

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v5i10edespsep.0072>

LAS TÉCNICAS DE RECONVERSIÓN DE GASES REFRIGERANTES EN LOS EQUIPOS DE CLIMA CONVENCIONALES Y LA REDUCCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

REFRIGERANT GAS RECONVERSION TECHNIQUES IN CONVENTIONAL CLIMATE EQUIPMENT AND REDUCTION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS

Zambrano-Cedeño Jefferson Elicio ¹; Rodríguez-Gámez María ²

¹ Estudiante del Instituto de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí, del programa Maestría Académica en Mención de Eficiencia Energética I. Portoviejo, Ecuador. Correo: jefferzam.92@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5339-5267>.

² Profesor Titular Principal II. Departamento de Ingeniería eléctrica, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador. Correo: maría.rodriguez@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3178-0946>.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue demostrar desde el análisis teórico el impacto ambiental derivado del funcionamiento de los equipos de climatización domésticos y la influencia de la reconversión de los gases refrigerantes para reducir el consumo de energía y con ello disminuir el impacto ambiental. Los equipos de climatización convencionales presentan un alto consumo de energía eléctrica que, por la naturaleza de la generación de energía en el Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez extensión Jaramijó se analizó el consumo de energía de los equipos acondicionadores de clima. Donde se estableció mediante el análisis teórico que los gases refrigerantes que se encuentran disponibles en el mercado que pueden resultar factibles en técnicas de reconversión para reducción del impacto ambiental, para ello se valoraron técnicas de reconversión de gases en equipos de climas convencionales que se han puesto en práctica con éxito en los últimos años.

Palabras clave: Reconversión, gases refrigerantes. equipos de clima convencionales, impacto ambiental.

Abstract

The objective of the present work was to demonstrate from the theoretical analysis the environmental impact derived from the operation of domestic air conditioning equipment and the influence of the conversion of refrigerant gases to reduce energy consumption and thereby reduce the environmental impact. Conventional air conditioning equipment has a high consumption of electrical energy that, due to the nature of energy generation in the Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, Jaramijó extension, and the energy consumption of climate conditioning equipment was analyzed. Where it was established through theoretical analysis that the refrigerant gases that are available in the market that may be feasible in conversion techniques to reduce environmental impact, for this, the gas conversion techniques in conventional climate equipment that are used were valued. have been successfully implemented in recent years and the energy and environmental results associated with the conversion of refrigerant gases in order to reduce polluting emissions to preserve the environment.

Keywords: Reconversion, refrigerant gases. conventional climate equipment, environmental impact.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 06 de junio de 2022.

Fecha de aceptación: 19 de septiembre de 2022.

Fecha de publicación: 29 de septiembre de 2022.



1. Introducción

La refrigeración a nivel mundial se expande rápidamente y es aplicada en muchos ámbitos, como para la conservación de alimentos, en el campo medicinal, en la climatización de sitios ya sean industriales, edificios y de uso doméstico (Ayosa, 2017). Donde los refrigerantes con el tiempo se han unido a la evolución debido a que han sido condicionados en una gran medida por factores ambientales. Han pasado de la gama que destruían a la capa de ozono a los actualmente llamados refrigerantes ecológicos, los mismo que están en pleno desarrollo (ClimaConfort, 2015).

Hoy en día los sistemas de climatización (acondicionadores de aires) y refrigeración tienen una importancia para el desarrollo de un adecuado clima organizacional en los sectores de servicios y productivos, especialmente hay gran demanda en los países que se encuentran ubicados en la región tropical (Botero, G., 2014).

Debido a que son fluidos (líquidos o gases) que transfieren calor de un punto a otro. En un sistema típico de compresión de vapor, el refrigerante cambia de fase, es decir, cambia de

estado líquido a gaseoso cuando absorbe calor y vuelve a cambiar al estado líquido cuando pierde calor (Grajales, 2019) y funcionan de acuerdo con los siguientes principios: después de que el refrigerante es licuado bajo presión, adiabáticamente es expandido y el líquido se evapora tomando calor externo del sistema.

Este calor de vaporización se traduce en "A/C externo". La temperatura del A/C es 0°C para uso doméstico, sobre -25°C para refrigeradores domésticos y sobre 35°C para almacenes de productos congelados para su uso comercial. El compuesto seleccionado como refrigerante debe tener un punto de ebullición por debajo de estas temperaturas después de la expansión bajo presión (Nieto,D., 2018).

En este contexto el Ecuador como país adherido a los Protocolos y consciente de las implicaciones medioambientales de la liberación de los gases refrigerantes a la atmósfera, ha iniciado una serie de acciones tendientes a la eliminación del consumo de los gases en los tiempo establecidos en los Protocolos, y de igual modo, está

tomando medidas en el sentido de evitar la liberación a la atmósfera de los gases que se encuentran en los equipos obsoletos, en malas condiciones o cuyos gases han cumplido su ciclo de utilización al presentar niveles de contaminación que hacen ineficiente su funcionamiento

Es por ello por lo que las peculiaridades climáticas del territorio ecuatoriano exhibidas precedentemente implican que en las zonas del litoral sea muy habitual el uso de equipos acondicionadores de aire de climas convencionales, que atenúa un alto consumo de energía eléctrica y un alto repertorio ambiental de los gases refrigerantes en los equipos instalados. Por ello los equipos de climatización son altamente consumidores de energía por ello lo que se pretende con las técnicas de reconversión de los gases refrigerantes es hacer eficiente el sistema mencionado y reducir los impactos del efecto invernadero provocado por la emisión de estos gases refrigerantes.

