos: agua, aire, dióxido de carbono e hidrocarburos

Entre estas propiedades, se encuentran las propiedades físicas (masa molecular, densidad, viscosidad, conductividad, calor específico, calor latente de vaporización, tensión superficial); químicas (inflamabilidad, toxicidad y seguridad, compatibilidad con los lubricantes, compatibilidad con la carga, con los materiales, estabilidad); termodinámicas (relación presión-temperatura para el estado de saturación, volumen específico, entalpía y entropía para el estado de saturación y para el vapor recalentado, punto de congelación, punto de ebullición), propiedades críticas (presión, temperatura, densidad, relación potencia-caudal, coeficiente de eficacia), y las propiedades medioambientales que ponen de manifiesto la interacción del refrigerante con el medio. Estas propiedades se expresan de la manera siguiente:

➜ Presentan rango de presiones de condensación relativamente bajas para posibilitar consumos de energía que no sean excesivos

➜ Presentan rango de presiones de evaporación por encima de la presión atmosférica para evitar posibles infiltraciones de aire y vapor de agua

➜ Tienen un alto calor latente de evaporación con el fin de que el flujo másico necesario para manejar la carga de calor sea el menor posible

➜ Presentan alta conductividad térmica y propiedades termofísicas que facilitan la transferencia de calor

➜ Tienen baja viscosidad para garantizar valores bajos de las pérdidas de presión por fricción

➜ No reaccionan con los materiales de la instalación para evitar corrosión o destrucción de las tuberías, componentes y compresores

➜ No son tóxicos para que, en caso de escapes, no afecte a las personas o seres vivos en la zona contaminada

➜ No son inflamables para evitar incendios o explosiones que se producen con la presencia de oxigeno y fuentes de ignición en caso de fugas

➜ Presentan buena miscibilidad con el aceite para garantizar los requerimientos tribológicos de los pares cinemáticos y asegurar el retorno del aceite lubricante al compresor

➜ Presentan estabilidad química para evitar la formación de sustancias dañinas al sistema al reaccionar con otros materiales

➜ Posibilitan la detección de fugas de manera rápida para actuar de manera eficaz

➜ Tienen bajo costo y existe disponibilidad

➜ El potencial de destrucción del ozono (ODP, por sus siglas en inglés) es nulo

➜ El potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) es bajo o nulo

Distintos países de todo el mundo han avanzado en reconversiones en sistemas de aire acondicionado y han reportado ahorros energéticos de entre 10 y 30%

El R-22 contiene propied
químicas y termodinám
propias de ese refrigera
tamente, estas propieda
significativamente del R-2
molecular, capacidad

● Nombre comercial
● Fórmula química
● Temperatura crítica en
● Peso molecular en kg/
● Capacidad volumétrica
● Punto de ebullición no
● Entalpía de vaporizaci
● Condiciones de evapo
● Presión absoluta en ba
● Densidad del líquido e
● Densidad del vapor en
● Conductividad térmica
● Conductividad térmica
● Viscosidad del líquido
● Viscosidad del vapor e
● Capacidad calorífica d
● Capacidad calorífica d
● Condiciones de conde
● Presión absoluta en ba
● Densidad del líquido e
● Densidad del vapor en
● Conductividad térmica
● Conductividad térmica
● Viscosidad del líquido
● Viscosidad del vapor e
● Capac. Calorífica del lí
● Capac. Calorífica del v
● Toxicidad
● Inflamabilidad
● ODP
● GWP

Nombre comercial	**R-22**	**R-290**
Fórmula química	CHF_2CL	C_3H_6
Temperatura crítica en ºC	96.1	96.7
Peso molecular en kg/kmol	86.5	44.1
Capacidad volumétrica kJ/m³	1244	1164
Punto de ebullición normal en ºC	-40.8	-42.1
Entalpía de vaporización a 2 ºC kJ/kg	203.34	370.61
Condiciones de evaporación (Cond. Evap.)	t_0= 2 ºC p=5.3 bar	t_0= 2 ºC p=5 bar
Presión absoluta en bar a 2 ºC	5.3	5
Densidad del líquido en (Cond. Evap.) kw/m³	1278.77	521.1
Densidad del vapor en (Cond. Evap.) kg/m³	22.72	10.98
Conductividad térmica del líquido en (Cond. Evap.)W/m/K	0.099	0.1
Conductividad térmica del vapor en (Cond. Evap.) W/m/K	0.0095	0.01
Viscosidad del líquido en (Cond. Evap.) kg/m/s	$2.3*10^{-4}$	10^{-4}
Viscosidad del vapor en (Cond. Evap.) kg/m/s	$12*10^{-6}$	$7.39*10^{-6}$
Capacidad calorífica del líquido a presión cte. en (Cond. Evap.) kJ/kg/K	1.17	2.46
Capacidad calorífica del vapor a presión cte. en (Cond. Evap.) kJ/kg/K	0.73	1.8
Condiciones de condensación (Cond. Condens.)	t_0= 44ºC p_k=16.8 bar	t_0= 44ºC p_k=14.9 bar
Presión absoluta en bar a 44 ºC	16.8	14.9
Densidad del líquido en (Cond. Condens.) kg/ m³	1113.58	463.17
Densidad del vapor en (Cond. Condens.) kg/m³	72.9	33.22
Conductividad térmica del líquido en (Cond. Condens.) W/m/K	0.07	0.08
Conductividad térmica del vapor en (Cond. Condens.) W/m/K	0.012	0.02
Viscosidad del líquido en (Cond. Condens.) kg/m/s	$18*10^{-5}$	$9.73*10^{-5}$
Viscosidad del vapor en (Cond. Condens.) kg/m/s	$14.6*10^{-6}$	$9.36*10^{-6}$
Capac. Calorífica del líquido a presión cte. en (Cond. Condens.) kJ/kg/K	1.35	2.88
Capac. Calorífica del vapor a presión cte. en (Cond. Condens.) kJ/kg/K	0.99	2.38
Toxicidad	baja	media
Inflamabilidad	nula	alta
ODP	0.55	0
GWP	1810	20