Evidenciando que estos tipos de climatización doméstico

convencionales presentan un alto consumo de energía eléctrica que, por la naturaleza de la generación originaria de la energía en la provincia de Manabí, equivale a un elevado gasto de petróleo que al quemarse genera gases de efecto invernadero y otros contaminantes a la atmosfera. Además de los problemas ambientales que se derivan de la transportación de los combustibles y lubricantes en las lanas térmicas.

El tema planteado en esta investigación, conlleva un interés de actualidad, debido a la multitud de aplicaciones y su relevante importancia, las instalaciones de producción de frío por compresión de vapor suponen un alto porcentaje de consumo energético, y pueden suponer un alto impacto económico y medioambiental y presentó como objetivo, demostrar desde el análisis teórico el impacto ambiental derivado del funcionamiento de los equipos de climatización domésticos y la influencia de la reconversión de los gases refrigerantes para reducir el consumo de energía y con ello disminuir el impacto ambiental.

Así, ante la necesidad del consumo racional de la energía, resulta conveniente el mejorar el funcionamiento de los sistemas de compresión de vapor en esta entidad. Por ello para mejorar el funcionamiento y gestión de este tipo de instalaciones resulta conveniente disponer de un modelo del sistema capaz de predecir su funcionamiento ante los principales cambios en las variables de operación.

En tal razón como problema científico se propuso la siguiente interrogante surgió ante la necesidad de mejorar los sistemas de compresión de vapor, que presentan un alto consumo de energía eléctrica en el Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez del cantón Jaramijó, que es el método más extendido a nivel mundial para la producción de frío utilizado en aplicaciones en refrigeración doméstica, comercial, industrial y climatización y un alto porcentaje de consumo energético que suponen un alto impacto económico y medioambiental.

Ante la necesidad de un consumo racional de la energía, existe un creciente interés en mejorar la eficiencia energética en los sistemas

de compresión de vapor, bien a través de la optimización y una mejora en la operación del sistema y disponer las instalaciones funcionando libres de anomalías y degradaciones con una operación energéticamente eficiente, y mantenimiento la calidad de las condiciones de producción.

La reconversión de los gases refrigerantes constituye un tema socorrido en los últimos años. Entre los años 1990 y 1995 en Europa se realizó dentro del sector de la refrigeración, una experiencia muy interesante en el cambio de los refrigerantes clorofluorocarbonos (CFC's), principales causantes del adelgazamiento de la Capa de Ozono. Algunos países tomaron como base la eliminación total del cloro (Anchundia & Franco, 2016). La ausencia de una gestión energética de los sistemas de aire acondicionado genera un incumplimiento legal en materia ambiental y energética, ocasionando que estos equipos sean los responsables del 40 % de la facturación total del consumo energético del campus. Se realizó un levantamiento técnico de los sistemas de aire acondicionado

instalados en el campus, así como una inspección visual de las unidades. En los actuales momentos el planeta Tierra que se encuentra atravesando por uno de los más grandes problemas de contaminación provocado por el mismo hombre, el calentamiento global que es un verdadero peligro y del cual se deben los fenómenos naturales que se están viviendo como el deshielo de los glaciares, incendio de bosques, etc. los cuales ponen en peligro la existencia de la raza humana si no se toman medidas preventivas para cambiar esta situación.

Donde la mayoría de los refrigerantes son potencialmente peligrosos para la salud y la seguridad de las personas que están en contacto con estos y son peligrosos para el medio ambiente, esto exige que los refrigerantes se almacenen y manipulen de forma apropiada, con buenas técnicas para hacer más eficiente el equipo de climatización.

Para ello, se procedió a realizar un levantamiento técnico de los sistemas de aire acondicionado instalados en el campus, así como

una inspección visual de las unidades, para mejorar el diseño y operación de los sistemas de producción de frío una herramienta muy útil la constituyen los modelos que caracterizan el comportamiento real de la instalación y que puedan simular condiciones de operación y realizar un procedimiento de reconversión de gases refrigerantes a los equipos de climatización, con la finalidad de realizar un diagnóstico de equipos para saber qué tipo de gases están utilizando y que pueden resultar factibles su utilización con técnicas de reconversión para reducción el impacto ambiental y proponer técnicas de reconversión de gases en equipos de climas convencionales para la activación y el comburente universal que es el oxígeno, pero en este caso a los refrigerantes se le hace un vacío al sistema y por ende se elimina oxígeno y no existen las condiciones para que exista la combustión.

2. Materiales y métodos

Se aplicó una metodología cuantitativa y deductiva.

Para la realización de la investigación, contó con tres

apartados: el primero se realizó una caracterización de la extensión en el cantón Jaramijó. Mientras en el segundo apartado se registró el inventario de los equipos de aire acondicionado por marca y por departamentos y áreas de estudios y

el tercer apartado se mostró la equivalencia energética del equipamiento de acondicionamiento de aire y se ofreció un estimado del consumo de energía por este equipamiento diaria, mensual y anual.

Figura 1. Sitio del Instituto Superior Tecnológico



Inventario de los equipos acondicionadores de aire por áreas por equivalencia energética

En la institución existe un total de 305 equipos acondicionadores de

aire, de diferentes tipos y marcas, que acumulan más de siete millones y medio de BTU. En la tabla 1 se muestra el comportamiento gráfico de la capacidad de enfriamiento instalada.

Tabla 1. Tecnológico Luis Arboleda Martínez el por potencia de los equipos.

Área	Equipo	Cantidad	Capacidad (KBTU)
Biblioteca	Central Tipo Paquete	1	60000
Laboratorio de Computo	Central Tipo Paquete	1	60000
Laboratorio de Químicas	Central Tipo Paquete	1	60000
Sala Docentes	Central Tipo Paquete	1	60000
Laboratorio de Procesamiento de Alimentos	Central Tipo Paquete	1	60000
Aula 1	Central Tipo Piso Techo	1	60000
Aula 2	Central Tipo Piso Techo	1	60000
Aula 3	Central Tipo Piso	1	60000

	Techo		
Aula 4	Central Tipo Piso	1	60000
	Techo		
Aula 5	Central Tipo Piso	1	60000
	Techo		
Aula Refrigeración 1	Split	1	24000
Aula Refrigeración 1	Split	1	12000
Aula Mecánica Naval	Split	2	12000
Aula Refrigeración 2	Split	1	24000
Aula Refrigeración 2	Acondicionador de	1	9000
	aire tipo Cajón		
Laboratorio Acuicultura	Split	1	24000
Laboratorio Acuicultura	Split	1	12000
Garita Guardias	Split	1	12000
Centro de Monitoreo	Split	1	24000
Sala de Reuniones	Split	1	12000
Rectorado	Split	1	12000

El Instituto, se encuentra entre las instituciones con un alto consumo de energía eléctrica en Manabí, con una elevada facturación económica por este concepto, que se justifica en garantizar un proceso docente educativo de alta calidad y formación experimental a través de varios laboratorios, aulas, talleres y otros, por el consumo de electricidad que se incrementa por la cantidad de equipos acondicionadores de aire que presentan un alto consumo de energía y con un riesgo ambiental considerable; pero que resultan necesarios para asegurar un ambiente adecuado de aprendizaje e investigación.

Para el cálculo de la equivalencia energética se consideró que: 1 BTU= 0.0002930711 kWh

Características de los refrigerantes

No hay un fluido refrigerante que se considere ideal ni tampoco algún refrigerante que se pueda adaptar a todas las aplicaciones con las condiciones y necesidades que se requiera

Características físicas

Los refrigerantes más adecuados poseen calores latentes muy altos y densidades muy altas (Grajales, 2019). Por ello las características físicas que tienen los refrigerantes deben tener un alto calor latente de vaporización (kJ/kg), lo cual permitirá usar equipos más pequeños y de menor potencia (Plusfroid, 2016).

Características termodinámicas

Según (Botero, 2014), en su libro Bombas de calor y energías renovables en edificios, tienen tensión de vapor: Refleja el equilibrio entre el fluido frigorífero líquido y gaseoso, para ello hay que controlar la Presión de Evaporación, que debe de ser superior a la presión atmosférica para evitar la introducción de aire en el circuito (seguridad, 2019). Por tanto, cuanto menor sea esta propiedad mejor rendimiento proporcionará la instalación, (Castillo, Mora, & Gonzales, 2020).

Características químicas

Según (Danfoss, 2016) en su libro bombas de calor y energía renovables para edificios los refrigerantes deben cumplir con el comportamiento frente a la humedad, frente a los materiales, relación refrigerante a los materiales (Sandoval & Salgado, 2014)

Características de seguridad

La normativa aplicable establecidos en la instrucción MI-IF-004 del Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas, dadas por (Emerson Climate TechnologiesTM, 2017). Dentro de la

cual establece que la seguridad de cada fluido frigorígeno debe ser considerada desde los siguientes aspectos: toxicidad, inflamación o explosión y detección de fugas. (Taza, 2017).

Identificación de los refrigerantes

En el reglamento de seguridad para plantas e instalaciones frigoríficas establece (ClimaConfort, 2015) que todos los refrigerantes deben de tener una denominación, que utilizan una nomenclatura simbólica numérica. Los compuestos no saturados seguirán las reglas anteriores, anteponiendo el número 1 como cuarta cifra, contada desde la derecha (Danfoss, 2016).

Clasificación de los refrigerantes

El análisis de la información reflejada en la tabla 2, permite determinar que la potencia instalada en los equipos de acondicionamiento de aire es de 0.965 kW de potencia, en un sistema típico de compresión de vapor, el refrigerante cambia de fase, de estado líquido a gaseoso cuando absorbe calor y vuelve a cambiar al estado líquido, cuando pierde calor (Metrogas, 2018). Por ello, el compuesto seleccionado como refrigerante debe tener un punto de

ebullición por debajo de estas temperaturas después de la expansión bajo presión (Menéndez, Santamaría, & Vega, 2015).