Propiedades termofísicas del R-22 y R-290.

Los refrigerantes hidrocarburos ofrecen ventajas y desventajas que pueden ayudar a decidir y a justificar a los técnicos de refrigeración por qué efectuar la reconversión de R-22 a R-290. Crincoli Rondón C. A. (2006) indica que, en una investigación realizada por Ho-Saeng Lee, Jung In Yoon, Jae Dol Kim, P. K. Bansal (2005), se reconocen las ventajas que ofrecen los hidrocarburos (propano…), con respecto al R-22 en términos de refrigeración (coeficiente de trasferencia de calor, consumo de energía, carga de refrigerante). Entre estas ventajas se reconocen:

- Son naturales
- No agotan la capa de ozono
- No producen calentamiento global
- Son más económicos
- Se aplica menor cantidad (en peso) en los sistemas
- Son compatibles con todos los lubricantes comerciales
- No requieren *retrofit* en los sistemas
- Sólo se requiere realizar *drop-in* para su aplicación
- No son explosivos
- Disminuyen las presiones en los sistemas
- Mejoran las temperaturas de trabajo en los sistemas
- Disminuye el consumo energético en los sistemas
- Disminuye el costo de mantenimiento de los sistemas
- Aumenta la vida útil de los sistemas
- Contienen aditivo antifricción
- Tienen alta estabilidad térmica y química

“Los sistemas con refrigerantes hidrocarburos consumen menos energía que los sistemas contaminantes”

Las desventajas que presentan los hidrocarburos se expresan de la manera siguiente:

- Son inflamables
- Requieren personal capacitado
- En sistemas de alta capacidad, se requieren sistemas de control y protección especializados

En la compilación digital de la revista *Proklima Guidelines,* se ofrecen elementos teóricos esenciales sobre el método para realizar un proceso de reconversión de R-22 a R-290, en un aire acondicionado de ventana, establecidos por Daniel Colbourne y otros doctores, que el autor asume para su propuesta y expresa a continuación.

- ➜ Obtener el tamaño de la carga de refrigerante R-22 (440g) según la ficha técnica del equipo
- ➜ Estimación de la carga equivalente de refrigerante R-290. R-290 = 50% de R-22 (220g)
- ➜ Identificar que el condensador del aire acondicionado esté ubicado en un lugar bien ventilado
- ➜ Convertir las uniones roscadas, si las hubiera, en uniones soldadas
- ➜ Eliminar toda fuente de ignición
- ➜ Control de fugas final

Con la aplicación del experimento o mediciones realizadas por el autor en el proceso de reconversión del R-22 por el R-290, que se sustenta en el método propuesto anteriormente, se logró disminuir el consumo energético del aire acondicionado entre siete y 10%, con relación al R-22. Además, la temperatura mínima alcanzada en el local con R-22 fue de 17 ºC y con R-290 osciló entre 18 y 19 ºC, lo cual muestra que se puede ahorrar energía sin alterar significativamente las condiciones de confort para el ser humano. Estos resultados se expresan de la manera siguiente:

Parámetros a evaluar	R-22	R-290
Consumo eléctrico horario (kW/h)	1	0.9 – 0.93
Temperatura mínima del local (ºC)	17	18 - 19

Resultados del proceso de reconversión

La novedad científica de este artículo se refleja en la aplicación práctica de la experiencia dirigida a la sustitución del refrigerante R-22 por el propano R-290. Este refrigerante, sostenible y ecológico, permitió un ahorro energético considerable para las condiciones climatológicas del país. La propuesta de conversión se puede realizar sin alterar ningún componente del sistema de refrigeración, además de ser una vía rápida y segura de extinguir el cloro y el flúor, que son sustancias que agotan la capa de ozono y provocan efecto invernadero, respectivamente. Además, en el país existe muy poca experiencia en la aplicación de refrigerantes hidrocarburos en los sistemas de acondicionamiento de aire. En la provincia de Granma, ésta es la primera experiencia, habiéndose obtenido buenos resultados en el proceso de reconversión.