De acuerdo con la clasificación estándar 34 de ASHRAE, a los

refrigerantes se les asignan una nomenclatura según las características del origen al que correspondan (Álvarez, D., 2015). En la tabla 2 se muestra la clasificación de los refrigerantes.

Tabla 2 Clasificación de los refrigerantes.

Serie	Nombre	Algunos refrigerantes
000	Metanos	R12, R23
100	Etanos	R134a, R141b
200	Propanos	R290
400	Zeotropos	R407, R410a
500	Azeotropos	R502, R507
600	Orgánicos	R600, R600a
700	Inorgánicos	R717, R744

Fuente: ASHRAE, *Designation and safety classification of refrigerants* (2015)

Los Clorofluorocarbonos (CFC)

Estas sustancias contienen átomos de cloro, y de flúor, los cuales sustituyen los átomos de hidrógeno, con lo cual hace que permanezcan en ella por más de 100 años (Botero,

2014), son de las principales causas del agotamiento de la capa de ozono (Scalofríos, 2014). En la tabla 3, se muestra los valores según (PAO) y los (PCG) de los refrigerantes de los ... (CFC).

Tabla 3. Valores de PAO Y PCG de refrigerantes CFC.

Número R	PAO	PCG*
11	1	4 750
113	1	6 130
114	1	10 040
115	0,44	7 370
12	1	10 890
13	1	14 420
400	1	10 000
500	0,738	8 100
502	0,25	4 700
503	0,599	15 000

Fuente: ASHRAE, *Designation and safety classification of refrigerants* (2015)

* Estos valores corresponden a PCG en 100 años.

Hidroclorofluorocarbonos (HCFC)

Son sustancias se derivan de los hidrocarburos, los cuales contienen átomos de hidrógeno, cloro y flúor (Robles,K., 2019). En estas sustancias el átomo de hidrógeno se

oxida con mayor rapidez en la zona baja de la atmósfera, con lo que genera, en menor medida, daños a la capa de ozono (Emerson Climate TechnologiesTM, 2017), mostrado en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de PAO Y PCG de refrigerantes HCFC.

Número R	PAO	PCG*
123	0,02	77
124	0,02	609
142b	0,07	2 310
22	0,05	1 810

Fuente: ASHRAE, Designation and safety classification of refrigerants (2015)

* Estos valores corresponden a PCG en 100 años.

Los hidrofluorocarbonos (HFC)

Son refrigerantes de igual forma se derivan de los hidrocarburos, con la diferencia de que no contiene

átomos de cloro (Rubio, J., 2015). Entre las sustancias más destacables de esta serie de refrigerantes se encuentran Tabla 5.

Tabla 5. Valores de PAO Y PCG de refrigerantes HCFC.

Número R	PAO	PCG*
125	0	3 500
134a	0	1 430
143a	0	4 470
152a	0	124
161	0	12
227ea	0	3 220
23	0	14 760
236ea	0	1 370
236fa	0	9 810
245fa	0	1 300
32	0	675

Fuente: ASHRAE, Designation and safety classification of refrigerants (2015)

* Estos valores corresponden a PCG en 100 años.

Mezclas zeotrópicas

Cuando estas sustancias se evaporan o se condensan en un

sistema de refrigeración, la composición y la temperatura de saturación de las sustancias cambian (MINAE, 2014) (Tabla 6).

Tabla 6. Valores de PAO Y PCG de refrigerantes Zeotrópicas.

Número R	Componentes	PAO	PCG*
401A	R22/R152a/R124 (53/13/34)	0,033	1 200
401B	R22/R152a/R124 (61/11/28)	0,036	1 300
401C	R22/R152a/R124 (33/15/52)	0,027	930
402A	R125/R290/R22 (60/2/38)	0,019	2 800
402B	R125/R290/R22 (38/2/60)	0,030	2 400
403A	R290/R22/R218 (5/75/20)	0,038	3 100
403B	R290/R22/R218 (5/56/39)	0,028	4 500
405A	R22/R152a/R142b/RC318 (45/7/5,5/42,5)	0,026	5 300
406A	R22/R600a/R142b (55/4/41)	0,056	1 900
408A	R125/R143a/R22 (7/46/47)	0,024	3 200
409A	R22/R124/R142b (60/25/15)	0,046	1 600
409B	R22/R124/R142b (65/25/10)	0,045	1 600
411A	R1270/R22/R152a (1,5/87,5/11)	0,044	1 600
411B	R1270/R22/R152a (3/94,5/3)	0,047	1 700
412A	R22/R218/R142b (70/5/25)	0,053	2 300
414A	R22/R124/R600a/R142b (51/28,5/4/16,5)	0,043	1 500
414B	R22/R124/R600a/R142b (51/28,5/4/16,5)	0,039	1 400
415A	R22/R152a (82/18)	0,041	1 500
415B	R22/R152a (25/75)	0,013	550
416A	R134a/R124/R600 (59/39,5/1,5)	0,008	1 100
418A	R290/R22/R152a (1,5/96/2,5)	0,048	1 700

Fuente: ASHRAE, *Designation and safety classification of refrigerants* (2015)

* Estos valores corresponden a PCG en 100 años.

Mezclas azeotrópicas

Al combinar los componentes, la mezcla se comporta como si estuviera formado por un solo componente (refrigerante puro) (ASHRAE, 2015) (Tabla 7).

Tabla 7. Valores de PAO Y PCG de refrigerantes Azeotrópicas.

Número R	Componentes	PCG*
404A	R125/R143a/R134a (44/52/4)	3 900
407A	R32/R125/R134a (20/40/40)	2 100
407B	R32/R125/R134a (10/70/10)	2 800
407C	R32/R125/R134a (23/25/52)	1 800
407D	R32/R125/R134a (15/15/70)	1 600
407E	R32/R125/R134a (25/15/70)	1 600
410A	R32/R125 (25/25)	2 100
413A	R218/R134a/R600a (9/88/3)	2 100
417A	R125/R134a/R600a (46,6/50/3,4)	2 300
419A	R125/R134a/R170 (77/19/4)	3 000
421A	R125/R134a (58/42)	2 600
421B	R125/R134a (85/15)	3 200
422A	R125/R134a/R600a (85,1/11,5/3,4)	3 100
422B	R125/R134a/R600a (55/42/3)	2 500
422C	R125/R134a/R600a (82/15/3)	3 100
422D	R125/R134a/R600a (65,1/31,5/3,4)	2 700
423A	R134a/R227ea (52,5/47,5)	2 300
424A	R125/R134a/R600a/R601a (50,5/47/0,9/0,6)	2 400
425A	R32/R134a/R227ea (18,5/69,5/12)	1 500
426A	R125/R134a/R600a/R601a (5,1/93/1,3/0,6)	1 500
427A	R32/R125/R143a/ R134a (15/25/10/50)	2 100
428A	R125/R143a/R290/R600a (77,5/20/0,6/1,9)	3 600
429A	RE170/R152a/R600a (60/10/30)	20
430A	R152a/R600a (76/24)	110
431A	R290/R152a (71/29)	53
434A	R125/R143a/R134a/R600a (63,2/18/16/2,8)	3 100
435A	RE170/R152a (80/20)	27
437A	R125/R134a/R600a/R601a (19,5/78,5/1,4/0,6)	1 700
507A	R125/R143a (50/50)	3 800
508A	R23/R116 (39/61)	13 000
508B	R23/R116 (46/54)	13 000

Fuente: ASHRAE, *Designation and safety classification of refrigerants* (2015)

* Estos valores corresponden a PCG en 100 años.

Una diferencia entre el R290 y el R134a es el nivel de presiones, el R290 está más cerca al R22 y R404A. Por ejemplo, una presión de evaporación de -25°C corresponde aproximadamente a un 190% de

R134a, el 81% del R404A, 350% del R600a o casi igual para R22. En relación con esto el punto de ebullición normal es cercano al R22. Por lo tanto, el diseño del evaporador debe ser similar a los diseñados para

R22 y R404A (Rubio, J., 2015). En la actualidad en el Ecuador hay una gran mayoría de equipos de aire acondicionado domestico que trabajan con el refrigerante R- 22 el cual genera un impacto ambiental negativo (DITECA, 2017). Por ello

mediante este trabajo de investigación se busca la factibilidad de uso de otro tipo de refrigerante, en este el caso el (R- 290). El uso eficiente de la energía busca producir el efecto deseado (calor, luz, movimiento, etc.) (Tabla 8)

Tabla 8. Comparación entre refrigerantes.

Refrigerante	R290	3 134 a	R 404A	R22	R600 a
Nombre	Propano	1,1,1,2-Tetrafluoroetano	Mezcla R 125, R 143a y R 134 a	Clorodifluorometano	Isobutano (CH ₃) ₃ CH
Fórmula	C ₃ H ₈	CF ₃ -CH ₂ F	44/52/4	CHF ₂ Cl	
Temperatura Crítica en °C	96.70	101.00	72.50	96.10	135.00
Peso molecular en kg/kmol	44.10	102.00	97.60	86.50	58.10
Punto normal de ebullición en °C	-42,1	-26,1	-45,8	-40,8	-11,6
Presión a -25°C en bar (absoluto)	2.03	1.07	2.50	2.01	0.58
Densidad del líquido a -25°C en kg/l	0.56	1.37	1.24	1.36	0.60
Densidad de vapor a To-25/+32°C en Kg/m ³	3.60	4.40	10.00	7.00	1.30
Capacidad volumétrica a -25/55/32°C en kJ/m ³	1164	658	1334	1244	373
Entalpía de vaporización a-25°C en kJ/kg	406	216	186	223	376
Presión a +20°C en bar (absoluto)	8.40	5.70	11.00	9.10	3.00

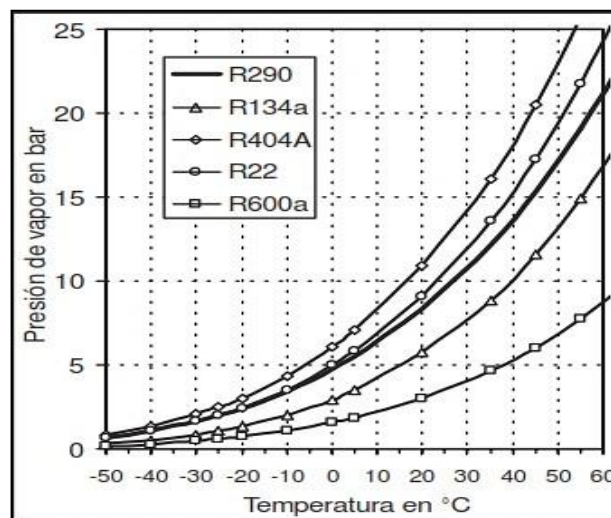
Fuente: (Danfoss, 2016)

El uso eficiente de la energía

El ahorro de energía está normalmente asociado a momentos

de escasez, en esos casos se conoce como racionamiento, (Botero, 2014), como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Presión de vapor para diferentes refrigerantes frente a temperatura.



Fuente: (Danfoss, 2016)

Tabla 9. Especificaciones de R290 de acuerdo con DIN 8960 – 1998.

	Especificación		Unidad
Contenido en refrigerante	≥	99.50	% masa
Impurezas orgánicas	≤	0.50	% masa
1,3 butadieno ³	≤	5.00	ppm por masa
n-hexano	≤	50.00	ppm por masa
Benceno ⁴	≤	1.00	ppm por sustancia
Azufre	≤	2.00	ppm por masa
Deslizamiento de temperatura evap.	≤	0.50	k (desde 5 a 97% destil)
Gases no condensables	≤	1.50	% Vol. Fase de vapor
Agua ⁵	≤	25.00	ppm por masa
Contenido de ácidos	≤	0.02	mg KOH/g neutralización
Residuos de evaporación	≤	50.00	ppm por masa
Partículas/Sólidos	No		Revisión visual

Donde:

- 1) El contenido no está detallado en DIN 8960. Solo las impurezas están clasificadas y limitadas. El principal contenido es el resto hasta un 100%.
- 2) Según el compresor se acepta un contenido de un 1% de butano en el R290.
- 3) Este es el valor máximo para cada sustancia simple de los hidrocarburos insaturados.
- 4) Este es un valor máximo según cada compuesto aromático sencillo.
- 5) Este es un valor preliminar, será revisado según se vaya experimentando.

La carga máxima de acuerdo con las regulaciones de seguridad es de 150 g para muebles refrigerados y aplicaciones similares, las cuales corresponden aproximadamente a

360 g de R22 o R404A (Rubio, J., 2015). La especificación DIN 8960 es una especificación general sobre la seguridad de los hidrocarburos, adoptada de un catálogo de criterios

sobre refrigerantes y convertido al propano, isobutano, n-butano y otros (Huebes,J., 2016). Algunos conceptos pueden ser aceptados para refrigerantes específicos y combinaciones no puras después de una evaluación exhaustiva (Vinueza,D., 2016). El denominado refrigerante técnico de 99.5%, también conocido como 2,5, se utiliza ampliamente (Pérez-Zegarra,C., 2017).

El refrigerante propano, características y aplicaciones

Pueden contribuir a la degradación de los aceites lubricantes de la instalación, rotura de compresores, etc. (Rubio, J., 2015), que se utiliza en aplicaciones de refrigeración no está olorizado como los de uso doméstico (el hidrocarburo doméstico se oloriza para que sea rápidamente detectable en el caso de fuga), no siendo fácilmente detectable en caso de fugas, (Sosa Milián, B., 2015).

Tabla 10. Propiedades físicas.

Peso Molecular	44,1
Temper. De ebullición (°C)	-42,1
Temp. Crítica (°C)	96,7
Presión crítica (bar, Abs.)	42,48
Glide de Temper. (°C)	0

Temperatura crítica: 96.7 (°C) Peso molecular: 44.1 (kg/kmol)

Capacidad volumétrica: 1164 (Kj/m³) Punto de ebullición: -42.1 (°C) Condiciones de Evaporación.

Presión absoluta en bar, a 2°C: 5 (bar)

Densidad del líquido en (Cond. Evap.): 521.1 (kw/m³) Densidad del vapor en (Cond. Evap.): 10.98 (kg/m³)

Conductividad térmica del líquido en (Cond. Evap.): 0.1 (W/mK)

Conductividad térmica del vapor en (Cond. Evap.): 0.01 (W/mK)

Capacidad calorífica del líquido a presión cte. en (Cond. Evap.): 2.46 (kJ/kgK)

Capacidad calorífica del vapor a presión cte. en (Cond. Evap.): 1.8 (kJ/kgK) (Anton Natural, 2017).

Condiciones de Condensación

Presión absoluta en bar, a 44°C: 14.9 (bar)

Densidad del líquido en (Cond. Condens.): 463.17 (kw/m³) Densidad del vapor en (Cond. Condens.): 33.22 (kg/m³)

Conductividad térmica del líquido en
(Cond. Condens.): 0.08 (W/mK)
Conductividad térmica del vapor en
(Cond. Condens.): 0.02 (W/mK)

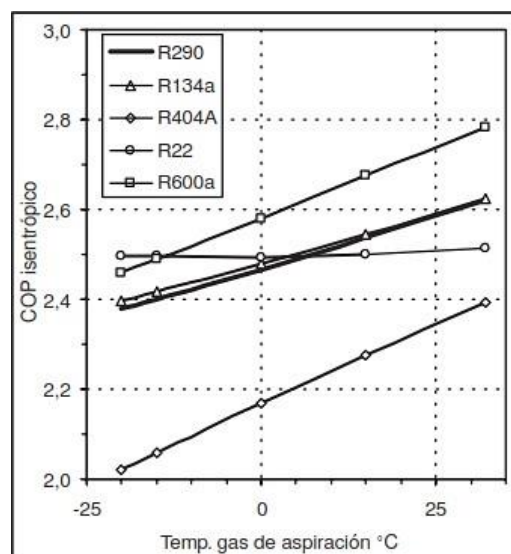
Capacidad calorífica del líquido a
presión cte. en (Cond. Condens.):
2.88 (kJ/kgK)

La eficiencia del sistema de refrigeración

A veces el diseño del evaporador
necesita alguna modificación,

porque el volumen de refrigerante es
diferente, de acuerdo con el volumen
barrido por el compresor (Botero,
2014). Esto puede ocasionar
acumulación de aceite si es
demasiado grande, alto, y el camino
que sigue el fluido no garantiza el
vaciado suficiente durante la fase de
arranque del sistema (Anton Natural,
2017).

Gráfico 3. Eficiencia del sistema de refrigeración.



Fuente: (Emerson Climate Technologies™, 2017)

Reconversión de refrigerante R22 a R290 en un equipo listo.

Para la reconversión del gas
refrigerante R22 por el R290 se
requiere un procedimiento técnico
que debe ser realizado y observado

con extremo cuidado. Para realizar el
sellado de las cañerías de cobre se
debe realizar mediante soldadura
con plata entre el 5% y el 15%. Esto
garantiza que no queden poros en
las soldaduras 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 R22 (220g).

Identificar que el condensador del aire acondicionado esté ubicado en un lugar bien ventilado. Convertir las uniones roscadas, si las hubiera, a uniones soldadas.

La novedad científica de este artículo se refleja en la aplicación práctica de la experiencia dirigida a la sustitución del refrigerante se mide en función de la cantidad de calor que es capaz de absorber desde que entra al evaporador como líquido, hasta que sale como vapor y se resume como la diferencia entre el calor que contiene el líquido y el calor contenido en el vapor después de pasar por el evaporador (Botero, 2014) y (Sánchez,H., 2016).

El refrigerante debe tener una temperatura crítica mayor que la más alta temperatura al salir del compresor. De otra manera la condensación no es posible. La temperatura crítica de la mayoría de los refrigerantes está por encima de la temperatura de condensación, se

debe tener mucho cuidado al escoger el refrigerante y debe reunir las siguientes características técnicas (ClimaConfort, 2015):

Estable ante continuos cambios de presión y temperatura.

Estable a la descomposición por contaminación con Aire, aceite o agua.

No deben ser corrosivos (como el amoníaco que reacciona con la humedad formando el hidróxido de amonio que reacciona con las tuberías de hierro, cobre u aleaciones).

Estables en presencia de aceites lubricantes, y no afectar las propiedades fisicoquímicas del lubricante.

En el caso de R-22 por el propano a R-290 es sostenible y ecológico, debido a que permite un ahorro energético considerable para las condiciones climatológicas del Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez de Jaramijó y 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. En Manabí y específicamente en Jaramijó esta es la primera experiencia, con buenos resultados en el proceso de reconversión. Es factible utilizar el gas propano como refrigerante en un equipo de aire acondicionado doméstico tipo ventana en reemplazo del refrigerante R-22 sin necesidad de efectuar un cambio en los diferentes elementos del equipo debido a que el gas propano es un refrigerante natural y entre sus características hay que si es compatible con el aceite y demás elementos que trabajo un equipo diseñado para funcionar con R-22.

Bibliografía

- Agencia Internacional de Energía. (2015). Indicadores de Eficiencia Energética. Bases esenciales para el establecimiento de políticas. Paris, Francia: Editoria Lión.
- Álvarez, D. (2015). Evaluación de los impactos en el consumo de energía eléctrica asociados al uso de refrigeradores eficientes en el Ecuador: Programa Renova Refrigerador.
- <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8961>
Guayaquil, Ecuador:
[Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador].
- Anchundia, L., & Franco, L. (2016). Reconversión de los gases refrigerantes R-22 a R-290 en tres modelos de aires acondicionados, tipo split con diferente capacidad de enfriamiento en la Universidad Técnica de Manabí. UTM. Portoviejo, Ecuador: Editorial de la Universidad Técnica de Manabí.
<http://repositorio.utm.edu.ec/items/00c2c146-3285-4626-980a-2fd35e7822f1>
- Anton Natural. (2017). Anton Natural 290. Lima, Perú: Manuscrito.
- ASHRAE. (2015). Designation and safety Clasification of Refrigerants. Atlanta: Atlante.
- Ayosa, J. (2017). Propuesta para sustituir el refrigerante R-22 de un sistema de aire acondicionado del casino fortuna, por el refrigerante R-407C. Lima, Perú: Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.
- Botero, G. (2014). Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado (Vol. 4). Oregón, USA: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
<https://catalogobiblioteca.unapec.edu.do/cgi->

- bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=51343
- Botero, G. (2014). Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado. Oregón, USA: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Castillo, M. L., Mora, A. W., & Gonzales, C. A. (2020). Análisis comparativo del gas refrigerante R-22 con los gases refrigerantes R-407C y R-290 de un equipo de aire acondicionado Mini Split Decorativo de 18,000 Btu/h en las oficinas administrativas de la empresa GyZ Service. Lima, Perú: Universidad Tecnológica del Perú. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/UTP/3158>
- ClimaConfort. (2015). Prohibición de recarga de refrigerantes R22. R <http://www.gasnaturalfenosa.es/negocio/productos+y+servicios/soluciones+energeticas/climaconfort/1297147780664.html>.
- Danfoss. (2016). Aplicaciones prácticas del refrigerante R290 propano en sistemas herméticos pequeños. USA: Compressors Información Técnica. <https://docplayer.es/29349692-Aplicaciones-practicas-del-refrigerante-r290-propano-en-sistemas-hermeticos-pequenos.html>
- DITECA. (2017). Guía para la elaboración de acciones en cambio climático. http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/guia_elaboracion_inventario_gases_efecto_invernadero_v1.0_0.pdf
- Emerson Climate TechnologiesTM. (2017). Refrigerants for commercial refrigeration applications. USA: Refrigerants for commercial refrigeration applications.
- Gómez, L. (2018). Informe sobre el levantamiento de inventario técnico de equipos de aire acondicionados en el campus ITCR. San José, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Grajales, I. (2019). El TEC se convierte en la primera Universidad Pública Carbono Neutroa del país. <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2019/02/27/tec-se-convierte-primer-universidad-publica-carbono-neutral-pais#:~:text=Medio%20Ambiente-El%20TEC%20se%20convierte%20en%20la%20primera%20universidad%20p%C3%BAblica%20carbono%20neutroa%20del%20>
- Huebes, J. (2016). Refrigeration, air conditioning and foam blowing

- sectors technology roadmap.
Alemania: Giz Proklima.
- Menéndez, M., Santamaría, E., & Vega, R. (2015). Adaptación de una metodología basada en Normas Internacionales para el cálculo de eficiencia en unidades de aire acondicionado de expansión. San Salvador: Universidad de El Salvador.
<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/7469/>
- Metrogas. (2018). Qué es la eficiencia energética.
http://www.metrogas.cl/files/Que_es_EE.pdf. MINAE.
- (2014). Manual de Buenas Prácticas en Refrigeración. Turrialba, Costa Rica: Editorial Turrialba.
- Nieto, D. (2018). Mundo HVAC&R.
<https://www.mundohvacr.com.mx/2007/02/los-refrigerantes-y-sus-propiedades/>
- Pérez-Zegarra, C. (2017). Detailed thermodynamics of hermetic reciprocating compressors. Philadelphia, USA: International Journal of refrigeration.
- Plusfroid. (11 de Octubre de 2016). Ficha Técnica del refrigerante R-22. Recuperado el 03 de <http://plusfroid.pt/wp-content/uploads/2015/04/R22.pdf>
- Robles, K. (2019). Modelos de Gestión Energética para los Sistemas de Aires Acondicionado del Campus Tecnológico Central Cartago. TEC. Turrialba, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Rubio, J. (2015). Refrigeración con amoníaco.
<http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/209/03/refrigeracion-con-amoniac/>
- Ruiz, D. (2015). Estudio de impacto ambiental para el centro de regeneración de refrigerantes de la Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia: Thompson.
- Sánchez, H. (2016). Diagnóstico energéti copara el campus central y centro académico San José. San José, Costa Rica.
- Sandoval, G. P., & Salgado, C. A. (2014). Estudio del empleo de propano y gas licuado de petróleo como sustitutos ecológicos del refrigerante R-22 en sistemas de aire acondicionado doméstico. Guayaquil, Ecuador: Escuela Politécnica del Litoral. R <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6400>
- Scalofríos. (2014). Ficha Técnica R22.
<http://www.scalofrios.es/frio/Refrigerantes/fichastecnicas/HFCs.pdf>
- Seguridad, R. d. (2019). Reglamento de seguridad para plantas e instalaciones frigoríficas.
<http://iesmachado.org/web%2>

- [Oinsti/depart/produc/apuntes/files/Reglamentos/RSIF.pdf:
https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/instalaciones-refrigerificas/Paginas/reglamento-seguridad-rd-5522019.aspx](https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/instalaciones-refrigerificas/Paginas/reglamento-seguridad-rd-5522019.aspx)
- Sosa Milián, B. (2015). Implementación de gases refrigerantes naturales HC en sistemas de climatización como sustituto ecológico del R-22.
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/1870>.
Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Taza, B. (2017). Razón de flujo de gas refrigerante en estado dinámico en un sistema de refrigeración por compresión de vapor.
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/3797>
- Vinueza, D. (2016). Sistema de refrigeración de enfriamiento rápido en los procesos de conservación de la empresa Confiteca. (U. C. Ecuador, Ed.)
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/5000/12959/1/T-UCE-0010003-2017.pdf>